

Puskuriliuosaihe kemian ja biologian opetuksessa

Pro gradu-tutkielma

Greta Tikkanen

24.9. 2003

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kemian laitos

Helsingin yliopisto

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion Matemaattis-luonnontieteellinen		Laitos – Institution Kemian laitos	
Tekijä – Författare Greta Tikkanen			
Työn nimi – Arbetets titel Puskuriliuosaihe kemian ja biologian opetuksessa			
Oppiaine – Läroämne Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto			
Työn laji – Arbetets art Pro gradu		Aika – Datum 24.9.2003	
		Sivumäärä – Sidoantal 62	
<p>Tiivistelmä – Referat</p> <p>Puskuriliuosaihe on tärkeä alue sekä kemiassa että biologiassa. Puskuriliuosaiheen ja sen keskeisten kemian käsitteiden ymmärtäminen tukee elimistön, maaperän ja vesistöjen puskurisysteemien ymmärtämistä biologiassa. Mielekkään kemian sekä biologian oppimisen tukemiseksi on tärkeä tietää, miten puskuriliuosaihetta opetetaan kemiassa sekä biologian tieteiden aloilla lukiossa sekä miten kokeellisuuden avulla voidaan tukea mielekästä opiskelua. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan puskuriliuosaiheen opetusta kemian ja biologian oppitunneilla erityisesti oppikirja-analyysin näkökulmasta, sillä suurin osa suomalaisista opettajista käyttää oppikirjaa opetuksen lähtökohtana. Tutkimus on ensimmäinen aiheesta Suomessa. Tutkimuksen viitekehityksessä käsitellään puskuriliuosaiheen ja puskurikyvyn määritelmät, eri puskurisysteemit, puskuriliuosaihe kemian ja biologian opetussuunnitelmissa, sen oppiminen tutkimustiedon perusteella, kokeellisuus opetuksessa sekä oppikirjojen rooli kemian ja biologian opetuksessa.</p> <p>Tutkimus on kaksiosainen. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin, miten puskuriliuosaihetta käsitellään tällä hetkellä lukion kemian ja biologian oppikirjoissa. Tutkimus kohdistettiin oppikirjojen määritelmiin, tehtäviin sekä oppilastyöohjeisiin sekä siihen, miten hyvin oppikirjoissa on tuotu esille puskuriliuosten merkitys ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin kannalta. Tutkimuksen toisessa vaiheessa tutkittiin oppikirjojen kokeellisten oppilastyöohjeiden osuutta puskuriliuosaiheen opiskelussa. Erityisesti kiinnitettiin huomiota työohjeiden havainnollisuuteen, älylliseen haastavuuteen ja innostavuuteen sekä myös siihen, miten oppilastyöohjeissa on tuotu esille puskuriliuosten merkitys ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin kannalta. Tutkimuksessa kehitettiin oppilastyöohjeita tukemaan puskuriliuosaiheen oppimista nykyisten oppimisteorioiden pohjalta. Lisäksi tutkimuksessa esitetään kaksi uutta työohjetta puskuriliuosaiheen oppimisen tueksi.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin, että puskuriliuosaihetta käsitellään kemian oppikirjoissa tasapainoaiheen yhteydessä varsin suppeasti. Määritelmät puskuriliuosaiheesta ovat melko kattavia ja keskenään hyvin samankaltaisia. Puskuriliuosaiheeseen liittyvät tehtävät ovat samantyyppisiä eri kirjoissa. Laskutehtäviä on selvästi eniten. Kirjat eroavat toisistaan kokeellisten oppilastyöohjeiden ja luonnon puskurisysteemien käsittelyn osalta. Biologian oppikirjoissa puskuriliuosaihetta käsitellään hyvin vähän, lähinnä ympäristöekologian yhteydessä, vaikka puskuriliuosaihe on keskeinen monien biologisten systeemien ymmärtämiselle.</p> <p>Luonnon puskurisysteemejä olisi tärkeä käsitellä perusteellisemmin sekä kemiassa että biologiassa. Kokeellisen työskentelyn asemaa tulisi vahvistaa puskuriliuosaiheen opettamisen yhteydessä. Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että oppikirjojen oppilastyöohjeiden määrässä ja laadussa on puskuriliuosaiheen osalta paljon kehittämistä. Oppikirjoissa tulisi kiinnittää erityistä huomiota oppilastyöohjeiden avoimuuden ja älyllisen haastavuuden lisäämiseen nykyisten oppimisteorioiden mukaisesti. Lukion biologian opetussuunnitelman perusteiden luonnos (2003) sisältää useita oppimistavoitteita, joiden saavuttaminen on mahdotonta ilman puskuriliuosaiheen ymmärtämistä. Puskuriliuosaihe on erinomainen aihe myös kemian ja biologian integroinnille sekä oppiaineiden yhteistyökursseille.</p>			
Avainsanat – Nyckelord puskuriliuos, puskurikyky, oppilastyöohjeet, oppikirja-analyysi, kemian opetus, biologian opetus			
Säilytyspaikka – Förvaringställe Kemian opettajankoulutusyksikkö			

SISÄLLYS

1.	JOHDANTO	1
2.	PUSKURILIUOSAIHE KEMIAN JA BIOLOGIAN OPETUKSESSA	2
2.1	Puskuriliuoksen määritelmä	2
2.2	Puskurikapasiteetti	4
2.3	Luonnon tärkeitä puskurisysteemejä	4
2.3.1	Elimistön puskurisysteemejä	5
2.3.2	Maaperän puskurisysteemejä	6
2.3.3	Vesistöjen puskurisysteemejä	8
2.4	Puskuriliuosaihe opetussuunnitelmien perusteissa	9
2.4.1	Puskuriliuosaihe kemian opetussuunnitelmissa	9
2.4.2	Puskuriliuosaihe biologian opetussuunnitelmissa	12
2.5	Kemian ja biologian oppimisesta	15
2.5.1	Käsitysten muuttuminen oppimisprosessin aikana	15
2.5.2	Käsitysten muuttamista tukevia opetusmenetelmiä	16
2.6	Puskuriliuosaiheen oppiminen	17
2.6.1	Kemiallisen tasapainon käsitteeseen liittyviä oppimisvaikeuksia	17
3.	KOKEELLISUUS KEMIAN JA BIOLOGIAN OPETUKSESSA	19
3.1	Kokeellisuus opetussuunnitelmissa	19
3.1.1	Kokeellisuus kemian opetussuunnitelmissa	19
3.1.2	Kokeellisuus biologian opetussuunnitelmissa	20
3.2	Luonnontieteiden oppiminen kokeellisuuden avulla	21
3.2.1	Kokeellinen työskentely luonnontieteiden opetuksessa	22
3.2.2	Kokeellisen työskentelyn merkitys luonnontieteiden oppimisessa	23
4.	OPPIKIRJAT KEMIAN JA BIOLOGIAN OPETUKSESSA	24
4.1	Oppikirjan asema opetuksessa	24
4.2	Oppikirja-analyysi	24
5.	TUTKIMUS	25
5.1	Tutkimusongelmat	25
5.2	Tutkimuksen toteutus	26
5.2.1	Tutkimusongelma 1	28
5.2.2	Tutkimusongelma 2	29

6.	TULOKSET	30
6.1	Puskuriliuosaihe lukion kemian oppikirjoissa	30
6.1.1	Puskuriliuosaiheen käsittely oppikirjoissa	30
6.1.2	Puskuriliuosaiheeseen liittyvät tehtävät	36
6.1.3	Puskuriliuosaiheeseen liittyvät kokeelliset oppilastyöt	40
6.1.4	Puskuriliuosten merkitys ihmisen ja ympäristön kannalta	44
6.2	Puskuriliuosaihe lukion biologian oppikirjoissa	46
6.3	Kokeelliset oppilastyöohjeet lukion kemian oppikirjoissa	48
6.4	Kokeellisten oppilastyöohjeiden kehittäminen	52
6.4.1	Puskuriliuoksen toimintaperiaate	52
6.4.2	Veden kokonaisalkaliniteetin määrittäminen	54
6.4.3	Ruokasoodatutkimus	55
6.4.4	Puskuriliuostutkimus mittausautomaation avulla	56
7.	TULOSTEN POHDINTAA JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	58
7.1	Yhteenveto tutkimuksen päätuloksista	58
7.1.1	Puskuriliuosaihe lukion kemian oppikirjoissa	58
7.1.2	Puskuriliuosaihe lukion biologian oppikirjoissa	59
7.1.3	Kokeelliset oppilastyöohjeet lukion kemian oppikirjoissa	59
7.2	Tutkimustulosten merkitys	60
7.2.1	Kemian opetuksen näkökulma	60
7.2.2	Biologian opetuksen näkökulma	61
7.2.3	Integroidun opetuksen haasteet opettajankoulutukselle	62
7.2.4	Jatkotutkimusaiheita	62

1. Johdanto

Puskuriliuksilla on erittäin suuri merkitys ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin kannalta. Useat eläin- ja kasvikunnan nesteet, kuten veri ja solunesteet, kykenevät tehokkaasti vastustamaan pienten happo- ja emäslisäysten aiheuttamia pH:n muutoksia. Maaperässä ja vesistöissä on myös useita erilaisia puskurisysteemejä, jotka pyrkivät mahdollisimman tehokkaasti torjumaan happamoitumista. Voidaankin todeta, että nykyisenkaltainen elämä ei olisi mahdollista ilman puskuriliuoksia. Puskuriliuosaihe on erinomainen esi-merkki luonnontieteiden opetuksen oppiainerajat ylittävästä oppikokonaisuudesta. Aihepiiriä on perinteisesti käsitelty lukiossa tasapainoaiheen yhteydessä. Viime aikoina on kuitenkin alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota puskuriliuosten tärkeisiin biologisiin sovelluksiin, sekä niiden merkitykseen ihmisen ja ympäristön kannalta.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten puskuriliuosaihetta käsitellään tällä hetkellä lukion kemian ja biologian oppikirjoissa, sillä oppikirjat kuvastavat aineiden opetusta oppikirjapainotteisessa koulusysteemissämme. Tutkimus on myös ensimmäinen tutkimus puskuriliuosaiheesta kemian ja biologian opetuksessa Suomessa. Myös kansainvälisesti aiheetta on tutkittu vähän. Tutkimuksessa kiinnitetään erityistä huomiota oppikirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyviin kokeellisiin oppilastyöohjeisiin sekä niiden osuuteen puskuriliuosaiheen oppimisessa. Lisäksi vertaillaan aihepiiriin käsittelyä kemian ja biologian oppikirjoissa. Tutkimus toteutetaan oppikirja-analyysinä. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tarkastellaan oppikirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyviä määritelmiä, tehtäviä sekä oppilastyöohjeita. Lisäksi tutkitaan, miten oppikirjoissa tuodaan esille puskuriliuosten merkitys ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin kannalta.

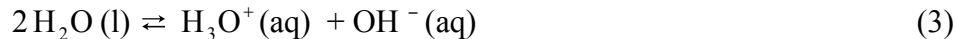
Tutkimuksen toisessa vaiheessa tarkastellaan syvällisemmin oppikirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyviä kokeellisia oppilastyöohjeita. Tutkimuksessa kiinnitetään erityistä huomiota oppilastyöohjeiden avoimuuteen ja älylliseen haastavuuteen. Pyritään myös analysoimaan perusteellisesti kokeellisten oppilastyöohjeiden osuutta puskuriliuosaiheeseen liittyvien ilmiöiden ja käsitteiden ymmärtämisessä. Lisäksi kiinnitetään huomiota työohjeiden älylliseen haastavuuteen ja innostavuuteen sekä siihen, miten hyvin ne tuovat esille puskuriliuosten merkityksen ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin kannalta. Lopuksi esitetään ehdotuksia nykyisten oppilastyöohjeiden kehittämiseksi oppimisteorioiden pohjalta sekä uusia työohjeita puskuriliuosaiheen oppimisen tukemiseksi.

2. Puskuriliuosaihe kemian ja biologian opetuksessa

2.1 Puskuriliuoksen määritelmä

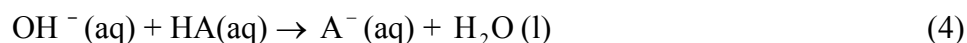
Useimpien liuosten pH muuttuu erittäin herkästi pientenkin happo- tai emäslisäysten vaikutuksesta. Osalla liuksista on kuitenkin erinomainen kyky vastustaa pH:n muuttumista. Tällaisia liuoksia kutsutaan puskuriliuoksiksi. Ne muodostuvat tavallisesti joko heikosta haposta HA ja sen liittoemäksestä A^- tai heikosta emäksestä B ja sen liittohaposta BH^+ .

Tarkastellaan puskuriliuosta, joka on valmistettu heikosta haposta HA ja sen natrium-suolasta NaA. HA ja NaA dissosioituvat vesiliuoksessa reaktioiden (1) ja (2) mukaisesti. Reaktio (3) esittää veden autoprotolyysia.



Heikko happo HA dissosioituu vain osittain, joten reaktion (1) tasapaino on selvästi lähtöaineen puolella. Suola NaA sen sijaan dissosioituu lähes täydellisesti. Reaktiossa (2) muodostuvat A^- - ionit aiheuttavat reaktion (1) tasapainon siirtymisen entistä enemmän lähtöaineen puolelle Le Chatelierin periaatteen mukaisesti.

Liuos pystyy tehokkaasti vastustamaan pienten happo- tai emäslisäysten aiheuttamia pH:n muutoksia. Jos liuokseen lisätään hydroksidi-ioneja, osa haposta HA neutraloituu reaktioyhtälön (4) mukaisesti.



Puskurivaikutus perustuu siis hydroksidi-ionien korvautumiseen A^- - ioneilla. Jos liuokseen lisätään vety-ioneja, ne alkavat muodostaa yhdessä A^- - ionien kanssa happoa HA reaktioyhtälön (5) mukaisesti.



Liuos siis säilyttää pH:nsa lähes muuttumattomana sitomalla liuokseen lisätyt vapaat vetyionit. Samalla osa A^- - ioneista muuttuu hapoksi HA.

Liuoksen vetyionikonsentraatio voidaan ratkaista hapon HA dissosioitumisreaktion tasapainovakion lausekkeesta yhtälön (6) mukaisesti.

$$[H^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]} \quad (6)$$

Lauseke liuoksen pH:lle saadaan esittämällä yhtälö (6) logaritmisessa muodossa.

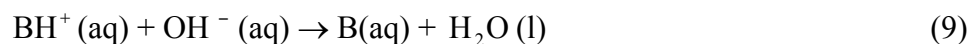
$$pH = pK_a + \lg \frac{[A^-]}{[HA]} \quad (7)$$

Yhtälö (7) tunnetaan nimellä Henderson-Hasselbalchin yhtälö. Yhtälöstä nähdään helposti, että liuoksen pH määräytyy suhteen $[A^-] / [HA]$ perusteella. Yhtälö ei päde, jos happo on liian vahva tai heikko, sillä konsentraatiot $[H^+]$ ja $[OH^-]$ eivät saa olla kovin merkittäviä. Konsentraatioiden $[A^-]$ ja $[HA]$ on sen sijaan oltava verrattain suuria, jotta yhtälö pätsi.

Puskuriliuos voi muodostua myös heikosta emäksestä B ja sen liittohaposta BH^+ . Tällöin happolisäys johtaa reaktioon (8).



Hydroksidi-ionien lisäys käynnistää puolestaan neutraloitumisreaktion (9).



Liuoksen pH määritetään edellä esitetyn tarkastelun mukaisesti. (Saarinen ja Lajunen, 1992; Zumdahl, 1993)

2.2 Puskurikapasiteetti

Puskuriliuosten tehokkuutta voidaan arvioida niiden puskurikapasiteettien avulla. Puskurikapasiteetti kuvaa, kuinka suuri happo- tai emäslisäys vaaditaan liuoksen pH:n muuttamiseen yhden yksikön verran. Puskuriliuos on sitä tehokkaampi, mitä suurempi sen puskurikapasiteetti on. Puskurikapasiteetti voidaan määritellä kahdella tavalla riippuen siitä, lisätäänkö liuokseen happoa vai emästä. Jos liuokseen lisätään emästä, puskurikapasiteetti määritellään seuraavasti:

$$\beta = \frac{d[B]}{dpH} \quad (10)$$

Emäskonsentraation muutosta merkitään $d[B]$:llä ja vastaavaa pH:n muutosta dpH :lla. Jos puskuriliuokseen lisätään happoa, liuoksen emäskonsentraatio ja pH luonnollisesti pienenevät. Tällöin puskurikapasiteetti määritellään seuraavasti:

$$\beta = \frac{-d[B]}{-dpH} = -\frac{d[HA]}{dpH} \quad (11)$$

Puskurikapasiteetin arvo on aina positiivinen. (Saarinen ja Lajunen, 1992; Chang, 2000) Jokaisella puskurisysteemillä on karakteristinen pH-alueensa, jossa se toimii tehokkaasti. Yleispätevänä arviona voidaan pitää pH-väliä $pH = pK_a \pm 1$. (Chang, 2000; Nelson ja Cox, 2000)

2.3 Luonnon tärkeitä puskurisysteemejä

Useimmat biologiset prosessit ovat erittäin herkkiä pH:n muutoksille. Ympäristössä ja elimistössä on runsaasti erilaisia puskurisysteemejä, jotka pyrkivät tehokkaasti estämään pH:n vaihtelua. Useat niistä ovat pysyvästi vahingoittuneet ihmisen toiminnan vaikutuksesta. On tärkeää, että luonnon- ja ympäristön suojelussa kiinnitetään entistä enemmän huomiota puskurisysteemien toimivuuteen, sillä ne ovat täysin välttämättömiä elämän säilymisen kannalta.

2.3.1 Elimistön puskurisysteemejä

Solunsisäisten nesteiden pH on tyypillisesti välillä 6,8 - 7,8. Useimpien solujen solulimassa on runsaasti proteiineja, jotka sisältävät puskureina toimivia aminohappoja, kuten histidiiniä. Punasolujen hemoglobiini on eräs elimistön tärkeimmistä proteiineista. Se osallistuu hapenkuljetustehtävänsä ohella myös veren puskurointiin. (Chang 2000) Solunsisäisiin puskureihin kuuluu myös nukleotidi ATP.

Fosfaattipuskurointi on eräs elimistön tärkeimmistä puskurisysteemeistä. Kaikkien solujen solulimassa toimii divetyfosfaatin ja vetyfosfaatin muodostama puskurisysteemi.



Fosfaattipuskuri toimii tehokkaasti pH-alueella $6,86 \pm 1$, joten se puskuroi erinomaisesti esimerkiksi verinestettä eli plasmaa, jonka pH on noin 7,4. Fosfaattipuskuri osallistuu myös muiden elimistön nesteiden puskurointiin.

Plasman puskurointiin osallistuu fosfaattipuskurin ohella myös vetykarbonaattipuskuri, joka koostuu hiilihaposta ja vetykarbonaatista.



$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad (14)$$

Puskurisysteemin sisältämä hiilihappo muodostuu liuenneen hiilidioksidin ja veden reaktiossa.



$$K_2 = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{CO}_2(\text{d})][\text{H}_2\text{O}]} \quad (16)$$

Liuenutta hiilidioksidia muodostuu kaasumaisesta hiilidioksidista reaktiossa (17).



$$K_3 = \frac{[\text{CO}_2(\text{d})]}{[\text{CO}_2(\text{g})]} \quad (18)$$

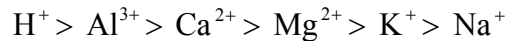
Vetykarbonaattipuskurointi on melko monimutkainen puskurisysteemi. Kun vetyionien määrä lisääntyy veressä esimerkiksi urheilusuorituksen jälkeen, reaktio (13) alkaa hakeutua kohti uutta tasapainotilaa. Prosessin seurauksena hiilihappokonsentraatio suurenee, mikä aiheuttaa vastaavasti reaktion (15) siirtymisen uuteen tasapainotilaan, jossa liunneen hiilidioksidin konsentraatio on alkukonsentraatiota suurempi. Tämä aiheuttaa edelleen reaktion (17) hakeutumisen tasapainotilaan, jossa kaasumaisen hiilidioksidin konsentraatio on suurempi kuin alkutilassa. Ylimääräinen hiilidioksidi poistuu elimistöstä uloshengityksen mukana. (Nelson ja Cox, 2000)

2.3.2 Maaperän puskurisysteemejä

Maan happamoitumisella tarkoitetaan maan huokosissa olevan veden eli maaveden happamoitumista. Maaperässä on useita erilaisia puskurisysteemejä, jotka pyrkivät vastustamaan happamoitumista. Maaperän happamoituminen on Suomessa varteenotettava ongelma, sillä suomalainen maaperä on luonnostaan hapanta ja puskurikyvyltään varsin heikkoa.

Kalkkipuskurointi on tunnetuin maaperän puskurisysteemi. Se perustuu siihen, että maan kalsiumyhdisteet liukenevat maaveteen ja reagoivat happojen kanssa, jolloin happamoitumista ei pääse tapahtumaan. Kalkkipuskuroinnilla on tärkeä rooli esimerkiksi Keski-Euroopassa, jossa maaperän kalkkipitoisuudet ovat merkittävästi suurempia kuin Suomessa. Kalkkipuskuroinnin toimiminen Suomessa edellyttääkin maan keinotekoisista kalkitsemista.

Suomessa maaperän tärkein puskurisysteemi perustuu kationinvaihtoon, jossa maahiukkaskasen pinnalla oleva ioni irtoaa ja luovuttaa paikkansa jollekin maaveden ionille. Kationien kyky sitoutua maahiukkasten pintaan vaihtelee ionien koon, sähkövarauksen ja hydratoitumisasteen mukaan. Suurin sitoutumisvoimakkuus on vetyionilla. Maassa tavallisesti esiintyvien ionien sitoutumisvoimakkuuden järjestys on seuraavanlainen:



Puskurisysteemi toimii niin pitkään, kunnes kaikki maahiukkasten pintaan sitoutuneet ionit ovat vetyioneja. Sen jälkeen puskurointia ei enää tapahdu, joten maaveden pH alkaa tavallisesti laskea hyvin nopeasti.

Kun kalkki- ja ioninvaihtopuskurit osoittautuvat riittämättömiksi, maaperä alkaa puolustautua happamoitumisesta vastaan järeämmillä keinoilla. Rauta ja alumiini alkavat liueta maahiukkaskasista maaveteen, kun sen pH on noin 4,5. Ne puskuroivat maavettä seuraavien reaktioyhtälöiden mukaisesti:



Alumiinipuskurointi, jota pidetään luonnon viimeisenä puolustuskeinona, on erittäin haitallista ympäristölle ja ihmiselle. Alumiini on maankuoren kolmanneksi yleisin alkuaine, joten sitä voi liueta maaveteen suuria määriä. Veteen liennut alumiini tuhoaa puiden juuria ja on myrkyllistä kasveille ja eläimille. Kupari, kadmium ja pii osallistuvat raudan ja alumiinin ohella maaperän puskurointiin.

2.3.3 Vesistöjen puskurisysteemejä

2.3.3.1 Järvien puskurisysteemit

Happamoituminen on merkittävä uhka erityisesti pienille ja karuille ylänköalueiden järville. Niiden pH on yleensä luontaisestikin alhainen ja puskurikyky varsin heikko. Suomen järvet ovat paikoitellen hyvin alttiita happamoitumiselle, sillä vähäkalkkinen graniitti- ja gneissivaltainen kallioperä sekä happaman humuksen huuhtoutuminen soilta alentavat järvien luontaista pH:ta tuntuvasti.

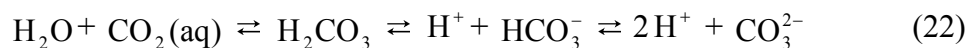
Kalkkipuskurointi on toimiva puskurisysteemi vesistöissä, jotka sijaitsevat kalkkiperäisellä maalla. Suomessa kalkkipuskuroinnin merkitys on vähäinen. Tärkeitä puskurisysteemejä ovat vetykarbonaattipuskurointi sekä humukseen perustuva puskurointi. Bikarbonaattipuskuri toimii tehokkaasti, kun veden pH on välillä 5-8. Puskurointi perustuu seuraavaan reaktioon:



Humuksen puskurivaikutus perustuu siihen, että kasvien yhteyttäminen nostaa veden pH:ta poistaessaan siitä hiilidioksidia ja bikarbonaattia. Humus pystyy myös sitomaan vetyioneja. (Berninger, Tapio ja Villamo, 1997)

2.3.3.2 Merien puskurisysteemit

Meret sisältävät huomattavan suuren osan maapallon hiilivaroista. Suurin osa hiilestä on sitoutuneena karbonaattiyhdisteisiin ja hiilidioksidiin, joiden välillä vallitsee monimutkainen kemiallinen tasapaino.



CO_2 - karbonaattisysteemi on erittäin tärkeä puskurisysteemi, joka pyrkii säilyttämään meriveden pH:n välillä 7,5-8,5. Myös boraatti osallistuu meriveden puskurointiin. (Valiela, 1995)

2.4 Puskuriliuosaihe opetussuunnitelmien perusteissa

Valtakunnalliset opetussuunnitelmien perusteet muodostavat yhdenmukaisen ja tasa-vertaisen koulutuksen perustan. Oppimateriaalit ja koulukohtaiset opetussuunnitelmat laaditaan aina valtakunnallisten opetussuunnitelmien pohjalta, joten niillä on erittäin merkittävä vaikutus opetuksen sisältöön.

Opetussuunnitelman perusteet (1994) eroavat merkittävästi vuonna 2004 voimaan astuvan lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksista (12.2.2003) sekä peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnoksista (12.2.2003). Oppimistavoitteet ja opetuksen keskeiset sisällöt on esitetty opetussuunnitelman perusteissa (1994) yleisluontoisina linjauksina, jotka antavat mahdollisuuden useille erilaisille tulkinnoille. Uusissa luonnoksissa tavoitteet ja sisällöt on sen sijaan määritelty erittäin yksityiskohtaisesti ja täsmällisesti.

Peruskoulun opetuskokeilussa kemian ja biologian opetus aloitetaan varsinaisesti viidennellä luokalla. Neljänä ensimmäisenä kouluvuonna opetetaan ympäristö- ja luonnontietoa, joka on biologian, maantiedon, fysiikan, kemian ja terveystiedon aloista integroitu aineryhmä. Kemian ja biologian oppimistavoitteet sekä opetuksen keskeiset sisällöt on määritelty erikseen vuosiluokille 5-6 ja 7-9.

2.4.1 Puskuriliuosaihe kemian opetussuunnitelmissa

2.4.1.1 Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet

Kemian ja fysiikan osuudet on käsitelty yhtenä kokonaisuutena peruskoulun opetussuunnitelman perusteissa (1994). Tärkeinä tavoitteina on mainittu kokeellisten tutkimus- ja työmenetelmien omaksuminen sekä luontoon ja ympäristöön liittyvien arkielämän kannalta keskeisten ilmiöiden ymmärtäminen. Myös kyky soveltaa kemiallista tietoa sekä arvioida ihmisen toiminnan ympäristövaikutuksia on tuotu esille. Fysiikan ja kemian keskeiset sisällöt on koottu viideksi teemaksi, joista yksi on kokeellinen menetelmä. Opetussuunnitelman perusteissa on lisäksi painotettu voimakkaasti, että opetuksen olisi tuettava oppiainerajat ylittävää kokonaisuuksien hahmottamista.

Puskuriliuosten aihepiiri on perinteisesti käsitelty vasta lukiossa, mutta opetussuunnitelman perusteiden (1994) puitteissa aiheen kvalitatiivinen käsittely olisi mahdollista myös peruskoulussa. Puskuriliuosaihe on tärkeä ja keskeinen sekä kemiassa että biologiassa, joten oppiainerajat ylittävä opetus olisi mahdollista toteuttaa luontevasti. Luonnossa on runsaasti elämän säilymisen kannalta välttämättömiä puskurisysteemejä, jotka ovat vaarassa vahingoittua ihmisen toiminnan seurauksena. Puskuriliuosaihe olisi järkevää käsitellä osana ympäristökemian opetusta. Kokeellisella työskentelyllä on keskeinen rooli puskuriliuoskäsitteen omaksumisessa, joten aihepiirin käsittely edistäisi myös oppilaiden valmiuksia kokeelliseen työskentelyyn.

2.4.1.2 Peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnos

Ympäristö- ja luonnontiedon opetuksen kemiaan liittyviä keskeisiä sisältöjä ovat ympäristössä esiintyvien ilmiöiden havainnoiminen ja tutkiminen, yksinkertaisten luonnontieteellisten kokeiden tekeminen sekä erilaisten aineiden ja materiaalien ominaisuuksien ja käyttötarkoitusten tutkiminen. (Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet, 2003; Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden luonnos, 2003) Vuosiluokkien 5-6 kemian ja fysiikan osuudet on käsitelty yhtenä kokonaisuutena. Opetuksen yleisenä tavoitteena on innostaa oppilasta luonnontieteiden opiskeluun sekä lisätä hänen kiinnostustaan ympäristönsuojelua kohtaan. Opetuksen keskeisiä sisältöjä ovat ilma ja vesi, maaperästä saatavat aineet, aineiden erotusmenetelmät sekä elinympäristöön kuuluvien aineiden turvallinen käyttö ja kierrätys. (Peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnos, 2003)

Kemian opetuksen yleisenä tavoitteena on vuosiluokilla 7-9 syventää oppilaan tietämystä kemiasta ja kemiallisen tiedon luonteesta sekä kehittää oppilaan luonnontieteellistä ajattelua. Tavoitteena on myös auttaa oppilasta muodostamaan nykyaikainen maailmankuvansa sekä ymmärtämään kemian ja teknologian merkitys jokapäiväisessä elämässä, ympäristössä ja yhteiskunnassa. Opetuksen perustana on kokeellinen lähestymistapa, jossa lähtökohtana on elinympäristöön liittyvien aineiden ja ilmiöiden havaitseminen ja tutkiminen. Opetuksen keskeisiä sisältöjä ovat ilma ja vesi, raaka-aineet ja tuotteet sekä elollinen luonto ja yhteiskunta. (Peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnos, 2003)

Puskuriliuosaihetta olisi mahdollista käsitellä vuosiluokilla 5-6 veden ominaisuuksien ja erityisesti luonnonvesien tutkimuksen yhteydessä. Vesistöjen happamoituminen on pitkälti seurausta puskurisysteemien vahingoittumisesta, joten aiheen esille tuominen olisi perusteltua. Samalla voitaisiin luontevasti käsitellä ihmisen toiminnan vaikutuksia ympäristöön ja luontoon. Vuosiluokilla 7-9 puskuriliuosaihetta voisi käsitellä elolliseen luontoon ja yhteiskuntaan liittyvien aihepiirien opetuksessa.

2.4.1.3 Lukion opetussuunnitelman perusteet

Kemian opetuksen yleisenä tavoitteena lukion opetussuunnitelman perusteissa (1994) on edistää opiskelijoiden luonnontieteellisen ajattelutavan kehittymistä sekä auttaa heitä ymmärtämään kemiallisen tiedon merkitys ihmisen ja luonnon vuorovaikutuksen selittäjänä. Tavoitteena on lisäksi kehittää opiskelijoiden valmiuksia kokeelliseen työskentelyyn, aktiiviseen tiedonhankintaan ja kriittiseen tiedon arviointiin. Lisäksi opiskelijoiden tulisi oppia ymmärtämään kemian yhteydet jokapäiväisen elämän ilmiöihin.

Kemian opetuksen keskeiset sisällöt on määritelty erikseen yhdelle pakolliselle ja kolmelle syventävälle kurssille. Tärkeitä keskeisiä sisältöjä ovat kokeellinen työskentely, käytännön elämään liittyvät kemialliset ilmiöt, orgaaniset yhdisteet, kemialliset reaktiot sekä kemiallinen tasapaino. Puskuriliuokset liittyvät erittäin läheisesti kemialliseen tasapainoon ja sen erilaisiin sovelluksiin. Puskuriliuosaiheen käsittely onkin luontevinta juuri kemiallisen tasapainon yhteydessä. Toisaalta myös orgaanisen kemian kurssilla on perusteltua käsitellä puskuriliuoksia, sillä useilla orgaanisilla yhdisteillä on puskuriominaisuuksia. Kokeelliset työmenetelmät soveltuvat oivallisesti osaksi puskuriliuosaiheen opetusta, joten aihepiirin käsittely kehittää myös opiskelijoiden valmiuksia kokeelliseen työskentelyyn.

2.4.1.4 Lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnos

Kemian opetuksen yleisenä tavoitteena lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003) on tukea opiskelijoiden luonnontieteellisen ajattelun ja maailmankuvan kehittymistä. Päämääränä on auttaa opiskelijoita ymmärtämään jokapäiväistä elämää, luontoa ja teknologiaa sekä kemian merkitystä ihmisen ja luonnon hyvinvoinnille. Opetuksen tärkeänä tavoitteena on myös luoda myönteinen asenne kemiaa ja sen opiskelua kohtaan.

Kemian opetuksen keskeiset sisällöt ja tavoitteet on määritelty erikseen yhdelle pakolliselle sekä neljälle syventävälle kurssille. Puskuriliuosaihe on tarkoitettu käsiteltäväksi viimeisellä syventävällä kurssilla. Kurssin oppimistavoitteina on mainittu kemiallisen tasapainon merkityksen ymmärtäminen sekä tutustuminen tasapainoon luonnon ilmiöissä. Opiskelijoiden tulisi myös oppia tutkimaan kokeellisesti sekä mallien avulla kemialliseen tasapainoon liittyviä ilmiöitä. Puskuriliuokset ja niiden merkitys on mainittu yhtenä kurssin keskeisistä sisällöistä.

Puskuriliuosaiheen käsittely olisi perusteltua myös pakollisella kemian kurssilla, jonka keskeisiä sisältöjä ovat orgaaniset yhdisteet ja niiden ominaisuudet. Kurssin tavoitteena on antaa opiskelijoille käsitys kemiasta ja sen mahdollisuuksista elinympäristön toiminoissa ja haitallisten ympäristövaikutusten torjunnassa. Lisäksi opiskelijoiden tulisi oppia ymmärtämään orgaanisten yhdisteiden, niiden ominaisuuksien sekä reaktioiden merkitykset ihmiselle ja elinympäristölle. Puskuriliuosaihe liittyy läheisesti edellä mainittuihin sisältöihin ja tavoitteisiin.

2.4.2 Puskuriliuosaihe biologian opetussuunnitelmissa

2.4.2.1 Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet

Biologian opetuksen yleisenä tavoitteena peruskoulun opetussuunnitelman perusteissa (1994) on kehittää tieteellistä ajattelua sekä lisätä luonnon ja elämän eri muotojen tuntemista ja ymmärtämistä. Tärkeitä oppimistavoitteita ovat eliöiden rakenteen ymmärtäminen, ekosysteemin toiminnan ja rakenteen hahmottaminen sekä erilaisten ympäristövaikutusten tiedostaminen ja arvioiminen. Opetussuunnitelman perusteissa (1994) korostetaan myös oppilastöiden ja biologisten tutkimusmenetelmien keskeistä roolia biologian opetuksessa. Myös luonnontieteiden välinen yhteistyö kokonaisuuksien hahmotamisen parantamiseksi on tuotu esille. Opetuksen keskeisiä sisältöjä ovat ekosysteemi, ihmisen rakenne ja elintoiminnot sekä ihminen ja ympäristö.

Puskuriliuosaiheen käsittely peruskoulun biologian opetuksessa olisi opetussuunnitelman perusteiden (1994) puitteissa mahdollista. Aihepiiri liittyy kiinteästi sekä ihmisen biologiaan että luontoon ja ympäristöön. Ihmisen elintoimintojen opiskelun yhteydessä olisi luontevaa tuoda esille yksinkertaisia elimistön sisältämiä puskurisysteemejä. Toisaalta aihepiiriä voitaisiin käsitellä samassa yhteydessä luontoon ja ympäristöön liittyvien aiheiden kanssa.

2.4.2.2 Peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnos

Ympäristö- ja luonnontiedon opetuksen biologiaan liittyviä keskeisiä sisältöjä ovat luonnon ja ympäristön havainnoiminen ja tutkiminen, kasvi-, sieni- ja eläinlajeihin tutustuminen sekä luonnon suojeleminen. (Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet, 2003; Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden luonnos, 2003) Vuosiluokkien 5-6 biologian ja maantiedon osuudet on käsitelty yhtenä kokonaisuutena. Opetuksen yleisenä tavoitteena on edistää luonnonsuojelua sekä elinympäristöjen vaalimista. Biologian opetuksen tavoitteena on, että oppilas oppii tuntemaan erilaisia eliölajeja, havainnoimaan ja tutkimaan luontoa, toimimaan ympäristöystävällisesti sekä tuntemaan ihmisen rakenteen ja elintoimintojen perusasiat. Opetuksen keskeisiä sisältöjä ovat eliöt ja elinympäristöt, ihmisen rakenne ja elintoiminnot sekä luonnon ja ympäristön suojeleminen. (Peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnos, 2003)

Biologian opetuksen yleisenä tavoitteena vuosiluokilla 7-9 on kehittää oppilaan luonnontuntemusta ja antaa ymmärrys luonnon perusilmiöistä. Opetuksessa kiinnitetään huomiota ihmisen ja luonnon välisiin vuorovaikutussuhteisiin sekä korostetaan ihmisen vastuuta luonnon monimuotoisuuden suojelussa. Oppilaan tulisi oppia käyttämään biologialle ominaisia tiedonhankinta- ja tutkimusmenetelmiä, kuvaamaan elämän perusilmiöitä, arvostamaan luonnon monimuotoisuutta sekä hahmottamaan ekosysteemien rakennetta. Lisäksi oppilaan tulisi oppia tuntemaan ihmisen keskeiset elintoiminnot sekä ymmärtämään ympäristönsuojelun keskeiset tavoitteet. Opetuksen keskeisiä sisältöjä ovat luonto ja ekosysteemit, elämä ja evoluutio, ihminen sekä ympäristö. (Peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnos, 2003)

Puskuriliuosaiheen käsittely olisi periaatteessa mahdollista jo vuosiluokilla 5-6 ympäristön- ja luonnonsuojelun sekä ihmisen biologian opetuksen yhteydessä. Vuosiluokilla 7-9 aihetta voisi luontevasti käsitellä ekosysteemien ja ympäristönsuojelun yhteydessä. Myös ihmisen biologian opetuksessa olisi perusteltua tarkastella elimistön puskurisysteemejä.

2.4.2.3 Lukion opetussuunnitelman perusteet

Biologian opetuksen yleisenä tavoitteena lukion opetussuunnitelman perusteissa (1994) on lisätä biotieteiden keskeisten ilmiöiden, keinojen ja mahdollisuuksien tuntemista. Tärkeitä oppimistavoitteita ovat elollisen luonnon järjestelmien tunteminen ja ymmärtäminen, biologisten tutkimusmenetelmien ja tiedonhankintataitojen oppiminen, luonnon monimuotoisuuden ymmärtäminen sekä ympäristön säilymisen kannalta tärkeiden tekijöiden tiedostaminen. Myös kokeellisen työskentelyn keskeinen asema biologian opetuksessa on tuotu esille. Opetuksen keskeiset sisällöt on määritelty erikseen kahdelle pakolliselle ja kahdelle syventävälle kurssille. Pakollisten kurssien keskeisiä sisältöjä ovat solu, eliöryhmät, ekosysteemit, perinnöllisyys sekä ympäristö. Syventävien kurssien sisältöjä ovat ihmisen biologia, genetiikka, solubiologia sekä ympäristöekologia.

Puskuriliuosaiheen käsittely olisi erittäin perusteltua lukion biologian opetuksessa. Puskuriliuokset liittyvät keskeisesti ihmisen elintoimintoihin sekä elimistön erilaisiin säätelymekanismeihin. Myös ympäristöekologian yhteydessä olisi luontevaa käsitellä luonnon tärkeitä puskurisysteemejä, jotka tavallisesti ovat erittäin herkkiä ihmisen toiminnan vaikutuksille. Puskuriliuosaiheen opetuksen yhteydessä olisi myös erinomainen tilaisuus kehittää opiskelijoiden valmiuksia kokeelliseen työskentelyyn.

2.4.2.4 Lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnos

Biologian opetuksen yleisenä tavoitteena lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003) on kehittää luonnontieteellistä ajattelua, herättää kiinnostus biotieteisiin sekä edistää luonnon monimuotoisuutta säilyttävää ja ympäristövastuullista käyttäytymistä. Opiskelijoiden tulisi hallita biologian keskeiset käsitteet sekä ihmiselimistön toiminnan peruspiirteet. Myös perehtyminen biologisen tiedonhankinnan ja tutkimuksen menetelmiin sekä tiedon kriittiseen arviointiin on mainittu opetuksen tavoitteina.

Opetuksen keskeiset sisällöt ja tavoitteet on määritelty erikseen kahdelle pakolliselle ja kolmelle syventävälle kurssille. Puskuriliuoksen käsitettä ei ole mainittu kurssien sisälloissä eikä tavoitteissa. Aihepiiri voitaisiin kuitenkin luontevasti integroida osaksi sekä ympäristöekologian että ihmisen biologian opetusta. Ympäristöekologian kurssin eräs keskeinen sisältö on Suomen luonnon ekologiset piirteet ja haavoittuvuus. Vesistöjen puskuriominaisuuksia voitaisiin mainiosti käsitellä tässä yhteydessä. Ihmisen biologian kurssin yhtenä tavoitteena on mainittu ihmisen kemiallisen tasapainon säätelymekanismien ymmärtäminen. Opiskelijoiden tulisi myös pystyä selittämään elimistön kykyä sopeutua muutoksiin ja puolustautua ulkoisia uhkia vastaan. Edellä mainittuja tavoitteita on lähes mahdotonta saavuttaa ilman puskuriliuosaiheen käsittelyä.

2.5 Kemian ja biologian oppimisesta

Luonnontieteiden opetuksen tutkimuksessa saavutettiin merkittävä rajapyykki 1970-luvun lopulla. Silloin alettiin ensimmäistä kertaa kiinnittää huomiota oppilaiden alkukäsityksiin, jotka ovat usein virheellisiä ja opetuksesta huolimatta erittäin pysyviä. Käsitusten muovautumista ja kehittymistä oppimisprosessin aikana on tutkittu erittäin paljon sekä kehityspsykologian että luonnontieteiden opetuksen alueilla. Vallitsevan käsityksen mukaan luonnontieteiden oppiminen on asteittainen prosessi, jonka aikana oppilaiden arkielämän kokemuksiin perustuvat käsitykset sekä mallit kehittyvät ja rakentuvat uudelleen. (Vosniadou ja Ioannides, 1998)

2.5.1 Käsitusten muuttuminen oppimisprosessin aikana

Posner ja hänen kollegansa esittivät vuonna 1982 teorian, jonka mukaan käsitusten muuttuminen edellyttää seuraavien ehtojen täyttymistä: (1) on oltava tyytymättömyyttä vallitsevia käsityksiä kohtaan, (2) uuden käsityksen on oltava ymmärrettävä, (3) uuden käsityksen on vaikutettava uskottavalta ja (4) uuden käsityksen on tuotava mieleen ajatus mahdollisesta tuloksellisesta tutkimusohjelmasta. Posnerin teoria saavutti suuren suosion tutkijoiden keskuudessa. Se vaikutti useiden vuosien ajan merkittävästi luonnontieteiden opetuksen tutkimukseen ja opetuskäytäntöihin. (Vosniadou ja Ioannides, 1998; Van Driel, De Vos, Verloop ja Dekkers, 1998; Chiu, Chou ja Liu, 2002)

Posnerin teoria on edelleen laajalti hyväksytty luonnontieteiden opetuksen alueella, vaikka sitä pidetäänkin nykytutkimusten valossa monelta osin vajavaisena. Nykyisen näkemyksen mukaan käsitysten muuttuminen on dynaaminen kehitysprosessi, johon vaikuttaa useat erilaiset tekijät. Tutkimuksissa on kiinnitetty erityistä huomiota siihen, että osa käsityksistä muuttuu helposti ja osa on erittäin pysyviä. Vaikuttaakin siltä, että oppilailla on erityisiä strategioita, joiden avulla he pyrkivät vastustamaan käsitysten muuttumista. (Vosniadou ja Ioannides, 1998; Van Driel, De Vos, Verloop ja Dekkers, 1998)

Vosniadoun ja Ioannidesin (1998) näkemys käsitysten muutosprosessista perustuu mitataan kehityspsykologiseen tutkimusaineistoon. Tutkimusten mukaan käsitysten muuttuminen on asteittainen ja monimutkainen prosessi, jonka aikana havainnoimalla tai opetuksen välityksellä saatu informaatio jäsentyy osaksi olemassa olevia tietorakenteita. Prosessin aikana lapsen alkuperäiset käsitykset vähitellen kehittyvät ja muotoutuvat uudelleen. Tutkimuksissa tuli esille, että oppilaat eivät tiedosta omien alkukäsitystensä hypoteettista luonnetta vaan he pitävät niitä faktoina. Johdonmukaisten ja systemaattisten tietorakenteiden muodostamisessa havaittiin myös puutteita. Vosniadou ja Ioannides korostavatkin, että käsitysten muutosprosessiin sisältyy olennaisesti vallitsevien käsitysten tiedostaminen ja laajojen teoreettisten rakenteiden muodostaminen.

2.5.2 Käsitysten muuttamista tukevia opetusmenetelmiä

Opetusstrategiat, jotka pyrkivät edistämään oppilaiden alkukäsitysten kehittymistä ja muovautumista, asettavat suuria vaatimuksia opettajille. Heidän on oltava tietoisia oppilaiden mahdollisista oletuksista ja uskomuksista, jotta he voivat rakentaa opetuksensa mahdollisimman tehokkaaksi. Käsitysten muuttamista tukevan opetuksen lähtökohtana on toisaalta oppilaiden vankka tietoisuus omista alkukäsityksistään sekä osaamisensa tasosta. Opettajan tulisikin luoda sellainen oppimisympäristö, joka tarjoaa oppilaille mahdollisuuden tuoda julki omia käsityksiään ja uskomuksiaan sekä vertailla niitä keskenään. (Vosniadou ja Ioannides, 1998; Van Driel, De Vos, Verloop ja Dekkers, 1998)

Oppilaat ovat usein erittäin takertuneita alkuperäisiin käsityksiinsä. He puolustavat niitä sitkeästi esimerkiksi arkielämän kokemuksiin perustuvien selitysten avulla. Oppimisprosessin onnistumisen kannalta on tärkeää, että oppilaiden oletuksia ja uskomuksia ei suoralta kädeltä tuomita virheellisiksi vaan niitä kohdellaan varteenotettavina vaihtoehtoina. Tarkoituksena on, että oppilas itse oivaltaisi omien käsitystensä puutteellisuuden ja rajoitukset, mikä motivoisi häntä muuttamaan käsityksiään. Kokeellisilla menetelmillä on keskeinen rooli käsitysten muuttamista tukevassa opetuksessa. Sitkeimmätkin harhaluulot tavallisesti muuttuvat, kun oppilas havaitsee asiat itse. (Vosniadou ja Ioannides, 1998; Van Driel, De Vos, Verloop ja Dekkers, 1998; Niaz, 1998)

2.6 Puskuriliuosaiheen oppiminen

Puskuriliuosaiheen oppimista ei ole aikaisemmin paljon tutkittu. Kemiallisen tasapainon oppimista on sen sijaan tutkittu viime vuosina runsaasti eri puolilla maailmaa. Kemiallinen tasapaino liittyy puskuriliuosten aihepiiriin olennaisesti. Kemiallisen tasapainon ymmärtäminen on eräs tärkeä edellytys puskuriliuosaiheen syvälliselle oppimiselle.

2.6.1 Kemiallisen tasapainon käsitteeseen liittyviä oppimisvaikeuksia

Kemiallisen tasapainon käsitteen syvälinen ymmärtäminen on tutkimusten mukaan useimmille oppilaille erittäin vaikeaa. Oppilailla on tavallisesti lukuisia virheellisiä alkukäsityksiä, jotka vaikeuttavat oppimista tuntuvasti. Käsitteiden muuttuminen ei tapahdu helposti, sillä kemiallinen tasapaino on abstraktiutensa vuoksi eräs kemian vaikeimmista omaksuttavista käsitteistä. (Van Driel, De Vos, Verloop ja Dekkers, 1998; Niaz, 1998; Chiu, Chou ja Liu, 2002)

Kemiallisen reaktion reversiibelin luonteen ymmärtäminen on suurimmalle osalle oppilaita todella vaikeaa. Olettamukset reaktioiden yksisuuntaisuudesta ovat juurtuneet todella syväälle. (Van Driel, De Vos, Verloop ja Dekkers, 1998; Chiu, Chou ja Liu, 2002) Suurimpana syynä virheellisten käsitysten muodostumiselle voidaan pitää kemiallisen reaktion käsitteen puutteellista ja yksipuolista opetusta.

Opettajien esittämät kokeelliset demonstraatiot kuvaavat kemiallisen reaktion lähes poikkeuksetta yksisuuntaisena loppuun asti etenevänä prosessina. Reaktioiden käänteisyys tulee yleensä ensimmäistä kertaa esille kouluopetuksessa vasta kemiallisen tasapainon yhteydessä. On ymmärrettävää, että reversiibelien reaktioiden ymmärtäminen tuottaa oppilaille ongelmia. (Van Driel, De Vos, Verloop ja Dekkers, 1998)

Eräs oppilaiden tyypillisimmistä harhakäsityksistä liittyy kemiallisen reaktion etenemiseen. He uskovat siihen, että kemiallinen reaktio on prosessi, joka etenee poikkeuksetta päätökseen saakka. Reaktio pysähtyy vasta siinä vaiheessa, kun lähtöaineet ovat kulu- neet loppuun. Suuri osa oppilaista ei pysty käsittämään, että tasapainotilassa reaktioastia sisältää sekä lähtöaineita että tuotteita. (Van Driel, De Vos, Verloop ja Dekkers, 1998; Chiu, Chou ja Liu, 2002) Tämänkin harhakäsityksen muodostumista edistää tehokkaasti kemiallisen reaktion yksipuolinen opetus, joka jättää täydelliseen pimentoon reversiibelit reaktiot, jotka eivät etene loppuun asti. (Van Driel, De Vos, Verloop ja Dekkers, 1998)

Kemian oppitunneilla esitettävät kokeelliset demonstraatiot ovat tyypillisesti varsin näyttäviä. Oppilaille saattaa helposti muodostua sellainen käsitys, että kemiallisiin reaktioihin liittyy aina näkyviä ja selvästi havaittavia muutoksia. Kemiallisen tasapainon dynaamisuuden ymmärtäminen tuottaakin oppilaille yleensä erittäin suuria ongelmia. He eivät kovin helposti suostu uskomaan, että tasapainotilassa kaksi samalla nopeudella etenevää vastakkaissuuntaista reaktiota kumoavat toisensa, jolloin näkyviä muutoksia ei havaita. (Van Driel, De Vos, Verloop ja Dekkers, 1998; Chiu, Chou ja Liu, 2002)

3. Kokeellisuus kemian ja biologian opetuksessa

3.1 Kokeellisuus opetussuunnitelmissa

Kokeellisuudella on merkittävä rooli kemian ja biologian opetussuunnitelmissa. Kokeellisen työskentelyn tärkeyttä painotetaan sekä voimassa olevissa opetussuunnitelmissa että uusissa luonnoksissa. Kokeellisuuden tehtävänä on edistää uusien asioiden omaksumista, kehittää kokeellisen työskentelyn taitoja sekä parantaa opiskelijoiden valmiuksia ryhmätyöskentelyyn. Innostaminen ja motivointi ovat myös kokeellisuuden tärkeitä päämääriä.

3.1.1 Kokeellisuus kemian opetussuunnitelmissa

3.1.1.1 Peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteet

Kemian opetus nojautuu vahvasti kokeellisuuteen peruskoulun opetussuunnitelman perusteissa (1994). Havainnot, mittaukset ja kokeellinen tutkimus toimivat lähtökohtana käsitteiden, suureiden, lakien sekä teoreettisten mallien muodostuksessa ja käyttöön otossa. Kokeellisuus voi ilmetä opetuksessa esimerkiksi laboratoriotyöskentelynä, demonstraatioina ja opintokäynteinä. Päämääränä on johdonmukainen ohjaaminen kokeellisen tiedonhankinnan menetelmään, jonka keskeisiä sisältöjä ovat kokeiden ja tutkimusten suunnittelu ja tekeminen, johtopäätösten ja hypoteesien tekeminen ja testaaminen, tiedon kriittinen arvioiminen sekä opitun soveltaminen käytännössä. Turvallisten ja asianmukaisten työskentelytapojen omaksuminen on myös ensiarvoisen tärkeää.

Kokeellisuus on käsitelty lukion ja peruskoulun opetussuunnitelmien perusteissa (1994) lähes samalla tavoin. Ainoa merkittävä eroavaisuus on se, että lukion kemian opetuksen tavoitteena on edellä mainittujen tavoitteiden lisäksi antaa opiskelijoille valmiudet suunnitella ja toteuttaa itsenäisesti yksinkertaisia luonnontieteellisiä kokeita sekä arvioida ja tulkita kokeellisesti saatua tietoa.

3.1.1.2 Peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnos

Kokeellisuudella on keskeinen rooli peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003). Ympäristö- ja luonnontiedon opetus sekä kemian opetus vuosiluokilla 5-6 pyrkivät kehittämään oppilaiden valmiuksia havainnointiin, mittauksien ja luonnontieteellisten tutkimusten toteuttamiseen sekä tiedon tulkitsemiseen ja kriittiseen arviointiin.

Kemian opetus tukeutuu kokeellisuuteen erittäin vahvasti myös vuosiluokilla 7-9. Opetuksen tavoitteena on, että oppilas oppii työskentelemään turvallisesti, käyttämään luonnontieteellisen tiedonhankinnan kannalta tyypillisiä tutkimusmenetelmiä sekä arvioimaan tiedon luotettavuutta ja merkitystä. Oppilaan tulisi myös oppia tekemään luonnontieteellisiä tutkimuksia sekä tulkitsemaan ja esittämään niiden tuloksia. Kokeellisuuden tehtävänä on edistää uusien käsitteiden omaksumista, kehittää kokeellisen työskentelyn ja yhteistyön taitoja sekä innostaa oppilasta kemian opiskeluun.

3.1.1.3 Lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnos

Kokeellisuudella on vankka asema myös lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003). Opetuksen tavoitteena on, että opiskelijat oppivat havainnoimaan ja tutkimaan kokeellisesti elämän ja ympäristön kannalta tärkeitä kemiallisia ilmiöitä sekä aineiden ominaisuuksia. Heidän tulisi myös oppia kokeellisen työskentelyn ja muun aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsimään ja käsittelemään kemiallista tietoa sekä arvioimaan sitä kriittisesti. Pyrkimyksenä on myös kehittää opiskelijoiden valmiuksia suunnitella itsenäisesti kokeita sekä tulkita ja esittää niiden tuloksia.

3.1.2 Kokeellisuus biologian opetussuunnitelmissa

3.1.2.1 Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet

Kokeellinen työskentely liittyy olennaisesti biologian opetukseen peruskoulun opetussuunnitelman perusteissa (1994). Luonnon havainnoiminen ja tutkiminen muodostavat biologian opiskelun perustan. Maastotyöskentelyn ja oppilastöiden tavoitteena on perehdyttää oppilaat lajinmääritykseen, mittaus- ja tutkimusmenetelmiin, tulosten koamiseen ja vertailuun sekä johtopäätösten tekemiseen ja tiedon havainnollistamiseen.

3.1.2.2 Peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnos

Biologian opetus tukeutuu vahvasti kokeellisuuteen peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003). Ympäristö- ja luonnontiedon opetuksessa sekä vuosiluokkien 5-9 biologian opetuksessa on lähtökohtana luonnon havainnoiminen ja tutkiminen. Tavoitteena on, että oppilas oppii tekemään yksinkertaisia luonnontieteellisiä kokeita ja selostamaan niiden tuloksia.

3.1.2.3 Lukion opetussuunnitelman perusteet

Biologian opetus nojautuu vahvasti kokeellisuuteen lukion opetussuunnitelman perusteissa (1994). Biologiset tutkimusmenetelmät, kokeellinen työskentely sekä monipuolinen tiedonhankinta muodostavat biologian opiskelun perustan. Maastotyöskentely, erilaiset laboroinnit sekä mikroskopointi edustavat kokeellista ja tutkivaa lähestymistapaa biologian opetuksessa. Tavoitteena on myös, että opiskelijat oppivat arvioimaan tutkimustensa tuloksia, tekemään niistä johtopäätöksiä sekä esittämään niitä mahdollisimman havainnollisesti.

3.1.2.4 Lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnos

Kokeellisuudella on tärkeä rooli biologian opetuksessa lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003). Opetuksen tavoitteena on, että opiskelija perehtyy biologisen tiedonhankinnan ja tutkimuksen menetelmiin sekä oppii arvioimaan kriittisesti eri lähteistä saamaansa biologista tietoa. Opiskelijan tulisi myös oppia suunnittelemaan ja toteuttamaan yksinkertainen biologinen koe sekä tulkitsemaan sen tuloksia. Elollisen luonnon havainnoiminen ja tutkiminen luovat perustan myös lukion biologian opetukselle.

3.2 Luonnontieteiden oppiminen kokeellisuuden avulla

Kokeellisuus kuuluu olennaisesti luonnontieteiden opetukseen. Kokeellisen työskentelyn tavoitteena on tukea keskeisten käsitteiden omaksumista sekä kehittää oppilaiden luonnontieteellistä ajattelua. Tarkoituksena on myös antaa oppilaille valmiudet aktiiviseen tiedonhankintaan sekä tiedon kriittiseen arviointiin. Oppilaiden persoonallisuuden ja sosiaalisten vuorovaikutustaitojen monipuolinen kehittäminen ovat myös kokeellisen työskentelyn tärkeitä päämääriä. (<http://www.malux.edu.helsinki.fi>)

3.2.1 Kokeellinen työskentely luonnontieteiden opetuksessa

Kokeellisuus voi ilmetä usealla eri tavalla luonnontieteiden opetuksessa. Tyypillisimpiä esimerkkejä kouluopetuksessa käytettävistä kokeellisista työtavoista ovat oppilastyöt sekä demonstraatiot. Opintokäynnit ja projektityöskentely voivat myös edustaa opetuksen kokeellista puolta. (<http://www.malux.edu.helsinki.fi>) Tietokoneiden hyödyntäminen kokeellisessa työskentelyssä on tällä hetkellä vielä varsin vähäistä. (Aksela ja Juvonen, 1999) On kuitenkin todennäköistä, että tietokoneavusteisen työskentelyn osuus tulee lisääntymään merkittävästi viimeistään siinä vaiheessa, kun uusi opettajasukupolvi astuu työelämään.

Kokeellisten oppilastöiden tarkoituksena on antaa oppilaille mahdollisuus osallistua aktiivisesti kokeelliseen työskentelyyn. Oppilastyöt ovat tavallisesti joko kokeita tai vaativampia luonnontutkimustehtäviä. (<http://www.malux.edu.helsinki.fi>) Oppilaat työskentelevät yleensä pareittain tai pienissä ryhmissä. Osa opettajista jakaa luokan kah-tia, jolloin puolet oppilaista tekee kokeellisia töitä ja toinen puoli opiskelee jollakin muulla tavalla. Osa opettajista suosii myös työpistetyöskentelyä, jossa oppilaat kiertävät yksin, ryhmissä tai pareittain työpisteestä toiseen tehden eri töitä joko samasta tai eri aiheesta. Harvinaisempia kokeellisen työskentelyn muotoja ovat projektityöt ja yhteis-toiminnallinen oppiminen, jossa oppilaille on erilaisia rooleja ja he opettavat toisiaan. (Aksela ja Juvonen, 1999)

Kokeelliset oppilastyöt voidaan jakaa karkeasti suljettuihin ja avoimiin töihin. Suljetut työt ovat tyypillisesti mekaanisia suorituksia, jotka eivät juurikaan tarjoa älyllisiä haas-teita oppilaille. Onnistuneeseen lopputulokseen päädytään noudattamalla tunnollisesti yksityiskohtaista työohjetta. Avoimet oppilastyöt antavat sen sijaan runsaasti tilaa oppi-laiden omille ideoille ja aloitteille. Ne myös kannustavat oppilaita vastuulliseen ja itse-näiseen toimintaan. (<http://www.malux.edu.helsinki.fi>)

Luonnontieteiden opetuksessa käytetään oppilastöiden lisäksi myös runsaasti demonst-raatioita, joiden tarkoituksena on yleensä havainnollistaa oppitunnilla käsiteltäviä luon-nontieteellisiä ilmiöitä ja käsitteitä. Oppilaat eivät tavallisesti itse osallistu aktiivisesti demonstraatioiden toteuttamiseen. Heidän tehtävänä on tarkkailla ja havainnoida opettajan suorittamaa koetta tai mittausta. Demonstraatiot ovat usein näyttäviä ja yllä-tyksellisiä. (<http://www.malux.edu.helsinki.fi>)

3.2.2 Kokeellisen työskentelyn merkitys luonnontieteiden oppimisessa

Kokeellinen työskentely tukee parhaimmillaan luonnontieteiden oppimista monella eri tavalla. Se innostaa oppilaita ja lisää heidän mielenkiintoaan luonnontieteiden opiskelua kohtaan. Se myös edistää luonnontieteellisten ilmiöiden ja käsitteiden ymmärtämistä sekä antaa oppilaille realistisen kuvan luonnontieteistä ja niille ominaisista tutkimusmenetelmistä. Kokeellisella työskentelyllä on myös suuri merkitys oppilaiden teknisten ja motoristen taitojen kehittäjänä sekä sosiaalisen vuorovaikutuksen lisääjänä. (Hodson, 1998; Aksela ja Juvonen, 1999)

Kokeellisen työskentelyn on oltava tavoitteellista ja hyvin suunniteltua, jotta se tukisi luonnontieteiden oppimista tehokkaasti. Työskentelyn on myös tarjottava oppilaille riittävästi älyllistä haastetta. Nykyhetkellä vallitsevan konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen on dynaaminen prosessi, jonka aikana oppija konstruoii uuden tiedon aktiivisesti osaksi olemassa olevia tietorakenteitaan. Opittava tieto ei siirry itsestään, vaan syvällinen oppiminen edellyttää oppijalta huomattavia älyllisiä ponnistuksia. (Shiland, 1999)

Suljetut oppilastyöt ovat perusteltuja erityisesti luonnontieteiden opiskelun alkuvaiheessa, jolloin kokeellisen työskentelyn ensisijaisena tavoitteena on harjaannuttaa oppilaita turvalliseen laboratoriotyöskentelyyn. Oppilaiden valmiuksien kehittyessä tulisi myös töiden avoimuutta lisätä. Kokeellinen työskentely jää valitettavan usein täysin irralliseksi muusta opiskelusta. Opetus tulisikin suunnitella siten, että kokeellinen työskentely tukisi mahdollisimman tehokkaasti opetuksen teoreettista puolta eikä jäisi päämäärättömäksi puuhasteluksi. (Hodson, 1998; <http://malux.edu.helsinki.fi>)

4. Oppikirjat kemian ja biologian opetuksessa

4.1 Oppikirjan asema opetuksessa

Oppikirjalla on todettu olevan erittäin suuri vaikutus opetuksen sisältöön. Useimmat opettajat käyttävät oppikirjaa merkittävänä tiedon lähteenä suunnitellessaan opetustaan. Lisäksi on paljon opettajia, jotka rakentavat oppituntiansa sisällön pelkästään oppikirjan välittämän informaation pohjalta. Opettajien koulutustaustan ja oppikirjasidonnaisuuden välistä yhteyttä on tutkittu. Tutkimusten mukaan alemman asteen ja alemmalla arvosanalla opettavat opettajat ovat oppikirjasidonnaisempia kuin ylemmän asteen ja ylemmällä arvosanalla opettavat opettajat. (Ahtineva, 2000)

Kemianopettajista ainoastaan 35 % on suorittanut kemian laudaturoppimäärän, mikä eroaa huomattavasti matematiikan- ja fysiikanopettajien vastaavista osuuksista (91 % ja 59 %). Onkin todennäköistä, että kemianopettajat ovat keskimäärin muita matemaattisten aineiden opettajia oppikirjasidonnaisempia. (Ahtineva, 2000) Biologia on viime vuosien aikana kasvattanut voimakkaasti suosiotaan kemianopettajiksi opiskelevien toisena opetettavana aineena. Edellä esitetyn perusteella on odotettavissa, että oppikirjalla tulee olemaan suurempi vaikutus heidän opetuksensa sisältöön kuin biologiaa pääaineenaan opiskelleilla opettajilla.

4.2 Oppikirja-analyysi

Oppikirjojen sisältöä voidaan arvioida useilla eri tavoilla riippuen tutkimuksen luonteesta. Oppimista koskevissa oppikirjatutkimuksissa analysoidaan usein oppikirjan tekstityyppiä ja tekstin merkityssuhteita sekä näiden vaikutuksia luetun ymmärtämiseen. Voidaan myös tutkia oppikirjan sisältämän tiedon sidosteisuutta ja esitystapaa. (Ahtineva, 2000) Tässä tutkimuksessa on rajoitettu tarkastelemaan oppikirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyvän tiedon laatua, määrää sekä esitystapaa. Kirjojen tekstiä ei ole varsinaisesti analysoitu.

5. Tutkimus

5.1 Tutkimusongelmat

Tutkimus on kaksiosainen. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin, miten puskuriliuosaihe käsitellään lukion kemian ja biologian oppikirjoissa. Toisessa vaiheessa tutkittiin, miten oppikirjojen kokeelliset oppilastyöohjeet tukevat puskuriliuosaiheen oppimista. Tutkimuksen pääongelmat olivat laajoja, joten oli välttämätöntä rajata tutkimus muutamien keskeisten alaongelmien tarkasteluun. Erityisesti pyrittiin selvittämään, miten lukion opetussuunnitelman perusteissa (1994) ja lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003) esitetyt puskuriliuosaiheeseen ja kokeelliseen työskentelyyn liittyvät oppimistavoitteet on huomioitu oppikirjoissa tällä hetkellä. Tulokset kuvaavat puskuriliuosaiheen opetusta koulussa puskuriliuosaiheen käsitteiden ja ilmiöiden sekä kokeellisuuden osalta oppikirjasidonnaisessa kemian opetuksessa. Seuraavassa on esitetty tutkimuksen pääongelmat ja niiden jakautuminen alaongelmiin.

1. Miten puskuriliuosaihe käsitellään lukion kemian ja biologian oppikirjoissa?

- 1.1. Millaisia puskuriliuosaiheeseen liittyviä määritelmiä ja käsitteitä esitetään oppikirjoissa?
- 1.2. Millaisia ovat oppikirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyvät tehtävät?
- 1.3. Millaisia ovat oppikirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyvät kokeelliset oppilastyöohjeet?
- 1.4. Miten oppikirjoissa on tuotu esille puskuriliuosten merkitys biologisissa prosesseissa ja arkipäivän sovelluksissa?
- 1.5. Mitä eroja ja yhtäläisyyksiä on puskuriliuosaiheen käsittelyssä kemian ja biologian oppikirjoissa?

2. Miten kokeelliset oppilastyöohjeet tukevat puskuriliuosaiheen oppimista?

- 2.1. Edistävätkö kokeelliset oppilastyöohjeet puskurointi-ilmiön ja siihen liittyvien keskeisten käsitteiden ymmärtämistä?
- 2.2. Tarjoavatko puskuriliuosaiheeseen liittyvät kokeelliset oppilastyöohjeet riittäviä älyllisiä haasteita oppilaille?
- 2.3. Lisäävätkö kokeelliset oppilastyöohjeet oppilaiden innostusta ja motivaatioita puskuriliuosaiheen opiskelua kohtaan?
- 2.4. Tuovatko kokeelliset oppilastyöohjeet esille puskuriliuosten merkityksen biologisissa prosesseissa ja arkipäivän sovelluksissa?
- 2.5. Miten kokeellisia oppilastyöohjeita tulisi kehittää, jotta ne tukisivat paremmin puskuriliuosaiheen oppimista?

5.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksen toteutustapa on oppikirja-analyysi. Oppikirjoja käsitellään mahdollisimman objektiivisesti sekä kokonaisvaltaisesti oppikirja-analyysin mukaisesti (Ahtineva, 2002). Tutkimuksen tarkoituksena on tutkia kemian käsitteitä ja ilmiöitä puskuriliuosaihepiirissä, jotta ymmärretään paremmin puskuriliuosaiheen opetusta kemiassa ja biologiassa hyvin oppikirjasidonnaisessa koulusysteemissämme sekä pystytään kehittämään sen opetusta, esimerkiksi laadukkaampaa kokeellista työskentelyä. Tutkimuksessa ei vertailla oppikirjan tekijöitä eikä oppikirjoja laiteta paremmuusjärjestykseen puskuriliuosaiheen käsittelyn suhteen.

Kemian osuudessa tutkittiin neljää yleisesti käytössä olevaa kirjasarjaa, joita merkittiin tunnuksilla A, B, C ja D. Jokaiseen sarjaan kuuluvat kirjat / kurssit yksilöitiin alaindeksien 1, 2, 3, ... avulla. Biologian osuudessa tutkittiin kahta yleisesti käytössä olevaa kirjasarjaa. Kirjasarjoja merkittiin tunnuksilla E ja F. Yksittäiset kirjat / kurssit koodattiin kuten edellä oppikirja-analyysin mukaisesti.

Kirjasarjassa A on neljä osaa. Ensimmäinen osa on kemian pakollisen kurssin oppikirja. Toinen osa sisältää lukion orgaanisen kemian osuuden kokonaisuudessaan. Luvut 1-5 käsittävät kemian 2. kurssin sisällön ja luvut 6-8 sisältävät kemian syventävien kurssien orgaanisen kemian osuuden. Kolmas osa sisältää kemian syventävien kurssien epäorgaanisen kemian osuuden. Kirjasarjaan kuuluu lisäksi työkurssin käsikirja.

Kirjasarja B on neliosainen. Ensimmäinen osa sisältää kemian pakollisen kurssin ja toinen osa kemian 2. kurssin aineiston. Kirjasarjan kolmas osa sisältää kemian kurssit 3 ja 4. Neljäs osa on kertauskirja. Kirjasarja C on viisiosainen. Jokaiselle kemian neljälle kurssille on oma oppikirjansa. Viides osa on kertauskirja. Kirjasarja D on neljä osaa. Ensimmäinen osa on kemian pakollisen kurssin oppikirja. Toinen osa sisältää orgaanisen kemian syventävän kurssin aineiston. Kolmas osa sisältää puolestaan epäorgaanisen kemian syventävän kurssin materiaalin. Neljännessä osassa keskitytään kemiallisen reaktion tarkasteluun. Kaikissa oppikirjoissa on liitteenä CD-ROM -levy, joka sisältää oppikirjoissa olevat laboratoriotyöt. Tutkimuksessa käytetyt kemian kirjasarjat A-D on esitetty alla taulukoituina.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt kemian kirjasarjat.

A	Oppikirjan nimi	B	Oppikirjan nimi	C	Oppikirjan nimi	D	Oppikirjan nimi
A ₁	Peruskurssi	B ₁	Kokeellinen luonnontiede	C ₁	Kemia - kokeellinen luonnontiede	D ₁	Peruskurssi
A ₂	Orgaaninen kemia	B ₂	Elämän kemia	C ₂	Elämän kemia	D ₂	Orgaanisen kemian perusteet
A ₃	Epäorgaaninen kemia	B ₃	Alkuaineiden kemia Tutkimus ja teknologia	C ₃	Kemian elementit	D ₃	Epäorgaanisen kemian perusteet
A ₄	Työkurssin käsikirja	B ₄	Kertauskirja	C ₄	Tutkimus, teknologia ja ympäristö	D ₄	Kemiallinen reaktio
				C ₅	Kertaus		

Tutkimuksessa käytettiin kahta lukion biologian oppikirjaa. Kirjasarja E sisältää kuusi osaa. Ensimmäinen osa sisältää kahden pakollisen kurssin aineiston. Lisäksi sarjaan kuuluu kolme biologian syventävien kurssien kirjaa, laborointikirja sekä kertauskirja. Kirjasarja F on myös kuusiosainen. Kahden pakollisen kurssin lisäksi sarjaan kuuluu neljä biologian syventävää kurssia. Biologian kirjasarjat E ja F on esitetty alla taulukoituina.

Taulukko 2. Tutkimuksessa käytetyt biologian kirjasarjat.

E	Oppikirjan nimi	F	Oppikirjan nimi
E ₁	Elämä	F ₁	Eliömaailma
E ₂	Ihminen	F ₂	Perinnöllisyys ja evoluutio
E ₃	Geeni	F ₃	Ihminen
E ₄	Ympäristö	F ₄	Solubiologia ja biotekniikka
E ₅	Laborointi	F ₅	Ympäristö
E ₆	Kertaus	F ₆	Biologian sovelluksia

5.2.1 Tutkimusongelma 1

Tutkimuksessa perehdyttiin kirjasarjoihin A-F. Ensimmäiseksi tutkittiin, missä oppikirjoissa käsitellään puskuriliuosaihetta. Lähes kaikissa kirjoissa oli ainakin rivien välistä luettavissa jonkinlaisia yhteyksiä puskuriliuosaiheeseen, mutta varsinaiseen tutkimusaineistoon hyväksyttiin vain ne oppikirjat, joissa mainitaan ainakin kerran jokin puskuriliuosaiheeseen liittyvä käsite, kuten puskuriliuos, puskurikyky tai puskurointi. Siten tutkimusaineisto pysyi sopivan suppeana perusteellista analyysiä varten.

Taulukko 3. Tutkimuksen lopullinen tutkimusaineisto.

Kemia	A ₁	A ₃	B ₁	B ₃	B ₄	C ₄	D ₂	D ₄
Biologia	E ₁	E ₂	E ₆	F ₅	F ₆			

Ensimmäiseksi tutkittiin, miten puskuriliuosaihetta on käsitelty oppikirjoissa. Tutkimuksessa kiinnitettiin erityisesti huomiota oppikirjojen esittämien määritelmien täsmällisyyteen ja yksityiskohtaisuuteen. Sen jälkeen perehdyttiin oppikirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyviin tehtäviin ja kiinnitettiin erityistä huomiota tehtävien avoimuuteen. Lopuksi perehdyttiin oppikirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyviin kokeellisiin oppilastyöohjeisiin. Tarkoituksena oli selvittää yleisesti, millaisia oppilastyöohjeita kirjat sisältävät ja jättää niiden tarkempi analysointi tutkimuksen toiseen vaiheeseen. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin, miten hyvin oppikirjoissa on tuotu esille luonnon tärkeiden puskurisysteemien merkitys ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin kannalta.

5.2.2 Tutkimusongelma 2

Tutkimuksen toisessa vaiheessa tutkittiin tarkemmin oppikirjojen kokeellisia oppilastyöohjeita. Lukion kemian oppikirjoissa A₃ ja D₄ oli ainoastaan puskuriliuosaiheeseen liittyviä kokeellisia oppilastyöohjeita. Lukion biologian oppikirjat oli jätettävä tutkimuksen ulkopuolelle, sillä ne eivät sisältäneet laisinkaan kokeellisia oppilastyöohjeita. Myöskään laborointikirjassa E₅ ei ollut puskuriliuosaiheeseen liittyviä työohjeita.

Ensimmäiseksi tutkimuksessa tutkittiin, kuinka hyvin oppikirjojen kokeelliset oppilastyöohjeet edistävät puskuriliuosaiheeseen liittyvien ilmiöiden ja käsitteiden ymmärtämistä. Tutkimuksessa selvitettiin oppilastöiden pedagogisia tavoitteita sekä niiden ilmenemistä oppilastyöohjeissa. Tarkasteltiin myös oppilastyöohjeiden älyllistä haastavuutta. Tutkimuksessa kiinnitettiin erityistä huomiota töiden avoimuuteen ja vaativuuteen. Oppilastyöohjeiden innostavuutta ja motivoivuutta puskuriliuosaiheen arvioituun opiskelun kannalta. Lopuksi selvitettiin, kuinka hyvin oppikirjojen kokeelliset oppilastyöohjeet tuovat esille puskuriliuosten merkityksen ihmisen ja ympäristön kannalta.

6. Tulokset

6.1 Puskuriliuosaihe lukion kemian oppikirjoissa

6.1.1 Puskuriliuosaiheen käsittely oppikirjoissa

Kappaleessa käsitellään puskuriliuosaiheen käsitteitä ja ilmiöitä syvällisesti eri kemian oppikirjoissa A₃, B₃, B₄, C₄ ja D₄. Ensimmäisenä tutkitaan oppikirjaa A₃ ja kuvataan sen puskuriliuosaiheen käsittely. Puskuriliuoksen määritelmät ja keskeiset käsitteet oppikirjoissa on esitetty kootusti taulukoissa 4 ja 5. Kirjojen määritelmät ovat keskenään hyvin samankaltaisia. Keskeiset käsitteet eivät myöskään eroa toisistaan merkittävästi.

Taulukko 4a. Kemian kirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyviä määritelmiä

	Oppikirjojen määritelmiä	Keskeisiä käsitteitä
A₃	<ul style="list-style-type: none"> Puskuriliuoksessa on aina likimain yhtä paljon heikkoa happoa ja sitä vastaavaa emästä tai heikkoa emästä ja sitä vastaavaa happoa. Liuoksen emäs neutraloi pienet hapon lisäykset ja happo neutraloi vastaavasti pienet emäksen lisäykset. Oksonium- ja hydroksidionien konsentraatiot eivät muutu paljon. (s.150) 	<ul style="list-style-type: none"> puskuriliuos pH heikko happo ja sitä vastaava emäs heikko emäs ja sitä vastaava happo neutraloituminen tasapaino (ss.150-151)
B₃	<ul style="list-style-type: none"> Puskuriliuoksella tarkoitetaan sellaista liuosta, jonka pH ei sanottavasti muutu pienistä happo- tai emäslisäyksistä eikä laimennuksesta. Puskuriliuokset sisältävät yleensä yhtä suuret ainemäärät heikkoa happoa ja tämän suolaa tai heikkoa emästä ja tämän muodostamaa suolaa. (s.161) 	<ul style="list-style-type: none"> puskuriliuos puskurointikyky pH heikko happo ja sen suola heikko emäs ja sen suola tasapaino (ss.161-163)
B₄	<ul style="list-style-type: none"> Puskuriliuoksen pH ei pienestä happo- tai emäslisäyksestä eikä laimennuksesta sanottavasti muutu. Puskuriliuos voidaan valmistaa lisäämällä heikon hapon liuokseen tämän suolaa sama ainemäärä (esim. etikkahappoliuokseen natriumasetaattia) tai lisäämällä heikon emäksen liuokseen tämän suolaa (esim. ammoniakkiliuokseen ammoniumkloridia). (s.70) 	<ul style="list-style-type: none"> puskuriliuos pH heikko happo ja sen suola heikko emäs ja sen suola protolyysireaktion tasapaino (ss.70-71)

Taulukko 4b. Kemian kirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyviä määritelmiä

	Oppikirjojen määritelmiä	Keskeisiä käsitteitä
C₄	<ul style="list-style-type: none"> Puskuriliuokseksi sanotaan liuosta, jonka pH ei sanottavasti muutu happoa tai emästä lisätessä tai liuosta laimennettaessa. Puskuriliuoksia voidaan valmistaa heikosta haposta ja sen suolasta tai heikosta emäksestä ja sen suolasta. (ss. 55-56) 	<ul style="list-style-type: none"> puskuriliuos puskurivaikutus pH heikko happo ja sen suola heikko emäs ja sen suola puskurointikyky neutraloituminen protolyysitasapaino (ss. 55-57)
D₄	<ul style="list-style-type: none"> Liuoksia, jotka kykenevät vastustamaan pH:n muutoksia, kun niiden joukkoon lisätään pieniä määriä happoa tai emästä, sanotaan puskuriliuoksiksi. Puskuriliuos koostuu aina heikosta haposta ja sen vastinemäksestä tai heikosta emäksestä ja sen vastinhaposta. (s.92) 	<ul style="list-style-type: none"> puskuriliuos pH heikko happo ja sen vastinemäs heikko emäs ja sen vastinhappo neutraloituminen protolyysireaktion tasapaino Le Chatelier'n periaate (s.92)

Taulukko 5. Puskuriliuosaiheen käsittely kemian kirjoissa A₁, B₁ ja D₂

Kirja A₁	Kirja B₁	Kirja D₂
<ul style="list-style-type: none"> Veri on koostumukseltaan ns. puskuriliuos, jossa happoja ja emäslisäysten aiheuttamat happamuuden muutokset kumoutuvat nopeasti. (s.99) 	<ul style="list-style-type: none"> Useilla elävän luonnon nesteillä on kyky säilyttää pH-arvonsa kohtuullisesta happo- tai emäslisäyksestä huolimatta. Tällaisia liuoksia kutsutaan puskuriliuoksiksi. (s.87) 	<ul style="list-style-type: none"> Aminohapot ovat kahtaisioniluonteensa vuoksi amfoteerisiä aineita, eli ne voivat toimia sekä happoina että emäksinä. Tähän perustuu aminohappojen toiminta puskureina solulimassa. Puskuri tarkoittaa ainetta, joka pystyy vastustamaan ulkoisia pH:n muutoksia. Ottamalla vastaan tai luovuttamalla protoneja aminohappomolekyylille voi siis pitää solunesteen pH-arvon lähes vakiona. (s.121)

Kirjassa A₃ puskuriliuosaihetta on käsitelty happojen, emästen ja suolaliuosten yhteydessä. Kirjassa on aluksi selitetty lyhyesti puskuriliuoksen kemiallinen koostumus sekä puskuroinnin toimintaperiaate. Sen jälkeen on tarkasteltu lähemmin etikkahapon ja natriumasettiin muodostamaa puskuriliuosta, jossa molempien komponenttien konsentraatiot ovat 0,100 mol/l. Etikkahapon protolyysireaktio on kirjoitettu näkyviin ja sen alle on merkitty liuoskomponenttien alku- ja tasapainokonsentraatiot.

Liuksen $[H_3O^+]$ on laskettu etikkahapon happovakion lausekkeesta ja sen avulla on edelleen ratkaistu liuksen pH. Sitten on kuvattu, miten liuksen pH muuttuu, kun siihen lisätään suolahappoa siten, että sen konsentraatioksi tulee 0,010 mol/l. Etikkahapon protolyysireaktio on kirjoitettu uudelleen ja sen alle on merkitty komponenttien konsentraatiot ennen hapon lisäämistä, hapon lisäämisen jälkeen sekä tasapainotilassa. Liusuksen pH on laskettu kuten edellä ja todettu sen vähäinen muutos. Lopuksi on vertailun vuoksi arvioitu, kuinka paljon vesiliuksen pH olisi muuttunut, jos siihen olisi lisätty vastaava määrä suolahappoa.

Kirjassa B₃ on käsitelty puskuriliuosaihetta kemiallisen tasapainon yhteydessä. Aihetta on lähestytty kahden käytännön kokeen avulla. Ensimmäisessä kokeessa tutkitaan, miten vesiliuksen ja yhtä suuret tilavuudet 1-molaarista etikkahappoa ja 1-molaarista natriumasetaatiliuosta sisältävän liuksen pH-arvot muuttuvat, kun niihin lisätään 10 ml 0,1-molaarista suolahappoa. Toisessa kokeessa puolestaan tutkitaan, miten kyseisten liuosten pH-arvot muuttuvat lisättäessä 10 ml 0,1-molaarista NaOH-liuosta. Koetulosten perusteella on vedetty johtopäätös, että etikkahappoa ja natriumasetattia sisältävässä liuksessa on oltava emäs, joka sitoo lisättävän hapon protonit sekä happo, joka sitoo lisättävän emäksen hydroksidi-ionit.

Kirjassa B₃ on kirjoitettu näkyviin etikkahapon protolyysireaktio ja selitetty varsin perusteellisesti puskuroinnin toimintaperiaate. Happo- ja emäslisäysten vaikutukset reaktion tasapainoon on käsitelty yksityiskohtaisesti. Sen jälkeen kirjassa on mainittu, että ammoniakki ja ammoniumkloridi muodostavat toisen yleisesti käytetyn puskuriliuksen. On myös todettu, että puskuriliuksia voidaan valmistaa neutraloimalla osittain heikkoa happoa emäksellä tai heikkoa emästä hapolla. Kirjassa on myös tuotu esille, että puskuriliukset sisältävät yleensä yhtä suuret ainemäärät heikkoa happoa ja tämän suolaa tai heikkoa emästä ja tämän muodostamaa suolaa.

Kirja B₄ on kertauskirja, joten se poikkeaa paljon normaaleista oppikirjoista. Kirjassa on käsitelty puskuriliuosaihetta hyvin lyhyesti ja tiivistetysti. Aluksi on todettu, että puskuriliuksen pH ei sanottavasti muutu happo- tai emäslisäysten vaikutuksesta. On myös kerrottu, miten puskuriliuksia voidaan valmistaa. Sen jälkeen on tarkasteltu lähemmin ammoniakin ja ammoniumkloridin muodostamaa puskuriliosta.

Ammoniakin protolyysireaktio ja ammoniumkloridin dissosioitumisreaktio on kirjoitettu näkyviin ja sen jälkeen todettu, että suolan liuetessa $[\text{NH}_4^+]$ kasvaa, jolloin ammoniakin protolyysireaktion tasapaino siirtyy vasemmalle. Seuraavaksi on tarkasteltu, millaisia reaktioita liuoksessa tapahtuu, kun sinne lisätään vähän suolahappoa tai NaOH-liuosta. Reaktioyhtälöt on kirjoitettu näkyviin ja lopuksi todettu, että liuoksen happamuudessa ei tapahdu suuria muutoksi, koska $[\text{NH}_4^+]$ on suuri.

Kirjassa C₄ on käsitelty puskuriliuosaihetta happo-emästasapainon yhteydessä. Aluksi on mainittu, että elollinen luonto ei siedä suuria pH:n muutoksia, joten esimerkiksi solunesteiden on sisällettävä aineita, jotka pystyvät estämään happamuuden tai emäksisyyden aiheuttamat haitalliset muutokset. Seuraavaksi on todettu, että solunesteet ovat ominaisuuksiltaan puskuriliuosten kaltaisia, minkä jälkeen on esitetty lyhyt määritelmä puskuriliuokselle. Kirjassa on myös lähestytty puskuriliuosaihetta käytännön kokeen avulla, joka muistuttaa erittäin paljon koetta 1 kirjassa B₃. Ainoana erona on se, että tutkittaviin liuoksiin lisätään indikaattoria, joka ilmaisee suolahappolisäyksen aiheuttamat pH:n muutokset, jolloin ei tarvitse mitata erikseen liuosten pH:ta kuten kokeessa 1.

Kokeessa havaittavat tulokset on selitetty yksityiskohtaisesti ja selkeästi. Ensin on todettu, että vesiliuoksen pH muuttui herkästi, koska puhtaassa vedessä mikään ei neutraloinut suolahapon sisältämiä oksoniumioneja. Sen jälkeen on käyty perusteellisesti läpi etikkahapon ja natriumasetaatin muodostaman puskuriliuoksen toimintaperiaate. Ensimmäiseksi on käsitelty tapausta, jossa puskuriliuokseen lisätään happoa. Kirjassa on mainittu, että lisätty happo neutraloituu asetaatti-ionien ja hapon oksoniumionien reagoimissa keskenään.

Reaktioyhtälö on kirjoitettu näkyviin. Sen jälkeen on todettu, että emästä lisättäessä puskuriliuoksen etikkahappo reagoi hydroksidi-ionien kanssa, jolloin lisätty emäs neutraloituu. Reaktioyhtälö on tässäkin tapauksessa kirjoitettu näkyviin. Sen jälkeen on todettu, että esitettyjen reaktioiden perusteella voidaan päätellä, että kyseisen puskuriliuoksen puskurointikyky on hyvä, jos siinä sekä etikkahapon että natriumasetaatin konsentraatiot ovat suuret.

Kirjassa C₄ on kerrottu yleisesti, miten puskuriliuoksia voidaan valmistaa, minkä jälkeen on tarkasteltu yksityiskohtaisesti etikkahapon ja natriumasetaatin muodostaman puskuriliuoksen pH:n määrittystä. Aluksi on kirjoitettu näkyviin etikkahapon happovakiosta lauseke, josta on edelleen ratkaistu puskuriliuoksen oksoniumionikonsentraatio. Sen jälkeen on kirjoitettu näkyviin etikkahapon protolyysireaktio ja selitetty perusteellisesti, miten reaktion tasapaino siirtyy entisestään lähtöaineiden puolelle, kun etikkahappoon lisätään natriumasetaattia puskuriliuoksen valmistusvaiheessa.

Kirjassa on lisäksi todettu, että tasapainotilassa puskuriliuoksen etikkahappo- ja asetaattikonsentraatiot ovat riittävän tarkasti samat kuin niiden vastaavat alkukonsentraatiot, joten oksoniumionin lausekkeen happo- ja emäskonsentraatiot voidaan korvata alkukonsentraatioilla. Samassa yhteydessä on mainittu, että laimentaminen ei siten muuta puskuriliuoksen oksoniumionikonsentraatiota eikä pH:ta. Lopuksi on todettu, että mikäli puskuriliuoksen etikkahapon ja natriumasetaatin alkukonsentraatiot ovat yhtä suuret, puskuriliuoksen oksoniumionikonsentraatio on riippuvainen pelkästään etikkahapon happovakiosta. Kyseinen riippuvuus on kirjoitettu näkyviin ja kirjassa on myös esitetty pH:n riippuvuus etikkahapon happovakiosta. Lopuksi on todettu, että edellä esitetyt tulokset ovat yleistettävissä.

Kirjassa D₄ on käsitelty puskuriliuosaihetta syventävän tiedon kappaleessa happo-emäskemian yhteydessä. Aluksi on esitetty määritelmä puskuriliuokselle ja selitetty sen kemiallinen koostumus. Etikkahapon ja natriumasetaatin sekä ammoniakkin ja ammoniumkloridin muodostamat puskurisysteemit on mainittu esimerkkeinä puskuriliuoksista. Lisäksi on tuotu esille, että puskuriliuoksilla on monia tärkeitä sovelluksia kemiassa, biokemiassa sekä lääketieteessä. Kirjassa on annettu kolme esimerkkiä siitä, miten puskuriliuoksia voidaan valmistaa käytännössä. Sen jälkeen kirjassa on tarkasteltu lähemmin puskuriliuoksen toimintaperiaatetta. Esimerkiksi on valittu etikkahapon ja natriumasetaatin muodostama puskuriliuos, joka sisältää molempia komponentteja yhtä suuret ainemäärät.

Ensimmäiseksi on kirjoitettu näkyviin etikkahapon ja natriumasetaatin dissosioitumisreaktiot vesiliuoksessa. Kirjassa on todettu, että etikkahapon protolysoituminen kyseisessä liuoksessa on vielä vähäisempää kuin puhtaassa vedessä, koska liuoksessa olevat asetaatti-ionit siirtävät etikkahapon protolyysireaktion tasapainoa Le Chatelier'n periaatteen mukaisesti lähtöaineiden puolelle. Kirjassa on käsitelty tarkemmin tapausta, jossa puskuriliuokseen lisätään pieni määrä happoa. Tekstissä kerrotaan, että siinä tapauksessa liuoksen asetaatti-ionit toimivat emäksenä ja neutraloivat lisätyn hapon oksoniumionit, jolloin muodostuu lisää etikkahappoa. Kyseinen reaktioyhtälö on kirjoitettu näkyviin. Sen perään on todettu, että kyseinen reaktio muuttaa etikkahapon protolyysireaktion tasapainotilaa, jonka seurauksena liuoksen oksoniumionikonsentraatio hieman kasvaa, mutta pH ei muutu sanottavasti.

Kirjassa on erityisesti tarkasteltu tapausta, jossa puskuriliuokseen lisätään pieni määrä vahvaa emästä. Kirjassa selitetään, että tällöin liuoksen etikkahappomolekyylit neutraloivat emäksen hydroksidi-ionit, jolloin muodostuu vettä ja asetaatti-ioneja. Reaktioyhtälö on kirjoitettu näkyviin. Sen perään on todettu, että oksoniumionikonsentraatio muuttuu hieman tämänkin muutoksen seurauksena, mutta pH-arvo pysyy lähes vakiona. Edellä esitettyjen tarkastelujen lisäksi kirjassa on tutkittu puskuriliuoksen toimintaa etikkahapon happovakion lausekkeen avulla.

Kirjassa on mainittu, että asetaatti- ja etikkahappokonsentraatioiden välinen suhde on likimäärin yksi, sillä puskuriliuokseen pyritään saamaan yhtä suuret ainemäärät happoa ja sen vastinemästä. Tällöin etikkahapon happovakion lausekkeesta, joka on kirjoitettu näkyviin, on saatu $[H_3O^+] = K_a$. Lisäksi on otettu kyseisestä yhtälöstä puolittain kymmenkantaisen logaritmin vastaluku ja saatu edelleen, että $pH = -\lg[H_3O^+] = -\lg K_a$. Yhtälöön on sijoitettu etikkahapon happovakio ja saatu puskuriliuoksen pH:ksi 4,74. Sen jälkeen on jälleen tarkasteltu happo- ja emäslisäysten vaikutuksia puskuriliuokseen ja kirjoitettu uudelleen näkyviin asetaatti-ionien ja oksoniumionien sekä etikkahappomolekyyliden ja hydroksidi-ionien välisten reaktioiden reaktioyhtälöt. Tekstissä on selitetty, miten asetaatti-ionikonsentraatiot ja etikkahappokonsentraatio muuttuvat happo- ja emäslisäysten vuoksi, mutta todettu, että niiden suhde pysyy lähellä arvoa 1, jolloin liuoksen pH ei juurikaan muutu. Kirjassa on lopuksi esitetty kaavio, joka kuvaa etikkahappo-asetatipuskurin toimintaa. (Kirja D₄)

6.1.2 Puskuriliuosaiheeseen liittyvät tehtävät

Oppikirjat A₃, B₃, B₄, C₄ ja D₄ sisältävät puskuriliuosaiheeseen liittyviä tehtäviä ja esimerkkejä. Kirjassa B₁ on yksi aiheita läheisesti sivuava tehtävä. Taulukossa 6 on esitetty oppikirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyvät tehtävät tyyppinsä mukaisesti jaoteltuina. Kaikkiaan kirjoista löytyy 22 erilaista tehtävää.

Taulukko 6. Kemian kirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyvät tehtävät.

Kirja	Laskutehtävä	Sanallinen tehtävä	Yhdistetty sanallinen ja laskutehtävä	Reaktioyhtälötehtävä	Yhdistetty reaktioyhtälö- ja laskutehtävä	Tehtävien lukumäärä
A ₃	2	2				4
B ₁		1				1
B ₃	3	1				4
B ₄	2					2
C ₄	1		1	2	1	5
D ₄	1	2	1	1	1	6

Suurin osa kirjojen tehtävistä on mekaanisia laskutehtäviä, mutta joukossa on myös muutama hieman avoimempi tehtävä. Kirjassa A₃ on yksi kertaosiossa oleva esimerkki, kolme varsinaista tehtävää sekä yksi kertaustehtävä. Kirjan esimerkissä esitetään, kuinka etikkahapon ja natriumhydroksidin muodostaman liuoksen pH lasketaan. Ratkaisussa on kirjoitettu näkyviin neutraloitumisreaktio ja todettu, että liuoksessa on neutraloitumisen jälkeen heikkoa happoa ja heikkoa emästä, joten on syntynyt puskuriliuos. Sen jälkeen on esitetty etikkahapon protolyysireaktio ja laskettu liuoksen pH kirjan teoriaosuudessa esitetyllä tavalla.

Ensimmäisessä varsinaisessa tehtävässä on tarkoituksena selvittää, mitkä viidestä annetusta kahden yhdisteen seoksesta voivat toimia puskuriliuoksena. Tehtävä mittaa varsin hyvin konjugoidun happo-emäsparin käsitteen ymmärtämistä. Kaksi muuta varsinaista tehtävää ovat täysin mekaanisia laskutehtäviä. Toisessa niistä on ratkaistava, kuinka paljon 1,0 litraan 1,0-molaarista etikkahappoa on lisättävä natriumasettaattia, jotta saataisiin puskuriliuos, jonka pH on 5,08.

Toisessa tehtävässä on puolestaan a) kohdassa laskettava yhtä suuret tilavuudet 0,100-molaarista etikkahappoa ja 0,500-molaarista natriumasetaattia sisältävän puskuriliuoksen pH. Tehtävän b) kohdassa on laskettava liuoksen pH, kun 0,200 litraan puskuriliuosta lisätään 0,100 litraa 0,100-molaarista HCl-liuosta. Kertaustehtävässä pyydetään selittämään sanallisesti, miten puskuriliuos toimii. (Kirja A₃)

Kirjassa B₁ on yksi puskuriliuosaihetta sivuava sanallinen tehtävä, jossa pyydetään selittämään, miten happamien sateiden aiheuttamaa peltojen happamoitumista voidaan vähentää. (Kirja B₁) Kirjassa B₃ on yksi puskuriliuosaiheeseen liittyvä laskuesimerkki, kolme tehtävää sekä yksi kertaustehtävä. Esimerkki on merkitty tähdellä, sillä se on perustehtäviä vaativampi. Esimerkin a) kohdassa on laskettava, mikä on muodostuvan liuoksen pH, kun 0,20 mol etikkahappoa ja 0,20 mol natriumasetaattia liuotetaan veteen ja laimennetaan litraksi. Sen jälkeen b) kohdassa on laskettava pH, kun liuokseen lisätään 0,02 mol natriumhydroksidia. Esimerkin c) kohdassa on vastaavasti laskettava pH, kun liuokseen lisätään 0,02 mol vetykloridia. Viimeisessä kohdassa on tarkasteltava pH:n muuttumista, kun liuosta laimennetaan.

Esimerkin kolme ensimmäistä kohtaa ovat mekaanisia laskutehtäviä, jotka on ratkaistu selkeällä ja asianmukaisella tavalla. Esimerkin d) kohdassa on todettu, että etikkahapon ja asetaatin konsentraatioiden suhde muuttuu verrattain vähän laimennuksessa ja pH säilyy hyvin. Lopuksi on tuotu vertailun vuoksi esille, miten vetykloridiliuoksen pH muuttuu laimennettaessa. Kirjan tehtävät ovat pitkälti samantyyppisiä kuin kirjan A₃ tehtävät. Ensimmäisessä varsinaisessa tehtävässä on laskettava voihappoa ja natriumformiaattia sisältävän puskuriliuoksen pH, kun voihapon ja natriumformiaatin konsentraatiot ja tilavuudet tunnetaan. Liuoksen pH on laskettava kolmella eri natriumformiaatin tilavuudella. Tehtävänanto on virheellinen, sillä natriumformiaatti on muurahaishapon suola, joten se ei voi muodostaa voihapon kanssa puskuriliuosta.

Toisessa varsinaisessa tehtävässä on laskettava pH, kun 200 ml:aan 0,10-molaarista ammoniakkiliuosta lisätään 5,0 g ammoniumkloridia. Kolmannessa varsinaisessa tehtävässä pyydetään selvittämään, mitkä neljästä annetusta titraukseen liittyvästä väittämästä pitävät paikkaansa. Tehtävän ohessa on kuvaaja, joka esittää fosforihapon titrausta natriumhydroksidilla. Titrauskäyrään on merkitty näkyviin kolme pistettä A, B ja C.

Tehtävä mittaa erinomaisesti titraukseen sekä puskurointiin liittyvien asioiden osaamista. Sen onnistunut ratkaiseminen edellyttää erityisesti ekvivalenttipisteen käsitteen syvällistä ymmärtämistä sekä kykyä tulkita graafisia esityksiä. Kirjan kertaosiossa on lisäksi yksi mekaaninen laskutehtävä, jossa on laskettava muodostuvan puskuriliuoksen pH, kun 0,010 mol ammoniakkia ja 0,010 mol ammoniumkloridia liuotetaan yhteen litraan vettä. (Kirja B₃)

Kirjassa B₄ on yksi puskuriliuosaiheeseen liittyvä esimerkki sekä kaksi tehtävää. Esimerkissä tarkastellaan ammoniakkin ja ammoniumkloridin muodostamaa puskuriliuosta. Ammoniakin konsentraatio on 0,10 mol/l ja ammoniumkloridin 0,11 mol/l. Kyseiseen puskuriliuokseen lisätään 0,01 mol natriumhydroksidia. Esimerkissä on esitetty yksityiskohtaisesti, miten liuoksen pH lasketaan ennen ja jälkeen emäslisäyksen. Kirjan tehtävät ovat hyvin paljon esimerkin kaltaisia.

Ensimmäisessä tehtävässä on a) kohdassa laskettava 0,050-molaarisen vetyfluoridiliuoksen pH. Liuoksen tilavuus on 100 ml. Tehtävän b) kohdassa on laskettava pH, kun liuokseen lisätään 200 ml 0,10-molaarista natriumfluoridiliuosta. Toisessa tehtävässä on a) kohdassa laskettava 0,0100-molaarisen bentsoehappoliuoksen pH. Tehtävän b) kohdassa kysytään, kuinka paljon a) kohdan bentsoehappoliuokseen on lisättävä kiinteää natriumbentsoaattia, kun halutaan valmistaa puskuriliuos, jonka pH on 5,00. (Kirja B₄)

Kirjassa C₄ on yksi puskuriliuosaiheeseen liittyvä esimerkki, kolme varsinaista tehtävää sekä kaksi kertaustehtävää. Esimerkissä tarkastellaan etikkahapon ja natriumasetatin muodostamaa puskuriliuosta, joka on valmistettu lisäämällä 500 ml:aan 0,10-molaarista etikkahappoa 6,20 g vedetöntä natriumsulfaattia. Kirjassa esitetään, miten kyseisen puskuriliuoksen pH lasketaan. Ensimmäisessä varsinaisessa tehtävässä kysytään a) kohdassa, mikä reaktio tapahtuu, kun ammoniakkin ja ammoniumkloridin muodostamaan puskuriliuokseen lisätään vahvaa happoa. Tehtävän b) kohdassa kysytään puolestaan, mikä reaktio tapahtuu lisättäessä vahvaa emästä.

Toisessa varsinaisessa tehtävässä on laskettava bentsoehapon ja natriumbentsoatin muodostaman puskuriliuoksen pH, kun liuoksen tilavuus on litra ja bentsoehapon ja natriumbentsoatin massat ovat 25,6 g ja 25,9 g. Kolmannessa varsinaisessa tehtävässä tarkastellaan edelleen bentsoehapon ja natriumbentsoatin muodostamaa puskuriliuosta.

Tehtävässä kysytään, mikä on sellaisen kyseisistä aineista valmistetun puskuriliuoksen pH, jossa niiden konsentraatiot ovat yhtä suuret. Tehtävässä pyydetään vertaamaan saatua tulosta edellisen tehtävän tulokseen. Lopuksi kysytään, millä keinolla puskuriliuoksen pH:ta voidaan muunnella.

Kirjan ensimmäisessä puskuriliuosaiheeseen liittyvässä kertaustehtävässä esitellään aluksi yhdiste nimeltään tris(hydroksimetyyli)aminometaani eli TRIS. Tehtävänannossa on lyhyesti mainittu, että kyseisen emäksen ja sen suolan muodostamia puskuriliuoksia käytetään yleisesti biokemiallisissa tutkimuksissa, sillä näiden puskuriliuosten pH alue (7-9) on fysiologisesti tärkeä. Tehtävän a) ja b) kohdissa pyydetään kirjoittamaan reaktioyhtälöt TRIS:n ja veden sekä TRIS:n ja suolahapon reaktioille. Tehtävän c) kohdassa on laskettava pH puskuriliuokselle, jossa $c(\text{TRIS}) = 0,30 \text{ mol/l}$ ja $c(\text{TRIS}^+ \text{Cl}^-) = 0,60 \text{ mol/l}$.

Toinen puskuriliuosaiheeseen liittyvä kertaustehtävä on ympäristökemian sovellus. Tehtävän a) ja b) kohdat liittyvät happosateisiin ja sadeveden luontaisen happamuuden aiheuttaviin tekijöihin. Tehtävän c) kohdassa mainitaan aluksi, että sadeveden happamuus ei vaurioita maaperää kalkkikivialueilla niin helposti kuin esimerkiksi graniittialueilla. Sen jälkeen pyydetään kirjoittamaan kalkkikiven ja jonkin sadevettä happamoittavan hapon välisen reaktion yhtälö. (Kirja C₄)

Kirjassa D₄ on kaksi puskuriliuosaiheeseen liittyvää esimerkkiä, neljä varsinaista tehtävää sekä kaksi syventävää tehtävää. Ensimmäisessä esimerkissä tarkastellaan ammoniakkin ja ammoniumkloridin muodostamaa puskuriliuosta. Tehtävänä on ensimmäiseksi osoittaa reaktioyhtälöiden avulla, että $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -liuos voi toimia puskurina ja sen jälkeen laskea sellaisen puskuriliuoksen pH, joka on valmistettu liuottamalla 15,0 g ammoniumkloridia 500 ml:aan 0,50-molaarista ammoniakki-liuosta.

Ratkaisu on esitetty erittäin selkeästi ja perusteellisesti. Reaktioyhtälöt ja laskutoimitukset on kirjoitettu yksityiskohtaisesti näkyviin, minkä lisäksi ratkaisun kulkua on selitetty sanallisesti. Toisessa esimerkissä tutkitaan pH-mittarin kalibrointiin tarvittavaa puskuriliuosta. Tarkoituksena on selvittää, kuinka paljon kiinteää natriumasettaattia on lisättävä 500 ml:aan 0,10-molaarista etikkahappoliuosta, jotta liuoksen pH:ksi tulee 5,00. Ratkaisu on esitetty yhtä selkeästi ja yksityiskohtaisesti kuin kirjan ensimmäisessä esimerkissä.

Kirjan ensimmäinen varsinainen tehtävä on sanallinen. Tehtävässä kysytään, mitkä aneetuista liuoksista voivat toimia puskuriliuoksina, kun yhtä suuret tilavuudet liuoksia yhdistetään. Liuosten konsentraatiot on merkitty näkyviin. Tehtävässä on kuusi erillistä kohtaa. Tehtävänannossa pyydetään lisäksi perustelemaan tehdyt valinnat. Toisessa varsinaisessa tehtävässä pyydetään osoittamaan reaktioyhtälöjen avulla, miten divetyfosfaatti-vetyfosfaattipuskuri vastustaa veren pH:n muuttumista.

Kolmannessa varsinaisessa tehtävässä tarkastellaan metaanihapon ja natriummetanaatin muodostamaa puskurisysteemiä. Tehtävän a) kohdassa pyydetään selvittämään reaktioyhtälöin kyseisen puskuriliuoksen toiminta ja b) kohdassa laskemaan sen pH. Neljännessä varsinaisessa tehtävässä on laskettava sellaisen puskuriliuoksen pH, joka on valmistettu liuottamalla 2,00 g bentsoehappoa ja 2,00 g natriumbentsoaattia veteen siten, että liuoksen lopputilavuudeksi tulee 750 ml.

Kirjan ensimmäisessä syventävässä tehtävässä pyydetään määrittämään kaikkien liuoksessa esiintyvien ionien konsentraatiot, kun $1,5 \cdot 10^{-3}$ mol muurahaishappoa on liuotettu veteen 1,0 litraksi liuosta. Tehtävässä kysytään myös, mitä suolaa liuokseen tulee lisätä, jotta siitä muodostuu puskuriliuos. Toisessa syventävässä tehtävässä tarkastellaan titrauskäyrää, joka oli saatu titraamalla ammoniakkin vesiliuosta HCl-liuoksella. Titrauskäyrään on merkitty näkyviin neljä pistettä A, B, C ja D. Tehtävässä on neljä kohtaa, joista kolmessa ensimmäisessä on valittava pisteistä A-D se, jossa pätee kohdassa esitetty väittämä. Vastaukset on perusteltava sanallisesti. Kohdassa d) esitetään liuoksen happamuuteen kohdassa C liittyvä kysymys. (Kirja D₄)

6.1.3 Puskuriliuosaiheeseen liittyvät kokeelliset oppilastyöt

Puskuriliuosaiheeseen liittyviä kokeellisia oppilastyöohjeita on ainoastaan oppikirjoissa A₃ ja D₄ (Taulukko 7). Kirjassa A₃ on neljä erilaista työohjetta, jotka ovat kaikki erittäin selkeitä ja yksityiskohtaisia. Niissä käsitellään puskuriliuoksen toimintaperiaatetta yleisellä tasolla sekä tutkitaan myös maaperän ja vesien puskuriominaisuuksia.

Tarvittavat välineet ja reagenssit on lueteltu työohjeiden alussa. Jokainen työvaihe on esitetty niin tarkasti, että väärinkäsityksiä ei pitäisi syntyä. Kolmessa työohjeessa on varsinaisen työohjeen lisäksi johdantokappale, joka antaa runsaasti taustatietoa työn aihepiiristä. Kaksi työohjetta sisältävät myös oppilaiden pohdittavaksi tarkoitettuja kysymyksiä.

Taulukko 7. Kemian kirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyvät oppilastyöohjeet.

Kirja	Työn nimi	Työn sisältö
A ₃	<ul style="list-style-type: none"> Puskuriliuoksen toimintaperiaate 	<ul style="list-style-type: none"> etikkahappo/natriumasetaattipuskurin toiminnan tutkiminen
A ₃	<ul style="list-style-type: none"> Veden kokonaisalkaliniteetin määrittäminen 	<ul style="list-style-type: none"> vesijohtoveden kokonaisalkaliniteetin määrittäminen titrauksen avulla
A ₃	<ul style="list-style-type: none"> Luonnonvesien puskurikyky 	<ul style="list-style-type: none"> erilaisten vesinäytteiden puskurikyvyn tutkiminen titrauksen avulla
A ₃	<ul style="list-style-type: none"> Maanäytteen happamuus ja puskurikyky 	<ul style="list-style-type: none"> erilaisten maanäytteiden puskurikyvyn tutkiminen KCl-käsittelyn avulla erilaisten maanäytteiden happopitoisuuden määrittäminen titrauksen avulla
D ₄	<ul style="list-style-type: none"> Puskuriliuoksen toiminnan tutkiminen 	<ul style="list-style-type: none"> etikkahappo/natriumasetaattipuskurin toiminnan tutkiminen

Ensimmäisessä työssä tutkitaan puskuriliuoksen toimintaperiaatetta. Työ toteutetaan seuraavalla tavalla. Kahdeksan koeputkea täytetään tutkittavilla liuoksilla seuraavasti: putkiin 1 ja 2 kaadetaan 2 ml puhdasta vettä, putkiin 3 ja 4 kaadetaan 2 ml 1,0-molaarista etikkahappoliuosta, putkiin 5 ja 6 kaadetaan 2 ml 1,0-molaarista natriumasetaattiliuosta ja putkiin 7 ja 8 kaadetaan 2 ml liuosta, jossa sekä etikkahapon että natriumasetaatin konsentraatiot ovat 1,0 mol/l. Mitataan putkissa olevien liuosten pH:t. Sen jälkeen lisätään putkiin 1,3,5 ja 7 0,5 ml 1,0-molaarista HCl-liuosta ja putkiin 2,4,6 ja 8 0,5 ml 1,0-molaarista NaOH-liuosta. Mitataan putkissa olevien liuosten pH:t ja vertaillaan saatuja tuloksia. Työohjeen lopuksi pyydetään selittämään pH:n muutosten erot.

Toisessa työssä määritetään veden kokonaisalkaliniteetti. Työohjeen alussa on noin puolen sivun mittainen johdanto, jossa käsitellään perusteellisesti veden alkaliniteettia ja sen mittaamista. Johdannon lopussa on esitetty kolme reaktioyhtälöä, jotka kuvaavat suolahapon reaktiota hydroksidi-ionin, vetykarbonaatti-ionin ja karbonaatti-ionin kanssa. Työn toteutus on seuraavanlainen. Byretti täytetään 0,010-molaarisella HCl-liuoksella. Keittopulloon mitataan 100 ml tutkittavaa vettä ja lisätään 4 pisaraa indikaattoriliuosta. Lisätään suolahappoliuosta tippoittain, kunnes liuksen väri vaihtuu punertavaksi. Sekoitetaan liuosta lisäysten välillä. Lämmitetään liuosta tarvittaessa ja lisätään suolahappoliuosta uudelleen värinmuutokseen saakka. Luetaan byretistä titrausliuksen kulutus ja lasketaan veden kokonaisalkaliniteetti eli CaCO_3 -pitoisuus CaCO_3 :n ja suolahapon reaktioyhtälön avulla yksiköissä mg/l. Vertaillaan tulosta veden normaaleihin arvoihin.

Kolmannessa työssä tutkitaan luonnonvesien puskurikykyä titraamalla. Työohjeen alussa on pieni johdantokappale, jossa käsitellään lyhyesti luonnonvesien puskurikykyä. Johdannossa annetaan myös opastusta luonnonvesien titraukseen. Työ toteutetaan seuraavasti. Mitataan keittopulloon 100 ml tutkittavaa vettä ja mitataan sen pH. Täytetään byretti joko 0,005-molaarisella HCl-liuoksella tai 0,005-molaarisella NaOH-liuoksella. Lisätään titrausliuosta 1:n tai 2:n millilitran välein ja mitataan pH joka lisäysten jälkeen. Jatketaan titrausta, kunnes pH on muuttunut 2-3 yksikköä. Esitetään tulokset graafisesti ja tehdään vertailumittaus käyttäen tutkittavana liuksena tislattua vettä.

Neljännessä oppilastyössä tutkitaan maaperän happamuutta ja puskurikykyä. Työohjeen alussa on noin sivun mittainen johdanto, jossa käsitellään varsin perusteellisesti maaperän viljavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Erityisesti on tarkasteltu maaperän happamoitumista ja sen torjuntaa. Työ toteutetaan seuraavalla tavalla. Punnitaan 100 g maanäytettä kahteen erlenmeyerpulloon ja lisätään toiseen pulloon 250 ml tislattua vettä ja toiseen 250 ml KCl-liuosta. Suljetaan pullot ja ravistellaan niitä pari minuuttia, minkä jälkeen odotetaan 15-30 minuuttia. Suodatetaan liuokset ja mitataan suodosten pH:t. Vertaillaan eri maanäytteiden puskurikykyä.

Työohjeessa mainitaan, että maan puskurikyky on sitä parempi, mitä suurempi on maanäytteen vesiliuoksen ja KCl-liuoksen ero. Samassa yhteydessä kysytään, minkälainen suhde on raekoon ja puskurikyvyn välillä sekä pyydetään miettimään, miksi käsitelty suodos antaa yleensä alemman pH-arvon. Lopuksi kaadetaan 100 ml KCl-liuoksella käsiteltyä suodosta erlenmeyeriin ja lisätään muutama pisara fenoliftaleiinia indikaattoriksi. Titrataan liuos NaOH-liuoksella vaaleanpunaiseksi ja lasketaan näytteen sisältämä happomäärä millimooleina. (Kirja A₃)

Kirjassa D₄ on ainoastaan yksi puskuriliuosaiheeseen liittyvä kokeellinen oppilastyöohje. Työssä tutkitaan mikrovälineillä puskuriliuoksen kykyä vastustaa pH:n muutoksia. Työohje on selkeä ja yksityiskohtainen. Aluksi on mainittu, miltä kirjan sivuilta löytyy aiheeseen liittyvää taustatietoa. Sen jälkeen on kerrottu työn tarkoitus ja lueteltu työssä tarvittavat aineet ja välineet. Työn toteutukseen on annettu erittäin tarkat ohjeet. Työvaiheet on numeroitu ja kuvailtu viimeistä yksityiskohtaa myöten. Tulosten käsittelyyn on myös kiinnitetty paljon huomiota.

Työohjeen lopussa on kolme työhön liittyvää tehtävää, jotka ovat hyvin samankaltaisia kuin kirjan varsinaiset tehtävät. Ensimmäinen tehtävä on täysin samanlainen kuin neljäs varsinainen tehtävä. Toisen tehtävän b) kohta on samanlainen kuin toinen varsinainen tehtävä. Siihen on kuitenkin lisätty a) ja c) kohdat, joissa pyydetään kirjoittamaan divetyfosfaatin protolyysireaktio veressä sekä selvittämään, mikä vetyfosfaatti- ja divetyfosfaatti-ionien konsentraatioiden suhteen on oltava, jotta veren pH pysyisi arvossa 7,20. Kohdassa c) on ilmeisesti painovirhe veren pH-arvon kohdalla. Kolmannessa tehtävässä on laskettava sellaisen puskuriliuoksen pH, joka saadaan sekoittamalla keskenään 70,0 ml 0,10-molaarista etikkahappoa ja 50,0 ml 0,10-molaarista natriumhydroksidia.

Työ toteutetaan seuraavalla tavalla. Kaadetaan neljään eri kennoon etikkahappo-, natriumasetaatti, suolahappo- ja natriumhydroksidiliuosta. Sen jälkeen kaadetaan kahdeksaan kennoon eri aineita seuraavasti: 20 pisaraa tislattua vettä kennoihin 1 ja 2, 20 pisaraa etikkahappoliuosta kennoihin 3 ja 4, 20 pisaraa natriumasetaattiliuosta kennoihin 5 ja 6 sekä 10 pisaraa etikkahappoliuosta ja 10 pisaraa natriumasetaattiliuosta kennoihin 7 ja 8. Sitten mitataan kennojen 1, 3, 5 ja 7 liuosten pH ja lisätään niihin 2 pisaraa HCl-liuosta.

Sen jälkeen lisätään 2 pisaraa natriumhydroksidiliuosta kennoihin 2, 4, 6 ja 8, minkä jälkeen mitataan kaikkien kennojen pH. Kun työ on saatu valmiiksi, tulokset taulukoidaan. Lisäksi on selitettävä, mitä pH-arvoille tapahtui lisättäessä happoa ja natriumhydroksidia. Vastaukset on myös perusteltava. On myös selostettava reaktioyhtälöiden avulla työssä käytetyn etikkahappo/natriumasettaattipuskurin toimintaperiaate. Lisäksi on laskettava kennoissa 7 ja 8 olevan puskuriliuoksen pH ja verrattava sitä mitattuun arvoon. (Kirja D₄)

6.1.4 Puskuriliuosten merkitys ihmisen ja ympäristön kannalta

Kaikissa oppikirjoissa kirjaa B₄ lukuun ottamatta tuodaan tavalla tai toisella esille puskuriliuosten merkitys ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin kannalta (Taulukko 8). Luonnon tärkeiden puskurisysteemien toimintaperiaatteita ei kuitenkaan ole erityisemmin käsitelty muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Kirja A₁ sisältää lyhyen elimistön happoja ja emäksiä käsittelevän kappaleen. Siinä tarkastellaan erityisesti veren puskuriominaisuuksia. Kirjan tekstissä mainitaan, että veri on koostumukseltaan puskuriliuos, jossa happo- ja emäslisäysten aiheuttamat happamuuden muutokset kumoutuvat nopeasti. (Kirja A₁)

Taulukko 8. Luonnon tärkeiden puskurisysteemien käsittely kemian kirjoissa

Kirja	Luonnon tärkeiden puskurisysteemien käsittelytapa
A₁	<ul style="list-style-type: none"> • tuodaan esille veren puskuriominaisuudet
A₃	<ul style="list-style-type: none"> • käsitellään kattavasti veren happo-emästasapainoa ja sitä horjuttavia tekijöitä • tuodaan esille veren puskuriominaisuudet
B₁	<ul style="list-style-type: none"> • ei käsitellä varsinaisesti luonnon tärkeitä puskurisysteemejä, mutta sivutaan aihetta varsin läheltä
B₃	<ul style="list-style-type: none"> • mainitaan, että monilla eläin- ja kasvikunnan nesteillä, kuten verellä ja maidolla on voimakas puskuriominaisuus • tuodaan esille humuksen puskuriominaisuus
C₄	<ul style="list-style-type: none"> • tuodaan esille solunesteiden puskurikyky • käsitellään pintapuolisesti maaperän puskurikykyä
D₂	<ul style="list-style-type: none"> • mainitaan, että aminohapot ovat soluliman puskureita
D₄	<ul style="list-style-type: none"> • käsitellään kattavasti veren ja solunesteiden puskuriominaisuuksia

Kirjassa A₃ käsitellään aukeaman verran hyperventilaatiota ja veren happo-emästasapainoa. Tekstissä mainitaan, että elimistön entsyymit toimivat pH-alueella 7-8, ja valtimoveren pH on yleensä välillä 7,35-7,45. Sen jälkeen todetaan, että pH:n siirtyminen alueen 7,0-8,0 ulkopuolelle aiheuttaa hengenvaarallisen tilan, minkä jälkeen käsitellään lyhyesti veren puskurikykyä. Kirjassa kerrotaan, että veren puskurikyky perustuu pääasiassa hemoglobiiniin ja muihin veren proteiineihin sekä vereen liuenneiden vetykarbonaatti-ionien ja hiilihapon tasapainoreaktioon. Tekstissä käsitellään myös varsin laajasti veren happo-emästasapainoa horjuttavia tekijöitä sekä elimistön puolustautumista niitä vastaan. (Kirja A₃)

Kirjassa B₁ ei käsitellä varsinaisesti ihmisen ja ympäristön kannalta tärkeiden puskurisysteemien toimintaa. Kirjassa tuodaan kuitenkin esille, että useimmat kasvit ja eläimet ovat erittäin herkkiä pH:n vaihtelulle. Tekstissä myös kerrotaan, että maaperän liiallista happamuutta voidaan vähentää kalkitsemalla. Lisäksi mainitaan, että ihmisen monet kemialliset reaktiot tapahtuvat tarkoin määrätyissä pH-rajoissa ja kehon eri osien pH-arvot poikkeavat suuresti toisistaan eri kudoksissa toimivien entsyymien vaatimusten mukaan. (Kirja B₁)

Kirjassa B₃ tuodaan useaan otteeseen esille puskuriliuosten merkitys ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin kannalta. Tekstissä mainitaan, että monilla eläin- ja kasvikunnan nesteillä, kuten verellä ja maidolla, on voimakas puskuriominaisuus. Lisäksi kerrotaan, että monien entsyymien toiminta on rajoittunut vain tietyille pH-alueille. Kirjassa mainitaan myös, että veren pH on normaalisti välillä 7,35-7,45 ja selitetään lyhyesti, mitä seurauksia on pH:n siirtymisellä kyseisen alueen ulkopuolelle. Kirjassa käsitellään myös järvien happamoitumista ja tuodaan samassa yhteydessä esille humuksen puskuriominaisuus. (Kirja B₃)

Kirjassa C₄ tuodaan myös esille puskuriliuosten merkitys ihmisen ja ympäristön kannalta. Kirjassa mainitaan, että proteiinit ja entsyymit ovat erittäin herkkiä pH:n vaihteluille, joten solunesteiden on sisällettävä puskuroivia aineita. Lisäksi kirjassa käsitellään melko perusteellisesti happosateita ja niiden vaikutuksia ympäristöön. Samassa yhteydessä on lyhyesti mainittu, että maaperän koostumus ja kallioperän kiviaines vaikuttavat suuresti siihen, miten hyvin maaperä pystyy torjumaan happamoitumista. (Kirja C₄) Kirjassa D₂ ei juurikaan ole käsitelty puskuriliuosaihetta. Tekstissä kuitenkin mainitaan ohimennen, että aminohapot ovat soluliman puskureita. (Kirja D₂)

Kirjassa D₄ on sivun mittainen kappale, joka sisältää runsaasti tietoa erityisesti veren puskuriominaisuuksista. Aluksi kirjassa mainitaan, että monet biokemialliset reaktiot ovat äärimmäisen herkkiä ympäristön pH:n muutoksille, sillä esimerkiksi entsyymit toimivat tehokkaasti vain hyvin kapealla pH-alueella. Sen jälkeen todetaan, että ihmisen solunesteissä on useita puskurisysteemejä, joiden tehtävänä on pitää näiden nesteiden pH vakiona.

Seuraavaksi käsitellään veren puskurikykyä. Kirjassa mainitaan, että veren pH on normaalisti välillä 7,35-7,45 ja tuodaan esille, mitä seurauksia on veren pH:n siirtymisellä kyseisen alueen ulkopuolelle. Sitten käsitellään hieman tarkemmin veren hiilihappovetykarbonaattipuskurin toimintaa. Reaktioyhtälöt on kirjoitettu näkyviin ja lisäksi on sanallisesti selitetty, miten puskuri pyrkii säilyttämään veren pH:n vakiona. Kirjassa on myös esitetty kattava katsaus happosateista ja niiden vaikutuksista ympäristöön. Happamoitumista torjuvia puskurisysteemejä ei kuitenkaan ole käsitelty millään tavalla. (Kirja D₄)

6.2 Puskuriliuosaihe lukion biologian oppikirjoissa

Puskuriliuosaiheen käsittely on erittäin vähäistä lukion biologian oppikirjoissa (Taulukot 9 ja 10). Yhdessäkään kirjassa ei esitetä puskuriliuokselle kunnollista määritelmää eikä käsitellä sen kemiallista koostumusta. 'Puskuriliuos' termiä ei mainita kertaakaan. Aihetta sivutaan yleensä korkeintaan muutamalla virkkeellä lähinnä maaperän ja vesistöjen happamoitumisen tai ihmisen biologian yhteydessä.

Kirjassa E₂ kerrotaan, että veren hemoglobiini on tärkeä puskuri. Kirjassa F₆ tuodaan lyhyesti esille, mitä tarkoitetaan maaperän puskurointikyvyllä. Kirjoissa E₁ ja F₅ käsitellään sekä maaperän että vesistöjen puskurointikykyä. Kirjassa E₆ esitetään, että happamoituminen tarkoittaa veden puskurointikyvyn alenemista. Määritelmä on harhaanjohtava, sillä todellisuudessa puskurointikyvyn aleneminen johtaa happamoitumiseen.

Taulukko 9. Puskuriliuosaiheen käsittely biologian kirjasarjassa E.

Kirja E ₁	Kirja E ₂	Kirja E ₆
<ul style="list-style-type: none"> Rikin ja typen oksidit yhdessä maatalouden ammoniakkipäästöjen kanssa alentavat maaperän ja veden puskurikykyä eli kykyä sietää happamuuden muutoksia. (s.123) 	<ul style="list-style-type: none"> Hemoglobiini on tärkeä puskuri, joka estää veren happamoitumista sitomalla vetyioneja. (s.31) 	<ul style="list-style-type: none"> Happamoitumisella tarkoitetaan veden puskurikyvyn alenemista. (s.42)

Taulukko 10. Puskuriliuosaiheen käsittely biologian kirjasarjassa F.

Kirja F ₅	Kirja F ₆
<ul style="list-style-type: none"> Suomessa on tuhansia pikku järviä, joiden happamuutta neutraloivat aineet ovat kuluneet vähiin ja joiden puskurointikyky on näin ollen heikko. (s.93) Happaman veden vetyionit syrjäyttävät maaperän positiivisia ravinneioneja, jolloin maan puskurointikyky eli kyky neutraloida happamoittavia aineita heikkenee. (s.94) 	<ul style="list-style-type: none"> Happaman veden vetyionit syrjäyttävät maaperän positiivisia ravinneioneja, jolloin maan puskurointikyky eli kyky neutraloida happamoittavia aineita heikkenee. (s.127) Koska maaperän puskurointikyky on aikojen kuluessa huonontunut, happaman laskeuman määrät ylittävät nykyään kriittisen kuormituksen. (s.129)

Tutkitut oppikirjat eivät sisällä laisinkaan kokeellisia oppilastyöohjeita. Kirjasarjaan E kuuluva erillinen laborointikirja E₅ ei myöskään sisällä puskuriliuosaiheeseen liittyviä oppilastöitä. Kirja E₂ on ainoa tutkituista oppikirjoista, joka ei sisällä edes kirjallisia tehtäviä. Muissa kirjoissa on runsaasti tehtäviä, mutta yhdessäkään niistä ei varsinaisesti käsitellä puskuriliuosaihetta. Osa kirjojen tehtävistä kuitenkin sivuaa aihetta erittäin läheisesti. Kyseisiä tehtäviä on koottu taulukkoon 11.

Taulukko 11. Biologian kirjojen puskuriliuosaihetta sivuavia tehtäviä.

Tehtävä	Oppikirja
<ul style="list-style-type: none"> Vesistöjen happamoituminen. Miten happamoituneiden vesistöjen tilaa voitaisiin parantaa? 	<ul style="list-style-type: none"> E₁: s.291 E₆: s.44
<ul style="list-style-type: none"> Raskasmetallit ekosysteemeissä. 	<ul style="list-style-type: none"> E₁: s.292 E₆: s.44
<ul style="list-style-type: none"> Happamoitumisen vaikutukset metsäekosysteemeissä. 	<ul style="list-style-type: none"> E₆: s.44
<ul style="list-style-type: none"> Maamme luonnonvesien saastuminen ja vesien suojelu. 	<ul style="list-style-type: none"> E₆: s.44
<ul style="list-style-type: none"> Järvellä pilkkivät kalamiehet alkoivat epäillä järven happamoituneen, vaikka he saivat komeita ahvenia saaliikseen. Mistä he saattoivat tulla sellaiseen päätelmään? 	<ul style="list-style-type: none"> F₅: s.171 F₆: s.167

6.3 Kokeelliset oppilastyöohjeet lukion kemian oppikirjoissa

Lukion kemian oppikirjoissa oli yhteensä viisi oppilastyöohjetta. Taulukkoon 12 on koottu kemian oppikirjojen kokeelliset oppilastyöohjeet, joita käsitellään yksityiskohtaisemmin tässä kappaleessa.

Taulukko 12. Kemian kirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyvät oppilastyöohjeet.

Kirja	Työn nimi	Työn sisältö	Työn hyvät puolet	Työn huonot puolet
A ₃	<ul style="list-style-type: none"> Puskuriliuksen toimintaperiaate 	<ul style="list-style-type: none"> etikkahappo/natriumasetaattipuskurin toiminnan tutkiminen 	<ul style="list-style-type: none"> nopea yksinkertainen 	<ul style="list-style-type: none"> reseptimäinen suljettu ei tarjoa älyllistä haastetta tulosten käsittely vajavaista
A ₃	<ul style="list-style-type: none"> Veden kokonaisalkaliniteetin määrittäminen 	<ul style="list-style-type: none"> vesijohtoveden kokonaisalkaliniteetin määrittäminen titrauksen avulla 	<ul style="list-style-type: none"> harjaannuttaa laboratoriotyökentelyyn mielenkiintoinen aihe havainnollinen 	<ul style="list-style-type: none"> reseptimäinen suljettu ei tarjoa älyllistä haastetta
A ₃	<ul style="list-style-type: none"> Luonnonvesien puskurikyky 	<ul style="list-style-type: none"> erilaisten vesinäytteiden puskurikyvyn tutkiminen titrauksen avulla 	<ul style="list-style-type: none"> harjaannuttaa laboratoriotyökentelyyn ja tulosten käsittelyyn mielenkiintoinen aihe 	<ul style="list-style-type: none"> reseptimäinen suljettu työn toteutus ei tarjoa älyllistä haastetta
A ₃	<ul style="list-style-type: none"> Maanäytteen happamuus ja puskurikyky 	<ul style="list-style-type: none"> erilaisten maanäytteiden puskurikyvyn tutkiminen KCl-käsittelyn avulla erilaisten maanäytteiden happopitoisuuden määrittäminen titrauksen avulla 	<ul style="list-style-type: none"> harjaannuttaa laboratoriotyökentelyyn mielenkiintoinen aihe yllätyksellinen 	<ul style="list-style-type: none"> reseptimäinen suljettu
D ₄	<ul style="list-style-type: none"> Puskuriliuksen toiminnan tutkiminen 	<ul style="list-style-type: none"> etikkahappo/natriumasetaattipuskurin toiminnan tutkiminen 	<ul style="list-style-type: none"> harjaannuttaa tulosten käsittelyyn yhdistää hyvin teorian ja kokeellisuuden 	<ul style="list-style-type: none"> liian yksityiskohmainen työohje reseptimäinen suljettu työn toteutus ei tarjoa älyllistä haastetta

Kirjan A₃ ensimmäinen kokeellinen oppilastyöohje käsittelee puskuriliuoksen toimintaperiaatetta. Työn hyvänä puolena voidaan pitää nopeaa ja yksinkertaista toteutusta. Reagenssit ja työvälineet ovat myös helposti saatavilla. Työssä on kuitenkin paljon erilaisia puutteita. Se ei ole älyllisesti järin haastava (Shiland, 1999), sillä sen onnistunut toteuttaminen edellyttää ainoastaan hyvää sisälukutaitoa. Tällöin on mahdollista, että oppilaalle jää täysin epäselväksi työn tarkoitus ja sen yhteys puskuriliuosaiheen opetuksen teoriaosuuteen. Työohjeen lopussa on yksi työhön liittyvä kysymys, johon vastaaminen edellyttää puskuriliuosaiheen melko hyvää ymmärtämistä.

Työ havainnollistaa puskurointi-ilmiötä hieman puutteellisella tavalla, sillä koeputkissa oleviin liuoksiin lisätään pieni määrä happoa tai emästä ainoastaan yhden kerran. Hap- po- ja emäslisäyksiä tulisi jatkaa niin pitkään, kunnes liuos on menettänyt puskurointi- kykynsä. Jos näin ei menetellä, oppilaat saattavat jäädä sellaiseen käsitykseen, että pus- kuriliuoksilla on rajaton kyky puskuroida happoja ja emäksiä. Työ ei ole kovin innosta- va, sillä se ei anna laisinkaan tilaa oppilaiden luovuudelle ja mielikuvitukselle. Tutkitta- vaksi puskuriliuokseksikin on valittu kaikkein tavanomaisin vaihtoehto. Työssä tarkas- tellaan lisäksi ainoastaan yhtä puskuriliuosta, joten sen avulla on vaikeata havainnollis- ta, että jokaisella puskuriliuoksella on oma karakteristinen puskurialueensa liuoksen pK_a -arvon ympäristössä. Puskuriliuosten merkitystä ympäristön ja ihmisen kannalta ei myöskään tuoda mitenkään esille työohjeessa.

Kirjan A₃ toisessa oppilastyöohjeessa määritetään veden kokonaisalkaliniteetti. Työoh- jeen alussa oleva johdanto on mielenkiintoinen ja tuo hyvin esille vesijohtoveden pus- kurikyvyn merkityksen käytännön kannalta. Johdannossa esitetään myös perusteellisesti työn teoreettinen tausta ja keskeiset reaktioyhtälöt. Varsinainen työohje on valitettavasti hyvin suljettu ja reseptimäinen. Ainoan älyllisen haasteen tarjoaa työohjeen lopussa oleva laskutehtävä, joka edellyttää ainemäärän käsitteen ymmärtämistä. Tehtävä ei ole erityisen vaativa, sillä sen perustana oleva reaktioyhtälö on esitetty työohjeen yhteydes- sä valmiiksi tasapainotettuna. Työohjeessa on puutteita, mutta se soveltuu kuitenkin varsin hyvin esimerkiksi laboratoriotyöskentelyn harjoitteluun.

Työssä havainnollistetaan puskurointi-ilmiötä indikaattorin avulla. Mitä suurempi on tutkittavan veden puskurikyky, sitä enemmän on lisättävä happoa värinmuutoksen aikaansaamiseksi. Visuaalisuuteen perustuvat työmenetelmät ovat hyviä, sillä ne jäävät yleensä muita menetelmiä paremmin oppilaiden mieliin ja lisäävät heidän kiinnostustaan kokeellista työskentelyä kohtaan. Veden kokonaisalkaliniteetin määrittäminen on mielenkiintoinen oppilastyö sen vuoksi, että työn aihe liittyy kiinteästi arkielämään ja tuo esille puskuriliuosten merkityksen käytännön sovelluksissa. Työn toteuttamisessa ei sinänsä ole muuta jännittävää kuin liuoksen värinmuutoksen odottaminen. On ehdottoman tärkeää, että oppilaat varmasti ymmärtävät työn teoreettisen taustan ja titrauksen toimintaperiaatteen ennen työn toteuttamista. Muussa tapauksessa työ jää helposti ”taikatemppu”-asteelle.

Kirjan A₃ kolmannessa oppilastyöohjeessa tutkitaan luonnonvesien puskurikykyä. Työn aihe on mielenkiintoinen ja käytännönläheinen. Työohjeen alussa oleva pieni johdanto antaa lisäksi hyödyllistä taustatietoa työn toteuttamista varten. Työssä on paljon hyviä puolia. Sen toteuttaminen on nopeaa ja yksinkertaista. Sen avulla voidaan myös tehokkaasti kehittää oppilaiden titraustaitoja sekä harjoitella pH-mittarin käyttöä. Työn toteuttaminen parantaa lisäksi oppilaiden valmiuksia tutkimustulosten graafiseen käsittelyyn, mikä on erityisen tärkeää luonnontieteellisen ajattelun kehittymisen kannalta.

Työ ei sovellu erityisen hyvin puskurointi-ilmiön havainnollistamiseen, sillä näyttävät värinmuutokset jäävät puuttumaan. Työ tarjoaa kuitenkin hyvät mahdollisuudet erilaisien vesinäytteiden puskurikykyjen vertailulle. Luonnonvesien tila on asia, joka sivuaa oppilaiden elämää hyvin läheltä. Sen vuoksi työ on varmasti mielekäs ja innostava. Se saattaa myös parhaimmillaan herättää oppilaiden kiinnostuksen ympäristönsuojelua kohtaan sekä kannustaa heitä etsimään tietoa muista luonnon tärkeistä puskurisysteemeistä. Työn varsinainen toteutus ei tarjoa juurikaan älyllisiä haasteita, sillä työohje on hyvin suljettu ja reseptimäinen. Tulosten käsittely saattaa kuitenkin olla osalle oppilaista hyvinkin haastavaa, minkä vuoksi työn teettäminen on erittäin perusteltua.

Kirjan A₃ neljännessä oppilastyöohjeessa tarkastellaan maaperän puskurikykyä. Työohjeen alussa oleva johdanto sisältää runsaasti aiheeseen liittyvää lisätietoa ja tuo selkeästi esille puskuriliuosten merkityksen ympäristön ja ihmisen hyvinvoinnin kannalta. Työn aihe on mielenkiintoinen ja kiinnostava. Oppilaat ovat todennäköisesti motivoituneita tutkimaan oman lähiympäristönsä tilaa. Työn mielekkyyttä lisää myös se, että mittaus tulokset saattavat olla hyvinkin vaihtelevia ja yllätyksellisiä. Työ havainnollistaa siis erinomaisesti, että maanäytteiden puskurikyvyssä on vaihtelua. Työohje on hyvin samankaltainen kuin muutkin kirjan A₃ työohjeet. Työvaiheiden lomaan on kuitenkin sijoitettu kaksi avointa kysymystä, jotka antavat oppilaille runsaasti ajattelemisen aihetta. (Kirja A₃)

Kirjan D₄ ainoa puskuriliuosaiheeseen liittyvä kokeellinen oppilastyöohje käsittelee puskuriliuoksen toimintaperiaatetta. Työn toteutus on nähtävissä kirjan työ-CD-ROM-levyllä, mikä helpottaa oppilaiden itsenäistä opiskelua. Työ on toteutukseltaan lähes identtinen kirjan A₃ ensimmäisen työn kanssa. Eroavaisuuksia on ainoastaan työvälineissä ja liuosten määrissä. Työohje on myös huomattavasti yksityiskohtaisempi kuin kirjassa A₃. Työohje on suunnattu lukion kemian syventävän kurssin oppilaille, joilla pitäisi olla vähintäänkin keskinkertaiset valmiudet itsenäiseen työskentelyyn ja järjestykseen.

Kirjan D₄ työohje on monessa suhteessa parempi kuin kirjan A₃ ensimmäinen työohje. Kokeellinen työskentely on esimerkiksi yhdistetty erittäin hyvin opetuksen teoreettiseen osuuteen. Työohje sisältää runsaasti aiheeseen liittyviä laskutehtäviä ja kysymyksiä, jotka kytkevät kokeellisuuden ja teorian luontevaksi kokonaisuudeksi. Työohjeessa pyydetään esimerkiksi laskemaan valmistetun puskuriliuoksen teoreettinen pH-arvo, ja vertaamaan sitä mitattuun arvoon. Tällaiset tehtävät ovat hyviä selventämään oppilaille kokeellisten luonnontieteiden perimmäistä olemusta. Työohjeessa on myös panostettu tulosten käsittelyyn, mikä on erittäin hyvä asia. On todella tärkeää, että oppilaat saavat mahdollisimman varhaisessa vaiheessa realistisen käsityksen luonnontieteellisistä tutkimusmenetelmistä. (Kirja D₄)

6.4 Kokeellisten oppilastyöohjeiden kehittäminen

Nykyhetkellä vallitsevan konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen on dynaaminen prosessi, jossa opittava tieto sulautuu jo olemassa olevien tietorakenteiden osaksi. Oppilailla on runsaasti arkielämän kokemuksiin perustuvia alkukäsityksiä, jotka vähitellen muotoutuvat tai osittain korvautuvat oppimisprosessin aikana. Oppilaalla on erittäin aktiivinen rooli oppimisessa. Opittava tieto ei siirry itsestään vaan sen omaksuminen edellyttää runsaasti älyllisiä ponnistuksia. Sosiaalisella vuorovaikutuksella on myös suuri merkitys, sillä se edistää oppilaiden tiedollista kehitystä. (Vosniadou ja Ioannides, 1998; Shiland, 1999; Ahtineva, 2000)

Puskuriliuoksen toimintaperiaatetta (Kirjat A₃ ja D₄) sekä veden kokonaisalkaliniteettia (Kirja A₃) käsitteleviä oppilastyöohjeita kehitettiin konstruktivistisen oppimiskäsityksen pohjalta. Niiden avoimuutta pyrittiin lisäämään, jotta ne tarjoaisivat oppilaille enemmän älyllistä haastetta (Shiland, 1999). Hypoteesien tekemiseen ja testaamiseen kiinnitettiin erittäin paljon huomiota kehitystyön aikana. Myös sosiaalisen vuorovaikutuksen määrää pyrittiin lisäämään mahdollisimman paljon. Shilandin (1999) ohjeet suljettujen työohjeiden parantamiseksi ovat oivallisia. Niitä hyödynnettiin monella tavoin. Lukion opetussuunnitelman perusteita (1994) sekä lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnosta (2003) käytettiin myös apuna työohjeiden kehittämisessä. Oppikirjojen sisältämien oppilastyöohjeiden vähäisyyden vuoksi kehitysosuudessa esitetään lisäksi kaksi uutta työohjetta.

6.4.1 Puskuriliuoksen toimintaperiaate

Kirjoissa A₃ ja D₄ tutkitaan lähes samalla tavoin etikkahappo/natriumasetaattipuskurin toimintaa. Kehitetty työohje (Liite 1) on eräänlainen synteesi kyseisten oppikirjojen työohjeista. Siihen on myös sisällytetty aivan uudenlaisia osioita. Alkuperäisten työohjeiden nimet ovat ”Puskuriliuoksen toimintaperiaate” (Kirja A₃) sekä ”Puskuriliuoksen toiminnan tutkiminen” (Kirja D₄).

Kehitystyön eräänä tavoitteena oli karsia alkuperäisten työohjeiden ennalta arvattavuutta mahdollisimman tehokkaasti. (vrt. Shiland, 1999) Sen vuoksi valitsin kehitetyn työohjeen nimeksi ”Erilaisten liuosten pH-arvojen tutkiminen”, joka ei paljasta mitenkään, että työssä tutkitaan puskuriliuosten toimintaa.

Työn sisältöä ei juurikaan muutettu, mutta alkuperäisten työohjeiden reseptimäisestä muotoilusta luovuttiin. Aineiden ja välineiden tarvikeluettelot jätettiin myös pois, jotta oppilaat saisivat itse osallistua työn suunnitteluun. Käytettävien liuosten pitoisuudet merkittiin kuitenkin näkyviin. Työvaiheet pyrittiin kuvailemaan siten, että työn toteuttaminen kehittäisi mahdollisimman hyvin oppilaiden ajattelua ja kykyä soveltaa tietoa. Työohjeessa esimerkiksi kuvaillaan eri työvaiheet ainoastaan yhdelle tutkittavalle liuokselle, joten oppilaiden tehtävänä on soveltaa annettuja ohjeita muiden liuosten tutkimiseen.

Työohje on aika suljettu, mutta se kuitenkin tarjoaa melko paljon älyllistä haastetta (Shiland, 1999). Oppilaiden on osattava itsenäisesti merkitä työssä käyttämänsä kahdeksan koeputkea, jotta tutkittavat liuokset eivät sekaantuisi. Tämä on tietenkin itsestään selvää laboratoriotyöskentelyyn harjaantuneille, mutta innostuneilta oppilailta se saattaa helposti unohtua. Oppilaat joutuvat myös miettimään, miten työssä tehtävät happo- ja emäslisäykset olisi järkevintä tehdä, jotta niistä selviydyttäisiin mahdollisimman pienellä vaivalla.

Shiland (1999) korostaa oppilaiden omien hypoteesien merkitystä oppimisen kannalta. Kehitettyyn työohjeeseen lisättiin osio, jossa oppilaiden on ennustettava tutkittavien liuosten pH-arvojen muutokset, kun niihin lisätään pieni määrä happoa tai emästä. Oppilaita kehoitetaan myös vaihtamaan näkemyksiään muiden oppilaiden kanssa, mikä on myös erittäin toivottavaa Shilandin (1999) mielestä. Kun ennusteet on tehty, oppilaita pyydetään mittaamaan liuosten pH:t ja arvioimaan omien ennusteidensa oikeellisuutta. Sen jälkeen oppilaita pyydetään vielä ennustamaan, mitä tapahtuu, jos happo- ja emäslisäyksiä jatketaan sekä testaamaan ennusteensa käytännössä. Tämän tarkoituksena on auttaa oppilaita havaitsemaan puskurikyvyn rajallisuus.

Kehitystyön yhtenä tärkeänä tavoitteena oli painottaa tulosten käsittelyn tärkeyttä. Kehitettyssä työohjeessa pyydetään ensimmäiseksi taulukoimaan työn tulokset, kuten kirjan D₄ työohjeessa. Työohje ei sisällä valmista taulukkoa tuloksia varten, sillä Shilandin (1999) mielestä oppilaiden tulisi antaa suunnitella se itse. Tällöin oppilastyö muistuttaa enemmän aitoa tutkimusta. Sitten pyydetään oppilaita selittämään tutkittujen liuosten pH:n muutokset kuten kirjojen A₃ ja D₄ työohjeissa.

Alkuperäisissä työohjeissa ei ole kiinnitetty huomiota tulosten pohdintaan, joten osio lisättiin kehitettyyn versioon, jonka tarkoituksena on kannustaa oppilaita avoimeen keskusteluun. Oppilaita pyydetään pohtimaan yhdessä työn tarkoitusta ja työssä havainnollistettavaa ilmiötä. Lisäksi heitä pyydetään arvioimaan työn opettavuutta sekä omien käsitystensä muotoutumista työn toteutuksen aikana. Tavoitteena on ohjata oppilaiden luonnollista oppimisprosessia oikeaan suuntaan. Lopuksi oppilaita pyydetään miettimään työhön liittyviä virhelähteitä ja niiden eliminoimista, mikä aktivoi Shilandin (1999) mukaan tehokkaasti oppilaiden ajattelua.

Työohjeen loppuun sijoitettiin lyhyt tehtäväosio, jossa pyydetään oppilaita selittämään reaktioyhtälöiden avulla etikkahappo/natriumasetatipuskurin toimintaperiaate sekä laskemaan tarkka arvo tutkitun puskuriliuoksen pH:lle ja vertaamaan sitä mitattuun arvoon. Tehtävät otettiin suoraan kirjan D₄ työohjeesta, sillä ne ovat erittäin hyviä. Ne kytkevät kokeellisuuden luontevaksi osaksi puskuriliuosaiheen opetuksen teoreettista puolta, mikä on mielestäni eräs kokeellisen työskentelyn tärkeimmistä tavoitteista. Kirjan D₄ työohjeessa oleva lyhyt laskutehtäväosio jätettiin pois kehitetystä ohjeesta, sillä se olisi lisännyt oppilaiden työmäärän liian suureksi.

6.4.2 Veden kokonaisalkaliniteetin määrittäminen

Alkuperäinen työohje (Kirja A₃) on hyvin suljettu ja yksityiskohtainen, joten se soveltuu hyvin titrausmenetelmän mekaaniseen harjoitteluun. Kehitettyssä versiossa (Liite 2) sen sijaan edellytetään, että oppilailta on aikaisempaa kokemusta titrausmenetelmästä. Heidän on myös hallittava puskuriliuosaiheeseen liittyvä teoria mahdollisimman hyvin, jotta työstä olisi mahdollisimman paljon hyötyä. Alkuperäisen työohjeen alussa oleva taustatietoa sisältävä johdanto-osuus säilytettiin lähes ennallaan. Se on mielenkiintoinen ja lisää oppilaiden kiinnostusta työtä kohtaan. Johdannon lopusta poistettiin selitys siihen, miksi tutkittavaa liuosta on syytä lämmittää työn loppuvaiheessa. Tarkoituksena oli antaa oppilaille mahdollisuus pohtia asiaa itse työn toteuttamisen aikana. Oppilaiden tehtäväksi annettiin myös johdanto-osiossa olevien reaktioyhtälöiden täydentäminen ja tasapainottaminen. Tarkoituksena oli aktivoida oppilaiden ajattelua, mikä on oppimisen kannalta erittäin tärkeää. (vrt. Shiland, 1999)

Työn sisältöä ei varsinaisesti muutettu, mutta alkuperäisen työohjeen reseptimäisestä muotoilusta luovuttiin. Tarvikeluettelo jätettiin kokonaan pois kehitetystä työohjeesta, jotta oppilaat saisivat osallistua työn suunnitteluun. Työvaiheiden kuvailun yksityiskoh-taisuutta vähennettiin myös tuntuvasti. Kehitetyssä työohjeessa ei kerrota lisäävän in-dikaattorin määrää pisaran tarkkuudella vaan oppilaat saavat käyttää omaa harkintaky-kyään. Titraukseen ei myöskään anneta erityisempää ohjeistusta. Työvaiheiden lomaan sijoitettiin lisäksi kaksi kysymystä, joiden tarkoituksena on tukea työn ymmärtämistä.

Tulosten käsittelyyn tehtiin myös pieniä muutoksia. Alkuperäisessä työohjeessa anne-taan valmiina kalsiumkarbonaatin ja suolahapon reaktioyhtälö, joten oppilaiden tehtä-väksi jää ainoastaan yhden mekaanisen perustehtävän laskeminen. Kehitetyssä ohjeessa ei esitä kyseistä reaktioyhtälöä, vaan oppilaiden on osattava hyödyntää johdanto-osiossa täydentämäänsä karbonaatti-ionin ja suolahapon reaktioyhtälöä. Alkuperäisessä työoh-jeessa pyydetään oppilaita vertaamaan saamiaan tuloksia veden normaaleihin arvoihin. Kehitetyssä työohjeessa pyydetään sen lisäksi oppilaita vertailemaan omia tuloksiaan keskenään ja pohtimaan niiden mahdollisia eroavaisuuksia. Tavoitteena on ohjata oppi-laita pohtimaan työhön liittyviä virhelähteitä, mikä on hyödyllistä oppimisen kannalta. (vrt. Shiland, 1999)

6.4.3 Ruokasoodatutkimus

Työn (Liite 3) tarkoituksena on havainnollistaa ruokasoodan puskuriominaisuuksia pu-nakaali-indikaattorin avulla. Työohje pohjautuu internetistä löydettyyn englanninkieli-seen oppilastyöohjeeseen (<http://www.armandhammer.com/KidsExperiment/body.htm>). Alkuperäistä työohjetta on muokattu erittäin paljon käännöksen yhteydessä, mutta työn sisältö on säilytetty suunnilleen ennallaan. Olen myös lisännyt alkuperäiseen työohjee-seen lyhyet johdanto- ja tulosten pohdintaosiot, jotta työohje tukisi paremmin puskuri-liuosaiheen oppimista.

Työohje soveltuu erittäin hyvin puskuriliuosaiheen opetuksen tueksi, sillä se havainnol-listaa selkeästi puskurointi-ilmiötä. Työohjetta voi hyödyntää myös peruskoulussa esi-merkiksi happo-emäskemian opetuksen yhteydessä. Työ on todennäköisesti kiinnostava oppilaidenkin mielestä, sillä kaikki käytettävät reagenssit ovat tuttuja arkielämästä. Työn muita hyviä puolia ovat nopea ja yksinkertainen toteutus sekä reagenssien turval-lisuus, huokeus ja helppo saatavuus.

Työohjeen alussa olevan johdannon tavoitteena on ensisijaisesti perehdyttää oppilaita työssä käsiteltävien aineiden ominaisuuksiin. Osion tarkoituksena on lisäksi ohjata oppilaita aktiiviseen tiedonhankintaan, mikä on mainittu opetuksen tavoitteena lukion opetussuunnitelman perusteissa (1994) sekä lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003). Työssä tarvittavia välineitä ja aineita ei ole luetteloitu, jotta työn toteuttaminen ei olisi liian helppoa.

Shilandin (1999) mukaan oppilaiden omilla hypoteeseilla on suuri merkitys syvällisen oppimisen kannalta. Sen vuoksi alkuperäiseen työohjeeseen lisättiin useita kohtia, joissa oppilaita pyydetään tekemään omia työhön liittyviä ennustuksiaan sekä perustelemaan niitä mahdollisimman kattavasti. Kokeellisuuden tärkeänä tehtävänä on lisätä oppilaiden välistä sosiaalista vuorovaikutusta (Shiland, 1999; Lukion opetussuunnitelman perusteet, 1994; Lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnos, 2003; <http://www.malux.edu.helsinki.fi>), joten oppilaita pyydetään lisäksi vertailemaan näkemyksiään keskenään.

Työohjeen lopussa olevassa tulosten pohdintaosion tarkoituksena on varmistaa työn syvälinen ymmärtäminen. Oppilaita kehoitetaan pohtimaan työn tarkoitusta sekä työssä havainnollistettavaa ilmiötä. Heitä pyydetään myös arvioimaan työn opettavuutta sekä omien alkukäsitystensä muotoutumista työn toteuttamisen aikana. Tavoitteena on edistää oppilaiden luontaista oppimisprosessia.

6.4.4 Puskuriliuostutkimus mittausautomaation avulla

Työn tarkoituksena (Liite 4) on tutkia etikkahappo/natriumasetaattipuskurin toimintaa mittausautomaation avulla. Työn havainnollisuuden parantamiseksi tehdään vertailututkimus tislatulla vedellä. Työohje on laadittu internetistä löydetyyn puskuriliuostutkimuksen (<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/mbl/kemia/perust.htm>) pohjalta. Apuna on myös käytetty mittausohjelman (Empirica2000) internetistä löytyviä käyttöohjeita (<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/empirica/navi.htm>; <http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/tutkimustori/peruskoulu/empiricaohje.htm>)

Hodson (1998) korostaa, että kokeellisen työskentelyn on oltava tavoitteellista ja hyvin suunniteltua. Tämän työohjeen tärkeimpänä tavoitteena on perehdyttää oppilaita mittausautomaation käyttöön. Työohjeeseen ei ole yritetty lisätä muita älyllisiä haasteita (Shiland, 1999), sillä mittausohjelman käytön opettelu on riittävän vaativaa useimmille oppilaille. Työvaiheet on pyritty esittämään mahdollisimman yksityiskohtaisesti ja selkeästi, jotta oppilaat voisivat keskittää kaiken huomionsa uuden menetelmän opetteluun.

Työohjeen alussa on lyhyesti kerrottu työn tarkoitus, minkä jälkeen on lueteltu työssä tarvittavat aineet ja välineet. Sen jälkeen on kuvailtu yksityiskohtaisesti työn toteutus. Aineiden määrät ja astioiden tilavuudet on merkitty näkyviin työn helpottamiseksi. Työohjeessa on myös annettu varsin tarkat ohjeet mittausohjelman (Empirica2000) käyttöä varten. Aivan kaikkia yksityiskohtia ei ole esitetty työohjeessa, sillä käytännössä oppilaat tulevat saamaan opettajalta yksityiskohtaista opastusta ensimmäisen mittauksen ajan.

Työohjeen loppuun on laadittu pieni tehtäväosio. Ensimmäisen tehtävän tarkoituksena on mitata työn sisällön ymmärtämistä. Toisessa tehtävässä pyritään tuomaan esille puskuriliuosten merkitys luonnon kannalta. Siinä ohjataan lisäksi oppilaita aktiiviseen tiedonhankintaan. Kolmannen tehtävän tarkoituksena on kiinnittää oppilaiden huomio mittausautomaation ja manuaalisen mittauksen eroihin. Tavoitteena on lisäksi kehittää oppilaiden valmiuksia luonnontieteellisten kokeiden suunnitteluun, mikä on mainittu opetuksen tavoitteena lukion opetussuunnitelman perusteissa (1994) sekä lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003).

7. Tulosten pohdintaa ja johtopäätöksiä

7.1 Yhteenveto tutkimuksen päätuloksista

7.1.1 Puskuriliuosaihe lukion kemian oppikirjoissa

Puskuriliuosaihetta on käsitelty kaikissa tutkituissa kirjasarjoissa lukion kemian 4. kursilla. Muut kurssikirjat sisältävät korkeintaan satunnaisia viittauksia aiheeseen. Määritelmässä ja käsitteissä ei ole merkittäviä eroja oppikirjojen välillä, mutta niiden esitystapojen laajuudessa ja yksityiskohtaisuudessa on jonkin verran vaihtelua. Puskuriliuosten merkitys ihmisen ja ympäristön kannalta on tuotu tutkituissa oppikirjoissa esille vähintään tyydyttävästi. Osassa kirjoista on käsitelty hyvinkin kattavasti esimerkiksi elimistön kannalta tärkeiden puskurisysteemien toimintamekanismeja. Useimmissa oppikirjoissa puskuriliuosten tärkeiden sovellusten tarkastelu on jäänyt valitettavan pintapuoliseksi.

Oppikirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyvissä tehtävissä on jonkin verran eroja. Mekaaniset laskutehtävät ovat varsin yleisiä kaikissa kirjoissa. Sanallisia tehtäviä sekä reaktioyhtälöiden kirjoitustehtäviä on myös melko runsaasti. Useimmissa tehtävissä tarkastellaan etikkahappo/natriumasetaatti- tai ammoniakki/ammoniumkloridipuskureita. Osassa tehtävistä tutkitaan myös harvinaisempia puskuriliuoksia.

Puskuriliuosaiheeseen liittyviä kokeellisia oppilastyöohjeita on ainoastaan kahdessa kemian oppikirjassa. Muissakin kirjoissa on tosin joitakin aiheeseen liittyviä kokeita tai demonstraatioita, mutta ne eivät täytä asianmukaisen oppilastyöohjeen kriteereitä (Shiland, 1999). Kirjassa A₃ on todella panostettu puskuriliuosaiheen opetukseen, sillä kirja sisältää neljä hyvää työohjetta. Kirjassa D₄ on ainoastaan yksi puskuriliuosaiheeseen liittyvä oppilastyöohje, joka on liian yksityiskohtainen lukio-opetukseen. Kirjan A₃ ensimmäinen työohje sekä kirjan D₄ ainoa työohje käsittelevät etikkahappo/natriumasetaatti-puskurin toimintaa. Kirjan A₃ kolme muuta työohjetta liittyvät maaperän ja vesien tutkimiseen.

7.1.2 Puskuriliuosaihe lukion biologian oppikirjoissa

Puskuriliuosaihetta on käsitelty todella vähän biologian oppikirjoissa. Tutkimuksen eräänä tarkoituksena oli nimenomaan vertailla puskuriliuosaiheen käsittelyä kemian ja biologian oppikirjoissa, mikä osoittautui biologian kirjojen minimaalisen tutkimusaineiston vuoksi todella vaikeaksi tehtäväksi. Yhdessäkään biologian oppikirjassa ei esitetä puskuriliuosoksen määritelmää eikä sen kemiallista koostumusta. Aihetta korkeintaan sivutaan muutamalla virkkeellä lähinnä ympäristöekologian yhteydessä. Kirjoissa ei ole myöskään ainuttakaan puskuriliuosaiheeseen liittyvää tehtävää. Osa kirjojen tehtävistä sivuaa aihetta melko läheltä. Yksikään tutkituista biologian kirjoista ei sisällä kokeellisia oppilastyöohjeita, joten tutkimus jäi siltäkin osin vajavaiseksi.

7.1.3 Kokeelliset oppilastyöohjeet lukion kemian oppikirjoissa

Tutkimuksen toisessa vaiheessa tutkittiin kokeellisten oppilastyöohjeiden osuutta puskuriliuosaiheen oppimisessa. Tutkimusaineisto jäi pieneksi oppilastyöohjeiden vähäisyyden vuoksi, joten tutkimusta ei voi tältä osin pitää kattavana. Tutkimuksen perusteella kirjojen puskuriliuosaiheeseen liittyvät oppilastyöohjeet ovat varsin suljettuja ja reseptimäisiä. Työssä tarvittavat välineet sekä työn toteutuksen eri vaiheet on kuvailtu hyvin yksityiskohtaisesti. Oppilaiden luovuudelle ja mielikuvitukselle ei ole jätetty tilaa. Tulosten käsittely on myös jäänyt kirjan D₄ työohjetta lukuun ottamatta turhan vähälle huomiolle. Työohjeissa on myös hyviä puolia. Ne harjaannuttavat oppilaita tehokkaasti laboratoriotyöskentelyyn tutustuttaen heitä hyödyllisiin työmenetelmiin, kuten titraukseen. Osa töiden aiheista on myös mielenkiintoisia ja innostavia.

Oppilastyöohjeiden kehittämisosuuden tarkoituksena oli esittää mahdollisimman hyviä parannusehdotuksia tutkimuksessa paljastuneisiin ongelma-kohtiin. Työohjeiden avoimuutta ja älyllistä haastavuutta pyrittiin tietoisesti lisäämään, jotta ne tukisivat paremmin tällä hetkellä vallitsevan konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaista oppimista. Sosiaalisen vuorovaikutuksen lisäämiseen sekä omien hypoteesien tekemiseen ja testaamiseen kiinnitettiin myös erittäin paljon huomiota. Pyrittiin myös tuomaan esille tulosten käsittelyn ja etenkin niiden syvällisen pohdinnan merkitys luonnontieteiden oppimisen kannalta.

On vielä ennen aikaista arvioida kehitettyjen työhöjien onnistuneisuutta, sillä niitä ei ole tutkittu käytännön opetustilanteissa. Olisi välttämätöntä tehdä perusteellinen tutkimus, jossa puolet oppilaista työskentelisi alkuperäisen ja toinen puoli kehitetyn työhöjien mukaan. Tällöin olisi mahdollista tehdä perusteltuja johtopäätöksiä työhöjien vaikuttavuudesta puskuriliuosaiheen oppimisesta.

7.2 Tutkimustulosten merkitys

7.2.1 Kemian opetuksen näkökulma

Puskuriliuosaihe muodostaa yhden kemian 5. kurssin keskeisistä sisällöistä lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003). Puskuriliuosten merkityksen ymmärtäminen on eräs kurssin tavoitteista, joten tulevien oppikirjojen tekijät joutuvat kiinnittämään entistä enemmän huomiota luonnon tärkeiden puskurisysteemien asianmukaiseen käsittelyyn. Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että kyseinen kehitys suunta on havaittavissa jo ennen uusien opetussuunnitelmien voimaantuloa. Esimerkiksi kirjasarjan D hiljattain ilmestyneessä puskuriliuosaihetta käsittelevässä neljännessä osassa on selvästi panostettu puskuriliuosten merkityksen esille tuomiseen.

Puskuriliuosaiheeseen liittyvissä oppilastyöhöjissä on tutkimuksen mukaan parannettavaa. Työhöjien määrää tulisi ehdottomasti lisätä, mutta myös niiden laadussa on kehittämisen varaa. Kirjan A₃ oppilastyöhöjissä on rohkeasti rikottu oppiainerajoja. Kokeellinen ja tutkiva lähestymistapa tulisi tavalla tai toisella sisällyttää osaksi myös laskennallisia tehtäviä, sillä suljetut ja mekaaniset tehtävät eivät sanottavasti mittaa asioiden syvällistä ymmärtämistä.

Lukion opetussuunnitelman perusteissa (1994) sekä lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003) korostetaan kokeellisen työskentelyn osuutta kemian oppimisessa. Opiskelijoiden tulisi oppia suunnittelemaan ja toteuttamaan ilmiöitä koskevia kokeita sekä arvioimaan ja tulkitsemaan kokeellisesti hankkimaansa tietoa. Tutkimustulosten perusteella oppikirjojen puskuriliuosaihetta käsittelevät kokeelliset oppilastyöhöjien eivät mahdollista hyvin edellä mainittujen tavoitteiden täyttymistä.

Yhdessäkään oppilastyöohjeessa ei anneta opiskelijoille mahdollisuutta osallistua työn suunnitteluun. Opiskelijoiden tehtävänä on ainoastaan noudattaa orjallisesti usein jopa lapsellisen yksityiskohtaisesti laadittuja ohjeita. Tutkimustiedon arviointi ja käsittely jäävät myös lähes poikkeuksetta liian vähälle huomiolle.

7.2.2 Biologian opetuksen näkökulma

Biologian nykyisissä oppikirjoissa ei tutkimuksen mukaan paljon käsitellä puskuriliuosaihetta. Lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003) on kuitenkin esitetty oppimistavoitteita, joiden täyttäminen tulee olemaan erittäin vaikeata ilman puskuriliuosaiheen käsittelyä. Biologian 3. kurssin eräänä tavoitteena on tutustua suomalaisiin ekosysteemeihin. Tarkoituksena on erityisesti tutkia Suomen luonnon ekologisia piirteitä ja haavoittuvuutta. Puskuriliuosaiheen käsittely olisi tässä yhteydessä erittäin tärkeää. Tutkimuksen mukaan aihetta sivutaan nykyisissä oppikirjoissa jonkin verran, mutta esimerkiksi vesistöjen ja maaperän puskurisysteemejä olisi tärkeä käsitellä hie-man perusteellisemmin, vaikkapa syventävän tiedon kappaleessa.

Biologian 4. kurssin luonnoksessa esitettyjä tavoitteita ovat ihmisen kemiallisen tasapainon säätelymekanismien ymmärtäminen sekä taito selittää elimistön kykyä sopeutua muutoksiin. Tutkimuksen mukaan puskuriliuosten merkitystä ei käsitellä juuri lainkaan ihmisen biologian yhteydessä. Kirjassa E₂ on tosin tuotu yhdellä virkkeellä esille hemoglobiinin puskuriominaisuus, mutta muulla tavoin aihetta ei ole käsitelty. Puskuriliuosaihe olisi sisällytettävä tavalla tai toisella osaksi kyseisen kurssin oppimateriaalia.

Lukion opetussuunnitelman perusteissa (1994) ja lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnoksessa (2003) painotetaan useaan otteeseen biologisen tutkimuksen ja tiedonhankinnan keskeistä roolia biologian opetuksessa. Tutkimustulosten perusteella tilanne on huono, sillä tutkitut biologian oppikirjat eivät sisällä lainkaan laborointiohjeita. Kirjasarjaan E tosin sisältyy erillinen laborointikirja, mikä helpottaa tilannetta jonkin verran. Olisi toivottavaa, että myös biologian oppikirjoihin alettaisiin tulevaisuudessa sisällyttää kokeellisia työohjeita samalla tavoin kuin kemian kirjoihin. Tällöin kokeellisuuden merkittävä rooli biologian opetuksessa tulisi luontevasti esille.

Puskuriliuosaiheeseen liittyvät oppilastyöohjeet voisivat käsitellä esimerkiksi ympäristöekologiaa. Vesien ja maaperän puskuriominaisuuksien tutkiminen onnistuisi varmasti koulussa olevilla välineillä. Samalla voitaisiin luontevasti integroida kemian ja biologian opetus. Solunesteiden sekä muiden eläin- ja kasvikunnan nesteiden puskuriominaisuuksien tutkiminen olisi myös hyvä aihe. Se edellyttää, että kouluilla on tarjota niiden tutkimiseen tarvittavia laboratoriovälineitä.

7.2.3 Integroidun opetuksen haasteet opettajankoulutukselle

Puskuriliuosaihe on erinomainen esimerkki oppiainerajat ylittävästä opetuskokonaisuudesta, jota tulisi ehdottomasti käsitellä sekä kemian että biologian opetuksessa. Biologian opetuksessa olisi syytä painottaa luonnon tärkeiden puskurisysteemien tarkasteluun. Niiden toiminnan ymmärtämiseksi olisi tosin välttämätöntä käsitellä jonkin verran myös puskuriliuosten kemiallista koostumusta sekä toimintaperiaatetta. Aiheen kvantitatiivinen käsittely tulisi jättää kokonaan kemian opetuksen vastuulle.

Opettajankoulutuksessa olisi syytä kiinnittää erityistä huomiota puskuriliuosaiheen kaltaisten oppiainerajat ylittävien kokonaisuuksien opettamiseen. Tällä hetkellä näyttää vahvasti siltä, että tulevaisuudessa tulee valmistumaan yhä useampia opettajia aineyhdistelmällä kemia / biologia. Heille ei varmastikaan tuota ongelmia oppiainerajat ylittävän opetuksen suunnittelu ja toteuttaminen. Aivan toisenlaisessa asemassa ovat ne opettajat, jotka opettavat ainoastaan toista kyseisistä oppiaineista. Ainedidaktiikan opintojen tulisi antaa heille mahdollisimman hyviä välineitä opetuksen suunnittelua ja toteutusta varten.

7.2.4 Jatkotutkimusaiheita

Tutkimuksessa havaittiin, että puskuriliuosaiheen oppimista ei ole tutkittu aikaisemmin. Aihe on kuitenkin erittäin tärkeä perusteellista tutkimusta ajatellen. Olisi tärkeä tutkia, miksi puskuriliuosaihe koetaan usein haastavaksi osa-alueeksi luonnontieteiden opetuksessa sekä kehittää uutta materiaalia tutkimuksen perusteella. Lisäksi olisi tärkeä tutkia, miten puskuriliuosaihetta käsitellään sekä kemian että erityisesti biologian uusissa oppikirjoissa uusien opetussuunnitelmien perusteiden mukaisesti.

LÄHTEET

Ahtineva, A. 2000, *Oppikirja – tiedon välittäjä ja opintojen innoittaja*, Painosalama Oy, Turku 2000, 26-27, 45-47 ja 65.

Aksela, M. ja Juvonen, R. 1999, *Kemian opetus tänään*, Opetushallitus, <http://www.edu.hel.fi/julkaisut/kemia1.pdf>

Berninger, K., Tapio, P. ja Villamo, R. 1997, *Ympäristönsuojelun perusteet*, 2. painos, Tammer-Paino Oy, Tampere 1997, 89-92 ja 96-97.

Chang, R. 2000, *Physical Chemistry for the Chemical and Biological Sciences*, 3rd edition, University Science Books, California 2000, 420-429.

Chiu, M., Chou, C. ja Liu, C. 2002, Dynamic Processes of Conceptual Change: Analysis of Constructing Mental Models of Chemical Equilibrium, *Journal of Research in Science Teaching*, **39**(8), 688-712.

Hodson, D. 1998, Mini-Special Issue: Taking practical work beyond the laboratory, *International Journal of Science Education*, **20**(6), 629-632.

<http://www.armandhammer.com/KidsExperiments/body.htm#Neutralization>, 5.9.2003

<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/empirica/navi.htm>, 5.9.2003

<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/main.htm>, 5.9.2003

<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/mbl/kemia/perust.htm>, 5.9.2003

<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/tutkimustori/peruskoulu/empiricaohje.htm>, 5.9.2003

Kirja A₁: Kanerva, K., Karkela, L. ja Valste, J. 1999, *Katalyytti peruskurssi*, 5.-6.painos, WSOY, Porvoo 1999, 99.

Kirja A₃: Kanerva, K., Karkela, L. ja Valste, J. 1997, *Katalyytti Epäorgaaninen kemia*, 1.-2.painos, WSOY, Porvoo 1997, 150-153,199, 208, 242 ja 277-280.

Kirja B₁: Haavisto, A., Nikkola, J. ja Viljanmaa, L. 1999, *Kemia 1 Kokeellinen luonnontiede*, 1.-6.painos, Kirjayhtymä Oy, Rauma 1999, 86-87 ja 95.

Kirja B₃: Haavisto, A., Nikkola, J. ja Viljanmaa, L. 1996, *Kemia 3 Alkuaineiden kemia Tutkimus ja teknologia*, uudistetun laitoksen 1.painos, Kirjayhtymä Oy, Rauma 1996, 161-163 ja 211.

Kirja B₄: Haavisto, A., Nikkola, J. ja Viljanmaa, L. 1999, *Kemian kertauskirja*, 1.-2.painos, Kirjayhtymä Oy, Rauma 1999, 70-71, 74 ja 77.

Kirja C₄: Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2002, *Kide 4 Lukion kemia*, uudistetun laitoksen 1.painos, Otava, Keuruu 2002, 55-60, 108 ja 113.

Kirja D₂: Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L. ja Vaskuri, J. 2001, *Mooli 2 Orgaanisen kemian perusteet*, 1.painos, Otava, Keuruu 2001, 121.

Kirja D₄: Lehtiniemi, K. ja Turpeenoja, L. 2003, *Mooli 4 Kemiallinen reaktio*, 1.painos, Otava, Keuruu 2003, 92-95, 107, 111, 140 ja 156.

Kirja E₁: Valste, J., Airamo, S., Holopainen, M., Koivisto, I., Suominen, T. ja Viitanen, P. 1999, *Biologia Elämä*, 1.-3.painos, WSOY, Porvoo 1999, 123, 291 ja 292.

Kirja E₂: Turunen, S. 1999, *Biologia Ihminen*, 1.painos, WSOY, Porvoo 1999, 31.

Kirja E₆: Airamo, S., Happonen, P. ja Viitanen, P. 2000, *Biologia Kertaus*, 1.-2.painos, WSOY, Porvoo 2000, 42 ja 44.

Kirja F₅: Tast, J., Tyrväinen, H., Nyberg, T. ja Leinonen, M. 1999, *Koulun biologia Ympäristö*, 1.painos, Otava, Keuruu 1999, 93-94 ja 171.

Kirja F₆: Tast, J., Tyrväinen, H. ja Nyberg, T. 1999, *Koulun biologia Biologian sovelluksia*, 1.-4.painos, Otava, Keuruu 1999, 127, 129 ja 167.

Nelson, D.L. ja Cox, M.M. 2000, *Lehninger Principles of Biochemistry*, 3rd edition, Worth Publishers, New York 2000, 101-105.

Niaz, M. 1998, A Lakatosian Conceptual Change Teaching Strategy Based on Student Ability to Build Models with Varying Degrees of Conceptual Understanding of Chemical Equilibrium, *Science & Education*, 7(2), 107-127.

Opetushallitus 1994, *Lukion opetussuunnitelman perusteet* 1994, Painatuskeskus, Helsinki 1994, 80-84.

Opetushallitus 1994, *Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet* 1994, Painatuskeskus, Helsinki 1994, 81-82 ja 85-88.

Opetushallitus 2003, *Lukion opetussuunnitelman perusteiden luonnos*, <http://www.oph.fi/SubPage.asp?path=1;17627;5238;5242>, 27.5.2003

Opetushallitus 2003, *Peruskoulun opetuskokeilun opetussuunnitelman perusteiden luonnos*, http://www.edu.fi/julkaisut/maaraykset/ops/perusopetus1_2kok3_9.pdf, 27.5.2003

Opetushallitus 2003, *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet*, http://www.edu.fi/julkaisut/maaraykset/ops/perusopetus1_2kok3_9.pdf, 27.5.2003

Saarinen, H. ja Lajunen, L.H.J. 1992, *Analyttisen kemian perusteet*, 1.painos, Kemian Kustannus Oy, Helsinki 1992, 48-54.

Shiland, T.W. 1999, Constructivism: The Implications for Laboratory Work, *Journal of Chemical Education*, **76**(1), 107-109.

Valiela, I. 1995, *Marine Ecological Processes*, 2nd edition, Springer-Verlag New York, Inc., New York 1995, 385-386.

Van Driel, J.H., De Vos, W., Verloop, N. ja Dekkers, H. 1998, Developing secondary student's conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium, *International Journal of Science Education*, **20**(4), 379-392.

Vosniadou, S. ja Ioannides, C. 1998, From conceptual development to science education: a psychological point of view, *International Journal of Science Education*, **20**(10), 1213-1230.

Zumdahl, S.S. 1993, *Chemistry*, 3rd edition, D. C. Heath Company, Lexington 1993, 700- 714.

Erilaisten liuosten pH-arvojen tutkiminen

Työn toteutus:

Kaada koeputkiin tislattua vettä, etikkahappoliuosta (1,0 mol/l), natriumasetaattiliuosta (1,0 mol/l) sekä etikkahappo- ja natriumasetaattiliuosten seosta (1:1) siten, että jokaista liuosta on kahdessa putkessa 2 ml. Mittaa liuosten pH:t. Lisää sen jälkeen 0,5 ml suolahappoliuosta (1,0 mol/l) toiseen tislattua vettä sisältävistä putkista. Lisää sen jälkeen 0,5 ml NaOH-liuosta (1,0 mol/l) jäljellä olevaan tislattua vettä sisältävään putkeen. Tee vielä samanlaiset lisäykset muihin tutkittaviin liuoksiin.

Ennusta, millaista suuruusluokkaa putkissa olevien liuosten pH:t ovat happo- ja emäslisäysten jälkeen. Esitä mahdollisimman hyvät perustelut ennusteillesi. Vertaile näkemyksiäsi työparisi ja muiden oppilaiden kanssa. Mittaa sen jälkeen liuosten pH:t.

- Osuivatko ennustuksesi oikeaan vai olivatko mittaustulokset yllätyksellisiä?
- Mitä tapahtuu, jos happo- ja emäslisäyksiä jatketaan? Tee ensin ennuste ja kokeile sitten!

Tulosten käsittely:

- Taulukoi tulokset. Vertaile niitä muiden ryhmien saamiin tuloksiin.
- Selitä liuosten pH:n muutokset.

Tulosten pohdintaa:

Pohdi yhdessä muiden oppilaiden kanssa vastauksia ainakin seuraaviin kysymyksiin.

- Mikä oli työn tarkoitus?
- Mitä ilmiötä työssä havainnollistettiin?
- Mitä opit työstä?
- Muuttuivatko alkukäsityksesi työn aikana? Jos muuttuivat, niin miten?
- Mitkä tekijät aiheuttivat epätarkkuutta mittaustuloksiin? Miten niiden vaikutukset voitaisiin minimoida?

Työhön liittyviä tehtäviä

1. Selitä reaktioyhtälöiden avulla etikkahappo/natriumasetaattipuskurin toiminta.
2. Laske tutkitun puskuriliuoksen pH ja vertaa sitä mitattuun arvoon.

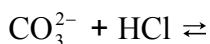
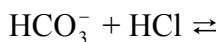
Veden kokonaisalkaliniteetin määrittäminen

Työn taustaa:

Alkaliniteetti kuvaa veden kykyä neutraloida happoja. Sen arvoon vaikuttavat lähinnä vetykarbonaatti-, karbonaatti- ja hydroksidi-ionit. Jos alkaliniteetti on nolla tai hyvin pieni, veden pH laskee heti lisättäessä happamia aineita. Jos alkaliniteetti on suurempi, pH ei muutu samassa suhteessa kuin vetyionien määrä kasvaa, mutta alkaliniteetti pienenee. Mitattu alkaliniteetti antaa vihjeen siitä, miten hyvä puskurointikyky tutkitulla vedellä on happamoitumista vastaan.

Hapan vesijohtovesi liuottaa putkistoja. Siksi vesijohtoveteen lisätään sen neutraloimiseksi kalsiumkarbonaattia, CaCO_3 , tai natriumhydroksidia, NaOH . Karbonaatti-ioneja syntyy myös ilmassa olevan hiilidioksidin liuetessa veteen. Kokonaisalkaliniteetilla tarkoitetaan vedessä olevien vetykarbonaatti-, karbonaatti- ja hydroksidi-ionien yhteismäärää. Mittauksessa hydroksidi- (OH^-), vetykarbonaatti- (HCO_3^-) ja karbonaatti-ionit (CO_3^{2-}) neutraloidaan vahvalla hapolla (HCl). Tällöin muodostuu vettä, suoloja ja hiilidioksidia.

Täydennä HCl -lisäyksen aiheuttamat reaktiot:



Työn toteutus ja tulosten käsittely:

Kaada 100 ml tutkittavaa vettä keittopulloon. Lisää veteen muutama pisara indikaattori-liuosta, joka on valmistettu liuottamalla 75 mg bromkresolivihreää ja 50 mg metyyliipunaista 100 ml:aan vettä. *Miksi liuokseen lisätään indikaattoria?*

Käynnistä magneettisekoittaja, jos sellainen on käytettävissä. Titraa liuosta 0,010-molaarisella suolahapolla, kunnes indikaattorin väri vaihtuu. Sekoita liuosta huolellisesti happolisäysten välillä, mikäli magneettisekoituksen käyttö ei ole mahdollista. Lämmitä liuosta keittolevyllä, jäähdytä ja jatka titrausta uudelleen värinmuutokseen saakka.

Miksi liuosta lämmitetään?

Kokonaisalkaliniteetti vastaa veden CaCO_3 -pitoisuutta yksikössä mg/l. Laske se CaCO_3 :n ja suolahapon reaktioyhtälön avulla olettaen, että kaikki happoa kuluttaneet ainekset ovat kalsiumkarbonaattia. Vertaa saamaasi tulosta muiden ryhmien saamiin tuloksiin. Miettikää yhdessä, mistä mahdolliset erot johtuvat. Vertailkaa myös tuloksianne veden normaaleihin arvoihin, jotka ovat esimerkiksi pääkaupunkiseudulla 10-20 mg/l.

Ruokasoodatutkimus

Johdanto

- Mikä on ruokasoodan kemiallinen kaava?
- Luettele erilaisia ruokasoodan käyttötarkoituksia. Käytä apunasi kirjallisuutta ja internetiä.
- Etsi tietoa punakaali-indikaattorista. Miten indikaattorin väri vaihtelee liuoksen happamuuden mukaan?

Työn toteutus:

Kaada noin yhtä suuret tilavuudet punakaalimehua dekantterilaseihin 1, 2, 3 ja 4. Ennusta sitten, mitä dekantterilaseissa 1 ja 2 oleville liuoksille tapahtuu, kun niihin lisätään $\frac{1}{2}$ tl ruokasoodaa. Perustele ennusteesi mahdollisimman kattavasti ja vertaile sitä muiden oppilaiden ennusteisiin. Testaa sen jälkeen ennusteesi oikeellisuus.

Pohdi seuraavaksi, mitä dekantterilasissa 3 olevalle liuokselle tapahtuu, kun siihen lisätään sitruunamehua. Tee ennuste ja testaa se käytännössä.

Pohdi sitten, mitä dekantterilasissa 4 olevalle liuokselle tapahtuu, kun siihen lisätään emäksistä puhdistusainetta. Tee ennuste ja testaa se käytännössä.

Seuraavaksi lisätään sitruunamehua dekantterilasiin 1. Ennusta ennen mehun lisäämistä perustellen, mitä liuokselle tulee tapahtumaan. Vertaile myös ennustettasi muiden oppilaiden ennusteisiin. Testaa sitten ennusteesi käytännössä.

Lopuksi lisätään emäksistä puhdistusainetta dekantterilasiin 2. Ennusta ennen puhdistusaineen lisäämistä perustellen, mitä liuokselle tulee tapahtumaan. Vertaile ennustettasi muiden oppilaiden ennusteisiin. Testaa sitten ennusteesi käytännössä.

Tulosten pohdintaa:

- Mikä oli työn tarkoitus?
- Mitä ilmiötä työssä havainnollistettiin?
- Mitä opit työstä?
- Muuttuivatko alkukäsityksesi jotenkin työn toteutuksen aikana?

Puskuriliuostutkimus mittausautomaation avulla

Työn tarkoitus:

Työn tarkoituksena on tutkia etikkahappo/natriumasetaattipuskurin toimintaa mittausautomaation avulla. Havainnollisuuden vuoksi tehdään lisäksi vertailututkimus, jossa käytetään puskuriliuoksen sijasta tislattua vettä. Työohje on suunniteltu Empirica2000-ohjelmaa varten, mutta työohjetta voi hyvin soveltaa myös muille mittausohjelmille.

Tarvikkeet:

- etikkahappoliuos, 0,1 mol/l
- natriumasetaattiliuos, 0,1 mol/l
- tislattua vettä
- HCl-liuos, 0,1 mol/l
- NaOH-liuos, 0,1 mol/l
- byretti
- mittalaseja
- dekantterilaseja
- magneettisekoittaja
- pH-anturi

Työn toteutus:

1. Täytä byretti joko happo- tai emäsluoksella.
2. Kaada 50 ml etikkahappoliuosta ja 50 ml natriumasetaattiliuosta 250 ml:n dekantterilasiin.
3. Puhdista pH-anturi huolellisesti tislattulla vedellä. Aseta sen jälkeen anturi siten, että sen pää on kokonaan tutkittavassa liuoksessa.
4. Kytke pH-anturi kanavaan 1.
5. Valitse anturi **Suureen valintataulusta** napsauttamalla kanavaa 1.
6. Valitse ryhmä **Kemia** ja tämän jälkeen **pH**.
7. Valitse **Aseta** ja edelleen **Mittautapa**. Vaihda mittausaika 100:ksi sekunniksi oletusarvona olevan 30 sekunnin sijasta. Älä tee muita muutoksia oletusarvoihin.
8. Käynnistä magneettisekoitus. **Varo, ettei sekoittaja vahingoita pH-anturia!**
9. Käynnistä mittaus painamalla näytöllä olevaa vihreätä kolmiota ja avaa byretin hana mahdollisimman samanaikaisesti siten, että titrausliuosta valuu byretistä tutkittavaan liuokseen tippa kerrallaan.

10. Sulje byretin hana samalla hetkellä kuin mittausaika päättyy.
11. Valitse **Aseta** ja edelleen **Akselit**. Valitse x-akselin skaalaukseksi **Auto** ja napsauta **Nimeä** valintaruutua.
12. Napsauta **Nimeä** ohjausnappia ja kirjoita nimen kohdalle joko NaOH tai HCl riippuen siitä kummalla liuoksella olet titrannut. Kirjoita yksiköksi ml ja kertoimeksi luku, jonka saat jakamalla titrausliuoksen kokonaiskulutuksen (ml) mittauksen kestolla (s).
13. Huuhtelee pH-anturi huolellisesti tislattulla vedellä.
14. Toista mittaus käyttämällä tutkittavana liuksena 100 ml tislattua vettä. Käynnistä mittaus valitsemalla **Mittaa** ja edelleen **Mittaa samaan**, jolloin mittauskäyrät tulevat samaan ikkunaan.
15. Nimeä kuvassa näkyvät mittauskäyrät **Lisää teksti**-ohjausnappulan avulla.
16. Tallenna tiedosto disketille.
17. Huuhtelee lopuksi pH-anturi huolellisesti tislattulla vedellä.

Työhön liittyviä tehtäviä:

1. Vertaile puskuriliuoksen ja tislattun veden mittauskäyriä. Selitä havaitsemasi erot.
2. Puskuriliuksilla on suuri merkitys ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin kannalta. Ota selvää luonnon tärkeistä puskurisysteemeistä kirjallisuuden ja internetin avulla.
3. Pohdi mittausautomaation etuja ja haittapuolia verrattuna perinteisempään laboratoriotyöskentelyyn. Mieti myös, miten tämä laboratoriotyö voitaisiin toteuttaa ilman mittausautomaatiolaitteistoa.

