

Kehittämistutkimus: Puskuriliuoskäsitteen oppimisen tukeminen kokeellisuuden avulla

Jane Laamanen

Pro gradu – tutkielma

7.5.2015

Kemian opettajakoulutusyksikkö

Kemian laitos

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Helsingin yliopisto

Ohjaajat: prof. Maija Aksela ja prof. Timo Repo

Tiedekunta - Fakultet - Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos - Institution - Department Kemian laitos	
Tekijä - Författare - Author Jane Laamanen			
Työn nimi - Arbetets titel Kehittämistutkimus: Puskuriliuoskäsitteen oppimisen tukeminen kokeellisuuden avulla			
Oppiaine - Läroämne - Subject Kemia (kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto)			
Työn laji - Arbetets art - Level Pro gradu -tutkielma		Aika - Datum - Month and year 5/2015	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 84 s + 69 liite s.
Tiivistelmä - Referat - Abstract Puskuriliuos on yksi lukion kemian keskeisistä sisällöistä. Puskuriliuoskäsitteen ymmärtämistä on tutkittu kansainvälisesti vähän. Tutkimustiedon perusteella opiskelijoilla on heikot käsitteelliset taidot puskuriliuoksen kemiasta ja opiskelijoilla ilmenee runsaasti vaihtoehtoisia käsityksiä happo-emäskemiasta. Kokeellisuus on tärkeä osa kemian opetusta. On kuitenkin huomattu, että kokeelliset oppimateriaalit eivät aina tue kemian oppimista. Tarvitaan uusia lähestymistapoja ja oppimateriaalia puskuriliuoskäsitteen kokeellisen oppimisen tueksi. Tämän Pro gradu -tutkielman tavoitteena oli tuottaa tutkimuspohjaisesti kokeellinen oppimateriaali tukemaan puskuriliuoskäsitteen oppimista. Kontekstiksi valittiin veri. Ihmisen terveyden kannalta veren puskuriominaisuus on elintärkeä, sillä ilman sitä solujen pH muuttuisi helposti ja elintoiminnot hidastuisivat nopeasti. Tutkimusmenetelmänä tässä tutkielmassa käytettiin kaksisyklistä kehittämistutkimusta. Ensimmäinen sykli jakautui tarveanalyysiin, teoreettiseen ongelma-analyysiin, kehittämisprosessiin ja ensimmäiseen kehittämistuotokseen. Kehittämisprosessi toteutettiin Kemianluokka Gadolinissa. Tarveanalyysissä tutkittiin, mikä on nykytilanne puskuriliuoksen opetuksessa. Tutkimuskysymys oli, miten puskuriliuoskäsitettä opetetaan ihmisen kemian kontekstissa lukion oppikirjoissa ja millaiselle oppimateriaalille on tarvetta. Tarveanalyysin tuloksena saatiin, että veren puskuriominaisuutta käsitellään yleisimmissä lukion viidennen kurssin oppikirjoissa opettaessa puskuriliuoskäsitettä. Veren puskuriominaisuuksiin liittyviä tehtäviä oli kuitenkin vähän, eikä kokeellisia tehtäviä ole lainkaan. Teoreettisessa ongelma-analyysissä käsiteltiin kokeellisen oppimateriaalin kehittämisen ja sen arvioinnin kannalta keskeisiä aihe-alueita: puskuriliuoksen oppiminen, kontekstuaalinen oppiminen, käsitteen oppimisen ja kokeellisuuden tukeminen. Ongelma-analyysien pohjalta kehittämisprosessissa rakennettiin ensimmäinen versio kokeellisesta oppimateriaalista. Ensimmäinen kehittämistuotos sisälsi neljä osuutta, joissa tutkittiin puskuriliuoksen toimintaa mittausautomaation avulla. Jokaisen osuuden jälkeen seurasi pohdintakysymyksiä liittyen tarkasteltavaan ilmiöön ja sitä vastaavaan käsitteen sisältöön. Kehittämistutkimuksen toinen sykli koostui oppimateriaalin arvioinnista, jatkokehittämisestä ja toisesta kehittämistuotoksesta. Arvioinnin perusteella kehitetty kokeellinen oppimateriaali tukee puskuriliuoskäsitettä sen toiminnan ja merkityksen osalta sekä lisää pH-käsitteen ymmärrystä. Tukeakseen entistä enemmän puskuriliuoskäsitteen oppimista oppimateriaali muokattiin oppimissyklimuotoon. Kehitettyä oppimateriaalia voidaan käyttää Kemianluokka Gadolinissa sekä kouluissa, joissa on käytössä mittausautomaatiivälineet.			
Avainsanat - Nyckelord kemian opetus, kehittämistutkimus, puskuriliuos, käsitteen oppimisen tukeminen, kokeellisuus			
Säilytyspaikka - Förvaringsställe - Where deposited Kemian laitos; Kumpulan kampuskirjasto			
Muita tietoja - Övriga uppgifter - Additional information Ohjaajat: Maija Aksela & Timo Repo			

Sisällys

1.	Johdanto.....	1
2.	Kehittämistutkimus.....	3
2.1	Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä.....	3
2.2	Tutkimuskysymykset	4
2.3	Kehittämistutkimuksen toteutus.....	5
3.	Empiirinen ongelma-analyysi 1.....	8
3.1	Oppikirja-analyysi.....	8
3.2	Oppikirja-analyysin tulokset	9
3.3	Oppikirja-analyysin johtopäätökset	11
4	Teoreettinen ongelma-analyysi	12
4.1	Veri puskuriliuksena	12
4.1.1	Veren happo-emästasapainon säätelyn merkitys	12
4.1.2	Veressä toimivat puskurit	13
4.1.3	Veren happo-emästasapainoa säätelevät elimet.....	17
4.1.4	Veren happo-emäs-tasapainoon vaikuttavat aineenvaihduntatuotteet.....	18
4.1.5	Veren happoemästasapainon häiriöt	21
4.2	Puskuriliuksen oppimisesta.....	23
4.2.1	Happo-emäskemian oppiminen	23
4.2.2	Puskuriliuksen oppiminen.....	24
4.3	Puskuriliuksen oppimisen tukeminen	27
4.3.1	Puskuriliuos lukion kemian opetussuunnitelman perusteissa	27
4.3.2	Kontekstuaalinen oppiminen	29
4.3.3	Käsitteen muodostamisen tukeminen	30
4.3.4	Kokeellisuuden oppimisen tukeminen.....	39
4.4	Teoreettisen ongelma-analyysin yhteenveto	40

5	Kehittämisprosessi.....	42
5.1	Kyselylomake.....	42
5.1.1	Kysely tutkimusmenetelmänä.....	42
5.1.2	Kyselylomakkeen rakentaminen.....	43
5.2	Pilottitutkimus.....	44
5.2.1	Pilottitutkimuksen tuloksia.....	45
5.2.2	Pilottitutkimuksen yhteenveto.....	49
5.3	Kokeellisen oppimateriaalin kehittäminen.....	49
5.3.1	Oppimateriaalin kehittämisen vaiheita.....	50
6.	Kehittämistuotos 1.....	50
6.1	Kehittämistuotoksen kuvaus.....	51
6.2	Empiirinen ongelma-analyysi 2: Kehittämistuotoksen arviointi.....	53
6.2.1	Tapaustutkimuksen tulokset.....	56
6.2.2	Tapaustutkimuksen yhteenveto.....	64
6.3	Kehittämistuotoksen jatkokehittäminen.....	64
7.	Kehittämistuotos 2.....	66
8.	Johtopäätökset ja pohdinta.....	70
8.1	Puskuriliuoskäsitteen opettaminen lukion kemian opetuksessa ihmisen kemian kontekstissa.....	70
8.2	Kehitetty kontekstuaalinen kokeellinen oppimateriaali puskuriliuoskäsitteen oppimisen tueksi.....	71
8.3	Puskuriliuoskäsitteen oppiminen kehitetyn oppimateriaalin avulla.....	73
8.4	Tutkimuksen yhteenveto ja merkitys.....	75
	Lähteet.....	77

LIITTEET

1. Johdanto

Kemian opetuksessa käytetään usein käsitteitä, jotka eivät ole opiskelijan arkielämästä tuttuja. (Johnstone, 1991, 2000; Gabel, 1999). Jos opiskelija ei ymmärrä kommunikoinnissa käytettävää kieltä, on hänen vaikeaa seurata opetusta (Johnstone, 1991). Kemian käsitteiden opettaminen on yksi kemian opetuksen ydintavoitteista (ks. OPS, 2004; 2014; LOPS, 2003). Puskuriliuos on Suomessa yksi lukion viidennen kemiankurssin *Reaktiot ja tasapaino (KE5)* keskeisistä käsitteistä.

Puskuriliuoskäsitteen ymmärtämistä on tutkittu verrattain vähän. Tutkimustiedon perusteella opiskelijoilla on heikot käsitteelliset taidot puskuriliuoksen kemiasta. (Orgill & Sutherland, 2008) Laajemmin happo-emäskemian käsitteitä on sitä vastoin tutkittu paljolti ja niissä on ilmennyt runsaasti vaihtoehtoisia käsiterakenteita (ks. Orgill & Sutherland, 2008; Watters & Watters 2006; Schmith, 1997 Demircioğlu, Ayas & Demircioğlu, 2005; Sheppard, 2006; Chiu, 2007). Esimerkiksi pH-arvo ymmärretään muuttuvan lineaarisesti (Sheppard, 2006) ja neutralointi reaktion tuloksena ymmärretään vaihtoehtoisesti, että liuos on aina neutraali (Schmith, 1997, Özmen, Demircioğlu, & Coll, 2009, Demircioğlu et al., 2005).

Veri on yleinen esimerkki opetettaessa puskuriliuoksia. Ihmiselimistön toiminnan kannalta veren puskuriominaisuus on elintärkeä, sillä ilman sitä solujen pH muuttuisi helposti ja elintoiminnot hidastuisivat nopeasti. Veren puskuriominaisuuksia käsitellään lukion oppikirjoissa teoria tasolla.

Tämän Pro gradu -tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tutkimuspohjaisesti kokeellinen oppimateriaali tukemaan puskuriliuoskäsitteen oppimista. Oppimateriaali on rakennettu veren kontekstin ympärille, sillä ROSE-tutkimuksen mukaan suomalaiset lukio-opiskelijat ovat kiinnostuneita ihmisen biologiaan ja terveyteen liittyvistä aihe-alueista kemian ja fysiikan opiskelussa ja näihin aihealueisiin liittyvälle oppimateriaaleille on tarvetta (ks. Lavonen et al., 2008). Kokeellinen oppimateriaali tukee lukion viidennen kemian kurssin tavoitteita: opiskelija ymmärtää tasapainon merkityksen ja tutustuu tasapainoon luonnon ilmiöissä, sekä opiskelija osaa tutkia kokeellisesti kemialliseen tasapainoon liittyviä ilmiöitä.

Tutkimus perustuu Akselan ja Pernaan (2013) Pro gradu -tutkielmiin suunniteltuun kaksisyklistä kehittämistutkimusmalliin. Luvussa kaksi esitellään kehittämistutkimus

tutkimusmenetelmänä, tutkimuskysymykset ja kehittämistutkimuksen toteutus tässä tutkielmassa.

Luvussa kolme esitellään ensimmäinen empiirinen ongelma-analyysi, jossa tutkitaan, miten puskuriliuoskäsitettä opetetaan ihmisen kemian kontekstissa lukion oppikirjoissa ja kartoitetaan millaiselle oppimateriaalille on tarvetta.

Teoreettinen ongelma-analyysi esitellään luvussa neljä. Siinä käsitellään kokeellisen oppimateriaalin kehittämisen ja sen arvioinnin kannalta keskeisiä aihe-alueita: puskuriliuoksen oppiminen, kontekstuaalinen oppiminen, käsitteen oppimisen ja kokeellisuuden tukeminen. Lisäksi luvussa esitellään veri puskuriliuoksena.

Luvussa viisi esitellään kokeellisen oppimateriaalin ensimmäinen kehittämisprosessi sekä kyselylomakkeen rakentaminen ja lomakkeella suoritettu pilottitutkimus. Kuudennessa luvussa esitellään ensimmäinen kehittämistuotos ja sen arviointi, eli tutkimuksen toinen empiirinen ongelma-analyysi.

Seitsemännessä luvussa esitellään kehittämistutkimuksen toinen sykli, jossa kehittämistuotosta jatkokehitettiin tutkimustavoitteiden mukaisesti. Kokeelliseen oppimateriaaliin luotiin oppimissykli tukemaan puskuriliuoskäsitteen oppimista. Viimeisessä luvussa käsitellään tutkimuskysymykset ja pohditaan tutkimuksen merkitystä.

Tämä tutkielma perustuu sosio-konstruktiviseen näkemykseen, jonka mukaan oppiminen on aktiivista toimintaa, joka tapahtuu sosiaalisessa vuorovaikutuksessa. Tieto rakentuu yksilön aiempien tietorakenteiden pohjalta ja nämä rakenteet vaikuttavat yksilön oppimiseen. (Tynjälä, 2002)

2. Kehittämistutkimus

Tässä tutkielmassa on käytetty tutkimusmenetelmänä kehittämistutkimusta (engl. *desing research* tai *desing-based research*). Se on tutkimusmenetelmä, jossa yhdistyvät sekä opetuksen tutkiminen että oppimateriaalien kehittäminen. Tutkimusmenetelmä on kehitetty vastaamaan opetuksen tarpeita. Kehittämistutkimuksen keskeinen tavoite on kehittää opetusta ja tutkia sen avulla oppimista aidoissa oppimistilanteissa. Tutkimus on vuorovaikutusta teorian ja käytännön välillä ja sen tarkoituksena on luoda toimiva oppimiskokonaisuus opetuskäyttöön. (Pernaa, 2013)

Tässä luvussa esitellään kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä (alaluku 2.1), kuvataan tutkimuskysymykset (alaluku 2.2) ja esitetään tässä tutkielmassa käytetty kehittämistutkimuksen toteutusmalli (alaluku 2.3).

2.1 Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä

Kehittämistutkimus on monimuotoinen tutkimusmenetelmä, joka kehitettiin 1990-luvulla opetuksen tutkimuksen käyttöön. Uudenlainen tutkimusmenetelmä pyrkii vastaamaan opetuksen tutkimukseen kohdistuneeseen kritiikkiin, jonka mukaan tutkijat eivät kykene tuottamaan käytännön läheistä tietoa kentällä toimivien opettajien käyttöön. (Pernaa, 2013)

Kehittämistutkimus pohjautuu ajatukseen, jossa aiemman tutkimustiedon pohjalta tuotetaan kontekstuaalinen kehittämistuotos. Tuotos voi olla esimerkiksi oppimateriaali, opetustekniikka tai -menetelmä, joka tukee tutkimuksen kohteena olleen oppimisen osa-alueita. Kehittämistuotos testataan autenttisissa oppimisolosuhteissa, jolloin saadaan kontekstisidonnaista teoreettista tutkimustietoa kyseisestä tapaustutkimuksesta. Kehittämistuotoksen testaamisella saadaan lisäksi tietoa kyseisen tuotoksen käytännön toimivuudesta, jonka pohjalta tuotosta voidaan kehittää entistä toimivammaksi. Koska kehittämistuotos testataan autenttisessa oppimistilanteessa, tulee haasteeksi lukuisat muuttujat, jotka vaikuttavat oppimistilanteeseen, ja täten saatuihin tuloksiin. (Collins, Joseph & Bielaczyc, 2004)

Kehittämistutkimus etenee sykleissä, jossa teoreettisesti ja kokeellisesti saatu tieto vuorovaikuttavat keskenään. Sille ei voida antaa yksiselitteistä määritelmää, sillä

tutkimusmenetelmää voidaan toteuttaa käytännössä loputtomin erilaisin tavoin. Jokaisessa kehittämistutkimuksessa on kuitenkin kolme vaihetta: 1) ongelma-analyysi, 2) kehittämisprosessi ja 3) kehittämistuotos. (Edelson, 2002)

Kehittämistutkimus alkaa aina ongelma-analyysillä, jolla on tarkoitus selvittää kehittämisen tarpeet, mahdollisuudet ja haasteet. Analyysi voi olla muodoltaan teoreettinen tai empiirinen. Usein tutkimuksessa käytetään molempia analyysimuotoja. Ongelma-analyysissä määritellään tutkimuksen kehittämistavoitteet ja tehdään tutkimusta ohjaava alustava kehittämissuunnitelma. Kehittämistutkimuksen syklisestä muodosta johtuen, suunnitelma päivittyy ja tarkentuu tutkimuksen edetessä. (Edelson, 2002; Pernaa, 2013)

Kehittämisprosessissa tehdään päätökset siitä, miten tutkimus tullaan suorittamaan ja millaista materiaalia tuotetaan, jotta voidaan vastata tutkimukselle asetettuihin tavoitteisiin. Kehittämisprosessi kuvataan tarkasti kehittämistutkimuksen luotettavuuden takaamiseksi. (Edelson, 2002)

Kehittämistuotos on kehittäjän ratkaisu ongelma-analyysissä määriteltyihin tavoitteisiin. Se arvioidaan tutkijan valitsemalla tutkimusmenetelmällä ja tuloksien perusteella arvioidaan onko määriteltyihin tavoitteisiin päästy. Kehittämistuotos kehittyy tutkimusprosessin edetessä. (Edelson, 2002)

Jokaisesta kehittämistutkimuksen osiosta saadaan erilaista tietoa: 1) ongelma-analyysi osuus tuottaa kontekstisidonnaista tietoa ja teoriaa, 2) kehittämisprosessi osuus tuottaa tietoa itse kehittämistutkimus prosessista sekä sen vaiheista, ja 3) kehittämistuotos osuus tuottaa kontekstisidonnaisia malleja ja tietoa mallin toimivuudesta (Edelson, 2002).

2.2 Tutkimuskysymykset

Tutkielman tavoitteena on kehittää ihmisen kemian kontekstiin pohjautuva kokeellinen oppimateriaali tukemaan puskuriliuoskäsitettä. Tutkielma pohjautuu seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten puskuriliuoskäsite opetetaan lukion kemian opetuksessa ihmisen kemian kontekstissa?
2. Millainen kontekstuaalinen kokeellinen oppimateriaali tukee puskuriliuoskäsitteen oppimista?
3. Miten kehitetty oppimateriaali tukee puskuriliuoskäsitteen oppimista?

2.3 Kehittämistutkimuksen toteutus

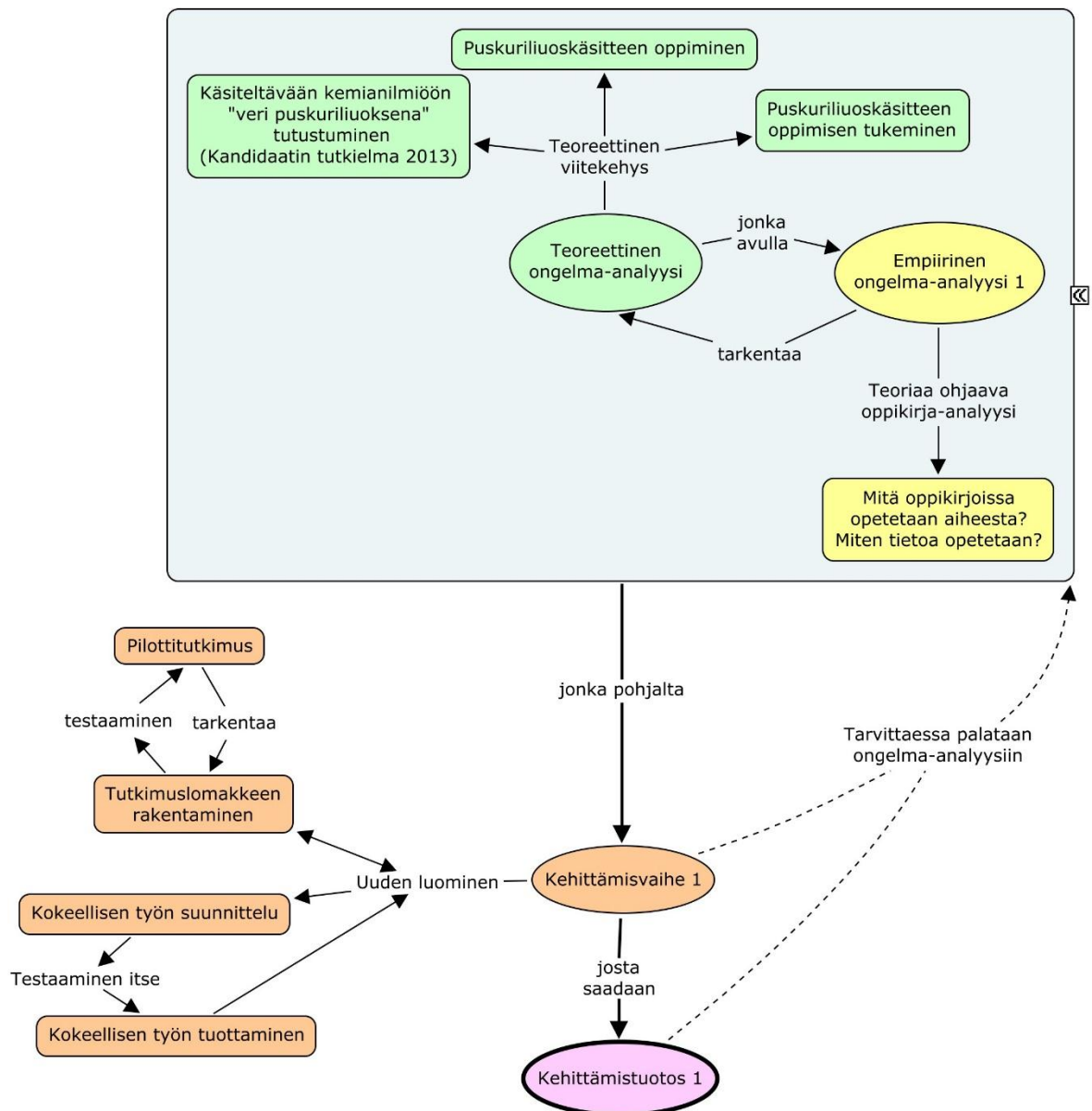
Tässä luvussa kuvataan miten kehittämistutkimusmenetelmää on käytetty tässä tutkielmassa. Tutkielmassa on toteutettu kaksi kehittämissykliä. Tutkimuskysymykset ohjasivat kunkin kehittämistutkimuksen osion kulkua.

Tutkielman ensimmäiseen tutkimuskysymykseen on vastattu empiirisen ongelma-analyysin avulla. Empiirinen ongelma-analyysi on suoritettu tarveanalyysinä, jonka kohteena ovat lukion KE5-kurssin oppikirjat. Empiirisen ongelma-analyysin tulosten pohjalta on kehitetty kokeellinen oppimateriaali veren kontekstissa.

Kehittämistutkimuksen teoreettista ongelma-analyysiä on ohjannut tutkielman toinen tutkimuskysymys. Teoreettinen ongelma-analyysi on suoritettu tutustumalla kemian opetusta käsittelevään tutkimuskirjallisuuteen. Tutkittavaan kemian ilmiöön, miten veri toimii puskuriliuoksena, on perehdytty kandidaatin tutkielmassa 2013 (ks. Laamanen, 2013). Kirjallisuuskatsauksessa on tarkasteltu sekä puskuriliuoksen oppimisessa ilmenneitä haasteita että oppimista tukevia pedagogisia lähestymistapoja.

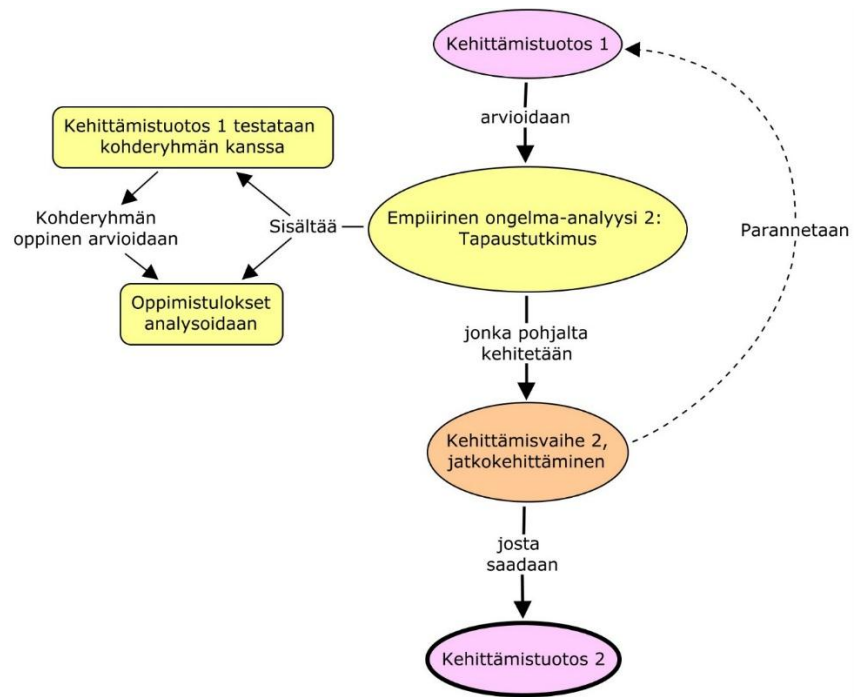
Kehittämisprosessissa teoreettisen ja empiirisen-ongelma-analyysin pohjalta on kehitetty kokeellinen oppimateriaali tukemaan puskuriliuoskäsitteen oppimista. Oppimateriaalin lisäksi kehittämisprosessissa on laadittu tutkimuslomake, jonka tuloksien pohjalta voidaan vastata tutkielman kolmanteen tutkimuskysymykseen.

Kuvassa 1 on esitetty tutkielman ensimmäisen kehittämissyklin eteneminen käsitekartan muodossa.



Kuva 1: Kehittämistutkimuksen ensimmäinen sykli

Kehittämistutkimuksen toista sykliä on ohjannut tutkielman kolmas tutkimuskysymys. Kehittämistuotos on testattu tapaustutkimuksessa. Oppimistuloksia mitattiin kyselylomakkeella, joka kehitettiin kehittämisprosessiosiossa. Tutkimusaineisto on käsitelty aineistolähtöisellä sisällysanalyysillä (ks. Tuomi & Sarajärvi, 2002), jossa opiskelijoiden kirjoittamien vastaustaukset on luokiteltu. Tapaustutkimuksen tulosten analyysi vastaa tutkielman kolmanteen tutkimuskysymykseen. Kuvassa 2 on esitetty tarkemmin toisen syklin eteneminen.



Kuva 2: Kehittämistutkimuksen toinen sykli

3. Empiirinen ongelma-analyysi 1

Kehittämistutkimuksen empiirisen ongelma-analyysin tavoitteena oli selvittää, miten puskuriliuoskäsite opetetaan lukion kemian opetuksessa ihmisen kemian kontekstissa ja minkälaiselle oppimateriaalille on tarvetta. Analyysi suoritettiin oppikirja-analyysinä, sillä oppikirjat ovat opetuksessa eniten hyödynnetty oppimateriaali (Uuskylä & Atjonen, 2000) ja tulos antaa siten kokonaiskuvan tilanteesta. Oppikirja-analyysi rajattiin lukion viidennen kurssin (KE5) oppikirjoihin, koska puskuriliuoskäsitteen opetus on keskittynyt tähän kurssiin (ks. LOPS, 2003).

Tässä luvussa esitellään oppikirja-analyysi (3.1), analyysin tulokset (3.2) ja oppikirja-analyysin johtopäätökset (3.3).

3.1 Oppikirja-analyysi

Analyysin kohteena olivat neljä yleisintä nykyisen lukion opetussuunnitelman perusteiden (LOPS, 2003) mukaista lukion viidennen kurssin (KE5) oppikirjaa.

Oppikirja-analyysi suoritettiin aineistolähtöisenä sisältöanalyysinä, jossa aineisto ensin pelkistetään ja luokitellaan sitten alaluokkiin. (ks. Tuomi & Sarajarvi, 2002). Kirjoista poimittiin kaikki kehon nesteiden puskurointikykyyn liittyvät maininnat. Analyysin ulkopuolelle jätettiin tekstit, joissa puskuriliuosta ei ollut esitetty ihmisen kemian kontekstissa. Oppikirjojen sisällön kokonaiskuvan hahmottamisen tueksi sisältöanalyysissä on otettu huomioon sekä mainintojen sijainti, että niiden sisältö.

Sijainnin määrittämisessä tekstit jaoteltiin alaluokkiin: leipäteksti, kuvateksti, inforuutu, esimerkkitehtävät, laskutehtävät ja kokeelliset työt. Jaolla saatiin kuva siitä, miten oppikirjoissa puskuriliuoskäsite esitetään ihmisen kemian kontekstissa, kuinka useasti aihe tulee esille ja minkä tyyppiselle materiaalille on tarvetta.

Kirjoista poimitut maininnat analysoitiin lisäksi tekstin sisällön mukaan, jotta saatiin laajempi kokonaiskuva siitä mitä aiheesta opetetaan. Maininnat jaettiin alaluokkiin tekstin sisällön perusteella. Kirjoista poimitut maininnat ja niiden jako alaluokkiin löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 1: Oppikirja analyysi.

3.2 Oppikirja-analyysin tulokset

Kaikissa analysoiduissa lukion viidennen kurssin (KE5) oppikirjoissa oli puskuriliuoskäsite linkitetty ihmisen kemian kontekstiin. Jokaisessa kirjassa aihe esiintyi useamman kerran. Kirjoissa kerrottiin erityisesti veren puskuriominaisuuksista.

Taulukossa 1 on esitetty kehon nesteiden puskuriominaisuuksiin liittyvät maininnat tekstin sijainnin perusteella. Yhteensä mainintoja löytyi 21. Eniten aihetta käsitteleviä mainintoja löytyi kuvateksteistä. Leipätekstissä aihe esiintyi kahdessa kirjassa. Yhtä kirjaa lukuun ottamatta kirjoista löytyy yksi tai useampi kattava inforuutu, jossa veren puskuriominaisuuksia on käsitelty syvällisemmin. Tehtäviä kirjoissa oli vain viisi kappaletta, joista kaksi olivat esimerkkejä. Kokeellisia töitä ei löytynyt kirjoista lainkaan.

Kaiken kaikkiaan puskuriliuoskäsite on esitelty ihmisen kemian kontekstissa suhteellisen kattavasti, kuitenkin joissain analysoiduissa kirjoissa tekstit keskittyivät inforuutuihin ja kuvateksteihin, joten tieto saattaa jäädä kirjan lukijalle irralliseksi. Myös tehtävien vähyys antaa viitteitä siitä, ettei annettua tietoa sovelleta.

Taulukko 1: Kehon nesteiden puskuriominaisuuksiin liittyvät tekstit jaoteltuna sijainnin mukaan kirjasarjoittain.

Kirja	Leipä- teksti	Kuva- teksti	Info- ruutu	Esi- merkki tehtävä	Tehtävä	Kokeel- linen tehtävä	yht
A	2	3	1	-	-	-	6
B	-	1	1	-	1	-	3
C	1	1	-	2	1	-	5
D	-	4	2	-	1	-	7
yht	3	9	4	2	3	-	21

Taulukossa 2 on jaoteltuna poimitut maininnat tekstin sisällön mukaan eri sisältökategorioihin. Analysoitujen tekstien laajuus vaihteli suuresti, esimerkiksi inforuuduissa esiintyneissä teksteissä käsiteltiin useita sisältökategorioita, joten yksi mainita voi esiintyä useammassa kategoriassa. Sisältökategorioissa on lisäksi poimittuna erikseen puhtaat laskutehtävät.

Tauluko 2: Kehon puskuriominaisuuksiin liittyvien mainintojen sisällöt kirjasarjoittain.

Sisältökategoriat	Kirja A	Kirja B	Kirja C	Kirja D
Veren puskurointikyky	x	x	x	x
Kehon (muiden) nesteiden/kudosten puskuriominaisuus		x	x	
Veren/kehon nesteiden pH:n merkitys	x	x	x	x
Happo-emästasapainon häiriöt	x	x		x
Ruoka-aineiden vaikutus kehon happo- emästasapainoon.	x			x
Lääkeaineiden vaikutus kehon happo-emästasapainoon	x			x
Puskuriliuosten merkitys biokemian tutkimuksessa	x			
Esitelty yksi tai useampi puskuri ja sen/niiden toimintaperiaate	x	x	x	x
Hengityksen vaikutus veren happo-emästasapainoon	x	x		x
Munuaisten vaikutus veren happoemästasapainoon				
Veren happo-emästasapainoon liittyvä laskutehtävä		x	x	x

Tekstin sisältöanalyysin perusteella voidaan todeta, että kehon nesteiden, erityisesti veren puskuriominaisuus ja pH:n merkitys, esiteltiin kaikissa kirjoissa suhteellisen monipuolisesti. Puskureista esille tulivat hemoglobiini, plasmaproteiinit, hiilihappo- ja fosfaattipuskurit. Kaikissa kirjoissa kerrottiin vähintään yhden puskurin toimintaperiaatteesta. Kehon happo-emästasapainoa säätelevistä kehon toiminnoista esiteltiin hengitys, munuaisten toiminta ei tullut esille yhdessäkään kirjassa.

Tarkemmin kehon pH:n säätelyn merkityksestä ja siihen vaikuttavista tekijöistä kerrottiin kirjoissa vaihtelevasti. Happo-emästasapainon häiriöt esiteltiin kolmessa kirjassa. Ruoka- ja

lääkeaineiden vaikutuksesta kehon pH-tasapainoon mainittiin kahdessa kirjassa. Puskuriliuosten merkityksestä biokemiantutkimuksessa mainintoja löytyi yksi.

3.3 Oppikirja-analyysin johtopäätökset

Oppikirja-analyysin pohjalta voidaan todeta, että puskuriliuoskäsitettä opetetaan lukion kemian opetuksessa ihmisen kemian kontekstissa. Aihe voidaan näin ollen katsoa lukion kemian oppisisällöksi. Linkitys on opetussuunnitelman perusteiden mukaista, sillä KE5-kurssin tavoitteena on, että opiskelija ymmärtää tasapainon merkityksen ja tutustuu tasapainoon luonnon ilmiöissä. (ks. LOPS, 2003) Puskuriliuos ihmisen kemian kontekstissa opetetaan teoriatasolla suhteellisen kattavasti, mutta sitä tukevia tehtäviä on vähän, eikä kokeellista oppimateriaalia ei ole lainkaan.

Analyysin pohjalta päätettiin kehittää kokeellinen oppimateriaali tukemaan puskuriliuoskäsitettä. Oppimateriaali päätettiin rakentaa veren kemian ympärille, tukemaan oppikirjojen oppisisältöä.

4 Teoreettinen ongelma-analyysi

Tässä luvussa käsitellään kokeellisen oppimateriaalin kehittämisen ja sen arvioinnin kannalta keskeistä tutkimuskirjallisuutta. Ensimmäisessä alaluvussa 4.1 esitellään veri puskuriliuoksena, sen koostumus, toiminta, säätely ja siihen vaikuttavat aineenvaihduntatuotteet sekä sen yhteys terveyteen. Alaluvussa 4.2 käsitellään happo-emäskemian ja puskuriliuoksen oppimista käsittelevää kirjallisuutta. Seuraavassa alaluvussa 4.3 perehdytään lukion opetussuunnitelman perusteiden tavoitteisiin, kontekstuaaliseen oppimiseen ja käsitteen oppimisen ja kokeellisuuden tukeminen. Lopuksi teoreettinen ongelma-analyysi kootaan alaluvussa 4.4.

4.1 Veri puskuriliuoksena

Veri on yleinen esimerkki opetettaessa puskuriliuoksia. Ihmiselimistön toiminnan kannalta veren puskuriominaisuus on elintärkeä, sillä ilman sitä solujen pH muuttuisi helposti ja elintoiminnot hidastuisivat nopeasti. Puskurien lisäksi veren pH:ta säätelevät useat elimet.

Tässä alaluvussa esitetään miksi pH:n säätely on tärkeää (4.1.1), mitä puskureita verestä löytyy (4.1.2.), millä järjestelmillä keho säätelee veren pH:ta ja miten nämä säätelyjärjestelmät toimivat (4.1.3), mitkä aineenvaihduntatuotteet vaikuttavat elimistön happo-emästasapainoon (4.1.4) ja lopuksi mitä häiriötiloja elimistön happo-emästasapainon horjumisesta voi seurata (4.1.5).

4.1.1 Veren happo-emästasapainon säätelyn merkitys

Kehossamme kiertävä veri on nestemäinen kudos, joka voidaan kemiallisesta näkökulmasta ajateltuna määritellä seokseksi, joka sisältää useita eri komponentteja. Veren protonikonsentraatio eli pH on tarkasti säädelty ja se pidetään 7,35–7,45 välillä. Muutokset pH:ssa voivat olla jopa hengenvaarallisia. Säätelyyn osallistuu puskuroivia aineita ja erityselimiä. Kokonaisuudessaan kehon sisäisten toimintojen tasapainon säätelevää järjestelmää kutsutaan homeostaasiksi.

Veren pH-tasapainon säätelyllä suojataan soluja, sillä solujen sisäiset rakenteet ja prosessit ovat hyvin herkkiä pH:n muutoksille (Arnett, 2008). pH:n vaikuttaa proteiinien rakenteeseen

ja näin kaikkiin kudoksiin ja elimien toimintaan. (Adroque & Madias, 1998) Erityisen herkkiä pH:n muutoksille ovat proteiineista rakentuneet entsyymit, jotka katalysoivat soluissa tapahtuvia reaktioita. Entsyymeillä on tarkka pH-optimi missä ne toimivat aktiivisimmin. Lisääntynyt, tai alentunut protonikonsentraatio vaikuttaa happamien ja emäksisten aminohappojen varaukseen ja voi näin muuttaa entsyymin aktiivisen kohdan rakennetta. Proteiineista rakentuneiden entsyymien sekundäärinen ja tertiäärinen rakenne muuttuu jos heikkoja vetysidoksia katkeaa. Pahimmillaan tämä johtaa proteiinien denaturoitumiseen. Pieni muutos solun pH:ssa vaikuttaa suuresti soluissa tapahtuvien reaktioiden nopeuteen. (ks. esim. Silverthorn, 2014, 719; Nelson & Cox, 2008, 59)

Solujen sisäinen pH on noin 7,2 ja sen säätelyyn osallistuu erilaisia puskureita. (Juel, 2008) Soluissa syntyy aineenvaihdunnan seurauksena happoja ja emäksiä, jotka vaikuttavat solujen sisäiseen pH:hon. Happamien aineenvaihdunta tuotteiden osuus on huomattavasti suurempi kuin emäksisten (Ks. Pouplin et al., 2012). Koska solujen sisäinen puskurikapasiteetti on rajallinen, eritetään aineenvaihdunnan tuotteet vereen. Veressä aineenvaihduntatuotteet puskuroidaan ja kuljetetaan sitten niitä käsitteleviin elimiin.

4.1.2 Veressä toimivat puskurit

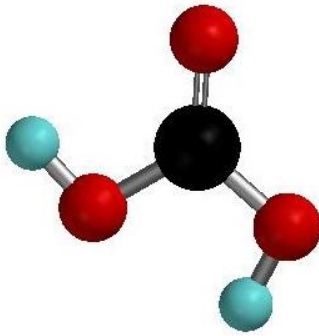
Veressä toimii kaksi elektrolyyttipuskuria: hiilihappo-bikarbonaattipuskuri ja fosfaattipuskuri. Lisäksi hemoglobiini ja plasmaproteiinit osallistuvat veren puskurointiin. Puskurit ovat kehon ensimmäinen suoja pH:n laskua vastaan ja tämä prosessi käynnistyy heti kun protonit siirtyvät soluista vereen.

Hiilihappo-bikarbonaattipuskuri

Ihmiskehon tärkeimpänä puskurina pidetään hiilihappo-bikarbonaattipuskuria. Hiilihappoa muodostuu hiilidioksidin reagoidessa veden kanssa yhtälön 1 mukaan.



Tämä puskurijärjestelmä eroaa muista elimistön puskureista siinä, että hiilidioksidia voidaan tarvittaessa poistaa keuhkojen kautta nopeasti, kun taas normaaleissa puskureissa happo-emäs parit säilyvät liuoksessa. (Pouplin, Calvez, Lassale, Chesneau & Tomé, 2012)



Kuva 3: Hiilihapon rakenne

Veressä oleva hiilihapo (kuva 3) on heikko kahdenarvoinen happo, joka on veressä osittain dissosioituneena yhtälön 2 mukaan.



Lämpötilassa 37°C hiilihapon $pK_{a1} = 3,71$, joka on yllättävän alhainen ottaen huomioon, että puskuri toimii parhaiten silloin, kun liuoksen pH on lähellä puskurin pK_a :ta.

Hiilihappoa on veressä vähän verrattuna bikarbonaatti-ionin konsentraatioon, mutta aineenvaihdunnassa syntyvä hiilidioksidi kykenee reagoimaan nopeasti veden kanssa muodostaen lisää hiilihappoa yhtälön 1 mukaan. Liuenneen hiilidioksidin konsentraatio tulee ottaa huomioon laskettaessa hiilihapon pK_a -arvoa veressä kaavojen 3-13 mukaan. (Nelson & Cox, 2008, 63)



$$K_{CO_2(d)} = \frac{[H_2CO_3]}{[CO_2(d)]} \quad (4)$$

$$K_{CO_2(d)}[CO_2(d)] = [H_2CO_3] \quad (5)$$



$$K_{H_2CO_3} = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} \quad (7)$$

$$K_{H_2CO_3} = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{K_{CO_2(d)}[CO_2(d)]} \quad (8)$$

Kun nämä molemmat yhdistetään, saadaan kokonaisuuden K_a -arvo laskettua.

$$K_{CO_2(d)} \times K_{H_2CO_3} = K_{Yhdistetty} = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[CO_2(d)]} \quad (9)$$

$CO_2(d)$ tarkoittaa veren plasmaan liuennutta hiilidioksidia. K_{CO_2} on $3,0 \times 10^{-3}M$ ja $K_{H_2CO_3}$ on $2,7 \times 10^{-4}M$.

Näiden avulla voimme laskea yhdistetyn K_a -arvon

$$K_{Yhdistetty} = (3.0 \times 10^{-3})(2.7 \times 10^{-4}) \quad (10)$$

$$K_{Yhdistetty} = 8.1 \times 10^{-7} M^2 \quad (11)$$

$$pK_{Yhdistetty} = -\log[8.1 \times 10^{-7} M^2] \quad (12)$$

$$pK_{Yhdistetty} = 6.1 \quad (13)$$

Veren pH voidaan määrittää liuenneen hiilidioksidin ja bikarbonaatin konsentraatioiden suhteen avulla käyttämällä Hendersson-Hassenbachin yhtälöä:

$$pH = 6.1 + \log\left(\frac{[HCO_3^-]}{[CO_2]}\right) \quad (14)$$

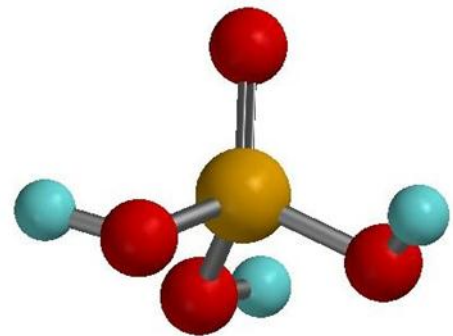
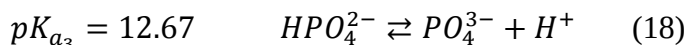
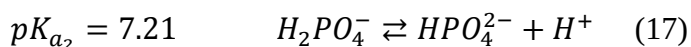
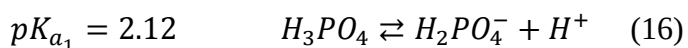
Sama yhtälö esitetään usein myös hiilidioksidin osapaineen avulla:

$$pH = 6.1 + \log\left(\frac{[HCO_3^-]}{(0.23 \times pCO_2)}\right) \quad (15)$$

0,23 on hiilidioksidin liukoisuuskerroin vedessä. pCO_2 on yhtälössä ilmoitettu kilopascaleina. (Nelson & Cox, 2008, 63) Hiilidioksidin osapaine on verisuonissa noin 5.33kPa (merenpinnan tasossa). (Paulev & Zubieta-Calleja, 2005)

Fosfaattipuskuri

Fosforihappo (kuva 4) on kolmenarvoinen heikko happo.

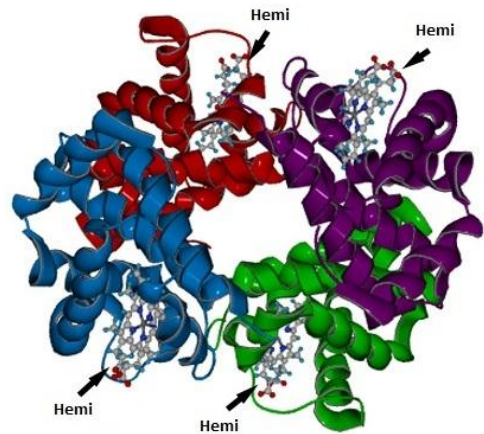


Kuva 4: Fosforihapon rakenne

Kehon lämpötilassa 37°C, ja plasman ja virtsan ionivahvuuksissa yhtälön 17 pK_{a_2} on hieman pienempi, 6,8. Fosfaatti on plasmassa ja virtsassa pääosin protolysoituneena $H_2PO_4^-$ ja HPO_4^{2-} ioneiksi. (Schwartz, Bank, & Cutler, 1958) Fosfaattipuskuri on tehokas, sillä sen puskurikapasiteetin maksimi on lähellä veren pH:ta 7,4. Fosfaatti on munuaisten tärkein puskuri (Pouplin et al., 2012).

Hemoglobiini

Hemoglobiini (kuva 5) on punasoluihin pakattu makromolekyyli, joka on muodostunut neljästä proteiiniketjusta ja näihin liittyneistä hemirakenteista. Hemoglobiini on pääasiassa tunnettu siitä, että se kuljettaa molekulaarista happea keuhkoista elimistön soluihin, mutta osallistuu myös hiilidioksidin kuljetukseen ja toimii puskurina veren pH-vaihteluita vastaan.

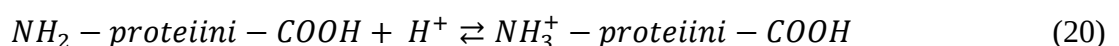
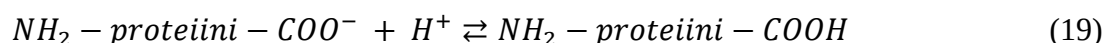


Kuva 5: Hemoglobiinin rakenne

Kun happea kuljettava hemoglobiini saapuu valtimoveren mukana hiussuoniin ja sieltä kudoksiin, muuttuvat veren olosuhteet; lämpötila nousee, pH laskee ja hiilidioksidin osapaine kasvaa. Olosuhteen muutokset auttavat happimolekyyliä irtautumaan hemoglobiinista ja näin se voi siirtyä sitä tarvitsevaan kudokseen. Hapen irtoaminen hemoglobiinista parantaa sen kykyä kuljettaa hiilidioksidia. Hemoglobiinin proteiiniketjujen $-NH_2$ -päätt kykenevät sitomaan hiilidioksidimolekyylin muuttuen $NHCOOH$ -muotoon. Hiilidioksidin liittyminen hemoglobiiniin puskuroi pH-muutoksia, sillä sitoutunut hiilidioksidi ei tällöin pääse muodostamaan hiilihappoa reagoidessaan veden kanssa. Lisäksi hemoglobiinin proteiiniketjut pystyvät sitomaan itseensä protoneita. Protonit sitoutuvat paremmin hemoglobiiniin, jos siihen ei ole sitoutunut happea. Keuhkojen kapilaareissa veren olosuhteet muuttuvat: lämpötila laskee, pH nousee ja hiilidioksidin osapaine pienenee. Muutos helpottaa hiilidioksidin irtoamista ja hapen sitoutumista hemoglobiiniin. (Dashi & Bassingthwaighe, 2004)

Plasmaproteiinit

Proteiinit ovat plasman pH:ssa 7,4 anionimuodossa ja kykenevät siten sitomaan protoneita karboksyyli- ja aminopäähän. Protonin sitoutuminen on esitetty yhtälöissä 19 ja 20. (Pouplin et al, 2012)



4.1.3 Veren happo-emästasapainoa säätelevät elimet

Ylimääräinen happo poistuu puskuroinnin jälkeen elimistöstä keuhkojen ja munuaisten avulla. Hiilidioksidia kutsutaan kehon happo-emästasapainon yhteydessä haihtuvaksi hapoksi (ks. 4.2.4) Haihtuvan hapon erityksestä huolehtivat keuhkot. Haihtumattomat hapot toimitetaan puskuroinnin jälkeen munuaisiin ja ne erittyvät kehosta virtsan mukana.

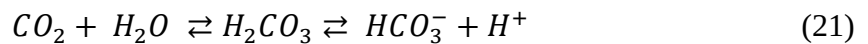
Keuhkojen osuus happo-emästasapainossa

Keuhkot huolehtivat hiilidioksidin poistosta, sääten näin hiilihapon määrää veressä. Kun aineenvaihdunta kiihtyy, syntyy hiilidioksidia enemmän ja sen osapaine kasvaa. Tämän seurauksena keuhkot kiihdyttävät hengitystä, jolloin hiilidioksidin poistuminen tehostuu.

Hiilidioksidi pystyy lähes poolittomana molekyylinä diffuntoitumaan solukalvon läpi plasmaan. Tämän jälkeen suurin osa hiilidioksidista siirtyy punasoluihin, jossa osa sitoutuu suoraan hemoglobiiniin, mutta suurin osa hiilidioksidista reagoi veden kanssa muodostaen hiilihappoa. Normaalisti reaktio hiilidioksidin ja veden välillä on hidas, mutta punasoluissa olevat karboanhydraasientsyymit kiihdyttävät reaktiota. Suurin osa hiilihaposta reagoi edelleen muodostaen bikarbonaattia ja protoneja yhtälön 2 mukaan. Hemoglobiini-molekyylit sitovat suurimman osan syntyneistä protoneista. Bikarbonaatti-ionit siirtyvät plasmaan konsentraatiogradientin mukaisesti punasolujen pinnalla olevien kantajaproteiinien, HCO_3^- - Cl^- -antiporttien avulla. Kun bikarbonaatti-ioni siirtyy solusta plasmaan, siirtyy kloridi-ioni punasoluun, eikä solun sisäinen varaus muutu. Bikarbonaatti-ionit liukenevat hiilidioksidikaasua paremmin plasmaan ja näin veren hiilidioksidin kuljetuskapasiteetti kasvaa. (Roughton, 1935)

Keuhkorakkuloiden alveoleissa hiilidioksidin osapaine on pieni, joten hiilidioksidi diffuntoituu verestä hengitysilmaan. Hiilidioksidin konsentraation muuttuminen käynnistää aiemmin esitetyn prosessin vastakkaiseen suuntaan. Hemoglobiini-molekyylit luovuttavat sitomansa protonin bikarbonaatille, joka sitten hajoaa takaisin hiilidioksidiksi ja vedeksi. Kun bikarbonaatti-ionien konsentraatio punasoluissa pienenee, siirtyvät plasmaan eritetyt bikarbonaatti-ionit siirtyvät takaisin punasoluihin HCO_3^- - Cl^- -antiportin avulla. (Roughton, 1935)

Keuhkojen osuutta veren happo-emästasapainoon voidaan tarkastella Le Châtelierin periaatteen kautta. Kun hiilidioksidia poistuu verestä, tasapaino alla olevassa reaktioyhtälössä (15) häiriintyy. Tasapainossa oleva systeemi pyrkii kumoamaan muutoksen, joten lisää hiilihappoa hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi. Hiilihapon määrän väheneminen puolestaan johtaa bikarbonaatti-ionien ja protoneja väliseen reaktioon, mikä tuottaa lisää hiilihappoa ja vähentää happamuutta määrittelevien protonien konsentraatiota veressä.



Munuaiset happo-emästasapainon säätelyssä

Munuaiset osallistuvat kehon happo-emästasapainon säätelyyn kahdella tapaa. Munuaiset poistavat elimistöstä aineenvaihdunnassa syntyneitä haihtumattomia happoja ja säätelevät bikarbonaatin eritystä. (Koeppen, 1998)

Hapot poistuvat elimistöstä virtsan mukana. Happamimmillaan virtsan pH voi olla 4,4. Virtsassa on silloin noin 1000 kertaa enemmän protoneja kuin veressä. Vain hyvin pieniä määriä vahvoja happoja, kuten rikkihappoa, voidaan vapauttaa suoraan sellaisenaan virtsaan. Tämän johdosta protonit puskuroidaan virtsassa. Puskureina virtsassa toimii fosfaatti ja ammoniakkipuskurit. Ammoniakki diffundoituu lipidikalvon läpi alkuvirtsaan, jossa se sitoo itseensä protonin, muodostaen ammoniumionin NH_4^+ . Ammoniumioni ei voi juurikaan diffundoitua takaisin poolittoman lipidikerroksen läpi ja se erittyy virtsaan. Rikkihappo erittyy näin olleen $(NH_4)_2SO_4$ -muodossa. (Remer, 2000; 2001) Happoa erittyy myös ureafosfaatin muodossa. (Pouplin et al., 2012)

Munuaiset suodattavat puskuroidun bikarbonaatin ja vapauttavat sen takaisin verenkiertoon. Lisäksi munuaiset tuottavat uusia bikarbonaatti- ja ammoniumioneja glutamiinista. (Koeppen, 1998, Pouplin, et al., 2012)

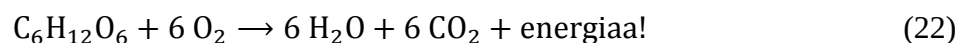
4.1.4 Veren happo-emäs-tasapainoon vaikuttavat aineenvaihduntatuotteet

Ravinnolla on merkittävä vaikutus elimistön happo-emästasapainoon. (Remer, 2000; 2001) Kun ruuan sisältämät makromolekyylit, kuten hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat hajoavat soluissamme tuottaen energiaa, syntyy aineenvaihduntatuotteita, jotka vaikuttavat solun ja

myöhemmin veren happo-emäs-tasapainoon. Kehon pH-tasapainon määrittäminen on monimutkaista ja siihen liittyy paljon väärinkäsityksiä. Ruoka-aineen pH ei kerro suoraan sen vaikutuksesta elimistön happo- ja emästasapainoon. Esimerkiksi sitruunalla on alhainen pH, koska se sisältää paljon sitruunahappoa, mutta kun sitruunan sisältämät aineet on metabolisoitu, jäljellä jää enemmän emäksisiä aineenvaihduntatuotteita kuin happamia, ja näin sitruuna vaikuttaa kehon pH-tasapainoon nostaen sitä. Rikkiä sisältävät aminohapot taas ovat aluksi neutraaleja, kunnes ne metaboloituvat ja tuottavat rikkihappoa. (Oh, 2000) Aineenvaihduntatuotteet voidaan jakaa haihtuvaan happoon (hiilihappo→hiilidioksidi), haihtumattomiin happoihin ja emäksiin. (Pouplin et al, 2012)

Haihtuva happo

Hiilihydraattien, rasvojen ja proteiinien, sisältämien hiilirakenteiden hapetuksen seurauksena syntyy hiilidioksidia. Yhtälössä 22 on esimerkkiaineena glukoosi.

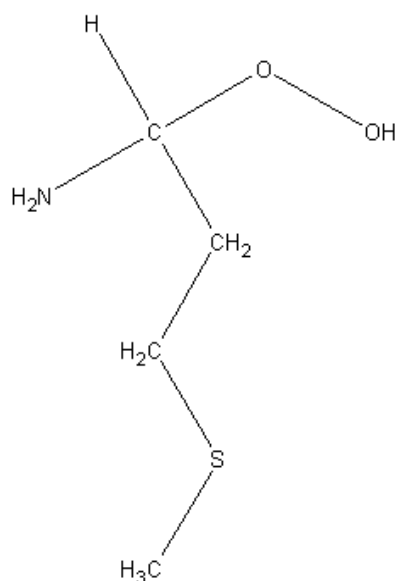


Hiilidioksidia syntyy kevyen toiminnan aikana ihmisessä noin 1 mooli tunnissa ja keuhkot poistavat tämän uloshengityksen avulla kehosta. (Paulev & Zubieta-Calleja, 2005)

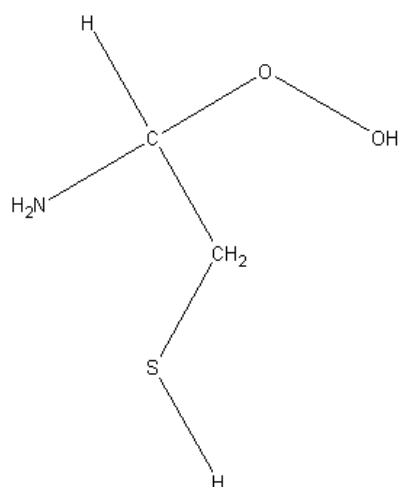
Haihtumattomat hapot

Haihtumattomia happoja syntyy usean aineenvaihduntaprosessin lopputuotteena. Tässä käydään läpi yleisimmät aineenvaihduntatuotteet.

Rikkihappoa syntyy rikkiä sisältävien aminohappojen metioniini- ja kysteiiniaminohappojen hajotuksessa. (Halperin & Jungas, 1983)

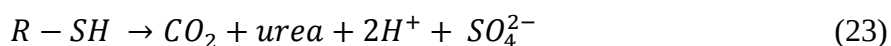


Kuva 6: Metioniinin rakennekaava



Kuva 7: Kysteiinin rakennekaava

Yhtälössä 23 on esitetty rikkiä sisältävien aminohappojen hajotuksen sievennetty reaktioyhtälö. (Oh, 2000; Pouplin et al, 2012; Halperin & Jungas, 1983)



Fosforihappoa syntyy fosfoesterien ja fosfoproteiinien aineenvaihdunnassa. Yhtälössä 24 on esitetty sievennetty reaktioyhtälö fosfaattia sisältävien makromolekyylien hajotuksesta. (Pouplin et al, 2012)

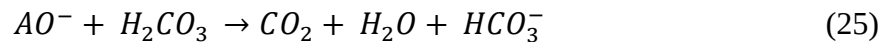


Maitohappoa syntyy esimerkiksi urheilusuorituksen aikana, kun hiilihydraattien hajotuksen aikana ei ole riittävästi happea tarjolla. (Juel, 2008) Maitohapon pK_a on 3,86 joten se luovuttaa protonin kehon pH:ssa. Osa syntyneistä laktaatti- ja vetyioneista metabolisoidaan soluissa, mutta suurin osa siirtyy vereen (Juel, 2008). Laktaatti-ionit hajotetaan myöhemmin muissa soluissa ja maksassa (Bonen, McDermott & Tan, 1990).

Lisäksi metabuloimattomat orgaaniset hapot vaikuttavat merkittävästi kehon happo-emästasapainoon. Metabuloituessaan orgaaniset hapot tuottavat hiilidioksidia ja vettä, mutta kaikkia happoja keho ei pysty hajottamaan. Tällaisia happoja ovat esimerkiksi virtsa- ja oksaalihappo. (Oh, 2000)

Emäkset

Emäksisiä aineenvaihduntatuotteita syntyy orgaanisista anioneista, joita ovat esimerkiksi esimerkiksi sitraatti, malaatti ja laktaatti. Orgaanisia anioneja, mukaan lukien bikarbonaattia, saadaan runsaasti kasvikunnan tuotteista. (Demigné, Sabbah, Puel, Rémésy & Coxam, 2004; Pizzorno, Frassetto & Katzinger, 2010) Anionit tuottavat bikarbonaattia reaktion 25 mukaisesti. (Pouplin et al, 2012)



4.1.5 Veren happoemästatapainon häiriöt

Normaaleissa olosuhteissa aineenvaihdunnassa syntyy happoja ja emäksiä samassa suhteessa kun niitä eritetään. Jos tasapaino häiriintyy, on seurauksena asidoosi tai alkaloosi. (Koeppen, 1998) Ihmiset voivat kärsiä neljästä erilaisesta happo-emästatapainon häiriöstä: respitoriaalisesta asidoosista, respitoriaalisesta alkaloosista, metabolisesta asidoosista ja metabolisesta alkaloosista. Häiriöt voivat olla akuutteja tai kroonisia. (Koeppen, 1998; Paulev & Zubieta-Calleja, 2005) Häiriötilat tulevat näkyviin vasta silloin kun kehon puskurikapasiteetti on ylittynyt. Respiratorisissa vaikeuksissa munuaiset pyrkivät korjaamaan tasapainoa, metabolisissa tasapainon säätelyyn osallistuvat sekä munuaiset että keuhkot. (Silverthorn, 2014, 726-727)

Taulukko 3: Veren pH-arvot. Muokattu lähteestä (Silverthorne, 2014, 726)

6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8
Asidoosi						Alkaloosi			

Taulukossa (3) on esitetty veren pH:n kriittiset raja-arvot. Huomioitavaa on, että rajat ovat viitteellisiä ja tarkat raja-arvot vaihtelevat hieman kirjallisuus lähteissä. Vihreän alueen sisällä on veren normaali pH 7,35–7,45. Jos pH laskee alle 7,35, ihminen kärsii asidoosista ja jos pH nousee yli 7,45:n seurauksena on alkaloosi. Punaisella näkyvät alueet indikoivat veren pH:n raja-arvoja, joiden ylitykset ovat hengenvaarallisia.

Respiratoriset ongelmat

Respiratoriset happo-emästasapainon häiriöt aiheutuvat joko hiilidioksidin kertymisestä kehoon tai sen liiallisesta poistumisesta. Häiriöt syntyvät, kun keuhkoissa tapahtuva kaasujen vaihto joko hidastuu tai kiihtyy.

Respiratorinen asidoosi syntyy silloin, kun hengitys lamaantuu ja kudoksissa syntynyttä hiilidioksidia ei saada poistettua kehosta. Hengitys voi lamaantua muun muassa erilaisten lääkkeiden ja alkoholin vaikutuksesta, astman aiheuttamista hengitysvaikeuksista, keuhkokuumeesta ja keuhkolaajentumassa. Tällöin sekä kehon protonikonsentraatio että bikarbonaattikonsentraatio nousevat. (Silverthorn, 2014, 727)

Jos ihmisen hengitys kiihtyy liikaa esimerkiksi hyperventilaatiokohtauksen johdosta, poistuu elimistöstä hiilidioksidia nopeammalla vauhdilla, kuin mitä sitä syntyy. Tällöin veren pH nousee, sillä hiilidioksidia muodostuu hiilihaposta, kun bikarbonaatti-ioni on sitonut vapaan protonin (ks. tasapaino reaktio 21). Tilaa kutsutaan respiratoriseksi alkaloosiksi (Paulev & Zubieta-Calleja, 2005). Tila voidaan korjata rauhoittamalla hengitystä sekä hengittämällä paperipussiin, jolloin hyperventiloiva henkilö hengittää sisään poistunutta hiilidioksidia, mikä tasapainottaa veren pH:ta. Hyperventilaatio on tyypillinen reaktio myös, kun ihminen on korkealla merenpinnasta (Paulev & Zubieta-Calleja, 2005). Siellä hapen osapaine pO_2 on pieni ja tämän johdosta keuhkotuuletus tehostuu, jotta ihminen saa riittävästi happea. Respiratorisessa alkaloosissa sekä protonikonsentraatio että bikarbonaattikonsentraatio laskevat.

Metabolinen näkökulma

Ravinnosta saadun hapon määrän selvittämiseen käytetään kolmea eri menetelmää: hapon määrä voidaan selvittää mittaamalla virtsaan eritetyn ammoniumionin määrää, virtsasta voidaan mitata titrattavan hapon ja bikarbonaatin määrä ja näistä voidaan laskea hapon nettosuhde NAE (net acid excretion) tai hapon määrä voidaan laskea päivittäisestä ravinnosta määrittämällä NEAP (net endogenous acid production). (Pizzorno et al, 2010)

Metabolinen asidoosi syntyy, kun aineenvaihdunnassa muodostuu enemmän haihtumattomia happoja kuin munuaiset pystyvät erittämään. (Pizzorno et al, 2010)

Lisäksi metabolinen asidoosi voi muodostua:

- kovan fyysisen rasituksen seurauksena, jolloin keho joutuu tuottamaan energiaa anaerobisesti ja elimistöön kertyy maitohappoa.
- vaikeassa ripulissa, jossa bikarbonaatti ei ehdi imeytyä elimistöön.
- erilaisten myrkkujen, kuten metanolin, aspiriinin ja etyyliglykolin nauttimisen seurauksena. (Silverthorn, 2014, 727)

Keuhkot pyrkivät korjaamaan alentunutta pH:ta lisäämällä keuhkotuuletusta, jolloin verestä poistuu hiilihappoa. Keuhkot toimivat niin sanotusti fysiologisenä puskurina. Tällöin kuitenkin myös veren bikarbonaatti-varastot pienenevät, mikä vähentää veren puskurikapasiteettia. Metabolinen asidoosin on todettu aiheuttavan luiden ja lihasten massan vähentymistä, munuaiskivien syntyä ja kasvuhormonitasojen laskua. (Frassetto, Morris, Sellmeyer, Todd & Sebastian, 2001)

Metabolinen alkaloosi voi ilmetä voimakkaan oksentelun sekä liiallisen antisidien, eli happoja neutraloivien närästyslääkkeiden syömisen seurauksena. Myös tässä tilassa fysiologinen puskuri, keuhkot, aktivoituu vähentämällä keuhkotuuletusta, mikä nostaa osaltaan veren pH:ta. (Silverthorne, 2014, 728)

4.2 Puskuriliuoksen oppimisesta

Tässä alaluvussa esitellään tutkimustiedon mukaan opiskelijoilla ilmenneitä haasteita ja vaihtoehtoisia käsityksiä. Alaluvussa 4.2.1 esitellään puskuriliuoskäsitteeseen vahvasti liittyvien happo-emäskemian käsitteiden oppimista. Alaluvussa 4.2.2 esitellään yliopisto-opiskelijoilla teetetty tutkimus puskuriliuoksen oppimisesta.

4.2.1 Happo-emäskemian oppiminen

Yleisesti happo-emäskemian oppimista on tutkittu suhteellisen kattavasti. Happoihin ja emäksiin liittyvä kemia on haastavaa (Sheppard, 2006; Demircioğlu et al., 2005) ja siihen liittyy paljon vaihtoehtoisia käsityksiä. (ks. esim. Orgill, 2008; Watters & Watters 2006; Schmith, 1997; Demircioğlu et al., 2005; Sheppard, 2006; Chiu, 2007). Vaihtoehtoisella käsityksellä viitataan käsitykseen, joka ei ole yhteneväinen tiedeyhteisössä vallitsevan käsityksen kanssa. Kirjallisuudessa käytetään myös nimityksiä ennakkokäsitys ja

virhekesitys. (Vosnodoau, 2008) Vaihtoehtoisten käsitysten uskotaan kumpuavan arkielämästä (Schmith 1997, Demircioğlu et al., 2005) ja arkikielessä esiintyvistä rinnakkaismerkityksistä (Chiu, 2007).

Kaiken kaikkiaan happo-emäskemian sisällä haastavista käsitteistä tutkimuksissa nousee esille erityisesti neutralointi (ks. Schmith 1997; Sheppard 2006). Opiskelijat ymmärtävät vaihtoehtoisesti, että neutraloinnin tuloksena liuoksen pH-arvo on aina 7, eikä liuos enää sisällä happoa, eikä emästä. (Schmith, 1997, Özmen, Demircioğlu, & Coll, 2009, Demircioğlu et al., 2005) Schmith uskoo tämän johtuvan, siitä, että sanassa neutralisointi on sisällä sana neutraali. (Schmiths, 1997) Lisäksi vaihtoehtoinen käsitys saattaa johtua siitä, että neutralointireaktioiden esimerkeissä vahva happo reagoi vahvan emäksen kanssa, jolloin syntyy vettä ja suolaa. Useat opiskelijat uskovat suolojen olevan aina neutraaleja (Demircioğlu et al., 2005).

Toinen erityisen haastava käsite on pH (Sheppard, 2006; Watters & Watters, 2006) Opiskelijat käsittävät pH-arvon kertovan hapon vahvuudesta, eivät eivätkä konsentraatiosta. Lisäksi opiskelijat käsittävät pH-skaalan lineaariseksi, eivät ymmärrä esimerkiksi pH 3 ja pH 5 suuruusluokan eroa. (Sheppard, 2006)

Sheppard (2006) tutki happo-emästitrausten avulla opiskelijoiden käsityksiä happo-emäskemiasta. Titraukset toteutettiin mittausautomaatiotekniikan avulla. Hänen tutkimuksessaan tuli ilmi, että opiskelijoilla oli vaihtoehtoisia käsityksiä käsitteissä pH-, neutralointi, happojen ja emästen vahvuus, ja käsitteiden happo ja emäs teoreettiset määritelmät olivat puutteellisia. Lisäksi useimmat opiskelijat eivät kyenneet siirtämään käsitetietoaan konkreettisiin liuoksiin.

4.2.2 Puskuriliuoksen oppiminen

Tutkimustietoa puskuriliuoksen oppimisesta on julkaistu vähän. (Watters & Watters, 2006; Orgill & Sutherland, 2008) Suomessa julkaistiin vuonna 2003 Pro Gradu -tutkielma: Puskuriliuosaihe kemian ja biologian opetuksessa (Tikkanen, 2003). Tutkielmassa analysoitiin vuoden 1994 opetussuunnitelmien perusteisiin (POPS, 1994; LOPS, 1994) pohjautuneiden kemian ja biologian oppikirjojen sisältöjä ja kehitettiin lisää laboratoriotöitä tukemaan aiheen opetusta. Kansainvälisesti puskuriliuoksen oppimisessa ilmenneitä haasteita on tutkittu yliopisto-opiskelijoiden keskuudessa (ks. Orgill & Sutherland, 2008).

MaryKay Orgill ja Aynsley Sutherland julkaisivat vuonna 2008 kattavan tutkimuksen yliopisto-opiskelijoiden käsityksistä ja taidoista puskuriliuoksien ymmärtämisessä. Heidän tutkimusjoukkonaan olivat yleisen kemian, analyyttisen kemian ja biokemian opiskelijoita (N=31) ja puskuriliuosaihetta käsittelevien kurssien opettajia (N=7) Western reasearch yliopistosta. He halusivat selvittää, mitä opiskelijat ymmärtävät puskuriliuosten toiminnasta, missä asioissa heillä on ongelmia, kun he ratkaisevat puskuriliuoksiin liittyviä tehtäviä ja mitä käsityksiä opiskelijoilla on liittyen puskuriliuossysteemeihin ja laskettaessa puskuriliuoslaskuja.

Tutkimus vahvisti Orgillin ja Sutherlandin (2008) käsitystä siitä, että kemian yliopisto-opiskelijoilla on hyvin yksinkertainen, lähinnä makrotason käsitys puskureista. Opiskelijat tiesivät, että puskuriliuos kykenee vastustamaan pH:n muutosta, mutta heillä oli heikot tiedot siitä, mitä puskuriliuos sisältää ja mitkä ovat dynaamiset reaktiot puskuriliuoksen partikkelien välillä.

Orgillin ja Sutherlandin (2008) mukaan opiskelijoilla oli ongelmia etenkin käsitteellisellä tasolla, mikä vaikutti vahvasti puskuriliuoksiin liittyvien tehtävien ja ongelmien ratkaisemiseen. Lisäksi heillä oli ongelmia yhdistää makro-, sub-mikro ja symbolista tasoa keskenään.

Taulukossa 4 on poimittuna opiskelijoilla ilmenneitä haasteita ja vaihtoehtoisikäsitteitä.

Taulukko 4: Opiskelijoiden vaihtoehtoisia käsityksiä puskuriliuoksesta. Koottu lähteestä (Orgill & Sutherland, 2008)

Ongelma	Ilmeneminen
Puskuriliuoksen koostumus	Opiskelijat tiesivät, että puskuriliuossysteemi sisältää happoa ja emästä, mutta suurin osa luuli systeemin voivan sisältää mitä tahansa happoa tai emästä ja mitä tahansa määriä.
	Opiskelijoilla oli vaikeuksia erottaa vahvojen ja heikkojen happojen ja emästen merkitys puhuttaessa puskuriliuoksista.
	Jotkut opiskelijat yhdistivät vahvat hapot ja emäkset puskurikapasiteettiin: mitä vahvempi happo ja emäs, sitä suurempi on puskuriliuoksen puskurikapasiteetti.
	Opiskelijat osasivat puskuriliuoksen määritelmän, mutta ratkaistessaan ongelmia, useat heistä käsittivät puskuriliuoksen yhtenä aineena, eivätkä osanneet erotella sen partikkeleita.

	Jotkut opiskelijat eivät ymmärtäneet heikon hapon ja sen vastinemäksen yhteyttä liuoksessa, vaan he yrittivät saada ne reagoimaan keskenään (tekemällä niistä reaktioyhtälön).
Puskuriliuoksen toiminta	Opiskelijoilla oli epäselvää, miten puskurit vastustavat pH:n muutoksia.
	Alle puolet opiskelijoista ymmärsi, että puskuriliuoksen komponentit ovat kemiallisessa tasapainossa keskenään.
	Jotkut opiskelijat käsittivät virheellisesti puskuriliuoksen pitävän liuoksen pH:n neutraalina (pH=7).
	Osa opiskelijoista sekoitti protonikonsentraation heikon hapon konsentraatioon laskiessaan puskuriliuokseen liittyviä laskuja.
	Opiskelijat esittivät puskuriliuoksen staattisena systeiminä eikä dynaamisena tasapainona
	Hyvin harvat opiskelijat pystyivät selittämään puskuriliuoksessa tapahtuvia mikrotason tapahtumia.
Puskuriliuoksen merkitys	Opiskelijat tiesivät, että pH:n säilyttäminen biologisissa systeemeissä on vitaalia mutta he eivät osanneet yhdistää liuoksen pH:ta ionisaatioon, biomolekyylien rakenteeseen ja toimintaan.
Puskuriliuoksen visuaalinen ymmärtäminen	Suurimmalla osalla opiskelijoista ei ollut minkäänlaista mentaalikuvaa puskureista, kun heitä pyydettiin visualisoimaan puskuriliuos. Ne opiskelijat, jotka piirsivät kuvan, käsittelivät ilmiötä vain makroskooppisella tai symbolisella tasolla.

Kaiken kaikkiaan opiskelijoilla oli vaikeuksia ymmärtää, mitä tietoa heidän tuli käyttää ratkaistessaan puskuriliuoksia ja he lähestyivät puskuriliuoksiin liittyviä tehtäviä mekaanisesti matemaattisten laskujen kautta. (Orgill & Sutherland, 2008)

Orgill ja Sutherland (2008) antavat tutkimuksensa lopussa vinkkejä siitä, mitä tulisi ottaa huomioon opettaessa puskuriliuoksia, jotta välttyttäisiin vaihtoehtoisilta käsityksiltä ja jotta opiskelijoiden olisi helpompi ymmärtää puskuriliuos-ilmiötä. He itse ovat lisänneet opetukseensa metakognitiivisia kysymyksiä, kuten ”Mistä tunnistat hapon? Mistä tunnistat, että kyseessä on puskuriliuos? Mitä tietoja sinulle on annettu ratkaistaksesi ongelman? Mitä

olet ratkaisemassa? Minkälaista lähestymistapaa voisimme käyttää?” Lisäksi he kehottavat käyttämään kuvia ja simulaatioita opetuksen tukena.

4.3 Puskuriliuoksen oppimisen tukeminen

Tässä alaluvussa perehdytään lukion opetussuunnitelman perusteissa määriteltyihin oppimistavoitteisiin lukion viidennen kurssin osalta ja käsitellään, miten ne on otettu huomioon kokeellisen oppimateriaalin rakentamisessa (4.3.1) Tämän jälkeen käsitellään oppimateriaalin rakentamisen kannalta kolme tärkeää aluetta ja näitä käsittelevää tutkimuskirjallisuutta: kontekstuaalinen oppiminen (4.3.2), käsitteen oppimisen tukeminen (4.3.3) ja kokeellisuuden tukeminen (4.3.4)

4.3.1 Puskuriliuos lukion kemian opetussuunnitelman perusteissa

Lukion opetussuunnitelman perusteissa (LOPS, 2003) kemian opetukselle on määritelty, sekä yleiset oppimistavoitteet, että kurssikohtaiset tavoitteet ja keskeiset sisällöt. Kokeellinen oppimateriaali on rakennettu niin, että se tukisi opetussuunnitelman perusteissa määriteltyjä tavoitteita.

Taulukossa 5 on esitetty ne kemian opetuksen yleiset tavoitteet joita tuotettu oppimateriaali pyrkii tukemaan, sekä selitys, miten se näkyy oppimateriaalissa.

Taulukko 5: LOPS (2003) yleiset kemian opetuksen tavoitteet ja niiden huomioiminen oppimateriaalissa.

Kemian opetuksen tavoitteena on, että opiskelija:	Miten tavoitteet on huomioitu oppimateriaalissa:
osaa kemian keskeisimmät peruskäsitteet ja tietää kemian yhteyksiä jokapäiväisen elämän ilmiöihin sekä ihmisen ja luonnon hyvinvointiin	Kokeellinen oppimateriaali on kehitetty tukemaan puskuriliuoskäsitettä ja sen ymmärtämiseen vaikuttaviin happo-emäskemian käsitteisiin. Puskuriliuos on liitetty ihmisen kemian kontekstiin ja terveyteen.

osaa kokeellisen työskentelyn ja muun aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsiä ja käsitellä tietoa elämän ja ympäristön kannalta tärkeitä kemiallisista ilmiöistä ja aineiden ominaisuuksista sekä arvioida tiedon luotettavuutta ja merkitystä	Laboratorio-osuudessa harjoitellaan erilaisia laborointitaitoja, kuten liuosten valmistamista ja happo-emästitrausta. Tulokset esitetään mittausautomaatio laitteiston avulla ja niiden pohjalta opiskelija soveltaa saamaansa tietoa ihmisen terveyden kontekstissa.
osaa tehdä ilmiöitä koskevia kokeita ja oppii suunnittelemaan niitä sekä osaa ottaa huomioon työturvallisuusnäkökohdat	Laboratorio-osuudessa harjoitellaan kokeellisuutta. Turvallisuusnäkökohdat otetaan huomioon.
osaa tulkita ja arvioida kokeellisesti tai muutoin hankkimaansa tietoa ja keskustella siitä sekä esittää sitä muille	Opiskelija harjoittelee kuvaajien tulkitsemista ja tiedon soveltamista ihmisen terveyden kontekstissa.

Puskuriliuos käsitellään kattavasti lukion viidennessä kemian kurssissa *Reaktiot ja tasapaino (KE5)*. Taulukossa 6 on esitetty mitä kurssin tavoitteita ja sisältöjä kehitetty oppimateriaali pyrkii tukemaan.

Taulukko 6: LOPS (2003) KE5-kurssin tavoitteet ja keskeiset sisällöt sekä niiden huomioiminen oppimateriaalissa.

Kurssin Reaktiot ja tasapaino (KE5) tavoitteena on, että opiskelija:	Miten tavoitteet on huomioitu oppimateriaalissa:
ymmärtää tasapainon merkityksen ja tutustuu tasapainoon teollisuuden prosesseissa ja luonnon ilmiöissä	Kokeellisessa oppimateriaalissa opiskelija tutustuu veren happo-emästasapainoon ja tarkastelee tasapainon merkitystä ihmisen terveyden kannalta.
osaa tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen kemialliseen tasapainoon liittyviä ilmiöitä.	Kokeellisessa oppimateriaalissa tutkitaan kokeellisesti veressä olevan fosfaattipuskurin tasapainoreaktioita ja puskurointikykyä.
Kurssin KE5 keskeiset sisällöt:	Miten sisällöt on huomioitu oppimateriaalissa:
happo-emästasapaino, vahvat ja heikot protolyytit, puskuriliuokset ja niiden merkitys	Oppimateriaalissa tehdään veren puskuriominaisuuksia simuloiva puskuriliuos kolmiarvoisen heikon hapon, fosforihapon,

	fosfaattisuoloista. Työssä tutkitaan valmistetun puskuriliuoksen happo-emästasapainoa ja pohditaan sen merkitystä ihmisen kemian kontekstissa.
• <i>tasapainoon liittyvät graafiset esitykset</i>	Puskuriliuosta tutkitaan mittausautomaatiotekniikalla, jossa pH-antureilla saatu tieto siirtyy reaaliaikaisesti graafisen kuvaajan muotoon. Kuvaajan tulkinta on tärkeä osa kokeellista työtä.

4.3.2 Kontekstuaalinen oppiminen

Luonnontieteiden opetus on saanut runsaasti kritiikkiä osakseen jo pidemmän aikaa (Stoelmayer, Rennie, Gilbert 2010). Gilbert (2006) nostaa artikkelissaan ”Nature of Context” isoimmiksi ongelmiksi liian laajan opetussisällön, irralliset faktatiedot, opitun tiedon soveltamisvaikeudet, tiedon relevanttiuden ja opetussuunnitelmien sisällön painotuksen. Hyvin suunnitellut kontekstuaaliset oppimateriaalit voivat vastata näihin ongelmiin. (Gilbert, 2006)

Kontekstuaalisella oppimisella tarkoitetaan asiayhteydessä (konteksti = asiayhteys) oppimista: opetettava asia pyritään opettamaan sitä käytettävän aiheen sisällä. Kontekstissa opettamisella pyritään luomaan yhteyksiä tieteen ja opiskelijat (arki)elämän välille, jotta opiskelija kokisi kemian opiskelun tarkoituksenmukaiseksi (Gilbert, 2006). Kontekstuaalisen (context-based) oppimisen rinnalla puhutaan usein STS-lähestymistavasta (science–technology–society approach), joka on opettamista tieteen, teknologian ja yhteiskunnan kontekstissa. (ks. Bennet, Lubben & Hogart, 2007).

Chiu (2007) mainitsee yhdeksi kemian oppimisen haasteeksi sen, että opittuja kemian käsitteitä osataan käyttää vain kemian kontekstin sisällä. Tosin sanoen opiskelijan voi olla vaikea siirtää koulussa opittua tietoa tosielämän tilanteisiin, jos opittu tieto on hyvin teoreettista eikä sitä ole linkitetty arkielämän tilanteisiin. Kontekstuaalisilla oppimateriaaleilla pyritään luomaan yhteys arkielämän ja kemian välille (Vos, 2010). Näin opittu tieto on helpommin linkitettävissä opiskelijan aiempiin tietorakenteisiin, eikä se jää irralliseksi faktoiksi. (Gilbert, Bulte & Pilot, 2011)

Kontekstuaalisella kemian opetuksella pyritään tekemään kemian oppimisesta relevanttia kaikille opiskelijoille (Vos, 2010). Bennett, Lubben ja Hogart (2007) käsittelivät seitsemäntoista tutkimusta, joissa tutkittiin kontekstuaalisia ja STS-oppimateriaaleja. Nämä tutkimukset sijoittuivat vuosien 1980 ja 2003 välille. Heidän tutkimustulostensa mukaan kontekstuaaliset oppimateriaalit lisäävät opiskelijoiden myönteistä suhtautumista tiedettä kohtaan, lisäävät opiskelijoiden kiinnostusta ja motivaatiota sekä parantavat oppimistuloksia.

Kontekstuaalinen oppiminen voidaan myös katsoa yhdeksi lukion opetussuunnitelman perusteiden opetusstrategiaksi. Oppimiselle asetetuissa tavoitteissa nousee esiin muun muassa ihmisen elämälle ja ympäristölle keskeiset kemian ilmiöt. Lukion viidennen kurssin ensimmäiseksi tavoitteeksi määritellään, että opiskelija ymmärtää tasapainon merkityksen ja tutustuu tasapainoon teollisuuden prosesseissa ja luonnon ilmiöissä.

Tässä tutkielmassa kokeellinen oppimateriaali on rakennettu ihmisen kemian kontekstin ympärille. Vuonna 2008 suoritetussa ROSE-tutkimuksessa tutkittiin mitkä kemian ja fysiikan aihealueet kiinnostavat suomalaisia lukio-opiskelijoita. Tutkimuksessa ilmeni, että ihmisen liittyvä kemia kiinnostaa opiskelijoita ja tutkimuksen päätelmissä kehoitetaan liittämään kemian opetusta vahvemmin ihmisen kemian ja terveyden kontekstiin. (Lavonen et al, 2008)

4.3.3 Käsitteen muodostamisen tukeminen

Yksi syy kemian oppimisen haastavuuteen on kemian kielen hallinta. Kemian tunneilla käytetään käsitteitä, jotka eivät ole opiskelijan arkielämästä tuttuja. (Johnstone, 1991, 2000; Gabel, 1999) Jos opiskelija ei ymmärrä kommunikoinnissa käytettävää kieltä, on hänen vaikeaa seurata opetusta. (Johnstone, 1991)

Tässä alaluvussa määritetään ensiksi, mitä sana ”käsite” tarkoittaa ja syvennyttään sen jälkeen kemian käsitteiden muodostumiseen. Lopuksi katsotaan, millä eri tavoin käsitteen muodostumista voi kemian opetuksessa tukea.

Käsitteen määritelmä

Kotimaisten kielten keskuksen kielitoimiston sanakirja on määritellyt sanan ”käsite” seuraavasti: ”ajattelun luoma abstrakti hahmo; esineelle t. asialle ominaisten piirteiden kokonaisuus” (Kielitoimiston sanakirja, 2014). Tosin sanoen käsite on ajatusrakennelma, jolle on annettu nimi. Koska käsitteisiin on tiivistetty ja varastoitu tietoa tiettyjen ilmiöiden tai olioiden yhteisistä piirteistä, mahdollistavat ne toimimisen ja asioiden käsittelyn yksittäisiä esimerkkejä ylemmällä tasolla. (Saario, 2012).

Kakkuri-Knuutila (2007) kuvaa käsitteitä totuuden haltuun ottamisen välineinä ihmisten välisessä kommunikaatiossa. Jotta ihmiset voivat keskustella jostain tietystä aihepiiristä, kuten happo-emäskemiasta, tulee heidän osata tämän aihepiirin käsitteitä. Käsitteillä voi olla useita rinnakkaismerkityksiä, esimerkiksi arkikielessä sanalla ”suola” tarkoitetaan yleisesti natriumkloridia, NaCl, mutta kemian tunneilla puhuttaessa suolasta tarkoitetaan ioniyhdistettä, joka on kiinteässä olomuodossa muodostunut kiteistä. Kemian käsitteiden oppimisessa arkikielen rinnakkaismerkitykset voivat vaikeuttaa käsitteiden oppimista ja aiheuttaa vaihtoehtoisten käsite rakenteiden syntymistä. Tämän johdosta opettajan tulee määritellä käsitteet tarkasti, jotta opiskelijat tietävät mistä puhutaan, sekä kiinnittää huomiota käyttämäänsä sanastoon. (Gabel, 1999)

Vuonna 2016 voimaan tulevassa peruskoulun opetussuunnitelman perusteissa (POPS, 2014) sanotaan, että ”Kemian opetuksen tehtävänä on tukea kemiaan liittyvien käsitteiden rakentumista sekä ilmiöiden ymmärtämistä.” Niin ikään lukion opetussuunnitelman perusteiden (2003) kemian opetuksen tavoitteissa nimetään kemian käsitteiden oppiminen. Käsitteiden opettaminen voidaanakin katsoa yhdeksi kemian opetuksen ydintavoitteista.

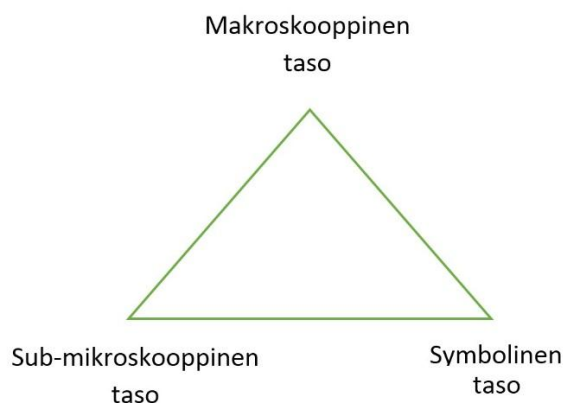
Käsitteen muodostuminen

Käsitteen muodostus on opetuksen keskeinen tehtävä, sillä käsitteen muodostamisella saamme ilmiön niin sanotusti otteeseemme. (Aebli, 1991, 267–268) Käsitteet voidaan jakaa arkikäsitteisiin, jotka opitaan koulun ulkopuolella ja tieteellisiin käsitteisiin, jotka opitaan yleensä koulussa. (Vygotski, 1982 (1931), 153–158) Arkikäsitteet muodostuvat yleensä induktion kautta: yksittäisistä kokemuksista ja havainnoista muodostuu pikkuhiljaa näitä tapauksia kokoava käsite. Tieteelliset käsitteet opitaan yleensä koulussa deduktiivisesti: ensiksi opitaan verbaalinen määritelmä, johon tulee myöhemmin konkreettista tai käsitettä

havainnollistavaa sisältöä. (Saario, 2012, Vygotski, 1982 (1931), 153–158) Näin ollen tieteellisten käsitteiden omaksuminen edellyttää usein käsitteen nimen ja sen edustaman ajatusrakennelman oppimista ennen kuin opiskelijalla on asiasta omia havaintoja tai kokemuksia. (Saario, 2012) Vygotski (1982 (1931)) huomauttaa, ettei opiskelija omaksu tieteellisiä käsitteitä sellaisenaan, vaan käsitteiden rakentuminen on kehitymisprosessina pohjimmiltaan samanlainen kuin arkikäsitteiden. Chiu (2007) tutki Taiwanissa kemian käsitteiden hallintaa ja mainitsee, että ennen kemian käsitteen määrittelyä olisi hyvä esitellä teemoja käsitteen ympärillä. Tämä helpottaisi käsitteen siirtämistä kemian kontekstin ulkopuolelle.

Käsitteen kehitys alkaa jonkinlaisella yleistyksellä sanan merkityksestä ja kehittyy pikkuhiljaa korkeampiin yleistystyyppeihin ja saavuttaa lopulta aidon käsitteen vaiheen. Käsitteenmuodostus ei ole pelkkä muistin välityksellä omaksuttava assosiaatioyhteyksien joukko, vaan kehitysprosessi, joka vaatii muun muassa tahdonalaista tarkkaavaisuutta, loogista muistia, sekä abstraktion, vertailun ja erittelyn hallintaa. Käsitteiden ulkoa opettelu on hyödytöntä, sillä tällöin opiskelija omaksuu vain sanoja eikä pysty mielekkäästi soveltamaan omaksumaansa tietoa. Ulkoa opittu käsitteen määritelmä ei vielä tarkoita, että käsite olisi opittu, jos käsitettä ei osata käyttää. (Vygotski, 1982 (1931), 153–155) Lisäksi ulkoa opetellut käsitteen määritelmät unohtuvat yleensä nopeasti (Dale, 1946, 26–33, Johnstone, 2000). Jotta käsitteet eivät olisi vain irrallisia verbaalisia määritelmiä, on käsitteen muodostumisen kannalta tärkeää, että opiskelijalla olisi mahdollisimman paljon uuteen käsitteeseen liittyviä havaintoja ja kokemuksia. (Voutilainen, Mehtäläinen, Niiniluoto 1989, 30), Dale, 1946, 25–28)

Kemian tunneilla käytetään käsitteitä, jotka eivät ole tuttuja arkielämästä ja joihin voi olla hankalaa luoda konkreettista sisältöä. Tällöin käsitteet ovat olemassa vain opiskelijan mielessä. Tämän lisäksi käsitteitä lähestytään ja niitä käsitellään kolmella eri tasolla: makroskooppisella, sub-mikroskooppisella ja symbolisella tasolla. Tasot voidaan esittää kolmion avulla (kuva 8). Makroskooppisella tasolla tarkoitetaan havaittavia, konkreettisia asioita ja ilmiöitä. Sub-mikroskooppisella tasolla tarkoitetaan atomitasoa, jota ei pystytä silmin havaitsemaan. Symbolisella tasolla tarkoitetaan kemiallisia merkkejä, matemaattisia kaavoja ja erilaisia kaavioita, joiden avulla tietoa käsitellään. (Johnstone, 1991, 2000)



Kuva 8: Kemian tasot (Johnstone, 1991)

Esimerkiksi puskuriliuos on makroskooppisella tasolla vain liuos, sillä opiskelija ei pysty näkemään sen sisältämiä molekyylejä ja ioneja tai aineiden välisiä tasapainoreaktioita. Sub-mikroskooppisella tasolla puskuriliuos on seos, jossa on vesimolekyylejä ja erilaisia ioneja, kuten protoneja, hydroksidi-ioneja ja fosfaattisuoloja. Nämä voidaan havainnollistaa esimerkiksi simulaation avulla. Symbolisella tasolla voidaan esittää liuoksen sisältämien aineiden välisiä tasapainoreaktioita ja matemaattisia laskuja.

Arkikäsitteiden oppiminen tapahtuu makrotasolla, konkreettisten kokemusten kautta. Kemian käsitteiden opetus tapahtuu kuitenkin tämän kolmion sisällä, kaikilla kolmella eri tasolla, mikä tekee kemian käsitteiden oppimisesta entistä haastavampaa. Makrotason ilmiöiden selittämisen tueksi tarvitaan sub-mikroskooppisella tasolla tapahtuvia muutoksia ja symbolisia merkintöjä. Opettaja pystyy siirtymään tasolta tasolle helposti, mutta opiskelijalle tasoilta toiselle siirtyminen on kuormittavaa, ja hän pysyttelee usein makrotasolla. (Johnstone, 1991, 2000) Haastavin näistä tasoista on symbolinen taso, joka on tasoista abstraktein (Gabel, 1999).

Työmuistin merkitys oppimisessa on keskeinen. Johnstone (2000) toteaa, että ihminen pystyy käsittelemään työmuistissaan vain muutamaa uutta asiaa samaan aikaan. Jos työmuistia kuormitetaan liikaa, voidaan opittu asia ymmärtää väärin tai oppimista ei välttämättä tapahdu lainkaan. Johnstone (2000) esittääkin, ettei käsitteen opettaminen kolmella tasolla samanaikaisesti ole mielekästä, ja sen seurauksena syntyy helposti erilaisia vaihtoehtoisia käsityksiä. Myös uusin peruskoulun opetussuunnitelman perusteet (POPS, 2014) on ottanut kemian käsitteiden kolmijakoisen mallin huomioon. Opetussuunnitelman perusteissa määritellään, että vuosiluokilla 7-9 pääpaino kemiankäsitteiden opetuksessa on

makroskooppisella tasolla, mutta opiskelijoiden abstraktin ajattelun kehittyessä yhteyttä submikroskooppisiin ja symbolisiin malleihin vahvistetaan.

Käsitteet muodostuvat rakentamalla. Opetus prosessissa uusi käsite pyritään liittämään opiskelijalle ennestään tuttuihin, pitkäkestoisesta muistista haettuihin käsitteisiin ja samalla ennalta tutut käsitteet täydentyvät ja saavat uusia merkityksiä. (Aebli, 1991, 282–284) Jos uutta käsitettä ei pystytä liittämään pitkäkestoisen muistin tietorakenteisiin, käsite unohtuu nopeasti (Gable, 1999; Johnstone, 2000). Käsitteet ovat aina yhteydessä toisiin käsitteisiin (Vygotski, 1982 (1931), 196), voidaankin puhua käsitteiden välisistä kytkennöistä, jotka muodostavat kytkentäverkon (Aebli, 1991, 277). Kytkentäverkosta käytetään kirjallisuudessa myös nimityksiä käsitejärjestelmä tai käsitteiden muodostama verkosto (ks. esim. Vygotski 1982 (1931) s.196, Kakkuri-Knuutila, 328). Esimerkiksi käsite puskuriliuos määritellään useiden käsitteiden avulla: puskuriliuos on liuos, joka kykenee vastustamaan pH:n muutosta siihen lisättäessä happoa tai emästä. Puskuriliuos kytkeytyy siten käsitteisiin liuos, pH, happo ja emäs.

Jos näissä ennalta opituissa käsitteissä on puutteita tai väärinymmärryksiä, vaikuttaa se ratkaisevasti uuden käsitteen oppimiseen. Käsitteitä opetettaessa opettajan tulisi ottaa huomioon, että opiskelijoilla on usein aiheesta käsityksiä ja ajatuksia, jotka poikkeavat tiedeyhteisön näkemyksestä (Vosniadou, 2008; Duit & Teargust, 2003; Novak 2002; Demircioğlu, 2005). Näihin poikkeaviin käsityksiin viitataan usein ennakkokäsityksinä, virhekäsityksinä tai vaihtoehtoisina käsityksinä. (Vosniadou, 2008).

Kemian käsitteissä vaihtoehtoisia käsityksiä esiintyy laajalti. Osaltaan tämä selittyy kemian käsitteiden abstraktilla luonteella ja tavalla, jolla käsitteitä opetetaan. Useiden käsitteiden selittämiseen tarvitaan malleja ja analogioita, jolloin opiskelijan täytyy siirtyä makrotasolta sub-mikroskooppisella ja symboliselle tasolle. Jos opiskelija ei kykene yhdistämään tasojen yhteyksiä omassa ajattelussaan, syntyy helposti pirstaleisia käsiterakenteita. Jo kemian peruskäsitteissä esiintyy vaihtoehtoisia käsityksiä, jotka vaikuttavat ratkaisevasti vaikeampien käsitteiden oppimiseen. (Gabel, 1999)

Käsitteiden muuttumista (engl. *conceptual change*) on tutkittu paljon ja sitä käsittelevät teoriat ovat niin ikään muuttuneet viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana. (Vosniadou, 2008; Duit & Teargust, 2003) Tunnetuin käsitteiden muuttumista kuvaava malli on Posnerin,

Striken, Hewsonin ja Gertzogin vuonna 1982 esittelemä teoria. Teorian mukaan opiskelijan tulee: 1) olla tyytymätön omaa sen hetkistä käsitystään kohtaan, 2) uuden käsityksen tulee olla ymmärrettävä, 3) uuden käsityksen tulee olla uskottava ja 4) uuden käsityksen on oltava käyttökelpoinen. Kun nämä kohdat täyttyvät, opiskelija omaksuu niin sanoitun oikean sisällön opetettavalle käsitteelle. (Duit & Teargust, 2003; Demircioğlu, 2005; Vosniadou, 2008). Tämä niin kutsuttu kognitiivinen konflikti on vallinnut pitkään luonnontieteen opetuksen alalla ja on saanut osakseen myös paljon kritiikkiä. Käsitteen muuttuminen on hidas, asteittainen ja dynaaminen prosessi, joka vaatii paljon uutta käsitesisältöä tukevaa tietoa. Tällaisessa pitkässä prosessissa kognitiivisen konfliktin käyttäminen silloin tällöin voi olla hedelmällistä, mutta se tulee liittää osaksi kurssin opetussuunnitelmaa. (Vosniadou, 2008)

Käsitteiden muodostumista tukevia lähestymistapoja kemian opetuksessa

Käsitteiden opettaminen olisi Ablin (1982) mukaan hyvä aloittaa siitä, että opettaja piirtää itselleen verkon käsitteistä, jotka hän haluaa välittää. Näin opetettavasta asiasta tulee opettajalle selkeä kokonaisuus, jonka hän voi esittää vapaasti ja opettaja kykenee käyttämään opiskelijoiden kommentteja mielekkäällä tavalla oppimisprosessin aikana.

Edgar Dale (1946) on jakanut käsitteen muodostamisen tukemisen tavat kolmeen kategoriaan, jotka siirtyvät käytännön tasolta kohti abstraktimpaa oppimista. Olen muokannut Dalen tekemän kartion taulukkomuotoon.

Taulukko 7. Käsitteen tukemisen kategoriat. Muokattu lähteestä (Dale, 1946, 40).

Tekemällä oppiminen	Havainnoimalla oppiminen	Abstrakti oppiminen
välittömät	demonstraatiot	äänitteet
tarkoituksenmukaiset	opintoretket	radio
kokemukset	näyttelyt	liikkumaton kuva
järjestetyt kokemukset	televisio	visuaaliset symbolit
dramatisoidut kokemukset	liikkuva kuva	verbaaliset symbolit

Molekyylimallintamisen ja erilaisten tietokoneohjelmien ja sovellusten käyttö on mahdollista sijoittaa taulukossa tekemällä oppimiseen, simulaatiot taas havainnoimalla oppimiseen.

Luonnontieteissä, ja erityisesti kemiassa, omakohtaisten kokemusten järjestäminen on kokeellisuuden kautta tärkeä osa opetussuunnitelmien perusteita. (ks. POPS, 2014; LOPS, 2003) Hodson (1996) painottaa, että opiskelijan vaihtoehtoiset käsitykset voivat vaikuttavaa kokeellisten töiden havainnointiin ja ymmärtämiseen. Opiskelija havainnoi ja tulkitsee tietoa omien tietorakenteiden pohjalta, toisin sanoen opiskelija näkee sen, mitä hän odottaa näkevänsä. Hodson esittää neljä kohtaa, joiden avulla opettaja voi vaikuttaa käsitteiden muuttumiseen:

- Tunnistetaan opiskelijoiden vaihtoehtoiset käsitykset
- Luodaan opiskelijalle mahdollisuuksia tutkia käsitteitään selittämällä ilmiötä ja ennustamalla tapahtumia
- Annetaan opiskelijalle virikkeitä käsitteiden kehittämiseen
- Tuetaan opiskelijan pyrkimyksiä muokata käsitteitä

Lavonen, Meisalo et al., (2007) kirjoittavat luonnontieteen työtapooppaassa, että luonnontieteiden opetuksessa ollaan kiinnostuneita siitä, miten opiskelijan saadaan prosessoimaan tietoa siten, että se säilyisi pitkäkestoisessa muistissa ja että olisi palautettavissa mieleen tarvittaessa. He painottavat, ettei kokeellisuus yksin riitä vaan opiskelijaa on tuettava prosessoimaan tietoa ja autettava liittämään uudet käsitteet ja periaatteet aikaisempiin tietoihin.

Demircioğlu et al, (2005) tutkivat kognitiivisen konfliktin vaikutusta happo-emäskemian käsitteisiin. Tutkimukseen valitut käsitteet olivat sellaisia, joissa oli aiempien tutkimusten mukaan ilmennyt vaihtoehtoisia käsityksiä. Strategiana käytettiin pääosin kokeellisuutta. Kontrolliryhmää opetettiin niin sanotun perinteisen opetussuunnitelman mukaisesti. Tutkimuksessa opiskelijat kirjoittivat ensin oman käsityksensä tutkittavasta ilmiöstä, jota ei siinä vaiheessa tuomittu vääräksi. Sitten he tekivät kokeellisen osion, jossa tutkittiin tätä nimenomaista ilmiötä ja siihen liittyvää käsitettä. Tämän jälkeen opiskelijat keskustelivat ilmiöstä ensin pienryhmissä ja sitten opettajan johdolla luokan kesken. Kognitiivinen konflikti syntyy, jos opiskelijan oma käsitys ei vastaa kokeellisen osion tuloksia. Loppukeskustelujen tarkoituksena oli jäsentää ja prosessoida tietoa. Tämän tutkimuksen tuloksena opiskelijoiden vaihtoehtoiset käsitykset muuttuivat merkittävästi vastaamaan tieteellisiä käsityksiä. Lisäksi opiskelijoiden asenteet kemian opiskelua kohtaan muuttuivat

positiivisemmiksi. Tutkijat uskoivat asenteiden muuttumisen johtuneen siitä, että opiskelijat saivat viettää enemmän aikaa laboratorioissa verrattuna kontrolliryhmään. (Demircioğlu et al., 2005)

Yksi tapa tukea käsitteen oppimista, on rakentaa käsitteen ympärille visuaalinen käsitekartta (engl. *concept map*), jossa käsitteitä yhdistetään linkkisanoilla, joiden tarkoituksena muodostaa väitteitä. Linkkisanat ovat usein verbejä, jolloin käsitteistä muodostuu mielekkäitä lauseita. (Novak, 2002; Pernaa, 2011). Tekniikka on kehitetty Ausbelin mielekkään oppimisen teorian pohjalle (Novak, 2002) ja sen isänä pidetään Joseph D. Novakia. Käsitekarttatekniikka on todettu tehokkaaksi tavaksi muokata opiskelijan tietorakenteita. Käsitekarttojen avulla opiskelijan on mahdollista hahmottaa käsitteiden välisiä yhteyksiä ja hierarkioita sekä liittää jo aiemmin opittuja asioita ja asiakokonaisuuksia uuteen käsitteeseen visuaalisessa muodossa. (Novak, 2002) Opettajan ja opiskelijan on molempien mahdollista seurata oppimisprosessia kartan rakentumisen ja täydentymisen yhteydessä (Kouki, 2009).

Luonnontieteiden opetuksen työtapoja -kirjassa (Sahlberg, 1990, 79–96) esitellään käsitteen muodostumisen tueksi luokittelua. Luokittelun käyttäminen toimii käsitteillä, joilla on selvästi havaittavia ominaisuuksia tai määreitä. Luokittelua voi lähestyä kahdella tapaa: joko kertoa määritelmän valmiiksi ja pyytää opiskelijoita luokittelemaan heille tuttuja aineita määritelmän mukaisiin kategorioihin tai antaa opiskelijalle vapaat kädet muodostaa kategorioita itse ja muodostaa käsitteen määritelmän luokittelun seurauksena. (Sahlberg, 1990, 79–96) Aluksi opiskelija saattaa tehdä jaottelua puhtaan intuition avulla osaamatta määritellä, millä kriteereillä hän jaottelua tekee (Dale, 1946; Saario, 2012). Opettajan tulee tukea ja johdatella oppimisprosessia. Jotta opiskelija todella omaksuu käsitteen, on tärkeää, että hän pääsee testaamaan ja soveltamaan käsitettä. Opettaja voi antaa uusia hankalampia esimerkkejä ja pyytää opiskelijaa luokittelemaan aineet, tai opiskelijat voivat keksiä itse uusia esimerkkejä. Luokittelun käyttämisessä opetusmenetelmänä on tärkeä pyytää opiskelijoita perustelemaan päätelmänsä, jotta opiskelijat ja opettaja tulevat tietoisiksi opiskelijan ajatuskaaresta. Tätä kutsutaan päättelyprosessin analyysiksi. (Sahlberg, 1990, 79–96) Myöhemmät havainnot ja kokemukset kehittävät, tarkentavat ja vakiinnuttavat käsitettä. (Saario, 2012)

Abstraktien ja kompleksien käsitteiden oppimisen tukemiseen voidaan käyttää oppimissykliä. Oppimissykleistä on olemassa useita erilaisia malleja ja toteutustapoja. Yhteistä oppimissykleille on se, että oppiminen on jaettu vaiheisiin. (Aksela, 2005) Yksi malleista on viisivaiheinen oppimissykli joka kantaa nimeä *BSCS 5E Instructional Model*. (Aksela, 2005, Bybee, et al., 2006)

Oppimissykli sisältää usein vaiheet:

- Ennakkovaihe (engl. *engagement phase*), jossa tutustutaan käsitteeseen, ilmiöön, prosessiin, taitoon ja/tai teknologiaan, jota ollaan tullessaan tutkimaan. Tämän vaihe toimii pohjana tuleville vaiheille. Siinä aktivoidaan opiskelijan ennakkotietoja ja käsitteitä pienien tehtävien avulla, sekä luodaan yhteys ennakkotietojen ja tulevien vaiheiden välille. Tämän vaiheen tarkoitus on herättää ja ylläpitää opiskelijan mielenkiintoa oppimissyklin aikana.
- Työskentelyvaihe (engl. *exploring phase*), jossa opiskelija käyttää käsitteetietoaan ymmärtääkseen tutkittavaa ilmiötä. Työskentelyvaiheen tehtävissä käsitteitä, prosessit ja taidot tunnistetaan ja käsitteen muutos helpottuu. Opiskelijat suorittavat esimerkiksi kokeellisia tehtäviä, jotka auttavat heitä käyttämään ennakkotietoaan tuottamaan uusia ideoita, kysymyksiä ja oivalluksia.
- Selitysvaihe (engl. *explanation phase*), jossa opiskelijan huomio kiinnitetään kokeellisen osuuden tiettyyn osa-alueeseen. Tämä vaihe tarjoaa opiskelijalle mahdollisuuden esittää verbaalisesti käsitteetietoaan.
- Työstämisvaihe (engl. *elaboration phase*), jossa käsitteetietoa syvennetään ja laajennetaan lisätehtävien tai tutkimuksien avulla.
- Arviointivaihe (engl. *evaluation phase*) jossa opiskelijaa kannustetaan arvioimaan ymmärrystään ja tarjoaa opettajalle mahdollisuuden arvioida opiskelijan edistymistä kohti opetuksen tavoitteita.

Käsitteiden arvioinnissa kannattaa käyttää formatiivista arviointia (ks. esim. Heinrich, Milne, & Moore, 2009), jolloin opiskelija saa tukea oppimisprosessiin ja opettaja saa tietoa käsitteen muodostumisesta.

4.3.4 Kokeellisuuden oppimisen tukeminen

Laboratoriotyöskentelyä pidetään tärkeänä osana kemian opetusta. Hyvin suunnitellut kokeelliset oppimateriaalit voivat tutkimusten mukaan lisätä oppimisen mielekkyyttä, käsitteiden ymmärtämistä ja luonnontieteellisen tiedon rakentumistapaa (Nature of science, NOS). Tutkimusten mukaan laboratoriotyöskentely lisää positiivista suhtautumista luonnontieteen opiskeluun ja opiskelijat kokevat sen sekä hyödylliseksi että miellyttäväksi verrattuna muihin oppimistapoihin. (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2011; Hofstein, Kipnis & Abrahams, 2013)

Kokeellisuuden käyttö kemianopetuksessa on kuitenkin saanut myös kritiikkiä osakseen. Kokeellisen töiden avulla ei välttämättä opita kemiaa. Tutkimusten mukaan opettajat teettävät rutiininomaisia, reseptimäisiä kokeellisia töitä, jotka eivät haasta opiskelijoita ajattelemaan (Hofstein et al., 2013). Abrahams ja Millar (2008) tutkivat kokeellisuuden käyttöä Englannin kemian opetuksessa. Heidän mukaansa kokeellisuus opetuksessa keskittyi enemmän fyysiseen tekemiseen kuin kemiallisten ilmiöiden ymmärtämiseen. Opettajat eivät juurikaan käyttäneet kokeellisuutta kemian käsitteiden tukemiseen. Heidän mukaansa opettajien tulisi tiedostaa, ettei tieto siirry opiskelijaan pelkästään havainnoimalla, vaan tietoa täytyy prosessoida.

Kokeelliset materiaalit voisivat tukea oppimista enemmän, jos ilmiöitä pohdittaisiin kokeellisuuden aikana eikä vain sen jälkeen. Kokeellisuuden kautta oppimista voidaan tukea hyvien kysymysten avulla (Hofstein et al., 2013). Kokeellisessa oppimateriaalissa olisi hyvä huomioida myös muun muassa suunnitteluvaihe, jossa opiskelija voi tehdä hypoteeseja ja reflektiovaihe, jossa opiskelija tutkii tuloksia ja pohtii ilmiöiden teoreettisia selityksiä (Hodson, 1996). Oppimissyklin muodossa olevien kokeellisten oppimateriaalien on todettu tukevan käsitteiden oppimista. (Aksela, 2005; Bybee, et al., 2006)

Mittausautomaation käyttö kokeellisuudessa

Mittausautomaatio (MBL; microcomputer based laboratories) on tietokoneavusteinen tapa kerätä ja tulkita informaatiota reaaliaikaisesti. Siinä tietokoneeseen, tablettiin tai muuhun tiedonkeräimeen liitetään yksi tai useampi sensori ja mittausautomaatio-ohjelma muuttaa kerätyn datan luettavaan muotoon esimerkiksi graafisen esityksen muodossa. (Aksela, 2011; Tortosa, 2012) Mittausautomaation käyttö on suhteellisen nopeaa, joten oppitunnilla jää

enemmän aikaa havainnointiin, ajatteluun ja käsitteiden prosessoimiseen. (Hofstein et al., 2013) Mittausautomaation käytöllä voi tukea mielekästä oppimista ja korkeamman tason ajattelutaitoja. (Aksela, 2005) Lisäksi tutkimustiedon mukaan mittausautomaatio motivoi opiskelijoita ja tukee muun muassa graafisten esitysten tulkinnan oppimista. (Tortosa, 2012)

Graafiset kuvaajat voivat auttaa opiskelijaa ymmärtämään tutkittavan ilmiön ja teorian suhdetta. Tällöin opettajan tulee varata aikaa kuvaajan tulkintaan, keskusteluun ja tiedon prosessoimiseen. Mittausautomaatio tekniikan etuna on havainnollistaa koko ilmiötä kattava prosessi. (Aksela, 2011) Esimerkiksi indikaattorilla tehtävissä happo-emästitrauksissa, opiskelija havainnoi ainoastaan indikaattorin värin muutoksen, kun taas mittausautomaation avulla on mahdollista havainnollistaa pH:n muuttuminen asteittain koko titrauksen ajan.

Nakhleh ja Krajcik (1994) tutkivat miten erilaiset informaation esitystekniikat vaikuttivat happo-, emäs- ja pH- käsitteiden oppimiseen. He vertailivat mittausautomaation, pH-indikaattorin ja pH-mittarin käyttöä happo-emästitrauksissa. Heidän mukaansa mittausautomaation käytöllä oli selkeästi positiivisin vaikutus happo-emäskäsitteiden rakentumiseen. Myös Sheppard (2006) käytti mittausautomaatiolaitteistoa happo-emästitrauksissa tutkiessaan opiskelijoiden käsityksiä liittyen happo-emäskemiaan. Hänen tutkimuksessaan käytettiin hypoteesi-havainnointi-selitys (POE; prediction - observation - explanation) tekniikkaa. Hänen mukaansa mittausautomaatio on tehokas työkalu kun halutaan selvittää opiskelijoiden ymmärrystä erityisesti pH- ja neutralointikäsitteissä.

4.4 Teoreettisen ongelma-analyysin yhteenveto

Puskuriliuos on haastava käsite ja aihekokonaisuus, jonka oppimista on kuitenkin kokonaisuudessaan tutkittu kansainvälisesti vain vähän. (Watter & Watter, 2006; Orgill Sutherland, 2008) Yleisesti happo-emäskemiassa ilmenee runsaasti vaihtoehtoisia käsiterakenteita, erityisen haastaviksi käsitteiksi nousivat pH ja neutralointi.

Käsitteiden oppiminen on hidas prosessi, jota voidaan tukea useilla erilaisilla lähestymistavoilla. Käsitteiden tueksi on hyvä tarjota opiskelijalle paljon käsitettä tukevaa materiaalia (Voutilainen et al., 1989). Kemian opetuksessa tämä voidaan toteuttaa tutkimalla käsitteitä kattavia ilmiöitä kokeellisesti. Kokeellisuuden toteuttamisessa tulee muistaa, että opiskelijan ennakkotiedot ja mahdolliset vaihtoehtoiset käsiterakenteet vaikuttavat siihen

miten hän tulkitsee kokeellisia tuloksia (ks. Hodson, 1996). Käsitteiden muuttumista voidaan tukea esimerkiksi kognitiivisen konfliktin avulla.

Kontekstuaalisilla oppimateriaaleilla pyritään luomaan yhteys opiskelijan arkielämän ja kemian välille. (Vos, 2010) Näin opittu tieto linkittyy opiskelijan aiempiin tietorakenteisiin, eikä jää irrallisiksi faktoiksi. ROSE-tutkimuksen mukaan, suomalaiset lukio-opiskelijat ovat kiinnostuneita ihmisen biologiaan ja terveyteen liittyvistä aihealueista ja tähän aihealueeseen liittyville kemian ja fysiikan oppimateriaaleille on tarvetta. (ks. Lavonen et al., 2008)

Veren happo-emästasapainon säätely on monipuolinen kokonaisuus, johon liittyy vahvasti erilaisten puskurien toiminta. Sen avulla voidaan luoda yhteys happo-emästasapainon ja ihmisen kehon toiminnan välille. Veren puskurien toiminta sopii hyvin lukion viidennen kurssin asiasisältöihin. Lisäksi aihealueen sisällä voidaan perehtyä keuhkojen ja munuaisten toimintaan, ja niiden tärkeyteen happo-emästasapainon säätelyssä, käsitellä aineenvaihdunnan vaikutusta happo-emästasapainoon sekä pohtia minkälaisia häiriötiloja voi seurata, jos kehon suojaimekanismit pettävät.

Hyvin suunnitelluilla kokeellisilla oppimateriaaleilla on mahdollista tukea käsitteiden oppimista. (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2011; Hofstein, et al., 2013) Tällöin kokeellisessa työskentelyssä pitäisi keksittyä tiedon prosessointiin ja muistaa ettei tieto siirry opiskelijaan pelkästään havainnoimalla. (Abrahams ja Millar, 2008) Tiedon prosessointia voidaan tukea kysymyksien avulla (Hofstein, et al., 2013).

Mittausautomaation käyttö mahdollistaa kemian ilmiöiden tutkimisen havainnollisesti ja suhteellisen nopeasti (Aksela, 2011). Sen on todettu kehittävän opiskelijoiden ajattelutaitoja luovan mielekkyyttä opiskeluun. (Aksela, 2005) Happo-emästitrauksissa mittausautomaation käyttö on todettu tehokkaaksi työkaluksi kun halutaan selvittää aiheeseen liittyvien käsitteiden ymmärtämistä (Sheppard, 2006) ja sen on todettu vaikuttavan positiivisesti happo-emäskäsitteiden rakentumiseen (Nakhleh ja Krajcik, 1994).

5 Kehittämisprosessi

Kehittämisprosessissa kehitettiin tarveanalyysin ja teoreettisen ongelma-analyysin pohjalta kokeellinen oppimateriaali tukemaan puskuriliuoskäsitteen oppimista lukion viidennellä kemian kurssilla.

Alaluvussa 5.1 esitellään kehittämisprosessin ensimmäinen vaihe, jossa on kehitetty mittari, jolla lukion KE5-kurssin opiskelijoiden käsityksiä puskuriliuoksesta voidaan tutkia. Kyselylomake pohjautuu teoreettisen ongelma-analyysisissä käsiteltyyn tutkimustietoon siitä, minkälaisien käsitteiden kanssa opiskelijoilla voi olla haasteita ja vaihtoehtoisia käsityksiä. Alaluvussa 5.2 esitellään pilottitutkimus, jossa kyselylomake testattiin, ja jonka perusteella sitä muokattiin. Lisäksi aineiston analyysin pohjalta opiskelijoille haastavat käsitteet tarkentuivat. Alaluvussa 5.3 esitellään kehittämisprosessin toinen vaihe, jossa kehitettiin kokeellinen opetusmateriaali tukemaan puskuriliuoskäsitteen ja siihen liittyvien käsitteiden oppimista.

5.1 Kyselylomake

Jotta voidaan tutkia tukeeko kokeellinen työskentely puskuriliuoskäsitteiden oppimista, tulee kehittää mittari, jolla oppimistuloksia voidaan mitata. Tähän tarkoitukseen kehitettiin kyselylomake, joka on tarkoitus täyttää ennen laboratoriotyön suorittamista ja jota voi täydentää ja korjata erivärisellä kynällä laboratoriotyön suorittamisen jälkeen.

5.1.1 Kysely tutkimusmenetelmänä

Kyselytutkimus on tapa kerätä aineistoa standardoidusti. Standardoitavuus tarkoittaa sitä, että kysymykset esitetään kaikille vastaajille samalla tavalla. Kyselytutkimus suoritetaan yleensä kysymyslomakkeella, joka sisältää avoimia ja/tai monivalintakysymyksiä. Kun kysely suoritetaan monivalintakysymyksin, voidaan saatua aineistoa analysoida erilaisin tietokoneohjelmin. Tällöin tutkimusta kutsutaan kvantitatiiviseksi. Jos kyseessä on avoimet kysymykset, tutkija tulkitsee itse aineiston ja tutkimusta kutsutaan kvalitatiiviseksi. Avoimet kysymykset sallivat vastaajan muotoilla ajatuksensa omin sanoin, jolloin saadaan tietoa siitä, mitä vastaaja todella asiasta tietää/ajattelee. Lisäksi vastauksissa saattaa ilmetä näkökulmia

tai ajattelutapoja, joita tutkija ei olisi osannut ottaa huomioon. Avoimien kysymysten heikkouksena pidetään vastausten vaikeaa tulkintaa ja vertailtavuutta. (Hirsjärvi et al., 2008)

Kyselytutkimus voidaan suorittaa esimerkiksi posti- ja/tai verkkokyselynä tai kontrolloituna kyselynä. Yksi kontrolloidun kyselyn muoto on informoitu kysely, jossa tutkija jakaa lomakkeet henkilökohtaisesti. Jakaessaan kyselyn tutkijalla on mahdollisuus informoida kyselyyn osallistuneita tutkimuksensa tarkoituksesta sekä vastata mahdollisiin kysymyksiin. (Hirsjärvi et al., 2008)

Mittari, tässä tapauksessa tutkimuslomake, tulee testata ennen varsinaista tutkimusta testijoukolla. Tätä kutsutaan pilottitutkimukseksi. Pilottitutkimuksen avulla voidaan korjata mahdolliset hankalasti ymmärrettävät kysymykset ja jättää pois osioita, joilla ei ollut vastaajia erottelvaa merkitystä tai jotka olivat muuten jollain tapaa huonoja. (Metsämuuronen, 2011)

Kyselytutkimuksen etuna pidetään sen suhteellista helppoutta: kysely on helppo lähettää tai teettää samanaikaisti useille henkilöille ja jos lomake on suunniteltu huolellisesti, aineisto voidaan käsitellä suhteellisen nopeasti. Kyselytutkimuksen heikkouksina pidetään muun muassa sitä, ettei tutkija voi tietää, kuinka vakavasti vastaajat ovat suhtautuneet tutkimukseen, eli ovatko he vastanneet kysymyksiin huolellisesti ja rehellisesti. Lisäksi tutkimuslomakkeen laatiminen on usein työlästä ja kato eli vastaajien vastaamattomuus voi nousta suureksi. Kysymysten tarkalla suunnittelulla voidaan tehostaa tutkimuksen onnistumista. (Hirsjärvi et al., 2008)

Tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään avoimia kysymyksiä, jotta opiskelijoiden vaihtoehtoiset käsitykset tulisivat selvemmin esille. Kysely suoritettiin informoituna kyselynä.

5.1.2 Kyselylomakkeen rakentaminen

Jotta kyselyllä saatu empiirinen aineisto olisi mahdollisimman luotettavaa ja käyttökelpoista tulee siinä ottaa huomioon seuraavat asiat:

Mittarin rakentaminen (Metsämuuronen, 2011)

1. Raakaversio

2. Kollegoiden ja ystävien korjausehdotukset
3. Korjaukset
4. Oman mittarin tarkentaminen
5. Pilottitutkimus
6. Korjaukset

Mittarin pohjana käytettiin alaluvun 3.1 tutkimustuloksia opiskelijoiden vaihtoehtoisista käsityksistä puskuriliuostekontekstissa sekä Orgill & Sutherdalin (2008) tutkimuksessa annettua kyselypohjaa.

Kyselylomakkeen raakaversiota muokattiin ensin professori Maija Akselan kanssa ja tämän jälkeen se lähetettiin useampaan kouluun, joista erään helsinkiläisen lukion KE5-kurssi lupautui testijoukoksi. Ennen pilottitutkimuksen suorittamista, lomake tarkentui vielä kemian opettajien kommenttien jälkeen. Valmis pilottitutkimuslomake löytyy liitteestä 2.

5.2 Pilottitutkimus

Pilottitutkimuksen ensisijainen tarkoitus oli testata kyselylomake ja katsoa, onko sillä mahdollista saada tutkimukseen analysoitavaa materiaalia. Pilottitutkimuksen toisena tarkoituksena oli saada lisätietoa siihen, mitkä ovat ne osa-alueet puskuriliuostekäsitteeseen liittyvän teorian osalta, jotka tarvitsevat eniten tukea, ja kiinnittää niihin huomiota kokeellista oppimateriaalia rakennettaessa.

Pilottitutkimuksen kohde valikoitui saatavuuden perusteella. Ensin selvitettiin, missä Helsingin kouluissa opetetaan KE5-kurssia marraskuussa 2014 ja lähetettiin näiden kurssien opettajille sähköpostia (3kpl). Yhdelle opettajista sopi pilottitutkimuksen tekeminen heidän kurssinsa viimeisellä tunnilla 19.11.2014.

Tutkimuslomake koostuu kolmesta kohdasta:

- I. Taustatiedot
- II. Happo-emäs-kemian käsitteitä
- III. Puskuriliuosten käsitteitä

5.2.1 Pilottitutkimuksen tuloksia

Pilottitutkimukseen osallistui 23 helsinkiläisen lukion KE5-kurssilaista. Kurssikerta oli viimeinen ennen koetta. Opiskelijoiden kemian kurssien keskiarvo oli 8,3.

Opiskelijoille haastaviksi käsitteiksi osoittautuivat heikko happo, neutralointi, pH sekä puskuriliuoskäsitteen sisällöstä itse puskuriliuoksen pH. Kysymykseen puskureiden merkityksestä biologisissa systeemeissä vastattiin suhteellisen kattavasti: muutama opiskelija mainitsi entsyymien denaturoitumisen, veren ja ruuan vaikutuksen. Pyydettyäessä vertailemaan ei-puskuroitua ja puskuriliuoksia, suurin osa opiskelijoista kertoi, mitä puskuriliuos kykeni tekemään, mutta tarkennukset puskuriliuoksen sisällöstä ja syistä olivat vähäisiä. Puskurikapasiteetti käsitteenä osattiin määritellä suhteellisen hyvin, tosin seitsemän opiskelijaa jätti kokonaan vastaamatta kysymykseen. Kysymyslomakkeen tyhjät vastaukset lisääntyivät loppua kohden, minkä voidaan tulkita a) kysymysten vaikeutena b) opiskelijoiden väsymisenä.

Seuraavassa esitellään pilottitutkimuslomakkeen osion II kysymykset 1, 2 ja osion III kysymyksen 4 vastauksia, sillä niissä ilmeni eniten vaihtoehtoisia käsityksiä.

Osio II, kysymys 1

Kysymyslomakkeen ensimmäinen kysymys osoittautui hyvin haastavaksi. Kysymyksen pohjana on käytetty Hans-Jürgen Schmidtin vuonna 1995 testaamaa kysymystä, joka on tässä suomennettu ja muokattu kvalitatiiviseen muotoon.

An aqueous solution of 1 mole of NaOH (sodium hydroxide) was added to an aqueous solution of 1 mole of CH₃COOH (acetic acid). Which of the following statements is true about the resulting solution?

- [A] It contains *more* H₃O⁺ ions than OH⁻ ions
- [B] It contains *fewer* H₃O⁺ ions than OH⁻ ions
- [C] It contains *as many* H₃O⁺ ions as OH⁻ ions
- [D] It contains *neither* H₃O⁺ ions nor OH⁻ ions

- 1) Sinulla on 100 ml yksi molaarista natriumhydroksidiliuosta (1 M NaOH) lisäät sinne 100 ml yksi molaarista etikkahappoa (1M CH₃COOH).
 - a) Mitä ioneja liuoksesi sisältää lisäyksen jälkeen? Perustele vastauksesi.
 - b) Onko liuos lisäyksen jälkeen hapan, neutraali vai emäksinen? Perustele vastauksesi.

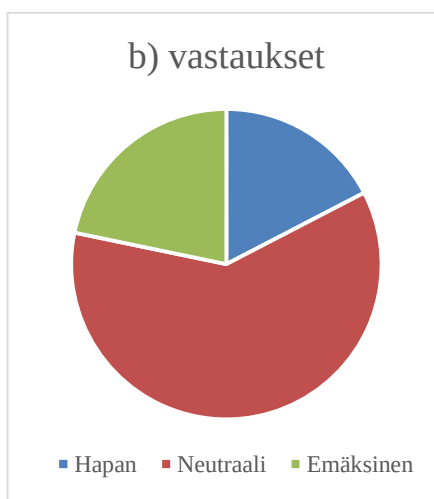
Vain kolme opiskelijaa 23:sta vastasi kysymykseen kattavasti. Kovin moni opiskelija ei joko huomannut, että etikkahappo on heikko happo tai osannut käyttää heikon hapon määritelmää

kyseisessä tehtävässä. Se, että heikon hapon hajoamistuotteena syntynyt ioni, tässä asetaatti-ioni, pystyy sitomaan vetyionin toimien emäksenä, jäi monelta opiskelijalta huomioimatta. 16 opiskelijaa 23:sta käsitti reaktion täydellisenä neutraloitumisreaktiona, niin että liuoksessa ei ole jäljellä enää happoa eikä emästä. Taulukossa 8 on esitetty opiskelijoilla esiintyneitä vaihtoehtoisia käsityksiä.

Taulukko 8: Osio II, kysymys 1 kootut vaihtoehtoiset vastaukset.

Opiskelijan vastaus
a) "Na ⁺ , OH ⁻ , H ⁺ , sekä C ⁻ -ioneja."
b) "Hapan, sillä molemmat hapot ovat happamia."
a) " $NaOH + CH_3COOH \rightleftharpoons Na^+ + CH_3COO^- + H_2O$ Vain veikkaus, en tiedä tapahtuuko oikeasti näin"
b) "Neutraali, koska uudessa liuoksessa ei ole H ₃ O ⁺ eikä OH ⁻ ioneja, jotka määrittelevät liuoksen happamuuden ja emäksisyyden."
a) " $CH_3COOH(aq) + NaOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COONa(aq) + H_2O(l)$ eli CH ₃ COO ⁻ Na ⁺ ioneja."
b) "Neutraali, sillä happo (CH ₃ COOH) ja emäs (NaOH) ovat molemmat heikkoja. Niiden ainemäärät ovat yhtäsuuret, joten toista ainetta ei ole ylimäärin. Myös konsentraatiot ovat samat, eli liuokset ovat yhtä väkeviä."
a) " $CH_3COOH + NaOH \rightleftharpoons CH_3COONa + H_2O$ hydroksidi-ioneja ja vety-ioneja → vettä Natrium-ioneja ja asetaatti?-ioneja (CH ₃ COO ⁻) → CH ₃ COONa"
b) "Neutraali, koska liuos on puskuriliuos. Vesi on neutraalia samoin kuin CH ₃ COONa. Natriumhydroksidi pystyy neutraloimaan happaman liuoksen ja etikkahappo emäksisen."
a) "Na ⁺ , CH ₃ COO ⁻ , OH ⁻ , H ₃ O ⁺ "
b) "Liuos on hapan"
a) "Na ⁺ , OH ⁻ , CH ₃ COO ⁻ , H ⁺ -ioneita, koska happo ja emäs neutraloivat toisensa, jolloin sidokset katkeavat ja syntyy uusia yhdisteitä (vesi + suola)"
b) "Neutraali, koska happoa ja emästä on saman verran ja ne neutraloivat toisensa."
a) " $NaOH + CH_3COOH \rightleftharpoons NaOH_2 + CH_3COO^-$ "
b) "Lisäyksen jälkeen liuos on neutraali, koska se sisältää happoa ja emästä saman verran, jolloin ne kumoavat toisensa."
a) " $NaOH + CH_3COOH \rightleftharpoons NaCH_2COO^- + H_3O^+$ V: Na ⁺ , OH ⁻ , CH ₃ COO ⁻ , H ⁺ "
b) "Liuos on hapan koska lopputulokseksi tulee H ₃ O ⁺ -oksoniumioneita."
a) "CH ₃ COO ⁻ ja Na ⁺ koska happo + emäs → suola + vesi. ja vesi syntyy 1 H:sta + OH:sta."
b) "Sanoisin neutraali, mutten ole varma. Varmaan siksi että luulen, ettei suola vaikuta pH:n arvoon. :D"
a) "Na ⁺ , OH ⁻ , CH ₃ COO ⁻ , H ⁺ koska natrium ei reagoi liuoksessa joten se luovuttaa OH ⁻ ja etikkahappo luovuttaa viimeisen H ⁺ . $NaOH(aq) + CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COONa(aq) + H_2O(l)$ "
b) "liuos on neutraali, koska kaikki tuotteet reagoi ja syntyy vettä."
a) "CH ₃ COO ⁻ ja NaOH ₂ ⁺ "
b) "Hapan, koska liuokseen muodostuu suola: NaOH ₂ (Na ei vaikuta pH:n arvoon) joten $OH_2 + H_2O \leftrightarrow OH + H_3O^+ \rightarrow$ muodostuu hydroksidi-ioneja."

Kokonaisuudessaan b-osan vastaukset jakautuivat kuvan 9 mukaisesti. Yli puolet (61 %) opiskelijoista ajatteli liuoksen olevan heikon hapon lisäyksen jälkeen neutraali, neljä (17 %) opiskelijaa käsitti liuoksen olevan hapan ja viisi opiskelijaa (21 %) käsitti liuoksen emäksiseksi, mikä oli tässä tilanteessa oikea vastaus.



Kuva 9: Osio II, kysymys 1 b vastausten jakautuminen.

Opiskelijoiden vastaukset huomioitiin lopullisessa tutkimuslomakkeessa niin, että kysymyksen muotoilu muutettiin seuraavanlaiseksi:

- 1) Sinulla on 100 ml yksi molaarista vahvaa emästä (1 M NaOH) ja lisäät sinne 100 ml yksi molaarista heikkoa happoa ($1\text{ M CH}_3\text{COOH}$).
 - a) Mitä ioneja ja molekyyilejä liuoksesi sisältää lisäyksen jälkeen? Perustele vastauksesi sanallisesti ja/tai reaktioyhtälöillä.
 - b) Onko liuos lisäyksen jälkeen hapan, neutraali vai emäksinen? Perustele vastauksesi.

Osio II, kysymys 2

Pilottitutkimuksen toisella kysymyksellä kartoitettiin opiskelijoiden käsityksiä pH:sta ja sen logaritmisesta luonteesta.

- 2) Sinulla on kaksi liuosta, joiden pH-arvot ovat 8 ja 10. Mitä eroa liuosten hydroksidi-ioni (OH^-) konsentraatioilla on?

Yhdessäkään vastauksessa ei tullut esille, että pH-arvon 10 omaavan liuoksen hydroksidi-ionikonsentraatio on satakertainen verrattuna liuokseen, jonka pH on 8. Alla olevassa taulukossa 9 on koottuna vaihtoehtoisia käsityksiä.

Taulukko 9: Osio II, kysymys 2 kootut vaihtoehtoiset vastaukset.

Opiskelijan vastaus
"Liuos A = pH 8 Liuos B= pH 10 Liuoksen A OH ⁻ konsentraatio on suurempi, sillä se on happamanpi. OH-ioneja esiintyy happamissa aineissa/liuoksissa."
"...Mitä suurempi pH on sitä pienempi on hydroksidi-ionien konsentraatio. Eli liuos jonka pH on 10 sisältää vähemmän hydroksidi-ioneja."
"Liuoksessa, jolla on suurempi pH on pienempi hydroksidi-ioni konsentraatio."
Mitä korkeampi pH, sitä enemmän OH ⁻ ioneja on eli sitä pienempi konsentraatio.
[OH ⁻]=10 ⁻⁸ -> suurempi konsentraatio [OH ⁻]=10 ⁻¹⁰ -> pienempi konsentraatio

Myös tämä kysymys muokattiin uudelleen, uusi muotoilu alla:

- 2) Sinulla on kaksi liuosta, joiden pH-arvot ovat 8 ja 10. Vertaile liuosten hydroksidi-ionikonsentraatioiden suuruutta toisiinsa.

Osio III, kysymys 4

Tällä kysymyksellä kartoitettiin tietoa itse puskuriliuoksen pH:sta.

- 4) Haluat tehdä happaman puskuriliuoksen, mutta ystäväsi Johannes sanoo, että et voi luoda hapanta puskuriliuosta, koska puskurien tehtävä on ylläpitää neutraalia pH:ta. Kumpi on oikeassa? Perustele vastauksesi.

Kysymys pohjautuu Orgill & Sutherdalin (2008) kysymyslomakkeen kysymykseen:

- You want to create an acidic buffer, but your friend John says that you cannot create an acidic buffer because buffers maintain *neutral* pH. Who is correct? Explain your answer.

Tähän kysymykseen tuli 13 oikein perusteltua vastausta ja kolme kokonaan tyhjää vastausta. Taulukossa 10 on koottuna vaihtoehtoisia käsityksiä.

Taulukko 10: Osio III, kysymys 4 kootut vaihtoehtoiset vastaukset.

Opiskelijan vastaus
"Johannes on mielestäni oikeassa, koska puskuriliuoksessa syntyy aina vettä reaktiotuotteena, joten sen pH:n tulos on neutraali."

”En tiedä onko aina tietyllä puskuriliuksella tietty pH jota se pyrkii ylläpitämään. Tähän asti olen ajatellut, että ollaan suunnilleen neutraalissa... Luulen silti että Johannes voitti.”
”Minä koska liuksesta voi aina tehdä ylikylläisen.”
”Uskoisin Johannesta, koska en tiedä happamasta puskuriliuksesta ja luonnossa esiintyvät puskuriliukset yleensä pyrkivät säilyttämään pH:n neutraalina.”
”Puskuriliuksen tehtävä on ajaa pH:ta joko negatiiviseen tai positiiviseen suuntaan.”

5.2.2 Pilottitutkimuksen yhteenveto

Pilottitutkimuksen perusteella kysymyslomaketta tarkennettiin vielä kertaalleen yhdessä professori Maija Akselan kanssa ennen varsinaisen tutkimuksen tekemistä. Korjattu tutkimuslomake löytyy liitteestä 3.

Pilottitutkimus antoi viitteitä siitä, että suomalaisilla lukion kemian opiskelijoilla olisi samanlaisia haasteita puskuriliukseen liittyvien käsitteiden osalta, mitä kansainvälinen tutkimus osoittaa.

5.3 Kokeellisen oppimateriaalin kehittäminen

Oppimateriaalin kehittämisen pohjana oli sen hetkinen teoreettisen ongelma-analyysin avulla saatu tieto kontekstuaalisuudesta, kokeellisuuden ja käsitteen oppimisen tukemisesta, veri puskuriliuksena kappaleen sisältö, tutkimustieto haastavista käsitteistä, sekä pilottitutkimuksen tulokset. Lisäksi materiaalin tuottamisessa huomioitiin lukion opetussuunnitelman perusteiden viidennen kurssin keskeiset oppisisällöt ja tavoitteet.

Materiaalin asetetut tavoitteet olivat seuraavat:

- Materiaalin tulee olla kontekstuaalinen
- Materiaalin tulee tukea sekä puskuriliuskäsitettä, että siihen liittyviä käsitteitä.
- Materiaalin tulee laittaa opiskelijat ajattelemaan ja pohtimaan ilmiöitä myös työn välivaiheissa.

Lisäksi työssä on huomioitu työturvallisuus ja jätteettömyys. Materiaali kehitettiin ensisijaisesti Kemianluokka Gadoliniin ja sen kehittelyä ohjasi Kemianluokka Gadolinin laboratoriossa ollut välineistö ja reagenssit.

5.3.1 Oppimateriaalin kehittämisen vaiheita

Oppimateriaalin lähtökohtana oli tutkia veren puskuriliuos-ominaisuutta. Koska kaupasta saatava pakastettu veri ei antanut toivottuja tuloksia, veri vaahtosii, ja pH-antureita oli hankala puhdistaa verestä, päädyttiin vaihtamaan strategiaa. Kokeellinen oppimateriaali rakennettiin veren kontekstin ympärille, itse verta kuitenkin tässä käyttämättä.

Laboratoriotyön pohjana käytettiin sekä Harper Collegen tuottamaa ”virtuaali laboratorion” ohjetta

(<http://www.harpercollege.edu/tm-ps/chm/100/dgodambe/thedisk/bloodbuf/bloodbuf.htm>), että *Molekyylibiologian*

harjoitustyöt -laboratoriokurssilla valmistettavaa fosfaattipuskuriliuosta, jota käytetään kurssilla mm. punasolujen pesuun (ks. *Molekyylibiologian harjoitustyöt* -moniste, 2012). Näiden pohjalta tuotettiin suomenkielinen työohje puskuriliuoskäsitteet tueksi. Fosfaattipuskuri on yksi veren puskureista ja koska sen pK_{a2} arvo on lähellä veren pH:ta, mallintaa se hyvin veren puskuriominaisuuksia. Syy siihen miksi valittiin fosfaattipuskuri, eikä Harper Collegen työohjeessa käytettyä hiilihappo-bikarbonaattipuskuria, on hiilihappo-bikarbonaatti puskurin erityinen ominaisuus hajota hiilidioksidi kaasuksi ja vedeksi, jolloin havainnoitavaksi tulee kolme eri kemiallista tasapainoreaktiota kahden sijaan. Lisäksi hiilihappo-bikarbonaattipuskuriliuoksen pK_{a1} on kaukana veren pH:sta. (Katso alaluku 3.2.3) Koska tuotetun oppimateriaalin on tarkoitus tukea yleisesti puskuriliuoskäsitettä, fosfaattipuskurin toimivan tässä yhteydessä paremmin.

Työ toteutettiin Vernierin pH-anturilla, joka on yhdistetty tietokoneeseen, jossa on Logger Pro -ohjelma. Työ voidaan toteuttaa millä tahansa pH-anturin ja mittausautomaatio-ohjelman yhdistelmällä, jolla saadaan reaaliaikaista tietoa pH:sta ja jolla on mahdollista piirtää kuvaajaa.

6. Kehittämistuotos 1

Tässä luvussa kuvataan kehittämistutkimuksen ensimmäisen syklin avulla tuotettu kokeellinen oppimateriaali ja siirrytään kehittämistutkimuksen toiseen sykliin. Alaluvussa 6.1 esitetään kehitetyn laboratoriotyön vaiheet ja vaiheiden oppimistavoitteet. Alaluvussa 6.2 käydään läpi empiirinen toinen ongelma-analyysi, jossa tutkittiin ensimmäisen kehittämistuotoksen vaikutusta puskuriliuoskemian käsitteiden oppimiseen. Lopuksi

alaluvussa 6.3 käydään empiirisen ongelmananalyysin tulosten perusteella tehdyt jatkokehittämispäätökset.

6.1 Kehittämistuotoksen kuvaus

Kehitetty oppimateriaali on nelivaiheinen laboratoriotyö. Laboratoriotyössä valmistetaan fosfaattipuskuriliuos, joka simuloi veren toimintaa. Puskuriliuoksen ominaisuuksia tutkitaan sekä perinteisellä happo- tai emästitrauksella että ihmisen ruokavalion kontekstissa.

Työ jakautuu neljään työvaiheeseen:

1. Fosfaattipuskurin valmistus
2. Tislattun veden titraaminen
3. Fosfaattipuskurin puskurikapasiteetti
4. Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus veren pH-arvoon

Jokaisen välivaiheen jälkeen työohjeessa on kysymyksiä, liittyen tarkasteltavan ilmiöön ja sitä vastaavan käsitteen sisältöön. Kysymykset on lisätty välivaiheisiin, jotta opiskelija prosessoisi käsiterakenteitaan koko kokeellisen oppimateriaalin läpikäynnin ajan. (Ks. Abrahams & Millar, 2008, Hofstein et al., 2013)

Fosfaattipuskurin valmistus

Ensimmäisessä vaiheessa opiskelijat valmistavat puskuriliuoksen valmiista kantaliuoksista:

- 0,1 M NaH_2PO_4 -liuos
- 0,1 M Na_2HPO_4 -liuos

Puskuriliuos muodostetaan lisäämällä happamaan NaH_2PO_4 -liuokseen emäksistä Na_2HPO_4 -liuosta kunnes liuoksen pH on 7,4. pH:n muutosta seurataan mittausautomaatiolaitteiden avulla. Puskuriliuoksen valmistamisen jälkeen opiskelijoita pyydetään pohtimaan liuoksen sisältämiä partikkeleita sekä valmistamaan suolojen ja veden väliset tasapainoyhtälöt

Tämän vaiheen tarkoitus on tukea puskuriliuoskäsitettä puskuriliuoksen koostumuksen osalta sekä tukea heikko happo ja heikko emäs –käsitteitä. Lisäksi opiskelija tutustuu mittausautomaatiolaitteistoon.

Tislattun veden titraaminen

Toisessa vaiheessa opiskelijat tekevät happo- tai emästitrauksen vedelle, joka ei sisällä lainkaan puskuroivia ioneja. Tässä vaiheessa opiskelija pääsee harjoittelemaan titrausta mittaussautomaatiolaitteiston avulla, seuraamaan kuvaajan syntyä sekä tulkitsemaan sen tuottamaa informaatiota.

Toisen vaiheen tarkoitus on havainnollistaa pH-skaalan logaritmista luonnetta kuvaajan tulkinnan muodossa eli tukea käsitettä pH. Jos opiskelijoilla on vaihtoehtoisia käsityksiä pH-skaalan luonteesta, on mahdollista, että tässä kohden syntyy kognitiivinen konflikti, sillä titrauskäyrän muodon selittämiseen tarvitaan ymmärrystä pH-skaalan logaritmisesta luonteesta.

Fosfaattipuskurin puskurikapasiteetti

Kolmannessa työvaiheessa opiskelijat tekevät samanlaisen happo- tai emästitrauksen ensimmäisessä vaiheessa valmistamalleen puskuriliuokselle. Titraus tehdään samaan tiedostoon, jossa on veden titrauskäyrä, jotta opiskelijat voivat vertailla puskuriliuoksen ja puskuroimattoman liuoksen käyttäytymistä. Puskuriliuosta titrataan niin pitkään, että sen sisältämä puskurikapasiteetti on kulunut loppuun, eli sen sisältämä heikko happo tai emäs on neutraloitunut.

Ennen titrausta opiskelijoiden tulee miettiä, minkälaisen kuvaajan he saisivat eli miten puskuriliuos käyttäytyisi. Työvaiheen jälkeen heidän tulee pohtia, mistä erot titrauskäyrissä johtuvat. Kolmannen vaiheen tarkoitus on tukea puskuriliuoskäsitettä sen toiminnan osalta sekä tukea käsitteitä neutraloituminen ja puskurikapasiteetti.

Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus ”veren” pH:hon

Kokeellisen oppimateriaalin neljännessä vaiheessa opiskelijat tutkivat, minkälainen vaikutus aineenvaihduntatuotteilla on puskuriliuoksen pH-arvoon. Aineenvaihduntatuotteista tutkitaan proteiinien aineenvaihduntatuote rikkihappo, kasvien aineenvaihduntatuote bikarbonaatti ja vähähappisen urheilusuorituksen aineenvaihduntatuote maitohappo. Lopuksi hiilihydraattien aineenvaihduntatuotteen hiilidioksidin vaikutus puskuriliuokseen esitetään demonstraation muodossa.

Aineenvaihduntatuotteen vaikutusta tutkitaan seuraamalla muutoksia pH-lukemassa. Jokaisen vaiheen jälkeen opiskelijoiden tulee pohtia, mitä reaktioita liuoksessa mikrotasolla tapahtuu ja miten pH-arvon muutos vaikuttaa ihmisen terveydelliseen tilaan. Neljännen työvaiheen tarkoitus on liittää puskuriliuos lähemmäksi opiskelijan omaa elämää ja tukea puskuriliuoskäsitteen sisältämää merkitystä veren kontekstissa.

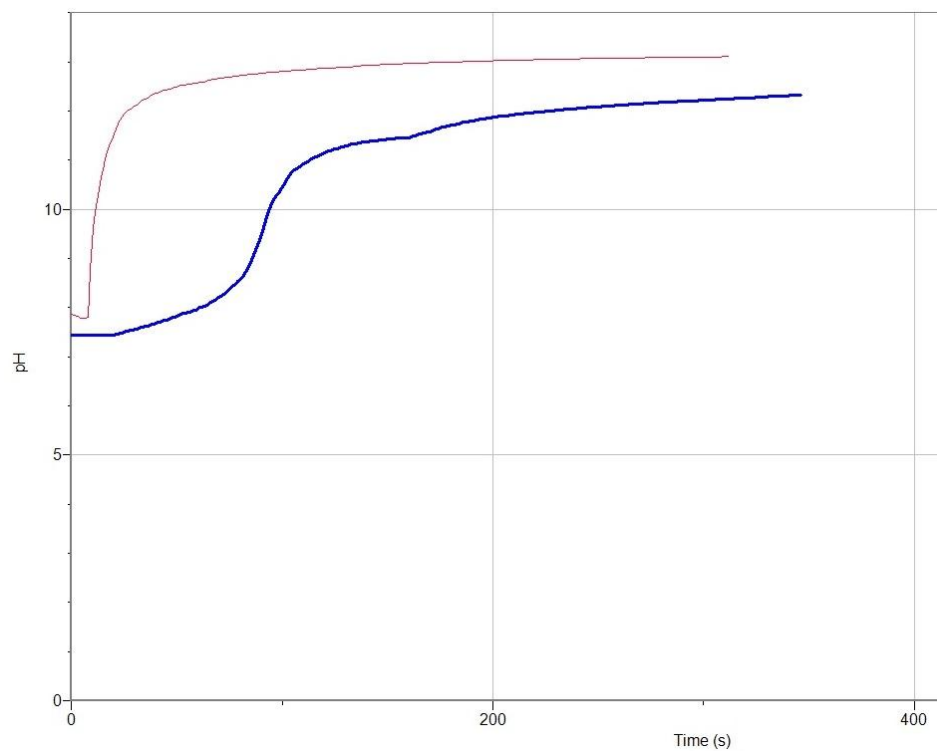
6.2 Empiirinen ongelma-analyysi 2: Kehittämistuotoksen arviointi

Kehittämistuotos 1 (ks. liite 5) arvioitiin tapaustutkimuksessa 17.12.2014. Tapaustutkimus on (engl. *case study method*) on tutkimusstrategia, jonka kohteena on tapahtuman kulku tai ilmiö. Tässä tutkimuksessa kohteena oli kehitetyn kokeellisen oppimateriaalin vaikutus puskuriliuoskemian käsitteiden oppimiseen. Tapaustutkimukselle on tyypillistä, että tutkittavat kohteet ovat moniulotteisia, joten se soveltuu vastaamaan kysymyksiin miten ja miksi. Tutkimuksella saatua tietoa voidaan käyttää apuna samankaltaisissa tilanteissa. Tässä tutkielmassa tapaustutkimuksella saatua tietoa käytetään hyväksi kehittämistutkimuksen toisessa syklistä. (Laine, Bamberg & Jokinen, 2007)

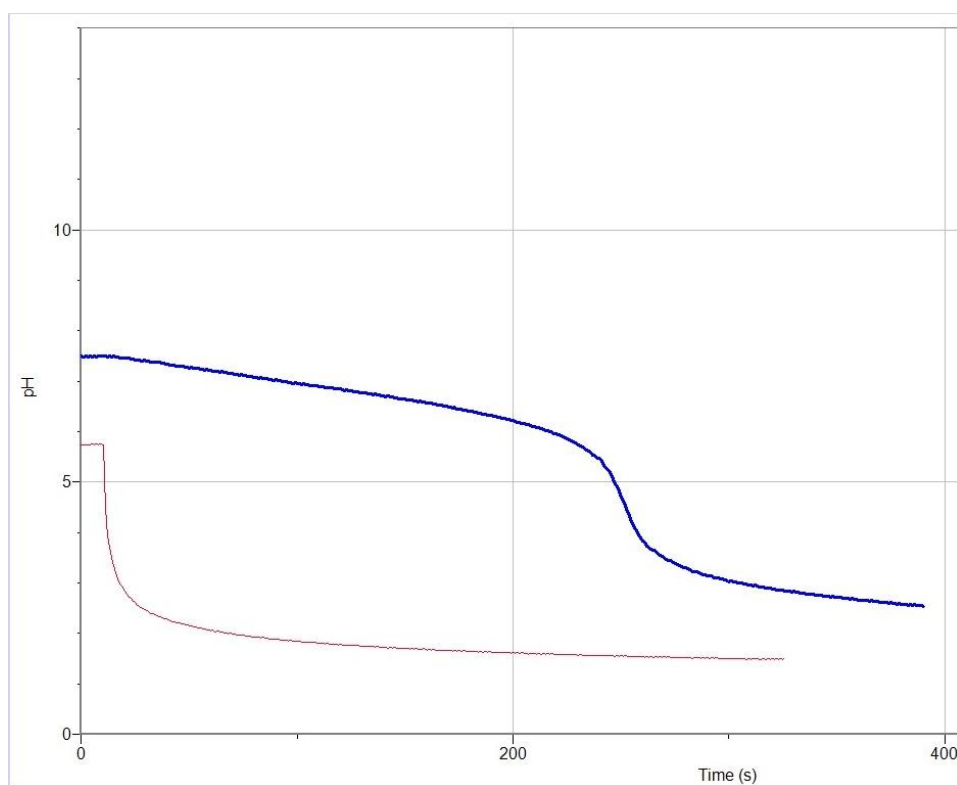
Tapaustutkimus suoritettiin Kemianluokka Gadolinissa. Kemianluokka Gadolin on Helsingin yliopiston LUMA-keskuksen tiedeluokka, joka toimii kemian laitoksen tiloissa, yliopiston kemianlaboratoriossa.

Tutkimuksessa opiskelijat saivat ensiksi täytettäväkseen kyselylomakkeen (ks. liite 3) Kyselylomakkeen täyttämiseen oli varattu aikaa kaksikymmentä minuuttia. Kokeellinen osuus alustettiin kertomalla taustatietoa veren kemiasta PowerPoint-esityksen avulla (ks. liite 4). Tämän jälkeen työohjeesta tehtiin osio 1, jossa puskuriliuos valmistetaan mittausautomaatiolaitteiston avulla valmiista kantaliuoksista, osio 2, jossa tislattua vettä titrataan vahvalla hapolla tai emäksellä ja osio 3, jossa toistetaan titraus puskuriliuokselle. Jokaisen osion jälkeen työohjeessa oli syventäviä kysymyksiä, jotka käytiin läpi yhdessä opiskelijoiden kanssa.

Kuvissa ä ja ö on esitetty opiskelijoiden saamia graafisia kuvaajia työhöön vaiheiden 2 ja 3 titrauksista. Tislattun veden titrauskäyrä näkyy kuvissa punaisella, puskuriliuoksen titrauskäyrä sinisellä.



Kuva 10: Tislattun veden ja puskuriliuoksen titrauskäyrät titratessa liuoksia 0,1 M NaOH - liuoksella.



Kuva 11: Tislattun veden ja puskuriliuoksen titrauskäyrät titratessa liuoksia 0,1 M HCl -liuoksella.

Työvaiheiden 1, 2 ja 3 jälkeen syvennyttiin aineenvaihdunnan vaikutuksiin ja happo-emästasapainon häiriötiloihin PowerPoint-esityksen avulla, minkä jälkeen tehtiin työohjeen osio 4, jossa tutkittiin aineenvaihduntatuotteiden vaikutusta puskuriliuoksen pH-arvoon. Hiilidioksidin vaikutus puskuriliuoksen pH-arvoon esitettiin lopuksi demonstraatiolla.

Yhteensä oppimateriaalin läpikäymiseen oli varattu 90 minuuttia. Kokeellisen osion jälkeen opiskelijat täyttivät punakynällä tutkimuslomaketta korjaten ja lisäten vastauksiaan kysymyksiin viidentoista minuutin ajan, jotta nähtäisiin, onko oppimateriaali tukenut puskuriliuuskemiaan liittyviä käsitteitä.

Tapaustutkimuksessa kokeellisen osion käytännön toteutus sujui hyvin. Työohjeessa annetut ohjeet eivät tuottaneet epäselvyyksiä ja mittausautomaattilaitteisto toimi toivotulla tavalla. Aikaa oppimateriaalin läpikäymiseen olisi voinut olla 10–15 minuuttia enemmän, jolloin viimeisen osion pohdintakysymyksille olisi jäänyt enemmän aikaa ja opiskelijat olisivat ehtineet pitää hieman pidemmän tauon osioiden välissä.

6.2.1 Tapaustutkimuksen tulokset

Kehittämistutkimukseen osallistui kuusi opiskelijaa Uudellamaalla sijaitsevan lukion KE5-kurssilaista. Opiskelijoiden kemian kurssien keskiarvo oli 8. Tutkimusjoukko valittiin saatavuuden mukaan. Perusjoukkona tässä tutkimuksena on Suomen lukion KE5-kurssia käyvät opiskelijat. Tutkimuslomake löytyy liitteestä 3.

Opiskelijoiden vastaukset analysoitiin aineistolähtöisen sisältöanalyysin perusteella (Tuomi & Sarajärvi, 2002) ja ne on jaettu viiteen alaluokkaan.

Oppimateriaali

- on tukenut käsitteen oppimista.
- ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, käsite on ymmärretty oikein.
- ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, käsitteessä ymmärtämisessä on mahdollisesti vajautta.
- ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, vaihtoehtoinen käsitys.
- ei ole tukenut käsitteen oppimista.

Kokonaisuudessaan kokeellinen oppimateriaali näytti tukeneen käsitteitä pH ja puskuriliuos sekä lisänneen tietoa puskuriliuosten merkityksestä biologisissa systeemeissä. Haastaviksi käsitteiksi tässä otosryhmässä osoittautuivat heikko happo, pH, puskuriliuoksen ominaisuudet ja puskurikapasiteetti.

Seuraavassa käydään tutkimuslomake läpi kysymys kysymykseltä. Ennen kokeellista osiota annetut vastaukset näkyvät sinisellä ja aktiviteetin jälkeen muokatut ja lisätyt vastaukset näkyvät punaisella.

Osio II, kysymys 1

Toisen osion ensimmäinen kysymys käsitteli vahvan emäksen neutralointia heikolla hapolla. Pilottitutkimuksessa kysymys osoittautui haastavaksi, joten sen muotoa muutettiin niin, ettei opiskelijan tarvitse tietää natriumhydroksidin olevan vahva emäs ja etikkahapon olevan heikko happo.

Kysymyksen a-kohdan vastaukset olivat hyvin identtisiä. Opiskelijat olivat esittäneet liuoksessa olevat ionit ja molekyylit reaktioyhtälöllä, mutta veden ionituloa ei oltu otettu huomioon, näin ollen liuoksessa olevat hydroksidi- ja oksoniumionit eivät tulleet ilmi

vastauksista. Kokeellisen osion jälkeen vain yksi opiskelija muutti vastaustaan täydentäen reaktioyhtälöä.

Kysymyksen b-kohdassa kartoitettiin heikko happo –käsitteen luonnetta. Liuoksen emäksisyys johtuu heikon hapon vastinemäksen läsnäolosta. Myös tässä tutkimuksessa ilmeni, ettei heikon hapon luonne ole täysin selkeä. Kaksi opiskelijaa kuudesta käsitti loppuliuksen pH:n neutraaliksi. Loput neljä opiskelijaa päätteli liuoksen emäksiseksi. Heikon hapon vastinemäksen emäksisyys tuli esille yhdessä vastauksessa. Oppimateriaalin läpikäyminen ei muuttanut opiskelijoiden b-kohdan vastauksia.

Opiskelijoiden vastaukset on jaettu kolmeen kategoriaan b-kohdan vastauksien mukaan. Kysymyksen a-kohdan vastaukset on sijoitettu samaan taulukkoon, jotta lukija saa kokonaiskuvan opiskelijan antamasta vastauksesta. Osion II ensimmäisen kysymyksen vastaukset ja alaluokat esiteltynä taulukossa 11.

Taulukko 11: Osio II, kysymys 1.

Opiskelijan vastaus	Perustelun alaluokka. Analysoitu kohta b.
a) $\text{NaOH (aq)} + \text{CH}_3\text{COOH(aq)} \rightleftharpoons \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O(l)}$ b) ”Emäksinen, koska heikon hapon vastinemäs CH_3COO^- (aq) on vahva emäs ja vahvan emäksen NaOH:n vastinhappo on heikko happo.”	Oppimateriaali ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, heikko happo -käsite ymmärretty oikein.
a) $\text{Na}^+ \text{CH}_3\text{COO}^- \text{H}_2\text{O}$ $\text{NaOH} + \text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$ b) ”emäksinen, koska heikko happo ei neutraloi kaikkea vahvaa emästä”	Oppimateriaali ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, heikko happo -käsitteessä ymmärtämisessä mahdollisesti vajautta.

a) $NaOH(aq) + CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons Na^+(aq) + CH_3COO^-(aq) + H_2O(l)$ b) ”emäksinen, koska emäs oli vahvempaa, kuin happo eikä se muutu heikon hapon vaikutuksesta paljoa.”	
a) ”happo + emäs → suola + vesi” b) ”emäksinen koska liuoksessa on sama ainemäärä vahvaa emästä ja heikkoa happoa.”	
a) $NaOH(aq) + CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons Na^+(aq) + CH_3COO^-(aq) + H_2O(l)$ b) Neutraali	Oppimateriaali ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, vaihtoehtoinen käsitys.
a) $NaOH + CH_3COOH \rightleftharpoons Na^+ + OH^- + CH_3COO^- + H_2O$ b) ”Neutraali”	

Osio II, kysymys 2

Toisen osion toinen kysymys käsitteli pH-asteikon logaritmista luonnetta. Vastauksien perusteella neljällä opiskelijalla kuudesta ei ollut selkeää käsitystä pH-arvojen määräytymisestä ennen kokeellisen oppimateriaalin läpikäyntiä. Laboratorio-osuuden jälkeen kaksi opiskelijaa, jotka aiemmin eivät olleet vastanneet kysymykseen, vertailivat liuoksia huomioiden pH-skaalan logaritmisuuden luonteen. Tämän perusteella voidaan tehdä päätelmä, että työn tuki pH-käsitteen oppimista näiden kahden opiskelijan kohdalla. Osion II toisen kysymyksen vastaukset ja alaluokat esiteltynä taulukossa 12.

Taulukko 12: Osio II, kysymys 2.

Opiskelijan vastaus	Perustelun alaluokka.
”liuoksella jonka pH on 10 on 100ertainen konsentraatio OH^- verrattuna 8 pH liuokseen”	Oppimateriaali on tukenut pH -käsitteen oppimista.
”pH 8 pH 10 → 100 kertaa suurempi ero ionien välillä ja on emäksisempi liuos kuin liuos jonka pH on 8”	
” $\text{pH}_1=8$ $\text{pOH}_1=14-8=6$ $[\text{OH}_1]=\lg 6=10^{-6}$ pienempi konsentraatio $\text{pH}_2=10$ $\text{pOH}_2=14-10=4$ $[\text{OH}_1]=\lg 4=10^{-4}$ ”	Oppimateriaali ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, pH-käsite ymmärretty oikein.
” $\text{pOH}=14,00-\text{pH}$ $\text{pOH}=14,00-8=6$ $[\text{OH}^-]=10^{-6}$ $\text{pOH}=14,00-10=4$ $[\text{OH}^-]=10^{-4}$ $10^{-6}<10^{-4}$ ”	
” $[\text{OH}^-]$ ”	Oppimateriaali ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, vaihtoehtoinen käsitys.
”1) $\text{pH}=8$ 2) $\text{pH}=10$ $[\text{OH}^-] > [\text{OH}^-]$ ”	

Osio III, kysymys 1

Kolmannen osion ensimmäinen kysymys käsitteli puskuriliuosten biologista merkitystä. Ennen kokeellista osiota opiskelijoiden vastaukset olivat hyvin lyhyitä eikä niissä juurikaan ilmennyt, miksi pH:ta pitää säädellä. Neljä opiskelijaa täydensi vastauksiaan kokeellisen oppimateriaalin jälkeen. Näin ollen oppimateriaali voidaan katsoa tukeneen puskuriliuosten merkitysten ymmärrystä. Osion III ensimmäisen kysymyksen vastaukset ja alaluokat esiteltynä taulukossa 13.

Taulukko 13: Osio III, kysymys 1.

Opiskelijan vastaus	Perustelun kategoria.
"Ne vastustavat pH:n muutoksia, jotta proteiinit eivät denaturoidu"	Oppimateriaali tukenut puskuriliuosten merkitysten ymmärrystä.
"Ne säätelevät erilaisia reaktioita nopeutta ja pitävät pH arvot suotuisina"	
"Ne estävät pH:n muutoksia ja ylläpitävät kehon toimintoja → ei liian hapan eikä liian emäksinen"	
"Koska ne vastustavat pH:n muutosta, joten ne ylläpitävät veren pH:ta 7,4 lähellä, estävät alkaloosin ja asidoosin, joten ne pitävät meidät hengissä. Hemoglobiini, munuaiset, keuhkot, bikarbonaatti ja fosfaatti ovat kehon omia puskureita."	
"Jotta pH arvot voivat pysyä kyseiselle systeemille sopivina"	Oppimateriaali ei ole tukenut puskuriliuosten merkitysten ymmärtämistä.
"Ne pitävät kehon tasapainossa"	

Osio III, kysymys 2

Kolmannen osion toinen kysymys käsitteli puskuriliuoksen koostumusta ja toimintaa. Kysyttäessä, mikä erottaa puskuriliuoksen puskuroimattomasta liuoksesta, opiskelijat kertoivat puskuriliuoksen toiminnasta. Vastauksissa ei käynyt ilmi, miten puskuriliuos eroaa puskuroimattomasta liuoksesta koostumuksen osalta. Kolmen opiskelijan vastaukset täydentyivät kokeellisen oppimateriaalin läpikäynnin jälkeen. Näistä vastauksista yhdellä opiskelijalla voidaan todeta olleen vaihtoehtoinen käsitys, jonka mukaan puskuriliuokset ylläpitävät neutraalia pH-arvoa. Tämä käsitys muuttui oppimateriaalin läpikäymisen jälkeen. Kaksi opiskelijaa vastasi kysymykseen vasta oppimateriaalin läpikäymisen jälkeen. Vastausten analysoinnin perusteella voidaan todeta oppimateriaalin tukeneen puskuriliuoksen ominaisuuksien ymmärtämistä. Osion III toisen kysymyksen vastaukset ja alaluokat esiteltynä taulukossa 14.

Taulukko 14: Osio III, kysymys 2.

Opiskelijan vastaus	Vastauksen alaluokka
”se yrittää ylläpitää neutraalia pH:ta eli pH:n muutosta vastustaa.”	Oppimateriaali on tukenut puskuriliuoskäsitteen oppimista.
”puskuriliuokseen happoa tai emästä lisättäessä pH ei muutu niin nopeasti”	
”-puskuriliuoksessa tapahtuvat muutokset näkyvät hitaammin kuin ei-puskuroidussa liuoksessa”	
”puskuriliuos pyrkii estämään pH:n muutoksia”	Oppimateriaali ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, käsite ymmärretty oikein.
”Puskuriliuos pystyy vastustamaan pH:n muutosta siihen lisättäessä happoa tai emästä”	
”pH on erilainen”	Oppimateriaali ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, vaihtoehtoinen käsitys.

Osio III, kysymys 3

Kolmannen osion kolmannessa kysymyksessä kysyttiin, miten liuoksen puskurikapasiteettia voidaan kasvattaa. Kysymykseen saatujen vastauksien valossa puskurikapasiteetti käsite osoittautui tälle otosryhmälle haastavaksi ja mahdollisesti kokonaan uudeksi käsitteeksi. Vain yksi opiskelija oli vastannut kysymykseen ennen kokeellista aktiviteettia ja vain yksi opiskelija lisäsi vastauksen kokeellisen osion jälkeen. Tämän perusteella ei voida päätellä kokeellisen osion tukeneen puskurikapasiteetti käsitteen oppimista. Osion III kolmannen kysymyksen vastaukset ja alaluokat esiteltynä taulukossa 15.

Taulukko 15: Osio III, kysymys 3.

Opiskelijan vastaus	Vastauksen alaluokka
”Lisään happoa tai emästä riippuen onko puskuriliuokseen lisättävä emästä vai happoa.”	Oppimateriaali on tukenut puskurikapasiteettikäsitteen oppimista.
”Lisään liuosta”	Oppimateriaali ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, puskurikapasiteettikäsitteen ymmärtämisessä mahdollisesti vajautta.
(tyhjä)	

(tyhjä)	Oppimateriaali ei ole tukenut puskurikapasiteettikäsitteen oppimista.
(tyhjä)	
(tyhjä)	

Osio III, kysymys 4

Kolmannen osion neljäs kysymys kartoitti puskuriliuoksen pH-arvoa. Tämä kysymys osattiin suhteellisen hyvin ennen kokeellisen oppimateriaalin läpikäyntiä. Vain yksi opiskelija jätti kokonaan vastaamatta kysymykseen. Yhdellä opiskelijalla oli vaihtoehtoinen käsitys puskuriliuoksen toiminnasta. Oppimateriaali ei vaikuttanut opiskelijoiden vastauksiin. Osion III neljännen kysymyksen vastaukset ja alaluokat esiteltynä taulukossa 16.

Taulukko 16: Osio III, kysymys 4.

Opiskelijan vastaus	Vastauksen alaluokka
”Johannes on väärässä, puskurin tehtävä on ylläpitää sille ominaista pH:ta”	Oppimateriaali ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, käsite ymmärretty oikein.
”Minä olen oikeassa. Käyttämällä vahvaa happoa ja sen suolaa voin tehdä happaman puskuriliuoksen.”	
”Puskuriliuoksen tehtävä on vastustaa pH:n muutosta, joten olisin oikeassa. ”	
”Voi tehdä happaman puskuriliuoksen. Puskuriliuos on joko heikon emäksen ja sen vastinapon suola tai heikon hapon ja sen vastinemäksen suolan liuos.”	
”Puskuriliuos voi sinänsä olla hapan vaikka sen tehtävä on ylläpitää neutraalia pH:ta. Joten minä olen oikeassa.”	Oppimateriaali ei ole muuttanut opiskelijan vastausta, vaihtoehtoinen käsitys.
(tyhjä)	Oppimateriaali ei ole tukenut käsitteen oppimista.

Osio III kysymys 5

Tutkimuslomakkeen viimeinen kysymys koski puskuriliuoksen toimintaa. Neljä opiskelijaa oli jättänyt vastaamatta kysymykseen kokonaan ennen kokeellista osuutta. Näistä kolme vastasi kokeellisen osion jälkeen. Loput muokkasivat ja täydensivät vastauksiaan. Vastausten analysoinnin perusteella voidaan tulkita kokeellisen osion tukeneen puskuriliuoskäsitettä. Osion III neljännen kysymyksen vastaukset ja alaluokat esiteltynä taulukossa 17.

Taulukko 17: Osio III, kysymys 5.

Opiskelijoiden vastaus	Vastauksen alaluokka
"Puskuriliuos pyrkii aluksi neutraloimaan (emäkset) sinne lisättyä happoa. Kun kaikki emäs on neutraloitunut jäljelle jää happoa. "	Oppimateriaali on tukenut käsitteen oppimista
"Osa niistä happamoituu, emäksiset molekyylit ja ionit neutraloituvat, kun puskuriliuos ei pysty vastustamaan kauaa vahvaa happoa jolloin liuokseen jää lopuksi vain happoa"	
"liuoksessa oleva emäs pyrkii neutraloimaan happoa"	
"Puskuriliuoksen emäs osa neutraloi happoa ja muodostuu vettä"	
"Niiden konsentraatiot muuttuvat puskuriliuoksen suolat reagoi hapon kanssa neutraloiden sitä"	
(tyhjä)	Oppimateriaali ei ole tukenut käsitteen oppimista.

6.2.2 Tapaustutkimuksen yhteenveto

Tapaustutkimus tutkimusmenetelmänä antaa suuntaa-antavia tuloksia. Analysoitujen vastauksista voi tulkita, että myös tässä otoksessa puskuriliuoksen kemiaan liittyvissä käsitteissä on haasteita ja vaihtoehtoisia käsityksiä.

Tapaustutkimus keskittyi oppimateriaalin käsitteitä tukevan vaikutuksen mittaamiseen. Analysoidun datan valossa voidaan todeta, että oppimateriaali tuki puskuriliuoksen toiminnan ja puskuriliuosten merkityksen ymmärtämistä. Myös pH-käsitteen ymmärrys näkyi kasvaneen. Lisäksi oppimateriaali muutti muutamaa vaihtoehtoista käsitteiden rakennetta. Analysoitujen vastausten valossa kokeellisella materiaalilla ei kuitenkaan ollut niin selkeä käsitteitä tukeva vaikutus mitä tavoiteltiin.

Kokeellinen oppimateriaali ei tukenut tämän tapaustutkimuksen perusteella puskurikapasiteetti käsitteen ymmärtämistä. Puskurikapasiteetti käsitettä ei käsitellä kovinkaan tarkasti kaikissa lukion oppikirjoissa. Joissain oppikirjoissa käsitellään ainoastaan puskuriliuosten titrauskäyrien puskurialueita. Koska kokeellisen osion kolmas osuus käsittelee puskuriliuoksen puskurikapasiteettia, haluttiin tämän käsitteen oppiminen kuitenkin ottaa mukaan tähän tutkimukseen.

Kaiken kaikkiaan opiskelijoiden vastaukset olivat lyhyitä, mikä saattoi johtua tutkimuslomakkeen kysymysten muotoilusta. Lomakkeen kysymykset olivat koemaisia ja niihin pystyi vastaamaan lyhyesti, joten tapaustutkimuksessa ei välttämättä saavutettu kaikkia oppimistuloksia. Lisäksi tutkimus ei ottanut kantaa kokeellisen osion toimivuuteen, opiskelijoiden motivaatioon tai kiinnostuksen lisäämiseen.

Näiden tulosten perusteella kokeellista oppimateriaalia muokattiin ja kehitettiin, jotta sen puskuriliuoksen kemiaan liittyvien käsitteiden tukeva vaikutus kasvaisi.

6.3 Kehittämistuotoksen jatkokehittäminen

Tapaustutkimuksen arvioinnin pohjalta oppimateriaalia jatkokehitettiin tutkimustavoitteiden mukaisesti. Kehittämistutkimuksessa palattiin teoreettiseen ongelma-analyysiin, jonka pohjalta käsitteiden oppimisen tueksi oppimateriaali muokattiin oppimissykliin muotoon.

Oppimissyklin pohjana käytettiin viisivaiheista mallia (*BSCS 5E Instructional Model*), jonka on todettu edistävän käsitteiden oppimista. (ks. Aksela 2005, Bybee et al., 2006)

Lisäksi oppimateriaaliin tehtiin seuraavat muokkaukset ja lisäykset:

- Työohjeeseen lisättiin teoria kaksi teoria-osuutta, jotta opettaja ja opiskelija saavat tarvitseman taustatiedon työohjeesta.
- Oppimateriaalia laajennettiin niin, että opiskelijat valmistavat itse kantaliuokset, joista puskuriliuos valmistetaan. Liuokset tehdään liuottamalla kiinteää suolaa veteen. Näin opiskelijat saavat konkreettisemmän kuvan puskuriliuoksen koostumuksesta.
- Työvaiheen osioon 3 ja 4 lisättiin ennakkovaihe jossa opiskelijoiden pitää piirtää hypoteesi siitä millainen kuvaaja muodostuu kun he titraavat tislattua vettä (osio 3) ja puskuriliuosta (osio 4). Lisäksi kuvaajan tulkintaa koskevia kysymyksiä muokattiin, niin että opiskelijan pitää perustella tarkemmin kuvaajan muotoa.
- Työskentelyvaiheen viimeiseen osioon lisättiin ohje jolla opettaja voi demonstroida hiilidioksidin vaikutusta veren pH-arvoon.
- Työohjeen loppuun luotiin koontivaihe, jossa kokeellinen osuus ja käsitelty teoria kootaan yhteen koonti kysymyksien muodossa.
- Kysymyksiä on työohjeessa neljä, joista kolme ensimmäistä vaativat tiedon soveltamista ja viimeisessä opiskelijan pitää suunnitella tutkimus oman ruokavalionvaikutuksesta kehon happo-emästasapainoon.
- Osioden nimiä muutettiin ja käsitteen puskurikapasiteetti käsittely jätettiin pois työohjeesta.

7. Kehittämistuotos 2

Kehittämistuotos 2 on kehittämistutkimuksen tuloksena tuotettu oppimateriaali (ks. liite 6 ja 7). Oppimateriaalista on tehty kaksi versiota, opettajan ja opiskelijan ohje. Opettajan ohjeessa on tietoa oppimissyklin käytännön toteutuksesta ja oppimateriaalin tavoitteista sekä vastaukset kaikkiin oppimateriaalissa esitettyihin kysymyksiin.

Kokeellisen oppimateriaali on oppimissyklimuodossa. Sykli pohjautuu testattuun *BSCS 5E Instructional Model* –malliin, jonka on todettu tukevan käsitteiden oppimista. (Ks. Aksela, 2005; Bybee et al., 2006) Sykli koostuu viidestä vaiheesta: ennakko-, työskentely-, selitys-, työstämis- ja koontivaihe.

1. *Ennakkovaihe*, jossa opiskelija perehtyy veren happo-emästasapainoon ja saa pohdittavakseen siihen liittyviä käsitteitä. Tämän osion tarkoituksena on tutustuttaa opiskelijat aiheeseen ja aktivoida työssä tarvittavia käsiterakenteita.
2. *Työskentelyvaihe*, jossa opiskelija käyttää happo-emäskemian käsitteitä ymmärtääkseen tutkittavia ilmiöitä. Tässä oppimissyklin vaiheessa opiskelija pääsee tuottamaan hypoteeseja ja testaamaan käsiterakenteitaan. Oppimateriaalissa on neljä työskentelyvaiheen osaa, joista kolmen vaiheen jälkeen seuraa *selittämisvaihe* jossa tutkitun ilmiön käsitteitä tarkennetaan kysymyksien avulla.

Osa 1 – kantaliuoksien valmistus. Opiskelijat suunnittelevat ja tekevät puskuriliuoksen valmistamiseen tarvittavat kantaliuokset natriumfosfaatti suoloista.

Tämän osuuden tarkoituksena on konkretisoida puskuriliuoksen myöhemmin valmistettavan puskuriliuoksen koostumusta. Lisäksi tässä osuudessa opiskelija pääsee harjoittamaan liuosten valmistusta.

Osa 2 – Puskuriliuoksen valmistus. Opiskelijat valmistavat fosfaattipuskurin aiemmin valmistamistaan kantaliuoksista pH-anturin avulla. Fosfaattipuskuri on yksi veren puskureista ja se simuloi työssä veren toimintaa. Puskuriliuoksen pH säädetään vastaamaan veren pH:ta.

Tämän osuuden ensisijainen tarkoitus on tukea puskuriliuoksen koostumuksen ymmärtämistä ja pohjustaa puskuriliuoksen toiminnan ymmärtämistä. Osion jälkeen pohditaan liuoksen sisältöä, käsitteitä heikko happo ja heikko emäs sekä harjoitellaan kirjoittamaan fosfaatti-ionien ja veden välisiä tasapainoyhtälöitä.

Osa 3 – Tislattun veden titraaminen. Opiskelijat titraavat vettä joko vahvalla emäksellä tai hapolla ja titrauskäyrä muodostuu ajan ja pH-arvon funktiona tietokoneen näytölle reaaliaikaisesti. Tällä työvaiheella on kaksi tehtävää

- 1) veden titrauskäyrä toimii vertailukäyränä puskuriliuoksen titraamiselle (seuraava osa 4)
- 2) veden titraaminen tukee pH-skaalan logaritmisuuden ymmärtämistä, eli käsitettä pH.

Tässä osiossa käytetään hypoteesi-havainnointi-selitys (POE; prediction - observation - explanation) tekniikkaa. (ks. Sheppard, 2006) Opiskelija piirtää hypoteesin veden titrauskäyrän muodosta, jolloin hän tulee tietoiseksi omasta käsityksestään. Kognitiivinen konflikti syntyy, jos opiskelijan oma käsitys ei vastaa kokeellisen osion tuloksia (Demircioğlu et al, 2005). Toisin sanoen jos opiskelijalla on vaihtoehtoinen käsitys, jonka mukaan pH-asteikko muuttuu lineaarisesti, on mahdollista, että tässä vaiheessa hänelle muodostuu kognitiivinen konflikti, sillä titrauskäyrän muodon selittämiseen täytyy ymmärtää pH-skaalan logaritmisuus.

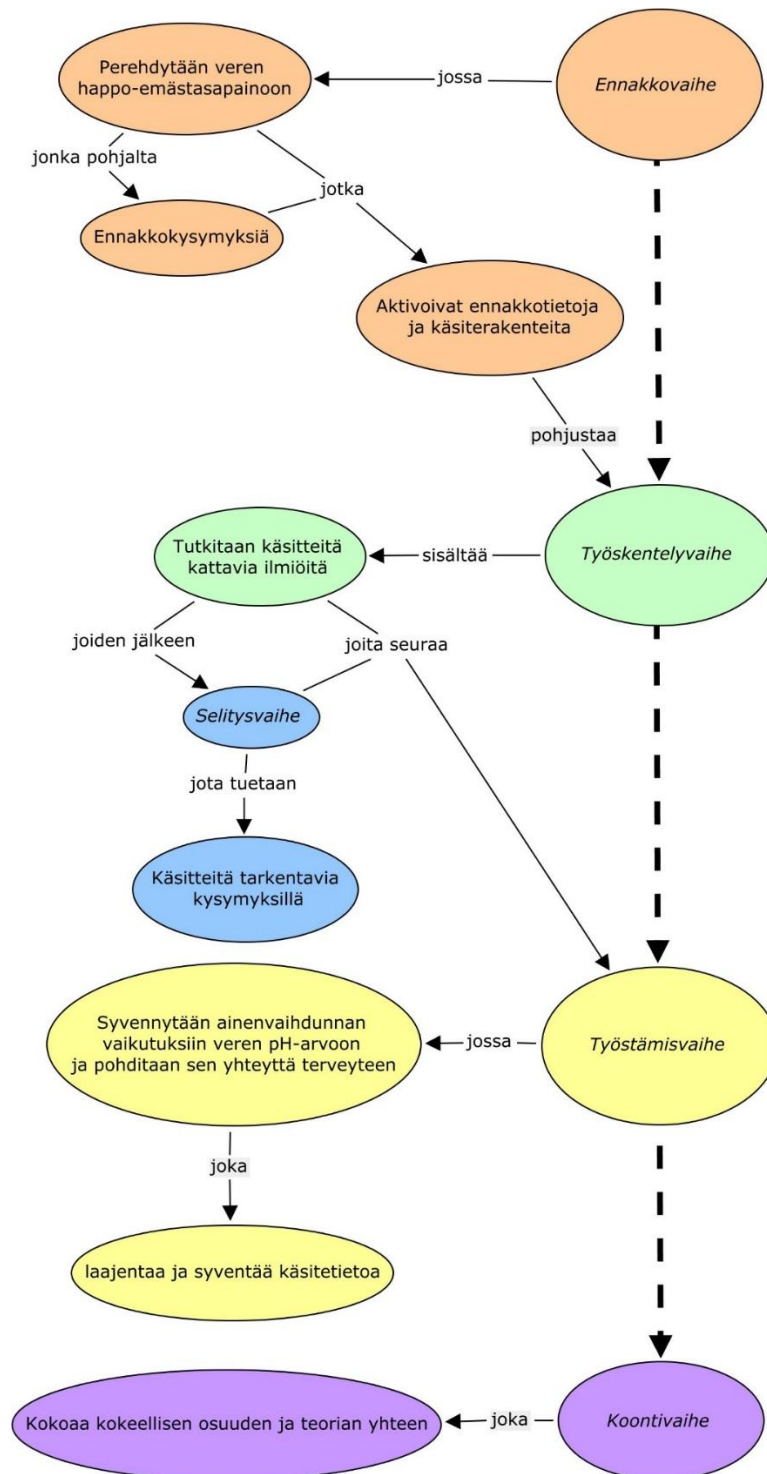
Lisäksi työvaiheessa opiskelija pääsee harjoittelemaan titraamista ja graafisen kuvaajan tulkintaa.

Osa 4 - Puskuriliuoksen titraaminen. Tässä työvaiheessa valmistettu puskuriliuos titrataan vahvalla emäksellä tai hapolla samaan kuvaajaan, jossa on veden titrauskäyrä, vertailun helpottamiseksi.

Myös tässä vaiheessa piirretään hypoteesikäyrä, havainnoidaan titrauskäyrän muodostumista reaaliajassa ja selitetään kuvaajan muotoa käsitteiden avulla. Lisäksi kirjoitetaan liuoksessa tapahtuvia tasapainoyhtälöitä ja vertaillaan titrauskäyriä. Tämän osan tarkoitus on tukea puskuriliuoksen käsitettä sen toiminnan osalta, sekä tukea käsitteitä neutraloituminen ja pH.

3. Työstämisvaihe (osa 5), jossa syvennyttään ihmisen kemiaan tarkastelemalla aineenvaihduntatuotteiden vaikutusta veren happo-emästasapainoon ja pohditaan sen vaikutusta terveyteen. Tämän vaiheen tarkoitus on syventää ja laajentaa käsitetietoa, sekä liittää opittua tietoa vahvemmin ihmisen kemian kontekstiin.
4. Koontivaihe, jossa kokeellinen osuus ja käsitelty teoria kootaan yhteen koonti kysymyksien muodossa. Kysymyksiä on työohjeessa neljä, joista kolme ensimmäistä vaativat tiedon soveltamista ja viimeisessä opiskelijan tulee suunnitella tutkimus oman ruokavalionvaikutuksesta kehon happo-emästasapainoon.

Oppimissykli on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12: Oppimissykli

8. Johtopäätökset ja pohdinta

Tässä luvussa käydään läpi tutkimuskysymykset ja niiden johtopäätökset sekä tutkimuksen yhteenveto ja merkitys.

8.1 Puskuriliuoskäsitteen opettaminen lukion kemian opetuksessa ihmisen kemian kontekstissa.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastattiin kehittämistutkimuksen ensimmäisellä empiirisellä ongelma-analyysillä. Tämän niin kutsutun tarveanalyysin kohteena olivat lukion viidennen kemian kurssin oppikirjat. Analyysi toteutettiin aineistolähtöisen sisällönanalyysin mukaisesti.

Tarve-analyysissä tuloksena saatiin, että puskuriliuoskäsite liitettiin ihmisen kemiaan kaikissa tutkituissa oppikirjoissa. Kirjoissa kerrottiin erityisesti veren puskuriominaisuuksista. Linkitys ihmisen kemian kontekstiin seuraa lukion opetussuunnitelman perusteita, jossa kurssin tavoitteeksi määritellään, että opiskelija ymmärtää tasapainon merkityksen ja tutustuu tasapainoon luonnon ilmiöissä. (ks. LOPS, 2003)

Puskuriliuosta ihmisen kemian kontekstissa käsittelevät tekstit sijaitsivat pääpainotteisesti kuvateksteissä ja erillisissä inforuuduissa. Itse leipätekstissä kehon puskuriominaisuuksista löytyi maininta kahdesta analysoidusta oppikirjasta. Tämä antaa osaltaan viitteitä siitä, että tieto saattaa jäädä lukijalle irralliseksi.

Kolmessa analysoidussa kirjassa oli yhdestä kahteen inforuutua, jossa veren puskuriominaisuuksista oli kerrottu hyvinkin kattavasti. Annettua informaatiota ei kuitenkaan sovellettu tehtävien muodossa juurikaan. Yhteensä aihetta käsitteleviä tehtäviä opiskelijoille oli neljässä analysoidussa kirjassa kolme kappaletta. Kahdessa kirjassa tehtäviä ei ollut lainkaan. Lisäksi kokeellisia tehtäviä, joissa puskuriliuoskäsite olisi liitetty ihmisen kemiaan, ei löytynyt yhtään.

Tämän perusteella voidaan todeta, että puskuriliuosta ihmisen kemian kontekstissa käsittelevälle kokeelliselle materiaalille on tarvetta.

Tarve-analyysi oli rajattu analysoimaan sitä miten puskuriliuoskäsitettä opetetaan ihmisen kemian kontekstissa. Orgill & Sutherlandin (2008) mukaan yliopisto-opiskelijat lähestyivät puskuriliuoksiin liittyviä tehtäviä matemaattisin kaavoin, ymmärtämättä käsitteiden sisältöjä. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa voisi selvittää, miten puskuriliuoskäsitettä opetetaan kokonaisuudessaan lukion oppikirjoissa ja minkälaisia tehtäviä opiskelijoiden tulee ratkaista. Toisin sanoen, onko käsitteiden haastavuuteen mahdollisesti syynä Suomessa juuri se, että käsitteiden sisältöä ei tueta tarpeeksi ja puskuriliuoksen käsittely keskittyy pääosin matemaattisiin laskuihin.

Lisäksi on myös huomioitava, että lukion opetussuunnitelman perusteet tulevat muuttumaan ensivuonna, ja näin ollen myös oppikirjat saavat uudet sisällöt. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa voisi kartoittaa lisäksi puskuriliuoskäsitteen opettamista uuden opetussuunnitelman mukaisesti.

Tässä tutkielmassa ei oteta kantaa siihen miten opettaja käyttää oppikirjoissa annettua materiaaleja hyväksi tai kuinka paljon opetus painottuu oppikirjan sisältöihin.

8.2 Kehitetty kontekstuaalinen kokeellinen oppimateriaali puskuriliuoskäsitteen oppimisen tueksi

Tutkielman toiseen tutkimuskysymykseen vastattiin teoreettisen ongelma-analyysissä tehtävällä kirjallisuus katsauksella, joka käsitteli verta puskuriliuoksena, puskuriliuoksen oppimista, lukion opetussuunnitelman perusteissa määriteltyjä oppimistavoitteita (LOPS, 2003), kontekstuaalista oppimista, sekä käsitteen muodostumisen ja kokeellisuuden tukemista.

Kontekstuaalinen lähestymistapa valittiin kokeellisen oppimateriaalin lähtökohdaksi, sillä tutkimusten mukaan kontekstuaaliset oppimateriaalit lisäävät opiskelijoiden myönteistä suhtautumista tiedettä kohtaan, lisäävät opiskelijoiden kiinnostusta ja motivaatiota sekä parantavat oppimistuloksia. (Bennet et al., 2007) Kontekstiksi valittiin veri, sillä veren kemialla voidaan havainnollistaa happo-emästasapainoa ja sen merkitystä biologisissa systeemeissä.

Käsitteiden oppimista käsittelevän tutkimustiedon mukaan käsitteet muodostuvat rakentumalla ja ne tulee liittää opiskelijalle ennestään tuttuihin, pitkäkestoisesta muistista

haettuihin käsitteisiin. (Aebli, 1991) Jos uutta käsitettä ei pystytä liittämään pitkäkestoisen muistin tietorakenteisiin, käsite unohtuu nopeasti (Gable, 1999; Johnstone, 2000). Veren kemiaan pohjautuvalla oppimateriaalilla pyritään liittämään puskuriliuoskäsite opiskelijoille tuttuun ja heitä kiinnostavaan kontekstiin, jotta opiskelijan on helpompi linkittää opittu asia aiempiin käsite-rakenteisiin ja palauttaa myöhemmin mieleen. Oppimateriaalin kontekstin valintaa tukee ROSE-tutkimuksessa tulos jonka mukaan suomalaiset lukio-opiskelijat ovat kiinnostuneita ihmisen biologiaan ja terveyteen liittyvistä kemian ja fysiikan aihealueista. (ks. Lavonen, et al., 2008)

Veren kemia on hyvin laaja ja monimuotoinen aihealue. Sen avulla on mahdollista opettaa usean erilaisen puskurisysteemin toimintaa ja luoda yhteys happo-emästasapainon ja ihmisen kehon toiminnan välille. Koska veri liuoksena on sisältää useita eri yhdisteitä ja sen toimintaan vaikuttaa hyvin moni muuttuja, otettiin kokeellisessa oppimateriaalissa tutkittavaksi vain yksi veren puskureista, fosfaattipuskuri. Fosfaattipuskuri on toimiva tässä yhteydessä, sillä sen pK_{a2} arvo (7,2) on lähellä veren pH:ta 7,4, jolloin se havainnollistaa suhteellisen hyvin veren toimintaa vaikka liuoksessa ei ole mukana kaikkia veren puskureita.

Käsitteiden oppiminen on hidas prosessi (Vosniadou, 2008), jota voidaan tukea useilla erilaisilla lähestymistavoilla. Tässä tutkielmassa lähestymistavaksi valittiin kokeellisuus, sillä sen avulla on mahdollista havainnollistaa puskuriliuoksen toimintaa ja siten tukea käsitteen ymmärtämistä. (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2011; Hofstein, et al., 2013) Tällöin kokeellisessa työskentelyssä pitäisi keksittyä tiedon prosessointiin ja muistaa, ettei tieto siirry opiskelijaan pelkästään havainnoimalla. (Abrahams & Millar, 2008) Toteutetussa oppimateriaalissa tiedon prosessointia tuetaan kysymysten muodossa, kuten Hofstein et al., (2013) suosittavat. Kysymyksillä pyritään kiinnittämään opiskelijan huomio kokeellisen osuuden tiettyyn osa-alueeseen.

Kokeellisen oppimateriaalin toteuttamisessa päätettiin käyttää mittausautomaatiota. Mittausautomaation käyttö happo-emästitrauksissa on todettu tehokkaaksi työkaluksi kun halutaan selvittää aiheeseen liittyvien käsitteiden ymmärtämistä (Sheppard, 2006) ja sen on todettu vaikuttavan positiivisesti happo-emäskäsitteiden rakentumiseen (Nakhleh ja Krajcik, 1994).

Happo-emäskemian käsitteitä käsittelevän tutkimustiedon perusteella pH käsitteessä ilmenee vaihtoehtoisia käsityksiä, joiden mukaan pH-asteikko muuttuu lineaarisesti, eivätkä opiskelijat ymmärrä pH arvojen suuruutta. (Sheppard, 2006) Vaihtoehtoisten käsitteiden

muuttumista on tutkittu paljon. (Ks. Vosniadou, 2008) Yksi strategia niiden muuttamiseen on kognitiivinen konflikti, jonka mukaan opiskelijan vaihtoehtoinen käsitys muuttuu jos opiskelija on 1) tyytymätön omaa sen hetkistä käsitystään kohtaan 2) uusi käsitys on ymmärrettävä 3) uusi käsitys on uskottava ja 4) uusi käsitys on käyttökelpoinen (Posner et al., 1982). pH-käsitteen ymmärtämistä voidaan tukea hypoteesi-havainnointi-selitys (POE; prediction - observation - explanation) tekniikalla. (ks. Sheppard, 2006) Siinä opiskelija piirtää hypoteesin titrauskäyrän muodosta, jolloin hän tulee tietoiseksi omasta käsityksestään. Kognitiivinen konflikti syntyy, jos opiskelijan oma käsitys ei vastaa kokeellisen osion tuloksia (Demircioğlu et al., 2005). Toisin sanoen jos opiskelijalla on vaihtoehtoinen käsitys, jonka mukaan pH-asteikko muuttuu lineaarisesti, on mahdollista, että tässä vaiheessa hänelle muodostuu kognitiivinen konflikti, sillä titrauskäyrän muodon selittämiseen täytyy ymmärtää pH-skaalan logaritmisuus.

Abstraktien ja kompleksien käsitteiden oppimisen tukemiseen voidaan käyttää oppimissykliä. Oppimissyklissä oppiminen on jaettu vaiheisiin ja käsitteiden muodostumista tuetaan jokaisessa vaiheessa. Oppimissyklimallisien oppimateriaalien on todettu tukevan käsitteiden oppimista. (Aksela, 2005; Bybee et al., 2006)

8.3 Puskuriliuoskäsitteen oppiminen kehitetyn oppimateriaalin avulla

Kehittämistutkimuksen ensimmäisen empiirisen ongelma-analyysin ja teoreettisen ongelma-analyysin pohjalta rakennettiin kehittämisprosessissa kokeellinen oppimateriaali tukemaan puskuriliuoskäsitteen oppimista. Lisäksi kehittämisprosessissa laadittiin tutkimuslomake, jolla oppimateriaalin vaikutusta puskuriliuoskemiaan käsitteiden oppimista voitiin tutkia. Tutkimuslomake testattiin pilottitutkimuksessa. Tutkielman kolmanteen tutkimuskysymykseen vastattiin kehittämistutkimuksen toisella empiirisellä ongelma-analyysillä, jossa oppimateriaalin vaikutusta käsitteiden oppimiseen tutkittiin tapaustutkimuksessa kyselylomakkeen avulla.

Tapaustutkimuksen perusteella voidaan todeta, että puskuriliuoskemiaan liittyvät käsitteet ovat haastavia ja niissä ilmenee vaihtoehtoisia käsityksiä myös Suomessa. Tätä havaintoa tukee myös pilottitutkimuksen tulokset. Haastavat käsitteet olivat samoja kuin mitä on ilmennyt aiemmissa tutkimuksissa: pH, happojen vahvuus ja neutralointi, sekä kokonaisuudessaan puskuriliuos; sen toiminta, koostumus ja merkitys (Ks. Schmith 1997; Sheppard 2006, Orgill & Sutherland, 2008, Chiu, 2007, Özmen et al., 2009, Demircioğlu et

al., 2005). Koko Suomea koskevia yleistyksiä ei tämän tutkimuksen perusteella voida kuitenkaan tehdä.

Kokeellinen oppimateriaali tuki tapaustutkimuksen perusteella käsitteiden pH ja puskuriliuos oppimista. Oppimateriaali tuki puskuriliuoksen toiminnan ymmärtämistä, sekä lisäsi opiskelijoiden ymmärrystä puskuriliuosten merkityksestä biologisissa systeemeissä. Käsite pH on todettu aiemmissa tutkimuksissa erityisen haastavaksi käsitteeksi (ks. Sheppard, 2006; Watters & Watters, 2006), joten tulos on positiivinen.

Käsitteiden oppiminen on hidas prosessi (Vosniadou, 2008), joten pitempiäaikaiset oppimistulokset eivät näy tässä tutkimuksessa. Toisaalta oppimistulokset ovat voineet olla myös hetkellisiä, sillä tutkimuslomake täytettiin heti kokeellisen oppimateriaalin läpikäymisen jälkeen, joten tieto on tällöin ollut vielä tuoreena opiskelijoiden muistissa.

Tapaustutkimuksen perusteella oppimateriaali ei tukenut juurikaan puskurikapasiteettikäsitteen oppimista tätä tutkimusmenetelmää käyttämällä. Neljä opiskelijaa kuudesta jätti kokonaan vastaamatta käsitettä koskevaan kysymykseen. Puskurikapasiteetti käsitettä ei käsitellä kovinkaan tarkasti kaikissa lukion oppikirjoissa, joten käsite on saattanut näin ollen olla kokonaan uusi tapaustutkimukseen osallistuneille opiskelijoille. Käsitettä ei määritelty erikseen tapaustutkimuksessa käytetyssä oppimateriaalissa. Koska oppimateriaalin ensisijainen tavoite on tukea puskuriliuoskäsitettä, päätettiin puskurikapasiteettikäsite jättää kokonaan pois oppimateriaalista.

Kokonaisuudessaan tapaustutkimuksessa opiskelijoiden antamat vastausten perustelut olivat suppeita. Tutkimuslomakkeen kysymykset olivat koemaisia ja niihin pystyi vastaamaan lyhyesti, tämän johdosta tapaustutkimuksessa ei välttämättä saavutettu kaikkia oppimistuloksia. Kyselytutkimuksissa on yleisesti heikkouksina se, ettei tutkija voi tietää, kuinka vakavasti vastaajat ovat suhtautuneet tutkimukseen, eli ovatko he vastanneet kysymyksiin huolellisesti ja rehellisesti. (Hirsjärvi et al., 2008) Mahdollisissa jatkotutkimuksissa käsitteiden oppimista voisi seurata esimerkiksi piirtämällä puskuriliuoksiin liittyvän käsitekartan ennen ja jälkeen oppimateriaalin läpikäyntiä. Tällöin käsitteen muodostuminen ja oppiminen voisi näkyä kokonaisvaltaisemmin.

Lisäksi tapaustutkimus ei kartoittanut mahdollisia muita oppimistuloksia, kuten kokeellisten taitojen, kuvaajan tulkinnan tai tasapainoyhtälöiden kirjoittamisen harjaantumista. Tämä tutkimus ei myöskään ottanut kantaa kokeellisen osion mielekkyyteen eikä motivaatioon.

Tapaustutkimuksen jälkeen palattiin käsitteiden oppimista ja kokeellisuuden tukemista käsittelevään tutkimuskirjallisuuteen. Teoriaosuutta laajennettiin ja sen pohjalta kokeellinen oppimateriaali muokattiin oppimissyklimuotoon. Oppimissyklin pohjana käytettiin mallia, jonka on todettu tukevan käsitteiden oppimista. Lisäksi työohjeeseen lisättiin hypoteesien tuottamista, jotta opiskelijoiden ennakkokäsitykset tulevat paremmin esille. (Ks. Sheppard, 2006) Puskuriliuoksen koostumuksen ymmärtämistä pyritään tukemaan oppimateriaaliin lisätyllä työskentelyvaiheen osiolla, jossa opiskelijat rakentavat puskuriliuoksen alusta lähtien.

Kehittämistutkimuksen tuloksena saatua toista kehittämistuotosta ei ole testattu, joten tämä tutkimus ei voi ottaa kantaa siihen, onko oppimissyklillä vaikutusta opiskelijoiden käsitteiden oppimiseen. Tätä voitaisiin tutkia mahdollisissa jatkotutkimuksissa.

8.4 Tutkimuksen yhteenveto ja merkitys

Tässä Pro gradu -tutkielmassa tutkittiin puskuriliuos käsitteen oppimista veren kontekstissa. Tutkimusmenetelmänä käytettiin kehittämistutkimusta. Puskuriliuoskäsitteen tueksi luotiin kokeellinen oppimateriaali tutkimuskirjallisuuden pohjalta. Oppimateriaali suunniteltiin erityisesti lukion viidennen kemian kurssin oppisisältöjen ja tavoitteiden tueksi.

Oppimateriaalin ensimmäinen versio arvioitiin tapaustutkimuksessa. Tutkimuksen tuloksena kehitetty oppimateriaali tuki puskuriliuoksen toiminnan ja merkityksen ymmärtämistä, sekä käsitettä pH. Kehittämistutkimuksen toisessa syklissä oppimateriaali muokattiin oppimissyklimuotoon tukemaan käsitteiden rakentumista vielä vahvemmin. Muokattu oppimateriaali pyrkii tukemaan puskuriliuoskäsitteen oppimista sen koostumuksen, toiminnan ja merkityksen osalta, sekä tukemaan käsitteiden pH ja neutralointi oppimista.

Kokeellinen oppimateriaali on kehitetty vastaamaan Suomen kemian opetuksen tarpeita. Oppimateriaali tukee lukion oppikirjojen teoreettista sisältöä veren puskuriominaisuuksista, sekä vastaa ROSE-tutkimuksessa esille nousseeseen huomioon, jonka mukaan kemian opetukseen tarvitaan lisää ihmisen biologiaa ja terveyttä käsitteleviä oppimateriaaleja (ks. Lavonen et al., 2008).

Kehittämistuotos 2 tulee osaksi Kemianluokka Gadolinissa opettavien kokeellisten töiden valikoimaan. Lisäksi se julkaistaan Kemianluokka Gadolinin työohje sivustolla (www.kemianluokka.fi/tyoohjeet), jossa se on vapaasti opettajien käytettävissä.

Kehittämistuotoksen lisäksi tämä tutkielma tarjoaa tärkeää tietoa kemian käsitteiden oppimisesta ja opettamisesta, happo-emästasapainon käsitteiden ymmärtämisestä, sekä erityisesti puskuriliuoskäsitteen opettamisesta ja veren kemiasta, jotka olisi tärkeä huomioida opettajien koulutuksessa sekä oppimateriaalien kehittämisessä.

Kokonaisuudessaan puskuriliuoskäsitteen oppimista on tutkittu kansainvälisesti vähän, joten aiheeseen keskittyvälle tutkimukselle on tarvetta. Erityisesti puskuriliuoskäsitteessä ilmeneviä vaihtoehtoisia käsityksiä olisi hyvä tutkia laajemmin ja syvällisemmin. Tämä tutkimus vastaa osaltaan tähän tarpeeseen ja toimii opettajille apuna puskuriliuoskäsitteen opettamisessa.

Lähteet

Abrahams, I. & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.

Adroque, H. J. & Madias, N. E. (1998) Management of life-threatening acid-base disorders. First of two parts. *The New England Journal of Medicine* 338, 26–34

Aebli, H. (1991). *Opetuksen perusmuodot*. Suom. Unto Sinkkonen. Helsinki: WSOY.

Aksela M. (2005). Supporting meaningful chemistry learning and higherorder thinking through computer-assisted inquiry: A design research approach, Academic Dissertation, University of Helsinki.

Aksela, M. (2011). Engaging students for meaningful chemistry learning through microcomputer-based laboratory (MBL) inquiry : Promoure en els estudiants l'aprenentatge significatiu de la química mitjançant treballs pràctics indagatius amb l'ús d'equips de captació de dades amb sensors (MBL), *Educació Química EduQ* , Nro 9 , Sivut 30-37.

Aksela, M. & Pernaa, J. (2013). Kehittämistutkimus pro gradu – tutkielman tutkimusmenetelmänä. Teoksessa J. Pernaa (toim.), *Kehittämistutkimus opetuslalla*. Jyväskylä: PS-kustannus.

Arnett, T. R. (2008) Extracellular pH Regulates Bone Cell Function¹⁻³. *The Journal of Nutrition*, 2008, 138:415S-418S.

Bennet, J., Lubben, F., Hogarth, S. (2007). Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*. 91 (3) 347–370

Bonen A, McDermott J. C., Tan M. H. (1990) Glycogenesis and glyconeogenesis in skeletal muscle: effect of pH and hormones. *The American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism* 258: E693–E700

Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins, effectiveness, and applications*, Colorado Springs: BSCS.

Chiu, M. (2007). RESEARCH REPORT A national survey of students' conceptions in chemistry in Taiwan. *International Journal of Science Education*. 29 (4) 421–452

Collins, A., Joseph D. & Bielaczyc, K. (2004). Desing research: Theoretical and methodological issues. *The Journal of Learning Sciences*, 13 (1), 15-42.

Dale, E. 1947. Audio-visual methods in teaching. New York: Holt, Rinehart & Winston, Inc.

Dashi, R., K., & Bassingthwaighe, J., B., (2004). Blood HbO₂ and HbCO₂ Dissociation Curves at Varied O₂, CO₂, pH, 2,3-DPG and Temperature Levels, *Annals of Biomedical Engineering*, 32 (12) 1676–1693

Demigné, C., Sabboh, H., Puel, C., Révész, C., Coxam, V. (2004). Organic anions and potassium salts in nutrition and metabolism, *Nutrition Research Reviews* 17, 249–258

Demircioğlu, G., Ayas A., & Demircioğlu, H. (2005). Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases. *Chemistry Education Research and Practice* 6, 36–51.

Duit, R., Treagust, D. (2003) Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education* 25, 671-688

Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 105–121.

- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76, (4) 548–554.
- Gilbert, J., (2006). On the nature of “context” in chemical education. *International journal of science education*, 28, 957–976.
- Gilbert, J. K., Bulte, A. M. W., Pilot, A. (2011). RESEARCH REPORT Concept Development and Transfer in Context-Based Science Education. *International Journal of Science Education* 33 (6) 817–837
- Halperin M., L. & Jungas R., L. (1983) Metabolic production and renal disposal of hydrogen ions. *Kidney International*, 24, 709–713
- Heinrich, E., Milne, J., & Moore, M. (2009). An Investigation into E-Tool Use for Formative Assignment Assessment – Status and Recommendations. *Educational Technology & Society*, 12 (4), 176–192.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2008). Tutki ja kirjoita. Helsinki: Tammi.
- Hodson, D. (1996) Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, 28 (2), 115-135
- Hofstein, A., Kipnis, M. & Abrahams, I. (2013). How to learn in and from the chemistry laboratory. Teoksessa I. Eilks & A. Hofstein (toim.), *Teaching Chemistry - A Studybook* (s. 153-177). Rotterdam: Sense Publishers.
- Hofstein, A., & Mamlok-Naaman, R. (2011). High-school students’ attitudes toward and interest in learning chemistry. *Education Quimica*, 22, 90-102.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom like they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry—logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1, 9 – 15.

Juel, C. (2008). REVIEW Regulation of pH in human skeletal muscle: adaptations to physical activity. *Acta Physiol*, 193, 17–24.

Kakkuri-Knuuttila, M.-L. (toim.) 2007. Argumentti ja kritiikki. Lukemisen, keskustelun ja vakuuttamisen taidot. Helsinki: Gaudeamus.

Koeppen, B., M. (1998) Renal regulation of acid-base balance. *Advances in Physiology Education* 20 (1) 132–141

Kouki, E. (2009) *Käsitteitä tarpeen mukaan: kirjallisuustieteelliset käsitteet lukion kirjallisuudenopetuksessa*. Turun yliopiston julkaisuja C293. Turun yliopisto, Turku.

Laamanen, J. (2013) Veren happo-emästasapaino. Kandidaatin tutkielma. Helsingin yliopisto.

Laine, M., Bamberg J., & Jokinen P. (2007). Tapaustutkimuksen käytäntö ja teoria. Teoksessa Laine, M., Bamberg J., & Jokinen P. (toim.) *Tapaustutkimuksen taito*. Gaudeamus Helsinki University Press.

Lavonen, J., Byman, R., Uitto, A., Juuti, K. & Meisalo, V. (2008). Students' interest and experiences in physics and chemistry related themes: Reflections based on a ROSE survey in finland. *Themes in Science and Technology Education*, 1(1), 7-36.

Lavonen, J., Meisalo, V. & al. (2007) Matemaattis-luonnontieteellisten aineiden työtapaopas [verkojulkaisu] Helsingin yliopiston soveltavan kasvatustieteen laitos. Luettu 1.9.2014 internetissä <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/tyotapa/>

LOPS (2003) Lukion opetussuunnitelman perusteet. Vammala: Opetushallitus.

Metsämuuronen J. (Toim.) 2011 *Laadullisen tutkimuksen käsikirja* [verkojulkaisu] International Methelp Oy Luettu 1.10.2014 internetistä <https://www.booky.fi/lainaa/1023>

- Nakhleh M. B. and Krajcik J.S., (1994), Influence of levels of understanding as presented by different technologies on students' understanding of acid, base and pH concepts, *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 1077-1096.
- Nelson, D. L. & Cox, M. M. (2008) *Lehringer – Principles of Biochemistry*, 5.p., W.H. Freeman and Company, NY, S.59-63
- Novak, J. D. (2002). Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education*, 86, 548–571.
- Oh M. S. (2000). New perspectives on acid-base balance. *Seminars in Dialysis*, 13 (4) 212-219.
- Orgill, M. & Sutherland, A. (2008). Undergraduate chemistry students' perceptions of and misconceptions about buffers and buffer problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 29, 131–43.
- Paulev P. E. & Zubietta-Calleja G. R. (2005). Essentials in diagnosis of acid-base disorders and their high altitude application. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 56, 155-170.
- Pernaa, J. (2011). Kehittämistutkimus: Tieto- ja viestintätekniikkaa kemian opetukseen. Doctoral dissertation. Helsinki: University of Helsinki printing house.
- Pernaa, J. (2013) Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. Teoksessa J. Pernaa (toim.), *Kehittämistutkimus opetuslalla*. Jyväskylä: PS-kustannus
- Pizzorno J, Frassetto LA, Katziger J. (2010). Diet induced asidosis: is it real and clinically relevant? *British Journal of Nutrition* 103, 1185-1194.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 67, 489–508.

Pouplin, N., Calvez, J., Lassale, C., Chesneau, C., Tomé, D., (2012). Review. Impact of diet on net endogenous acid production and acid-base balance, *Clinical Nutrition*, 31, 313-321.

Remer, T. (2000). Influence of diet on acid-base balance. Review. *Seminars in Dialysis*, 13, 221–226

Remer, T. (2001). Influence of nutrition on acid-base balance – metabolic aspects. *European Journal of Nutrition*, 40 (5), 214-220.

Roughton, F. J. W. (1935) Recent work on carbon dioxide transport by the blood, *Physiological Reviews*, 15 (2) 241-296

Saario, J. (2012). *Yhteiskuntaopin kieliympäristö ja käsitteet: Toisella kielellä opiskelevan haasteet ja tuen tarpeet*. Jyväskylä studies in humanities 172.

Sahlberg, P. (toim.) (1990). *Luonnontieteiden opetuksen työtapoja*. Valtion painatuskeskus, Kouluhallitus ja FINISTE, Helsinki.

Schmidt, H.-J. (1997). Students' misconceptions – looking for a pattern. *Science Education*, 81, 123–135.

Schwartz, W., B., Bank, N., Cutler R., W., P., (1959) The Influence of urinary ionic strength on phosphate PK2' and the determination of titratable acid, *The Journal of Clinical Investigation*, 38 (2) 347–356.

Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, 7, 32–45.

Silverthorn, D. G., *Human physiology An Intergraded Approach: Pearson New International Editon*, Pearson Education Limited 2014.

Stocklmayer, S. M., Rennie, L. J., Gilbert, J. K. (2010). The roles of the formal and informal sectors in the provision of effective science education. *Studies in Science Education* 46 (1) 1-44

Tortosa M. (2012). The use of microcomputer based laboratories in chemistry secondary education: Present state of the art and ideas for research-based practice. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 161–171

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2002). *Laadullinen tutkimus ja sisällön analyysi*. Helsinki: Tammi.

Tynjälä, P. (2002). *Oppiminen tiedon rakentamisena*. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi

Uusikylä, K. & Atjonen, P. (2000). *Didaktiikan perusteet*. Juva: WS Bookwell Oy.

Vos M., A., J. (2010). Interaction between teachers and teaching materials on the implementation of context-based chemistry education. Doctoral Thesis. Eindhoven University of Technology, The Netherlands.

Vosniadou, S. (Toim.) (2008). *International handbook of conceptual change*.

[verkkojulkaisu] New York, NY: Routledge. Haettu osoitteesta:

<https://www.dawsonera.com>

Voutilainen, T., Mehtäläinen, J. & Niiniluoto, I. 1989. *Tiedonkäsitys*. Helsinki: Kouluhallitus.

Vygotski, L.S. (1982; alkuper. ilmestyi v. 1931). *Ajattelu ja kieli*. Suom. Klaus Helkama ja Anja Koski-Jännes. Helsinki: Weilin & Göös.

Watters D. J. and Watters J. J., (2006), Student understanding of pH: “I don’t know what the log actually is, I only know where the button is on my calculator,” *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34, 278-284.

Özmen H., Demircioğlu G. & Coll R. K., (2009), A comparative study of the effects of a concept mapping enhanced laboratory experience on Turkish high school students’ understanding of acid-base chemistry, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 1-24.

Kuvalähteet

Kuva 3. muokattu lähteestä:

<http://www.chemistry.wustl.edu/~edudev/LabTutorials/Hemoglobin/MetalComplexinBlood.html> Luettu 18.6.2013

Oppikirja-analyysissä analysoidut kirjat

- A Lehtiniemi, K., Turpeenoja, L. (2006). *Mooli 5: Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Otavan kirjapaino Oy.
- B Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., Pihko, P. (2007). *Reaktio 5: reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Gummerus Kirjapaino Oy.
- C Kalkku, I., Kalmi, H., Korvenranta, J. (2006). *Kide 5: Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Otavan kirjapaino Oy
- D Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M., Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Mäkelä, R. (2007). *Kemisti 5: Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Werner Söderström osakeyhtiö.

Liitteet:

LIITE 1: Oppikirja-analyysi

LIITE 2: Pilottitutkimuslomake

LIITE 3: Tutkimuslomake

LIITE 4: Kehittämistuotos 1

LIITE 5: PowerPoint -kalvot

LIITE 6: Kehittämistuotos 2: Opettajan ohje

LIITE 7: Kehittämistuotos 7: Opiskelijan ohje

LIITE 1: Oppikirja-analyysi

Kirja	Teksti	Missä?	Asiayhteys
A	Veri on normaalisti hieman emäksistä, ja sen tarkka pH-arvo on 7,35–7,45. Jos pH-arvo laskee tai nousee hiemankin näistä arvoista, seuraukset voivat olla kohtalokkaita. Asidoosi eli veren pH:n lasku aiheuttaa tajuttomuuden, pahimmillaan jopa hermoston toiminnan lamaantumisen. Alkaloosi eli veren pH:n nousu puolestaan aiheuttaa yliaktiivisuutta ja lihaskouristuksia. Kuinka elimistömme sitten pitää veren pH:n vakiona niin, että esimerkiksi ruoka-aineiden hapot eivät pääse laskemaan sitä vaarallisen alas? (s.63)	Leipäteksti	Veren/kehon nesteiden pH:n merkitys. Happo-emästasapainon häiriöt.
A	Ruoka-aineiden hapot eivät laske veren pH-arvoa merkittävästi, sillä veressä on useita puskurisysteemejä, jotka pitävät pH-arvon vakiona. (s.63)	Kuvateksti	Veren puskurointikyky. Ruoka-aineiden vaikutus kehon happo-emästasapainoon.
A	Asetyyylisalisyylihappoa sisältävien lääkkeiden tuoteselosteissa saattaa esiintyä sana "puskuroitu". Tämä viittaa siihen, että lääkeaineen liuetessa tabletista liukenee vereen myös sellaisia aineita, jotka pitävät veren pH:n lähes vakiona, vaikka itse lääkeaine onkin happo. (s.64)	Kuvateksti	Lääkeaineiden vaikutus kehon happo-emästasapainoon.
A	Puskuriliuoksia käytetään runsaasti biokemiallisessa tutkimuksessa, koska biologista materiaalia käsiteltäessä on tärkeää pitää liuoksen pH lähellä solujen pH:ta. Tällöin muun muassa proteiinien rakenne ja sitä kautta esimerkiksi entsyymien aktiivisuus säilyy muuttumattomana. (s.64)	Leipäteksti	Puskuriliuosten merkitys biokemian tutkimuksessa.
A	Veri puskuriliuoksena. Monet biokemialliset reaktiot ovat äärimmäisen herkkiä ympäristön pH:n muutoksille. Esimerkiksi entsyymit toimivat tehokkaasti vain hyvin kapealla pH-alueella. Ihmisen solunesteissä onkin useita puskuri	Inforuutu	Veren/kehon nesteiden pH:n merkitys.

	systeemejä, joiden tehtävänä on pitää näiden nesteiden pH vakiona. Esimerkiksi veren pH on normaalisti 7,35–7,45. Jos pH poikkeaa näistä raja-arvoista, seurauksena voi olla solukalvojen ja proteiinirakenteiden vakavia vaurioita. Myös eri entsyymit voivat menettää aktiivisuutensa. Veren pH:n laskeminen alle 6,8:n tai laskeminen yli 7,8:n saattaa johtaa kuolemaan. Jos veren pH laskee alle 7,35, puhutaan asidoosista. Jos pH taas nousee yli 7,45, tilaa sanotaan alkaloosiksi. Asidoosi on elimistön häiriötilana yleisempi kuin alkaloosi, sillä monet aineenvaihdunnan, eli metabolian reaktiotuotteet ovat happamia. Ihmisen verellä on suuri puskurointikyky. Jos litraan verta lisätään 0,01 moolia suolahappoa, laskee veren pH arvosta 7,4 arvoon 7,2, eli vain 0,2 pH yksikköä. Jos sama ainemäärä suolahappoa lisätään fysiologiseen suolaliuokseen, pH alenee arvosta 7,0 arvoon 2,0. Suurin osa veren puskurointikyvystä perustuu hemoglobiiniproteiinin toimimiseen puskurina. Sekä hemoglobiini (HHb) että oksihemoglobiini (HHbO₂) ovat heikkoja happoja, jotka protolysoituvat vesiliuoksessa, jolloin liuokseen muodostuu kummankin vastinemäs eli Hb- ja HbO₂-. Proteiinimolekyylien ja yksittäisten aminohappojen kyky toimia puskureina selittyy aminohappojen kemiallisella rakenteella. Kun pitkä polypeptidiketju muodostuu peptidisidoksilla, jokaiseen proteiinimolekyyliin jää aina vapaa karboksyyliiryhmä -COOH ja aminoryhmä NH₂. Lisäksi joissakin aminohapoissa on vielä sivuketjussa toinen näistä funktionaalisista ryhmistä. Vesiliuoksessa nämä ryhmät protolysoituvat eli karboksyyliiryhmä esiintyy negatiivisena ionina -COO⁻ ja aminoryhmä positiivisena ionina -NH₃⁺. Kun proteiineja sisältävään liuokseen tulee lisää oksoniumioneja (happolisäys), -COO⁻ pystyvät eliminoimaan ylimäärän protoneja. Vastaavasti hydroksidi-ionit (emäslisäys) eliminoituvat kun -NH₃⁺ ryhmästä irtoaa protoni ja muodostuu vettä. Tärkein veren epäorgaanisista puskurisysteemeistä on hiilihappo-vetykarbonaatti puskuri H₂CO₃/HCO₃⁻. Vetykarbonaatti on hiilihappoa vastaava emäs, joka voi vastaanottaa protonin. Hiilihappo puolestaan voi veressä hajota hiilidioksidiksi ja vedeksi. Veressä näiden kahden reaktion välillä vallitsee seuraava tasapainotila: $H^+(aq) + HCO_3^-(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons H_2O(l) + CO_2(g)$	Happo-emästasapainon häiriöt. Esiteltä yksi tai useampi puskuri ja sen/niiden toimintaperiaate.
--	---	---

	Jos vereen muodostuu esimerkiksi maitohappoa, vetykarbonaatti-ionit neutraloivat sen. Hiilihappo voi puolestaan neutraloida vereen joutuvia emäksisiä aineita. Mikäli hiilihappoa ei ole riittävästi tähän tarkoitukseen, elimistö voi tuottaa sitä vereen vähentämällä hiilidioksidin eritystä keuhkoista. Koska veren tulee olla hieman emäksinen, on veren kierrossa noin kymmenenkertainen määrä vetykarbonaattia verrattuna hiilihappoon. Normaalisti vetykarbonaatti-ionien konsentraatio veressä onkin 0,025 mol/l ja hiilihapon konsentraatio vastaavasti 0,0025 mol/l. Suurempi vetykarbonaattikonsentraatio kuvastaa sitä tosiseikkaa, että elimistöömmme joutuu happamia aineita useammin kuin emäksisiä aineita, eli elimistömme puskurit joutuvat vastustamaan veren pH:n laskua useammin kuin pH:n nousua. Veren toinen epäorgaaninen puskurisysteemi, niin sanottu fosfaattipuskuri muodostuu divetyfosfaatti-ionista H_2PO_4^-, joka toimii heikkona haponä, ja sen vastinemäksestä eli vetyfosfaatti-ionista HPO_4^-. Jotta veren pH pysyy arvossa 7,4, tämän puskuriparin vaikutuksesta, tulee elimistössä olla noin 1,6 kertaa enemmän emäksistä vetyfosfaattia verrattuna divetyfosfaattiin. (s.78)		
A	Korkealla vuoristossa, jossa ilman happipitoisuus on hyvin pieni, ihmisen täytyy hengittää tiheämmin kuin normaalisti. Tilaa sanotaan hyperventilaatioksi. Seurauksena veren pH voi nousta arvoon jopa 7,7 tai 7,8, eli seurauksena voi olla alkaloosi. Alkaloosin syntyminen korkealla vuoristossa voidaan estää hengittämällä lisähappoa esimerkiksi happisäiliöstä. (s.78)	Kuvateksti	Hengityksen vaikutus veren happo-emästasapainoon.
B	Veren pH:n säätely Jos veren pH nousee tai laskee liikaa, elintoimintomme pysähtyvät. Tämä johtuu siitä, että elämälle välttämättömien entsyymien toiminta on usein mahdollista vain hyvin kapealla pH-alueella. Niinpä veri ja muut kudokset onkin tehokkaasti puskuroitu pH-muutoksia vastaan. Veren pH vaihtelee välillä 7.35-7.45. Jos pH laskee 7,35 alapuolelle, puhutaan asidoosista. Asidoosissa veressä on joko liikaa hiilidioksidia tai muita happoja, kuten maitohappoa. Osa etanolin aiheuttaman krapulan oireista selittyy asidoosilla. Vereen kertyy maitohappoa ja muita happoja, jotka tekevät verestä liian hapanta. Veressä pH:n muutoksia vartioi pääasiassa vetykarbonaatti-ionin ja hiilihapon muodostama puskuri.	Inforuutu	Veren/kehon nesteiden pH:n merkitys. Veren puskurointikyky.

	$H_3O^+(aq) + HCO_3^-(aq) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) + H_2O(l)$ $H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons H_2O(l) + CO_2(g)$ Hiilihapon pK_a on noin 6,4. Veren pH on kuitenkin huomattavasti korkeampi, 7,4. Henderson-Hasselbalch-yhtälön avulla voidaan arvioida, että HCO_3^-:n ja H_2CO_3:n suhteen täytyy olla noin 10:1. $pH = pK_a + \lg \frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$ $\lg \frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = pH - pK_a$ $\frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = 10^{pH-pK_a} = 10^{7,4-6,4} = 10^{1,0} = 10$ Tässä esitetty lasku on vain viitteellinen, koska siinä ei ole otettu huomioon fysiologista lämpötilaa (36,5°C). Tässä lämpötilassa hiilihapon pK_a on noin 6,1. $[HCO_3^-]/[H_2CO_3]$-suhde on ruumiin lämmössä laskettuna peräti 20:1. Veren puskuri-systeemi sisältää siis runsaasti vastinemästä, vetykarbonaatti-iona, ja vain vähän happoa. Verellä on siis hyvä kyky neutraloida ylimääräistä happoa, mutta vain rajallinen kyky neutraloida ylimäärästä emästä. Syynä tähän epätasapainoon on soluhengityksen fysiologia. Hapettomissa oloissa, kuten anaerobisen räsituksen aikana, vereen kertyy helposti ylimäärin soluhengityksen tuotteita, maitohappoa ja hiilidioksidia (Reaktio 3 –kirjan sivu 56). Niinpä veren täytyy olla happoja vastaan hyvin puskuroitua. Voimakas räsitus laskee kudosten pH:ta ja nostaa lämpötilaa. Veren hemoglobiini luovuttaa happea helpommin alhaisessa pH:ssa: $HbO_2 + H_3O^+ \rightleftharpoons HbH^+ + H_2O + O_2$	Happo-emästasapainon häiriöt. Esitelty yksi tai useampi puskuri ja sen/niiden toimintaperiaate.
--	---	---

	Kun rasitus vie lihakset ”hapoille”, lihassoluihin luovutetaan ensiavuksi normaalia enemmän happea. Veren pH:n lasku ohjaa myös aivoja kiihdyttämään hengitykstä. Huohottaminen poistaa verestä hiilidioksidia ja tuo tilalle happea, jolla lihaksiin kertynyt maitohappo voidaan hapettaa edelleen. (s.106)		
B	Ohuessa vuoristoilmassa kiipeilijän verestä poistuu hengityksen mukana niin paljon hiilidioksidia, että veren pH nousee vaarallisesti. (s.106)	Kuvateksti	Hengityksen vaikutus veren happo-emästasapainoon.
B	Lihassolun pH on tavallisesti 7,1–7,2 ja sen puskurointikyvystä huolehtivat etupäässä divetyfosfaatti- ja vetyfosfaatti-ionit H_2PO_4^- (aq) ja HPO_4^{2-} (aq). a) Kirjoita reaktioyhtälö, jonka mukaisesti lihassolun fosfaattipuskuri vastustaa pH:n muutosta, kun lihassoluun syntyy energia-aineenvaihdunnan tuotteena maitohappoa (H_3O^+-ioneja) b) Osoita, että puskuri on tehokkain pH:ssa 7,2 c) Mikä on HPO_4^{2-}- ja H_2PO_4^--ionien konsentraation suhde, jos lihassolun pH=7,15? (s.119)	Tehtävä	Kehon (muiden) nesteiden /kudosten puskuriominaisuus. Esitelly yksi tai useampi puskuri ja sen/niiden toimintaperiaate. Veren happo-emästasapainoon liittyvä laskutehtävä.
C	Esimerkki 3 Verinäytteen oksoniumionikonsentraatio on $4,5 \times 10^{-8}$ mol/l. Laske tämän näytteen hydroksidi konsentraatio ja vertaa sitä oksoniumionikonsentraatioon. <i>Ratkaisu:</i>	Esimerkki tehtävä	Veren happo-emästasapainoon liittyvä laskutehtävä.

	Lasketaan veden ionitulon avulla näytteen hydroksidi-ioni konsentraatio. Tämänäyttypisissä tehtävissä liuoksen lämpötilaksi oletetaan 25°C, ellei toisin ole ilmoitettu. Hydroksidi-ionikonsentraatio $[\text{OH}^-] = K_w : [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \times 10^{-14} (\text{mol/l})^2 : (4,5 \times 10^{-8} \text{ mol/l}) = 2,2 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$. <i>Vastaus:</i> Verinäytteen hydroksidi-ionikonsentraatio on $2,2 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$. Koska verinäytteen hydroksidi-ionikonsentraatio on hieman suurempi kuin sen oksoniumionikonsentraatio, veri on lievästi emäksistä. (s.31)		
C	Esimerkki 5 b) Veren oksoniumionikonsentraatio on keskimäärin $4,4 \times 10^{-8} \text{ mol/l}$. Laske veren pH. <i>Ratkaisu:</i> b) $\text{pH} = -\lg(4,4 \times 10^{-8}) = 7,35$ <i>Vastaus:</i> b) Veren pH on keskimäärin 7,35. (s.33)	Esimerkki tehtävä	Veren happo-emästasapainoon liittyvä laskutehtävä.
C	50A Kyyneleet, kuten niin monet muutkin biologiset nesteet, ovat ominaisuuksiltaan puskuriliuoksia. Puskuriominaisuudesta johtuu, että näiden nesteiden pH ei pääse muuttumaan vaarallisesti vaan pysyy kullekin nesteelle ominaisissa turvallisissa rajoissa. (s.50)	Kuvateksti	Kehon (muiden) nesteiden/ kudosten puskuriominaisuus.
C	Elollinen luonto ei siedä suuria pH:n muutoksia. Esimerkiksi proteiinit ovat tässä suhteessa erittäin herkkiä. Siksi jo melko vähäisetkin pH:n vaihtelut voivat aiheuttaa pysyviä muutoksia niiden rakenteissa. Samanlaisia ovat entsyymit, koska ne ovat rakenteeltaan proteiineja tai niiden johdannaisia. Entsyymit eivät siedä happamuuden vaihtelua myöskään sen vuoksi, että kukin entsyymi toimii tehokkaasti vain sille ominaisella kapealla pH-alueella. Muun muassa näistä syistä esimerkiksi solunesteiden pH pitää olla melko stabiili. Tämä on mahdollista sen vuoksi, että solunesteet sisältävät aineita, jotka pystyvät estämään happamuuden tai emäksisyyden haitalliset muutokset. Solunesteet ovat ominaisuuksiltaan puskuriliuosten	Leipäteksti	Veren/kehon nesteiden pH:n merkitys Kehon (muiden) nesteiden/ kudosten puskuriominaisuus.

	kaltaisia. Puskuriliuokseksi sanotaan liuosta, jonka pH ei sanottavasti muutu happoa tai emästä lisättäessä tai liuosta laimennettaessa. (s.54)		
C	Fosfaattipuskureilla on tärkeä merkitys elimistön nesteiden puskuroinnissa, niin myös veriplasman. Mikä on H_2PO_4^- -konsentraation suhde HPO_4^{2-} -konsentraatioon kun veriplasman pH = 7,4? Divetyfosfaatti-ionin happovakio $K_a = 6,3 \times 10^{-8}$ mol/l. (s.64)	Tehtävä	Veren happo-emästasapainoon liittyvä laskutehtävä. Esitelty yksi tai useampi puskuri ja sen/niiden toimintaperiaate. Veren puskurointikyky
D	Veren happea kuljettava väriaine hemoglobiini (HHb) koostuu proteiini- ja neljästä hemiksi kutsutusta rauta(III)kompleksiyhdisteestä (kuvassa), joista kukin pystyy sitomaan yhden happimolekyylin $\text{HHb}(aq) + 4\text{O}_2(g) \rightleftharpoons \text{HHb}(\text{O}_2)_4(aq).$ Hapen sitoutuessa tumman sinipunainen hemoglobiini muuttuu helakan punaiseksi oksihemoglobiiniksi. Sekä hemoglobiini, että oksihemoglobiini ovat heikkoja happoja ja osallistuvat veren puskurointiin. $\text{HHb}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{Hb}^-(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq); pK_a = 8,18$ $\text{HHb}(\text{O}_2)_4(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{Hb}(\text{O}_2)^-(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq); pK_a = 6,62$ (s.65)	Kuvateksti	Veren puskurointikyky. Esitelty yksi tai useampi puskuri ja sen/niiden toimintaperiaate.
D	Salisyyl- ja etikkahapon esterit tunnetaan särkylääkkeinä. Esterin hydroloituessa elimistössä muodostuu happoja, jotka ärsyttävät vatsaa ja saattavat aiheuttaa närästystä. Puskuroitu lääke ei aiheuta samanlaisia oireita. Siihen on lisätty magnesiumoksidia ja alumiiniaminoasetaattia, jotka kumoavat muodostuvien	Kuvateksti	Lääkkeiden vaikutus elimistön happo-emästasapainoon.

	happojen vaikutuksen. Kuvassa ylempänä (sininen) on puskuroitu ja alempana (vaaleanpunainen) puskuroimaton särkylääke punakaalin vesiliuoksessa. (s.66)		
D	74. Vereen liuennut hiilidioksidi saa aikaan seuraavan tasapainoreaktion: $H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + HCO_3^-(aq)$ Laske hiilihappo- ja vetykarbonaatti-ionien konsentraatioiden suhde, kun veren pH=7,40. (s.68)	Tehtävä	Veren happo-emästasapainoon liittyvä laskutehtävä. Esitelty yksi tai useampi puskuri ja sen/niiden toimintaperiaate.
D	Elimistön hiilihappotasapaino Glukoosin ja muiden ravintoaineiden palaessa muodostuu aineenvaihduntatuotteina muun muassa hiilidioksidia ja vettä. Hiilidioksidi liukenee kudoks- ja solunesteiden sisältämään veteen hiilihapoksi $CO_2 + H_2O(l)(g) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq)$ Hiilihappo hajoaa helposti takaisin hiilidioksidiksi ja vedeksi. Se voi myös protolysoitua vetykarbonaatti- ja oksoniumioneiksi, jotka muuttavat kudoks- ja solunesteen hieman happamaksi. Aineenvaihdunnassa muodostuu myös aseotikkahappoa ja 3-hydroksibutaanihappoa, jotka osaltaan lisäävät veren happamuutta. Elimistön entsyymit toimivat pH alueella 7-8, ja valtimoveren pH on yleensä 7,35–7,45. Jos veren pH muuttuu pienemmäksi kuin 7,0 tai yli 8,0 on seurauksena hengenvaarallinen tila. Veren puskurikyky happamuuden muutoksia vastaan perustuu pääasiassa hemoglobiinin ja muihin veren proteiineihin sekä vereen liuenneiden vetykarbonaatti-ionien ja hiilihapon tasapainoreaktioon. Jälkimmäinen reaktio toimii nopeimpana puskurijärjestelmänä, sillä hiilidioksidia voidaan poistaa verestä nopeasti voimakkaalla uloshengityksellä.	Inforuutu	Veren/kehon nesteiden pH:n merkitys Happo-emästasapainon häiriöt. Hengityksen vaikutus veren happo-emästasapainoon. Esitelty yksi tai useampi puskuri ja sen/niiden toimintaperiaate.

	Jos hiilidioksidin poistuminen keuhkojen kautta on vaikeutunut esimerkiksi hengityselinten sairauden, munuaistaudin tai sokeritaudin vuoksi, veren pH saattaa ajoittain laskea vaarallisen alhaiseksi. Elimistöön muodostuu tällöin asidoositila, jossa veri on liian hapanta. Jo pelkästään hengitystä pidättämällä veren pH voidaan saada laskemaan arvoon 7,3. Hyperventilaatio eli liika hengitys on hengityshäiriö, jossa ihminen hengittää liian voimakkaasti hapen tarpeeseen nähden. Hyperventilaatio aiheuttaa sen, että hiilidioksidia poistuu verestä nopeammin kuin aineenvaihdunta sitä tuottaa. Seurauksena on alkaloosi, jossa veri on liian emäksinen. Alkaloosi voi seurata myös liian pitkään jatkuneesta oksentelusta. Lievä alkaloositila hoituu itsestään. Vaikeammissa tapauksissa potilaalle annetaan ravintosuolaliuosta. Elimistön happo-emästasapaino voi häiriintyä myös seuraavissa tilanteissa: – maksan, ruoansulatuskanavan tai munuaisten toiminnanhäiriössä – munuaisten vajaatoiminnassa, jolloin happamat aineenvaihduntatuotteet eivät poistu elimistöstä – happamien lääkkeiden, esimerkiksi pikkulapsilla aspiriinin, käytössä – voimakkaassa lihastyössä, jolloin käymisen tuloksena aerobisissa oloissa muodostuu maitohappoa – hoitamattomassa sokeritaudissa tai nälkätilassa, jolloin rasva-aineenvaihdunta on häiriintynyt ja maksassa muodostuu happamia reaktiotuotteita (ketoosi). Nälkätila tai nopea hallitsematon laihduttaminen voivat johtaa elimistön ketoositilaan. Tällöin hiilihydraattiaineenvaihdunta häiriintyy, ja siitä seuraa rasva-aineenvaihdunnan häiriö, jolloin maksassa muodostuu mm. aseotikkahappoa ja 3-hydroksidibutaanihappoa. Aseotikkahappo hajoaa asetoniksi, joka poistuu elimistöstä virtsan ja hengityksen mukana. Asetonin hajun tunnistaa ketoositilaan joutuneen ihmisen hengityksestä. (s.85)		
D	Hyperventilaatiosta johtuva veren hiilidioksidin puute saadaan nopeasti korvatuksi hengittämällä paperipussiin. Pussiin hengitetty ilma sisältää enemmän hiilidioksidia ja vähemmän happea kuin ulkoilma. (s.85)	Kuvateksti	Hengityksen vaikutus veren

			happo-emästasapainoon.
D	Elimistön happo-emästasapainon säätely Voimakkain hengitystä säätelevä tekijä on veren hiilidioksidipitoisuus. Kun veren hiilidioksidipitoisuus nousee, seurauksena on hengityksen voimistuminen. Jos ilman hiilidioksidipitoisuus nousee normaalista pitoisuudesta 0,03 % arvoon 1-2 %, hengityksen on lisäännyttävä kolmanneksella. Esimerkiksi häämyrkytyspotilaille annetaan hengitysrefleksiä stimuloivaa ilmaseosta joka, sisältää 95 % happea ja 5 % hiilidioksidia. Muita hengitystä sääteleviä tekijöitä ovat mm. hapen puute, elimistön reaktioita nopeuttava lämpötilan nousu ja tahdonalainen säätely. Jos elimistön pH laskee happamien aineenvaihduntatuotteiden takia liikaa, tilanne saadaan korjautumaan tehostamalla hengitystä niin, että hiilidioksidia poistuu mahdollisimman paljon. Tällöin ihminen hengittää syvään ja raskaasti pitääkseen veren pH:n oikeana. Elimistössä vallitsee luustoon sitoutuneiden ja veressä olevien kalsiumionien ja kalsiumyhdisteiden välillä tasapainotila, jossa luukudosta muodostuu ja liukenee jatkuvasti. Jos veren kalsiumpitoisuus laskee, solujen Na⁺-ionien läpäisevyys kasvaa ja muodostuu ns. tetaniatila. Hermostossa syntyy tällöin impulsseja, jotka johtavat lihaskouristeluun. Pelkkä syvään henittäminenkin voi aiheuttaa tetaniatilan, sillä syntyvässä alkaloosissa tavallista suurempi osa vereen liuenneista kalsiumioneista sitoutuu valkuaisaineisiin. (s.86)	Inforuutu	Kattava kirjoitus veren puskurointi-ominaisuuksista. Hengityksen vaikutus veren happo-emästasapainoon. Happo-emästasapainon häiriöt. Ruoka-aineiden vaikutus kehon happo-emästasapainoon.
D	Ihminen voi pidättää hengitystään kauemmin, jos hän ennen pidätystä hengittää muutamia kertoja hyvin voimakkaasti. Hyperventilaation seurauksena elimistössä on hieman normaalia vähemmän hiilidioksidia ja veren pH on hieman kohonnut. Hengityksen pidättämisen aikana veren pH muuttuu ensin normaaliin arvoon ja alkaa vasta sitten laskea happamammaksi. Palautuminen siihen tilaan, joka laukaisee lisääntyvän keuhkotuuletuksen tarpeen, kestää kuitenkin kauemmin eikä ihminen tunne pakottavaa tarvetta vetää ilmaa keuhkoihin aivan heti. Sukeltajalle voi olla vaarallista, jos ”hälytys” tulee liian myöhään, jolloin elimistö kärsii hapen puutteesta. (s.86)	Kuvateksti	Hengityksen vaikutus veren happo-emästasapainoon.

LIITE 2: Pilottitutkimuslomake

TUTKIMUSLOMAKE Pro Gradu – tutkielmaan: ”Kehittämistutkimus: Puskuriliuos - käsitteen oppiminen kokeellisuuden kautta.”

Vastaukset käsitellään nimettöminä ja luottamuksellisesti.

II. Vastaajan taustatiedot

- 1) Olen: mies ☐ nainen ☐
 - 2) Lukiossa suorittamieni kemian kurssien
 - a) lukumäärä on _____
 - b) arvosanojen keskiarvo on _____
-

III. Happo-emäs-kemian käsitteitä

- 1) Sinulla on 100 ml yksi molaarista natriumhydroksidiliuosta (1 M NaOH) lisää sinne 100 ml yksi molaarista etikkahappoa (1M CH₃COOH).
 - a) Mitä ioneja liuoksesi sisältää lisäyksen jälkeen? Perustele vastauksesi.

 - b) Onko liuos lisäyksen jälkeen hapan, neutraali vai emäksinen? Perustele vastauksesi.

- 2) Sinulla on kaksi liuosta, joiden pH-arvot ovat 8 ja 10. Mitä eroa liuosten hydroksidi-ioni (OH⁻) konsentraatioilla on?

IV. Puskuriliuoksen käsitteitä

1. Miksi puskurit ovat tärkeitä biologisissa systeemeissä?
2. Mitkä piirteet erottavat puskuriliuoksen ei-puskuroidusta liuksesta?
3. Haluat lisätä liuoksen puskurikapasiteettia, mitä teet?
4. Haluat tehdä happaman puskuriliuoksen, mutta ystäväsi Johannes sanoo, että et voi luoda hapanta puskuriliuosta, koska puskurien tehtävä on ylläpitää neutraalia pH:ta. Kumpi on oikeassa? Perustele vastauksesi.

5. Lisää vahvaa happoa puskuriliuokseen, mitä liuoksessa tapahtuu?

Kiitos vastauksistasi!

LIITE 3: Tutkimuslomake

TUTKIMUSLOMAKE Pro Gradu – tutkielmaan: ”Kehittämistutkimus: Puskuriliuos - käsitteen oppiminen kokeellisuuden kautta.”

Vastaukset käsitellään nimettöminä ja luottamuksellisesti.

V. Vastaajan taustatiedot

- 1) Olen: mies ☐ nainen ☐
 - 2) Lukiossa suorittamieni kemian kurssien
 - a) lukumäärä on _____
 - b) arvosanojen keskiarvo on _____
-

VI. Happo-emäs-kemian käsitteitä

- 1) Sinulla on 100 ml yksi molaarista vahvaa emästä (1 M NaOH) ja lisäät sinne 100 ml yksi molaarista heikkoa happoa (1M CH₃COOH).
 - c) Mitä ioneja ja molekyylejä liuoksesi sisältää lisäyksen jälkeen? Perustele vastauksesi sanallisesti ja/tai reaktioyhtälöillä.

 - d) Onko liuos lisäyksen jälkeen hapan, neutraali vai emäksinen? Perustele vastauksesi.

- 2) Sinulla on kaksi liuosta, joiden pH-arvot ovat 8 ja 10. Vertaile liuosten hydroksidi-ionikonsentraatioiden suuruutta toisiinsa.

VII. Puskuriliuoksen käsitteitä

1. Miksi puskurit ovat tärkeitä biologisissa systeemeissä?
2. Mitkä piirteet erottavat puskuriliuoksen ei-puskuroidusta liuoksesta?
3. Haluat lisätä liuoksen puskurikapasiteettia, mitä teet?
4. Haluat tehdä happaman puskuriliuoksen, mutta ystäväsi Johannes sanoo, että et voi luoda hapanta puskuriliuosta, koska puskurien tehtävä on ylläpitää neutraalia pH:ta. Kumpi on oikeassa? Perustele vastauksesi.

5. Lisäät vahvaa happoa puskuriliuokseen, mitä liuoksen molekyyleille ja ioneille tapahtuu?

Kiitos vastauksistasi!

LIITE 4: Kehittämistuotos 1, Opiskelijan ohje

VEREN pH

Alkuvalmistelut

Nimeä keitinlasi (400 ml): parin nimi + jäteastia

Ota pH anturi pois säilytysastiasta

Huuhtelee kärki tislattulla vedellä (vesi jäteastiaan) ja kasta kärki tislattuun veteen.

Kuivaa ylimääräinen vesi käsipaperilla.

Tee nämä toimet **aina** kun siirrät pH anturin liuoksesta toiseen!

TYÖ 1 – Fosfaattipuskurin valmistus

Välineet

- 400 ml keitinlasi + (400ml keitinlasi ”jäteastia”)
- 100 ml mittalasi
- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatiolaitteisto
 - Magneettisekoittaja (lontoonrae) ja magneettisekoitin.
 - Statiivi ja koura.
 - pH-anturi, tietokone, mittausyksikkö ja LoggerPro-ohjelma

Aineet

- 0,1 M NaH_2PO_4 -liuos
- 0,1 M Na_2HPO_4 -liuos

Työohje 1

Kirjoita keitinlasiin (400 ml): parin nimi + fosfaattipuskuri.

Mittaa (mittalasilla) keitinlasiin 100 ml 0,1 M NaH_2PO_4 – liuosta ja lisää sinne magneettisekoittaja ja pH-anturi.

Huom! Tarkista, että pH-anturi on nestepinnan alapuolella, eikä magneetti osu pH-anturiin!

Laita sekoitus päälle.

Lisää 0,1 M Na_2HPO_4 -liuosta kunnes pH on 7,40. (Liuosta kuluu noin 250 ml)

KYSYMYKSET

Mitä ioneja ja molekyyliä liuoksesi nyt sisältää?

Kumpi fosfaatti-ioneista toimii happona H_2PO_4^- vai HPO_4^{2-} ? (Voi luovuttaa vetyionin?)

Kirjoita reaktioyhtälö hapon ja veden välisestä tasapainoyhtälöstä.

Kumpi fosfaatti-ioneista toimii emäksenä H_2PO_4^- vai HPO_4^{2-} ? (Voi vastaanottaa vetyionin)

Kirjoita reaktioyhtälö emäksen ja veden välisestä tasapainoyhtälöstä.

TYÖ 2 – Tislattun veden titraaminen

Välineet

- Byretti + suppilo +statiivi ja koura
- 250 ml keitinlasi
- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatiolaitteisto

Aineet

- Tislattua vettä
- 0,1 M HCl-liuos/0,1 M NaOH-liuos

Työohje 2

Esivalmistelut

Osa pareista tekee titrauksen vahvalla hapolla (HCl) ja osa vahvalla emäksellä (NaOH).

Valmistelee titrauslaitteisto:

- Huuhtelee byretti 0,1 M HCl/NaOH liuoksella.
- Täytä byretti noin puolilleen ja poista ilmakupat avaamalla hanaa ja laskemalla liuoksen jäteastian.
- Täytä byretti HCl/NaOH liuoksella merkkiviivaan asti.
 - Tässä voit harjoitella noin 2 tippaa/sekunti vauhtia

Nimeä keitinlasi (250 ml): parin nimi + H₂O + HCl/NaOH

Lisää keitinlasiin 50 ml tislattua vettä (keitinlasin tarkkuudella), magneettisekoittaja ja pH-anturi.

Muokkaa mittausautomaatio-ohjelmiston asetuksia:

- ”Experiment” → ”Data collection”

- Timebased
- Duration 600 seconds
- 1 sample/seconds

Tallenna tiedosto

- ”File” → ”Save as” → Parin nimi+tislattuvesi+0,1MHCl/NaOH25ml

Aloita titraus painamalla

- ”Collect”.

Tiputa happoa/emästä noin 2 tippaa/sekunti. Tärkeintä on, että tipat tulevat tasaisesti!

Seuraa kuvaajaa. *Huom! Muista seurata byrettiä, ettet titraa yli 50 ml.*

Paina lopuksi ”Save”.

KYSYMYKSET

Miksi tislattun veden pH ei ole tasan 7?

Miksi pH muuttui alussa jyrkästi ja tasaantui sitten?

TYÖ 3 – Fosfaattipuskurin puskurikapasiteetti

ENNAKKOKYSYMYKSET:

Millaisen kuvaajan uskotte nyt saavanne?

Välineet

- Byretti + suppilo + statiivi ja koura
- 250 ml keitinlasi
- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatiolaitteisto

Aineet

- 0,1 M fosfaattipuskuri
- 0,1 M HCl-liuos/0,1 M NaOH-liuos

TYÖOHJE 3

Täytä byretti 0,1 M HCl/NaOH liuksella merkkiviivaan asti.

Nimeä keitinlasi (250 ml): Parin nimi + fosfaattipuskuri + HCl/NaOH

Mittaa (mittalasilla) 50 ml 0,1 M fosfaattipuskuria keitinlasiin.

Lisää magneettisekoittaja ja puhdistettu pH-anturi.

Aloita titraus painamalla

- ”Collect” → ”Store latest run”

Tiputa happoa/emästä noin 2 tippaa/sekunti.

Kun olet valmis tallenna tuloksesi

- ”File” → ”Save as” → ”Omanimi+fosfaattipuskuri+25mlHCl/NaOH”

KYSYMYKSET

Miksi pH ei muuttunut samalla tavalla kuin se muuttui tislatussa vedessä?

Mitä reaktioita liuksessa tapahtui?

Mieti myös mitä reaktioita olisi tapahtunut jos olisit titrannut hapolla/emäksellä.

TYÖ 4 – Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus ”veren” pH:hon

Välineet

- 250 ml keitinlasi

- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatiolaitteisto

Aineet

- 0,1 M fosfaattipuskuri
- 0,1 M H₂SO₄-liuos
- Ruokasoodaa eli kiinteää NaHCO₃
- 0,85 % Maitohappo-liuos

Nimeä keitinlasi (250 ml): parin nimi+fosfaattipuskuri+aineenvaihduntatuotteet

Lisää keitinlasiin (keitinlasin tarkkuudella) 100 ml valmistamaasi fosfaattipuskuria.

Lisää mittalasiin magneettisekoittaja ja puhdistettu pH-anturi.

Proteiinien aineenvaihduntatuote

Täytä taulukkoon alku pH.

Lisää liuokseen 5 ml 0,1 M H₂SO₄-liuosta.

Täytä taulukko loppuun ja vastaa lisäkysymykseen.

Ruoka-aine	Liha, maito, kananmuna tai muu proteiinia sisältävä ruoka-aine.
Aineenvaihdutatuote, mikä vaikuttaa pH:seen.	Lopputuotteena rikkihappoa H ₂ SO ₄
Alku pH	
Loppu pH	
Reaktio	

Mistä tilasta kärsisit nyt?

Kasvisten aineenvaihduntatuote

Täytä taulukkoon alku pH.

Lisää liuokseen teelusikallinen ruokasoodaa eli kiinteää NaHCO_3 .

Täytä taulukko loppuun.

Ruoka-aine	Kasvikset
Aineenvaihdutatuote, mikä vaikuttaa pH:seen.	Lopputuotteena bikarbonaattia NaHCO_3
Alku pH	
Loppu pH	
Reaktiot (Kirjoita ensin bikarbonaatin reaktio veden kanssa)	

Mistä tilasta kärsisit nyt?

Jos liuos kupli, mitä kaasua syntyi ja miksi?

Urheilusuoritus

Täytä taulukkoon alku pH.

Lisää liuokseen 5 ml 0,85% maitohappo-liuosta.

Täytä taulukko loppuun ja vastaa lisäkysymyksiin.

Urheilusuoritus	Lihaksesi eivät saa tarpeeksi happea
Aineenvaihdutatuote, mikä vaikuttaa pH:seen.	Maitohappo, $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$

Alku pH	
Loppu pH	
Reaktio	

Miksi liuos kupli?

Mitä kaasua syntyi?

Miksi?

LIITE 5: PowerPoint -esitys

Veren pH

KEMIANLUOKKA GADOLIN



Veren pH

- ▶ Kehossamme kiertävän veren pH on tarkasti säädelty.
 - ▶ Keho pyrkii pitämään veren pH:n 7,35-7,45 välillä.
 - ▶ pH:n säätely on tärkeää, sillä jos veren pH, eli protonikonsentraatio muuttuu, vaikuttaa se nopeasti myös solujen pH:hon ja siten solussamme toimivien **entsyymien rakenteeseen**.
 - ▶ Pahimmassa tapauksessa solumme reaktiot hidastuvat ja seuraa kuolema.
- ▶ Aineenvaihdunnan seurauksena vereen erittyy happoja ja emäksiä, jotka vaikuttavat veren pH:seen.
 - ▶ **Miten veren pH pysyy tasaisena?**



Veren pH

- ▶ Veren pH:ta säätelevät keuhkot ja munuaiset poistamalla aineenvaihdunnan seurauksena syntyneitä happoja (ja emäksiä)
- ▶ Ennen kuin aineenvaihduntatuotteet pääsevät elimiin, tulee aineenvaihduntatuotteet **puskuroida**.



Veren pH

- ▶ Veressä toimii 4 erilaista puskuria
 - ▶ Bikarbonaattipuskuri
 - ▶ Fosfaattipuskuri
 - ▶ Hemoglobiini
 - ▶ Plasmaproteiinit
- ▶ Tänään simuloimme veren toimintaa valmistamalla fosfaattipuskurin.
 - ▶ Samanlaista puskuria käytetään myös esimerkiksi sairaalalaboratorioissa kun halutaan tulkita verinäytteitä.



TYÖ 1 – Fosfaattipuskurin valmistus

Alkuvalmistelut

- ▶ Nimeä 400 ml keittinlasi: porin nimi + jättestia
- ▶ Ota pH anturi pois säilytysastlasta
- ▶ Huuhtelee kärkeä tiilatulilla vedellä (vesi jättestiaan) ja kasta kärkeä tiilattuun veteen.
- ▶ Kuivaa ylimääräinen vesi käsipaperilla.
 - ▶ Tee nämä toimet aina kun sinät pH anturin luoksesta toiseen!



TYÖ 1 – Fosfaattipuskurin valmistus

Välineet

- ▶ 600 ml keittinlasi + (400ml keittinlasi "jättestia")
- ▶ 100 ml mittalasi
- ▶ Permanenttifilusi ja käsipaperia
- ▶ Mittauslaitteisto
 - ▶ Magneettisekoittaja (lontoonrae) ja magneettisekoitin.
 - ▶ Stativi ja koura.
 - ▶ pH-anturi, tietokone, mittausyksikkö ja LoggerPro-ohjelma

Aineet

- ▶ 0,1 M NaH_2PO_4 -liuos
- ▶ 0,1 M Na_2HPO_4 -liuos



TYÖ 1 – Fosfaattipuskurin valmistus

- Nimeä keltinasi (400ml): Parin nimi + fosfaattipuskuri
- Mittaa (mittailasilla) keltinasiin 100 ml 0,1 M NaH_2PO_4 -liuosta ja lisää sinne magneettisekoittaja ja pH-anturi.
 - Huomi! Tarkista, että pH-anturi on nestepinnan alapuolella, eikä magneetti osu pH-anturiin!
- Lisää 0,1 M Na_2HPO_4 -liuosta kunnes pH on 7,40. (Liuosta kuluu noin 250 ml)



TYÖ 1 – Fosfaattipuskurin valmistus

- Mitä ioneja ja molekyyilejä liuoksesi nyt sisältää?
 - Na^+ , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , H_3O^+ , OH^-
 - H_2O



TYÖ 1 – Fosfaattipuskurin valmistus

- Kumpi fosfaatti-ionista toimii happona H_2PO_4^- vai HPO_4^{2-} ? (Voi luovuttaa vetyionin?)
 - H_2PO_4^-
- Kirjoita reaktioyhtälö hapon ja veden välisestä tasapainoyhtälöstä.
 - $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$



TYÖ 1 – Fosfaattipuskurin valmistus

- Kumpi fosfaatti-ionista toimii emäksenä H_2PO_4^- vai HPO_4^{2-} ? (Voi vastaanottaa vetyionin)
 - HPO_4^{2-}
- Kirjoita reaktioyhtälö emäksen ja veden välisestä tasapainoyhtälöstä.
 - $\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{OH}^-$



TYÖ 2 – Tislattun veden titraaminen

- Titraataan tislattua vettä 0,1 M HCl / NaOH -liuoksella.
 - Harjoitellaan mittausautomaation käyttöä, titraamista ja kuvaajan lukemista.



TYÖ 2 – Tislattun veden titraaminen

- Välineet
 - Byretti + supplio + statívi ja koura
 - 250 ml keltinasi
 - Mittauslaitteisto
- Aineet
 - Tislattua vettä
 - 0,1 M HCl -liuos/0,1 M NaOH -liuos



TYÖ 2 – Tislattun veden titraaminen

ESIVALMISTELUT

- ▶ Valmistelee titrauslaitteisto:
 - ▶ Huuhtelee byretti 0,1 M HCl/NaOH -liuoksella.
 - ▶ Täyttää byretti noin puolliseen ja poistaa ilmakupat avaamalla hanaa ja laskemalla liuksen jätteen.
 - ▶ Täyttää byretti HCl/NaOH liuoksella merkkiviivaan asti.
 - ▶ (Tässä voit harjoitella noin 2 tippa/sekunti vauhtia)



TYÖ 2 – Tislattun veden titraaminen

- ▶ Tee työohjeen loput esivalmistelut
- ▶ Aloita titraus painamalla
 - ▶ "Collect".
- ▶ Tiputa happoa/emästä noin 2 tippaa/sekunti.
 - ▶ Tärkeintä on, että tipat tulevat tasaisesti!
 - ▶ Seuraa kuvaajaa. Huom! Muista seurata byrettiä, ettet titraa yli 50 ml.
- ▶ Paina lopuksi "Save".



TYÖ 2 – Tislattun veden titraaminen

- ▶ Miksi tislattun veden pH ei ole tasan 7?
 - ▶ Ilman hiilidioksidia vaikuttaa pH:seen muodostaessaan hiilihappoa.
 - ▶ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$
 - ▶ $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$
- ▶ Miksi pH muuttui alussa jyrkästi ja tasaantui sitten?



pH	H ⁺ -ionikonsentraatio	Potensseina	OH ⁻ -ionikonsentraatio	Potensseina
0	1	10 ⁰	0,000 000 000 01	10 ⁻¹⁴
1	0,1	10 ⁻¹	0,000 000 000 001	10 ⁻¹³
2	0,01	10 ⁻²	0,000 000 000 001	10 ⁻¹²
3	0,001	10 ⁻³	0,000 000 000 01	10 ⁻¹¹
4	0,000 1	10 ⁻⁴	0,000 000 000 1	10 ⁻¹⁰
5	0,000 01	10 ⁻⁵	0,000 000 001	10 ⁻⁹
6	0,000 001	10 ⁻⁶	0,000 000 01	10 ⁻⁸
7	0,000 000 1	10 ⁻⁷	0,000 000 1	10 ⁻⁷
8	0,000 000 01	10 ⁻⁸	0,000 001	10 ⁻⁶
9	0,000 000 001	10 ⁻⁹	0,000 01	10 ⁻⁵
10	0,000 000 000 1	10 ⁻¹⁰	0,000 1	10 ⁻⁴
11	0,000 000 000 01	10 ⁻¹¹	0,001	10 ⁻³
12	0,000 000 000 001	10 ⁻¹²	0,01	10 ⁻²
13	0,000 000 000 000 1	10 ⁻¹³	0,1	10 ⁻¹
14	0,000 000 000 000 01	10 ⁻¹⁴	1	10 ⁰

TYÖ 3 – Fosfaattipuskurin puskurikapasiteetti

- ▶ Titraan valmistamanne 0,1 M fosfaattipuskuri samalla liuoksella, jolla titrasitte veden.
- ▶ Millaisen kuvaajan uskotte nyt saavanne?



TYÖ 3 – Fosfaattipuskurin puskurikapasiteetti

- ▶ **Välineet**
 - ▶ Byretti + supplio + stativi + koura
 - ▶ 250 ml keittinlasi
 - ▶ 100 ml mittalasi
 - ▶ Permanenttitussi ja käsipaperia
 - ▶ Mittauslaitteisto
- ▶ **Aineet**
 - ▶ 0,1 M fosfaattipuskuri
 - ▶ 0,1 M HCl-liuos/0,1 M NaOH-liuos



TYÖ 3 – Fosfaattipuskurin puskurikapasiteetti

ESIVALMISTELUT

- ▶ Täytää byretti 0,1 M HCl/NaOH liuoksella merkkivilvaan asti.
- ▶ Mittaa (mittalasilalla) 50 ml 0,1 M fosfaattipuskuria keitinlasiin.
- ▶ Lisää magneettisekoittaja ja puhdistettu pH-anturi. Laita sekoitus päälle.



TYÖ 3 – Fosfaattipuskurin puskurikapasiteetti

- ▶ Aloita titraus painamalla
 - ▶ "Collect" → "Store latest run"
- ▶ Tiputa happoa/emästä noin 2 tippaa/sekunti.
- ▶ Kun olet valmis tallenna tuloksesi
 - ▶ "File" → "Save as" →
Parinimi+fosfaattipuskuri+25mlHCl/NaOH



TYÖ 3 – Fosfaattipuskurin puskurikapasiteetti

- ▶ Miksi pH ei muuttunut samalla tavalla kuin se muuttui tiilatulussa vedessä?
- ▶ Liuoksessa olevat fosfaattisuolat reagoivat hapon/emäksen kanssa neutraaloiden happoa/emästä.
- ▶ Mitä reaktioita liuoksessa tapahtui?
 - ▶ HCl:
 - ▶ $\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$
 - ▶ NaOH:
 - ▶ $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
- ▶ <http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/buffer12.swf>



Välitiskaus

- ▶ Huuhtelee pH-anturi tiilatulussa vedellä ja kuivaa käsipaperilla.
- ▶ Nimeä 250 ml keitinlasi: parin nimi + fosfaattipuskuri + aineenvaihduntatuotteet
- ▶ Lisää keitinlasiin 100 ml valmistamaasi fosfaattipuskuria
- ▶ Lisää pH-anturi liuokseen.
- ▶ Kaada kaikki käyttämäsi reagenssit isoon jätteenastiaan (älä kaada ylimääräistä **käyttämätöntä** fosfaattipuskuria!)
- ▶ Poista lasitavaroista merkinnät asetonilla.
- ▶ Tiskaa astiat ja jätä ne kuivumaan kuivauskaappiin.



Aineenvaihduntatuotteet

- ▶ Kun ruoka-aineet hajotetaan soluissa, syntyy energiaa ja aineenvaihduntatuotteita.
- ▶ Osa aineenvaihduntatuotteista vaikuttavat solun ja myöhemmin ja veren happo-emästasapainoon.
- ▶ Ruoka-aineen pH ei kerro suoraan siitä, millä tavalla se vaikuttaa on kehon happo- ja emästasapainoon.
 - ▶ Esimerkiksi, sitruunalla on alhainen pH, koska se sisältää paljon sitruunahappoa.
 - ▶ Mutta kun sitruunan sisältämät aineet on metabolisoitu, jäljellä jää **emäksisiä** aineenvaihduntatuotteita, ja näin sitruuna vaikuttaa kehon pH tasapainoon nostamalla sitä.



Aineenvaihduntatuotteet

- ▶ Aineenvaihduntatuotteet voidaan jakaa "haihtuvaan happoon" (hiilihappo → hiilidioksidi)
 - ▶ Erityisesti huolehtivat keuhkot
- ▶ ja haihtumattomiin happoihin sekä emäksiin.
 - ▶ Erityisesti huolehtivat munuaiset
 - ▶ Hapot toimitetaan munuusin puskuroinnin jälkeen, ja ne eritetään kehosta virtsan mukana.
- ▶ Jos kehon puskurikapasiteetti ja erityis toiminnat peittävät voi veren pH laskea tai nousta.



Aineenvaihduntatuotteet

- Jos happojen polttaminen elimistössä häiriintyy, on seurauksena asidoosi tai alkaloosi.
- Ihmiset voivat kärsiä neljästä erilaisesta happo-emästasapainon häiriöstä:
 - Respiratorisesta asidoosista
 - Respiratorisesta alkaloosista
 - Metabolisesta asidoosista
 - Metabolisesta alkaloosista



Aineenvaihduntatuotteet

- Häiriöt voivat olla akuutteja tai kroonisia.
 - Nämä tilat tulevat näkyviin vasta silloin kun kehon puskunkapasiteetti on ylittynyt.

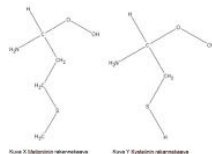
6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9
Asidoosi						Alkaloosi						



Aineenvaihduntatuotteet

Proteiinit

- Rikkiä sisältävät aminohapot ovat aluksi neutraaleja, kunnes ne metabolisuvat ja tuottavat rikkihappoa.



Aineenvaihduntatuotteet

Kasvikset

- Kasvikset sisältävät bikarbonaattia ja orgaanisia anioneja, joita ovat esimerkiksi esim. sitraatti-, malaatti- ja laktatti.
- Orgaanisten anionien hajotuksessa syntyy bikarbonaattia ja hiidioksidia.
- Bikarbonaatti-ioni on emäs.
 - $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$
- Ja on yksi veren puskureista.
 - $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$



Aineenvaihduntatuotteet

Hiliihydraatit

- Hiliihydraattien hapetuksen seurauksena syntyy hiiliidioksidia.
 - $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{CO}_2 + \text{energiaa!}$
- Hiiliidioksidireagoi veden kanssa muodostaen hiliihappoa.
 - $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$
- Suurin osa hiliihaposta reagoi edelleen muodostaen bikarbonaattia ja vetylioneja:
 - $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$
- Bikarbonaatti-ionit liukenevat hiiliidioksidikaasua paremmin plasmaan ja näin hiiliidioksidin kuljetus kapasiteetti kasvaa.



Aineenvaihduntatuotteet

- Jos hiliihydraattien hajotuksen aikana happaa ei ole tarpeeksi saatavilla, esimerkiksi pikajuoksun aikana, tuottavat solut energiaa käymisreaktioiden kautta.
 - Tällöin syntyy maitohappoa.



Työ 4 - Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus

Välineet

- ▶ 250 ml keittinasi
- ▶ Permanenttitiffusi ja käsipaperia
- ▶ Mittauslaitteisto

Aineet

- ▶ 0,1 M fosfaattipuskuri
- ▶ 0,1 M H_2SO_4 -liuos
- ▶ Ruokasoodaa, NaHCO_3
- ▶ 0,85 % Maitohappo-liuos



Työ 4 - Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus

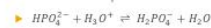
Proteiinit

- ▶ Täytä taulukkoon alkuperäinen pH.
- ▶ Lisää liuokseen 5 ml 0,1 M H_2SO_4 -liuosta.
- ▶ Täytä taulukko loppuun.

- ▶ Mistä tilasta kärsit nyt?

- ▶ Asidoosista

- ▶ Mikä reaktio tapahtui?



Työ 4 - Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus

Kasvikset

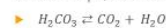
- ▶ Täytä taulukkoon alkuperäinen pH.
- ▶ Lisää liuokseen teelusikallinen ruokasoodaa eli kiinteää NaHCO_3
- ▶ Täytä taulukko loppuun.
- ▶ Mistä tilasta kärsit nyt?
- ▶ Alkaloosista
- ▶ Mikä reaktio tapahtui?
- ▶ $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$
- ▶ $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$



Työ 4 - Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus

Kasvikset

Jos liuos kuplii, mitä kaasua syntyi ja miksi?



Työ 4 - Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus

Urheilusuoritus

- ▶ Täytä taulukkoon alkuperäinen pH.
- ▶ Lisää liuokseen 5 ml 0,85% maitohappoliuosta.
- ▶ Täytä taulukko loppuun ja vastaa lisäkysymyksiin.
- ▶ Miksi liuos kuplii?
- ▶ Mitä kaasua syntyi?
- ▶ Hiilidioksidi.
- ▶ Miksi?
- ▶ Maitohapon vety-ioni reagoivat bikarbonaatin kanssa, jolloin muodostuu hiilihappoa, joka kuplii liuoksesta hiilidioksidi.
- ▶ Hiilihappo-bikarbonaatti on yksi veren puskureista. Keho pitää sen tasapainoa yllä mm. hengityksen avulla.



Kiitos!

(VASTAATHAN VIELÄ LOPPUKYSELYNI)



LIITE 5: Kehittämistuotos 2, Opettajan ohje

VEREN pH

TAVOITE: Työn tavoitteena on tukea puskuriliuoskemian käsitteitä. Työssä valmistetaan veren kaltainen puskuriliuos pH-anturien avulla ja havainnollistetaan sen toimintaa happo-emästitrauksella. Tämän jälkeen tutkitaan aineenvaihduntatuotteiden vaikutusta ihmiskehon happo-emästasapainoon. Työssä harjoitellaan kuvaajan tulkitsemista, tasapainoyhtälöiden kirjoittamista, laborointitaitoja sekä tulosten tulkintaa ja soveltamista.

KOHDERYHMÄ: Työ on suunniteltu lukion KE5-kurssille.

KESTO: Kokonaisuudessaan kokeelliset työt kestävät yhteensä noin kaksi tuntia.

Työ voidaan tehdä kahdella 75 minuutin oppitunnilla niin, että ensimmäisellä tunnilla perehdytään työn taustaan, käydään läpi ennakkokysymykset ja tehdään osiot 1 – Kantaliuoksien valmistus ja 2 – Puskuriliuksen valmistus. Seuraavalla tunnilla tehdään osiot 3 – Tislattun veden titraaminen, 4 – puskuriliuksen titraaminen. Lopuksi opittua käsitetietoa syvennetään tutustumalla aineenvaihdunnan vaikutuksiin ja happo-emästasapainon häiriötiloihin työssä 5 – Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus veren happo-emästasapainoon. Lopuksi käydään yhdessä läpi koontikysymykset.

MOTIVOINTI: Kehossamme tapahtuvat kemialliset prosessit ovat hyvin herkkiä pH:n muutoksille. Aineenvaihduntamme seurauksena syntyy kuitenkin jatkuvasti happoja ja emäksiä. Miten sisällämme kiertävä veri vastustaa pH:n muutoksia?

AVAINSANAT: Puskuriliuos - pH – Heikko happo – Heikko emäs – Ihmisen kemia

Sisällys

KOKEELLISEN OPPIMATERIAALIN KÄYTÖSTÄ:	1
1. ENNAKKOVAIHE	2
TAUSTAA:	2
ENNAKKOKYSYMYKSET:	3
2. TYÖSKENTELY- JA SELITYSVAIHE	4
OSA 1 - Kantaliuoksien valmistus.....	4
OSA 2 – Puskuriliuksen valmistus	5
OSA 3 – Tislattun veden titraaminen	7
OSA 4 – Puskuriliuksen titraaminen.....	10
3. TYÖSTÄMISVAIHE	13
OSA 5 - Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus veren happo-emästasapainoon.....	13
4. KOONTI	20

KOKEELLISEN OPPIMATERIAALIN KÄYTÖSTÄ:

Oppimateriaali on kehitetty oppimissykli ajatukseen perustuen, jossa käsitteen rakentumista tuetaan viidessä eri vaiheessa. Ennakkovaiheen on tarkoitus tutustuttaa opiskelijat veren pH-tasapainoon ja aktivoida puskuriliuokseen liittyviä käsitteitä. Työskentelyvaiheessa rakennetaan veren toimintaa simuloiva puskuriliuos fosfaattisuolojen kantaliuoksista pH-anturien avulla. Puskuriliuoksen toimintaa tutkitaan happo-emästitrauksella. Tätä osiota pohjustetaan titraamalla ensin tislattua vettä, jotta puskuriliuoksen toimintaa voidaan verrata puskuroimattomaan liuokseen. Kokeellisia osuuksia seuraa selittämisvaihe, jossa käsitteiden sisältöä pohditaan tarkentavien kysymyksien avulla. Työskentelyvaiheessa on neljä osiota, josta ensimmäinen on muodoltaan avoimempi.

Tämän jälkeen seuraa työstämisvaihe, jossa tutustutaan miten aineenvaihdunnan tuotteet vaikuttavat veren pH-tasapainoon ja mitä terveysvaikutuksia pH:n muutoksista seuraa. Lopuksi kokeellinen osuus ja teoria kootaan koontikysymysten avulla yhteen.

Työohje on suunniteltu toteutettavaksi parin kanssa.

1. ENNAKKOVAIHE

Tämän osuuden tarkoitus on tutustuttaa opiskelijat puskuriliuoskäsitteeseen veren kemian kontekstissa ja aktivoida puskuriliuksen kemiaan liittyviä käsitteitä kysymyksien avulla.

TAUSTAA

Kehossamme kiertävä veri on nestemäinen kudos, joka voidaan kemiallisesta näkökulmasta ajateltuna määritellä seokseksi, joka sisältää useita eri komponentteja. Veren protoni konsentraation, eli pH:n, on tarkasti säädelty ja se pyritään pitämään 7,35–7,45 välillä. Sääteelyyn osallistuu puskuroivia aineita ja säätelyjärjestelmiä. Kokonaisuudessaan kehon sisäisten toimintojen tasapainon säätelevää järjestelmää kutsutaan homeostaasiksi.

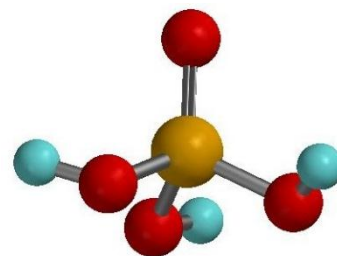
Veren puskurointi suojaa soluja, sillä solujen sisäiset reaktiot ja prosessit ovat hyvin herkkiä pH:n muutoksille. Erityisesti solujen pH:n vaihtelut vaikuttavat solun reaktioita katalysoiviin entsyymeihin, sillä entsyymeillä on tarkka pH-optimi, missä ne toimivat aktiivisimmin. Pahimmassa tapauksessa pH:n nousu tai lasku voi johtaa hengenvaaralliseen tilaan, jos keho ei pysty tilannetta korjaamaan.

Aineenvaihdunnan seurauksena vereen erittyy happoja ja emäksiä, jotka vaikuttavat veren happo-emästasapainoon. Aineenvaihduntatuotteet eritetään virtsan ja hengityksen avulla kehosta. Ennen kuin aineenvaihduntatuotteet pääsevät elimiin, tulee aineenvaihduntatuotteet **puskuroida**.

Veressä toimii 4 erilaista puskuria

- Bikarbonaattipuskuri
- Fosfaattipuskuri
- Hemoglobiini
- Plasmaproteiinit

Fosforihappo on kolmenarvoinen heikko happo.



Fosforihaposta on mahdollista valmistaa puskuriliuos, jolla voidaan havainnollistaa veren puskuriominaisuuksia. Samanlaista puskuria käytetään laboratoriossa esimerkiksi veren punasolujen pesussa.

ENNAKKOKYSYMYKSET

Mitä tarkoitetaan käsitteellä *heikko happo*?

Heikko happo on happo, joka ei protolysoitu täydellisesti. Esimerkiksi jos sinulla on yksi mooli etikkahappoa vedessä, sinulla ei ole liuoksessa yhtä moolia happamuutta aiheuttavia protoneita, sillä kaikki etikkahappomolekyylit eivät ole luovuttaneet protoniaan vedelle. Kun heikko happo luovuttaa protonin vedelle, syntyy ioni, joka pystyy sitomaan itseensä protonin, eli se voi toimia emäksenä.

Missä muodoissa fosfaatti-ionit ovat veren pH:ssa 7,35–7,45?



Fosfaatti ionit voivat toimia sekä happoina, että emäksinä, miksi?

Fosfaatti-ioni toimii happona silloin kuin se luovuttaa protonin ja emäksenä silloin kun se vastaan ottaa protonin.

Jos fosfaattipuskuria käytettäisiin veren tutkimuksessa, mitä muuta sen valmistuksessa tulisi ottaa huomioon?

Puskuriin pitäisi lisätä natriumkloridia, NaCl, jotta sen suolatasapaino olisi sama kuin fysiologisessa suolaliuoksessa.

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Työn aikana käytettävä suojavarustus: Suojalasit, suojahanskat ja suojatakki!

Suolahappo on vahva happo, joka syövyttävä ihoa. Huuhtelee roiskeet **heti** runsaalla vedellä!

Natriumhydroksidi on kuivattava ja syövyttävä vahva emäs, huuhtelee roiskeet **heti** runsaalla vedellä.

Tarvittaessa lääkäriin.

Liuokset tulee neutraloida, ennen kuin ne voi kaataa viemäristä.

2. TYÖSKENTELY- JA SELITYSVAIHE

OSA 1 - Kantaliuoksien valmistus

Tässä osuudessa valmistetaan kantaliuokset, joista koostetaan seuraavassa osassa puskuriliuos.

Osuuden on tarkoitus tukea myöhemmin valmistettavan puskuriliuoksen koostumuksen ymmärtämistä. Lisäksi opiskelijat pääsevät harjoittelemaan liuosten valmistamista.

Käytössä on kahta suolaa NaH_2PO_4 ja Na_2HPO_4 , sekä tislattua vettä. Molemmista suoloista valmistetaan 0,1 M kantaliuos. NaH_2PO_4 -kantaliuosta tarvitaan 100 ml ja Na_2HPO_4 – kantaliuosta tarvitaan 300 ml.

Miten valmistatte liuokset?

Ensin lasketaan

- *Suolan moolimassa.*
 - $M(\text{NaH}_2\text{PO}_4)=119,96 \text{ g/mol}$
 - $M(\text{Na}_2\text{HPO}_4)=141,96 \text{ g/mol}$
- *Liuoksen ainemäärä kaavasta $n = cV$.*
 - $n(\text{NaH}_2\text{PO}_4)=0,01 \text{ mol}$
 - $n(\text{Na}_2\text{HPO}_4)=0,03 \text{ mol}$
- *Suolan massan kaavasta $m = nM$.*
 - $m(\text{NaH}_2\text{PO}_4)=1,20 \text{ g}$
 - $m(\text{Na}_2\text{HPO}_4)=4,26 \text{ g}$

Sitten suola punnitaan ja se liuotetaan pieneen määrään tislattua vettä.

Tämän jälkeen suolaliuos siirretään huolellisesti mittapulloon ja mittapullo täytetään merkkiviivaan asti. Lopuksi mittapullo nimetään!

Mitä välineitä tarvitsette?

- *Vaa'an, keitinlasin, lusikan ja mittapullon.*

OSA 2 – Puskuriliuoksen valmistus

Tässä osuudessa valmistetaan veren kaltainen puskuriliuos aiemmin valmistetuista kantaliuoksista. Liuoksen pH säädetään vastaamaan veren pH-arvoa. Fosfaatti on yksi veren puskureista, mutta on hyvä muistaa, että veri sisältää myös muita puskureita, ja sen pH:ta säätelevät lisäksi keuhkot ja munuaiset.

Tämän vaiheen tarkoitus on tukea puskuriliuoskäsitettä sen koostumuksen osalta ja pohjustaa puskuriliuoksen toiminnan ymmärtämistä.

Välineet

- 400 ml keitinlasi + (600ml keitinlasi ”jäteastia”)
- 100 ml mittalasi
- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatiolaitteisto
 - Magneetti ja magneettisekoitin.
 - Statiivi ja koura.
 - pH-anturi, tietokone, mittausyksikkö ja LoggerPro-ohjelma

Aineet

- 0,1 M NaH_2PO_4 -liuos
- 0,1 M Na_2HPO_4 -liuos

Työohje 2

Nimeä keitinlasiin (400 ml): parin nimi + fosfaattipuskuri.

Mittaa (mittalasilla) keitinlasiin 100 ml 0,1 M NaH_2PO_4 – liuosta ja lisää sinne magneetti ja pH-anturi.

Huom! Tarkista, että pH-anturi on nestepinnan alapuolella, eikä magneetti osu pH-anturiin!

Laita sekoitus päälle.

Lisää 0,1 M Na_2HPO_4 -liuosta kunnes pH on 7,40. (Liuosta kuluu noin 250 ml)

Puskuriliuoksen ainemäärät eivät mene tässä täysin Hendersson-Hassenbachin yhtälön mukaisesti, sillä suolojen ionivahvuus vaikuttaa hapon ja emäksen

suhteeseen. (Ks. Saarinen, H., Lajunen, L. H. J., Analyttisen kemian perusteet 4. p., Oulun yliopistopaino. 2004.)

KYSYMYKSET

Mitä ioneja ja molekyyliä liuoksesi nyt sisältää?

Ionit: Na^+ , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , H_3O^+ , OH^-

Molekyylit: H_2O

Miksi valmistettua liuosta kutsutaan puskuriliuokseksi?

Koska liuos sisältää sekä heikkoa happoa, että heikkoa emästä, jolloin se voi neutraloida sekä sinne lisättyä emästä, että sinne lisättyä happoa.

Kumpi fosfaatti-ioneista toimii happona H_2PO_4^- vai HPO_4^{2-} ? (Voi luovuttaa vetyionin?)

H_2PO_4^-

Kirjoita reaktioyhtälö hapon ja veden välisestä tasapainoyhtälöstä.



Kumpi fosfaatti-ioneista toimii emäksenä H_2PO_4^- vai HPO_4^{2-} ? (Voi vastaanottaa vetyionin)

HPO_4^{2-}

Kirjoita reaktioyhtälö emäksen ja veden välisestä tasapainoyhtälöstä.



OSA 3 – Tislattun veden titraaminen

Tässä osiossa tutkitaan tarkemmin käsitettä pH, sekä harjoitellaan mittausautomaatiolaitteiston käyttöä, titraamista ja kuvaajan lukemista.

Tämän osion on tarkoitus selventää pH-arvon logaritmista muuttumista. Opiskelijoiden on hyvä pohtia titrauskäyrän muotoa ennen kuin he aloittavat titrauksen, jotta heidän mahdolliset vaihtoehdot käsitetykset tulevat selkeämmin esiin heille itselle. Titrauksen jälkeen kuvaajan tulkintaan kannattaa syventyä ja pohtia mistä sen muoto johtuu.

Välineet

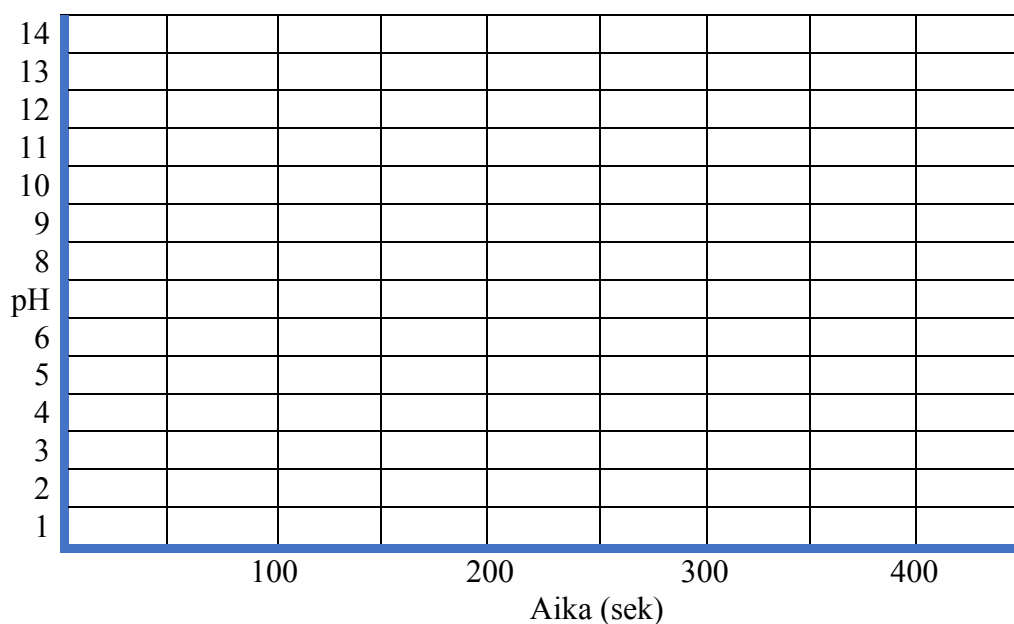
- 50 ml Byretti + suppilo +statiivi ja koura
- 250 ml keitinlasi
- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatiolaitteisto

Aineet

- Tislattua vettä
- 0,1 M HCl-liuos/0,1 M NaOH-liuos

ENNAKKOKYSYMYS

Millaisen titrauskäyrän uskot saavasi?



Työohje 3

Osa pareista tekee titrauksen vahvalla hapolla (HCl) ja osa vahvalla emäksellä (NaOH).

Valmistele titrauslaitteisto:

- Huuhtelee byretti 0,1 M HCl/NaOH liuoksella.
- Täytä byretti noin puolilleen ja poista ilmakupat avaamalla hanaa ja laskemalla liuoksen jäteastian.
- Täytä byretti HCl/NaOH liuoksella merkkiviivaan asti.
 - Tässä voit harjoitella noin 2 tippaa/sekunti vauhtia

Nimeä keitinlasi (250 ml): parin nimi + H₂O + HCl/NaOH

Lisää keitinlasiin 50 ml tislattua vettä (keitinlasin tarkkuudella), magneetti ja pH-anturi.

Muokkaa mittauautomaatio-ohjelmiston asetuksia:

- ”Experiment” → ”Data collection”
 - Timebased
 - Duration 400 seconds
 - 1 sample/seconds

Tallenna tiedosto

- ”File” → ”Save as” → Parin nimi+H₂O+HCl/NaOH

Aloita titraus painamalla

- ”Collect”.

Tiputa happoa/emästä noin 2 tippaa/sekunti. Tärkeintä on, että tipat tulevat tasaisesti!

Seuraa kuvaajaa. *Huom! Muista seurata byrettiä, ettet titraa yli 50 ml.*

Paina lopuksi ”Save”.

KYSYMYKSET

Selitä kuvaajan muoto: miksi pH muuttui alussa jyrkästi ja tasaantui sitten?

pH-skaala on logaritminen, eli kun pH-lukema muuttuu yhdellä, muuttuu liuoksen protonikonsentraatio kymmenellä. Tämän johdosta liuoksen pH:n muuttumiseen esimerkiksi arvosta 5 $\rightarrow$ 4 tarvitaan 100 kertaa enemmän protoneja kuin arvosta 7 $\rightarrow$ 6.

pH	H ⁺ -ionikonsentraatio	Potensseina	OH ⁻ -ionikonsentraatio	Potensseina
0	1	10 ⁰	0,000 000 000 000 01	10 ⁻¹⁴
1	0,1	10 ⁻¹	0,000 000 000 000 1	10 ⁻¹³
2	0,01	10 ⁻²	0,000 000 000 001	10 ⁻¹²
3	0,001	10 ⁻³	0,000 000 000 01	10 ⁻¹¹
4	0,000 1	10 ⁻⁴	0,000 000 000 1	10 ⁻¹⁰
5	0,000 01	10 ⁻⁵	0,000 000 001	10 ⁻⁹
6	0,000 001	10 ⁻⁶	0,000 000 01	10 ⁻⁸
7	0,000 000 1	10 ⁻⁷	0,000 000 1	10 ⁻⁷
8	0,000 000 01	10 ⁻⁸	0,000 001	10 ⁻⁶
9	0,000 000 001	10 ⁻⁹	0,000 01	10 ⁻⁵
10	0,000 000 000 1	10 ⁻¹⁰	0,000 1	10 ⁻⁴
11	0,000 000 000 01	10 ⁻¹¹	0,001	10 ⁻³
12	0,000 000 000 001	10 ⁻¹²	0,01	10 ⁻²
13	0,000 000 000 000 1	10 ⁻¹³	0,1	10 ⁻¹
14	0,000 000 000 000 01	10 ⁻¹⁴	1	10 ⁰

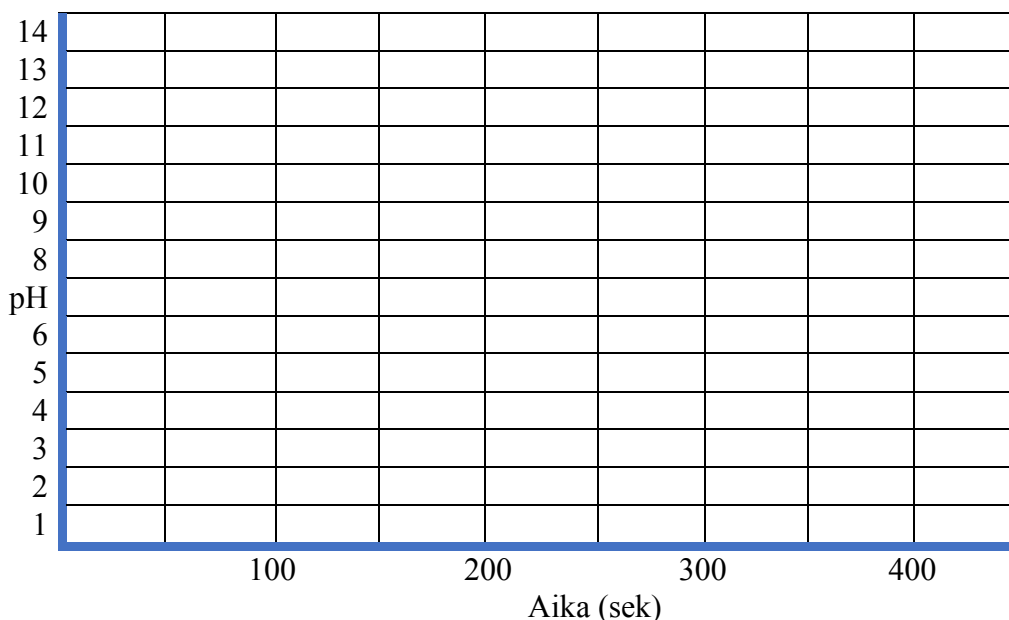
OSA 4 – Puskuriliuoksen titraaminen

Tässä työssä tutkitaan puskuriliuoksen kykyä vastustaa pH:n muutosta sekä harjoitellaan mittausautomaatio laitteiston käyttöä, titraamista ja kuvaajan lukemista.

Tämän osan tarkoitus on tukea puskuriliuuskäsitettä sen toiminnan osalta, sekä tukea käsitteitä neutraloituminen ja pH. Puskuriliuoksen titraaminen vahvalla hapolla tai emäksellä tehdään samaan kuvaajaan kuin aiempi veden titraus, jotta opiskelijat voivat verrata liuosten toimintaa. Myös tässä osiossa kuvaajan tulkintaan kannattaa varata aikaa, jotta opiskelijat pääsevät rauhassa pohtimaan, mistä muutokset kuvaajassa johtuvat.

ENNAKKOKYSYMYS:

Millaisen titrauskäyrän uskot saavasi?



Välineet

- 50 ml Byretti + suppilo + statiivi ja koura
- 250 ml keitinlasi
- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatiolaitteisto

Aineet

- 0,1 M fosfaattipuskuri
- 0,1 M HCl-liuos/0,1 M NaOH-liuos

Työohje 4

Täytä byretti 0,1 M HCl/NaOH liuksella merkkiviivaan asti.

Nimeä keitinlasi (250 ml): Parin nimi + puskuri + HCl/NaOH

Mittaa (mittalasilla) 50 ml 0,1 M fosfaattipuskuria keitinlasiin.

Lisää magneettisekoittaja ja puhdistettu pH-anturi.

Aloita titraus painamalla

- ”Collect” → ”Store latest run”

Tiputa happoa/emästä noin 2 tippaa/sekunti.

Kun olet valmis tallenna tuloksesi

- ”File” → ”Save as” → ”Parin nimi + puskurin titraus”

KYSYMYKSET

Miksi pH ei muuttunut samalla tavalla kuin se muuttui tislatussa vedessä?

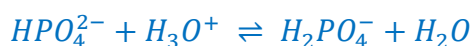
Liuoksessa olevat fosfaattisuolat reagoivat hapon/emäksen kanssa neutraloiden happoa/emästä, mikä hidastaa pH-arvon muutosta.

Selitä kuvaajan muoto.

Aluksi pH muuttuu hitaasti koska liuoksessa olevat fosfaattisuolat neutraloivat happoa/emästä. Kun liuoksessa oleva heikko happo/heikko emäs on neutraloitunut, muuttuu liuoksen pH nopeammin. Lopussa pH:n muutos tasoittuu, sillä matalassa/korkeassa pH:ssa pH-arvon muuttumiseen tarvitaan paljon happoa/emästä.

Mitä reaktioita liuoksessa tapahtui?

Hapon ja puskuriliuoksen välinen tasapainireaktio:



Emäksen ja puskuriliuoksen välinen tasapainoreaktio:



Miksi kuvaajat olivat erinäköisiä titratessa hapolla kuin emäksellä?

Kun puskuriliuos valmistettiin, sinne laitettiin enemmän emäsmuodossa olevaa kantaliuosta. Siksi liuos pystyy vastustamaan kauemmin pH:n muutosta happoa vastaan ja kuvaajassa näkyvä pH:n selkeä lasku tulee myöhemmin.

Vinkki opettajalle: Tässä vaiheessa opetusta kannattaa katsoa seuraava McGraw-Hill Education:in simulaatio:

<http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/buffer12.swf>

3. TYÖSTÄMISVAIHE

OSA 5 - Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus veren happo-emästasapainoon

Tässä työssä tutustutaan tarkemmin aineenvaihduntatuotteisiin ja erilaisiin happo-emästasapainon häiriötiloihin. Työssä tutkitaan mitä tapahtuisi verelle, jos happo-emästasapainoa säätelevät elimet, munuaiset ja keuhkot eivät poistaisi aineenvaihdunnan aiheuttamaa happo-emäskuormaa.

Tällä työvaiheella pyrittiin liittämään kokeellinen osio entistä lähemmäksi opiskelijan omaa elämää ja tukemaan puskuriliuoskäsitteen sisältämää merkitystä veren kontekstissa.

TAUSTAA

Normaaleissa olosuhteissa aineenvaihdunnassa syntyy happoja samaa vauhtia kun niitä eritetään kehosta. Jos kehon puskurikapasiteetti ja eritystoiminnot pettävät, voi veren pH laskea tai nousta. Tiloja kutsutaan nimillä asidoosi ja alkaloosi. Häiriöt voivat olla akuutteja tai kroonisia.

6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8
Asidoosi					Alkaloosi				

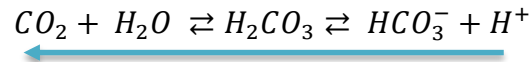
Kuvassa on esitetty veren pH:n kriittiset raja-arvot. Vihreän alueen sisällä on veren normaali pH 7,35–7,45. Jos pH laskee alle 7,35 kärsii ihminen asidoosista ja jos pH nousee yli 7,45 on seurauksena alkaloosi. Punaisella näkyvät alueet indikoivat veren pH:n raja-arvoja, joiden ylitykset ovat hengen vaarallisia.

Ihmiset voivat kärsiä neljästä erilaisesta happo-emästasapainon häiriöstä:

- Respitoriaalisesta asidoosista
- Respitoriaalisesta alkaloosista
- Metabolisesta asidoosista
- Metabolisesta alkaloosista

Respiratoriset happo-emästasapainon häiriöt aiheutuvat, joko hiilidioksidin kertymisestä kehoon tai sen liiallisesta poistumisesta. Häiriöt syntyvät, kun keuhkoissa tapahtuva kaasujen vaihto, joko hidastuu, tai kiihtyy. Esimerkiksi

hyperventilaatio-kohtaus vaikuttaa veren happo-emästasapainoon kun hiilidioksidia poistuu elimistöstä nopeammalla vauhdilla, kuin mitä sitä syntyy.



Metabolinen asidoosi syntyy, kun aineenvaihdunnassa muodostuu enemmän haihtumattomia happoja, mitä munuaiset pystyvät erittämään. Metabolinen asidoosi voi muodostua muun muassa

- kovan fyysisen rasituksen seurauksena, jolloin keho joutuu tuottamaan energiaa anaerobisesti ja elimistöön kertyy maitohappoa.
- vaikeassa ripulissa, jossa bikarbonaatti ei ehdi imeytyä elimistöön.
- erilaisten myrkkyjen, kuten metanolin, aspiriinin ja etyyli glykolin nauttimisen seurauksena.

Metabolinen alkaloosi voi ilmetä voimakkaan oksentelun sekä liiallisen antsidien, eli happoja neutraloivien närästyslääkkeiden syömisen seurauksena.

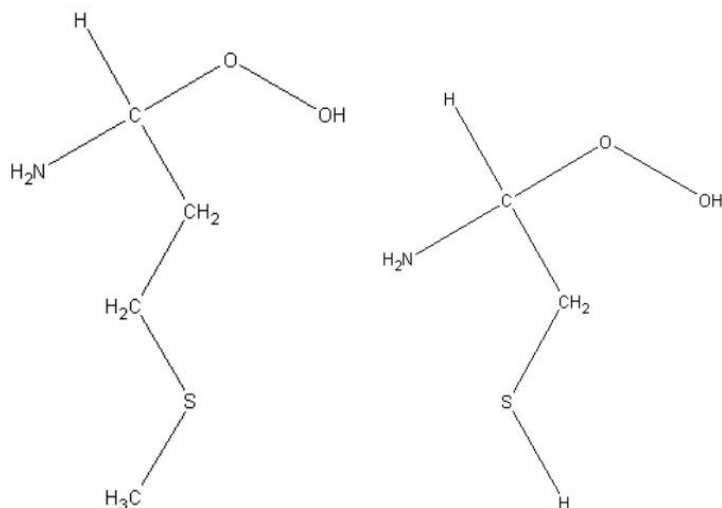
Aineenvaihduntatuotteet

Ruoka-aineen pH ei kerro suoraan siitä, minkälainen vaikutus sillä on kehon happo- ja emästasapainoon. Esimerkiksi, sitruunalla on alhainen pH, koska se sisältää paljon sitruunahappoa. Mutta kun sitruunan sisältämät aineet on metabolisoitu, jäljellä jää enemmän emäksisiä aineenvaihduntatuotteita, ja näin sitruuna vaikuttaa kehon pH tasapainoon nostaen sitä.

Aineenvaihduntatuotteet voidaan jakaa: 1) ”Haihtumattomiin happoihin sekä emäksiin”, joiden erityksestä huolehtivat munuaiset. Aineet toimitetaan munuasiin puskuroinnin jälkeen, ja ne eritetään kehosta virtsan mukana. 2) ”Haihtuvaan happoon” eli hiilihappoon, joka voi hajota vedeksi ja hiilidioksidiksi, jonka erityksestä huolehtii keuhkot.

Rikkihappo

Proteiinien aineenvaihduntatuotteina syntyy rikkihappoa, H_2SO_4 . Rikkiä sisältävät aminohapot, metioniini ja kysteiini, ovat aluksi neutraaleja, kunnes ne metaboloituvat ja tuottavat rikkihappoa.

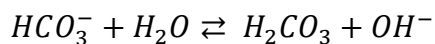


Metioniini- ja kysteiiniaminohappojen rakennekaavat.

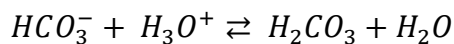
Bikarbonaatti-ioni

Kasvikunnan tuotteet sisältävät bikarbonaattia HCO_3^- ja muita orgaanisia anioneja, esimerkiksi sitraattia ja malaattia, joiden hajoituksessa syntyy bikarbonaattia ja hiilidioksidia.

Bikarbonaatti-ioni on emäs.

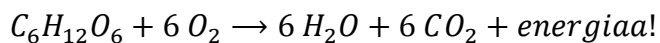


ja on yksi myös veren puskureista.

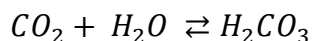


Hiilidioksidi eli hiilihappo

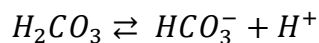
Hiilihydraattien hapetuksen seurauksena syntyy hiilidioksidia.



Hiilidioksidi reagoi veden kanssa muodostaen hiilihappoa.



Suurin osa hiilihaposta reagoi edelleen muodostaen bikarbonaattia ja protoneja:



Bikarbonaatti-ionit liukenevat hiilidioksidikaasua paremmin plasmaan ja näin hiilidioksidin kuljetus kapasiteetti kasvaa.

Maitohappo

Jos hiilihydraattien hajotuksen aikana happea ei ole tarpeeksi saatavilla, esimerkiksi pikajuoksun aikana, tuottavat solut energiaa käymisreaktioiden kautta. Tällöin syntyy maitohappoa. Maitohapon pK_a on 3,86, joten se luovuttaa protonin veren pH:ssa, muuttuen laktaatiksi. Laktaatti-ioni ja protoni eritetään solusta verenkiertoon, jonka jälkeen se hajotetaan muissa soluissa tai maksassa.

Välineet

- 250 ml keitinlasi
- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatiolaitteisto
- Koeputkia
- 5 ml mittalasi
- teelusikka

Aineet

- 0,1 M fosfaattipuskuri
- 0,1 M H_2SO_4 -liuos
- Ruokasoodaa, eli kiinteää $NaHCO_3$
- 0,85 % Maitohappo-liuos

Työohje 5

Nimeä keitinlasi (250 ml): parin nimi+puskuri+avt

Lisää keitinlasiin (keitinlasin tarkkuudella) 100 ml valmistamaasi fosfaattipuskuria.

Lisää mittalasiin magneettisekoittaja ja puhdistettu pH-anturi.

Proteiinien aineenvaihduntatuote

Täytä taulukkoon alku pH.

Lisää liuokseen 5 ml 0,1 M H_2SO_4 -liuosta.

Täytä taulukko loppuun ja vastaa lisäkysymykseen.

Ruoka-aine	Liha, maito, kananmuna tai muu proteiinia sisältävä ruoka-aine.	
Aineenvaihdunnan lopputuote, mikä vaikuttaa pH:hon.	Lopputuotteena rikkihappoa H_2SO_4	
Alku pH ja loppu pH		
Reaktio	$HPO_4^{2-} + H_3O^+ \rightleftharpoons H_2PO_4^- + H_2O$	

Mistä tilasta kärsisit nyt?

Asidoosista.

Kasvien aineenvaihduntatuote

Täytä taulukkoon alku pH.

Lisää liuokseen teelusikallinen ruokasoodaa eli kiinteää $NaHCO_3$.

Täytä taulukko loppuun.

Ruoka-aine	Kasvikset	
Aineenvaihdunnan lopputuote, mikä vaikuttaa pH:hon.	Lopputuotteena bikarbonaattia $NaHCO_3$	
Alku pH ja loppu pH		
Reaktiot (Kirjoita ensin bikarbonaatin reaktio veden kanssa ja sitten fosfaattipuskurin reaktio)	$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^-$ $H_2PO_4^- + OH^- \rightleftharpoons HPO_4^{2-} + H_2O$	

Mistä tilasta kärsisit nyt?

Alkaloosista.

Jos liuos kupli, mitä kaasua syntyi ja miksi?

Liuoksessa ollut hiilihappo hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi.



Urheilisuoritus

Täytä taulukkoon alku pH.

Lisää liuokseen 5 ml 0,85 % maitohappo-liuosta.

Täytä taulukko loppuun ja vastaa lisäkysymyksiin.

Urheilusuoritus	Lihaksesi eivät saa tarpeeksi happea	
Aineenvaihdunnan lopputuote, mikä vaikuttaa pH:hon.	Maitohappo, CH ₃ CHOHCOOH	
Alku pH ja loppu pH		
Reaktio (kirjoita ensin bikarbonaatti-ionin reaktio hapon kanssa ja sitten kaasun muodostusreaktio)	$HCO_3^- + H_3O^+ \rightleftharpoons H_2CO_3 + H_2O$ $H_2CO_3 \rightleftharpoons CO_2 \uparrow + H_2O$	

Mitä kaasua syntyi?

Hiilidioksidi.

Miksi?

Maitohapon protonit reagoivat liuokseen aiemmin lisätyn bikarbonaatin kanssa, jolloin muodostuu hiilihappoa, joka kuplii liuoksesta hiilidioksidina.

Hiilihappo-bikarbonaatti on yksi veren puskureista. Keho pitää sen tasapainoa yllä mm. hengityksen avulla.

HIILIDIOKSIDIN VAIKUTUS -DEMONSTRAATIO

Lopuksi opettaja voi demonstroida hiilidioksidin vaikutusta puskuriliuokseen. Liuosten sisällöt voi jättää kertomatta opiskelijoille, niin he saavat päätellä ne itse.

Välineet

- Kaksi isoa astiaa, esimerkiksi mittalasia tai isoa keitinlasia.

Aineet

- Fosfaattipuskuri
- Tislattua vettä
- Indikaattoriliuosta, esimerkiksi veteen liuotettua punakaalia.
- Laimea NaOH-liuos
- Kiinteää hiilidioksidia

Laita toiseen astiaan tislattua vettä ja toiseen fosfaattipuskuria.

Lisää indikaattoriliuosta, esimerkiksi punakaali toimii tässä hyvin.

Lisää laimeaa NaOH-liuosta siten tislattuun veteen niin että liuokset ovat suunnilleen samanvärisiä.

Lisää molempiin liuoksiin saman aikaisesti pieni pala kiinteää hiilidioksidia.

4. KOONTI

Tämän osion tavoitteena on koota teoria ja kokeellinen osuus pohdintakysymyksien muodossa.

Opiskelijoilla voidaan myös teettää jostain kokeellisesta osiosta työselostus, jolloin opiskelija käsittelee ja reflektoi oppimaansa opittua tietoa.

1. Juot litran vettä, miten laimennus vaikuttaa veren pH-arvoon?

Laimennus ei vaikuta veren pH-arvon sillä liuoksen heikon hapon ja heikon emäksen suhde pysyy samana.

2. Mistä johtuu, että lääkärit joskus neuvovat hyperventiloivaa potilasta hengittämään paperipussiin?

Kun hyperventiloiva henkilö hengittää sisäänsä poistunutta hiilidioksidia, tämä tasapainottaa veren pH:ta.

3. Mainitse lääkkeitä joiden yliannostus voisi vaikuttaa veren happo-emästasapainoon?

Aspiriini, salisyylihappo, voi aiheuttaa asidoosia. Erilaiset antasidit, eli närästyslääkkeet, voivat puolestaan aiheuttaa alkaloosia.

4. Miten voisit tutkia oman ruokavalion vaikutusta kehosi happo-emästasapainoon? Suunnittele tutkimus!

Esimerkiksi tutkimalla virtsan pH:ta, joko samanlaisilla happo-emästitrauksilla tai indikaattorin avulla, ja seuraamalla miten ruokavalio vaikuttaa virtsan pH-arvoon.

LIITE 6: Kehittämistuotos 2, Opiskelijan ohje

VEREN pH

TAUSTAA

Kehossamme kiertävä veri on nestemäinen kudos, joka voidaan kemiallisesta näkökulmasta ajateltuna määritellä seokseksi, joka sisältää useita eri komponentteja. Veren protoni konsentraation, eli pH:n, on tarkasti säädelty ja se pyritään pitämään 7,35–7,45 välillä. Säätelystä osallistuu puskuroivia aineita ja säätelyjärjestelmiä. Kokonaisuudessaan kehon sisäisten toimintojen tasapainon säätelevää järjestelmää kutsutaan homeostaasiksi.

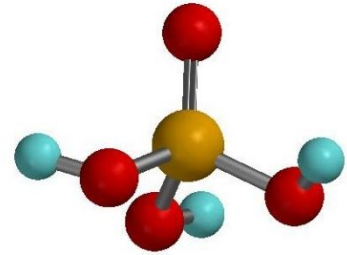
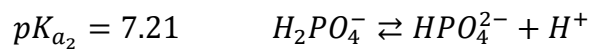
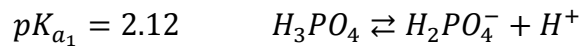
Veren puskurointi suojaa soluja, sillä solujen sisäiset reaktiot ja prosessit ovat hyvin herkkiä pH:n muutoksille. Erityisesti solujen pH:n vaihtelut vaikuttavat solun reaktioita katalysoiviin entsyymeihin, sillä entsyymeillä on tarkka pH-optimi, missä ne toimivat aktiivisimmin. Pahimmassa tapauksessa pH:n nousu tai lasku voi johtaa hengenvaaralliseen tilaan, jos keho ei pysty tilannetta korjaamaan.

Aineenvaihdunnan seurauksena vereen erittyy happoja ja emäksiä, jotka vaikuttavat veren happo-emästasapainoon. Aineenvaihduntatuotteet eritetään virtsan ja hengityksen avulla kehosta. Ennen kuin aineenvaihduntatuotteet pääsevät elimiin, tulee aineenvaihduntatuotteet **puskuroida**.

Veressä toimii 4 erilaista puskuria

- Bikarbonaattipuskuri
- Fosfaattipuskuri
- Hemoglobiini
- Plasmaproteiinit

Fosforihappo on kolmenarvoinen heikko happo.



Fosforihaposta on mahdollista valmistaa puskuriliuos, jolla voidaan havainnollistaa veren puskuriominaisuuksia. Samanlaista puskuria käytetään laboratoriossa esimerkiksi veren punasolujen pesussa.

ENNAKKOKYSEMYKSET

Mitä tarkoitetaan käsitteellä *heikko happo*?

Missä muodoissa fosfaatti-ionit ovat veren pH:ssa 7,35–7,45?

Fosfaatti ionit voivat toimia sekä happoina, että emäksinä, miksi?

Jos fosfaattipuskuria käytettäisiin veren tutkimuksessa, mitä muuta sen valmistuksessa tulisi ottaa huomioon?

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Työn aikana käytettävä suojavarustus: Suojalasit, suojahanskat ja suojatakki!

Suolahappo on vahva happo, joka syövyttävä ihoa. Huuhtelee roiskeet **heti** runsaalla vedellä!

Natriumhydroksidi on kuivattava ja syövyttävä vahva emäs, huuhtelee roiskeet **heti** runsaalla vedellä.

Tarvittaessa lääkäriin.

Liuokset tulee neutraloida, ennen kuin ne voi kaataa viemäristä.

OSA 1 - Kantaliuoksien valmistus

Tässä osuudessa valmistetaan kantaliuokset, joista koostetaan seuraavassa osassa puskuriliuos.

Käytössä on kahta suolaa NaH_2PO_4 ja Na_2HPO_4 , sekä tislattua vettä. Molemmista suoloista valmistetaan 0,1 M kantaliuos. NaH_2PO_4 -kantaliuosta tarvitaan 100 ml ja Na_2HPO_4 – kantaliuosta tarvitaan 300 ml.

Miten valmistatte liuokset?

Mitä välineitä tarvitsette?

OSA 2 – Puskuriliuoksen valmistus

Tässä työssä valmistetaan veren kaltainen puskuriliuos aiemmin valmistetuista kantaliuoksista. Liuoksen pH säädetään vastaamaan veren pH-arvoa. Fosfaatti on yksi veren puskureista, mutta on hyvä muistaa, että veri sisältää myös muita puskureita, ja sen pH:ta säätelevät lisäksi keuhkot ja munuaiset.

Välineet

- 400 ml keitinlasi + (600ml keitinlasi ”jäteastia”)
- 100 ml mittalasi
- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatilaitteisto
 - Magneetti ja magneettisekoitin.
 - Statiivi ja koura.
 - pH-anturi, tietokone, mittausyksikkö ja LoggerPro-ohjelma

Aineet

- 0,1 M NaH_2PO_4 -liuos
- 0,1 M Na_2HPO_4 -liuos

Työohje 2

Nimeä keitinlasiin (400 ml): parin nimi + fosfaattipuskuri.

Mittaa (mittalasilla) keitinlasiin 100 ml 0,1 M NaH_2PO_4 – liuosta ja lisää sinne magneetti ja pH-anturi.

Huom! Tarkista, että pH-anturi on nestepinnan alapuolella, eikä magneetti osu pH-anturiin!

Laita sekoitus päälle.

Lisää 0,1 M Na_2HPO_4 -liuosta kunnes pH on 7,40. (Liuosta kuluu noin 250 ml)

KYSYMYKSET

Mitä ioneja ja molekyylejä liuoksesi nyt sisältää?

Miksi valmistettua liuosta kutsutaan puskuriliuokseksi?

Kumpi fosfaatti-ioneista toimii happona H_2PO_4^- vai HPO_4^{2-} ? (Voi luovuttaa vetyionin?)

Kirjoita reaktioyhtälö hapon ja veden välisestä tasapainoyhtälöstä.

Kumpi fosfaatti-ioneista toimii emäksenä H_2PO_4^- vai HPO_4^{2-} ? (Voi vastaanottaa vetyionin)

Kirjoita reaktioyhtälö emäksen ja veden välisestä tasapainoyhtälöstä.

OSA 3 – Tislattun veden titraaminen

Tässä osiossa tutkitaan tarkemmin käsitettä pH, sekä harjoitellaan mittausautomaatiolaitteiston käyttöä, titraamista ja kuvaajan lukemista.

Välineet

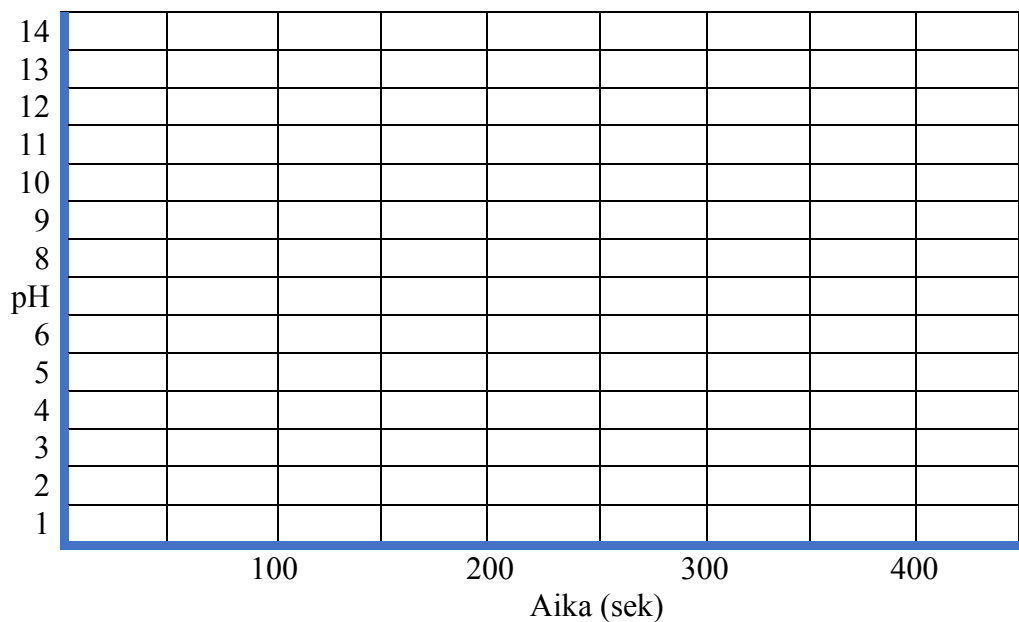
- 50 ml Byretti + suppilo +statiivi ja koura
- 250 ml keitinlasi
- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatiolaitteisto

Aineet

- Tislattua vettä
- 0,1 M HCl-liuos/0,1 M NaOH-liuos

ENNAKKOKYSYMYS

Millaisen titrauskäyrän uskot saavasi?



Työohje 3

Osa pareista tekee titrauksen vahvalla hapolla (HCl) ja osa vahvalla emäksellä (NaOH).

Valmistele titrauslaitteisto:

- Huuhtele byretti 0,1 M HCl/NaOH liuoksella.
- Täytä byretti noin puolilleen ja poista ilmakupat avaamalla hanaa ja laskemalla liuoksen jäteastiaan.
- Täytä byretti HCl/NaOH liuoksella merkkiviivaan asti.
 - Tässä voit harjoitella noin 2 tippaa/sekunti vauhtia

Nimeä keitinlasi (250 ml): parin nimi + H₂O + HCl/NaOH

Lisää keitinlasiin 50 ml tislattua vettä (keitinlasin tarkkuudella), magneetti ja pH-anturi.

Muokkaa mittauautomaatio-ohjelmiston asetuksia:

- ”Experiment” → ”Data collection”
 - Timebased
 - Duration 400 seconds
 - 1 sample/seconds

Tallenna tiedosto

- ”File” → ”Save as” → Parin nimi+H₂O+HCl/NaOH

Aloita titraus painamalla

- ”Collect”.

Tiputa happoa/emästä noin 2 tippaa/sekunti. Tärkeintä on, että tipat tulevat tasaisesti!

Seuraa kuvaajaa. *Huom! Muista seurata byrettiä, ettet titraa yli 50 ml.*

Paina lopuksi ”Save”.

KYSYMYKSET

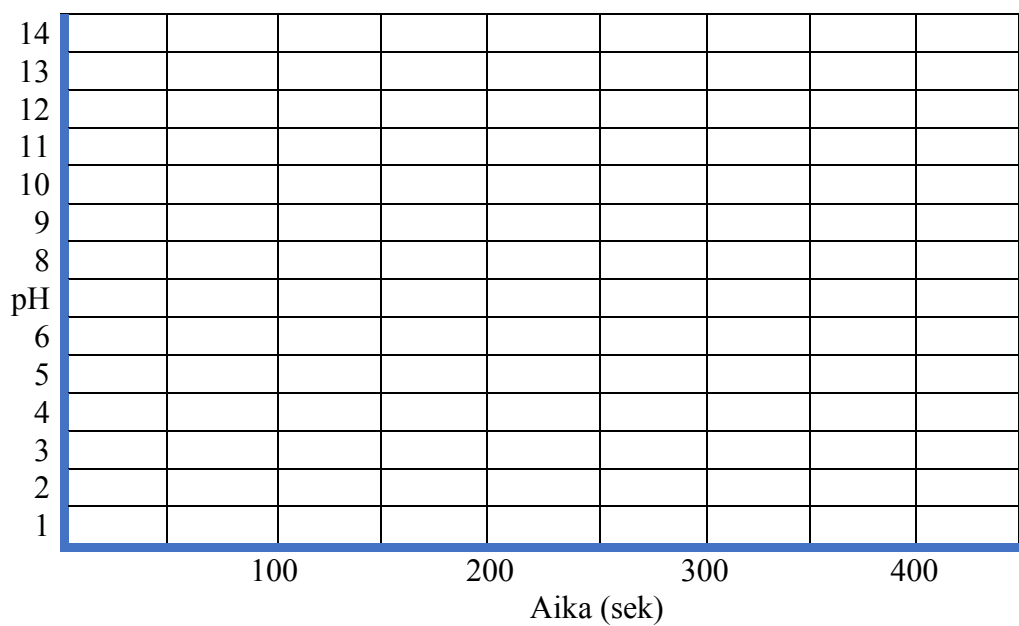
Selitä kuvaajan muoto: miksi pH muuttui alussa jyrkästi ja tasaantui sitten?

OSA 4 – Puskuriliuoksen titraaminen

Tässä työssä tutkitaan puskuriliuoksen kykyä vastustaa pH:n muutosta sekä harjoitellaan mittausseläinlaitteiston käyttöä, titraamista ja kuvaajan lukemista.

ENNAKKOKYSYMYKSET:

Millaisen titrauskäyrän uskot saavasi?



Välineet

- 50 ml Byretti + suppilo + statiivi ja koura
- 250 ml keitinlasi
- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatiolaitteisto

Aineet

- 0,1 M fosfaattipuskuri
- 0,1 M HCl-liuos/0,1 M NaOH-liuos

Työohje 4

Täytä byretti 0,1 M HCl/NaOH liuoksella merkkiviivaan asti.

Nimeä keitinlasi (250 ml): Parin nimi + puskuri + HCl/NaOH

Mittaa (mittalasilla) 50 ml 0,1 M fosfaattipuskuria keitinlasiin.

Lisää magneettisekoittaja ja puhdistettu pH-anturi.

Aloita titraus painamalla

- "Collect" → "Store latest run"

Tiputa happoa/emästä noin 2 tippaa/sekunti.

Kun olet valmis tallenna tuloksesi

- "File" → "Save as" → "Parin nimi + puskurin titraus"

KYSYMYKSET

Miksi pH ei muuttunut samalla tavalla kuin se muuttui tislatussa vedessä?

Selitä kuvaajan muoto.

Mitä reaktioita liuoksessa tapahtui?

Hapon ja puskuriliuoksen välinen tasapainireaktio:

Emäksen ja puskuriliuoksen välinen tasapainoreaktio:

Miksi kuvaajat olivat erinäköisiä titratessa hapolla kuin emäksellä?

OSA 5 - Aineenvaihduntatuotteiden vaikutus veren happo-emästasapainoon

Tässä työssä tutustutaan tarkemmin aineenvaihduntatuotteisiin ja erilaisiin happo-emästasapainon häiriötiloihin. Työssä tutkitaan mitä tapahtuisi verelle, jos happo-emästasapainoa säätelevät elimet, munuaiset ja keuhkot eivät poistaisi aineenvaihdunnan aiheuttamaa happo-emäskuormaa.

TAUSTAA

Normaaleissa olosuhteissa aineenvaihdunnassa syntyy happoja samaa vauhtia kun niitä eritetään kehosta. Jos kehon puskurikapasiteetti ja eritystoiminnot pettävät, voi veren pH laskea tai nousta. Tiloja kutsutaan nimillä asidoosi ja alkaloosi. Häiriöt voivat olla akuutteja tai kroonisia.

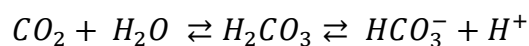
6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8
Asidoosi					Alkaloosi				

Kuvassa on esitetty veren pH:n kriittiset raja-arvot. Vihreän alueen sisällä on veren normaali pH 7,35–7,45. Jos pH laskee alle 7,35 kärsii ihminen asidoosista ja jos pH nousee yli 7,45 on seurauksena alkaloosi. Punaisella näkyvät alueet indikoivat veren pH:n raja-arvoja, joiden ylitykset ovat hengen vaarallisia.

Ihmiset voivat kärsiä neljästä erilaisesta happo-emästasapainon häiriöstä:

- Respitoriaalisesta asidoosista
- Respitoriaalisesta alkaloosista
- Metabolisesta asidoosista
- Metabolisesta alkaloosista

Respiratoriset happo-emästasapainon häiriöt aiheutuvat, joko hiilidioksidin kertymisestä kehoon tai sen liiallisesta poistumisesta. Häiriöt syntyvät, kun keuhkoissa tapahtuva kaasujen vaihto, joko hidastuu, tai kiihtyy. Esimerkiksi hyperventilaatio-kohtaus vaikuttaa veren happo-emästasapainoon kun hiilidioksidia poistuu elimistöstä nopeammalla vauhdilla, kuin mitä sitä syntyy.



Metabolinen asidoosi syntyy, kun aineenvaihdunnassa muodostuu enemmän haihtumattomia happoja, mitä munuaiset pystyvät erittämään. Metabolinen asidoosi voi muodostua muun muassa

- kovan fyysisen rasituksen seurauksena, jolloin keho joutuu tuottamaan energiaa anaerobisesti ja elimistöön kertyy maitohappoa.
- vaikeassa ripulissa, jossa bikarbonaatti ei ehdi imeytyä elimistöön.
- erilaisten myrkkyjen, kuten metanolin, aspiriinin ja etyyli glykolin nauttimisen seurauksena.

Metabolinen alkaloosi voi ilmetä voimakkaan oksentelun sekä liiallisen antacidien, eli happoja neutraloivien närästyslääkkeiden syömisen seurauksena.

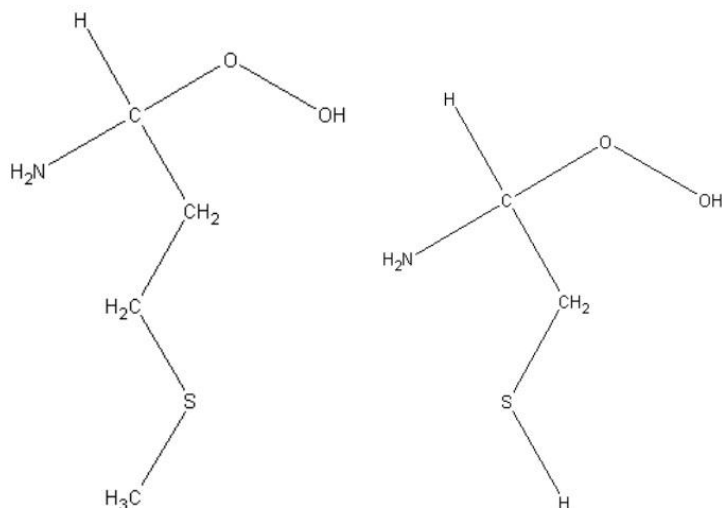
Aineenvaihduntatuotteet

Ruoka-aineen pH ei kerro suoraan siitä, minkälainen vaikutus sillä on kehon happo- ja emästasapainoon. Esimerkiksi, sitruunalla on alhainen pH, koska se sisältää paljon sitruunahappoa. Mutta kun sitruunan sisältämät aineet on metabolisoitu, jäljellä jää enemmän emäksisiä aineenvaihduntatuotteita, ja näin sitruuna vaikuttaa kehon pH tasapainoon nostaen sitä.

Aineenvaihduntatuotteet voidaan jakaa: 1) ”Haihtumattomiin happoihin sekä emäksiin”, joiden erityksestä huolehtivat munuaiset. Aineet toimitetaan munuusiin puskuroinnin jälkeen, ja ne eritetään kehosta virtsan mukana. 2) ”Haihtuvaan happoon” eli hiilihappoon, joka voi hajota vedeksi ja hiilidioksidiksi, jonka erityksestä huolehtii keuhkot.

Rikkihappo

Proteiinien aineenvaihduntatuotteina syntyy rikkihappoa, H_2SO_4 . Rikkiä sisältävät aminohapot, metioniini ja kysteiini, ovat aluksi neutraaleja, kunnes ne metaboloituvat ja tuottavat rikkihappoa.

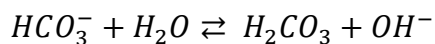


Metioniini- ja kysteiiniaminohappojen rakennekaavat.

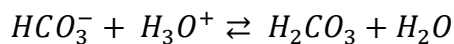
Bikarbonaatti-ioni

Kasvikunnan tuotteet sisältävät bikarbonaattia HCO_3^- ja muita orgaanisia anioneja, esimerkiksi sitraattia ja malaattia, joiden hajoituksessa syntyy bikarbonaattia ja hiilidioksidia.

Bikarbonaatti-ioni on emäs.

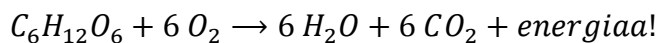


ja on yksi myös veren puskureista.

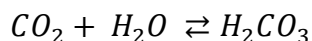


Hiilidioksidi eli hiilihappo

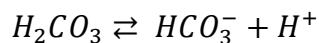
Hiilihydraattien hapetuksen seurauksena syntyy hiilidioksidia.



Hiilidioksidi reagoi veden kanssa muodostaen hiilihappoa.



Suurin osa hiilihaposta reagoi edelleen muodostaen bikarbonaattia ja protoneja:



Bikarbonaatti-ionit liukenevat hiilidioksidikaasua paremmin plasmaan ja näin hiilidioksidin kuljetus kapasiteetti kasvaa.

Maitohappo

Jos hiilihydraattien hajotuksen aikana happea ei ole tarpeeksi saatavilla, esimerkiksi pikajuoksun aikana, tuottavat solut energiaa käymisreaktioiden kautta. Tällöin syntyy maitohappoa. Maitohapon pK_a on 3,86, joten se luovuttaa protonin veren pH:ssa, muuttuen laktaatiksi. Laktaatti-ioni ja protoni eritetään solusta verenkiertoon, jonka jälkeen se hajotetaan muissa soluissa tai maksassa.

Välineet

- 250 ml keitinlasi
- Permanenttitussi ja käsipaperia
- Mittausautomaatiolaitteisto
- Koeputkia
- 5 ml mittalasi
- teelusikka

Aineet

- 0,1 M fosfaattipuskuri
- 0,1 M H_2SO_4 -liuos
- Ruokasoodaa, eli kiinteää $NaHCO_3$
- 0,85 % Maitohappo-liuos

Työohje 5

Nimeä keitinlasi (250 ml): parin nimi+puskuri+avt

Lisää keitinlasiin (keitinlasin tarkkuudella) 100 ml valmistamaasi fosfaattipuskuria.

Lisää mittalasiin magneettisekoittaja ja puhdistettu pH-anturi.

Proteiinien aineenvaihduntatuote

Täytä taulukkoon alku pH.

Lisää liuokseen 5 ml 0,1 M H_2SO_4 -liuosta.

Täytä taulukko loppuun ja vastaa lisäkysymykseen.

Ruoka-aine	Liha, maito, kananmuna tai muu proteiinia sisältävä ruoka-aine.	
Aineenvaihdunnan lopputuote, mikä vaikuttaa pH:hon.	Lopputuotteena rikkihappoa H_2SO_4	
Alku pH ja loppu pH		
Reaktio		

Mistä tilasta kärsisit nyt?

Kasvien aineenvaihduntatuote

Täytä taulukkoon alku pH.

Lisää liuokseen teelusikallinen ruokasoodaa eli kiinteää NaHCO_3 .

Täytä taulukko loppuun.

Ruoka-aine	Kasvikset	
Aineenvaihdunnan lopputuote, mikä vaikuttaa pH:hon.	Lopputuotteena bikarbonaattia NaHCO_3	
Alku pH ja loppu pH		
Reaktiot (Kirjoita ensin bikarbonaatin reaktio veden kanssa ja sitten fosfaattipuskurin reaktio)		

Mistä tilasta kärsisit nyt?

Jos liuos kupli, mitä kaasua syntyi ja miksi?

Urheilusuoritus

Täytä taulukkoon alku pH.

Lisää liuokseen 5 ml 0,85 % maitohappo-liuosta.

Täytä taulukko loppuun ja vastaa lisäkysymyksiin.

Urheilusuoritus	Lihaksesi eivät saa tarpeeksi happea	
Aineenvaihdunnan lopputuote, mikä vaikuttaa pH:hon.	Maitohappo, $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$	
Alku pH ja loppu pH		
Reaktio (kirjoita ensin bikarbonaatti-ionin reaktio hapon kanssa ja sitten kaasun muodostusreaktio)		

Mitä kaasua syntyi?

Miksi?

KOONTI

Tämän osion tavoitteena on koota teoria ja kokeellinen osuus pohdintakysymyksiä muodossa.

1. Juot litran vettä, miten laimennus vaikuttaa veren pH-arvoon?
2. Mistä johtuu, että lääkärit joskus neuvovat hyperventiloivaa potilasta hengittämään paperipussiin?
3. Mainitse lääkkeitä joiden yliannostus voisi vaikuttaa veren happo-emästasapainoon?
4. Miten voisit tutkia oman ruokavalion vaikutusta kehosi happo-emästasapainoon? Suunnittele tutkimus!