

Vetysidoksen opetus ja oppiminen

Helsingin yliopisto
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Kemian laitos
Kemian opettajankoulutusyksikkö
Pro Gradu-tutkielma

Tekijä: Anna Saloma
Pvm: 14.11.2005

Ohjaajat:
Markku Räsänen
Maija Aksela
Jan Lundell

HELSINGIN YLIOPISTO • HELSINGFORS UNIVERSITET • UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta - Fakultet - Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos - Institution - Department Kemian laitos Aineenopettajan koulutuslinja	
Tekijä - Författare – Author Anna Saloma			
Työn nimi - Arbets titel - Title Vetysidoksen opetus ja oppiminen			
Oppiaine - Läroämne – Subject Kemia			
Työn laji - Arbets art - Level Pro Gradu-tutkielma		Aika - Datum - Month and year 14.11.2005	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 74 (+ 5)
Tiivistelmä – Referat – Abstract Vetysidos on erittäin keskeinen kemiallinen käsite, jonka seurauksia havaitaan jokapäiväisessä elämässä. Esimerkiksi veden ominaisuudet perustuvat suurelta osin vetysidokseen. Myös ihmisen perimän DNA:n muoto syntyy vetysidosten välittämistä vuorovaikutuksista. Ilman vetysidosta ei tuntemamme maailmaa olisi olemassakaan. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan vetysidoksen opetusta ja oppimista lukion biologian ja kemian 1.-2. kursseilla. Tutkimuksen teoreettisessa viitekehyksessä käsitellään yleisesti oppimista ja opetusta, nykyistä lukion opetussuunnitelmaa, vetysidoksen kemiaa, aiempia tutkimuksia, mallintamista ja visualisointia. Tutkimuksessa kartoitetaan kemian ja biologian oppikirjojen välittämää kuvaa vetysidoksesta sekä etsitään menetelmiä vetysidoksen mielekkääseen opetukseen. Päättötutkimusongelmia on kaksi: (1) miten vetysidos esiintyy oppikirjoissa ja (2) minkälainen olisi hyvä vetysidoksen opetusmalli vetysidoksen opettamiseen. Ensimmäiseen tutkimusongelmaan etsitään vastauksia oppikirja-analyysillä, jossa kiinnitetään huomiota vetysidokäsitteeseen liittyvän teorian hyviin ja huonoihin puoliin sekä oppikirjojen visualisointiin. Myös opetushallituksen etälukion www-materiaalia analysoitiin. Oppikirja-analyysissä havaittiin, että eri oppikirjasarjoissa on eroja vetysidoksen käsittelytavoissa ja visualisoinnissa. Parhaissa oppikirjoissa käsitettä kuljetettiin johdonmukaisesti koko kemiallisten sidosten teorian läpi, kun taas toisissa vetysidos saattoi jäädä aivan irralliseksi ilmiöksi. Visualisoinnissa eroavaisuuksia oli erityisesti kuvien selkeydessä sekä siinä, miten hyvin ne tukivat varsinaista tekstiä. Oppikirja-analyysin sekä teoreettisen viitekehyksen pohjalta luotiin opetusmalli (2. tutkimusongelma), jonka avulla vetysidoksen oppimisesta ja opettamisesta pyritään saamaan mahdollisimman mielekäästä ja kiinnostavaa. Opetusmalli koostuu viidestä osiosta: teoriapohja, teorian kytkeminen käytäntöön, visualisointi, tutkiva oppiminen sekä kiinnostuksen ja innostuksen herättäminen/ylläpitäminen. Opetusmallissa on erityisesti korostettu monipuolisten työtapojen sekä innostavan ja tutkivan opetustyylin merkitystä. Tutkimuksessa havaittiin, että vaikka vetysidoksen tärkeys on tiedostettu (mm. opetussuunnitelma, yo-kokeet), sekä vetysidoksen opetuksessa että oppimateriaalissa on puutteita. Näihin voidaan vaikuttaa johdonmukaisella opetuksella, jossa hyödynnetään sekä perinteisiä että uusia opetusmenetelmiä (mm. molekyyli-mallinnus).			
Avainsanat – Nyckelord - Keywords Kemian ja biologian opetus, lukio, vetysidos, malli, oppiminen, kemia			
Säilytyspaikka - Förvaringsställe - Where deposited Helsingin Yliopisto, Kemian laitos, Kemian opetuksen keskus			

SISÄLLYSLUETTELO

JOHDANTO.....	1
2.TAUSTAA.....	3
2.1.TUTKIMUSKOHTEN VALINTA.....	3
2.2.OPPIMINEN.....	4
2.2.1.Tutkiva opettaja – tutkiva oppiminen	5
2.3.LUKION OPETUSSUUNNITELMA.....	7
2.3.1.Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003.....	7
2.3.2.Kemia.....	9
2.3.3.Biologia.....	10
2.3.4.Tavoitteet ja keskeiset käsitteet.....	11
2.4.OPPIKIRJAT OPPIMISEN JA OPETTAMISEN APUVÄLINEENÄ.....	14
2.5.KEMIAN SUOSIO OPPIAINEENA.....	16
3.VETYSIDOS.....	17
3.1.VETYSIDOKSEN HISTORIA.....	17
3.2.VETYSIDOKSEN RAKENNE.....	19
3.2.1.Klassinen vetysidos.....	19
3.2.2.Elektronegatiivisuus.....	20
3.2.3.Vetysidos.....	23
3.2.4.Vetysidos arkipäivän ilmiöissä.....	26
3.2.5.Uusia tutkimustuloksia vetysidoksen esiintymisestä.....	29
3.2.6.Vetysidos-ilmiöön liittyvät käsitteet.....	31
4.VETYSIDOKSEN OPPIMINEN JA OPETUS.....	32
5.VETYSIDOKSEN MALLINTAMINEN OPETUKSESSA.....	33
5.1.MALLIT JA MALLINTAMINEN.....	33
5.2.VISUALISOINTI.....	36
6.TUTKIMUSTAVOITE, TUTKIMUSONGELMAT JA TUTKIMUSMENETELMÄT.....	37
6.1.TUTKIMUSTAVOITE.....	37
6.2.TUTKIMUSONGELMAT.....	37
6.3.TUTKIMUSMENETELMÄT.....	38
6.3.1.Tulosten luotettavuus.....	38
7.TUTKIMUSTULOKSET.....	39
7.1.VETYSIDOS KEMIAN OPPIKIRJOISSA.....	40
7.1.1.Vetysidoksen visualisointi kemian oppikirjoissa.....	47
7.1.2.Analyysi.....	48
7.2.VETYSIDOS BIOLOGIAN OPPIKIRJOISSA.....	52
7.2.1.Vetysidoksen visualisointi biologian oppikirjoissa.....	54
7.2.2.Analyysi.....	55
7.3.VETYSIDOS ETÄLUKION VIRTUAALISELLA VERKKOKURSSILLA.....	57
7.3.1.Analyysi.....	58
7.4.OPETUSMALLI VETYSIDOKSEN OPPIMISEN TUEKSI.....	60
7.4.1.Teoriapohja.....	60
7.4.2.Teorian kytkeminen käytäntöön.....	61
7.4.3.Visualisointi ja mallintaminen.....	61
7.4.4.Tutkiva oppiminen.....	62
7.4.5.Kiinnostuksen ja innostuksen ylläpitäminen ja tukeminen.....	63
7.4.6.Biologian näkökulma.....	63
8.JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	65
8.1.OPPIKIRJA-ANALYYSI.....	65
8.1.1.Kemian oppikirjat.....	65
8.1.2.Biologian oppikirjat.....	66
8.1.3.Etälukio.....	66
8.1.4.Visualisointi.....	67
8.2.OPETUSMALLI.....	68

8.3.JATKOTUTKIMUS.....69

8.4.YHTEENVETO.....70

9.LÄHTEET.....71

10.LIITTEET.....74

Liiteluettelo:

LIITE 1: TUTKIMUKSEN OPPIKIRJAT.....	74
---	-----------

Kuvaluettelo:

KUVA 1. PALLOTIKKUMALLI GUANIININ JA SYTOSIININ MUODOSTAMASTA WATSON-CRICK EMÄSPARISTA, JOKA ON YKSI DNA:N RAKENNUSYKSIKÖISTÄ. KUVASSA HAPPI ON MERKITTY PUNAISELLA, TYPPI SINISELLÄ, HIILI TUMMANHARMAALLA JA VETY VAALEANHARMAALLA PALLOLLA.....	26
KUVA 2. GC EMÄSPARIN LASKENNALLINEN ELEKTRONITIHEYSKARTTA, JOKA ESITTÄÄ ELEKTRONITIHEYDEN MUUTOKSIA VETYSIDOKSISSA MOLEKYYLIEN VÄLILLÄ.....	27
KUVA 3. VEDEN RAKENNEKAAVA, LASKETUT OSITTAISVARAUKSET JA ELEKTRONIPILVIKUVAUS.....	28
KUVA 4. VETYSITOUTUNEET VESIMOLEKYYLIT.....	28
KUVA 5. VETYSIDOKSEN KÄSITEKARTTA.....	31
KUVA 6. VETYSIDOKSEEN LIITTYVIEN KUVIEN JA TAULUKOIDEN MÄÄRÄT KEMIAN OPPIKIRJOISSA.....	47
KUVA 7. VETYSIDOKSEEN LIITTYVIEN KUVIEN JA TAULUKOIDEN MÄÄRÄT BIOLOGIAN OPPIKIRJOISSA.....	54

Taulukkoluettelo:

TAULUKKO 1. KEMIAN JA BIOLOGIAN OPETUKSELLISET TAVOITTEET.....	11
TAULUKKO 2. KEMIAN JA BIOLOGIAN KURSSIEN KESKEISET TAVOITTEET.....	12
TAULUKKO 3. KEMIAN JA BIOLOGIAN KURSSIEN KESKEISET KÄSITTEET.....	13
TAULUKKO 4. PAULINGIN ELEKTRONEGATIIVISUUSARVOT (ZUMDAHL, 1997).....	21
TAULUKKO 5. VETYSIDOSTYYPIT (JEFFREY, 1997).....	25
TAULUKKO 6. VETYSIDOKSEN MÄÄRITELMÄT KEMIAN OPPIKIRJOISSA.....	40
TAULUKKO 7. VETYSIDOS KEMIAN 1. KURSSIN OPPIKIRJOISSA.....	43
TAULUKKO 8. VETYSIDOS KEMIAN 2. KURSSIN OPPIKIRJOISSA.....	46
TAULUKKO 9. VEDEN KÄSITTELY ERI OPPIKIRJOISSA.....	50
TAULUKKO 10: KEMIAN OPPIKIRJOISSA ESIINTYVÄT ARKIPÄIVÄN ESIMERKIT.....	51

Johdanto

"Jos oppilaat menettävät kykynsä ihmetellä asioita, he turvautuvat pelkkään tietoon. Jos he eivät kykene luottamaan itseensä he turvautuvat auktoriteetteihin ... Koska viisas opettaja pysyttelee taka-alalla, oppilaat pystyvät ajattelemaan selkeästi. Hän opettaa ilman tiukkoja sääntöjä ja käsityksiä. Tämä innostaa oppilaita säilyttämään luontaisen kykynsä ihmetellä asioita." (Metz, 2000)

Kemia kokeellisena luonnontieteenä tarvitsee oppijoita, joilla on luontainen kyky ihmetellä asioita, pohtia lukuisia luonnon ja arjen ilmiöitä sekä halu ratkoa ongelmia. Tässä tutkimuksessa pyritään löytämään vetysidoksen oppimiseen innoittavia tekijöitä. Tämän innon synnyttämiseen ja ylläpitämiseen vaikuttavia tekijöitä ovat erityisesti opettaja, oppimisympäristö sekä opetusmateriaali. Tärkeimpinä osina tätä tutkimusta ovat 1) oppikirja-analyysi: miten vetysidos esiintyy kemian ja biologian oppikirjoissa lukion ensimmäisellä ja toisella kurssilla ja 2) opetusmalli: miten vetysidos voidaan opettaa tehokkaasti ja motivoivasti.

Tutkimus heijastelee myös opettajan merkitystä, jonka tulisi tiedonvälittäjän sijasta olla ensisijaisesti oppilaan oppimisen ohjaaja, tukija ja auttaja. Opettajan tulisi myös pohtia, miten toimia, jotta oppilailla olisi mahdollisuus opiskella parhaalla mahdollisella tavalla, ja miten toteuttaa opetustaan siten, että se palvelee tiedon rakentumista ja ymmärtävää oppimista ympäröivästä maailmasta. (Aho, 1997) Opettajan tehtävänä olisi siis löytää keinot, jotka edistävät, auttavat ja tukevat oppilasta hänen tiedonrakentumisprosessissaan. Tutkimuksessa perehdytään keinoihin, joilla vetysidoksen oppiminen helpottuisi ja sen merkitys kemian ymmärtämisen perustana selkiytyisi. Lisäksi pohditaan opettajan merkitystä oppimisprosessissa: *"Viisas opettaja ei yritä väkisin vaikuttaa oppilaisiinsa, vaan tyytyy toimimaan esimerkkinä. Hän ilmaisee selkeästi kantansa, mutta ei tyrkytä näkemyksiään. Hän on suoraselkäinen, mutta osaa myös joustaa"* (Metz, 2000)

Opetus ei ole pelkkää opetustekniikkaa tai oppilaiden itsenäistä opiskelua, vaan se on inhimillistä vuorovaikutusta ja kasvatusta, joka vaikuttaa koko ihmiseen. Esimerkiksi pelottelu tai rutiinopetus voivat tuhota opiskelumotivaation, kun taas hyvä opetus auttaa oppimaan ja antaa uskoa oppilaan omiin kykyihin. Eri opetusmuodoilla on erilaiset tavoitteet, eikä ole yhtä tapaa opettaa, joka sopisi parhaiten kaikille oppilaille ja kaikkiin tilanteisiin. (Uusikylä & Atjonen, 1999)

Myös oppimisympäristöllä on merkittävä vaikutus oppimiseen. Jo luokkahuone sellaisenaan vaikuttaa: Joudutaanko kemian tunti pitämään äidinkielen luokassa vai onko käytössä asianmukaisesti varustettu varsinainen kemian luokka. Oppimisympäristöön lukeutuvat myös opettaja ja oppilaat. Jokainen oppilas on erilainen oppija; motivoitunut, orientoitunut, sulkeutunut. Ja jokainen opettaja on erilainen opettaja; keskusteleva, autoritäärinen, epävarma, asiansa osaava. Kaikki nämä huomioon ottaen pitäisi luoda mahdollisimman terve oppimisympäristö, jossa oppilaalla olisi mahdollisuus oppia, innostua ja kiinnostua, syventää ja soveltaa omia tietojaan ja taitojaan.

Kuten jo edellä mainittiin, oppikirjoilla on suuri merkitys opettamiseen ja oppimiseen. Jos opettaja pääsääntöisesti tukeutuu oppikirjoihin opetuksessaan, on niiden sisältöihin ja asioiden oikeellisuuteen kiinnitettävä erityistä huomiota. Tutkimuksen yhtenä tavoitteena on löytää oppikirja-analyysin avulla niin hyvät kuin huonot puolet vetysidoksen opetuksessa ja etsiä näihin epäkohtiin parannusehdotuksia. Erityisesti visualisointiin kiinnitetään huomiota: miten ja kuinka paljon vetysidosta visualisoidaan kirjoissa. Myös muiden seikkojen, kuten molekyyli mallien käytön ja tietokoneavusteisen mallintamisen, vaikutusta vetysidoksen oppimiseen pohditaan. Tutkimus koostuu teoreettisesta viitekehyksestä, oppikirja-analyysistä ja opetusmallista vetysidoksen opettamisen ja oppimisen tueksi. Viitekehykseen on kerätty aineistoa uudesta opetussuunnitelmasta, konstruktivistisesta oppimiskäsityksestä sekä yleisesti oppikirjoista oppimisen tukena. Vetysidoksen kemiaan on sisällytetty lyhyt katsaus historiaa, vetysidoksen klassinen määritelmä, tyypillisimpiä arkipäivän kytköksiä sekä vetysidostutkimuksen uusia tuulia. Lisäksi käsitellään vetysidoksen oppimista aiempien tutkimusten valossa sekä sen mallintamista ja visualisointia. Huomioitavaa on, ettei tämän tutkimuksen oppikirja-analyysin tarkoituksena ole asettaa oppikirjoja paremmuusjärjestykseen, vaan tutkia, miten vetysidos-ilmiötä käsitellään eri oppikirjoissa.

Käsitteiden oppimisen helpottuminen sekä se, että opettaja oppii liittämään teoreettiset asiat arkipäivään ja tuomaan esiin, mitä hyötyä kemiasta on oppilaalle tulevaisuudessa, luovat pohjaa kemian innostavuuden ja kiinnostavuuden lisääntymiselle. Tähän vaikuttaa myös se, että opettajat oivaltavat, miten kemian osaamista voidaan soveltaa lukio-opetuksessa integroimalla eri opetusaineiden sisältöjä.

2. Taustaa

2.1. Tutkimuskohteen valinta

Tutkimuskohteeksi valittiin vetysidoksen oppiminen ja opetus lukioissa, sillä vetysidos on erittäin keskeinen kemiallinen käsite, jonka seurauksia havaitaan jokapäiväisessä elämässä. Voisi sanoa jopa, että ilman vetysidosta ei tuntemaamme maailmaa olisi olemassakaan, sillä esimerkiksi veden ominaisuudet perustuvat suurelta osin vetysidoksena tunnettuun kemialliseen vuorovaikutusmaailmaan. Myös ihmisen perimän DNA:n kaksoiskiertainen muoto syntyy vetysidosten välittämistä vuorovaikutuksista, jotka ohjaavat DNA:n molekyyliarakenteen muodostumista. Vetysidoksen ja sen muodostavien fysikaalisten voimien ymmärtämistä tarvitaan niin kemian hallinnassa kuin biologisten makromolekyylien ominaisuuksien ymmärtämisessä. Vetysidoksella, kuten kemiallisten sidosten muodostumisen periaatteilla yleensäkin, on myös tärkeä merkitys kemian teknologian kehityksessä ja kehittämisessä. Tämä liittyy läheisesti luonnontieteen yleissivistykseen, jonka antaminen oppilaille on määritelty yhdeksi lukion tavoitteeksi uudessa opetussuunnitelmassakin (vrt. Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003).

Se, kuuluuko vetysidos lukiolaisen sivistystasoon, riippuu paljolti siitä, miten opettajat painottavat eri kemian osa-alueita. Ylioppilaslautakunta on usein kysynyt vetysidokseen liittyviä kysymyksiä ylioppilaskirjoituksissa ja näin viitannut vetysidoksen merkitykseen. Vastausten vähyys ja virheellisyys antavat kuitenkin viitteitä asian vaikeudesta. Koska kyse on vaikean ja tärkeän käsitteen oppimisesta, opetuksen määrään ja laatuun tulisi kiinnittää erityistä huomiota.

2.2.Oppiminen

"Olipa ympäristö ja siinä toteutettu opetus millaista tahansa, oppiminen on kuitenkin aina oppilaan oman aktiivisen toiminnan tulosta, riippuvaista hänen aiemmista tiedoistaan, motivaatiostaan ja monesta muusta oppilaaseen itseensä liittyvästä tekijästä." (Aho, 1997)

Nykyinen opetussuunnitelma perustuu konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen, jonka mukaan oppiminen ei ole tiedon passiivista vastaanottamista, vaan oppijan aktiivista kognitiivista toimintaa, jossa hän tulkitsee havaintojaan ja uutta tietoa aikaisemman tietonsa ja kokemustensa pohjalta (Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003). Tällä tavalla oppija rakentaa jatkuvasti kuvaansa maailmasta ja sen ilmiöistä. Oppija ei ole siis tyhjä astia, joka täytetään tiedolla, vaan aktiivisesti merkityksiä etsivä ja niitä rakentava toimija (Tynjälä, 1999). Oppimisen ymmärretään tapahtuvan oppijan omana aktiivisena konstruktiona ja siksi tehokas oppiminen vaatii oppilaan aktiivista panosta (Ahtee & Pehkonen, 2000).

Silloin, kun opetustapahtuma ymmärretään tiedon siirtämiseksi, oppiminen voidaan nähdä tiedon kopioimisena. Opettajan ja oppimateriaalin tehtävänä on tällöin välittää tieto mahdollisimman selkeästi, jotta oppija voisi omaksua sen juuri siinä muodossa kuin se on esitetty. Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan näin ei kuitenkaan koskaan tapahdu todellisessa elämässä, vaan oppija rakentaa itse oman merkityksensä asiasta. Tämä merkitys on samankaltainen, muttei kopio, merkityksestä, jonka opettaja tai oppikirja on hänelle välittänyt. (Tynjälä, 1999)

Tiedon konstruointiprosessi on näin muuntamis- eikä kopiointiprosessi. Ihmiset pitävät toisia asioita tärkeämpinä kuin toisia ja valikoivat tärkeimmät asiat edelleen muistettaviksi. Lisäksi ihmiset tekevät myös päätelmiä siitä, mitkä asiat kuuluvat yhteen ja tällä tavoin yhdistelemällä asioita toisiinsa he voivat samalla vähentää opeteltavien tai muistettavien asioiden määrää. Konstruktivistisessa oppimiskäsityksessä on keskeistä nimenomaan merkitysten rakentaminen, mutta se edellyttää ymmärtämistä eikä puhdasta ulkolukua, jotta siitä olisi hyötyä elämässämme. (Tynjälä, 1999)

Opetuksessa tulee ottaa huomioon, että vaikka oppimisen yleiset periaatteet ovat kaikilla samat, se mitä opitaan, riippuu yksilön oppimistyylistä, aikaisemmasta

tiedosta ja hänen käyttämistään opiskelustrategioista. Tulee myös ottaa huomioon, että oppiminen on tilannesidonnaista, mikä saattaa vaikeuttaa koulussa opitun soveltamista koulun ulkopuolella. (Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003)

Uuden oppimisen perustana on oppijan aikaisemmat tiedot. Oppijan arkikäsitukseen perustuvat käsitykset asioista voivat kuitenkin olla ristiriidassa tieteellisen tiedon kanssa, jota kouluopetuksessa käsitellään. Näiden käsitysten tiedostaminen ja käsittely auttaa opettajaa ymmärtämään oppilaidensa ajattelua ja toisaalta edistää oppilaiden oppimisprosessia. Oppilaan muodostamat omat käsitykset ympärillään olevista ja oppimisestaan asioista voivat siis olla luonnontieteen kannalta kovin hataria. Tähän maailmankuvaan opettaja tuo palasia tieteellisestä maailmankuvasta. (Ahtee & Pehkonen, 2000)

Konstruktivismiin pohjautuva pedagogiikka korostaa muun muassa ilmiöiden ja ilmiökokonaisuuksien ymmärtämistä, oppijan aktiivisuutta, metakognitiivisten taitojen merkitystä (omaan oppimiseen ja sen säätelyyn kohdistuvaa toimintaa) ja oppimisen tilannesidonnaisuutta. Konstruktivismista seuraa edelleen ajatus, että faktatkin opitaan parhaiten silloin, kun ne kytketään oppilaiden aikaisempaan tietoon, laajempiin mielekkäisiin kokonaisuuksiin ja aitoihin todellisen elämän tilanteisiin. Edellä mainitut asiat edellyttävät asioiden syvällistä ja oppijakeskeistä käsittelyä sen sijaan, että vain käytäisiin läpi tietyt sisällöt. (Tynjälä, 1999)

Jotta oppilas omaksuu ja ymmärtää opetettavan asian, on tieteellisiä käsitteitä liitettävä käytännön esimerkkeihin, jolloin oppilaan täytyy samanaikaisesti sovittaa omat arkikäsitöksensä koulussa opittuun tietoon. Oppiminen luonnontieteissä voidaankin nähdä oppilaiden mentaalimallien muuttumisena kohti hyväksytyjä tieteellisiä malleja. (Saari, 2000) Näin vetysidoksenkin opetuksessa tulisi liittää tieteellinen abstrakti käsite arkipäivän ilmiöihin (mm. vesi ja jää) ja samalla ohjata oppilaiden mentaalimallien muuttumista kohti hyväksytyjä tieteellisiä malleja. Näiden arkipäivän esimerkkien löytyminen oppikirjoista olisi tärkeää ja siksi oppikirja-analyysissä tullaan kiinnittämään huomiota myös siihen, mitä arkipäivän esimerkkejä niissä esiintyi.

2.2.1. Tutkiva opettaja – tutkiva oppiminen

Konstruktivistinen oppimiskäsitys kouluissamme antaa tukea tutkivalle opettajuudelle ja oppimiselle. Tutkiva opettaja –näkökulmalle on ominaista, että tietoa ei nähdä

staattisena ja pysyvänä, vaan nähdään, että tieto on problemaattista ja muuttuvaa. Tutkivan opettajuuden ja oppimisen pyrkimyksenä on luoda kriittistä tarkastelua eli asioiden analyysiä, kyseenalaistamista ja sen pohjalta uuden tiedon luomista omaa ajattelua hyödyntäen. Tutkivassa opettamisessa ja oppimisessa tiedon halutaan siis perustuvan omakohtaiseen ymmärrykseen. Tärkeää on, mitä tiedän ja miksi tiedän enemmänkin kuin mitä tulee tietää ja mitä toiset haluavat minun tietävän. (Niikko, 2001)

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen myötä opettajan ja oppilaiden suhteessa on tapahtunut ratkaisevia muutoksia. Aiemmin vuorovaikutus on ollut pääosin opettajalta oppilaille, kun se nykyään on molemminpuolista ja jopa opettaja voi oppia oppilailtaan. Opettajan ei odoteta olevan vain tiedon välittäjä tai oppimisprosessin ohjaaja, vaan erilaisten oppimisympäristöjen rakentaja. Tutkivan opettajan tulisi lähestyä työtään kysymyksiä asettaen ja ongelmia ratkoen. Opettaja joutuu yhä enemmän kiinnittämään huomiota opettamisen ohella omaan ja oppilaiden oppimiseen ja hänen tulee olla selvillä erilaisten oppilaiden yksilöllisistä oppimistarpeista, sillä opettaminen ja oppiminen eivät tapahdu vain yhdellä tietyllä tavalla. (Niikko, 2001)

2.3.Lukion opetussuunnitelma

Kemiassa, kuten muissakin luonnontieteissä, tiedon määrä kasvaa nopeasti ympäröivän yhteiskunnan muuttuessa (edellinen uudistus vuodelta 1994), joten tarve päivittää opetussuunnitelman sisältöjä on ollut ilmeinen. Tähän kappaleeseen onkin koottu opetushallituksen johtokunnan hyväksymän (15.8.2003) uuden nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteiden yleisiä linjauksia sekä kemiallisiin sidoksiin viittaavat kohdat kemian ja biologian kursseista 1 ja 2. Nämä uusien opetussuunnitelman perusteiden mukaiset paikalliset opetussuunnitelmat otettiin käyttöön 1.8.2005 lukion aloittavilla opiskelijoilla. (Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003)

2.3.1. Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003

Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman (2003) mukaan lukiokoulutuksen tehtävänä on antaa laaja-alainen yleissivistys ja valmiuksia vastata yhteiskunnan ja ympäristön haasteisiin sekä taitoa tarkastella asioita eri näkökulmista. Lukiokoulutuksen tulisi myös kannustaa opiskelijaa elinikäiseen oppimiseen ja itsensä jatkuvaan kehittämiseen. Opiskelija ymmärretään oman oppimisensa, osaamisensa ja maailmankuvansa rakentajaksi. Opetuksessa tulee ottaa huomioon, että ihminen havainnoi ja jäsentää todellisuutta kaikkien aistiensa kautta. Kasvatustyössä puolestaan korostetaan yhteistyötä, kannustavaa vuorovaikutusta ja rehellisyyttä. (Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003)

Uusin opetussuunnitelma (2003) pohjautuu oppimiskäsitykseen, jonka mukaan oppiminen on seurausta opiskelijan aktiivisesta ja tavoitteellisesta toiminnasta, jossa hän vuorovaikutuksessa muiden opiskelijoiden kanssa ja aiempien tietorakenteidensa pohjalta käsittelee ja tulkitsee vastaanottamaansa informaatiota. Opetuksessa tulee ottaa huomioon myös, että vaikka oppimisen yleiset periaatteet ovat kaikilla samat, se mitä opitaan, riippuu yksilön aikaisemmasta tiedosta ja hänen käyttämistään strategioista. Oppiminen on sidoksissa siihen toimintaan, tilanteeseen ja kulttuuriin, jossa se tapahtuu. Yhdessä tilanteessa opittu tieto tai taito ei automaattisesti siirry käytettäväksi toisenlaisessa tilanteessa.

Lukion tulisi siis luoda sellaisia opiskeluympäristöjä, joissa opiskelijat voivat asettaa omia tavoitteitaan ja oppia työskentelemään itsenäisesti ja yhteistoiminnallisesti erilaisissa ryhmissä ja verkostoissa. Heille tulee antaa tilaisuuksia kokeilla ja löytää omalle oppimistyylilleen sopivia työskentelymuotoja. Opetuksessa tulee ottaa huomioon myös se, että opiskelijat tarvitsevat opettajaa eri tavoin opiskelunsa ohjaajana ja näin ollen opetus- ja opiskelumuotojen tulisi olla monipuolisia.

Opetussuunnitelman (2003) opetuksen yleisiksi tavoitteiksi on edelleen mainittu, että tieto- ja viestintätekniikan monipuolisiin käyttötaitoihin tulee kiinnittää huomiota. Myös opiskelijan tietoisuutta ihmisten toiminnan vaikutuksesta maailman tilaan tulee kehittää. Aihekokonaisuudet ovat yhteiskunnallisesti merkittäviä kasvatus- ja koulutushaasteita. Samalla ne ovat ajankohtaisia arvokannanottoja. Käytännössä aihekokonaisuudet ovat lukion toimintakulttuuria jäsentäviä periaatteita ja oppiainerajat ylittäviä, opetusta eheyttäviä painotuksia. Kaikille lukioille yhteisiä aihekokonaisuuksia ovat mm. kestävä kehitys, viestintä ja mediaosaaminen. Kestävän kehityksen päämääränä on kannustaa opiskelijoita kestäväan elämäntapaan ja toimintaan, jotta nykyisille ja tuleville sukupolville taataan hyvät elämisen mahdollisuudet. Viestintä ja mediaosaaminen puolestaan ovat hyvin keskeisessä asemassa kulttuurissamme. Tavoitteena on, että opiskelija tottuu käyttämään mediaa opiskelun välineenä ja opiskeluympäristönä. (Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003)

Opetussuunnitelma ilmentää aikansa koulutuspoliittisia tavoitteita. Tarkoituksena on, että opettajat sen pohjalta ohjaavat oppilaiden oppimista ja kasvamista. Kirjoitetun ja luokassa toimeenpannun opetussuunnitelman välillä voi kuitenkin olla merkittävä ero. (Ahtee, 2003)

2.3.2. Kemia

Kemian opetuksen tarkoituksena on tukea opiskelijan luonnontieteellisen ajattelun ja nykyaikaisen maailmankuvan kehittymistä osana monipuolista yleissivistystä. Opetus välittää kuvaa kemiasta yhtenä keskeisenä perusluonnontieteenä, joka tutkii ja kehittää materiaaleja, tuotteita, menetelmiä ja prosesseja kestäväen kehityksen edistämiseksi. Opetus auttaa ymmärtämään jokapäiväistä elämää, luontoa ja teknologiaa sekä kemian merkitystä ihmisen ja luonnon hyvinvoinnille tutkimalla aineita, niiden rakenteita ja ominaisuuksia sekä aineiden välisiä reaktioita.

Kemian opetukselle on luonteenomaista 1) kemiallisten ilmiöiden ja aineiden ominaisuuksien havaitseminen ja kokeellinen tutkiminen, 2) ilmiöiden tulkitseminen ja selittäminen mallien ja rakenteiden avulla, 3) ilmiöiden kuvaaminen kemian merkkikielellä sekä 4) ilmiöiden mallintaminen ja matemaattinen käsittely. Monipuolisin työtavoin ja arviointimenetelmin opiskelijoita ohjataan kemian tietojen ja taitojen sekä oppilaan oman persoonallisuuden kaikkien osa-alueiden kehittämiseen. Kemian opetuksen toteutuksessa otetaan huomioon opiskelijoiden opiskeluvalmiudet ja luodaan myönteinen kuva kemialla sekä sen opiskelua kohtaan.

Kemian kurssin tarkoituksena on antaa se kemiallinen yleissivistys, jolle muiden aineiden opiskelu lukiossa ja lukion jälkeen voi pohjautua. Ainoan pakollisen kurssin aikana tulisi myös luoda perustaa lukion syventävien kurssien opiskeluun. Lisäksi tämän kurssin opetuksen tulisi innostaa oppilaita syventävien opintojen valintaan. (Montonen, 2003)

2.3.3. Biologia

Biologia on luonnontiede, joka tutkii elollisen luonnon rakennetta, toimintaa ja vuorovaikutussuhteita molekyyli- ja solutasolta biosfääriin. Tieteenä biologialle on ominaista havainnointiin ja kokeellisuuteen perustuva tiedonhankinta. Biotieteet ovat nopeasti kehittyviä tiedonaloja, joiden sovelluksia hyödynnetään laajasti yhteiskunnassa. Biologia tuo esille uutta tietoa elollisen luonnon monimuotoisuudesta ja kestävän kehityksen edistämisestä.

Biologian opetuksen tarkoituksena on, että opiskelija ymmärtää toimivan eliömaailman rakenteen ja kehityksen, ihmisen osaksi eliömaailmaa sekä ihmisen toiminnan merkityksen ympäristössä. Lukion biologian tulee myös luoda perusta ymmärtää biotieteiden tarjoamia mahdollisuuksia edistää ihmiskunnan, muun eliökunnan ja elinympäristöjen hyvinvointia. Opetus kehittää opiskelijan luonnontieteellistä ajattelua, herättää kiinnostusta biotieteisiin sekä edistää opiskelijan luonnon monimuotoisuutta säilyttävää ja ympäristövastuullista käyttäytymistä.

2.3.4. Tavoitteet ja keskeiset käsitteet

Taulukko 1. Kemian ja biologian opetukselliset tavoitteet.¹

Kemia	Biologia
- osaa kemian keskeisimmät peruskäsitteet ja tietää kemian yhteyksiä <i>jokapäiväisen elämän</i> ilmiöihin sekä ihmisen ja luonnon hyvinvointiin - osaa kokeellisen työskentelyn ja muun aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsiä ja käsitellä tietoa <i>elämän ja ympäristön kannalta tärkeitä kemiallisista ilmiöistä ja aineiden ominaisuuksista</i> sekä arvioida tiedon luotettavuutta ja merkitystä - perehtyy tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksiin tiedonhankinnan ja <i>mallintamisen</i> välineinä - saa kokemuksia, jotka herättävät ja syventävät kiinnostusta kemiaa ja sen opiskelua kohtaan.	- hallitsee biologian keskeiset käsitteet - tunnistaa elämän tuntomerkit ja osaa jäsentää <i>elämän ilmiöt</i> sekä biologian eri organisaatiotasot <i>molekyyylitasolta</i> biosfääriin - ymmärtää <i>perimän</i> ja evoluution merkityksen eliökunnan kehityksessä - perehtyy biologisen tiedonhankinnan ja tutkimuksen menetelmiin sekä osaa arvioida kriittisesti eri lähteistä saamaansa biologista tietoa - tuntee biotieteiden, esimerkiksi bioteknologian ja <i>lääketieteen sovelluksia</i> - tuntee <i>ihmiselimistön toiminnan</i> peruspiirteet - ymmärtää <i>perimän</i> ja ympäristötekijöiden merkityksen terveyden taustana sekä yksilön että ihmiskunnan kannalta - tiedostaa <i>kestävän kehityksen</i> välttämättömyyden ja ymmärtää oman vastuunsa ekosysteemien tulevaisuudesta.

Kemian opetuksellisissa tavoitteissa tulee esiin yhteydet jokapäiväiseen elämään eli arkipäivän esimerkit, mallintaminen sekä kemian kiinnostuksen lisääminen. Biologiassa puolestaan painotetaan elämän ilmiöiden tuntemista molekyylitasolta lähtien ja perimän merkitystä, joihin molempiin tarvitaan vetysidoksen tuntemusta käsitteenä ja ilmiönä.

¹ Vetysidokseen liittyvät kohdat on kursivoitu

Taulukko 2. Kemian ja biologian kurssien keskeiset tavoitteet.²

	Kemia	Biologia
K u r s s i 1	• saa kuvan kemiasta, sen mahdollisuuksista ja merkityksestä • syventää aiemmin opittujen kemian perusteiden ymmärtämistä kurssilla käsiteltävien asioiden yhteydessä • osaa orgaanisten yhdisteiden rakenteita, niiden ominaisuuksia ja reaktioita sekä ymmärtää niiden merkityksen ihmiselle ja elinympäristölle	• tuntee <i>elämän tunnusmerkit ja perusedellytykset</i> sekä tietää, miten elämän ilmiöitä tutkitaan • ymmärtää, mitä luonnon monimuotoisuus biosysteemien eri tasoilla tarkoittaa • osaa jäsentää nykyisen eliökunnan rakenteen ja tulkita sen kehitystä
K u r s s i 2	• tuntee <i>aineen rakenteen ja ominaisuuksien välisiä yhteyksiä</i> • osaa käyttää aineen ominaisuuksien päättelyssä erilaisia kemian malleja, taulukoita ja järjestelmiä • osaa tutkia kokeellisesti ja erilaisia malleja käyttäen aineiden rakenteeseen, ominaisuuksiin ja reaktioihin liittyviä ilmiöitä.	• ymmärtää <i>solun merkityksen elämän perusyksikkönä</i> • osaa <i>solun kemiallisen rakenteen ja toiminnan</i> sekä osaa kytkeä ne yksilön toimintaan • hallitsee <i>solun energiatalouden</i> prosessit ja niiden merkityksen • tuntee <i>geneettisen informaation rakenteen</i> sekä sen siirtymisen solusta soluun ja sukupolvelta toiselle • tietää, miten <i>geenit</i> ohjaavat solun toimintaa

Vetysidokseen liittyviä kemian tavoitteita ovat orgaanisten yhdisteiden rakenteiden osaaminen, aineen rakenteen ja ominaisuuksien välisten yhteyksien tunteminen, ominaisuuksien päätteleminen käyttäen erilaisia kemian malleja sekä aineiden rakenteisiin, ominaisuuksiin ja reaktioihin liittyvien ilmiöiden tutkiminen erilaisia malleja käyttäen. Biologiassa vetysidos tulee esiin elämän tunnusmerkeissä, solun rakenteessa ja toiminnassa sekä perimän ja geenien kohdalla.

² Vetysidokseen liittyvät kohdat on kursivoitu

Taulukko 3. Kemian ja biologian kurssien keskeiset käsitteet.³

	Kemia	Biologia
K u r s s i 1	• orgaanisia yhdisteryhmiä kuten hiilivetyjä, orgaanisia <i>happiyhdisteitä</i>, orgaanisia <i>typpiyhdisteitä</i> sekä niiden ominaisuuksia ja sovelluksia • orgaanisissa yhdisteissä esiintyvät <i>sidokset sekä poolisuus</i>	• Biologia tieteenä: <i>elämän</i> ominaisuudet ja <i>perusedellytykset</i> • Luonnon monimuotoisuuden ilmeneminen: geneettinen monimuotoisuus • <i>Miten luonto toimii?</i>
K u r s s i 2	• alkuaineiden ominaisuudet ja jaksollinen järjestelmä • elektroniverhon rakenne ja atomiorbitaalit • <i>kemiallinen sidos, sidosenergia ja aineen ominaisuudet</i> • atomiorbitaalien hybridisoituminen ja orgaanisten yhdisteiden sidos- ja avaruusrakenne	• Solu elämän perusyksikkönä • Solun energiatalous: energian sitominen ja vapauttaminen • Solujen toiminnan ohjaaminen: <i>DNA:n rakenne ja toiminta, proteiinisynteesi</i>

Kemiassa keskeisiä käsitteitä ovat sidokset, joista biologiassa viitataan vetysidokseen elämän perusedellytyksien kohdalla (mm. vesi) sekä DNA:n rakenteessa ja toiminnassa. Molemmissa aineissa tarvitaan atomitason osaamista. Varsinkin biologiassa DNA:n ymmärtäminen helpottuu atomitason käsittelyllä. Selkeintä ehkä olisi, että kemiassa perehdyttäisiin atomitasoon ja biologiassa makrotasoon. Tämä ei kuitenkaan aina ole välttämättä mahdollista, sillä esimerkiksi biologiassa tarvittava atomitason selitys voi tulla kemiassa esiin vasta myöhemmin. Biologian kursseilla atomitasolle ei voida mennä kovin syvälle, mutta asioiden, kuten vetysidoksen, esiintyminen kohdissa, joissa sillä on oleellista merkitystä, tukee asioiden ymmärtämistä sekä myös kemian oppimista ja opetusta.

³ Vetysidokseen liittyvät kohdat on kursivoitu

2.4.Oppikirjat oppimisen ja opettamisen apuvälineenä

Oppikirjat ovat oppimateriaalia, joiden avulla voidaan tukea ja konkretisoida opetussuunnitelman toteutumista käytännössä. Oppikirjat ovat edelleen pitäneet pintansa opetusmateriaalina, vaikka esimerkiksi tietotekniikka on kehittynyt voimakkaasti viime aikoina. Oppimateriaalin perustehtävä on oppimisen virittäminen ja tukeminen. Hyvä oppimateriaali asettaa kysymyksiä ja houkuttelee etsimään vastauksia.

Tutkimukset (Uusikylä & Atjonen, 1999) ovat osoittaneet, että opettajat ovat varsin oppimateriaalisidonnaisia: oppituntiopetus tukeutuu suurelta osin työ- ja oppikirjoihin, opetusmonisteisiin tai muuhun kirjalliseen aineistoon. Olisi kuitenkin muistettava, ettei opetuksessa käytettävä oppikirja sido opettajaa millään tavalla, ellei hän itse sitoudu siihen. Vertauskuvallisesti oppikirja on opettajan lapio eli hyvä apu, muttei määrää, mihin tai miten oja kaivetaan ja millainen siitä tehdään (Ahtee & Pehkonen, 2000). Toki oppikirjat ovat erinomainen apu opettamisessa ja opettajan oppaat hyviä ideoiden ja miksei valmiiden tehtävienkin antajia. Varsinkin, jos oma kokemus ja kertynyt aineisto on vielä rajallista, on helpottavaa tukeutua valmiiksi suunniteltuun tunnin runkoon. Tunteja ei kuitenkaan saisi toteuttaa pelkästään valmiin materiaalin ja aina saman kaavan mukaan, sillä se tyrehtyttää oppilaiden opiskeluinnotta ja motivaatiota. Opettaja joutuu siis pohtimaan oppimisen tavoitteita ja arvioimaan niiden edistämiseen sopivia sisältöjä. Edelleen pitää ideoida oppilaiden edellytykset huomioonottavia oppimistehtäviä ja lopuksi arvioida niiden onnistuneisuutta. (Uusikylä & Atjonen, 1999) Opettajia tulisi rohkaista oppikirjojen ohella käyttämään hyödyksi molekyyli mallinnuksen mahdollisuuksia, sillä molekyyli mallinnus on tuonut aivan uusia ulottuvuuksia mm. kemiallisten sidosten opetukseen ja oppimiseen. Mallien avulla voidaan visualisoida abstraktejakin asioita paljon paremmin kuin oppikirjojen kuvilla.

Kouluhallitus tarkasti vielä 1980-luvulla kaikki oppikirjat. Kontrollista on kuitenkin luovuttu ja oppikirjojen tekijöiden ohjeena toimii nykyisin opetussuunnitelma. Oppikirjasarjoja onkin monia ja valinta niiden kesken voi olla vaikeaa. Kirjavalinnat edellyttävät opettajilta hyvää asiantuntemusta etenkin, kun hankintoihin käytettävät varat ovat yleensä niukat. (Uusikylä & Atjonen, 1999)

Kuten johdannossa todettiin, opetusmateriaalilla on merkittävä osuus oppimisessa. Virikkeellinen, pohdiskeleva, johdonmukaisesti etenevä ja asiat selkeästi selittävä

oppikirja edesauttaa myös oppimista ja innostaa oppilaita kemian opiskelun pariin. Sen sijaan oppikirja, jossa on vain tieteellistä tietoa, kuvia kuvien takia ja ulkoa oppimista edistäviä tehtäviä, ei innoita syventämään ja soveltamaan tietoja.

Helsingin yliopiston soveltavan kasvatustieteen laitoksen GISEL-hankkeen (*Gender Issues, Science Education and Learning*) tutkimustuloksien mukaan oppilaat haluavat käyttää oppitunnilla oppikirjoja tiedon lähteenä vähemmän ja lisätä muita tiedon käsittelyä tukevia työtapoja. Tutkimuksen perusteella havaittiin, että vain työtapojen monipuolisella käytöllä voidaan motivoida oppilaita opiskelemaan tai herättää heidän kiinnostuksensa opiskella fysiikkaa ja kemiaa. (Lavonen ym., 2005) Vetysidoksen opetuksessakin tulisi ennakoluulottomasti toteuttaa eri työtapoja. Mallintamisen ja internetin tiedonhakukäytön lisäksi ryhmätyöskentely, keskustelu (esim. aiemmat käsitykset, virhe käsitykset) ja käsitekartan tekeminen ovat mielekkäitä työtapoja vetysidoksen oppimiseen.

2.5.Kemian suosio oppiaineena

Tutkimusten mukaan (mm. Pohjakallio & Vornamo, 2003) kemia ei ole kovinkaan suosittu koulumaailmassa. Esimerkiksi ylioppilaskirjoituksissa reaaliaineista kemia on vähiten vastattu. Alhainen suosio on melko yllättävää, sillä esimerkiksi nuorten kiinnostuksen kohteina olevissa hyvinvointi- ja ympäristöasioissa kemia on avainasemassa. (Pohjakallio & Vornamo, 2003)

Kemian kiinnostamattomuuteen on lukuisia eri syitä, yhtenä keskeisenä syynä on itse oppiaine, siinä käsiteltävät asiat ja tavat, joilla asia käsitellään. Oppilaiden kiinnostuksella ja asenteella on yhteys oppilaiden motivaatioon opiskella ja oppia oppiainetta sekä siihen, kuinka he luottavat omiin kykyihinsä. Oppilaiden kiinnostuksen herättäminen kemiaa kohtaan on koettu niin keskeiseksi päämääräksi, että se on asetettu kansallisessa ja koulun opetussuunnitelmissa yhdeksi opetuksen tavoitteista (Lavonen ym., 2005). Nykyisen opetussuunnitelman ohjaus tutkivan oppimisen (kts. kappale 2.2.1) suuntaan edesauttaa myöskin kemian suosion nousua ja kemian kiinnostavuutta sekä innostavuutta. Tosin tämän voi odottaa tapahtuvan vasta pienellä viiveellä.

Kemian aseman parantamiseksi ei ole olemassa mitään nopeasti vaikuttavaa ja kestävää keinoa. Kemiasta kiinnostuneiden opiskelijoiden määrän lisääminen sekä peruskoulussa että lukiossa onnistuu vain, mikäli kemian maine tylsänä ja vaikeana oppiaineena saadaan muuttumaan. Tavoitteen saavuttamisessa opettajien ammattitaidon parantaminen, hyvä opetussuunnitelma ja ajan tasalla oleva opetusmateriaali ovat keskeisellä sijalla. Monien kemian käsitteiden, kuten vetysidoksen, ymmärtäminen helpottuu, kun uskalletaan toteuttaa erilaisia mallinnuskeinoja. Näin tylsän ja vaikean oppiaineen maine saadaan pikkuhiljaa muuttumaan positiivisemmaksi ja oppilaat innostumaan kemiasta. (Saarinen, 1998)

Tässä tutkimuksessa luodaan opetusmalli, jonka tarkoituksena on kannustaa ja innostaa niin opettajia kuin oppilaita kemian ja vetysidoksen pariin. Opetusmallissa korostetaan monipuolisia opetusmenetelmiä.

3. Vetysidos

3.1. Vetysidoksen historia

Oppiaineen historia ja siihen liittyvät tarinat ja henkilöhistoriat ovat merkittävässä osassa motivoimassa ja innostamassa oppilaita. Historian kautta oppilaat saavat aidomman ja syvällisemmän käsityksen käsitteiden ja teorioiden jatkuvasta muokkautumisesta ja oppivat ymmärtämään, etteivät teoriat ole lopullisia ja ehdottomia. Lisäksi luonnontieteet ovat voimakkaasti vaikuttaneet yhteiskunnan kehittymiseen. (Ahtee & Pehkonen, 2000) Seuraavassa tarkastellaan lyhyesti vetysidoksen historiaa.

Vetysidoksen vaikutuksia kaasutilassa, nesteessä ja kiinteän aineen kemiassa oli havaittu jo ennen kuin vetysidos oli osattu nimetä ja ymmärrettiin, mistä oli kyse. 1800-luvun lopun ja 1900-luvun alun kirjallisuudessa esiintyi havaintoja, jotka ovat yhdistettävissä vetysidokseen. Jeffrey (1997) mainitsee saksalaiset kemistit Werner (1902), Hantzsch (1910) ja Pfeiffer (1914), jotka käyttivät termejä sivuvalenssi (*nebenvalenz*) ja sisäinen kompleksin muodostus (*innere komplexsalzbildung*) kuvaamaan intra- ja intermolekulaarista vuorovaikutusta (molekyylin sisäistä ja molekyylien välistä vuorovaikutusta). Englantilaiset Moore ja Winmill (1912) puolestaan käyttivät termiä heikko yhdistyminen ja liittyminen (*weak union*) kuvaamaan amiinien ominaisuuksia vesipohjaisissa liuoksissa. Näissä tutkimuksissa ei kuitenkaan vielä tunnettu vetysidoksen fysikaalista luonnetta eikä oltu saatu näyttöä siitä, että prosesseissa on kyse vetysidoksesta. Myöhemmin monet tutkijat (mm. Huggins, Latimer ja Rodebush) tekivät havaintoja vetysidoksesta, muttei niissäkään ollut vielä suoraa mainintaa vetysidoksesta. (Jeffrey, 1997)

Vetysidoksen määritelmiä saatiin vasta 1930-luvulla, kun Paulingin tutkielmassa (1931) kemiallisten sidosten luonteesta käytettiin ensimmäisiä kertoja termiä vetysidos. Tutkielman mukaan vetysidos muodostui jossain määrin hapen kanssa ja joissain tapauksissa typen kanssa. Huggins (1931) puolestaan pohti vedyn merkitystä vedyn ja hydroksyyli-ionien johtumisesta vedessä ja käytti tästä termiä vetysidos. (Jeffrey, 1997)

Vuosina 1935-1936 julkaistiin neljä merkittävää tutkielmaa vetysidoksesta (Jeffrey, 1997), jotka olivat Paulingin tutkielma vetysidoksista vedessä ja jäässä (1935), Bernalin ja Megawin tutkielma hydroksyyliidoksista metallisissa hydroksideissa, mineraaleissa ja vedessä (1935) sekä Hugginsin kaksi tutkielmaa (1936), joista toinen käsitteli vetysiltoja jäässä ja vedessä ja toinen vetysiltoja orgaanisissa yhdisteissä. Hugginsin jälkimmäinen tutkielma oli merkittävä askel kohti monimutkaisten orgaanisten rakenteiden (mm. proteiini, tärkkelys, selluloosa, sokeri, klorofylli ja hemoglobiini) luonteen ja käyttäytymisen tuntemista. Paulingin tutkimus *Nature of the Chemical Bond* (1939) ja siinä ollut kappale vetysidoksesta esitteli lopulta käsitteen *vetysidos* kemian maailmalle. Paulingin tutkimuksen avulla voitiin selittää molekyylien vuorovaikutus toistensa kanssa, joissa esiintyi lyhyitä molekyylien välisiä etäisyyksiä ja joissa vetyatomilla oli näkyvä rooli. Kuitenkin vasta Davies (1947) ja Hunter (1947) tekivät tarkan selonteon vetysidoksesta fysikaalisessa ja orgaanisessa kemiassa. (Jeffrey, 1997)

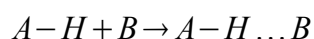
Pauling siis kehitti oikean terminologian vetysidokselle ja kemiallisten sidosten muodostumiselle. Tämän avulla voitiin kuvata, mitä vetysidoksen muodostuessa tapahtuu. Esimerkiksi elektronegatiivisuusiilmiön avulla (toisilla atomeilla on suurempi kyky vetää elektroneja puoleensa) voidaan hahmottaa vetysidos paremmin kuin staattisen kovalenttisen kemiallisen sidoksen avulla, jossa elektroniparit on tasaisesti jaettu atomien välille.

3.2. Vetysidoksen rakenne

Tähän kappaleeseen on koottu yliopistotason (Jeffrey, G.1997. *An Introduction to Hydrogen Bonding* sekä Zumdahl, S. 1997. *Chemistry*) ja ammatilliseen koulutukseen tarkoitetuista (Mortimer, C. 1986. *Chemistry*, 6th Edition) kirjoista määritelmät vetysidokselle. Kappaleessa on käsitelty myös vetysidoksen ymmärtämiseen tarvittavia käsitteitä, kuten kovalenttinen sidos, poolisuus ja elektronegatiivisuus. Lisäksi kappaleessa käsitellään vetysidoksen nykytilanne uusien tutkimustulosten valossa sekä arkipäivän esimerkkejä.

3.2.1. Klassinen vetysidos

Klassinen määritelmä vetysidokselle on seuraava:



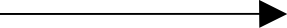
Tällöin vety on kovalenttisesti sitoutunut elektronegatiiviseen atomiin (A). Vetysidos muodostuu vuorovaikutuksessa toiseen elektronegatiiviseen atomiin (B), jolla on sitomaton elektronipari vapaana. Vetysidos voi olla intra- (molekyylin sisäinen) tai intermolekulaarinen (molekyylien välinen) ja sitä merkitään usein katkoviivoin. Katkoviiva on helppokäyttöinen malli kuvaamaan vetysidosta. Sillä viestitetään, ettei kyseessä ole varsinainen kovalenttinen sidos, mutta yksiköiden välillä on kuitenkin vuorovaikutusta, vaikkakin heikkoa. (Lundell, 2000) Tämä vetysidoksen kuvaus vastaa jo 1900-luvun alussa esitettyä mallia ja se soveltuu vieläkin ns. keskivahvojen vetysidosten luonteen ymmärtämiseen (Jeffrey, 1997, Lundell & Aksela, 2004).

3.2.2. Elektronegatiivisuus

Elektronegatiivisuuskäsitteen ymmärtäminen edellyttää pohjatietoa vahvoista kemiallisista sidoksista ja poolisuudesta. Vahvoiksi kemiallisiksi sidoksiksi luokitellaan mm. ionisidokset ja kovalenttiset sidokset. Kovalenttisesti sitoutuneet atomit jakavat sidoksenmuodostajaelektronit keskenään, kun taas ionisidoksessa tapahtuu elektronien siirtymistä atomilta toiselle. Useimmissa yhdisteissä sidokset ovat puhtaan ionisidoksen ja puhtaan kovalenttisen sidoksen välimuotoja. Puhtaasti kovalenttisia sidoksia syntyy vain, jos kaksi samaa atomia ovat vuorovaikutuksessa keskenään, jolloin vetovoima on yhtä suuri. (Mortimer, 1986) Kun elektronit jakautuvat epätasaisesti syntyy poolinen kovalenttinen sidos, joka siis on ionisidoksen ja kovalenttisen sidoksen välimuoto (Zumdahl, 1997). Tällöin molekyylillä on negatiivinen ja positiivinen pää eli elektronit ovat jakautuneet epätasaisesti. Tästä johtuen molekyylillä on dipolimomentti, joka kuvaa sidoksessa syntynyttä sähkökenttää ja sen suuntaa. Moniatomisen molekyylin paikalliset sähköiset varauskentät voivat kuitenkin kumoutua, vaikka molekyylin atomien väliset sidokset olisivatkin poolisia. Tällöin symmetrisen molekyylin kokonaisvaraus on nolla eikä sillä esiinny pysyvää dipolimomenttia. Esimerkkinä tästä on hiilidioksidi, CO_2 . Poolinen kovalenttinen sidos syntyy, koska toinen atomi vetää toista voimakkaammin elektroneja puoleensa. Tätä atomien kykyä vetää sidoselektroneja puoleensa kutsutaan elektronegatiivisuudeksi. Elektronegatiivisuus käsitteen voi tiivistää seuraavaan: elektronegatiivisuus on molekyylissä olevan atomin kyky vetää jaettuja elektroneja puoleensa. (Zumdahl, 1997)

Elektronegatiivisuusarvot ovat suhteellisia, jotka ovat käyttökelpoisia vain tehtäessä kvalitatiivisia vertailuja alkuaineiden välillä. Elektronegatiivisuusarvojen ero kertoo kovalenttisen sidoksen poolisuusasteen. Sidos on sitä poolisempi mitä suurempi elektronegatiivisuusero on. Poolisessa sidoksessa negatiivisen osittaisvarauksen saa se atomi, jonka elektronegatiivisuusarvo on suurempi. Enemmän kuin kaksi atomia sisältävien molekyyliden poolisuuteen vaikuttaa olennaisesti myös molekyylin geometria. (Mortimer, 1986)

Taulukko 4. Paulingin elektronegatiivisuusarvot⁴ (Zumdahl, 1997).

		Elektronegatiivisuus kasvaa 															
Elektronegatiivisuus	H																
	2,1																
	Li	Be											B	C	N	O	F
	1,0	1,5											2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl
	0,9	1,2											1,5	1,8	2,1	2,5	3,0
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
	0,8	1,0	1,3	1,5	1,6	1,6	1,5	1,8	1,9	1,9	1,9	1,6	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,2	2,2	2,2	1,9	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,5
Elektronegatiivisuus	Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At
	0,7	0,9	1,0-1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,2	2,2	2,4	1,9	1,8	1,9	1,9	2,0	2,2
	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np-No										
	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,4	1,4-1,3										

Yleisesti ottaen metalleilla on alhainen elektronegatiivisuus, mikä tarkoittaa, että niillä on alhainen kyky vetää elektroneja puoleensa. Epämetalleilla puolestaan on korkea elektronegatiivisuus, mikä puolestaan tarkoittaa niiden vetävän elektroneja voimakkaasti puoleensa. (Gillespie & Popelier, 2001)

Gillespien ja Popelierin (2001) mukaan elektronegatiivisuusarvojen tärkein käyttö on juuri sidosten poolisuuden arvioinnissa ja koska melkein kaikki sidokset ovat poolisia, voidaan elektronegatiivisuusarvojen perusteella arvioida, onko kyseessä kovalenttinen vai ionisidos. Poolisen kovalenttisen sidoksen ymmärtäminen puolestaan auttaa vetysidoksen fysikaalisen luonteen ymmärtämistä. Poolisessa kovalenttisessa sidoksessa A-H olevat elektronit ovat lähempänä A:ta kuin vetyatomia, jolloin A:lla on suurempi elektronegatiivisuus ja vedyn elektronipilvi on suuntautunut A:han (vrt.

⁴ Gillespie ja Popelier (2001) mainitsevat termin elektronegatiivisuus tulleen esiin ensimmäistä kertaa vuonna 1932 Paulingin julkaisuissa ja lisäävät Paulingin tekemää elektronegatiivisuustaulukkoa käytettävän edelleenkin yleisesti

kappale 3.2.1). Tällöin vetyatomin positiivinen ydin on tavanomaista enemmän paljastunut ja elektronegatiivinen atomi/atomiryhmä toisessa molekyylissä voi vuorovaikuttaa paljastuneen vety-ytimen kanssa muodostaen vetysidoksen. (Gillespie ja Popelier, 2001)

Vetysidoksen tapauksessa vetyatomin pieni koko siis mahdollistaa voimakkaan vuorovaikutuksen kahden elektronipilven (elektronegatiivisen atomin) välillä, jota vetyatomille kertyvä positiivinen osittaisvaraus vahvistaa. Vetysidoksen pääasiallinen fysikaalinen syy on näin sähköstaattinen vuorovaikutus, jossa molekyyleissä olevat osittaisvaraukset (merkitään atomien kohdalla yleensä δ^+ ja δ^- merkinnöin) aiheuttavat molekyyleissä sähköisen momentin, kuten dipolimomentin. Molekyylien elektronipilvien sähköinen suuntautuneisuus vaikuttaa myös siihen, että molekyylien välisten vuorovaikutusten voimakkuus riippuu molekyylien avaruudellisesta orientaatiosta. Molekyylien vuorovaikuttaessa erimerkkiset varaukset vetävät toisiaan puoleensa (attraktio) ja samanmerkkiset varaukset hylkivät toisiaan (repulsio). Esimerkiksi vetysidos on voimakkaasti suuntautunut kovalenttisen A-H –sidoksen suuntaisesti. Vetysidokset heikkenevät sitä enemmän mitä taipuneempi A-H...B avaruudellisesti on.

3.2.3. Vetysidos

Luonnon toiminnan kannalta tärkein heikko kemiallinen vuorovaikutus on vetysidos. (Lundell & Aksela, 2004) Esimerkiksi proteiinit ja deoksiribonukleiinihappo (DNA), joista koko elämä on riippuvainen, säilyttävät muotonsa vetysidosten avulla. (Mortimer, 1986) Vetysidosta esiintyy yhdisteissä, joissa vety on kovalenttisesti sitoutunut hyvin elektronegatiiviseen pienikokoiseen atomiin, tavallisesti happeen, typpeen tai fluoriin. Näissä yhdisteissä elektronegatiivisen alkuaineen atomi kohdistaa niin suuren vetovoiman sidoselektroneihin, että vetyatomille tulee positiivinen osittaisvaraus δ^+ . Itse asiassa vetyatomi on lähes paljaana protonina, koska sillä ei ole varjostavia elektroneja. Vetysidoksessa siis toisen molekyylin vetyatomi ja toisen molekyylin elektronegatiivisen atomin vapaa elektronipari vetävät toisiaan puoleensa. Tämä vastaa Paulingin elektrostaattista mallia vetysidokselle (Pauling 1939, Pimentel & McClellan, 1960; Jeffrey, 1997).

Vetysidoksia ei esiinny ainoastaan samanlaisten molekyylien välillä, vaan myös erilaisten molekyylien välisillä vetysidoksilla on merkitystä esimerkiksi liuoksissa. Vetysidosyhdisteillä on mm. poikkeuksellisen korkea kiehumispiste, sulamispiste ja viskositeetti. Nämä johtuvat *elektrostaattisista vuorovaikutuksista* poolisten molekyylien välillä. Vetysidoksen vuoksi esimerkiksi veden kiehumispiste on korkeampi kuin fluorivedyn, sillä fluorivetyymolekyyliin verrattuna vesimolekyyliin on mahdollista muodostaa moninkertaisesti vetysidoksia molekyyliä kohti (yhteensä neljä yhtäaikaista vetysidosta: molemmat O-H –sidokset voivat muodostaa yhden vetysidoksen, kaksi vetysidosta voi muodostua happiatomin sitoutumattomista elektronipareista). Jääkiteessä nämä kaikki vetysidospaikat voivat olla käytössä, mutta esimerkiksi vesiliuoksessa yksittäinen vesimolekyyli on osallisena noin 2-3 vetysidoksessa samanaikaisesti (Wernet ym., 2004). Tämä johtuu mm. molekyylien lämpöliikkeestä. Vetysidokset saavat aikaan myös muita veden epätavallisia ominaisuuksia, kuten sen, että jään tiheys on pienempi kuin nestemäisen veden. (Mortimer, 1986; Jeffrey, 1997)

Zumdahl (1997) määrittelee dipoli-dipoli –sidoksen poolisten molekyylien väliseksi vuorovaikutukseksi, jossa maksimoidaan $+...-$ vetovoimaa (attraktio) ja minimoidaan $+...+$ ja $-...-$ (repulsio) poistovoimaa. Tämä vuorovaikutus voi olla epätavallisen vahva, kun molekyyli, jossa pienikokoinen vetyatomi on sitoutunut hyvin elektronegatiiviseen atomiin (N, O, F), on vuorovaikutuksessa toisten molekyylien kanssa. (Zumdahl, 1997)

Jeffrey (1997) mukaan vetysidos voidaan luokitella vahvaksi, keskinkertaiseksi ja heikoksi, joista keskivahva vetysidos on kaikkein yleisin sekä kemian että luonnon kannalta. Näin keskivahvaa sidosta voidaan sanoa myös normaaliksi vetysidokseksi. Vahvoissa vetysidoksissa A–H...B neutraali elektronin vastaanottaja eli akseptori A–H ja elektronin luovuttaja eli donori B on pakotettu lähemmäs toisiaan kuin normaalissa vetysidoksessa molekyylien konfiguraatiosta eli muodosta ja konformaatiosta eli suuntautuneisuudesta johtuen. Toisaalta vahvassa vetysidoksessa voi voimakkaasti poolisen sidoksen $A^{\delta+} - H^{\delta-} \dots B$ paljastunut protoni siirtyä kokonaan protonidonoriin B puolelle $\rightarrow A^{\delta+} \dots H^{\delta-} - B$. (Jeffrey, 1997)

Tällaisia protoninsiirtoreaktioita tavataan erityisesti biologisissa yhteyksissä, joissa COOH –ryhmä ympäristön, vesiliuoksen tai entsyymin johdosta voi luovuttaa protonin ja jäädä itse muotoon COO^- . Esiaste tällaiselle reaktiolle ilman ulkoisia ärsykeitä on vetysidottu kompleksi (esimerkiksi $\text{COOH}\dots\text{B}$). Normaali vetysidos puolestaan syntyy neutraalin luovuttajaryhmän A-H (A on elektronegatiivinen suhteessa vetyyn) ja neutraalin vastaanottajan B välille, jolla on vapaa elektronipari. Heikoissa vetysidoksissa vety on kovalenttisesti sitoutunut suhteellisen elektroneutraaliin atomiin, kuten hiileen, tai vastaanottajalla B ei ole vapaata elektroniparia. Kaikki vetysidostyyppit voivat olla intramolekulaarisia, jolloin luovuttaja- ja vastaanottajaryhmät ovat samassa molekyyllissä tai ne voivat olla intermolekulaarisia, jolloin ryhmät ovat eri molekyyliissä. Vetysidokset, joissa on mukana happea tai typpeä, ovat tärkeitä tekijöitä niin pienissä biologisissa molekyyliissä kuin makromolekyyliissäkin. (Jeffrey, 1997)

Taulukko 5. Vetysidostyyppit (Jeffrey, 1997).

	Vahva	Klassinen	Heikko
<i>Sidospituus</i>	$\text{A-H} \approx \text{H}\dots\text{B}$	$\text{A-H} < \text{H}\dots\text{B}$	$\text{A-H} \ll \text{H}\dots\text{B}$
<i>H...B(Å)</i>	~1.2 – 1.5	~1.5 – 2.2	2.2 – 3.2
<i>A...B(Å)</i>	2.2 – 2.5	2.5 – 3.2	3.2 – 4.0
<i>Sidoskulma (°)</i>	175 – 180	130 – 180	90 – 150
<i>Sidosenergia (kcal/mol)</i>	14 – 40	4 – 14	< 4
<i>Sidosenergia (kJ/mol)</i>	60 – 170	15 – 60	< 15

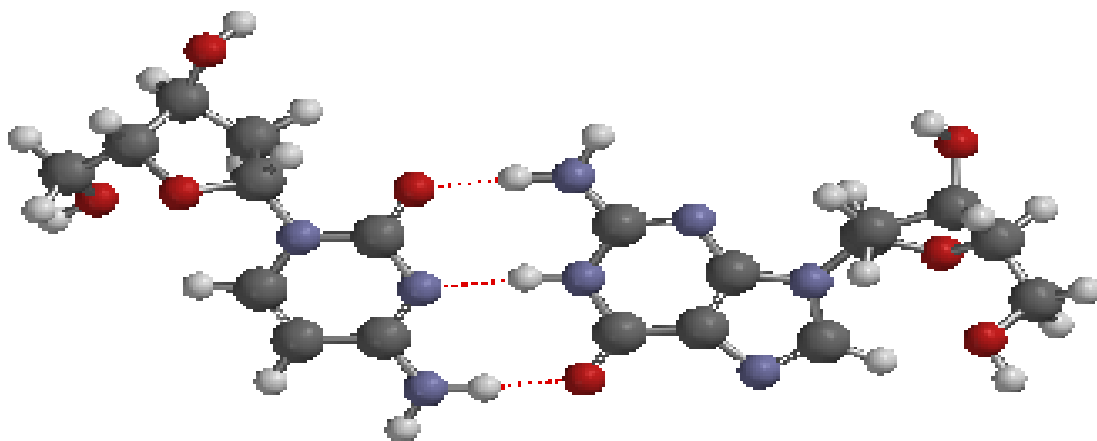
Vetysidosten sidosenergioiden suuruutta voidaan arvioida vertaamalla niitä esimerkiksi kovalenttiseen C–C –sidokseen, jonka sidosenergia on 83 kcal/mol (347 kJ/mol) tai C–H –sidokseen, jonka sidosenergia on 99 kcal/mol (414 kJ/mol). (Jolly, 1991) Taulukosta voidaan havaita, että vahvinkin vetysidos on sidosenergialtaan puolet heikompi kuin C–C –sidoks.

Vetysidoksen voimakkuus korostaa sen sähköstaattista luonnetta. Normaali vetysidos (esim. H_2O) johtuu lähinnä sähköstaattisista vuorovaikutuksista (n.75 %) eli dipoli-dipoli –vuorovaikutuksista (Jeffrey 1997). Heikoissa vetysidoksissa tämä elektrostaattinen vuorovaikutus on heikompi, jolloin hetkelliset dipolimomentin muutokset eli dispersiovuorovaikutukset (= indusoitu dipoli – indusoitu dipoli) saavat suuremman roolin. Vahvat vuorovaikutukset ovat kyseessä systeemeissä, joissa vallitsevat elektrostaattiset vuorovaikutukset, kuten ioni-dipoli –vuorovaikutus. (Meot-Ner, 2005)

3.2.4. Vetysidos arkipäivän ilmiöissä

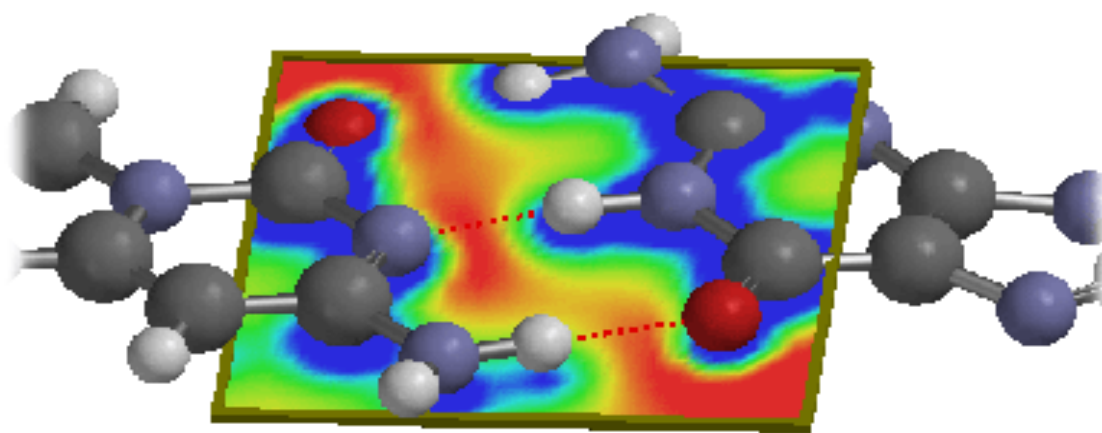
Vetysidoksen kohdalla useimmin esiin tulevat arkipäivän ilmiöt liittyvät DNA:han ja veteen. DNA sisältää neljää eri emästä, joiden avulla se ohjaa elämälle tärkeiden valkuaisaineiden tuotantoa. Eliöiden ja virusten geneettinen koodi on näiden emäsparien järjestyksessä. Nämä emäsparit sitoutuvat toisiinsa vain vetysidosten avulla.

Kuvassa 1 on kuvattu pallotikkumalli DNA:n guaniinin (G) ja sytosiinin (C), sitoutumisesta toisiinsa vetysidoksin.



Kuva 1. Pallotikkumalli guaniinin ja sytosiinin muodostamasta Watson-Crick emäsparista, joka on yksi DNA:n rakennusyksiköistä. Kuvassa happi on merkitty punaisella, typpi sinisellä, hiili tummanharmaalla ja vety vaaleanharmaalla pallolla.

Kuvassa 2 on elektronitiheyskartta guaniinin (G) ja sytosiinin (C) välisten vetysidosten kohdalta. Elektronitiheyskartta kuvaa todennäköisyyttä löytää elektroneja kyseiseltä alueelta. Punainen väri kuvaa vähäistä elektronitiheyttä ja sininen runsasta elektronitiheyttä. Värimuutokset kertovat elektronitiheyden muutoksista suuren ja pienen elektronitiheyden välisillä alueilla. Pilikutetut viivat kuvaavat molekyylien välisten vetysidosten muodostumista ja niiden alla olevat värikartat osoittavat jaettuja elektronitiheysalueita, ts. vetysidoksen muodostumista molekyylien elektronipilvien välillä.

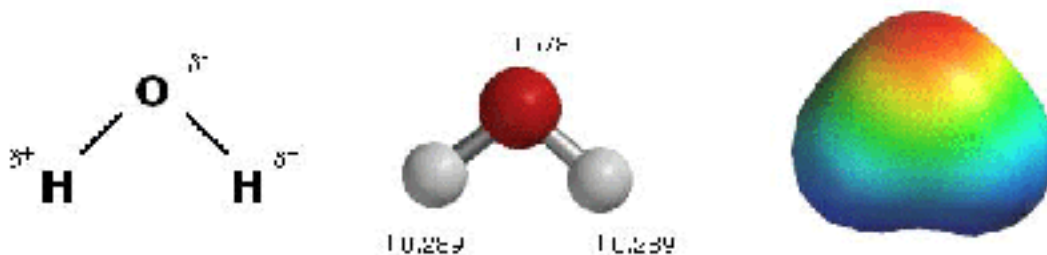


Kuva 2. GC emäsparin laskennallinen elektronitiheyskartta, joka esittää elektronitiheyden muutoksia vetysidoksissa molekyylien välillä.

DNA:n lisäksi vesi on kiehtonut tiedemiehiä jo aikojen alusta ja on yksi eniten tutkituista yhdisteistä, mutta edelleen myös yksi arvoituksellisimmista. Vesi (H_2O) on rakenteeltaan yksinkertainen, mutta käyttäytyy varsin monimutkaisesti. Ensinnäkin veden pitäisi olla kaasu, kuten sen sisarmolekyyli vetysulfidi (H_2S). Toinen poikkeama on veden kiinteän olomuodon (jään) kelluminen, joka johtuu veden laajentumisesta lämpötilan laskiessa alle 4 asteen (laajentuminen voimakkainta veden jäätyessä). Tämä selittää esimerkiksi vesijohtoputkien halkeamisen talvella, jos ne pääsevät jäätymään.

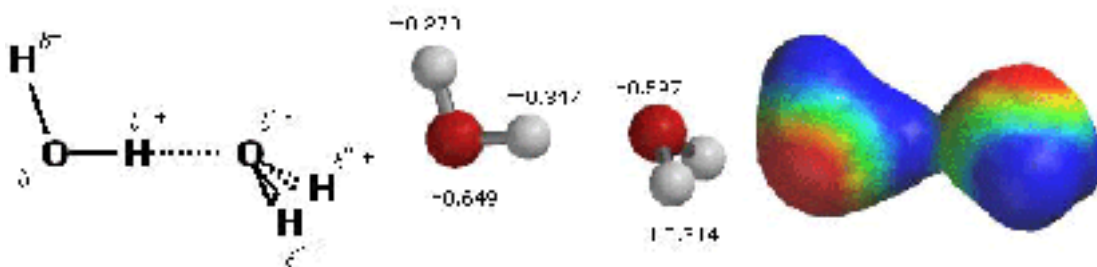
Veden ominaisuudet luovat pohjan elämän edellytyksille. Jos jää ei esimerkiksi kelluisi eli olisi tiheämpää kuin nestemäinen vesi, tällä planeetalla ei olisi juuri lainkaan elämää. Jää suojaa allaan eläviä eliöitä. Alhaalta ylöspäin jäätyessään vesistöt jäätyisivät umpeen talvella ja vain muutamat mikrobit pystyisivät elämään jään sisällä. Vesi voi olla nestemäistä, koska sen kaksi vetyatomia toimivat eräänlaisena liimana, joka liittää vesimolekyylit toisiinsa vetysidoksin. Nestemäisessä vedessä vetysidoksia syntyy ja katkeaa jatkuvasti, kun taas jäässä ne lukkiutuvat avoimeksi kehikoksi. (Emsley, 1998)

Alla (Kuva 3.) on molekyylihallinnuksen avulla tehty visualisointi vedestä ja sen kahdesta poolisesta kovalenttisesta sidoksesta. Ensimmäisenä on rakennekaava, johon on merkattu osittaisvaraukset δ^+ ja δ^- . Toisena on lasketut osittaisvaraukset ja viimeisenä elektronipilvikuvaus. Kuvasta huomaamme veden muodostavan negatiivisen ja positiivisen pään omaavan dipolin, joka voi vuorovaikuttaa toisten dipolimomentin omaavien molekyylien kanssa.



Kuva 3. Veden rakennekaava, lasketut osittaisvaraukset⁵ ja elektronipilvikuvaus.

Kuvassa 4 on puolestaan vetysidottu vesimolekyyli, josta nähdään, miten vesimolekyylit ovat suuntautuneet toisiinsa nähden ja huomataan lähes kaikilla atomeilla olevan erilaiset osittaisvaraukset (ainoastaan vetysidoksen vastaanottajamolekyylissä olevat vetyatomit saavat saman osittaisvarauksen +0,314).



Kuva 4. Vetysitoutuneet vesimolekyylit.

⁵ Spartan molekyylihallinnusohjelma, HF/STO-3G laskutaso

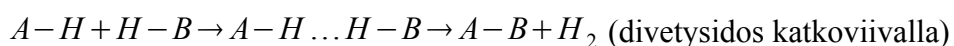
3.2.5. Uusia tutkimustuloksia vetysidoksen esiintymisestä

Normaali vetysidos on nykyisen käsityksen mukaan pääosin sähköstaattisista dipoli-dipoli vuorovaikutuksista johtuva. Käytännössä poolisuus tarkoittaa molekyylin elektronipilven suuntautumista, jolloin elektronipilven jakauma molekyylin ympärillä ei ole tasainen. Heikoissa vetysidoksissa puolestaan hetkelliset dipolimomentin muutokset (*dispersiovuorovaikutukset*) saavat suuremman roolin. Vahvoissa vetysidoksissa taas elektrostaattiset vuorovaikutukset, kuten ioni-dipoli-vuorovaikutus, vallitsevat. Molekyylien vuorovaikuttaessa erimerkkiset vuorovaikutukset vetävät toisiaan puoleensa ja samanmerkkiset varaukset hylkivät toisiaan.

Klassisen yli 50 vuotta tunnetun vetysidoksen, jolla on tärkeä rooli biologisten molekyylien rakenteessa ja toiminnassa, rinnalle on löytynyt uusien vetysidosten maailma, jossa metallit ja hydrit voivat muodostaa epätavallisia vetysidoksia (Crabtree, 1998). Tyypillisen vetysidoksen sijaan muodostuu niin sanottu *divetysidos*, jossa kaksi vetyä ovat vuorovaikutuksessa keskenään. Toinen vety on sitoutunut elektronegatiiviseen atomiin, kuten happeen, typpeen tai fluoriin, ja saa positiivisen osittaisvarauksen. Toinen vety on sitoutunut elektropositiiviseen atomiin, kuten boori tai siirtymämetalli, ja saa negatiivisen osittaisvarauksen. Nämä vedyt pääsevät lähemmäs toisiaan kuin tavallisesti, muodostaen divetysidoksen:



Nykyisin siis ymmärretään, että molekyylit, joissa vetyatomi saa negatiivisen varauksen, ovat potentiaalisia divetysidoksen muodostajia (Lundell, 2000). Näitä divetysidoksia esiintyy sekä molekyylin sisäisenä, intramolekulaarisena, että molekyylien välisinä, intermolekulaarisina, sidoksina (Crabtree, 1998). Syyksi, miksi divetysidosta ei ole aiemmin löydetty, Crabtree (1998) mainitsee sidoksen pysymättömyyden ja halun muodostaa vetyä, H_2 antaen tilaa uuden A-B –sidoksen synnylle seuraavan yhtälön mukaan:



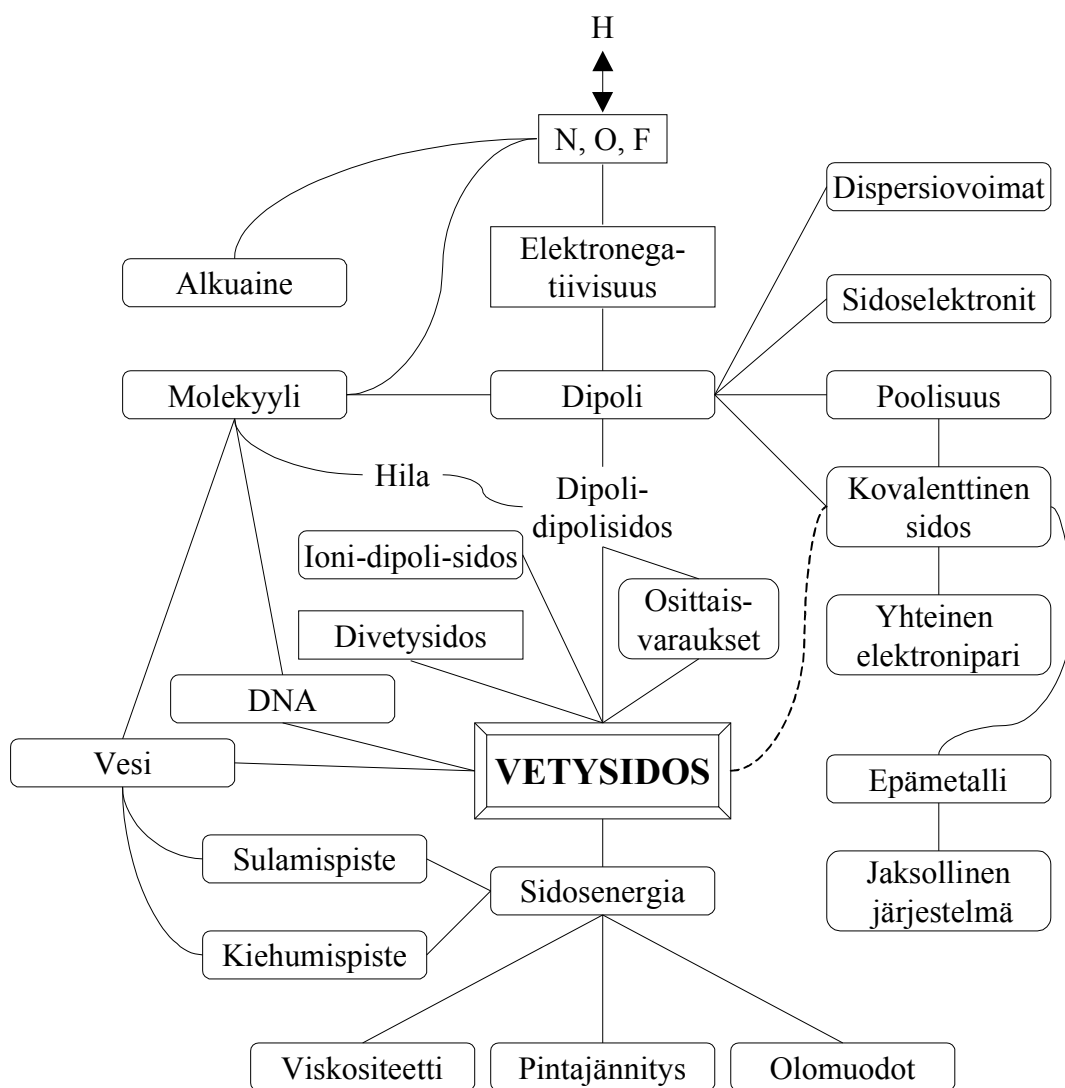
Yhtälöstä näemme, miten divetysidos on välimuoto, kun hydridiä H-B protonoidaan.

Crabtreen (1998) artikkelissa käsitellään vielä divetysidoksen merkitystä boraanien kohdalla. On huomattu, että ammoniumboraanin kiehumispiste on epätavallisen korkea, kuten vetysitoutuneella vedellä, mikä todistaa divetysidoksen tärkeyden.

Divetysidokset näyttävät olevan yleisempiä hydridien kohdalla ja niitä voitaisiin käyttää edistämään kemiallisten katalyysien reaktiivisuutta ja selektiivisyyttä. (Crabtree, 1998)

3.2.6. Vetysidos-ilmiöön liittyvät käsitteet

Alla olevaan käsitekarttaan on koottu vetysidos-ilmiöön keskeisesti liittyvät käsitteet. Lähes kaikki esiintyvät ainakin jossain oppikirjasarjassa. Se, kuinka perusteellisesti käsitettä on selitetty, on myöskin oppikirjakohtaista. Tutkimustuloksissa arvioidaan, miten näitä käsitteitä on kytketty toisiinsa, vai esiintyvätkö ne vain irrallisina termeinä oppikirjoissa. Uusimmat tutkimustulokset divetyksidoksista eivät vielä esiinny oppikirjoissa.



Kuva 5. Vetysidoksen käsitekartta.

4. Vetysidoksen oppiminen ja opetus

Aiemmat tutkimukset osoittavat, että oppilailla on vaikeuksia ymmärtää kemiallisten sidosten muodostumista ja sidostyyppien välisiä eroavaisuuksia. Oppilailla on myös virheellisiä käsityksiä ja perusteluja sidosten olemassaolosta. Lisäksi sidosten luullaan usein liittyvän erillisiin molekyyliin eikä ymmärretä ionisidoksen eikä metallisidoksen luonnetta tai kovalenttisen sidoksen rakennetta. Molekyylien välisiä sidoksia sekä niihin liittyviä käsitteitä, kuten polaarisuutta, on oppilaiden myös vaikea hahmottaa. (Taber & Coll, 2002)

Kemiallisten sidosten opetuksessa tulisi painottaa, että sidokset johtuvat elektronisista voimista, sidokseen ei välttämättä tarvita molekyyliä tai että kaikki sidokset eivät ole puhtaasti kovalenttisia tai ionisidoksia. Myös opetuksessa käytettävään kieleen tulisi kiinnittää huomiota. Kun puhutaan yksittäisistä atomeista ja niiden tarpeesta saada elektroneja tai halusta luovuttaa elektroneja sekä oktettirakenteen saavuttamisesta, voi oppilaille muodostua virhekkäisyyksiä kemiallisen reaktion tai prosessin lähtöaineista yksittäisinä sitoutumattomina atomeina. (Taber & Coll, 2002)

Kevään 2003 kemian ylioppilaskokeen tehtävän 1 vastauksista käy ilmi, ettei vetysidosta ole täysin ymmärretty (Saarinen, 2003). Tehtävässä (1b) piti selvittää kemiallisen sitoutumisen avulla, miksi jään tiheys on pienempi kuin nestemäisen veden. Oleellista olisi ollut todeta, miten polaariset vesimolekyylit sitoutuvat toisiinsa vetysidosten välityksellä säännölliseksi molekyylihilaksi. Oleellista on myös, että jään sulassa aineen säännöllinen, runsaasti tilaa vaativa kiderakenne särkyy ja menee osittain kasaan, jolloin vesimolekyylit pääsevät lähemmäksi toisiaan ja nestemäisen veden tiheys on alempi kuin jäässä samassa lämpötilassa. Myös kiinteän aineen olemus oli monille vastaajille epäselvä. Perustelut, joissa veden jäätyessä vesimolekyylien väliin jäisi tyhjää tilaa, ilmaa tai happimolekyyliä, olivat valitettavan yleisiä. Toteamus ”vetysidokset venyvät jäässä” ei myöskään osoita asian ymmärtämistä. Myöskään vastauksesta: ”Veden jäätyessä sen tilavuus kasvaa ja sen massa pysyy samana, jolloin jään tiheys on pienempi kuin vedellä” ei juurikaan pisteitä herunut, sillä siinä oli unohtunut asian selvittäminen kemiallisen sitoutumisen kautta. (Saarinen, 2003)

5. Vetysidoksen mallintaminen opetuksessa

5.1. Mallit ja mallintaminen

Kemia on tieteenala, jonka opettaminen sisältää oppilaille uusia käsitteitä, runsaasti outoja sanoja sekä malleja. Kemian syvällinen oppiminen vaatii aineen rakenteen ymmärtämistä. Abstraktiuden vuoksi oppilailla voi olla vaikeuksia hahmottaa kemiaa syvällisesti ja oppiminen jääkin usein irrallisen tiedon osaamiseksi. Asioiden ulkoa opettelussa ilman kontekstia saattaa syntyä myös virheellisiä mielikuvia ja asian syvällinen ymmärrys jää puuttumaan. (Saarinen, 1998)

Oppilaiden käsitys malleista ja mallintamisesta voi useinkin pohjautua vain arkimerkitykseen. Mallina voidaan pitää esimerkiksi jäljennöstä jostakin, vaikka todellista laivaa kuvaavaa pienoismallia tai rakennusmallia. Mallikäsitys on abstrakti, josta oppilailla on usein hyvin pysyviä ennakkokäsityksiä, eikä ole oletettavaa, että oppilaat luopuisivat niistä täydellisesti. (Saari, 2000)

Tieteellisessä merkityksessä mallia käytetään kuvaamaan tuntematonta kohdetta tunnetun kohteen avulla, jolloin malli ei voi koskaan kuvata kohdettaan täydellisesti, vaan sillä on rajallinen pätevyysalue. Tehokas mallien hyödyntäminen opetuksessa vaatii, että tiedämme millaisia käsityksiä oppilailla on malleista ja mallintamisesta. Tämän lisäksi tarvitaan käytännön opetuskokeiluita ja tutkimusta. Kehittynyt mallikäsitys auttaa oppilasta mielekkääseen oppimiseen. (Saari, 2000)

Mallien käyttö opetuksessa on luontevaa, kun käsitellään oppilaalle aistein havaitsemattomia kohteita, kuten vetysidosta, sillä aineen rakenteeseen liittyvät asiat ovat meille käytännöllisesti katsoen näkymättömiä (Saari, 2000). Vetysidosta on perinteisesti mallinnettu oppikirjojen kuvien avulla, joihin on pyritty saamaan kolmiulotteisuuttakin. Myös itse rakennettavat molekyyli mallit ovat hyvä vetysidoksen mallintamisen keino. Näitä ei kuitenkaan läheskään kaikissa kouluissa ole käytettävissä.

Kolmas mallintamistapa on tietokoneavusteinen mallintaminen. Tieto- ja viestintätekniikka on vakiintunut suomalaisten opettajien, opettajankouluttajien ja kasvattajien työ-, viestintä-, opetus- ja opiskeluvälineistöksi ja parantanut huomattavasti mallintamisen mahdollisuuksia. Isojen ja monimutkaisten mallien kuvaaminen (piirtäminen) tai rakentaminen molekyylimalleilla ei välttämättä onnistu, mutta tietokoneohjelmalla se on helpompaa ja mallista saadaan kolmiulotteisen kuvan lisäksi paljon muutakin tietoa, kuten sidospituuksia ja elektronien esiintymistodennäköisyyksiä molekyylin eri puolilla (Tella, 1998)

Kemia on kokeellinen luonnontiede, jonka lähtökohtana on luonnossa tapahtuvat ilmiöt ja niistä tehtävät havainnot. Havaintoja pyritään ensin selittämään yksinkertaisten mallien avulla. Testauksen ja uusien havaintojen jälkeen mallia voidaan parantaa ja korjata havaintoja vastaavaksi. (Ahtee & Pehkonen, 2000) On muistettava, että kemian tieteenala on rakennettu näiden mallien varaan, jotka ovat yrityksiä selittää luonnon ilmiöitä tekemiemme havaintojen pohjalta. Nämä mallit ovat ihmisen tekemiä ja vastaavat vain enemmän tai vähemmän tarkasti todellisuutta. (Mortimer, 1986) Asioita tai käsitteitä voidaan kuvata monien erilaisten mallien avulla ja tilanteesta riippuen voidaan valita joko yksinkertainen tai kehittyneempi malli (Saari, 2000).

Molekyylimallinnusta, laskennallista kemiaa, voidaan pitää teoreettisen ja kokeellisen kemian yhdistäjänä. Sen avulla vaikeatkin asiat voidaan esittää selkeästi ja kokeelliset ilmiöt havainnollistaa atomi- ja molekyylitasolta lähtien. Mallit ja mallintaminen ovat siis tärkeä osa kokeellisten tutkimusten havainnollistamista ja selittämistä. Mallin hyvyttä tulee aina arvioida kokeellisia havaintoja vasten. (Lundell & Aksela, 2003)

Kokeellisuuden korostaminen kemian opetuksessa on oikea suuntaus. Paperinmakuisesta, tauluun ja liituun painottuvasta abstraktista oppiaineesta koulukemia on välttämättä saatava eläväksi, käsin kosketeltavaksi, tavallisten ihmisten elämää lähellä olevaksi aineeksi. Vasta itse tehdyt kokeet ja omien havaintojen perusteella tehdyt johtopäätökset ovat useimmille opiskelijoille tie kemian ymmärtämiseksi (Saarinen, 1998).

Opetuksessa molekyylimallinnuksella on mahdollista tukea kemian käsitteiden ymmärtämistä ja harjoittaa erilaisia opiskelutaitoja. Se ei anna ainoastaan uutta työkalua opettajalle tai oppilaalle, vaan tutustuttaa moderniin tutkimusvälineeseen. Mallintamalla saadaan opetukseen uusia näkökulmia ja ulottuvuuksia. Tietokone mahdollistaa asioiden hahmottamisen visuaalisen kokemuksen kautta, vaikka kemian käsitteet usein ovatkin opiskelijoille hyvin abstrakteja. (Lundell & Aksela, 2003)

Demonstraatio-opetuksella voidaan edistää oppilaiden oppimista ja auttaa heitä muodostamaan jäsennettyä mielikuvaa luonnonilmiön syy-seuraussuhteista. Opetuksen näkökulmasta asianmukaisesti suunniteltu ja toteutettu demonstraatio luo selvästi pohjaa ilmiön perushahmotukselle ja nähdään askeleena ilmiöiden syvällisemmän ymmärtämisen tiellä. Uusi työtapo tarjoaa opettajille entistä kokonaisvaltaisemman ja eheämmän kuvan demonstraation käyttömahdollisuuksista luonnontieteen selittämisen mallina. Opettajan näkökulmasta tarkasteltuna työtapo toimii tieteellisen kemian tiedon ja opiskelijoiden arkitiedon välisenä siltana. Opettajat saavat käyttöönsä työvälineen, jolla he pystyvät aiempaa tehokkaammin muuntamaan tieteellistä tietoa koululaisille ymmärrettävään muotoon. (Lampiselkä, 2004)

Yksi uusi vetysidoksen demonstraatioväline on niin kutsuttu *Velcro*-menetelmä, jossa rakennetaan esimerkiksi vesimolekyyliä pallotikkumallien tapaan, mutta vetyihin ja hapen vapaiden elektroniparien merkiksi liimataan palloihin ”tarraa”. Kun näitä molekyyliä ravistellaan astiassa, huomataan vesimolekyylien tarrautuvan toisiinsa ja välillä irtoavan ja tarrautuvan taas uudestaan. Sen sijaan molekyylien sisäiset sidokset pysyvät. Näin pystytään havainnollistamaan ja tuomaan ymmärrettävämmäksi sekä kovalenttista sidosta että vetysidosta eli vahvoja ja heikkoja vuorovaikutuksia. (Schultz, 2005)

5.2. Visualisointi

Havainnollistaminen on keskeistä opettaessa kemian sisältöjä. Sen tavoitteena on konkretisoida esitettävää asiaa piirroksin ja erilaisten välineiden avulla, joilla pyritään antamaan asiasta monipuolinen kuva tai kiinnittämään oppilaiden huomio tiettyihin keskeisiin yksityiskohtiin (Ahtee & Pehkonen, 2000). Keskeisiä vetysidoksen visualisointitapoja ovat kuvat, molekyylimallit (3D-mallit) ja tietokoneavusteinen mallintaminen.

Esimerkiksi vetysidosta vedessä voidaan visualisoida monella tapaa. Akaygün ja Ardaçin (2005) tutkimuksessa arvioidaan viittä erilaista visualisointitapaa: 1) yksinkertaista rakennekuvaa kahdesta vesimolekyylistä, joiden välillä vetysidos katkoviivoin, 2) kuvaa nestemäisestä vedestä, jossa vesimolekyyliä sitoutuneena ja sitoutumatta toisiinsa, 3) kuvaa kiinteästä vedestä eli jäästä, jossa kaikki vesimolekyylit sitoutuneet toisiinsa ja järjestäytyneet, 4) kuvaa vedestä, jossa vesimolekyylit ovat vetysidoksin sitoutuneet toisiinsa ja osittaisvaraukset δ^+ ja δ^- on merkitty sekä 5) molekyylimallinnuksella tehtyä kolmiulotteista kuvaa (kuvat liitteessä 2). Tutkimus ei mitannut ymmärsivätkö oppilaat vetysidoksen oikein, mutta sen tuloksista voidaan päätellä, että kyseisistä malleista kaikki tukevat tavalla tai toisella käsitteen ymmärtämistä. Tutkimuksissa on todettu myös, että käytettäessä rinnan muovisia molekyylimalleja tietokoneavusteisen molekyylimallinnuksen kanssa, saavutetaan hyviä oppimistuloksia (Aksela & Lundell, 2003).

Eri visualisointitapojen rinnakkain käyttäminen siis auttaa vetysidokäsitteen muodostumista ja rakentumista oikealle pohjalle. Perinteisillä muovisilla pallotikkumalleilla voimme esittää atomien sijoittumista molekyyliin ja sitä, mitkä atomit ovat sitoutuneet toisiinsa kemiallisella sidoksella, mutta pitää huomioida, että oppilaille saattaa muodostua vääriä mielikuvia sidospituuksista ja atomien koosta. Tietokonemallit sen sijaan luovat hyvät mahdollisuudet ymmärtää paremmin molekyylien ominaisuuksien ja reaktiivisuuden yhteyden niiden kolmiulotteiseen avaruusrakenteeseen. (Lundell & Aksela, 2003)

6. Tutkimustavoite, tutkimusongelmat ja tutkimusmenetelmät

6.1. Tutkimustavoite

Tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa nykyisten oppikirjojen välittämää kuvaa vetysidoksesta sekä löytää menetelmiä vetysidoksen mielekkääseen opetukseen. Tutkimuksessa tullaan kiinnittämään erityistä huomiota oppikirjoihin peilaamalla niiden sisältöä ja tapaa käsitellä vetysidosta teoreettiseen viitekehykseen. Tutkimuksen tavoitteena on olla myös innostamassa ja kannustamassa opettajia ja oppilaita vetysidoksen ja kemian pariin. Tutkimustulosten perusteella luodaan vetysidoksen opetusmalli.

6.2. Tutkimusongelmat

Tutkimukselle asetettiin kaksi pääongelmaa: 1) miten vetysidos esiintyy oppikirjoissa sekä 2) minkälainen olisi hyvä opetusmalli vetysidoksen opettamiseen. Ensimmäistä tutkimusongelmaa tarkastellaan sekä kemian että biologian opetuksen näkökulmasta ja siinä kiinnitetään huomiota sekä sanalliseen että visuaaliseen esitykseen. Toisessa tutkimusongelmassa pyritään luomaan opetusmalli, jonka avulla vetysidoksen oppimisesta ja opettamisesta saadaan mahdollisimman mielekästä ja kiinnostavaa.

1. Miten vetysidos esiintyy oppikirjoissa?
 - 1.1. Miten vetysidosta käsitellään kemian oppikirjoissa?
 - 1.2. Miten vetysidosta käsitellään biologian oppikirjoissa?
2. Minkälainen olisi hyvä vetysidoksen opetusmalli vetysidoksen opettamiseen?
 - 2.1. Miten opettaa vetysidos kemiassa?
 - 2.2. Miten opettaa vetysidos biologiassa?

6.3. Tutkimusmenetelmät

Ensimmäiseen tutkimusongelmaan etsitään vastauksia analysoimalla käytössä olevien oppikirjojen sisältöä suhteessa teoreettiseen viitekehykseen. Jälkimmäisen tutkimusongelman opetusmalli pyritään luomaan ensimmäisen tutkimusongelman johtopäätösten, aiempien tutkimustulosten sekä vetysidoksen kemian ja opetuksen teorian pohjalta.

Oppikirjojen sisältöä voidaan analysoida useilla eri tavoilla riippuen tutkimuksen luonteesta. Oppimista koskevissa oppikirjatutkimuksissa analysoidaan usein oppikirjan tekstityyppiä ja tekstin merkityssuhteita sekä näiden vaikutuksia luetun ymmärtämiseen (A). Myös oppikirjan sisältämän tiedon sidosteisuutta ja esitystapaa voidaan tutkia (B). (Ahtineva, 2000) Tässä tutkimuksessa käytetään ensisijaisesti tapaa A tarkastelemalla oppikirjojen vetysidokseen liittyvän tiedon sisältöä ja oikeellisuutta. Vetysidoksen esittämisen visuaalisuutta pyritään kartoittamaan kuvien laadullisella ja määrällisellä analyysillä.

6.3.1. Tulosten luotettavuus

Oppikirja-analyysia on hyvin vaikea suorittaa täysin objektiivisesti, sillä laadullisten tulosten arviointiin vaikuttavat välttämättä tutkijan subjektiiviset asenteet, kokemukset ja tiedot. Tämä korostuu erityisesti tässä tutkimuksessa, koska tutkijoita on vain yksi.

Tutkimus suoritetaan pitkälti tukeutuen viitekehyksen teorial tietoon sekä oppikirja-analyysiin. Tulosten luotettavuus paranisi huomattavasti, mikäli oppikirja-analyysia voitaisiin verrata analyysin pohjalta suoritettuihin kysely- tai haastattelututkimuksiin. Nämä loisivat myös vankemman pohjan vetysidoksen opetusmallin luomiselle.

7. Tutkimustulokset

Tutkimus rajattiin koskemaan kursseja 1-2. Kemiassa ensimmäinen kurssi on kaikille pakollinen kurssi, toinen syventävä. Biologiassa kurssit 1-2 ovat kaikille pakollisia. Tutkimuksessa analysoidaan viittä kemian oppikirjasarjaa (*A-E*) ja kahta biologian oppikirjasarjaa (*F ja G*) (kts. liite 1). Oppikirjojen lisäksi tutkimuksessa analysoidaan opetushallituksen etälukion kemian verkkomateriaalia (<http://www.oph.fi/etalukio/ke.html>).

Seuraavissa kappaleissa käsitellään aluksi kemian oppikirjoja, minkä jälkeen niiden sisältöä ja visualisointia on analysoitu vetysidoksen kannalta. Tämän jälkeen käsitellään ja analysoidaan biologian oppikirjat ja käydään läpi etälukion verkkomateriaali (kappaleet 7.1-7.3). Viimeinen osio tässä kappaleessa esittelee opetusmallin vetysidoksen opettamiseen (kappale 7.4).

7.1. Vetysidos kemian oppikirjoissa

Kemian oppikirjoissa oli jonkin verran eroavaisuuksia asioiden käsittelyjärjestyksessä ja siinä, miten perusteellisesti asiat esitettiin. Toisissa oppikirjoissa vetysidoskäsitettä ripoteltiin pitkin kurssia ja se nousi esille mainintoina kohdissa, joissa sillä oli oleellista merkitystä. Toisissa oppikirjoissa puolestaan vetysidos käsiteltiin lyhyesti ja pinnallisesti. Tässä kappaleessa on aluksi kerätty jokaisesta kirjasarjasta määritelmät vetysidokselle (Taulukko 6), minkä jälkeen on käsitelty kunkin kirjasarjan 1. kurssin kirjat ja tämän jälkeen edelleen 2. kurssin kirjat.

Taulukko 6. Vetysidoksen määritelmät kemian oppikirjoissa.

	<i>Vetysidoksen määritelmä:</i>
A	<i>”Vetyä sisältävien molekyylien välille voi syntyä tavallista vahvempi dipoli-dipolisidos, jos vetyatomi on sitoutunut vahvasti elektroneja puoleensa vetävään happi-, typpi- tai fluoriatomiin. Molekyylien positiivisesti varautuneet vetyatomit sitoutuvat toisen molekyylin negatiivisesti varautuneeseen happi-, typpi- tai fluoriatomiin. Koska vetyatomi on pienikokoinen, molekyylit pääsevät lähelle toisiaan ja vetovoimat kasvavat. Tällaisesta sidoksesta käytetään nimitystä vetysidos.”</i>
B	<i>”Jos voimakkaasti poolisen molekyylin positiivisena napana on vetyatomi, joka vetää puoleensa toisen voimakkaasti poolisen molekyylin negatiivista napaa, dipoli-dipolisidosta sanotaan vetysidokseksi.”</i>
C	<i>Vetysidoksen selitetään syntyvän sellaisten molekyylien välille, joissa pienikokoinen vetyatomi on liittynyt kovalenttisesti pienikokoiseen, hyvin elektronegatiiviseen atomiin, kuten happeen, typpeen tai fluoriin, jolloin atomien pienen koon ja suuren elektronegatiivisuuseron vuoksi syntyvät osittaisvaraukset ovat suuremmat kuin poolisissa molekyyleissä yleensä</i>
D	<i>Erityisen voimakkaan dipolien välisen sidoksen sanotaan syntyvän sellaisten molekyylien välille, joissa vety on sitoutunut kovalenttisella sidoksella pieneen elektronegatiiviseen atomiin eli typpi-, fluori- tai happiatomiin. Näissä molekyyleissä sidoselektronit, myös vetyatomin ainoa elektroni, kuuluvat selvästi enemmän vetyatomiin sitoutuneelle typpi-happi- tai fluoriatomille, jolloin molekyylin vetypäähän syntyy voimakas positiivinen osittaisvaraus ja toiseen päähän vastaavasti voimakas negatiivinen osittaisvaraus. Toisiaan lähellä olevien molekyylien positiiviset ja negatiiviset päät vetävät toisiaan tehokkaasti puoleensa ja tätä vetovoimaa kutsutaan vetysidokseksi.</i>
E	<i>”Vetysidos on sellaisten poolisten molekyylien välinen sidos, joissa vety on kovalenttisesti sitoutunut elektronegatiiviseen O-, N- tai F-atomiin.”</i>
Z⁶	<i>”Unusually strong dipole-dipole attractions that occur among molecules in which hydrogen is bonded to a highly electronegative atom.”</i>

Kirjan A1 alussa käsitellään sekä kovalenttista sidosta että mikä molekyyli on, minkä jälkeen tarkastellaan poolisuutta. Vetysidos mainitaan orgaanisten yhdisteiden kohdalla, mutta määritellään vasta kappaleessa, jossa käsitellään molekyylien välisiä

⁶ Vertailukohdaksi taulukkoon on liitetty määritelmä kirjasta Chemistry, Zumdahl 1997

vuorovaikutuksia. Ainoana esimerkkinä vetysidoksesta on vetysidokset metanolimolekyylien välillä.

Kirjassa B1 käsitellään aluksi ionisidos, jonka jälkeen käsitellään kovalenttista sidosta ja poolisuutta. Vettä tarkastellaan omassa kappaleessaan, jonka kohdalla tuodaan esiin veden poolisuus, kiehumispiste, veden tiheys ja vesi liuottimena. Tässä kohdin annetaan myös vetysidokselle määritelmä. Vettä visualisoidaan kalottimallilla, johon on merkitty osittaisvaraukset $H(\delta^+)-O(2\delta^-)-H(\delta^+)$. Lisäksi vetysidos tulee vielä esiin alkoholien, karboksyylihappojen, amiinien ja proteiinien kohdalla.

Kirjassa C1 käsitellään aluksi veden olomuodot ja olomuodonmuutoksiin liittyvät energian muutokset. Tämän jälkeen käsitellään molekyylit, joiden yhteydessä käsitellään kovalenttinen sidos, poolinen ja pooliton sidos, poolinen molekyyli ja molekyylien sitoutuminen toisiinsa heikoilla sidoksilla. Vedelle on annettu osittaisvaraukset $H(\delta^+)-O(2\delta^-)-H(\delta^+)$. Heikoissa sidoksissa luokitellaan vetysidos vahvaksi dipoli-dipolisidokseksi. Eräässä kuvatekstissä tulee esiin vetysidoksen vaikutus mm. veden poikkeuksellisen korkeaan kiehumispisteeseen. Vetysidos tulee esiin myös sekä happea (alkoholit, aldehydit, karboksyylihapot) että typpeä (amiinit, nukleiinihapot) sisältävien orgaanisten yhdisteiden kohdalla.

Kirja D1 käsittelee aineiden koostumuksessa puhtaat aineet ja seokset. Esimerkkinä puhtaasta aineesta annetaan vesi, joka koostuu molekyyleistä. Poolista vesimolekyyliä havainnollistetaan kuvalla, johon on merkitty osittaisvarauksiksi $H(\delta^+)-O(2\delta^-)-H(\delta^+)$. Tässä yhteydessä mainitaan myös kovalenttinen sidos ja poolisuus sekä määritellään elektronegatiivisuus. Kirjassa käsitellään lisäksi hiilivetyjä ja orgaanisia yhdisteitä. Vetysidosta ei mainita eikä selitetä.

Kirjan E1 ensimmäisissä kappaleissa käsitellään vahvat sidokset, ionisidos ja kovalenttinen sidos. Poolisten ja poolittomien kovalenttisten sidosten tarkastelussa käydään läpi elektronegatiivisuutta. Näiden jälkeen käsitellään pooliset ja poolittomat molekyylit ja molekyylien väliset heikot sidokset. Eri sidostyyppejä on vertailtu taulukossa, johon on annettu eri sidosten tyypillisiä sidosenergioita. Kirja E1 on tutkimuksen ainoa oppikirja, jossa veden osittaisvarauksiksi on merkitty vedyille δ^+ ja hapelle δ^- . Vetysidos määritellään poolisten molekyylien välisten sidosten yhteydessä. Tämän jälkeen tarkastellaan heikkojen sidosten ja erityisesti vetysidoksen vaikutusta kiehumis- ja sulamispisteisiin, niiden katkeamista ja uudelleenmuodostumista (esimerkkinä DNA:n kahdentuminen) sekä vaikutusta liukoisuuteen. Vetysidos esiintyy kirjassa vielä tarkasteltaessa alkoholeja, aldehydejä, polysakkarideita ja proteiineja.

Tiivistelmä ensimmäisen kurssin oppikirjoissa esiintyvistä vetysidokseen liittyvistä käsitteistä ja asioista on koottu taulukkoon 7. Taulukosta havaitaan, että kirjoista E1 käsittelee vetysidosta laajasti, kun taas kirjat A1 ja D1 vain sivuavat sitä. Kirjassa E1 on myös paljon ja monipuolisesti arkipäivän esimerkkejä, minkä lisäksi sidostyyppien vertailu on hyvä, sillä siinä on selkeästi vertailtu myös sidosennergioita. Kirjassa B1 käsitellään poolisuutta laajasti, mutta harhaanjohtavaa on vesimolekyylin osittaisvarausten merkitseminen. Lisäksi kirja B1 nostaa useissa kohdin esiin vetysidoksen vaikutuksen kiehumis- ja sulamispisteisiin ja vettä käsitellään laajasti. Kirjassa C1 käsitellään puolestaan alkoholeja paljon, mutta esimerkiksi poolisuutta hyvin vähän.

Taulukko 7. Vetysidos kemian 1. kurssin oppikirjoissa.

Käsite	A1	B1	C1*	D1	E1**
Aldehydit			X		X
Alkoholit		XX	XXX		XX
Amiinit/Amidit		X	XX		X
Arkipäivän esimerkit		X	X		★★★
DNA		X	XX	X	X
Elektronegatiivisuus	X	XX	XX	X	XX
Karboksylihapot		XX	XX		
Kovalenttinen sidos F-, O- tai N-atomiin	XX		XX		XXX
Molekyylihila	X				
Olomuodot	XX	X	X	XX	XX
Polysakkaridit (selluloosa, tärkkelys)	X				XX
Proteiinit	XX	XX			XX
Pintaajännitys		X			
Poolisuus	XX	***	***	***	XXX
Sidostyyppien vertailua					★★★****
Sulamis- ja kiehumispiste	XX	XXX	XX		XX
Sähköinen vuorovaikutus	XX				XX
Vesi		XXX	X		X
Vetyatomin pienen koon merkitys	XX*****		XX*****		

Merkintöjen selitykset:

x Asia mainittu, liittyy vetysidokseen, muttei juurikaan selitetty

xx Liitetty vetysidokseen, selitetty jonkin verran

xxx Asiaa selitetty enemmän, asia liittyy oleellisesti vetysidokseen Puutteellinen tai harhaanjohtava selitys

★ Asia selitetty ymmärrettävästi ja kytketty hyvin vetysidokseen.

* Vetysidos esiintyy lisäksi hiilivetyjen kohdalla: Vesimolekyylien väliset vahvat vetysidokset estävät poolittomien hiilivety-molekyylien liukenemisen veteen.

** Vetysidos esiintyy myös eetterin kohdalla: Eetterimolekyylit eivät voi keskenään muodostaa vetysidoksia, mutta niiden happiatomi pystyy muodostamaan vetysidoksia veden vetyatomien kanssa.

*** B1, C1 ja D1 esittävät vesimolekyylin poolisuudessa osittaisvaraukset suhteessa 1:2:1 eli hapella kaksinkertainen negatiivinen osittaisvaraus.

**** Asia taulukoitu, jossa vertailtavana myös sidosennergioita.

***** Vetysidoksessa vetyatomi on sitoutunut vahvasti elektroneja puoleensa vetävään O-, N- tai F -atomiin. Koska vetyatomi on pienikokoinen, molekyylit pääsevät lähelle toisiaan ja vetovoimat kasvavat.

***** Atomien pienen koon ja suuren elektronegatiivisuuseron vuoksi syntyvät osittaisvaraukset ovat suuremmat kuin poolisissa molekyyleissä yleensä → vahva dipoli-dipolisidos eli vetysidos.

Kemialliset sidokset kuuluvat valtakunnallisen opetussuunnitelman mukaan toisen kurssin keskeisiin sisältöihin. Kaikissa tutkimuksessa analysoiduissa kemian toisen kurssin oppikirjoissa (A2-E2) tarkasteltiinkin kemiallista sitoutumista omissa

kappaleissaan. Vetysidosta käsiteltiin pääasiallisesti näissä kappaleissa joitain poikkeuksia lukuun ottamatta.

Kirjassa A2 käsitellään ensin kovalenttinen sidos ja molekyylien liittyminen toisiinsa heikolla sidoksella. Tämän jälkeen käsitellään ioni- ja metallisidos, myös poolisten ja poolittomien molekyylien väliset sidokset mainitaan. Tässä yhteydessä mainitaan lisäksi sidosten voimakkuuden vaikutus sulamis- ja kiehumispisteisiin. Kirjassa pohditaan vielä, miten sidosten perusteella voidaan ennustaa aineen ominaisuuksia. Vetysidos mainitaan joissakin kohdin, muttei anneta varsinaista määritelmää.

Kirjassa B2 puolestaan lähdetään liikkeelle elektronegatiivisuudesta, kovalenttisen sidoksen poolisuudesta ja molekyylin poolisuudesta. Poolisten molekyylien välisissä sidosvoimissa tarkastellaan vetysidosta. Veden suhteellisen korkeaa kiehumispistettä, vesimolekyylien sitoutumista toisiinsa ja DNA:n emästen välisiä vetysidoksia on visualisoitu kuvin. Kirja mainitsee vahvojen ja heikkojen sidosten luokittelussa rajana pidettävän sidosenergiaa n.100 kJ/mol. Vetysidos tulee esiin myös viskositeetin ja pintajännityksen kohdalla. B2 kirja on tutkimuksen ainoa oppikirja, joka käsittelee isomerian yhteydessä molekyylin sisäistä ja molekyylien välisiä vetysidoksia.

C2 kirja puolestaan aloittaa sidosten käsittelyn metallisidoksesta, minkä jälkeen kirjassa käsitellään kovalenttinen sidos. Seuraava kappale on alkuaineiden sitoutumisesta yhdisteiksi, jossa tarkastellaan lyhyesti ionisidos sekä pooliset ja poolittomat molekyyliyhdisteet. Seuraavaksi vertaillaan sidostyyppien ioniluonnetta ja sidoksien vahvuutta sidosenergian avulla. Lopuksi käsitellään veden erityisominaisuuksia, joista selitetään pintajännitys, tiheys, korkea kiehumispiste sekä veden liuotinominaisuuksia.

Kirjassa D2 käsitellään aluksi ionisidosta, minkä jälkeen käsitellään kovalenttinen sidos ja poolisuus. Poolisuuden kohdalla tarkastellaan elektronegatiivisuutta ja molekyylin poolisuutta, joita sanotaan myös dipoleiksi. Dipolia on visualisoitu esimerkillä vedestä, johon on merkitty hapelle osittaisvaraus $2\delta^-$ ja vedyille δ^+ . Tämän jälkeen käsitellään ensin metallisidos ja sitten molekyylien väliset sidokset. Vetysidos määritellään ja esimerkkeinä annetaan vesimolekyylien väliset vetysidokset ja proteiinimolekyylin sisäiset vetysidokset. Vettä käsitellään tässä yhteydessä tarkemmin omassa lisätietolaatikossaan. Heikkojen sidostyyppien vertailusta on taulukko. Vetysidos tulee esiin vielä kappaleessa molekyylin avaruusrakenteesta proteiinien sekundaari-, tertiaari- ja kvartaarirakenteen tarkastelussa. Lisätietolaatikossa geeneistä ja geenitekniikasta mainitaan vetysidos.

Kirja E2 tarkastelee ensin kovalenttista sidosta, jonka yhteydessä on lisätieto-osiona DNA:n rakenteesta ja emäsparien välisistä vetysidoksista. Seuraavaksi käsitellään ionisidos ja metallisidos. Vahvat sidokset ja aineen ominaisuudet tiivistetään kappaleen lopussa taulukoksi, jossa on myös molekyylihilaisen aineen tyypillisimpiä ominaisuuksia. Heikkojen sidosten tarkastelussa vertaillaan niiden sidosennergioita sekä vetysidoksen vaikutusta kiehumispisteisiin. Aineiden liukoisuuden jälkeen käsitellään veden ominaisuuksia ja merkitystä luonnossa, joista selitetään mm. kapillaari-ilmiö ja pintajännitys sekä jään tiheys. Kirjassa on vielä orgaanisten yhdisteiden rakenteen kappaleessa lisätietolaatikko elämän rakennusaineista, jossa on visualisoitu proteiinien välisiä vetysidoksia.

Kemian oppikirjojen toisen kurssin vetysidokseen liittyvien käsitteiden esiintyminen on taulukoitu taulukkoon 8. Huomioitavaa taulukossa 8 on, että kirja A2 käsittelee suhteellisen suppeasti vetysidosta. Kirja B2 puolestaan on ainoa, missä esiintyy intra- ja intermolekulaarinen vetysidos. Pintajännitys käsitellään kirjassa C2 selkeästi ja ymmärrettävästi. Kirjan D2 poolisuuden käsittelyssä voi oppilaalle jäädä virhekäsityksiä veden osittaisvarausten merkitsemisestä. E2 kirjassa on paljon ja monipuolisesti arkipäivän esimerkkejä. Myös sidostyyppien vertailu on hyvä, sillä siinä on selkeästi annettu myös sidosennergioita eri sidostyypeille.

Taulukko 8. Vetysidos kemian 2. kurssin oppikirjoissa.

Käsite	A2	B2	C2	D2	E2
Alkoholit					X
Arkipäivän esimerkit		XX	X	XX	★★★
DNA		XX		X	XX
Elektronegatiivisuus	X	XX	XX	XX	X
Intra vs. intermolekulaarinen		XX			
Kovalenttinen sidos F-, O- tai N-atomiin	X*	X		XX	X*
Molekyylihila	XX	XX	XX	XX	XX
Olomuodot	X		X	XX	XX
Polysakkaridit (selluloosa, tärkkelys)				X	X
Proteiinit				XXX	XX
Pintajännitys		XX	★★★	X	XX**
Poolisuus	X	XXX	XX		XX
Sidostyyppien vertailua	XX	XX	XXX	XX	★★★***
Sulamis- ja kiehumispiste	X	XX	XX	XX	XX
Vesi		XX	XXX	XX	XXX
Vetyatomin pienen koon merkitys		****		*****	

Merkintöjen selitykset:

- x Asia mainittu, liittyy vetysidokseen, muttei juurikaan selitetty
 xx Liitetty vetysidokseen, selitetty jonkin verran
 xxx Asiaa selitetty enemmän, asia liittyy oleellisesti vetysidokseen
 Puutteellinen tai harhaanjohtava selitys
 ★ Asia selitetty ymmärrettävästi ja kytketty hyvin vetysidokseen.

* Asia tulee esiin käsitteistössä vetysidoksen selityksessä, muttei varsinaisessa tekstissä.

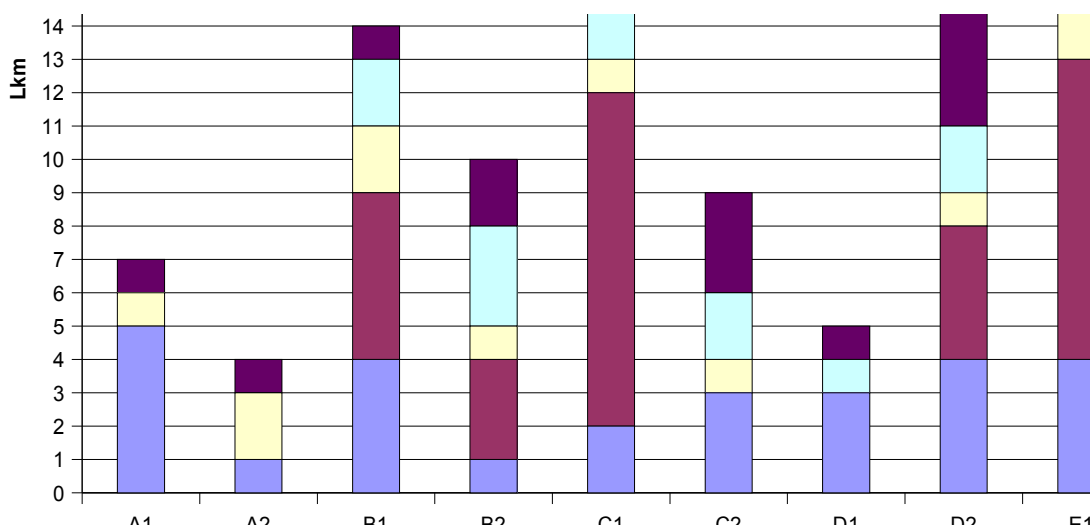
** Asiasta kuva heikkojen sidosten yhteydessä, jossa ei tarkempaa selitystä.

*** Asia taulukoitu, jossa vertailtavana myös sidosennergioita.

**** Vetysidoksen edellytyksenä pidetään vetyatomin sitoutumista pienikokoiseen elektronegatiiviseen atomiin, jolloin tämä vetyatomi voi sitten sitoutua toisen molekyylin pienikokoiseen elektronegatiiviseen atomiin.

***** Vety sitoutunut kovalenttisella sidoksella pieneen elektronegatiiviseen atomiin, jolloin sidoselektronit kuuluvat (myös vetyatomin ainoa elektroni) enemmän O-, N- tai F -atomille. Molekyyliin syntyy voimakkaan positiivisen ja negatiiviseen osittaisvarauksen päät. Toisiaan lähellä olevien + ja - päät vetävät toisiaan tehokkaasti puoleensa → kyseessä vetysidos.

7.1.1. Vetysidoksen visualisointi kemian oppikirjoissa



Kuva 6. Vetysidokseen liittyvien kuvien ja taulukoiden määrät kemian oppikirjoissa.

Taulukoiden ja kuvaajien luokittelu oli selkeää, mutta luokittelu rakennekuvaksi, kuvaksi tai muuksi kuvaksi ei ollut täysin yksikäsitteistä. Kuva luokiteltiin rakennekuvaksi, jos se sisälsi sidosviivoja tai muita atomitason merkintöjä. Kuviksi luokiteltiin valokuvat tai kalottimalli-kuvat. Muiksi kuviksi luokiteltiin kuvat (useimmiten valokuvia), jotka liittyvät vetysidokseen, mutta asiayhteyttä ei mainittu, vaan se pitää itse huomata tai opettajan selittää.

Selkeästi eniten kuvia ja taulukoita löytyy kirjasarjasta E (yht. 41). Kirjojen B1 ja C1 suhteellisen suuri kuvamäärä selittyy osaltaan sillä, että kirjoissa on paljon pieniä rakennekuvia, joista useat ovat sivujen laidalla lisätietona. Varsinkin C1 kirjassa vetysidos tulee esiin pieninä rakennekuvina pitkin kurssia, niin alkoholien, aldehydien, ketonien, karboksyylihappojen kuin amiinienkin kohdalla.

7.1.2. Analyysi

Kemian oppikirjojen vertailussa käy ilmi, että vetysidosta käsitellään ja sen merkitystä painotetaan kirjoissa hyvin eri tavoin. Kirjasarja A käsitteli vetysidosta suppeasti eikä visualisuuuteenkaan oltu panostettu parhaalla mahdollisella tavalla. Joissain kuvissa vetysidos on merkitty esimerkiksi katkoviivoin, mutta asiaa ei tarkastella sen lähemmin. Useat kuvat kaipaavatkin opettajan tarkennusta ja lisäselitystä. Kirjasarjan A puutteena on myös arkipäivän esimerkkien vähäisyys.

Positiivista huomiota kiinnitti kirjasarjassa A vetysidoksen elektrostaattisen luonteen esiintuonti. Tekstissä tuodaan hyvin esiin myös, että vetysidos on suhteellisen vahva, koska vetyatomi on niin pieni, että molekyylit pääsevät lähelle toisiaan. Muutamassa kuvassa on yhdistettynä esimerkiksi sekä valokuva että rakennekuva. Asiaa on siis hyvin visualisoitu usealla tavalla samassa kuvassa. Maininnan arvoinen asia on myös kuva, jossa etikkahappomolekyyli on kuvattuna erilaisilla malleilla (kalottimalli, pallotikkumalli, rakennekaava, viivakaava, molekyylikaava, varausjakauma). Tämä havainnollistaa, miten monta eri tapaa on visualisoida ja mallintaa samaa asiaa.

Kirjasarja B käsittelee vetysidoksen pääosin veden yhteydessä, mutta asia tulee esiin kurssin varrella myöhemminkin. Yleisilmeeltään kirjat ovat harmaita, vaikka kuvia onkin jonkin verran. Kuvat on kuitenkin pieniä, värittömiä ja sivujen laitaan sijoitettuja. Visualisuuuteen ja kuvien mielekkyyteen tulisi panostaa enemmän.

Hienoa oli, että kirjassa tuotiin esiin ja visualisoitiin rakennekuvalla molekyylin sisäinen ja molekyylien välinen vetysidos. Mukava arkipäivän esimerkki vetysidoksiin liittyen puolestaan oli kuva vaippaikäisestä lapsesta. On tärkeää, kuten tässä kirjasarjassa tehtiin, luonnehtia vetysidos hyvin tavalliseksi sidokseksi (esimerkkinä DNA). Kirjassa mainitaan hyvin, molekyylin poolisuuden voivan kumoutua, vaikka siinä olisi poolisia kovalenttisia sidoksia. Esimerkkinä annetaan sauvamainen hiilidioksidimolekyyli.

Kirjasarjassa C visualisointia on käytetty monipuolisella tavalla. Taulukot ja kuuvaajat jäsentävät hyvin tekstiä. Hyvänä esimerkkinä on kuva veden eri olomuotojen mallintamisesta hiukkastasolla. Kuva voisi toimia jopa opetusmallin (kappale 7.4) ensimmäisessä kohdassa oppilaiden pohjatiedon kartoittamisessa. Kuvaan on merkitty vetysidoksia katkoviivoin ja jään kohdalle enemmän säännönmukaisuutta. Joka tapauksessa kuvaa pitää selittää oppilaille ja johdattaa mm. kemiallisiin sidoksiin.

Vetysidoksen merkitys kiehumis- ja sulamispisteisiin tuodaan tässä kirjassa hyvin ja toistuvasti esiin. Mainittavaa on myös pintajännityksen ymmärrettävä selitys ja selitystä tukeva visualisointi. Yleisestikin asioiden selityksiä on tuettu hyvin visualisoinnilla.

Kirjasarjan D ensimmäisellä kurssilla ei käsitellä eikä määritellä vetysidosta. Tämä on aika yllättävää, sillä vetysidos liittyy oleellisena osana jokapäiväiseen elämään. Oppilaat, jotka eivät valitse jatkokursseja, jäävät yleissivistyksessään paitsi vetysidoksen tuntemusta, ellei opettaja erikseen käsittele asiaa tai ellei se tule esiin biologian kursseilla. Positiivisena asiana on useiden arkipäivän esimerkkien integroiminen biologiaan. Kirjasarjassa D on jonkin verran kuvia, mutta yleisilmeeltään ne eivät ole innostavia. Esimerkiksi proteiineja on visualisoitu monipuolisesti, mutta kuvat ovat värittömiä.

Kirjasarjasta E visualisointia on käytetty esimerkillisellä tavalla hyödyksi. Taulukot jäsentävät hyvin tekstiä ja rakennekuvat muiden kuvien ohella tukevat tekstiä. Jonkin verran sarjan E kirjoissa on kuvia, joissa ei ole kuvatekstiä ja niiden tarkoituksen joutuu itse päättelämään tai yhdistämään tekstiin. Tällaiset kuvat jäävät irrallisiksi, eivätkä ne tue mielekästä oppimista. Sidostyyppien vertailu on selkeä ja siinä vertailtavissa olevat sidosenergiat auttavat vetysiduskäsitteen ymmärtämisessä. Tässä kirjasarjassa oli huomattavan paljon ja monipuolisesti arkipäivän esimerkkejä. Ainoana kirjasarjana vesimolekyylin osittaisvaraukset on merkitty niin, että hapelle tulee negatiivinen osittaisvaraus δ^- ja vedyille positiivinen δ^+ .

Kemiallinen sitoutuminen käsiteltiin oppikirjoissa hyvinkin eri järjestyksessä. Esimerkiksi oppikirja C2 aloittaa metallisidoksesta, jatkaa kovalenttiseen sidokseen ja siitä edelleen ionisidokseen. Tämän jälkeen käsitellään pooliset ja poolittomat molekyyliyhdisteet sekä erikseen veden erityisominaisuuksia. Tällöin vetysidos saattaa jäädä irralliseksi ilmiöksi, koska sitä käsitellään tarkemmin vasta veden yhteydessä. Oppikirja E1 puolestaan käsittelee ensin vahvat sidokset, sitten poolisen ja poolittoman kovalenttisen sidoksen (sisältäen elektronegatiivisuuden). Näiden jälkeen käsitellään pooliset ja poolittomat molekyylit ja molekyylien väliset heikot sidokset (mm. vetysidos). Tämä käsittelyjärjestys on luonteva ja johdonmukainen vetysidoksen oppimisen kannalta, sillä tällöin se tulee käsitellyksi yhtenä kemiallisen sitoutumisen ilmiönä.

Vesi on vetysidokseen liittyvä perusesimerkki, joka esiintyy jokaisessa kirjasarjassa. Taulukkoon 9 on koottu yhteenveto veteen liittyvistä käsitteistä sekä niiden

käsittelystä eri kirjasarjoissa. Taulukosta voidaan havaita, että oppikirjat painottavat eri asioita ja voivat syventää asiaa vasta kursseilla 2. Huomioitavaa on, ettei kurssi 2 ole kaikille pakollinen kurssi, jolloin joillekin opiskelijoista voi osa käsitteistä jäädä kokonaan oppimatta. Kirjasarjojen B, C ja D antamat osittaisvaraukset vesimolekyyliin ovat harhaanjohtavia ja oppilaille voi niistä jäädä virhekäsityksiä. Asiaa pitäisi käsitellä molekyylien välisessä vuorovaikutuksessa eikä yksittäisessä molekyylissä. Vesimolekyylien vuorovaikuttaessa keskenään osittaisvaraukset eivät pysy vakioina. Merkinnät $2\delta^-$ ja δ^+ viittaavat matemaattiseen malliin tai voivat johtaa käsitykseen, että kyse on esimerkiksi atomien hapetusluvuista.

Taulukko 9. Veden käsittely eri oppikirjoissa.

Käsite	A	B	C	D	E
Jään tiheys		X	X	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾
Kapillaari-ilmiö				X ⁽²⁾	X ⁽²⁾
Kiehumispiste	X ^{(1)*}	X	X	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾
Liuetin/liukoisuus	X ⁽¹⁾	X	X ^{**}	***	X
Olomuodot	X ^{(1)****}	X	X	X ⁽²⁾	
Osittaisvaraukset $H(\delta^+)-O(\delta^-)-H(\delta^+)$					X
Osittaisvaraukset $H(\delta^+)-O(2\delta^-)-H(\delta^+)$		(1)	(1)		
Pintajännitys		X ⁽²⁾	★	X ⁽²⁾	X ⁽²⁾
Useita vetysidoksia		X ⁽²⁾		X ⁽²⁾	★

Merkintöjen selitykset:

X Käsite esiintyi molemmissa kursseissa

(1) Käsite esiintyi kurssilla 1

(2) Käsite esiintyi kurssilla 2

Puutteellinen tai harhaanjohtava selitys

★ Käsite selitetty ymmärrettävästi ja kytketty hyvin vetysidokseen.

* Vety-yhdisteiden kp -kuuvaja on esitetty harjoittelutehtävässä, josta voi huomata ammoniakkin, veden ja vetyfluoridin kiehumispisteiden poikkeavan muista. Asiaa ei ole kuitenkaan varsinaisessa tekstissä selitetty.

** Aineiden (esim. aldehydit, amiinit, karboksyylihapot) liukoisuus veteen on tuotu esiin kyseisten aineiden kohdalla niiden ominaisuuksia tarkasteltaessa.

*** Kurssilla 1 asiaa ei liitetty lainkaan vetysidokseen

**** Vain kuva, josta voi päätellä sen esittävän vettä.

Arkipäivän esimerkit sekä vetysidoksen opetuksen integroiminen osaksi muiden kurssien opetusta auttavat syventämään tietoa ja oppimista, sillä tällöin käsite tulee esille yhä uudelleen ja käsitellyksi useista eri näkökulmista. Taulukkoon 10 on koottu tutkimuksen analysoiduissa oppikirjoissa esiintyvät vetysidokseen liittyvät arkipäivän esimerkit. Monet esimerkit integroituvat biologiaan (lihavoitu vihreä teksti). Taulukosta voidaan havaita, että vetysidosta voidaan liittää arkipäivään useilla ja monipuolisilla esimerkeillä. Huomiota herättää kirjasarja A, jossa arkipäivänkytköksiä ei ole kuin kaksi, kun taas kirjasarjassa E ne ovat monipuolisia ja niitä paljon. Kirjasarja D puolestaan painottaa esimerkeissään integraatiota biologiaan.

Taulukko 10: Kemian oppikirjoissa esiintyvät arkipäivän esimerkit.

<i>Kirjasarja</i>	<i>Esimerkit</i>	<i>Määrä</i>
A	Glyseroli mm. kosmetiikkatuotteissa, kiisselin valmistus	2
B	DNA-tunnistus rikostutkinnassa, kananmunan valkuaisen saostuminen (<i>denaturoituminen</i>), marengin valmistus (<i>denaturoituminen</i>), saippua → veden pintajännityksen alentaminen, vesihyönteisten liikkuminen veden pinnalla , sadeveden pisaroituminen lehden pinnalle, glyseroli automootoreiden voiteluaineena, vaipan imukyky, kuidun / kankaan värjäys	9
C	Glyseroli kosmeettisissa tuotteissa, jäähdytinneste (glykoli), lasisen juomapullon särkyminen jäätyessä, vesikirppu veden pinnalla	4
D	DNA-tunnistus rikostutkinnassa, kallioiden mureneminen jäästä, järvien jäätyminen pinnasta → elämä pohjassa mahdollista, vesi kehon lämpötilan säätelijänä, kasvien vesitalous (haihtumisimu, kapillaari-ilmiö), villan muotoilu kosteana, hiusten kihartaminen papiljoteilla, kankaiden/langan värjäys, hämähäkinseitti	9
E	Kiisselin saostus, vaipan imukyky, kankaan silittäminen, hiusten föönaus, liivate, marjojen ja hedelmien pektiini, CMC*, nenäliina/talouspaperi, Gore-Tex, teen hauduttaminen, jäähdytysneste (glykoli), glyseroli mm. ihonhoitotuotteet, nesteet ovat juoksevia**, polyasetaali auto- ja elektroniikka-teollisuudessa***, pyykinpesuaine, vesikirppu veden pinnalla , CaCl:n käyttö sorateiden pölyn sidonnassa	17

* Karboksimeetyyliselluloosaa (CMC) on mm. hammastahnassa, sampoossa, jäätelössä ja ketsupissa. Se sitoo vettä, pitää tuotetta koossa, liukastaa ja saostaa tarpeen mukaan.

** Asia liitetty arkipäivään: Kun vettä sekoitetaan tai kaadetaan astiasta toiseen, vesimokelyylit liikkuvat koko ajan toistensa suhteen. Vanhoja vetysidoksia katkeaa ja uusia muodostuu tilalle välittömästi.

*** Vetysidosta ei mainittu tässä kohdin, mutta rakenne annettu ja mainittu molekyylien voivan liittyä toisiinsa pitkiksi ketjuiksi → polyasetaali.

7.2. Vetysidos biologian oppikirjoissa

Vetysidos on hyvin oleellinen käsite myös biologian kannalta. Koska ainerajat ylittävää opetusta suositellaan valtakunnallisessa opetussuunnitelmassa, on tässä tutkimuksessa analysoitu myös biologian oppikirjojen vetysidokseen liittyvää oppiainesta. Tutkimusaineistoksi valittiin biologian kahden ensimmäisen kurssin oppikirjat (F1, F2, G1 ja G2). Kirjat ovat uuden opetussuunnitelman mukaan uudistettuja tai kokonaan uusia kirjasarjoja.

Kirjasarjassa F vetysidos määritellään seuraavasti: *”Vetysidos muodostuu, kun kovalenttisella sidoksella happi-, typpi- tai fluoriatomiin liittynyt vetyatomi sitoutuu toisen molekyylin typpi-, happi- tai fluoriatomiin. Esimerkiksi vesimolekyylin vetyatomin liittyessä toisen vesimolekyylin happiatomiin syntyy vesimolekyylien välille vetysidos.”* Kirjasarja G ei määrittele vetysidosta, mutta mainitsee useiden biologisten ilmiöiden selittämiseen tarvittavan avuksi kemiaa.

Kirjasarjassa F mainitaan useita vetysidokseen liittyviä arkipäivän esimerkkejä: 1) vesimittarin pysyy veden pinnalla veden pintajännityksen ansioista, 2) vetysidokset mahdollistavat veden haihtumisen ja vesipatsaan nousemisen ylöspäin johtosolukossa, 3) solut rikkoontuvat, koska vesi muodostaa jäätyessään jääkiteitä, 4) vesimolekyylien väliset vetysidokset katkeavat pesuaineen vaikutuksesta, jolloin pintajännitys pienenee, 5) proteiinien väliset vetysidokset katkeavat kalan kypsyessä uunissa sekä 6) kananmunien keittäminen, jolloin denaturoituneet proteiinimolekyylit liittyvät toisiinsa ja sitovat samalla itseensä vettä. Näistä erityisesti kohdat 1-3 tukevat hyvin biologian ja kemian välistä integraatiota.

Myös kirjasarjassa G on useita vetysidokseen liittyviä esimerkkejä, muttei näiden kytkeytymistä vetysidokseen ole selitetty. Kirjassa käytetyt esimerkit ovat: 1) kananmunan valkuaisen koaguloituminen keitettäessä, 2) eläinten selviytyminen talvesta muuttamalla osan elimistön ravintovarastosta glyseroliksi, joka toimii jäänestoaineena, jolloin solun rakenteet eivät rikkoudu pakkasessa, 3) veden jäätyminen särkevän solun hienorakenteen, jolloin solu kuolee, 4) nestejännityksen tukevan monia kasveja ja joitain eläimiä sekä 5) haihtumisimun, jossa ”vesilangan” katkeamattomuuden syyksi sanotaan vesimolekyylien välillä vallitsevan kiinne- eli koheesiovoiman.

Kirjan F1 osioissa, joka käsittelee evoluutiota, mainitaan useasti DNA ja geenit, mutta kemiallista yhteyttä niille ei anneta, vaan niitä peilataan vain evoluutioon. Samoin kirjassa G1 käsitellään DNA:ta solujen toiminnan ohjauksessa ja evoluution selvittämisessä, mutta yhteyttä vetysidokseen ei selitetä.

Kirjassa G1 tulee esiin myös vesi tärkeänä kemiallisten rakenteiden osana, joka toimii aineiden liuottimena. Kirjassa F2 puolestaan on lisätietolaatikko⁷, jossa käsitellään molekyylien rakentumista atomeista. Esimerkkinä annetaan vesi ja sen happi- ja vetyatomien välinen kovalenttinen sidos. Lisäksi mainitaan, että vesimolekyylissä happi saa heikon negatiivisen ja vety heikon positiivisen osittaisvarauksen, sillä happiatomi vetää elektroneja voimakkaammin puoleensa. Vettä käsitellään tietolaatikossa lisää, jossa tuodaan esiin mm. veden tärkeys lämmönsäätelijänä, useiden vetysidosten muodostuminen vesimolekyylien välille sekä veden liuotinominaisuus.

Kuten yllä todettiin, vetysidoksen ja DNA:n välistä yhteyttä ei selitetty kirjoissa F1 ja G1. Sen sijaan tämä on käsitelty sekä kirjassa F2 että G2. F2 selittää DNA:ssa olevan neljää eri emästä, jotka muodostavat pareja tietyllä tavalla (adeniini & tymiini, guaniini & sytosiini), joiden välissä on vetysidoksia. Asiaan kytketään myös sidosenergian merkitys, sillä DNA:n toiminnan kannalta vetysidosten helppo aukeaminen on erittäin tärkeää. G2 kirja havainnollistaa DNA:ta vertauksella tikapuista, jossa nukleotideista muodostuneet juosteet ovat tikapuiden runko ja vetysidokset muodostavat poikkipuut. Lisäksi mainitaan vetysidoksen merkitys DNA:n kahdentumisessa.

⁷ Lisätietolaatikolla tarkoitetaan muusta tekstistä irrallista, eri värillä korostettua, syvällisempää selitystä asiasta.

7.2.1. Vetysidoksen visualisointi biologian oppikirjoissa

nekuva

Kuva 7. Vetysidokseen liittyvien kuvien ja taulukoiden määrät biologian oppikirjoissa.

Vetysidokseen liittyvät kuvat luokiteltiin rakennekuvaksi, jos se sisälsi sidosviivoja tai muita atomitasen merkintöjä. Valokuvat luokiteltiin kuviksi.

Kuten kuvasta 7 nähdään, biologian oppikirjoissa on melko vähän vetysidokseen liittyviä kuvia. Kirjan F1 kolme kuvaa liittyivät kaikki kappaleeseen ”Vesi on elämän ylläpitäjä”. Ne visualisoivat arkipäivän esimerkkejä (mm. pintajännitys). Kirjan F2 kuvista kaksi sisältyi lisätietolaatikoihin, 1) miten molekyylit rakentuvat atomeista ja 2) miten proteiinin toiminta riippuu sen kolmiulotteisesta rakenteesta. Nämä kuvat luokittelin rakennekuviksi. Kolmas kuva visualisoi DNA:ta.

Kirjassa G1 ei ollut yhtään vetysidoksen liittyvää kuvaa ja kirjassa G2 oli kolme kuvaa, joista yhteen oli liitetty vetysidos. Kaksi kuvaa oli haihtumisimusta ja niiden ottaminen mukaan vääristää jonkin verran kaaviota, sillä niissä ei ole selitetty yhteyttä vetysidokseen (varsinaisessa tekstissä puhutaan vesimolekyylien välisistä vetovoimista). Kirjan G2 kuvat DNA:sta puolestaan eivät visualisoineet vetysidosta lainkaan.

7.2.2. Analyysi

Vetysidosta on käsitelty biologian oppikirjoissa hyvin eri tavoin. Kirjassa F1 veden käsitteleminen elämän edellytyksenä tuo hyvin esiin vetysidoksen merkityksen elämälle jo johdantoluvussa. Veden merkitystä on selitetty hyvin, mutta tässä vaiheessa ei vielä ole atomitason käsittelyä. Saman kirjasarjan kirja F2 puolestaan on sisällyttänyt tarkemmat selitykset vetysidoksesta kahteen lisätietolaatikkoon: 1) molekyylien rakentuminen atomeista ja 2) proteiinien toiminnan riippuminen sen kolmiulotteisesta rakenteesta. Lisätietolaatikot ovat hyviä, sillä niiden avulla itse tekstistä ei tule liian vaikeaa tai monimutkaista.

Kirjasarjassa G vetysidosta on käsitelty huomattavasti vähemmän. Vetysidokseen liittyviä asioita kyllä esiintyy tekstissä, mutta niitä ei ole selkeästi liitetty vetysidokseen. Erityisenä puutteena on se, ettei vetysidokseen selkeästi liittyviä arkipäivän esimerkkejä ole selitetty vetysidoksen kannalta. Huomioitavaa on myös, ettei kasvien vesitalouden yhteydessä ole selitetty vetysidosta ollenkaan. Esimerkiksi kirjassa G2 käsitellään veden etenemistä johtosolukoissa, veden nousemista kasvin juuresta latvaan haihtumisimun avulla sekä ruohovartisissa kasveissa vallitsevan nestejännityksen merkitystä, mutta näitäkään ei yhdistetä selkeästi vetysidokseen. DNA:n kohdalla vetysidos mainitaan, mutta se on taas visualisoitu heikosti (esimerkiksi DNA:n rakennekuvassa vetysidoksia ei ole merkitty lainkaan).

Biologian oppikirjoissa käsitteistä käytetään osittain kemiasta eroavia termejä. Esimerkiksi kirjan G2 termi ”*koheesio*”, joka ilmenee haihtumisimun yhteydessä, tarkoittaa atomien ja/tai molekyylien välisiä vuorovaikutuksia, joita ei ole mitenkään yksilöity. Koheesio käsitteenä tarkoittaa ainoastaan kappaleita toisiinsa sitovia attraktiivisia vuorovaikutuksia, joka sellaisenaan ei välitä vetysidoksen luonteen kaikkia osa-alueita (vrt. kappale 3). Ilmiön fysikaaliset syyt juontavat molemmissa tapauksissa sähköisiin vuorovaikutuksiin, mutta biologian oppikirjan käsittelytavassa vetyatomien oleellinen rooli vetysidoksessa jää epämääräiseksi. Tämä saattaa aiheuttaa ristiriitaisuutta oppilaan mielestä, joka joutuu opiskelemaan molempia oppikirjoja, mutta jotka puhuvat samasta asiasta eri termeillä.

Vetysidosta voidaan pitää koko elämän edellytyksenä. Siihen nähden sitä käsitellään melko vähän kummankin kirjasarjan kirjoissa. Positiivisena asiana on kirjasarjan F johdonmukaisuus, jossa yhteys vetysidokseen mainitaan aina, jos se on oleellista ilmiön toiminnan kannalta. Yleisesti kirjasarjassa F vetysidosta käsitellään perusteellisemmin ja annetaan myös kemiallinen näkökulma asioihin.

Yleisesti biologian oppikirjoissa oli paljon kuvia (pääosin valokuvia), mutta vetysidokseen liittyviä kuvia oli kuitenkin vain muutama. Kirjan F1 kuvat olivat informatiivisia valokuvia ja liittyivät olennaisena osana tekstiin. Myös kirjan F2 rakennekuvat oli hyvin sidottu tekstiin ja edesauttavat käsitteen ymmärtämistä. Sen sijaan kirjan F2 kuva DNA:sta ei ollut paras mahdollinen. Kuvatekstissä vetysidos tulee esiin, mutta kyseisestä kuvasta vetysidoksen olemassa oloa tai merkitystä on vaikea päätellä. Kirjasta F2 puuttuivatkin selkeät DNA:n rakennekuvat emäspareista ja niiden välisistä vetysidoksista, jotka auttaisivat huomattavasti monien DNA:han liittyvien asioiden ymmärtämistä.

Kirjasarjassa G visualisointiin tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Ensivaikutelma kirjoista on väritön ja sekava. Esimerkiksi kirjan G2 kuvaan proteiinin rakenteesta värit ja rakenneosien tarkempi merkitseminen tekisivät kuvasta informatiivisemman ja mielenkiintoisemman. Toinen kuva oli piirros haihtumisimusta, jossa vetysidoksen läpikäynti selkiyttäisi asiaa. Kolmas kuva visualisoi hyvin haihtumisimun merkitystä, mutta olisi paljon informatiivisempi, jos se olisi liitetty vetysidokseen eikä vain katkeamattomaan ”vesilankaan”.

7.3. Vetysidos etälukion virtuaalisella verkkokurssilla

Opetushallituksen laatima etälukiomateriaali on tarkoitettu etätyöskentelyn lisämateriaaliksi oppikirjojen tueksi. Www-materiaalin tarkoituksena on tukea kurssien keskeisimpien ja vaikeimpien kohtien opiskelua. (<http://www.oph.fi/etalukio/ke.html>) Etälukion www-sivujen tarkasteleminen tässä tutkimuksessa on mielekästä, sillä kirja on hyvin passiivinen media, kun taas Internet mahdollistaa erilaisten interaktiivisten välineiden käytön (animaatiot, aktiiviset 3D-mallit, pelit ym.).

Vetysidokseen liittyen www-sivuilla käsitellään melko laajasti jään rakennetta ja DNA:ta. Kumpaakin on visualisoitu havainnollisella interaktiivisella 3D-mallilla, jota voi suurentaa/pienentää ja käännellä hiirellä. Vetysidos tulee esiin lyhyesti myös kovalenttisen sidoksen yhteydessä, jossa esimerkkinä käydään läpi poolista vesimolekyyliä. Lisäksi selitetään veden korkea sulamis- ja kiehumispiste ja veden liuotinominaisuus ionirakenteisiin yhdisteisiin.

Etälukiomateriaalissa vetysidos määritellään seuraavasti: ”*Vetysidos on dipoli-dipoli – vuorovaikutuksen erikoistapaus, joka syntyy sellaisten molekyylien välille, joissa vetyatomi on liittynyt hyvin elektronegatiivisen alkuaineen atomiin (esim. F, N, O)*”. Vetysidosta on visualisoitu viidellä kuvalla ja neljällä rakennekuvalla. Vesimolekyyliä kuvataan osittaisvarauksin, joissa vedylle on merkitty δ^+ ja hapelle $2\delta^-$. Osittaisvarausmerkintöjen alla on kuvattu vetysidoksia vesimolekyylien välillä, johon on mallinnettu vesimolekyyliä samalla tavalla, vaikkakin ilman osittaisvarauksia. Vesimolekyylien välistä vuorovaikutusta visualisoivasta kuvasta voidaan päätellä yhden vesimolekyylin voivan muodostaa useita vetysidoksia. Tätä ei kuitenkaan ole tässä yhteydessä mainittu, mutta se tulee esiin artikkelissa jään rakenteesta.

7.3.1. Analyysi

Oppikirjoa tukevassa verkkomateriaalissa tulisi kiinnittää erityistä huomiota asioihin, jotka nimenomaan tukevat ja täydentävät, eivätkä toista paperimuodossa olevaa materiaalia. Kirjojen rajoitteena voidaan pitää erityisesti välittömän palautteen puuttumista ja sitä, ettei sivumäärää voida rajattomasti kasvattaa. Internetissä tilarajoitetta taas ei sinänsä ole, jolloin kuvien ja taulukoiden määrä ei ole rajoitettu. Myös interaktiivisuuden, videoiden ja animaatioiden hyödyntämiseen on olemassa useita eri keinoja.

Etälukiomateriaalissa vetysidoksen visualisointi on osin puutteellista ja sitä oli vähän, erityisesti kun sitä peilataan Internetin luomia monia mahdollisuuksia vasten. Joissakin kohdin etälukiomateriaalissa olevat kuvat olivat pieniä, eivätkä ne aina tukeneet tekstiä. Esimerkiksi jään rakenteeseen liittyvät kuvat oli sijoitettu sivun yläosaan ilman kuvatekstiä tai muuta sidosta varsinaiseen tekstiin.

Positiivisena etälukiomateriaalissa oli selkeä selitys molekyylimallista; sen hyödyistä ja eroista tavalliseen rakennekuvaan. Myös itse molekyylimallinnusta oli hyödynnetty monipuolisesti. Selkeästi Internetin tekniikoita hyödyntävä asia oli jään ja DNA:n interaktiiviset 3D-mallit, joiden välittämän informaation kuvaamiseen tarvittaisiin useita perinteisiä rakennekuvia. Lisäksi interaktiivisuus antaa oppilaalle mahdollisuuden kontrolloida oppimistapahtumaa (haluttuun kohtaan voidaan perehtyä toista enemmän), mikä parantaa motivaatiota sekä edelleen oppimista.

Näiden 3D-mallien käyttö kuitenkin vaatii apuohjelmien asentamista sekä mahdollisesti Internet-seilamen päivittämistä. Tämä ei sinänsä ole puute, mutta tällaisissa tapauksissa ohjeistukseen ja asennuksen helppouteen tulisi kiinnittää erityistä huomiota, sillä kaikilla käyttäjillä ei ole tarvittavia tietoteknisiä taitoja. Etälukiomateriaalin ohjesivulla oli melko selkeät ohjeet apuohjelmien lataamiseen. Ohjelmia ei kuitenkaan voinut suoraan ladata etälukion sivuilta, vaan lataus piti suorittaa valmistajan englanninkieliseltä sivuilta. Tällöin käyttäjän on usein tunnettava myös englanninkielinen termistö ja tiedettävä melko tarkkaan mitä ja mistä apuohjelmaa etsiä (www-sivut ovat toisinaan hyvinkin sekavia ja epäloogisia).

Tekstisisällöltään etälukiomateriaali oli osin melko suppeaa. Esimerkiksi artikkeli jään rakenteesta olisi voinut käsitellä laajemmin veden erityisominaisuuksia ja vetysidoksen merkitystä, sillä vesi on yksi oleellisimmista molekyyleistä, johon vetysidos liittyy. Osittaisvarausten merkitseminen taas yksittäiselle vesimolekyylille on arveluttavaa, sillä molekyylit ovat vuorovaikutuksessa toistensa kanssa, jolloin osittaisvaraukset muuttuvat eivätkä ole vakioita. Tässä kohdin korostuu virhekäsityksen mahdollisuus⁸.

Kokonaisuudessaan etälukiomateriaali tukee jo nykyisessä muodossaan oppimista, mutta panostamalla lisää sen sisältöön (erityisesti visualisointi), oppimistuloksia voitaneen entisestään parantaa.

⁸ Etälukionmateriaalissa vesimolekyylin vedylle on merkitty osittaisvaraus δ^+ ja hapelle $2\delta^-$ ja viereen on liitetty kuva samanlaisin mallein piirretyistä vesimolekyyleistä sitoutuneena toisiinsa. Näin voi opiskelijalle jäädä virhekäsitys osittaisvarauksista.

7.4. Opetusmalli vetysidoksen oppimisen tueksi

Tutkimuksen oppikirja-analyysin tulosten sekä teoreettisen viitekehyksen pohjalta luotiin opetusmalli vetysidoksen opettamisen tueksi. Opetusmallin tavoitteena on edesauttaa vetysidokskonseptin oppimista sekä yleisesti lisätä kemian kiinnostavuutta.

Opetusmallin lähtökohtana on opetuksen tason sovittaminen oppilaiden aiempien tietojen ja taitojen tasolle, minkä pohjalta varsinainen opetus rakennetaan (kappale 7.4.1). Erityisen tärkeää opetuksessa on pyrkiä hyödyntämään mahdollisimman monipuolisia opetusmenetelmiä (kappaleet 7.4.2-7.4.5). Opetusmalli on esitelty kemian opetukseen, mutta se soveltuu myös biologian kursseille (kappale 7.4.6).

7.4.1. Teoriapohja

Jotta opetuksen taso voidaan mitoittaa oikein, tulisi ensimmäiseksi kartoittaa oppilaiden mentaalimallit eli aiemmat tiedot vetysidoksesta. Oppilailla voi olla hyvinkin erilaiset pohjatiedot, mikä voi puolestaan johtua monista eri syistä. Teorian tulisiikin tukea kaikkien oppilaiden oppimistarpeita. Tämän vuoksi asioiden kertaaminen nousee erittäin keskeiseksi kohdaksi opetusmallissa. Jos perusasiat eivät ole oppilailla hallinnassa, voi konseptin syvälinen käsittely vaikeuttaa entisestään asian oppimista.

Oppilaiden alkutiedot (mitä ja minkälaisen oppilaat olettavat vetysidoksen olevan) voidaan selvittää esimerkiksi lyhytmuotoisella kyselyllä, käsitekartalla tai vain keskustelulla, mitä vetysidos oppilaiden mielestä on. Tämän kartoituksen pohjalta oppilaiden aiempia käsityksiä tai arkitietoa täydennetään tieteellisellä tiedolla. Lisäksi kerrataan olennaiset edellytykset vetysidoksen oppimiselle: elektronegatiivisuus, kovalenttinen sidos ja poolisuus. Muita huomioitavia asioita ovat mm. vetysidoksen vahvuuden vertailu vahvoihin sidoksiin nähden ja osittaisvarausten oikea merkitseminen vesimolekyylissä. Myös asioiden loogiseen esittämisjärjestykseen tulisi kiinnittää huomiota ja siihen, ettei vetysidosta käsitellä irrallisena tai erillisenä ilmiönä, vaan sitä kuljetetaan koko ajan mukana yhtenä tärkeänä osana kemiallisia sidoksia.

7.4.2. Teorian kytkeminen käytäntöön

Teorian kytkeminen käytäntöön on erityisen tärkeää, sillä ilman tätä vetysidos jää irralliseksi käsitteeksi ja sen todellinen merkitys elämän edellytyksenä ja elämän ylläpitäjänä ei selkiytyisi. Vetysidoksen liittäminen veteen, DNA:han, biomolekyyleihin ja lääkeainekemiaan ovat hyviä käytännön esimerkkejä⁹.

7.4.3. Visualisointi ja mallintaminen

Yksinkertaisia 2D rakennekuvia voidaan käyttää selvittämään vetysidoksen perusrakenne. Yksinään käytettynä nämä antavat vetysidoksesta kuitenkin helposti vääristyneen kuvan. Kovalenttisen sidoksen rakennetta ja molekyylien avaruudellista suuntautuneisuutta voidaan selkiyttää pallotikkumalleilla. Sidusrakennetta voidaan lisäksi havainnollistaa teoriassa mainitulla Velcro-menetelmällä, jossa ideana on havainnoida vetysidosten muodostuminen ja katkeaminen sekä taas uudelleen muodostuminen. Velcro-menetelmä havainnollistaa myös molekyylien välisten vuorovaikutusten suhdetta molekyylin sisäisiin sidoksiin, jolloin havaitaan molekyylien välisten sidosten olevan huomattavasti heikompia.

Elektronegatiivisuus pystytään esittämään ymmärrettävästi ja havainnoimaan parhaiten molekyyylimallinnusohjelmilla, joilla voidaan havainnollistaa elektronien todennäköisintä sijoittumista erilaisin värein. Esimerkiksi elektronitiheyskartta kuvaa todennäköisyyttä löytää elektroneja tietyltä alueelta. Molekyyylimallinnuksen avulla tätä ominaisuutta voidaan myös aktiivisesti tarkastella, kun muutetaan molekyylien välistä etäisyyttä. Samalla voidaan tutkia molekyylien elektronisissa ominaisuuksissa tapahtuvia muutoksia.

Molekyyylimallinnuksen käyttösovellukset ovat laajat. Sen avulla voidaan edellä mainittujen lisäksi mm. tutkia vetysidoksen aiheuttamia spektroskooppisia muutoksia molekyyleissä sekä tarkastella atomien osittaisvarauksia vetysidoksen muodostuessa tai erilaisissa vetysidoskomplekseissa.

⁹ Taulukkoon 9 on koottu veteen liittyviä käsitteitä ja miten näitä käsitellään oppikirjoissa (kts. kappale 7.1.2).

Parhaan oppimistuloksen saavuttamiseksi kaikkia mahdollisia, koulussa saatavilla olevia visualisointikeinoja tulisi sisällyttää vetysidoksen opetukseen. Vetysidoksen visualisointi voitaisiin aloittaa rakennekaavan perusteella rakennettavista yksinkertaisista molekyyleistä, kuten vesimolekyyleistä. Näiden avaruudellista rakennetta ja keskinäistä vuorovaikutusta voi arvioida pyörittämällä malleja kädessään. Molekyylien välisiä ja molekyylin sisäisiä sidoksia (vesimolekyylien tapauksessa vetysidoksia ja kovalenttisia sidoksia) voidaan havainnollistaa Velcro-laitteella ajan ja resurssien salliessa. Samaan aikaan tulee muistuttaa elektronegatiivisuudesta ja poolisuudesta. Elektronegatiivisuus on todennäköisesti käsitelty kurssilla jo aiemmin, mutta tässä kohdin kertaus auttaa ja tukee vetysidoksen oppimista. Toinen mahdollisuus on esittää videotykillä molekyylimallinnusohjelmalla tehtyä vesimolekyylien välistä liikehdintää, elektronijakaumia molekyyleissä ja samalla selittää, missä kohdin molekyylien välillä on vuorovaikutusta.

7.4.4. Tutkiva oppiminen

Tutkivan oppimisen avulla oppilaissa pystytään herättämään sisäinen ja omaehtoinen motivaatio vetysiduskäsitteen oppimiselle. Asioiden kriittinen tarkastelu, kyseenalaistaminen ja uuden tiedon luominen omaa ajattelua hyödyntäen innostavat varmasti enemmän kuin faktojen opettelu. Opettajan pitää siis herättää oppilaiden halu kyseenalaistaa ja selvittää asioita itse. Tämä edellyttää monipuolisia opetusmenetelmiä. Esimerkiksi Internet antaa monia mahdollisuuksia tiedon hakemiseen ja samalla korostuu tarve kyseenalaistaa, analysoida ja tarkastella kriittisesti kaikkea sitä tiedon määrää, mitä sieltä löytyy.

Tutkivaa oppimista tukee se, että opettaja asettaa toistuvasti pohdintakysymyksiä oppitunneilla, jolloin oppilaiden kiinnostus herää ja he oppivat tarkastelemaan asioita kriittisesti. Kysymys miten ihmeessä vesimittarin jalat eivät uppoa veteen/molekyylien väliin tai miten ihmeessä vesi voi kulkeutua johtosolukossa niin kuin kulkee, herättävät oppilaat pohtimaan asioita syvällisemmin. Pohdintakysymykset toimivat myös motivointina, mikä kohottaa innostusta ja herättää uteliaisuutta asiaa kohtaan.

7.4.5. Kiinnostuksen ja innostuksen ylläpitäminen ja tukeminen

Kun vetysidoskäsite on opetettu, on tärkeää ylläpitää oppilaiden kiinnostusta ja innostusta syventää käsitteen merkitystä ja ymmärtämistä. Koska puhtaasti teoreettisten asioiden sisäistäminen on tunnetusti vaikeaa ja esimerkiksi juuri vetysidos on oppilaille hyvin abstrakti käsite (sitä ei näe eikä sitä voi tunnustella), voi oppilaiden kiinnostus ja innostus kemiaa kohtaan tyrehtyä. Nykyisin kemian opetuksessa tulisikin korostaa asioiden liittämistä arkipäivään, jottei oppiaineesta muodostuisi oppilaille vaikeaa, tylsää ja turhauttavaa. Tyypillisten esimerkkien (mm. vesi ja DNA) lisäksi tulisi asiaa pyrkiä integroimaan biologian ja fysiikan opetukseen.

Oppilaiden innostuksen ja kiinnostuksen ylläpitämistä voidaan edesauttaa myös antamalla ohjeita ja tukea, miten ja mistä vetysidoksesta saa lisätietoa, miten molekyylihallinnusohjelmalla voidaan tehdä monimutkaisempia molekyyliä tai miten monia luonnon ja arjen ilmiöitä voidaan selittää ja pohtia kemian avulla. Oppitunneilla ei voida paneutua yhteen käsitteeseen pitkäksi aikaa, mutta esimerkiksi tiedekerhon vetäminen koulun jälkeen antaa mahdollisuuden läpikäydä asioita tarkemmin. Kerhotoiminta vaatii opettajalta jo melko paljon panostusta, mutta vastuuta voi jakaa oppilaille ja muille opettajille (esim. kemia, biologia, fysiikka). Innostava opettaja luo varmasti positiivista pohjaa kemian oppimiselle.

Vaihtelua oppitunteihin tuo myös erilaisten pelien käyttö. Tämä innostaa ehkä enemmän perusopetuksessa, mutta lukiossakaan sitä mahdollisuutta ei kannata jättää hyödyntämättä. Toki hyviä pelejä löytyy vain rajallisesti ja uusien pelin keksiminen/tekeminen on usein työlästä.

7.4.6. Biologian näkökulma

Biologiassa on oleellisempaa keskittyä vetysidoksen seuraamuksiin kuin atomitasoon tarkasteluun. Opetusmallin vaiheet kuitenkin toimivat myös biologiassa. Aiempien tietojen ja käsitysten kartoittaminen edesauttavat opetuksen suunnittelua niin, että opetus voi paneutua asioihin pintapuolisesti ja laajasti tai joihinkin asioihin voidaan antaa syvällisempi merkitys. Asioiden kytkeminen käytäntöön on erityisen tärkeää. Mitä enemmän ja monipuolisemmin opetuksessa esiintyy käytännön ja arkipäivän esimerkkejä, sitä todennäköisemmin asiat kytkeytyvät aiemmin opittuun ja integroituvat muiden aineiden opetuksessa läpikäytyihin asioihin. Myöskin visualisoinnilla on merkittävä osa. Kuvilla voidaan tukea tekstiä ja niihin saadaan

sisällytettyä paljon informaatiota. Visualisoinnilla voidaan auttaa erilaisia ja eri tavoin oppivia oppilaita. Hyvä visualisointi heijastuu mielekkääseen oppimiseen ja edesauttaa oppilaiden innostuksen ja kiinnostuksen herättämistä. Visualisoinnilla herätetään kysymyksiä. Pohtiva ja kysymyksiä asettava oppilas kiinnostuu myös vetysidoksen syvällisemmästä merkityksestä biologisissa prosesseissa.

8. Johtopäätökset ja pohdinta

8.1.Oppikirja-analyysi

8.1.1. Kemian oppikirjat

Vetysidosta käsitellään oppikirjoissa eri tavoin ja asioiden painotuksessa on huomattavia eroja. Myös asioiden käsittelyjärjestys vaihtelee eri oppikirjoissa. Oppikirja-analyysissä havaittiin luontevaksi ja mielekkääksi tavaksi käsitellä vetysidos yhtenä kemiallisen sitoutumisen osana eikä erillisenä ilmiönä. Eräs kirjasarja taas katsoo vetysidoksen kuuluvan vasta syventävään kurssiin eikä kaikille pakolliseen ensimmäiseen kurssiin, jonka tarkoituksena on antaa oppilaalle se kemiallinen yleissivistys, jolle muiden aineiden opiskelu lukiossa ja lukion jälkeen voi pohjautua. Tämä lähestymistapa on varsin yllättävä, kun huomioidaan, miten moniin kemian ja biologian perusasioihin vetysidos vaikuttaa.

Yllättävää on myös, että vain yksi kirjasarja merkitsi osittaisvaraukset oikein. Muissa kirjasarjoissa virhekäsityksen mahdollisuus on suuri, koska ne käsittelevät osittaisvarauksia yksittäisessä dipolissa eikä molekyylien välistä vuorovaikutusta huomioitu. Muita suoranaisia teoriavirheitä oppikirjoissa ei esiintynyt.

Kaikissa kirjasarjoissa oli puutteita vetysidoksen visualisoinnissa. Kuvien tarkoituksellisuuteen, miten ne tukevat tekstiä ja minkälaisia ne ovat, tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Useissa kirjoissa oli kuvia, joita ei oltu tekstissä selitetty tai joissa ei ollut kuvatekstiä. Näiden kuvien kohdalla on vaikeaa hahmottaa niiden merkitys ja ne jäävät irrallisiksi ja turhiksi kuviksi. Joissakin tapauksissa tällaiset kuvat jopa sekoittavat lukijaa ja vaikeuttavat oppimisprosessia. Monet kuvat olivat pieniä, värittömiä ja sivujen laitaan sijoitettuja. Näistä useat olivat melko merkityksellisiä kuvia, mutteivät houkuttele asian tarkempaan tutkimiseen. Positiivista oli muutamissa kirjoissa esiintyneet selkeät taulukot, jotka tiivistävät ja jäsentävät tekstiä. Taulukoiden käyttö olisikin suotavaa nimenomaan asioiden tiivistämiseen. Positiivista oli myös muutamissa oppikirjoissa esiintyvät monipuoliset ja muihin aineisiin integroituvat arkipäivän esimerkit.

8.1.2. Biologian oppikirjat

Vetysidoskäsitteen merkitystä biologian ilmiöiden ymmärtämisessä ja oppimisessa ei voi kiistää. Vetysidoksen tarkempi selitys ei kuitenkaan ole joka kohdin aiheellista, mutta asian mainitseminen johdonmukaisesti kohdissa, joissa vetysidoksen merkitys on oleellinen, auttaa käsitteen ymmärtämisessä ja oppimisessa sekä asioiden jäsentämisessä.

Kemiallisten käsitteiden liittäminen biologian oppikirjoihin vaatii kuitenkin erityistä huomiota. Liiallinen paneutuminen atomitasolle voi monimutkaistaa monia asioita. Myös termeihin tulisi kiinnittää huomiota. Esimerkiksi vesimolekyylien välisestä kiinne- eli koheesiovoimasta tulisi käyttää lisäksi termiä vetysidos, jottei oppilaille muodostuisi virhekäsityksiä, että puhutaan eri asioista.

Suotavaa olisi myös, että esimerkiksi arkipäivän ilmiöt, jotka liittyvät niin kemiaan kuin biologiaan, selitettäisiin molemmissa aineissa samalla tavalla ja käytettäisiin yhteneviä termejä. Painotus on biologiassa tietenkin biologinen, jolloin pitää miettiä atomitason selityksen mielekkyyttä. Kirjasarjassa F asia on hyvin jaoteltu. Siinä atomitason selitykset ovat pääosin lisätietona varsinaisen tekstin ohessa, mutta kemiallinen näkökulma on kuitenkin tuotu esiin ja edesauttaa näin oppilaita ymmärtämään ilmiöiden sekä biologisen että kemiallisen näkökulman.

8.1.3. Etälukio

Yleisesti koko etälukiomateriaalissa sivuston käytettävyyteen on kiinnitetty liian vähän huomiota. Sivuilla on esimerkiksi käytetty joitakin lisäohjelmia vaativia osioita, mutta asennusohjeet vaativat käyttäjältä varsin hyviä tietoteknisiä taitoja. Tällaisten lisäohjelmien tapauksessa ohjeiden pitäisi olla hyvin selkeitä, yksikäsitteisiä ja varmasti toimivia, jotta niiden asennuksesta ei tule opiskelumotivaatiota laskevia tai jopa koko materiaalin käytön estäviä tekijöitä.

Internet luo mahdollisuuden interaktiivisuuden hyödyntämiseen eikä myöskään tila ole rajallinen. Tätä on hyödynnetty kemian etälukiomateriaalissa, jossa on laajasti käsitelty molekyylimalleja ja niiden tekemiseen on omat ohjelmansa. Kuten jo teoreettisessa viitekehyksessä tuli esiin, pystytään molekyylimalleilla hyvin visualisoimaan mm. vetysidosta ja tukemaan asian ymmärtämistä ja oppimista. Tietotekniikan vähäinen käyttö ja osaaminen voivat kuitenkin nousta joillekin oppilaille kynnyksysymyksiksi,

jonka takia ohjeiden selkeyteen tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Visualisointiin (kuvien sijoitteluun, laatuun ja monipuolisuuteen) tulisi myös panostaa, sillä Internet tarjoaa siihen paljon mahdollisuuksia. Molekyyylimallinnuksen materiaalia voisi hyödyntää myös muilla kuin etäopiskelukursseilla. Normaalin kouluopetuksen lisäksi oppilaat voisivat oman aktiivisuutensa ja kiinnostuksensa mukaan tutustua molekyyylimallinnukseen ja tehdä ohjelmilla erilaisia malleja.

8.1.4. Visualisointi

Oppiminen on mielekkäämpää, kun tekstissä esitetyt asiat visualisoidaan myös kuvin. Ne ovat osaltaan lisäämässä asian kiinnostavuutta ja innostavuutta ja kuvilla tuetaan myös erilaisia ja eri tavoin oppivia oppilaita. Molekyyylimallinnus on yksi tapa visualisoida monipuolisesti esimerkiksi juuri vetysidosta. Ohjelmien pitää kuitenkin olla helppoja ja käytettäviä, jotteivät ne päinvastoin lisäisi ennakkoluuloja ja pelkoja tietotekniikkaa kohtaan.

Hyvään kuvaan saadaan sisällytettyä paljon informaatiota. On kuitenkin oleellista kiinnittää huomiota siihen, miten kuvat tukevat tekstiä ja mitä niissä yritetään visualisoida. Näin voidaan mahdollisesti välttää oppilaille muodostuvia virhekäsityksiä. Kuvien monipuolisuus edesauttaa asian ymmärtämistä. Parhaita ovatkin kuvat, joihin on yhdistetty useampi visualisointikeino (esim. valokuva ja rakennekuva).

8.2.Opetusmalli

Opetusmallin esisijaisena tavoitteena on herättää ja ylläpitää opiskelijoissa sisäinen motivaatio vetysidoksen oppimiseen ja ymmärtämiseen. Tähän voidaan vaikuttaa tutkivan oppimisen menetelmin. Opettajan tulee muistaa käyttää opetuksessaan vaihtelevia työtapoja, jotta opiskelijoiden mielenkiinto ja motivaatio oppitunneilla säilyvät.

Opetuksessa on myös tärkeää huomioida oppilaiden lähtötiedot, jotta opetuksen taso osataan mitoittaa siten, ettei kerrota itsestään selvyyksiä eikä toisaalta asioita, joiden prosessointiin opiskelijalla ei ole edellytyksiä. Tämän jälkeen opiskelijalle pyritään tarjoamaan riittävästi monipuolista materiaalia ja opiskelumahdollisuuksia, joiden avulla opiskelija oppii tuntemaan vetysidoksen perusteet. Tässä on oleellista huomioida visualisointi ja arkipäivän esimerkit, jotta abstrakti vetysidoskäsite saadaan konkreettisemmaksi. Käsitteen konkretisoitumista parannetaan edelleen integroimalla vetysidos osaksi biologian opetusta. Lopuksi on tärkeää, että opiskelijalle jää omaehtoinen halu selvittää ja tutkia vetysidosta ja sen aiheuttamia ilmiöitä lisää.

8.3. Jatkotutkimus

Vetysidoksen jatkotutkimukselle on tarvetta, sillä sen opetuksen tutkimusta on tehty varsin vähän Suomessa. Vetysidosta tulisi näissä tutkimuksissa lähestyä monesta eri näkökulmasta.

Esimerkiksi oppikirjojen ja opetuksen visualisoinnin mielekkyyttä ja laadukkuutta tulisi tutkia lisää: miltä kuvat, kuvaajat ja taulukot vaikuttavat. Myös kysely- tai haastattelututkimus siitä, miten oppilaat ymmärtävät asioita ja mitä visuaalisuus tähän vaikuttaa, toisi uutta ulottuvuutta vetysidoksen ja yleensä kemian opetukseen.

Eräässä tutkimuksen kirjasarjassa on lisätukena asioiden oppimiselle cd-rom:t, joissa tuodaan esiin kemiaa kokeellisesti. Vetysidos liittyy keskeisesti neljään harjoitustyöhön, minkä lisäksi cd-rom:lla on työ orgaanisten yhdisteiden avaruusrakenteiden tutkimisesta molekyylimallien avulla. Tässä tutkimuksessa cd-rom:n sisältöä ei käsitelty. Cd-rom:ien ja muun vastaavan lisämateriaalin luomien lisämahdollisuuksien tutkiminen olisikin hyvä jatkotutkimuskohde.

Tutkimuksen perusteella visualisointi on erittäin tärkeässä asemassa oppimisprosessissa. Tämän vuoksi olisikin hyvä kartoittaa toisaalta opettajien valmiuksia käyttää molekyylimallinnusta opetuksessa ja toisaalta oppilaitosten mahdollisuuksia ottaa näitä mallinnuskeinoja käyttöön. Näiden pohjalta voidaan arvioida edelleen opettajien koulutuksen ja jatkokoulutuksen tarpeita sekä mahdollisuutta käyttää eri mallinnuskeinoja jo perusopetuksesta lähtien.

8.4. Yhteenveto

Yhtenä tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten vetysidoksen oppimista voidaan tehostaa opetuksen ja oppimateriaalin avulla. Oppikirjoissa oppimista edesauttavia asioita ovat hyvä ja tarkoituksenmukainen visualisointi, asioiden liittäminen arkipäivään sekä asioiden käsitteleminen johdonmukaisesti ja loogisesti. Myös uuden tutkimustiedon välittäminen oppilaille luo kuvan kehittyvästä ja kiinnostavasta tieteellisestä oppiaineesta.

Olisi suotavaa, että oppikirjat toisivat esille, minkälaisia väärinkäsityksiä ihmisillä on esimerkiksi vetysidoksesta, ja asettaisivat nämä käsitykset tieteellisiä selityksiä vasten oppilaiden tarkasteltavaksi. Konstruktivismin mukaan faktat opitaan parhaiten silloin, kun ne kytketään oppilaiden aikaisempaan tietoon, laajempiin mielekkäisiin kokonaisuuksiin ja aitoihin todellisen elämän tilanteisiin. Opetuksessa tulisikin pyrkiä painottamaan oppialan pääsisältöjä ja ongelma-alueita yksityiskohtaisten faktaopetuksen sijaan.

Jotta opetus ja oppiminen olisi tehokasta, asiat tulisi pyrkiä integroimaan osaksi muiden oppiaineiden opetusta. Tässä korostuu erityisesti se, että kiinnitetään huomiota yhteneväisen ja tieteellisen terminologian käyttöön. Näin asioita pystytään yhdistämään toisiinsa ja jo aiemmin opittuun. Vetysidoksen merkitys korostuu erityisesti biologiassa, sillä vetysidos on keskeinen elämän edellytys ja ylläpitäjä; esimerkiksi termit ”katkeamaton vesilanka” tai koheesiovoima on mielekästä liittää vetysidoskäsitteeseen. Integraatiota kemiaan on mielekästä toteuttaa myös arkipäivän esimerkkien kautta.

Tutkimuksen oppikirja-analyysissä havaittiin, että eri oppikirjasarjoissa on eroja sekä sisällöllisesti että asioiden käsittelyjärjestyksessä ja painotuksessa. Tutkimuksen toivotaankin antavan oppikirjojen tekijöille ideoita vetysidoskäsitteen visualisointiin. Toisaalta toivotaan, että tekijät myös huomaavat vetysidoksen tärkeyden. Tutkimuksessa luodun opetusmallin toivotaan puolestaan toimivan opettajien tukena. Lisäksi tutkimuksen toivotaan herättävän opettajien kiinnostusta vertailla oppikirjoja ja opetuksessaan korjata/opettaa oikein mahdolliset puutteet.

9. Lähteet

Akaygün, S. & Ardaç, D. 2005. Julkaisematon tutkimus. Boğaziçi University, Istanbul, Turkey.

Aho, L. Koulu, opetus ja oppiminen. Teoksessa Julkunen, M-L. (toim.) 1997. Opetus, oppiminen, vuorovaikutus. 2. uusittu painos. WSOY, Tummavuoren kirjapaino Oy 2002.

Ahtee, M. 2003. Fysiikan opetuksen vaiheita. Dimensio 3/2003, 14-16

Ahtee, M.; Kankaanrinta, I-K. & Virtanen, L. 1994. Luonnontieto koulussa. Helsinki: Otava, Keuruu.

Ahtee, M. & Pehkonen, E. 2000. Johdatus matemaattisten aineiden didaktiikkaan. Helsinki: Oy Edita Ab.

Ahtineva, A. 2000. Oppikirja – tiedon välittäjä ja opintojen innoittaja? Lukion kemian oppikirjan – Kemian maailma 1- tiedonkäsitys ja käyttökokemukset. Turun yliopiston julkaisuja C 164, Turku: Painosalama Oy.

Ahtineva, A. 2001. Tutkimus kouluopetuksen kehittämisessä – Matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen tutkimuksia. Turun yliopiston kasvatustieteiden tiedekunta – Julkaisusarja C:17.

Aksela, M. & Juvonen, R. 1999. Kemian opetus tänään. Opetushallitus moniste 27/1999.

Crabtree, R. 1998. Chemistry: A New Type of Hydrogen Bond. Science, Vol 282, Issue 5396, 2000-2001.

Emsley, J. 1998. Molekyyligalleriat – Muotokuvia arjen aineista. Englanninkielisestä teoksesta Molecules at an Exhibition – Portraits of Intriguing Materials in Everyday Life suomennanut Veli-Pekka Ketola. Art House –tiedekirjasarja, Färlth&Hässler, Ruotsi 1999.

Etälukio, <http://www.oph.fi/etalukio/ke.html>. Opetushallitus. (Luettu 2.11.2005)

Gilbert, J.; Jong, O.; Justi, R.; Treagust, D. & Van Driel, J. 2002. Chemical Education: Towards Research-based Practise. Kluwer Academic.

Gillespie, R. & Popelier, P. 2001. Chemical bonding and molecular geometry. Oxford University Press, 14-16.

Hakkarainen, K.; Lonka, K. & Lipponen, L. 2000. Tutkiva oppiminen – Älykkään toiminnan rajat ja niiden ylittäminen. Porvoo: WSOY.

Hakkarainen, K.; Lonka, K. & Lipponen, L. 2004. Tutkiva oppiminen – Järki, tunteet ja kulttuuri oppimisen sytyttäjinä. Porvoo: WSOY.

Henderleiter, J.; Smart, R.; Anderson, J. & Elian, O. 2001. How do organic chemistry students understand and apply hydrogen bonding? Journal of chemical education. Vol.78, No.8, Aug 2001, 1126-1130.

Ikonen, O. Oppimisvalmiudet ja opetus. Opetus 2000, PS-kustannus.

IUPAC: <http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/gtpoc/>

Jeffrey, G. 1997. An Introduction to Hydrogen Bonding. Oxford University Press.

Jolly, W. 1991. Modern Inorganic Chemistry. 2.nd Edition. Printed in Singapore by McGraw-Hill Book Co.

Justi, R. & Gilbert, J. 2002. Models and modelling in chemical education.. In Chemical Education: Towards Research-based Practice edited by Gilbert, J.K. et al., s.47-68. Printed in Netherlands: Kluwer Academic.

Laitinen, R.& Toivonen, J.1982. Yleinen ja epäorgaaninen kemia. 11. korjattu painos. Otatieto Oy, Karisto Oy 1997.

Lampiselkä, J. Uudentyyppinen demonstraatio-opetus tehostaa oppimista. Dimensio 2/2004, 46-47.

Lavonen, J.; Juuti, K.; Byman, R.; Uitto, A. & Meisalo, V. 2005. Dimensio 1/2005, 22-24

Lavonen, J& Meisalo, V. Opetuksen tavoitteet ja työtavat:
<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/tyotavat/main.htm> (Luettu 24.9.2005)

Lundell, J. 2000. Vetysidokset ovat kaikkialla ja kaikessa. Tietoyhteys 5/2000, 14-15.

Lundell, J. & Aksela, M. 2003. Molekyyylimallinnus kemian opetuksessa, osa 1; Molekyyylimallinnus ja kemian opetus. Dimensio 5/2003, 47-49.

Lundell, J. & Aksela, M. 2004. Molekyyylimallinnus kemian opetuksessa, osa 3; Molekyylien rakenne ja sen visualisointi. Dimensio 2/2004, 40-42.

Lundell, J. & Aksela, M. 2004. Molekyyylimallinnus kemian opetuksessa, osa 4; Orbitaalien havainnollistaminen lukion kemian opetuksessa. Dimensio 3/2004, 40-43.

Lundell, J. & Aksela, M. 2004. Molekyyylimallinnus kemian opetuksessa, osa 5; Kemiaallisen sidoksen tietokoneavusteinen mallintaminen. Dimensio 4/2004, 26-29.

Niikko, A. 2001. Tutkiva opettaja ongelmanratkaisijana. Teoksessa Ikkunoita tutkimusmetodeihin I – metodin valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle. Toimittanut Aaltola, J. & Valli,R. Jyväskylä: PS-kustannus, Gummerus Kirjapaino Oy.

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

Meot-Ner, M. 2005. The Ionic Hydrogen Bond. Chem. Rev. 2005, 105, 213-284.

Metz, P. 2000. Oppimisen TAO - uusia näkemyksiä oppimiseen ja opettamiseen. Kustantaja: Unio Mystica, Karisto Oy.

Montonen, M. 2003. Uudistuva lukion kemian opetussuunnitelma. Dimensio 6/2003, 14-15

Mortimer, C. Chemistry, 6th Edition Wadsworth 1986, Kääntänyt ja suomalaiseseen ammatilliseen koulutukseen soveltanut Marjatta Hakkarainen 1997. Jyväskylä: Opetushallitus, Gummerus Kirjapaino Oy.

- Nuorten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet 2003. <http://www.oph.fi>.
(http://www.edu.fi/julkaisut/maaraykset/ops/lops_uusi.pdf). Opetushallitus. (Luettu 31.5.2005)
- Pauling, L. 1939. The Nature of Chemical Bond. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Pimentel, G. & McClellan, A. 1960. The Hydrogen Bond. W.H.Freeman and Co, New York, 226-254.
- Pohjakallio, M. & Vornamo, H. 2003. Kemian uuden oppimis- ja opetuskulttuurin juurtuminen – yhteistyö ja aika edellytyksenä. Dimensio 3/2003, 17-19.
- Saari, H. 2000. Oppilaiden käsitykset malleista ja mallintaminen fysiikan peruskouluopetuksessa. Joensuun yliopistopaino.
- Saari, H. 2003. Kevään 2003 kemian ylioppilaskoe. Dimensio 6/2003, 40-42
- Saari, H. 1998. Kemian kouluopetus ja ylioppilastutkinto. Teoksessa: Tuulta purjeisiin. Matemaattisten aineiden opetus 2000-luvulle. Lavonen, J. & Erätuuli, M. (toim.) 1998. Jyväskylä: Atena kustannus.
- Schultz, E. 2005. Simple Dynamic Models for Hydrogen Bonding Using Velcro-Polarized Molecular Models. Journal of Chemical education, Vol.82, No.3, 2005, 401-405.
- Taber, K. & Coll, R. 2002. Bonding. In Chemical Education: Towards Research-based Practice edited by Gilbert, J.K. et al., 213-234. Netherlands: Kluwer Academic.
- Tella, S. 1998. Tavoitteellisen postfordistisen opiskeluympäristön piirteitä – mediakasvatuksen ja modernin tieto- ja viestintäteknikan painotuksia. Teoksessa: Tuulta purjeisiin. Matemaattisten aineiden opetus 2000-luvulle. Lavonen, J. & Erätuuli, M. (toim.) 1998. Jyväskylä: Atena kustannus.
- Tynjälä, P. 1999. Oppiminen tiedon rakentamisena - Konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita. 1.-2. Painos. Tampere: Tammer-paino Oy.
- Uusikylä, K. & Atjonen, P. 1999. Didaktiikan perusteet. 1.-2. painos. Juva: WS Bookwell Oy.
- Wernet, Ph.; Nordlund, D.; Bergmann, U.; Cavalleri, M.; Odelius, M.; Ogasawara, H.; Näslund, L.; Hirsch, T.; Ojamäe, L.; Glatzel, P.; Petersson, L. & Nilsson, A. 2004. The Structure of the First Coordination Shell in Liquid Water. Science. Vol.304, 2004, 995-999.
- Zumdahl, S. 1997. Chemistry. 4. edition. New York: Houghton Mifflin Company.

10.Liitteet

Liite 1: Tutkimuksen oppikirjat

Kemia:

- A1 :** Lampiselkä, J.; Sorjonen, T.; Vakkilainen, K-M.; Aroluoma, I.; Kanerva, K.; Karkela, L.& Mäkelä, R. 2004. **Kemisti 1** – Ihmisen ja elinympäristön kemia. Porvoo: WSOY.
- A2 :** Lampiselkä, J.; Sorjonen, T.; Vakkilainen, K-M.; Aroluoma, I.; Kanerva, K.; Karkela, L.& Mäkelä, R. 2005. **Kemisti 2** – Kemian mikromaailma. Porvoo: WSOY.
- B1:** Kalkku, I.; Kalmi, H.& Korvenranta, J. 2004. Lukion kemia – **KIDE 1**. Helsinki: Otava.
- B2:** Kalkku, I.; Kalmi, H.& Korvenranta, J. 2004. Lukion kemia – **KIDE 2**. Helsinki: Otava.
- C1:** Lehtiniemi, K& Turpeenoja, L.2005. **MOOLI 1** – Ihmisen ja elinympäristön kemia. Helsinki: Otava.
- C2:** Lehtiniemi, K& Turpeenoja, L.2005. **MOOLI 2** – Kemian mikromaailma. Helsinki: Otava.
- D1:** Hannola-Teitto, M.; Jokela, R.; Leskelä, M.; Näsäkkälä, E.; Pohjakallio, M. & Rassi, M. 2004. **Neon 1** – Ihmisen ja elinympäristön kemia. Helsinki: Edita Prima Oy.
- D2:** Hannola-Teitto, M.; Jokela, R.; Leskelä, M.; Näsäkkälä, E.; Pohjakallio, M. & Rassi, M. 2005. **Neon 2** – Kemian mikromaailma. Helsinki: Edita Prima Oy.
- E1:** Kaila, L.; Meriläinen, P.; Ojala, P.; Pihko, P.& Salo, K. 2005. Lukion kemia – **REAKTIO 1**, Ihmisen ja elinympäristön kemia. Jyväskylä: Tammi, Gummerus kirjapaino Oy.
- E2:** Kaila, L.; Meriläinen, P.; Ojala, P.; Pihko, P.& Salo, K. 2005. Lukion kemia – **REAKTIO 2**, Kemian mikromaailma. Jyväskylä: Tammi, Gummerus kirjapaino Oy.

Biologia:

- F1:** Happonen, P.; Holopainen, M.; Sotkas, P.; Tenhunen, A.; Tihtarinen-Ulmanen, M. & Venäläinen, J. 2004. **BIOS1** – Eliömaailma. Porvoo: WSOY.
- F2:** Happonen, P.; Holopainen, M.; Sotkas, P.; Tenhunen, A.; Tihtarinen-Ulmanen, M. & Venäläinen, J. 2004. **BIOS2** – Solu ja perinnöllisyys. Porvoo: WSOY.
- G1:** Leinonen, M.; Nyberg, T.; Tast, J.; Tyrväinen, H. & Veistola, S. 2004. **Koulun biologia, lukio 1** – Eliömaailma BI1. Helsinki: Otava.
- G2:** Leinonen, M.; Nyberg, T.; Tast, J.; Tyrväinen, H. & Veistola, S. 2005. **Koulun biologia, lukio 2** – Solu ja perinnöllisyys BI2. Helsinki: Otava.