

Lukiolaisten käsityksiä aineen rakenteesta

Pro gradu-tutkielma

Jyväskylän yliopisto

Kemian laitos

Opettajankoulutuslinja

12.1.2007

Jari-Petteri Juhani Kautto

Tiivistelmä

Kautto, Jari-Petteri Juhani. Pro gradu-tutkielma: Lukiolaisten käsityksiä aineen rakenteesta. Jyväskylän yliopisto, kemian laitos, opettajan koulutuslinja. 12.1.2007. Asiasanat: kemia, opettaminen, aineen rakenne, aineen ominaisuus, virhekäsitys.

Tämä on laadullinen ja määrällinen tutkimus, jossa perehdytään lukiolaisten käsityksiin aineen rakenteesta. Tutkimuksessa selvitetään kuinka hyvin lukioikäiset oppilaat ymmärtävät aineen rakenteeseen liittyvää kemiaa mikro- ja makrotasolla. Tutkimuksen tarkoitus on myös auttaa kemian opettajiksi aikovia tiedostamaan aineen rakenteen opettamiseen liittyvät ongelmat.

Aineiden rakenneosasina voivat olla atomit, ionit tai molekyylit. Se, mistä rakenneosasista aine koostuu, määrää sen millaisilla kemiallisilla sidoksilla aineen rakenneosaset sitoutuvat toisiinsa. Aineet luokitellaankin usein niiden sisältämien kemiallisten sidosten mukaan, ja tällaisia kemiallisia sidostyyppisiä ovat esimerkiksi ionisidos, metallisidos ja kovalenttinen sidos. Aineen rakentumisen ja erityisesti aineen sidorakenteen ymmärtäminen on merkittävässä roolissa kemian oppimisessa ja ymmärtämisessä, sillä aineen ominaisuudet selittyvät aineen rakenteen perusteella. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on saada selville, kuinka hyvin oppilaat hallitsevat aineen rakenteen, sekä selvittää, kuinka hyvin oppilaat pystyvät hyödyntämään aineen rakenteen ymmärtämistään kyseisten aineiden ominaisuuksia tulkitessaan.

Tämä tutkimus paljastaa sen, että lukiolaisten aineen rakenteen hallinta on kohtalaisella tasolla. Tämä ilmenee lukiolaisten aineen rakenteen hallinnan tasosta ja tutkimuksessa ilmenneistä virhekäsityksistä. Tutkimukseen osallistuneilla lukiolaisilla paljastui olevan virhekäsityksiä erityisesti dispersiovoimien ja vetysidosten ymmärtämisessä sekä ionisidosten mallintamisessa. Tutkimus paljastaa lisäksi, että erityisesti metallien ja ioniyhdisteiden rakenteen hallinta sekä molekyylien väliset vuorovaikutukset ovat oppilaille vaikeita asioita.

Tutkimuksessa saadut tulokset ovat yhtäpitäviä aikaisempien tieteellisten tutkimusten kanssa. Tutkimus avasi tutkijan omaa näkemystä aiheeseen ja kemian opettamiseen yleensä.

Sisällys

TIIVISTELMÄ.....	I
1 JOHDANTO	1
2 KEMIAN OPPIMISEN ONGELMAT	2
2.1 KEMIAN LUONNE OPPIAINEENA	2
2.2 KEMIALLINEN TIETO VS. ARKITIETO	3
2.3 KEMIALLISEN TIEDON KOLMITASOMALLI	4
2.4 YLEISIMMÄT VIRHEKÄSITYKSET AINEEN RAKENTEESSA.....	6
2.4.1 Virhekäsitykset kemialle ominaisella kolmella tasolla	6
2.4.2 Virhekäsitykset molaarisella ja molekulaarisella tasolla	9
2.4.3 Virhekäsitykset kemiallisissa sidoksissa	10
3 AINEEN RAKENTEEN KEMIALLINEN TAUSTA	10
3.1 AINEEN OMINAISUUKSIA	11
3.1.1 Aineen koostumus ja luokittelu.....	12
3.1.2 Aineen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet.....	13
3.1.3 Aineen eri olomuodot	14
3.2 ATOMIEN VÄLISET VUOROVAIKUTUKSET	14
3.2.1 Lewisin teoria kemiallisista sidoksista.....	15
3.2.2 Kovalenttinen sitoutuminen.....	16
3.2.3 Ioninen sitoutuminen.....	17
3.2.4 Metallinen sitoutuminen.....	18
3.3 MOLEKYULIEN VÄLISET VUOROVAIKUTUKSET.....	20
3.4 METALLIEN, IONISTEN JA KOVALENTTISTEN YHDISTEIDEN EROT	21
4 LUKION OPETUSSUUNNITELMA	22
4.1 LUKIOKOULUTUKSEN TEHTÄVÄ	23
4.2 OPPIMISKÄSITYS	24
4.3 OPISKELUYMPÄRISTÖ JA -MENETELMÄT	24
4.4 OPPIMISTAVOITTEET JA OPETUKSEN KESKEINEN SISÄLTÖ	25
4.5 LUKION KURSSIEN KESKEISET SISÄLLÖT.....	26
4.6 YHTEENVETO OPETUSSUUNNITELMASTA.....	27
5 TUTKIMUSMENETELMÄ	28

6 TUTKIMUKSEEN VALITUT AINEET	29
6.1 TISLATTU VESI	30
6.2 RUOKASUOLA.....	30
6.3 KUPARIJAUHE	31
6.4 HEKSAANI	31
7 TUTKIMUSTULOKSET	32
7.1 TISLATTU VESI	32
7.2 RUOKASUOLA.....	35
7.3 KUPARIJAUHE	37
7.4 HEKSAANI	39
7.5 VEDEN JA RUOKASUOLAN OLOMUOTO	41
7.6 RUOKASUOLAN JA KUPARIN OMINAISUUDET	43
7.7 HEKSAANIN VETEEN LIUKENEMATTOMUUS.....	46
8 TUTKIMUSTULOSTEN ANALYSOINTI.....	47
8.1 LUKIOLAISTEN AINEEN RAKENTEEEN HALLINTA	48
8.2 LUKIOLAISILLA ESIINTYNEET VIRHEKÄSITYKSET	49
8.3 LUKIOLAISTEN KYKY YHDISTÄÄ MIKROTASON JA MAKROTASON TIETO	51
8.4 TUTKIMUSTULOSTEN YHTEENVETO.....	51
9 TUTKIMUKSEN TARKASTELU.....	52
LÄHTEET	53
LIITTEET.....	56

1 Johdanto

Kemia on kokeellinen luonnontiede, joka pyrkii selittämään tieteen keinoin ilmiöitä, joita kohtaamme jatkuvasti jokapäiväisessä elämässämme. Se, että kemia on kokeellinen luonnontiede, luo suuren haasteen sekä opettajalle että oppijalle.

Kokeellisuus kemiassa saa aikaan sen, että kemian opetukselle on luonteenomaista kemiallisten ilmiöiden ja aineiden ominaisuuksien havaitseminen ja tutkiminen kokeellisesti. Toisaalta kemian opettamiselle on luonteenomaista myös ilmiöiden tulkitseminen ja selittäminen mallien ja rakenteiden avulla, ilmiöiden kuvaaminen kemian merkkikielellä sekä ilmiöiden mallintaminen ja matemaattinen käsittely. Oppilaiden kohdalla kemian oppimisen haasteeksi muodostuu oman yksilöllisen tiedon konstruoiminen. Lisäksi oppilaiden pitää käydä läpi sosiaalistuminen tieteen maailmaan, sen tapoihin käyttää ja muodostaa symboleja. Edellä esitetyt haasteet tekevät luonnontieteiden opettamisesta haasteellista ja vaativaa, mutta toisaalta nämä kyseiset asiat tekevät kemian opettamisesta myös mielekäästä.

Tässä tutkimuksessa selvitetään miksi kemian oppiminen on haasteellista ja miten näistä haasteista voitaisiin selvitä. Tämän tutkimuksen varsinainen tutkimusosio keskittyy siihen millaisia ovat lukiolaisten käsitykset aineen rakenteesta ja millaisia virhekäsityksiä tämän päivän lukiolaisilla on aineen rakenteeseen liittyen.

2 Kemian oppimisen ongelmat

Kemia on kokeellinen luonnontiede, joka pyrkii selittämään tieteen keinoin ilmiöitä, joita kohtaamme jatkuvasti jokapäiväisessä elämässämme. Jo pelkästään se, että kemia on kokeellinen luonnontiede, asettaa kemian opettamiselle ja oppimiselle tiettyjä haasteita. Lisäksi haasteen luo myös se, että päivittäin kohtaamiemme ilmiöiden tieteellinen selitys usein poikkeaa huomattavasti arkielämän näkemyksestä ja tämä taas mahdollistaa virheellisten käsitysten muodostumisen tai vahvistumisen.

Tässä luvussa käsitellään sitä, millaisia ongelmia opettaja ja oppilas kohtaavat kemian opettamisessa ja oppimisessa. Lisäksi pohditaan, millaista opettamisen pitäisi olla esitettyjen kemialle ominaisten ongelmien valossa, sekä tämän tutkimuksen kannalta yleisimpiä virhekäsityksiä, joita tieteellisten tutkimusten avulla on saatu selville.

2.1 Kemian luonne oppiaineena

Kemian oppimisen tarkastelu on haasteellista, koska ei ole olemassa yksiselitteistä käsitettä kemiallisen tiedon luonteelle, vaan ainoastaan erilaisia tulkintoja siitä. Kemia on luonnontiede ja äärimuodoissa luonnontieteellisen tiedon katsotaan olevan joko totuudenmukainen kuva fysikaalisesta maailmasta tai maailmankuvaa hahmottava teoria.

Jos kemiallinen tieto olisi totuudenmukainen kuva todellisuudesta, merkitsisi se sitä, että kemiaa voisi oppia peiliin katsomalla. Tämä tarkoittaisi kemian oppimisen kannalta sitä, että havainto edeltäisi teoriaa ja kemian oppiminen olisi kemian tekemistä. Toisaalta luonnontieteiden historia kuitenkin osoittaa sen, että teorioiden kautta voidaan luoda pelkistetty kuva todellisuudesta. Toisin sanoen mallit ja teorit luodaan selittämään mikromaailman tapahtumia eikä kertomaan sitä, mitä ilmiö todella on. (Kyyrönen 1999.)

Kemiallinen tieto ei ole kokeellista tai teoreettista, vaan nämä tiedon kaksi puolta ovat toisistaan erottamattomat. Kokeellinen tieto muuttaa teoreettista pohjaa ja teoreettisen tiedon muuttuminen taas avaa uusia tapoja nähdä asioita. (Kyyrönen 1999.) Tällä tavalla kokeellisuus ja teoreettisuus kulkevat kemiassa käsi kädessä ja kokeellisen ja teoreettisen tiedon vuorovaikutus tekee tiedosta dynaamista.

Kemia on kokeellinen luonnontiede, eikä sitä voida oppia pelkästään teoriaa tai kokeellisuutta opettamalla. Edellä mainittu on yksi esimerkiksi siitä, mikä erottaa kemian formaaleista tieteistä, joihin kuuluvat esimerkiksi historia ja uskonto. Kärjistetysti formaaleiden tieteiden ja luonnontieteiden eroksi voidaan sanoa, että lukuaineita voi oppia lukemalla, mutta luonnontieteiden oppimiseen tarvitaan teoria lisäksi tekeminen.

Kemian opettaminen ja oppiminen luovat haasteen opettajalle ja oppijalle. Se, miksi minä kemianopettajaksi haluan, johtuu juurikin kemian opettamisen haasteellisuudesta. Näitä kemianopettajan haasteita ovat muun muassa, kuinka saada oppilaat tekemään oikeanlaisia havaintoja ja kuinka saada oppilaat vetämään oikeanlaisia johtopäätöksiä havaintojen ja opitun teorian pohjalta. Nämä ovat ehkä haasteellisimpia kysymyksiä luonnontieteiden ja kemian opettamisessa, mutta toisaalta nämä kysymykset tekevät kemian opettamista mielekäästä.

2.2 Kemiallinen tieto vs. arkitieto

Kohtaamme koko ajan käsityksiä luonnonilmiöistä ilman, että ymmärtäisimme niihin liittyvää fysiikkaa tai kemiaa (Ahtee 1998; Johnstone 1991). Arkitiedon ja tieteellisen tiedon yhtenä erona on se, että kohtaamiemme ilmiöiden tieteellinen selitys poikkeaa usein huomattavasti arkielämän näkemyksestä. Nämä arkielämän selitykset luovat usein ristiriitaisia selityksiä tai termejä tieteellisen tiedon kanssa. Yhtenä hyvänä esimerkkinä termin eri merkityksestä voidaan mainita painon käsite. Arkikielessä painosta puhuttaessa puhuja yleensä tarkoittaa massaa, jonka puntari vaa`assa näyttää. Kuitenkin tässä yhteydessä puhujan kuuluisi käyttää termiä massa eikä paino, sillä tieteellisen maailman mukaan paino tarkoittaa voimaa, jolla maa kyseistä ihmistä vetää puoleensa. Esimerkiksi, jos ihmisen massa on 50kg, niin tällöin kyseisen ihmisen paino on fysiikan lakien mukaan $F=m \cdot g = 50\text{kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 490,5 \text{ Newtonia}$.

Arkitiedolla tarkoitetaan tietoa, joka on jonkin yksilön jossakin yksittäisessä tilanteessa muodostama kokemusperäinen yksityiskohtaan liittyvä tieto. Tieteellisellä tiedolla taas tarkoitetaan tietoa, joka sitoo useiden täsmällisesti määriteltyjen käsitteiden väliset riippuvuudet suureksi yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. (Engenström 1984; Ahtee 1992.) Lisäksi arkielämän keskusteluissa ihmiset pyrkivät yleensä löytämään yhteisen ymmärryksen ja sovun keskusteltavasta asiasta, kun taas tieteellinen keskustelun tavoitteena on kärjittää eroavaisuuksia ja lujittaa tai hylätä kilpailijan mielipiteet (Ahtee 1998).

Arkitieto ja tieteellinen tieto muodostuvat ongelmaksi oppilaiden oppimiselle siksi, että oppilaat joutuvat jatkuvasti elämään kahdessa erilaisessa tiedon maailmassa. Suurimman osan ajastaan oppilaat saavat ja käyttävät arkitietoa päivittäisissä kanssakäymisissä, mutta koulussa luonnontiedon tunneilla oppilaat kohtaavat tieteellisen tiedon maailman, siis muutamia tunteja viikoittain. (Ahtee 1998.) Tämä kahdessa tiedon eri maailmassa liikkuminen mahdollistaa sen, että oppilaat kohtaavat jatkuvasti tieteellisen ja arkikäsitteiden välisiä ristiriitoja. Nämä ristiriitatilanteet taas mahdollistavat virheellisten käsitysten syntyminen tai vahvistumisen.

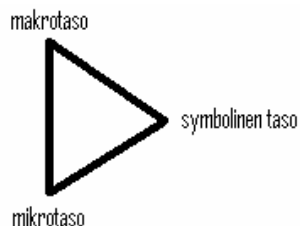
Luokkahuonetutkimuksien (Levävaara 1997; Saari 1997) avulla on alettu ymmärtää, että oppilaita on johdatettava toisenlaiseen tapaan ajatella ja selittää luonnontieteen ilmiöitä kuin he ovat arkitiedon maailmassa tottuneet. Oppilaat pitää johdatella tieteen tapaan kerätä tietoa ja selittää luonnon ilmiöitä, eli sosiaalista heidät tieteellisen yhteisön tapaan tutkia ja perustella väitteitä (Ahtee 1998). Yhdeksi hyväksi tavaksi oppia ja opettaa on viimeisten kymmenen vuoden aikana alettu painottaa konstruktivistista näkemystä oppimisesta.

Mitä luokkahuoneessa sitten pitäisi tapahtua? Mikä pitäisi olla opettajan ja oppilaan rooli konstruktivistisen oppimisnäkemysten mukaan? Ensinnäkin luokkahuoneen tapahtumien tulisi muistuttaa mahdollisimman paljon tieteellistä työskentelyä. Tällä tarkoitan sitä, että luokassa pitäisi olla paljon avoimia keskusteluja, väittelyitä, tutkimusten suunnittelua ja tutkimusten tulosten tarkastelua. Tällaisessa tilanteessa opettajan rooliin kuuluu johdattelu ja asioiden oikeaan suuntaan vienti, niin että oppilaat saisivat omien yksilöllisten vaatimusten mukaista ohjausta. Oppilaiden tehtäväksi taas muodostuisi oman yksilöllisen tiedon konstruoiminen ja merkitysten hahmottaminen. Siis oppilaiden pitää käydä läpi sosiaalistuminen tieteen maailmaan, sen tapoihin käyttäjä ja muodostaa symboleja. (Ahtee 1998.)

2.3 Kemiällisen tiedon kolmitasomalli

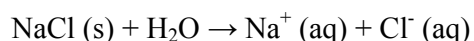
Kemiällisen tiedon rakenne aiheuttaa haasteen kemian oppimiselle ja opettamiselle. Tätä haastetta on tutkinut muun muassa Johnstone (1991), joka on esittänyt kemiällisen tiedon kolmitasomallin. Tämän kolmitasomallin mukaan kemiällinen tieto jakaantuu kolmelle eri tasolle ja nämä tasot ovat makro-, mikro- ja symbolinen taso. Makrotasoon luokitellaan kaikki havaittavat ilmiöt ja mikrotasoon kuuluu kaikki atomien sekä molekyylien tasolla tapahtuvat ilmiöt. Symbolinen taso taas sisältää kaiken kemian

merkkikielen. (Johnstone 1991.) Kuviossa 1 on esitetty näiden kolmen tason välinen suhde.



Kuvio 1. Kemiällisen tiedon kolmitasomalli (Johnstone 1991.)

Esimerkiksi, jos opettaja opettaa oppilaille suolan liukenemista veteen, havainto siitä, että suola liukenee veteen, kuuluu makrotasoon. Toisaalta havainnon, että suola liukenee, perusteella voidaan päätellä, että suolan ja veden välillä tapahtuu jotain myös mikrotasolla. Eli mikrotasoon tässä esimerkissä kuuluu vesimolekyylien ja suolan kiderakenteen välillä tapahtuvat kemian ilmiöt. Reaktioyhtälöllä taas pyritään ilmaisemaan sekä makro- että mikrotason tapahtumia. Yhtälössä yhdisteiden molekyylikaavat ilmentävät mikrotasoa, mutta niiden yhteydessä ilmaistaan myös makrotasolla havaittavia aineiden olomuotoja. Edellisessä esimerkissä symboliseen tasoon kuuluu esimerkiksi suolan ja veden reaktioyhtälö. Suolan liukeneminen veteen kuvataan usein yhtälöllä:



Se, että kemiallinen tieto jakaantuu kolmeen tasoon, on tieteellinen fakta. Mutta millaisen haasteen kemian tiedon jakautuminen kolmeen tasoon aiheuttaa opettamiselle ja oppimiselle? Vastaus piilee siinä, että koulutettu kemisti pystyy pitämään edellä mainitut kolme tasoa ”balanssissa”, mutta kemian opiskelijalle tasojen välillä liikkuminen on vaikeaa (Johnstone 2000). Mitä nuoremasta tai asiasta vähemmän tietävästä oppilaasta on kyse, sitä hankalampaa eri tasojen välillä liikkuminen on (Johnstone 1991). Opettaja saattaa tiedostamattaan liikkua jopa yhdessä lauseessa kaikilla kolmella tasolla, jolloin oppija ei välttämättä kykene hahmottamaan kokonaisuutta ja sitä, mikä asia liittyy mihinkin. Edellä mainittuun suolan liukenemiseen liittyen opettaja saattaa sanoa luokan edessä, että koska suola häviää, kuten näemme, se reagoi veden kanssa taululla olevan reaktioyhtälön mukaisesti. Siis edellinen lause sisältää kaikkia kolmea tasoa, mikä saattaa aiheuttaa sen, että oppilas ei kykene prosessoimaan kaikkea opettajan sanomaa ja tällä tavalla oppilaan valtaa tunne, että hän ei ymmärrä ja että kemia on vaikeaa.

Tutkimuksissa on havaittu, että jopa veden kiehumisessa syntyvien kuplien analysointi osoittautuu lapsille vaikeaksi. Tällaisia tutkimuksia ovat tehneet muun muassa Osborne ja Cosgrove (1983) sekä Asunta, Godwin ja Orlik (2003). Osbornen ja Cosgroven (1983) tutkimuksessa tutkittiin 8-17 -vuotiaiden oppilaiden käsityksiä jään sulamisesta, veden kiehumisesta sekä veden kondensaatioista ja höyrystymisestä. Osbornen ja Cosgroven (em.) tutkimus tehtiin esittämällä oppilaille demonstraatioita ja tämän jälkeen suorittamalla haastattelu. Mielestäni mielenkiintoisin tulos Osbornen ja Cosgroven (em.) tutkimuksessa on se, että peräti 23 % tutkimukseen osallistuneista 17-vuotiaista oppilaista luuli veden kiehuessa syntyviä kuplia ilmaksi.

Veden kiehumista ovat tutkineet myös Asunta, Godwin ja Orlik (2003) ja heidän tutkimuksena liittyy höyrystymiseen ja kiehumiseen. Kyseinen tutkimus on tehty kolmessa eri maassa (Iso-Britanniassa, Kolumbiassa ja Suomessa) ja tutkimus suoritettiin siten, että oppilaat vastasivat kyselyyn katsottuaan lyhyitä videoesityksiä. Myös Asunnan, Godwinin ja Orlikin (em.) tutkimus antoi Osbornen ja Cosgroven tutkimuksen kanssa samanlaisia tuloksia, sillä vain noin 50 % oppilaista vastasi veden kiehuessa syntyvien kuplien olevan höyrystynyttä vettä.

Kuten edellä esitetyt tutkimukset osoittavat, niin oppilailla on suuria ongelmia hahmottaa mitä tapahtuu, kun aineen olomuoto vaihtuu. Jos oppilas väittää, että veden kiehuessa syntyvät kuplat ovat ilmaa, niin mielestäni oleellista olisi kysyä näiltä oppilailta, mistä kupliva ilma sinne tulee? Luulevatko oppilaat, että vesimolekyylin sisäiset sidokset katkeavat ennen vesimolekyylien välisiä sidoksia? Luulevatko oppilaat, että ilma on peräisin veden rakenteesta väittäessään, että veden kiehuessa syntyy ilmaa? Jos näin on, niin silloinhan oppilaat ovat ymmärtäneet molekyylien sisäisten ja ulkoisten vuorovaikutusten voimakkuuksien eron aivan väärin. Veden kiehumisen ymmärtämistä ei tämän tutkimuksen tutkimusosiossa käsitellä, mutta halusin tämän virhekäsityksen esittää siksi, että oppilailla on virheellisiä käsityksiä näinkin yksinkertaisen asian kuin veden kiehumisen kanssa. Johtuuko tämä virheellinen käsitys sitten havainnossa tapahtuvasta virheestä, vai mistä? Siihen en sen kummemmin paneudu.

Mikrotason virhekäsitykset kertovat siitä, että oppijoilla on virheellisiä käsityksiä liittyen aineiden rakenteeseen. Mikrotason hahmottamisen vaikeudesta kertoo hyvin Shepherdin ja Rennerin (1982) tutkimus, jossa 16- ja 18-vuotiaille oppilaille esitettiin valmiita kysymyksiä liittyen aineen olotilaan ja tiheyden muutoksiin. Shepherdin ja

Rennerin (em.) tutkimustulokset kertovat, että yhdelläkään oppilaista ei ollut selvää ymmärrystä kaasujen, nesteiden ja kiinteiden aineiden molekyylien välillä vallitsevien voimien eroista. Lisäksi Shepherdin ja Renner (em.) tutkimus osoitti, että vain 43 prosentilla lukioikäisistä oli vain osittainen ymmärrys aineen sisäisten voimien vaikutuksesta aineen olomuotoon. Vaikka virhekäsitykset aineen rakenteesta vähenevätkin opetuksen edistyessä, niin Novickin ja Nussbaumin (1981) tutkimus osoittaa, että mikrotason virhekäsityksiä ilmenee jopa yliopisto-opiskelijoilla. Novickin ja Nussbaumin (em.) tutkimus osoittaa myös, että 50 % yliopisto-opiskelijoista ei ymmärtänyt aineen jakautumista tasaisesti, kun kaasumainen aine on suljetussa astiassa.

Edellä esitetyt tutkimukset kertovat vahvasti siitä, että oppilailla on ongelmia ymmärtää se, millaisia ovat molekyylien väliset vuorovaikutukset eri olomuodoissa. Mutta mistä tämä johtuu ja onko oppilailla vielä nykyään samanlaisia ongelmia olomuotoja selittäessä? Edellä esitetyt kysymykset ovat sellaisia, joita tämän tutkimuksen tutkimusosiossa tulen tarkastelemaan vielä lähemmin.

Makro- ja mikrotason virhekäsitysten lisäksi oppilailla on todettu olevan ongelmia myös symbolisella tasolla. Symbolisella tasolla ilmeneviä ongelmia ja virhekäsityksiä on tutkinut muun muassa Yarrock (1985). Hänen tutkimuksensa on tehty haastattelemalla neljäätoista lukioikäistä oppilasta. Yarrockon tutkimuksessa ilmenee muun muassa se, että oppilaat osaavat käyttää kemiallisia kaavoja yhtälöissä ja tasapainottaa reaktioyhtälöitä ymmärtämättä kaavan termejä ja symboleja. Esimerkkinä mainittakoon, että Yarrockin tutkimuksessa oppilaat eivät nähneet eroa merkinnän 3H_2 piirtotavoissa, jotka on esitetty kuvissa 1 ja 2. Yarrockin tutkimus sai minut miettimään mistä tällaiset virheelliset tiedot johtuvat. Olisi erittäin mielenkiintoista päästä haastattelemaan sellaista oppilasta, joka väittää sekä kuvan 1, että kuvan 2, vastaavan kemiallista merkintää 3H_2 . Mielestäni opettamisen kannalta olisi tärkeä tietää, mikä opettamisessa tai oppilaan ajattelutavassa on mennyt tällaisessa tilanteessa vikaan.



Kuva 1. Kolme H_2 molekyyliä (oikea tapa).



Kuva 2. Kolme H_2 molekyyliä piirrettynä yhteen (väärä tapa).

Kyky esittää aineen rakenne on olennaista ja ominaista kemialle (Gabel, Samuel & Hunn 1987). Aineen rakenteen esittämisen tärkeys ilmenee, kun selitetään esimerkiksi havaittavia tapahtumia, tarkastellaan olomuodon muutoksia tai jos tarkastellaan kaasulakeja, stoikiometriaa ja liukenemistä. Kuten edellä todettiin, niin aikaisempien tieteellisten tutkimusten mukaan oppilaille on havaittu olevan paljon vaikeuksia ja virheellisiä käsityksiä aineen rakenteesta. Nämä virheelliset käsitykset taas aiheuttavat sen, että oppilaiden uuden asian ymmärtäminen ja oppiminen vaikeutuvat. Oppilaiden virhekäsitysten tiedostaminen on tärkeää, sillä kun oppilaiden yleisimmät virhekäsitykset tiedostetaan, voidaan opettamisessa vaikuttaa siihen, että kyseiset virhekäsitykset saadaan oikaistua hyvissä ajoin pois.

2.4.2 Virhekäsitykset molaarisella ja molekulaarisella tasolla

Kun ainetta tarkastellaan molaarisella tasolla, tutkitaan tällöin ainetta suurten hiukkasjoukkojen tapauksessa. Toisaalta taas, jos ainetta tarkastellaan molekulaarisella tasolla, tutkitaan ainetta atomien ja molekyylien luokassa (Jensen 1998).

Tieteelliset tutkimukset ovat osoittaneet oppijoilla olevan suuria hankaluuksia tulkita näkemäänsä eri tasoilla (Ben-Zvi, Eylon & Silberstein 1987). Oppijoilla on todettu olevan molaarisen tason hahmotuksen hankaluuksia esimerkiksi puhtaan aineen ja seoksen käsitteiden erottamisessa toisistaan (Lampiselkä 2003, 12). Sangerin (2000) mukaan hyvä tapa auttaa oppilaita ymmärtämään kemiallisten reaktioiden mikrotason tapahtumia on opastaa heitä käyttämään partikkelien piirtämistä ja tietokoneanimaatioita. Ongelmana tässä kuitenkin on se, että mikrotason mallit eivät välttämättä auta käsitteiden omaksumista, sillä oppijat saattavat tulkita esitetyt mallitkin väärin (Sanger 2000). Toisaalta oppijat voivat opetuksen perusteella tietää aineen rakentuvan atomeista, mutta pitää itsepintaisesti kiinni aineen tasalaatuisuudesta ja jatkuvuuden mallista (Pfundt 1981; Nussbaum 1985). Perushahmotuksen virheitä ilmenee myös molekulaariselta molaariselle tasolle siirryttäessä. Oppijat saattavat esimerkiksi kuvitella, että veden elektrolyytisessä hajotuksessa syntyneistä kaasutilavuuksista suuremman tilavuuden saa happi, koska se on atomitasolla isompi kuin vety (Gabel, Samuel & Hunn 1987).

Oppimisen ongelmana on usein molaarisen tason konkreettisen maailman ja molekulaarisen tason abstraktin maailman puutteellinen kytkeytyminen toisiinsa (Lampiselkä 2003, 12). Johnstonen (1991) mukaan opetuksessa tulisi pyrkiä

systemaattisesti kytkemään toisiinsa luonnonilmiön molaarisen, molekulaarisen ja symbolisen tason esitykset. Näin oppijalle muodostuisi eheämpi kuva ilmiön konkreettisesta ilmenemismuodosta ja sen yhteydestä abstraktin tason selityksiin.

2.4.3 Virhekäsitykset kemiallisissa sidoksissa

Oppilaiden vaikeuksia ymmärtää kemiallisia sidoksia on tutkittu paljon. Ongelmallisiksi oppilaille oppia on havaittu muun muassa kovalenttinen ja ioninen sitoutuminen ja näihin sidostyyppeihin liittyvä elektronien jakautuminen. Esimerkiksi Petersonin ja Treagustin (1989) mukaan 23 % lukioikäisistä tutkimusryhmän opiskelijoista kuvitteli elektronien jakautuvan tasan kaikissa kovalenttisissa sidoksissa. Lisäksi 60 % lukioikäisistä ja 55 % yliopiston ensimmäisen vuoden opiskelijoista ei kyennyt sijoittamaan yleisten mallien mukaisen vedyn ja fluorin välisen kovalenttisen sidoksen elektroniparin jakautumista oikein. Oppilaat eivät siis ymmärtäneet sitä, että vetyfluoridi on dipolimolekyylä, koska fluori elektronegatiivisempänä sitoo sidoselektronit voimakkaammin omaan vaikutuspiiriinsä. Boonin (1998) tutkimuksen mukaan oppijat saattavat myös kuvitella, että yksinkertainen sidos käsittää vain yhden elektronin.

Buttsin ja Smithin (1987) sekä Boon (1998) mukaan hankaluuksia ilmenee myös ioniyhdisteiden ymmärtämisessä. Eri-ikäisillä oppijoilla näyttää olevan yhteinen virhekäsitys, jonka mukaan ioniyhdisteen rakenneosat ovat selvästi toisistaan erillään. Taberin (1994) tutkimus kuvaa tätä virhekäsitystä natriumkloridin tapauksessa siten, että opiskelijoiden mukaan natrium voi muodostaa vain yhden sidoksen, koska se voi luovuttaa vain yhden elektronin. Oppilaat ovat Taberin (em.) tutkimuksen mukaan sitä mieltä, että natriumioni voi sitoutua vain elektronin vastaanottavan kloridi-ionin kanssa. Opiskelijat saattavat kyllä tietää natrium- ja kloridi-ionien olevan vuorovaikutuksessa muiden ionien kanssa, mutta heidän mielestään nämä vuorovaikutukset eivät ole luonteeltaan ionisidoksellisia (Taber em.).

3 Aineen rakenteen kemiallinen tausta

Läpi ihmiskunnan historian ihmiset ovat olleet kiinnostuneita muutoksista, erityisesti niistä, jotka ovat olleet dramaattisia tai hyödyllisiä. Esihistoriassa yksi tärkeimmistä keksinnöistä on ollut tulen keksiminen. Palaessaan puu muuttuu lämmöksi,

vesihöyryksi, hiilidioksidiksi ja pieneksi kasaksi tuhkaa. Samalla tavalla hyödyllinen keksintö on ollut rautamalmin muuttaminen raudaksi. Tämä mahdollisti esimerkiksi aseiden ja työkalujen valmistamisen. (McMurray & Fay 2001, 36.)

Esimerkiksi puun palaminen ja muut ihmiselle tärkeät arkipäivän kemialliset reaktiot saivat aikoinaan antiikin kreikkalaiset filosofit pohtimaan mitkä erilaiset materiaalit voidaan hajottaa. Tämä puolestaan johti loppujen lopuksi alkuaineiden keksimiseen. Samaan aikaan antiikin filosofit pohtivat alkuaineisiin liittyviä kysymyksiä, kuten mistä materiasta alkuaineet rakentuvat, onko materia mahdollista jakaa loputtomasti pienempiin palasiin, vai ei? Tuohon aikaan näihin kysymyksiin parhaiten vastasi Democritus (460–370 eKr.), joka ehdotti, että alkuaineet koostuvat pienistä partikkeleista, joita me nykyään kutsumme atomeiksi. Tämän enempää alkuaineista ja atomeista ei opittu ennen modernin tieteen syntymistä noin 2000 vuotta myöhemmin. (McMurray & Fay 2001, 36–37.)

Tässä luvussa tarkastellaan aluksi aineen rakenteen kemiallista taustaa niin kuin aineen rakenne lukiolaisille opetetaan. Aineen rakenne käydään tässä osiossa läpi tieteellisten julkaisujen avulla. Tämän luvun tarkoitus ei ole esittää aineen rakennetta tieteellisesti uusimpien näkemysten ja teorioiden mukaan, vaan aineen rakennetta käsitellään niin kuin se lukiolaisille esitetään. Atomien sitoutumista käsiteltäessä molekyyliorbitaali-, valenssisidoselektroni- ja kvanttiteoreettinen näkemys asiasta sivutetaan. Miksi näin teen selviää tarkemmin kappaleiden 3.2.1 ja 3.2.4 aikana.

3.1 Aineen ominaisuuksia

Pienet, mikroskooppiset aineen rakennuspalikat tunnetaan paremmin nimillä atomi ja molekyyli. Atomit muodostuvat protoneista, neutroneista ja elektroneista. Molekyylit ovat atomia isompia rakennusyksiköitä, jotka koostuvat kahdesta tai useammasta toisiinsa liittyneestä atomista. Mitä kulloinkin tarkasteltava aine on ja miten se käyttäytyy, riippuu siitä mistä atomeista aine koostuu ja miten atomit ovat toisiinsa liittyneet. (Hill, Petrucci, McCreary & Perry 2005, 3.)

Se millä tavalla aine rakentuu ja millaisia sidoksia se sisältää, vaikuttaa aineen ominaisuuksiin ja esimerkiksi siihen, missä olomuodossa kyseinen aine on normaaliolosuhteissa. Kun tiedetään aineen rakenne, kertoo se paljon siitä, millaisten

aineiden kanssa ja millä tavalla kyseinen aine reagoi. Aineen rakenteen tunteminen on siis kemian osaamisen kannalta yksi oleellisin asia.

3.1.1 Aineen koostumus ja luokittelu

Kaikki aineet koostuvat alkuaineista. Alkuaineeksi kutsutaan ainetta, jota ei voida hajottaa yksinkertaisempaan muotoon kemiallisella reaktiolla. Yhdisteeksi taas kutsutaan ainetta, joka koostuu kahdesta tai useammasta eri alkuaineen atomista. (Hill, Petrucci, McCreary & Perry 2005, 5.) Nykyään tunnetaan 114 alkuainetta, joista noin 90 esiintyy luonnossa ja loput on pystytty tekemään vain laboratorioissa (Petrucci, Harwood, Herring & Madura 2007, 5).

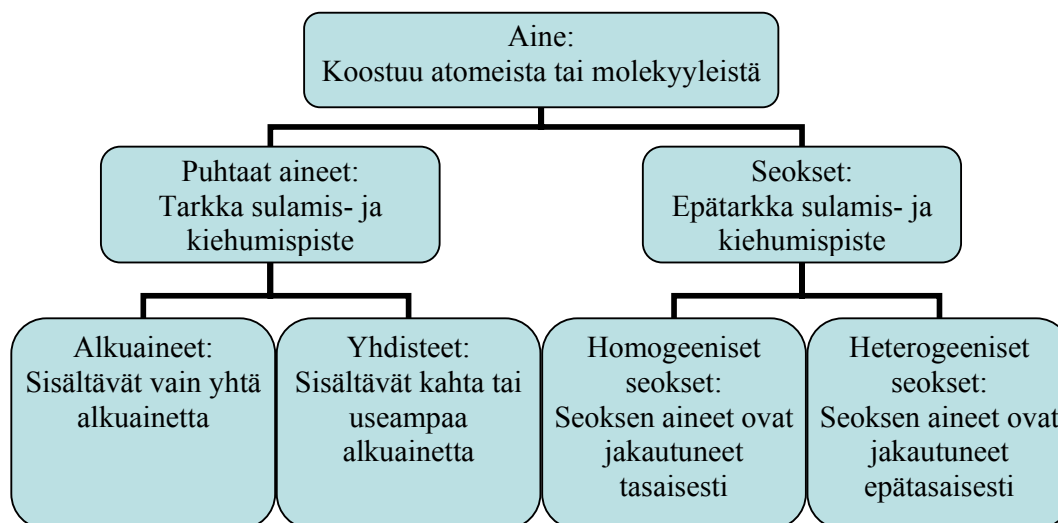
Kaikki aineet voidaan luokitella joko puhtaiksi aineiksi tai seoksiksi. Puhtailla aineilla on tarkka sulamis- ja kiehumispiste, kun taas seoksilla sulamis- ja kiehumispiste riippuu seoksen ainesosasten pitoisuudesta. Lisäksi näiden kahden jaottelun erona on se, että suurin osa seoksista voidaan halutessa erottaa puhtaiksi aineiksi käyttäen hyväksi aineiden fysikaalisia ominaisuuksia. (Averill & Eldredge 2007, 8.)

Puhtaat aineet voidaan luokitella joko alkuaineiksi tai yhdisteiksi. Aine luokitellaan alkuaineeksi, jos se sisältää vain yhtä alkuainetta. Eli kaikki jaksollisen järjestelmän alkuaineet lasketaan alkuaineeksi, jos ne esiintyvät kyseisessä määritystilanteessa puhtaina. Yhdisteeksi aine luokitellaan, jos aine sisältää kahta tai useampaa alkuainetta. Esimerkkinä yhdisteeksi voidaan mainita muun muassa puhdas vesi, joka sisältää happea ja vetyä. (Averill & Eldredge 2007, 8.)

Seokset voidaan luokitella joko homogeenisiksi tai heterogeenisiksi. Aine on homogeenista, jos seoksessa olevat aineet ovat jakautuneet tasaisesti molekyyllitasolla. Homogeenisiä seoksia ovat esimerkiksi hengittämämme ilma ja juomamme vesijohtovesi. Heterogeeniseksi aine luokitellaan, jos aineen rakenneosaset eivät ole jakautuneet tasaisesti molekyyllitasolla. Esimerkkinä heterogeeniseksi aineeksi mainittakoon sinihomejuusto ja lika, joissa selvästi molemmissa on havaittavissa eri aineiden rajapinnat. (Averill & Eldredge 2007, 8-9.)

Toisaalta aineesta ei aina voida sanoa onko se homogeeninen vai heterogeeninen. Aine voidaan luokitella edellisen esityksen mukaan, mutta yleensä on lähes mahdotonta todeta silmämääräisesti, onko jokin aine puhdas aine (kuten esimerkiksi vesi) vai homogeeninen seos (kuten esimerkiksi suolavesiliuos) (Lampiselkä 2003, 9). Aineen

luokittelu johonkin kategoriaan vaatii yleensä tarkempia kyseisen aineen kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien tutkimista. Edellä esitetty aineen jaottelu on tiivistetty kaaviossa 1.



Kaavio 1. Aineen luokittelu (Petrucci, Harwood, Herring & Madura 2007, 6.)

3.1.2 Aineen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet

Jokaisella aineella on sille ominaiset fysikaaliset ominaisuudet. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi aineen massa, väri, tilavuus, sulamispiste ja kiehumispiste. Fysikaalisille ominaisuuksille on ominaista se, että ne voidaan määrittää tietylle aineelle ilman, että aineen rakenne muuttuisi mittauksen aikana.

Aineiden fysikaaliset ominaisuudet voidaan jakaa ekstensiivisiin ja intensiivisiin ominaisuuksiin. Ekstensiiviset ominaisuudet riippuvat aineen määrästä ja vaikuttavat esimerkiksi massaan, painoon ja tilavuuteen. Intensiiviset ominaisuudet eivät sen sijaan riipu aineen määrästä ja tällaisia ominaisuuksia ovat muun muassa väri, sulamispiste, kiehumispiste, sähkönjohtavuus ja fysikaalinen tila kyseisessä lämpötilassa. (Averill & Eldredge 2007, 11.) Joskus aine käy läpi fysikaalisen muutoksen, kuten vesi jäätyessään. Tällöin veden fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat, mutta veden kemiallinen koostumus pysyy samana (Petrucci, Harwood, Herring & Madura 2007, 7).

Puhtaille aineille on ominaista se, että samasta aineesta otetuilla näytteillä on aina samanlaiset kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. Esimerkiksi puhdas kupari on aina punaruskeaa ja se liukenee mietoon typpihappoon tuottaen sinisen liuoksen ja ruskeaa kaasua. (Averill & Eldredge 2007, 11.)

3.1.3 Aineen eri olomuodot

Aine esiintyy yleensä joko kiinteänä, nesteenä tai kaasuna. Kuitenkin olosuhteista riippuen, aine voi esiintyä samassa tilanteessa myös kahtena tai kolmena olomuotona. Esimerkiksi keväällä vesi esiintyy lammikoissa ja järvissä jäänä ja nesteenä. Tämän lisäksi auringon säteily saa aikaan sen, että jään pinnalta vapautuu vettä kaasumaisessa olomuodossa. Tällöin vesi siis esiintyy samassa tilanteessa kaikkina kolmena eri olomuotona. (Petrucci, Harwood, Herring & Madura 2007, 8.)

Kiinteissä aineissa atomit tai molekyylit ovat lähekkäin toisiaan ja kiinteälle olomuodolle on ominaista tietty muoto. Nestemäisenä saman aineen atomit tai molekyylit yleensä sijaitsevat kauempana toisistaan kuin kiinteässä olomuodossa. Lisäksi atomien tai molekyylien mahdollisuus liikkua toistensa ohi antaa nesteille ominaiset ominaisuudet, kuten juoksevuuden ja astian muodon ottamisen. Kaasumaisessa olomuodossa atomien tai molekyylien etäisyydet ovat vielä suuremmat kuin nesteissä. Kaasu aina laajenee niin, että se täyttää astian kokonaan. (Petrucci, Harwood, Herring & Madura 2007, 7-8.)

Vertailtaessa saman aineen kiinteää, nestemäistä ja kaasumaista olomuotoa suurimpana erona on se, että kiinteänä aineen molekyylit vuorovaikuttavat keskenään eniten. Kaasumaisessa olomuodossa kyseisen aineen rakenneyksiköt taas ovat vähiten keskenään vuorovaikutuksessa. Nestemäisen olomuodon rakenneyksiköt ovat keskenään vuorovaikutuksessa vähemmän kuin kiinteänä, mutta enemmän kuin kaasuna. Se millaisia vuorovaikutuksia rakenneyksikköjen välillä vallitsee, riippuu aineesta ja siitä, millaisia kemiallisia sidoksia kyseinen aine sisältää.

3.2 Atomien väliset vuorovaikutukset

Kaikki atomit aineissa, jotka koostuvat enemmästä määrästä atomeja kuin yksi atomi, pysyvät yhdessä sähköisten vuorovaikutusten avulla. Nämä sähköiset vuorovaikutukset aiheutuvat varatuista partikkeleista kuten protoneista ja elektroneista. Tällaisia sähköisiä vuorovaikutuksia ovat sähköinen vetovoima ja sähköinen hylkimisvoima. Sähköinen vetovoima syntyy, kun sähköisesti vastakkaisesti varatut (toinen negatiivisesti varattu ja toinen positiivisesti varattu) kappaleet aiheuttavat voimia, jotka yrittävät vetää kyseisiä kappaleita lähemmäksi toisiaan. Sähköinen hylkimisvoima taas syntyy, kun sähköisesti samalla tavalla varatut (molemmat positiivisesti varattu tai molemmat negatiivisesti

varattu) kappaleet aiheuttavat voimia, jotka yrittävät työntää kyseisiä kappaleita kauemmas toisistaan. Atomit muodostavat kemiallisen yhdisteen, kun vetovoimat atomien välillä ovat suurempia kuin hylkivät voimat. Yleisesti näitä sähköisiä vetovoimia atomien välillä kutsutaan kemiallisiksi sidoksiksi. (Averill & Eldredge 2007, 47.)

Kemiallisten sidosten syntyminen voidaan myös ajatella seuraavalla tavalla. Kuvittele mitä tapahtuu kun kaksi atomia lähestyvät toisiaan kemiallisen reaktion alkuhetkillä. Koska atomin elektronit ottavat suuremman tilan kuin atomin ydin, niin elektronit ovat niitä jotka kohtaavat atomien ”törmätessä”. Tämän takia elektronit muodostavat kemiallisen sidoksen, joka liittää atomit yhdisteeksi. (McMurray & Fay 2001, 52.)

Kemiallisten sidosten luokittelu vaihtelee, mutta yleisin tapa luokitella kemialliset sitoutumistavat on jakaa ne kolmeen pääryhmään. Nämä pääryhmät ovat ioninen sitoutuminen, kovalenttinen sitoutuminen ja metallinen sitoutuminen (McMurray & Fay (2001, 52). Tässä tutkimuksessa käsittelen molekyylien muodostumista edellä mainittujen sidostyyppien avulla, koska ne ovat ne yleisimmät sitoutumistyyppit, jotka lukiolaisille esitetään.

3.2.1 Lewisin teoria kemiallisista sidoksista

Toisen maailmansodan aikoihin kaksi amerikkalaista kemistiä, G. N Lewis ja I. Langemuir sekä saksalainen, W. Kossel, toisistaan tietämättään julkaisivat samanlaiset ideat kemiallisesta sidoksesta. Tämä idea tunnetaan nykyisin Lewisin teoriana (Hill, Petrucci, McCreary & Perry 2005, 340–341):

- Valenssielektronit ovat pääasiallisessa roolissa kemiallisessa sitoutumisessa.
- Kun metalli ja epämetalli reagoivat keskenään, valenssielektronit siirtyvät yleensä metallilta epämetallille. Näin syntyy kationeja ja anioneja, joita pitävät yhdessä sähköiset vuorovaikutukset synnyttäen ionisia sidoksia.
- Kun epämetalliset atomit reagoivat keskenään, atomit jakavat yhden tai useamman elektroniparin, tuottaen kovalenttisen sidoksen.
- Elektronien luovuttamisessa ja jakamisessa atomien käyttäytymistä ohjaa se, että atomit yrittävät saada itselleen jalokaasujen elektronikuoren rakenteen. Tämä sääntö tunnetaan myös oktettisääntönä. Oktettisääntö ei päde siirtymäalkuaineisiin.

Edellä esitetty Lewisin teoria on yleisin kemiallisen sidoksen muodostumisen teoria, joka esitetään lukiolaisille. Lewisin teoria selittää hyvin ja yksinkertaisesti sen, miten kovalenttinen sidos ja ioninen sidos syntyvät. Lewisin teoria ei kuitenkaan päde siirtymäalkuaineille, joten metallien sitoutumisen selittämisessä joudutaan käyttämään toista mallia.

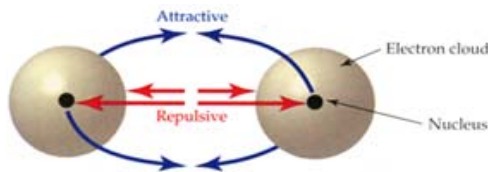
Miksi Lewisin teoria opetetaan lukiossa, vaikka nykyään on olemassa myös uudempia ja tieteellisesti pätevämpiä mallinnustapoja, kuten valenssisidoselektroni- ja kvanttiteoria? Vastaus tähän piilee siinä, että Lewisin teoria antaa yksinkertaisen ja helpon tavan mallintaa kovalenttisten ja ionisten sidosten syntymistä. Monessa uuden opetussuunnitelman mukaisessa lukion kemian oppikirjoissa valenssisidoselektroni- ja kvanttiteoriat teorit esitetään kyllä teorioina, mutta kemiallisia sidoksia käsiteltäessä lukion oppikirjat käyttävät Lewisin teoriaa sidosten muodostumisten selittämiseen. Se, miksi kemiallisten sidosten syntymistä ei selitetä valenssisidoselektroni- ja kvanttiteorialla, piilee siinä, että sidosten muodostuminen valenssisidoselektroni- ja kvanttiteorialla vaatii todella syvällistä matematiikan hallitsemista. Itse asiassa kyseiset teorit ovat yliopistotasoisia ja jopa yliopistossa kvanttiteorian kurssi on yksi vaikeimpia kursseja ymmärrettäväksi. Edellä esitetyn perusteella sivuutankin tässä tutkimuksessa valenssisidoselektroni- ja kvanttiteoreettiset näkemykset kemiallisesta sitoutumisesta ja keskityn vain niihin sitoutumisteorioihin, joita lukiolaisille opetetaan.

3.2.2 Kovalenttinen sitoutuminen

Aivan kuten atomi on yksinkertaisin aineen rakenteen yksikkö, on kovalenttinen yhdiste yksinkertaisin kemiallinen molekyyli, jolla on kemialliset ominaisuudet (Averill & Eldredge 2007, 47). Yleisesti tiedetään, että kovalenttinen sidos syntyy, kun kaksi epämetalliatomia jakavat elektronejaan keskenään (McMurray & Fay 2001, 52).

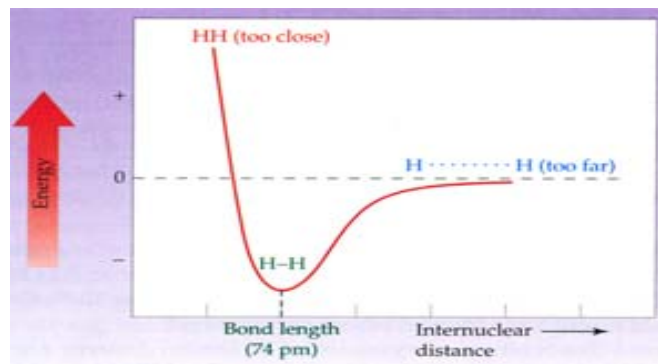
Kovalenttinen sidos selittyy parhaiten, kun tarkastelemme H-H sidosta H₂-molekyylissä. Kun kaksi vetyatomia tulee tarpeeksi lähelle toisiaan, alkavat ne vaikuttaa keskenään. Kun atomit tulevat toistensa vaikutuspiiriin alkavat vetyatomien positiivisesti varatut ytimet hylkiä toisiaan ja tämän lisäksi myös vetyatomien negatiivisesti varatut elektronit alkavat hylkiä toisiaan. Tämän lisäksi esiintyy atomeja koossa pitäviä sähköisiä voimia, sillä jokainen positiivisesti varattu ydin vetää puoleensa negatiivisesti varattuja elektroneja. Asiaa selventää hyvin kuva 3. Jos koossa pitävät voimat ovat voimakkaampia kuin hylkivät voimat, niin syntyy kovalenttinen

sidos. Tässä kovalenttisessa yhdisteessä vetyatomit ovat liittyneet toisiinsa, jakaen kaksi elektronia, jotka sijaitsevat ydinten välissä. Syntyneessä molekyylissä elektronit toimivat eräänlaisena liimana kahden ytimen välillä. Molemmat ytimet vetävät samanaikaisesti samoja elektroneja puoleensa ja täten molekyyli pysyy kasassa, aivan kuten kaksi köydenvetojoukkuetta, jotka vetävät samasta köydestä yhtä lujaa, pysyvät paikallaan. (McMurray&Fay 2001, 52.)



Kuva 3. Kahden vetyatomien väliset sähköiset vuorovaikutukset (McMurray & Fay 2001, 245).

Kovalenttisen sidoksen hylkimis- ja vetovoimat riippuvat siitä, kuinka lähellä toisiaan atomit ovat. Esimerkiksi, jos vetyatomit ovat liian kaukana toisistaan, vetovoimat ovat pieniä ja sidosta ei tällöin synny. Jos taas vetyatomit ovat liian lähellä toisiaan, vety-ytimien välinen hylkimisvoima kasvaa niin suureksi, että se työntää atomit erilleen, eikä sidosta pääse syntymään. Näiden edellä esitettyjen kahden ääripään välillä on optimitila, jossa vetovoimien ja hylkimisvoimien suhde on paras ja sidos pääsee syntymään. Tätä optimitilaa kutsutaan sidospituudeksi. Sidospituus on ominainen jokaiselle kovalenttiselle sidokselle, mutta esimerkiksi vetymolekyylissä tämä sidospituus on 74 pm. (McMurray & Fay 2001, 245.)



Kuva 4. H-H -sidoksen potentiaalienergia verrattuna sidospituuteen (McMurray & Fay 2001, 245.)

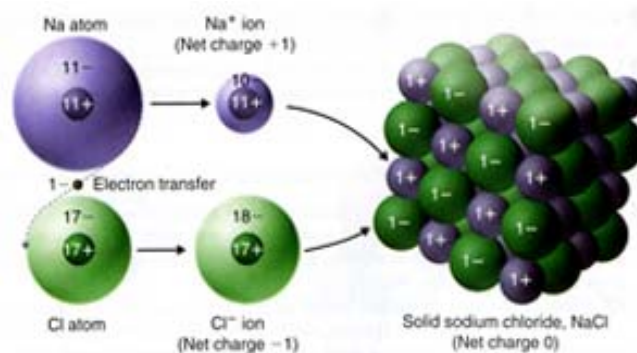
3.2.3 Ioninen sitoutuminen

Kuten jo aiemmin todettiin, niin Lewisin teorian mukaan metallin ja epämetallin reagoissa, valenssielektronit siirtyvät yleensä metallilta epämetallille. Tällöin syntyy

kationeja ja anioneja, joita pitävät yhdessä sähköiset vuorovaikutukset synnyttäen ionisia sidoksia.

Ionit ovat atomeja, joilla on sähköinen varaus, joka johtuu siitä, että kyseisessä atomissa on eri määrä elektroneja ja protoneja. Ioneja, jotka sisältävät enemmän protoneja kuin elektroneja, kutsutaan kationeiksi. Jos taas ioni sisältää enemmän elektroneja kuin protoneja, kutsutaan kyseistä ionia anioniksi. Ioniset yhdisteet sisältävät sekä kationeja, että anioneja siten, että ionisen yhdisteen kokonaisvaraus on nolla. (Averill & Eldredge 2007, 52.)

Kovalenttisissa yhdisteissä elektronit jakautuvat sitoutuneiden atomien kesken ja sidoselektronit ovat useamman kuin yhden atomin vaikutuspiirissä. Edellisen vastakohtana taas ioniset yhdisteet sisältävät anioneja ja kationeja, eikä varauksettomia molekyyliä. Ioniset yhdisteet pysyvätkin kasassa anionien ja kationien välisten sähköisten vuorovaikutusten avulla. Ionisessa yhdisteessä kationit ja anionit järjestäytyvät aina siten, että ne muodostavat jatkuvan kolmiulotteisen rakenteen, joka maksimoi koossa pitävät voimat ja minimoi hylkimisvoimat. (Averill & Eldredge 2007, 52.) Ionisten yhdisteiden rakennetta kuvaa hyvin kuva 5.



Kuva 5. Natriumkloridin ioninen sitoutuminen (Averill & Eldredge 2007, 52.)

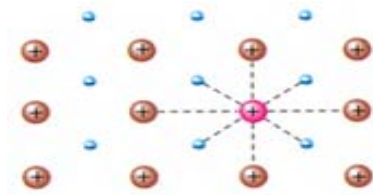
3.2.4 Metallinen sitoutuminen

Lähes kaikilla metalleilla on yhteisiä ominaisuuksia. Useimmat metallit ovat hopeanhoitoisia, kiiltäviä alkuaineita ja metalleilla on yleensä hyvin korkeat sulamispisteet. Kaikki metallit johtavat lämpöä ja sähköä sekä lisäksi metalleja voidaan venyttää ja takoa. Mutta mistä nämä metalleille yhteiset ominaisuudet johtuvat? Vastaus siihen selviää tarkastelemalla metallien rakennetta.

Metallien rakenne esitetään yleensä elektronimeri-mallilla tai molekyyliorbitaaliteorialla (McMurry & Fay 2001, 918). Tässä tutkimuksessa molekyyliorbitaaliteoreettinen näkemys metallien rakenteesta sivuutetaan, koska sitä ei lukiossa opeteta. Syy, miksei molekyyliorbitaaliteoreettista näkemystä metallien sitoutumisesta lukiolaisille opeteta, on, että kyseinen teoria on aivan liian vaikea asia lukiolaisten käsitettäväksi. Molekyyliorbitaaliteorian ymmärtäminen vaatii muun muassa kvanttimekaniikan ymmärtämistä ja kvanttimekaniikan ymmärtäminen vaatii todella syvällistä matematiikan hallitsemista.

Jos metalleille yrittää piirtää Lewisin rakennetta, huomaa pian, että metalleilla ei ole tarpeeksi valenssielektroneja muodostamaan elektronipareja (sidoksia) viereisten atomien kanssa. Esimerkiksi natriumilla on vain yksi valenssielektroni ($3s^1$) atomia kohden, mutta kuitenkin natrium muodostaa kiteen, jossa jokaisen natriumytimen vieressä on kahdeksan muuta natriumytimä. Selvästikään siis valenssielektronit eivät voi sijaita ytimien välissä, koska ne riittäisivät vain kahden natriumatomin muodostamaan kovalenttiseen sidokseen. Natriummetalli ei rakennu edellä esitetyllä tavalla, joten Lewisin teoria ei päde siirtymäalkuaineille.

Ratkaisuksi natriumatomien sitoutumisen ongelmaan on keksitty, että jokaisen natriumatomin valenssielektroni on delokalisoitunut koko natriumkiteeseen. Elektronimeri-mallissa metallikiteen ajatellaan muodostuvan kolmiulotteisessa järjestelmässä, jossa metallikationit sijaitsevat delokalisoituneessa elektronimeressä. Toisin sanoen vapaiden valenssielektronien voidaan sanoa olevan liimaa, joka pitää metallikationit yhdessä. (McMurry & Fay 2001, 918–919.) Elektronimeri-mallia selventää hyvin kuva 6.



Kuva 6. Metallien elektronimeri- mallinnus (Petrucci, Harwood, Herring & Madura 2007, 453.)

Elektronimeri-malli antaa hyvän vastauksen metallien sähkönjohtavuuteen ja lämmönjohtavuuteen. Metallien sähkönjohtavuus selittyy sillä, että koska valenssielektronit voivat liikkua metallihilassa vapaasti, mahdollistuu sähköisen potentiaalieron läsnäollessa suljetun virtapiirin muodostuminen. Toisaalta taas metallien

lämmönjohtuminen selittyy sillä, että elektronit voivat kuljettaa lämpöä kineettisenä energiana. Elektronimeri-malli antaa myös hyvän vastauksen metallien muotoiltavuuteen ja kovuuteen. Muovailtavuus ja kovuus selittyvät sillä, että delokalisoitunut sitoutuminen vaikuttaa kaikkiin suuntiin, eikä metallihila sisällä varsinaisia paikallisia sidoksia. Eli, kun esimerkiksi metallihilaa muutetaan metallia muokatessa, niin paikallisia sidoksia ei katkea vaan elektronimeri vain muotoutuu uuteen muotoon. Paikallisia sidoksia ei katkea, koska metallihilassa ei samalla tavalla ole paikallisia sidoksia, niin kuin esimerkiksi ionihilassa on. Metallien erilainen kovuus taas selittyy sillä, kuinka monta elektronia mikäkin alkuainemetalli hilaan antaa. Esimerkiksi raudalla ($4s^23d^6$) on enemmän valenssielektroneja kuin natriumilla ($3s^1$). Tällöin rauta luovuttaa enemmän elektroneja hilan ympäröivään elektronimereen kuin natrium ja tämän takia rauta on kovempaa kuin natrium. (McMurry & Fay 2001, 919.)

3.3 Molekyylien väliset vuorovaikutukset

Kemiallisen sidoksen muodostuessa, jokaisella atomilla on sille ominainen kyky vetää puoleensa sidoselektroneja ja tätä kykyä kuvaa aineen elektronegatiivisuus. Mitä suurempi on molekyylissä olevan aineen elektronegatiivisuus, sitä tiukemmin kyseinen aine vetää puoleensa sidoksen sidoselektroneja (Hill, Petrucci, McCreary & Perry 2005, 349–350).

Sitoutuvien atomien elektronegatiivisuusero on yksi oleellisin asia kemiallisessa sitoutumisessa, sillä sen avulla kovalenttiset sidokset voidaan luokitella poolittomiksi tai poolisiksi sidoksiksi. Tämä luokittelu antaa paljon informaatiota kyseisen aineen molekyylien välisistä vuorovaikutuksista. Pooliton sidos syntyy, kun kaksi identtistä atomia liittyvät yhteen kemiallisella sidoksella. Pooliton sidos syntyy myös, jos kaksi eri alkuainetta, joiden elektronegatiivisuusero ei ole kovin suuri, liittyvät yhteen kemiallisella sidoksella. Toisaalta taas, jos sidoksen muodostavien alkuaineiden elektronegatiivisuusero on tarpeeksi suuri, syntyy poolinen sidos. Esimerkiksi H-H -sidos on pooliton, koska sidoksen muodostaa kaksi identtistä vety-atomia, kun taas H-Cl-sidos on poolinen, koska sidoksen muodostaa kaksi elektronegatiivisuuseroltaan erilaista atomia. (Hill, Petrucci, McCreary & Perry 2005, 350.)

Miten sidoksen poolisuus vaikuttaa aineen rakenteeseen ja molekyylien väliseen sitoutumiseen? Poolittomat molekyylit sitoutuvat toisiinsa erittäin heikoilla kemiallisilla sidoksilla, joita kutsutaan dispersiovoimiksi. Dispersiovoimat syntyvät, kun elektronit ovat jatkuvassa liikkeessä atomiytimien ympärillä ja molekyyliin muodostuu

hetkellisesti epätasainen elektronijakauma eli hetkellisiä dipoleja. Näin syntyvien hetkellisten dipolien välille syntyy heikkoja sähköisiä vetovoimia ja näitä heikkoja sähköisiä vetovoimia kutsutaan siis yleisesti dispersiovoimiksi. Pooliset molekyylit taas sitoutuvat toisiinsa siten, että molekyylin positiivisesti varatut osat vetävät puoleensa toisen molekyylin negatiivisesti varattuja osia. Pysyvien dipolien aiheuttamat vetovoimat poolisissa yhdisteissä ovat voimakkaampia, kuin hetkellisten dipolien synnyttämät vetovoimat poolittomissa yhdisteissä. Esimerkiksi tämän takia poolisten yhdisteiden kiehumispisteet ja sulamispisteet ovat yleensä korkeampia kuin vastaavan kokoisten poolittomien. (Hill, Petrucci, McCreary & Perry 2005, 350–353.)

Erityisen vahva dipoli-dipolisidos syntyy sellaisten aineiden välillä, joissa pienikokoinen vetyatomi on liittynyt kovalenttisesti pienikokoiseen ja hyvin elektronegatiiviseen epämetalliatomiin. Tällaisia alkuaineita ovat muun muassa happi, typpi ja fluori. Atomien pienen koon ja suuren elektronegatiivisuuseron vuoksi syntyvät osittaisvaraukset ovat suuremmat kuin poolisissa molekyyleissä yleensä. Tällaisten molekyylien välille muodostuvia dipoli-dipolisidoksia kutsutaan vetysidoksiksi. (Hill, Petrucci, McCreary & Perry 2005, 454–459.) Vetysidokset ovat syynä esimerkiksi veden ominaisuuksiin, kuten molekyylipainoon nähden korkeaan sulamis- ja kiehumispisteeseen.

3.4 Metallien, ionisten ja kovalenttisten yhdisteiden erot

Aineen ominaisuudet selittyvät aineen rakenteen perusteella ja tämän takia aineen rakentumisen ja aineen sidosrakenteen ymmärtäminen on merkittävässä roolissa kemian oppimisessa ja ymmärtämisessä. Se millaisia sidoksia jokin aine sisältää, kertoo paljon kyseisen aineen ominaisuuksista. Lisäksi kahden erilaisia sidoksia sisältävän aineen erilaiset fysikaaliset ominaisuudet selittyvät hyvin pitkälti aineen rakenteen, eli molekyylien välisten ja atomien välisten sidosten, avulla.

Ionisilla ja kovalenttisilla yhdisteillä on hyvin erilaiset fysikaaliset ominaisuudet. Ioniset yhdisteet muodostavat normaaliolosuhteissa yleensä hyvin kovia kiteitä, jotka sulavat melko korkeissa lämpötiloissa. Nämä ionisille yhdisteille ominaiset ominaisuudet selittyvät hyvin sillä, että ioniset yhdisteet muodostavat jatkuvan kolmiulotteisen rakenteen. Tämä ionisten yhdisteiden kolmiulotteinen rakenne maksimoi koossa pitävät voimat ja minimoi hylkimisvoimat. (Averill & Eldredge 2007, 52.)

Kovalenttiset yhdisteet voivat olla joko kaasuja, nesteitä tai kiinteitä normaaliolosuhteissa. Se missä olomuodossa kovalenttinen yhdiste on, riippuu siitä, millaisia vuorovaikutuksia kovalenttisten molekyylien välillä vallitsee. Kovalenttiset molekyylit muodostavat yleensä pehmeitä kiteitä, jotka sulavat matalissa lämpötiloissa. Kovalenttisten yhdisteiden pehmeät kiteet ja alhaiset sulamispisteet selittyvät sillä, että kovalenttisten molekyylien väliset vuorovaikutukset ovat yleensä suhteellisen heikkoja vuorovaikutuksia. Se, missä olomuodossa kovalenttinen yhdiste normaaliolosuhteissa esiintyy, riippuu siitä, kuinka polaarinen molekyyli on. (Averill & Eldredge 2007.) Pääsääntönä kovalenttisille yhdisteille voidaan pitää sitä, että mitä poolisempi molekyyli on, sitä suuremmat ovat molekyylien väliset vuorovaikutukset. Toisaalta, mitä suuremmat ovat molekyylien väliset vuorovaikutukset, sitä korkeampia ovat kyseisen yhdisteen sulamis- ja kiehumispisteet.

Useimmat metallit ovat hopeanhoitoisia, kiiltäviä alkuaineita ja metalleilla on yleensä hyvin korkeat sulamispisteet. Lisäksi metalleja voidaan venyttää ja takoa, ja ne kaikki johtavat lämpöä ja sähköä. Metallien ominaisuudet selittyvät hyvin elektronimerimallilla. Metallien delokalisoitunut sitoutuminen vaikuttaa kaikkiin suuntiin, eikä metallihila sisällä varsinaisia paikallisia sidoksia. Eli kun esimerkiksi metallihila rikotaan metallia muokatessa, niin paikallisia sidoksia ei katkea vaan elektronimeri vain muotoutuu uuteen muotoon. Jos metallien muokattavuutta verrataan esimerkiksi ionikiteiden muokattavuuteen, niin ionikiteet eivät kestä samanlaista muokkausta kuin metallit. Ionikide hajoaakin siis helposti pienemmiksi kiteiksi. Tämä metallien ja ioniyhdisteiden välinen ero onkin yksi tähän tutkimukseen valittu asia. Myöhemmin tutkimuksessa paneudutaan siihen, osaavatko lukiolaiset selittää aineen rakenteen kannalta miksi metallit ja ioniyhdisteet käyttäytyvät erilailla niitä muokatessa.

4 Lukion opetussuunnitelma

Kemian opetukselle luonteenomaista on kemiallisten ilmiöiden ja aineiden ominaisuuksien havaitseminen ja tutkiminen kokeellisesti, ilmiöiden tulkitseminen ja selittäminen mallien ja rakenteiden avulla, ilmiöiden kuvaaminen kemian merkkikielellä sekä ilmiöiden mallintaminen ja matemaattinen käsittely. Tämän lisäksi kemian opettamisen tarkoitus on ohjata opiskelijoita monipuolisin työtavoin ja arviointimenetelmin kemian tietojen ja taitojen sekä persoonallisuuden kaikkien osa-alueiden kehittämiseen. Opetuksen tarkoitus on myös ottaa huomioon opiskelijoiden

opiskeluvalmiudet ja luoda myönteinen kuva kemiaan sekä sen opiskelua kohtaan. (Opetushallitus 2003.)

Suomen lukiot elävät muutosvaihetta, sillä lukioissa annetaan tällä hetkellä opetusta kahden opetussuunnitelman mukaan. Uusi opetussuunnitelma valmistui vuonna 2003 ja se otettiin käyttöön 1.8.2005 lukion aloittavilla opiskelijoilla uuden opetussuunnitelman perusteiden mukaisilla paikallisilla opetussuunnitelmilla. Vanha, vuonna 1994 laadittu opetussuunnitelma, poistuu käytöstä keväällä 2007, kun viimeiset vanhan opetussuunnitelman mukaan aloittaneet oppilaat kirjoittavat ylioppilaiksi.

Opetushallituksen laatima opetussuunnitelma (2003) on ohjenuora, jota lukiodien on noudatettava. Jokaisella Suomen lukiolla on käytössään omat koulukohtaiset opetussuunnitelmat, mutta sisällöltään niissä on oltava vähintään samat asiat kuin mitä opetushallituksen opetussuunnitelmassa. Tarkastelen tässä luvussa sitä, mitä lukioissa syksyllä 2005 käyttöön otettu opetussuunnitelma kertoo opettamisesta, oppimisesta ja opetuksen sisällöstä kemian kannalta. Tässä luvussa luodaan myös katsaus siihen, millaista opetuksen sisällön kuuluu lukiossa olla aineen rakenteen kannalta.

4.1 Lukiokoulutuksen tehtävä

Lukion tehtävä on jatkaa perusopetuksen opetus- ja kasvatustehtävää ja antaa laaja-alainen yleissivistys. Lukiokoulutuksen tehtävä on myös antaa riittävät valmiudet lukion oppimäärään perustuviin jatko-opintoihin. Lukiossa hankitut tiedot ja taidot osoitetaan lukion päättötodistuksella, ylioppilastutkintotodistuksella, lukiodiplomeilla ja vastaavilla muilla näytöillä. (Opetushallitus 2003.)

Opiskelijoilla on mahdollisuus osoittaa lukiossa hankkimansa tiedot diplomeilla. Valitettavasti lukiodiplomeita ei vielä ole otettu käyttöön luonnontieteissä, joten lukiodiplomin suorittamistavasta kemiassa en tässä pysty kertomaan. En tässä sen kummemmin pohdi lukiodiplomien merkitystä, mutta kuitenkin esitän kysymyksen, että olisiko lukiodiplomit hyvä ottaa käyttöön myös luonnontieteissä? Tällä hetkellä diplomeita on käytössä lähinnä taideaineissa, mutta toisaalta lukiodiplomit voisivat olla myös hyvä tapa osoittaa luonnontieteiden osaamista.

Lukion yleissivistävän tehtävän lisäksi lukion tulee antaa valmiuksia vastata yhteiskunnan ja ympäristön haasteisiin sekä taitoa tarkastella asioita eri näkökulmista. Opiskelijoita tulee ohjata toimimaan vastuuntuntoisina ja velvollisuuksistaan

huolehtivina kansalaisina yhteiskunnassa ja tulevaisuuden työelämässä. Lisäksi lukio-opetuksen tulee tukea opiskelijan itsetuntemuksen kehittymistä ja hänen myönteistä kasvuun aikuisuuteen. Lukio-opetuksen tulee myös kannustaa opiskelijaa elinikäiseen oppimiseen ja itsensä jatkuvaan kehittämiseen. (Opetushallitus 2003.)

Kuten opetushallituksen määrittelemästä lukiokoulutuksen tehtävästä nähdään, niin lukion tehtävä on myös paljon muuta kuin opettaa tietoja ja taitoja. Lukio opettaa tietojen ja taitojen lisäksi oppilaita kehittymään ihmisinä ja tällä tavalla lukio sosiaalistaa oppilaita yhteiskuntaan. Tämä taas merkitsee sitä, että lukio-opettajan tehtävä ei ole vain olla tietojen ja taitojen opettaja. Opettajan työnkuvaan kuuluu siis myös paljon muuta.

4.2 Oppimiskäsitys

Opetussuunnitelman perusteet pohjautuvat oppimiskäsitykseen, jonka mukaan oppiminen on seurausta opiskelijan aktiivisesta ja tavoitteellisesta toiminnasta, jossa hän vuorovaikutuksessa muiden opiskelijoiden, opettajan ja ympäristön kanssa ja aiempien tietorakenteidensa pohjalta käsittelee ja tulkitsee vastaanottamaansa informaatiota. Opetuksessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että vaikka oppimisen yleiset periaatteet ovat kaikilla samat, se mitä opitaan, riippuu yksilön aikaisemmasta tiedosta ja hänen käyttämistään strategioista. Oppiminen on siis sidoksissa siihen toimintaan, tilanteeseen ja kulttuuriin, jossa se tapahtuu. (Opetushallitus 2003)

Kuten jo kappaleessa 2.2 todettiin, niin yhdeksi hyväksi tavaksi oppia ja opettaa luonnontieteitä on viimeisten 10 vuoden aikana alettu painottaa konstruktivistista näkemystä oppimisesta. Toisaalta myös opetussuunnitelmassa (2003) painotetaan konstruktivistista oppimiskäsitystä. Oppimisen kuuluu siis olla aktiivista vuorovaikutusta muiden kanssa ja opetuksen tulee ottaa huomioon yksilöiden aiemmat tiedot ja taidot. Yhteenvetona todettakoon, että opetussuunnitelman (2003) näkemys tukee hyvin tieteellisten tutkimusten tuloksia luonnontieteiden oppimisesta.

4.3 Opiskeluympäristö ja -menetelmät

Opetushallituksen laatima lukioiden opetussuunnitelma (2003) määrittelee opiskeluympäristön ja opetusmenetelmät seuraavalla tavalla: ”Opiskelijan omaa aktiivista tiedonrakentamisprosessia korostavasta oppimiskäsityksestä seuraa, että lukion on luotava 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 oppimistyylylleen sopivia työskentelymuotoja. Heitä tulee ohjata tiedostamaan, arvioimaan ja tarvittaessa korjaamaan omaa työskentelytapaansa. Opetuksessa on myös otettava huomioon, että opiskelijoiden kyky opiskella itsenäisesti vaihtelee ja että he tarvitsevat eri tavoin opettajaa opiskelunsa ohjaajana. Opiskelijoiden yksilöllisyyden ja erilaisuuden vuoksi opetus- ja opiskelumuotojen tulee olla monipuolisia. Opiskelijoille tulee antaa välineitä tiedon hankkimiseen ja tuottamiseen sekä tiedon luotettavuuden arviointiin ohjaamalla heitä soveltamaan kullekin tiedon- ja taidonalalle luonteenomaisia tiedon- ja taidon hankkimis- ja tuottamistapoja. Opiskelijoita ohjataan käyttämään tieto- ja viestintäteknikkaa sekä kirjastojen tarjoamia palveluja. Opiskelutilanteita tulee suunnitella siten, että opiskelija pystyy soveltamaan oppimaansa myös opiskelutilanteiden ulkopuolella. Osa opiskelusta voidaan järjestää etäopiskeluna, itsenäisenä opiskeluna ja vieraskielisenä. Siitä päätetään opetussuunnitelmassa.”

Analysoin edellä esitettyä pitkää määritelmää ja yritän avata sen mitä opetushallituksen määritelmä opettamisen kannalta tarkoittaa. Lukion tehtävänä on antaa mahdollisuus monipuoliseen kemian opettamiseen. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että lukiossa on oltava mahdollisuus kokeellisuuteen, sillä kemia on kokeellinen luonnontiede. Tämän lisäksi kemian oppimiseen kuuluu oleellisena osana erilaiset vierailut tehtaisiin ja laitoksiin, joissa kemian kanssa ollaan joka päivä tekemisissä. Siis tiivistetysti voidaan sanoa, että lukion tehtävänä on mahdollistaa monipuolinen opetus välineiden ja rahoituksen kautta.

Opettajan tehtäväksi opetussuunnitelma määrittelee sen, että opettajan on ohjattava oppilaita yksilöllisesti oikeaan suuntaan käyttäen sellaisia opetusmenetelmiä, että oppiminen tapahtuu mahdollisimman monipuolisesti. Edellinen lause määrää sen, että opettajan on vastattava siitä, että opetus on monipuolista. Koska kemia on kokeellinen luonnontiede, opettajan on mahdollistettava kokeellisuus. Toisaalta opettajan henkilönä on myös vastattava siitä, että myös teollisuusvierailuja tehdään, ts. opettajalla on vastuu siitä, että monipuolisuus toteutuu kemian opetuksessa.

4.4 Oppimistavoitteet ja opetuksen keskeinen sisältö

Kemian opetuksen tarkoituksena on tukea opiskelijan luonnontieteellisen ajattelun ja nykyaikaisen maailmankuvan kehittymistä. Opetuksen tarkoituksena on välittää kuvaa

kemiasta yhtenä keskeisenä perusluonnontieteenä, joka tutkii ja kehittää materiaaleja, tuotteita, menetelmiä ja prosesseja kestäväen kehityksen edistämiseksi. Opetuksen tarkoitus on auttaa ymmärtämään jokapäiväistä elämää, luontoa ja teknologiaa sekä kemian merkitystä ihmisen ja luonnon hyvinvoinnille tutkimalla aineita, niiden rakenteita ja ominaisuuksia sekä aineiden välisiä reaktioita. (Opetushallitus 2003.)

Vastaus, siihen miksi valitsin lukiolaisten aineen rakenteen ymmärtämisen omaksi Pro gradu-tutkielmani aiheeksi, piilee yllä olevassa kappaleessa. Kuten opetussuunnitelmakin määrittelee, niin lukiossa opetuksen yksi keskeinen sisältö on tarkoitus auttaa ymmärtämään aineita, niiden rakennetta, ominaisuuksia ja aineiden välisiä reaktioita. Koska aineen rakenne on yksi olennaisista asioista kemian ymmärtämisessä, niin haluan selvittää mikä oikeasti on taso oppilaiden aineen rakenteen ymmärtämisessä.

4.5 Lukion kurssien keskeiset sisällöt

Opetushallituksen esittämän opetussuunnitelman (2003) mukaan lukioissa on tarjottava vähintään seuraavat kurssit: ihmisen ja elinympäristön kemia, kemian mikromaailma, reaktiot ja energia, metallit ja materiaalit sekä reaktiot ja tasapaino. Edellä mainituista kurseista ihmisen ja elinympäristön kemian -kurssi on kaikille pakollinen ja loput kurssit ovat valinnaisia.

Ihmisen ja elinympäristön kemia -kurssin keskeiseksi tavoitteeksi Opetushallitus (2003) määrittelee muun muassa sen, että oppilas osaa orgaanisten yhdisteiden rakenteita, niiden ominaisuuksia ja reaktioita sekä ymmärtää niiden merkityksen ihmiselle ja elinympäristölle. Lisäksi keskeiseksi sisällöksi määritellään se, että oppilas tuntee erilaisia seoksia sekä niihin liittyviä käsitteitä ja osaa tutkia kokeellisesti orgaanisten yhdisteiden ominaisuuksia.

Kemian mikromaailma -kurssin tavoitteiksi määritellyt asiat liittyvät kaikki aineen rakenteeseen. Tavoitteena on, että oppilas tuntee aineen rakenteen ja ominaisuuksien välisiä yhteyksiä, oppilas osaa käyttää aineen ominaisuuksien päättelyssä erilaisia kemian malleja, taulukoita ja järjestelmiä. Lisäksi keskeisenä tavoitteena on se, että oppilas ymmärtää orgaanisten yhdisteiden rakenteita ja tuntee rakenteen määrittämisessä käytettäviä menetelmiä ja, että oppilas osaa tutkia kokeellisesti ja erilaisia malleja

käyttäen aineiden rakenteeseen, ominaisuuksiin ja reaktioihin liittyviä ilmiöitä. (Opetushallitus 2003.)

Reaktio ja energia -kurssille asetetut tavoitteet eivät opetussuunnitelmassa suoranaisesti sisällä aineen rakenteeseen liittyviä tavoitteita. Kuitenkin tässä vaiheessa totean, että kemiallisen reaktion ymmärtäminen vaatii reagoivien aineiden rakenteen ja aineen sisältämien vuorovaikutusten ymmärtämistä. On ymmärrettävää mistä aine koostuu, että tiedetään millaisten aineiden kanssa kyseinen yhdiste voi reagoida.

Metallit ja materiaalit -kurssin tavoitteena on muun muassa se, että oppilas tuntee erilaisia materiaaleja, niiden koostumusta, ominaisuuksia ja valmistusmenetelmiä sekä kulutustavaroiden ympäristövaikutusten arviointiin käytettäviä menetelmiä. Lisäksi tavoitteeksi on asetettu se, että oppilas osaa tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen metalleihin ja sähkökemian liittyviä ilmiöitä. (Opetushallitus 2003.)

Reaktiot ja tasapaino -kurssi ei myöskään sisällä aineen rakenteeseen liittyviä tavoitteita. Tässä kuitenkin toistan itseäni ja painotan edellä mainitsemaani asiaa, että kemiallisen reaktion ymmärtäminen vaatii kuitenkin reagoivien aineiden rakenteen ja aineen sisältämien vuorovaikutusten ymmärtämistä.

Opetushallituksen laatimasta lukiodien opetussuunnitelmasta (2003) havaitaan, että kolme kurssia sisältää suoranaisesti aineen rakenteeseen liittyviä tavoitteita. Lisäksi kaksi kurssia ei varsinaisesti sisällä tavoitteita aineen rakenteeseen liittyen, mutta kyseiset kurssit kuitenkin vaativat pohjatietona aineen rakenteen hallitsemisen.

4.6 Yhteenveto opetussuunnitelmasta

Kuten tämän kappaleen aikana todetaan, niin aineen rakenteen ymmärtäminen on opetussuunnitelmassa (2003) asetettu yhdeksi keskeiseksi tavoitteeksi lukion kemiassa. Tämä siis entuudestaan tukee tämän tutkielman aikana esittämäni väitettä, että aineen rakenteen ymmärtäminen on kemiassa yksi tärkeimmistä asioista. Lukion opetussuunnitelman (2003) sisällöstä havaitaan myös, että opettamisen ja oppimisen tavoitteet tukevat hyvin kappaleessa 2 esitetyjä näkemyksiä, kuinka luonnontieteitä tulisi opettaa.

Tähän asti tutkimus on keskittynyt siihen, millaisia ovat kemian opettamiseen ja oppimiseen liittyvät ongelmat. Tutkimuksessa on lisäksi yritetty avartaa sitä millaista

opetuksen ja oppimisen tulisi aikaisempien tieteellisten tutkimusten valossa olla. Tämän tutkimuksen kannalta seuraavia mielenkiintoisia kysymyksiä onkin, mitä lukiolaiset oikeasti osaavat aineen rakenteesta? Toteutuvatko lukion opetussuunnitelmassa (2003) asetetut tavoitteet aineen rakenteen kohdalla? Esiintyykö oppilailla virhekäsityksiä aineen rakenteesta? Jos virhekäsityksiä esiintyy, niin minkälaisia? Nämä ovat kysymyksiä, joihin pyrin saamaan vastauksia omassa tutkimusosiossa.

5 Tutkimusmenetelmä

Tutkimuksessa keskityttiin lukiolaisten käsityksiin aineen rakenteesta. Tutkimus tehtiin sekä lukion uuden opetussuunnitelman (2003) mukaisen 5-kurssin loppupuolella että lukion vanhan opetussuunnitelman (1994) mukaisen 4-kurssin loppupuolella. Tutkimukseen osallistuneet oppilaat olivat sekä lukion toisen että kolmannen vuoden opiskelijoita. Tutkimuksen lopulliseksi otannaksi tuli 41 oppilasta ja kyseiset oppilaat valittiin kolmesta Keski-Suomen koulusta halukkuuden ja aikataulun antamissa puitteissa. Tutkimus suoritettiin kahdessa osassa laatimillani kahdella erillisellä kyselykaavakkeella (liite 1 & liite 2). Tutkija vastasi itse kyselyn teettämisestä, mutta kyselyn aikana luokkien varsinaiset opettajat olivat myös valvomassa tutkimuksen etenemistä.

Aluksi oppilaille jaettiin valmiiksi numeroidut kyselylomakkeet, kyselylomake A (liite 1). Tämän jälkeen oppilaille esiteltiin neljä kemiallista ainetta, tislattu vesi, ruokasuola, kuparijauhe ja heksaani. Vesi esiteltiin keitinlasissa, ruokasuola ja kuparijauhe esiteltiin petrimaljassa ja heksaani esiteltiin suljetussa pullossa. Oppilaille annettiin myös mahdollisuus tulla katsomaan kutakin ainetta, mutta kyselyn aikana kukaan oppilaista ei tätä mahdollisuutta käyttänyt. Ensimmäisen kyselylomakkeen (liite 1), tehtävät käsittelivät aineen rakennetta mikrotasolla. Tehtävä oli avoin ja tehtävän tavoitteena oli se, että oppilas itse tuo esiin oman näkemyksensä kyseisen aineen rakenteeseen piirtämisen ja selittämisen avulla. Jokaisen aineen rakenteen piirtämiseen ja selittämiseen annoin oppilaille aikaa kymmenen minuuttia. Kyselyn ensimmäisen vaiheen tarkoituksena oli selvittää miten oppilaat ovat oppineet eri aineiden rakenteet mikrotasolla ja kuinka hyvin oppilailla on hallussa erilaiset kemiallisten sidosten mallit.

Kyselyn ensimmäisen vaiheen lopussa oppilaita käskettiin ottamaan ylös vastauspaperissa ollut oppilasnumero. Seuraavaksi oppilaita ohjeistettiin laittamaan

ensimmäisessä kyselykaavakkeessa ollut numero seuraavaksi jaettavaan lomakkeeseen (liite 2). Näin toimittiin siksi, että tutkija osasi tuloksia analysoidessa yhdistää oikeat vastauslomakkeet keskenään. Kun olin varma, että kaikki olivat ymmärtäneet mitä tehdä, oppilaiden ensimmäiset vastaukset kerättiin pois. Samalla oppilaille jaettiin uudet kyselylomakkeet (liite 2).

Tutkimuksen toisen kyselylomakkeen, kyselylomake B (liite 2), tehtävät käsittelivät ensimmäisessä kyselylomakkeessa esiteltyjen aineiden ominaisuuksia makrotasolla. Tämän tehtävän tarkoituksena oli mitata oppilaiden aineen mikrotason rakenteen sovelluskykyä aineen makrotason ominaisuuksiin. Kyselylomake B (liite 2) sisälsi kolme kysymystä ja kysymyksiin vastaamiseen oppilaille annettiin aikaa viisitoista minuuttia. Tutkimuksen toisen vaiheen tarkoitus oli mitata oppilaiden kykyä selittää aineen makrotason ominaisuuksia aineen rakenteen avulla.

Kyselyn ensimmäinen vaihe analysoitiin kysymyskohtaisesti. Ensimmäisen kyselykaavakkeen vastaukset luokiteltiin neljään kategoriaan vastausten sisällön laajuuden ja oikeellisuuden perusteella. Myös tutkimuksen toisen vaiheen kysymykset analysoitiin vastausten oikeellisuuden mukaan ja vastaukset luokiteltiin joko kolmeen tai neljään kategoriaan vastausten sisällön perusteella. Vastausten oikeellisuuden lisäksi olen nostanut esille molempien kyselykaavakkeiden vastauksista muutamia omasta mielestäni mielenkiintoisia vastauksia ja näiden vastausten sisältöjä olen analysoinut hieman tarkemmin.

6 Tutkimukseen valitut aineet

Tutkimuksen kyselylomakkeen muotoon päädyin pitkän harkinnan jälkeen ja kyselylomake koki monia muutoksia ennen tässä tutkimuksessa käytettyyn muotoon päätymistä. Tällä tutkimuksella selvitettiin, mikä on tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden aineen rakenteen ymmärtämisen taso. Lisäksi tämä tutkimus selvittää kykenevätkö tutkimukseen osallistuneet oppilaat selittämään aineen makrotason ominaisuuksia aineen rakenteen mikrotason tietämyksensä avulla.

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa mitattiin oppilaiden aineen rakenteen hallintaa. Ajatuksena oli, että oppilaat esittävät oman näkemyksensä kyseisen aineen rakenteesta piirtämisen ja selittämisen avulla. Oppilaille esitetyt aineet olivat tislattu vesi,

ruokasuola, kuparijauhe ja heksaani. Nämä on valittu siksi, että näissä aineissa kiteytyvät kaikki lukiassa opetettavat atomien ja molekyylien väliset erilaiset vuorovaikutustyypit. Esitetyistä aineista vesi sisältää poolisia kovalenttisia sidoksia, heksaani sisältää poolittomia kovalenttisia sidoksia, ruokasuola sisältää ionisidoksia ja kuparijauhe sisältää metallisidoksia.

6.1 Tislattu vesi

Vesi on fysikaalisilta ominaisuuksiltaan erikoinen yhdiste. Näitä veden erikoisia ominaisuuksia ovat muun muassa veden molekyyliin nähden korkeat sulamis- ja kiehumispisteet. Lisäksi vedellä on se erikoinen ominaisuus, että se laajenee jäätyessään. Nämä vedelle ominaiset erikoisuudet selittyvät kun tarkastellaan veden rakennetta. Veden kemiallinen kaava on H_2O ja kaava kertoo lukijalle sen, että yhdessä vesimolekyylissä on yhteen liittyneenä kaksi vetyatomia ja yksi happiatomi. Lisäksi jokainen kemiaa lukenut tietää, että vesimolekyylissä atomit liittyvät toisiinsa kovalenttisilla sidoksilla. Kappaleessa 3.3 esitetyn teorian mukaan vedyn ja hapen muodostaessa kovalenttisen sidoksen, syntyy polaarinen kovalenttinen sidos, mikä taas aiheuttaa sen, että vesimolekyylien välille syntyy vetysidoksia. Vesimolekyylien väliset vetysidokset selittävät veden erikoiset ominaisuudet.

Veden valitsin yhdeksi tutkimuksen aineeksi siksi, koska vesi on meille kaikille tuttu niin jokapäiväisestä elämästä kuin luonnontieteiden tunneilta. Lisäksi vesi on yksi niistä kemiallisista yhdisteistä, joka sisältää polaarisia kovalenttisia sidoksia, ja nämä polaariset sidokset mahdollistavat vetysidosten muodostumisen. Tutkimuksessa selvitettiin osaavatko oppilaat piirtää ja selittää veden rakenteen siten, että he mainitsevat kovalenttisuuden, polaarisuuden ja vetysidokset. Samoin tutkittiin pystyvätkö oppilaat selittämään veden rakenteen perusteella sen, miksi vesi on huoneenlämpötilassa neste.

6.2 Ruokasuola

Toisena oppilaille esitettynä aineena oli ruokasuola. Ruokasuolan kemiallinen kaava $NaCl$ kertoo lukijalleen sen, että ruokasuola sisältää natriumia ja klooria. Tämän lisäksi kyseisten aineiden elektronegatiivisuusero kertoo sen, että natrium ja kloori muodostavat keskenään ionisidoksia. Kuten kappaleesta 3.4 ilmenee, ioniset yhdisteet ovat yleensä korkeassa lämpötilassa sulavia kovia ja kiteisiä aineita ja näin on myös

ruokasuolan kohdalla. Ruokasuolalla ja muilla ionisilla yhdisteillä on kuitenkin se ominaisuus, että kiteet särkyvät helposti, jos kidettä yritetään muokata. Tämä johtuu siitä, että kidettä muokatessa ionisten kationien ja anionien väliset paikalliset sidokset katkeavat.

Natriumkloridia käyttämällä halusin saada selville, osaavatko oppilaat piirtää ja selittää ioniyhdisteen rakenteen. Ensimmäisen vaiheen tarkoitus oli siis selvittää, ymmärtävätkö oppilaat sen, että muodostuu kationeja ja anioneja, kun atomit luovuttavat elektronegatiivisuus eron takia elektroneja kokonaan toisilleen. Tutkimuksen toisessa vaiheessa tutkittiin sitä, osaavatko oppilaat selittää miksi ruokasuola on huoneen lämpötilassa kiteinen ja miksi ruokasuola voidaan hajottaa pienemmiksi kiteiksi. Tällä tutkittiin, ovatko oppilaat ymmärtäneet aineen rakenteen kannalta sen, mistä ioniyhdisteiden yleisimmät ominaisuudet johtuvat.

6.3 Kuparijauhe

Kupari on metalli ja sen ominaisuudet selittyvät hyvin elektronimeri-mallilla. Kuparin kemiallinen merkki on Cu ja sen perusteella voidaan sanoa, että kupari sisältää kupariatomeja. Kuten jo aiemmin kappaleessa 3.2.4 todettiin, niin metalleja voidaan venyttää ja takoa, ja ne kaikki johtavat lämpöä ja sähköä. Kuparin ominaisuudet selittyvätkin parhaiten elektronimeri-mallilla, jossa positiivisesti varatut kupariytimet ovat elektronien ympäröimässä tilassa.

Kuparin valitsin tutkimukseen siksi, että halusin tutkia osaavatko oppilaat piirtää ja selittää kuparin rakenteen siten, että he kertovat kuparin sisältävän mikrotasolla positiivisesti varattuja ytimiä, joita pitää yhdessä ytimien välillä vaeltelevat valenssielektronit. Samoin selvitettiin, osaavatko oppilaat kertoa miksi natriumkloridia voidaan helposti rikkoa pienemmiksi kiteiksi, mutta tällaista kiteiden hajottamista ei voida yhtä helposti tehdä kuparille.

6.4 Heksaani

Heksaanin kemiallinen kaava on C_6H_{14} . Kaava kertoo kemiaa opiskelleelle lukijalle sen, että heksaani koostuu hiilestä ja vedystä. Lisäksi kemiaa opiskellut tietää, että heksaani on molekyyliyhdiste, jossa hiili ja vetyatomit ovat liittyneenä toisiinsa kovalenttisilla sidoksilla. Koska hiilen ja vedyn elektronegatiivisuusero on pieni, heksaanimolekyylit

ovat poolittomia. Tämä tarkoittaa sitä, että heksaanimolekyylien välillä on vain heikkoja dispersiovoimia.

Heksaanin otin tutkittavaksi aineeksi sen takia, että halusin ensinnäkin nähdä ovatko oppilaat ymmärtäneet hiilivetyketjujen piirtämisen idean. Lisäksi halusin tietää sen, ymmärtävätkö oppilaat hiilivetyketjun poolittomuudesta aiheutuvien heikkojen dispersiovoimien vaikutuksen molekyylien väliseen sitoutumiseen.

Tutkimuksen toisessa vaiheessa halusin saada selville veden ja heksaanin makrotason tapahtumia, eli ymmärtävätkö oppilaat sen, miksi heksaani ei liukene veteen. Tässä oikea vastaus on se, että pooliton ei liukene pooliseen. Tutkimuksen tämän vaiheen tarkoitus oli saada selville se, osaavatko oppilaat tämän.

7 Tutkimustulokset

Kyselyn ensimmäinen vaihe analysoitiin kysymyskohtaisesti. Ensimmäisen kyselykaavakkeen vastaukset luokiteltiin kolmeen, neljään tai viiteen kategoriaan vastausten sisällön laajuuden ja oikeellisuuden perusteella. Myös tutkimuksen toinen vaihe analysoitiin vastausten mukaan, mutta vastaukset luokiteltiin joko kolmeen tai neljään kategoriaan sen perusteella, kuinka oppilas on osannut käyttää mikrotason tietouttaan vastatessaan jatkokysymyksiin ja kuinka oikea oppilaan vastaus oli. Tässä luvussa esitetään tutkimuksen tulokset, käyttämäni vastausten luokittelutavat ja oppilaiden vastauksien jakautuminen.

7.1 Tislattu vesi

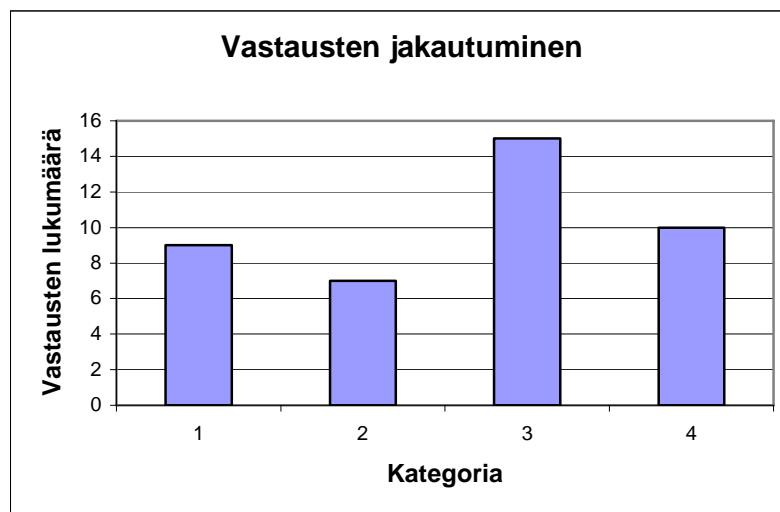
Kyselyn vastaukset analysoitiin veden kohdalla sen perusteella, onko veden rakennetta selitetty vain molekyyalitasolla vai laajemmalla tasolla. Kyselyn vastaukset luokiteltiin neljään eri kategoriaan seuraavalla tavalla:

1. Vastauksessa on esitetty veden molekyyli rakenne oikein. Vastauksessa on lisäksi selitetty vesimolekyylin poolisuus ja tästä johtuvien vetysidosten vaikutus vesimolekyylien sitoutumiseen. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 9 (oppilaat 5, 9, 12, 13, 16, 29, 32, 38 ja 40).
2. Vastauksessa on esitetty veden molekyyli rakenne oikein. Vastauksessa on lisäksi selitetty vesimolekyylin poolisuus, mutta vastauksen tarkastelu on jäänyt

vain vesimolekyylin tasolle, eikä molekyylien välisiä vuorovaikutuksia ole tarkasteltu. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 7 (oppilaat 6, 19, 22, 28, 30, 33 ja 39).

3. Vastauksessa on tarkasteltu vain yksittäisen vesimolekyylin rakennetta. Vastauksessa ei mainintaa veden poolisuudesta, eikä vastauksessa ole tarkasteltu molekyylien välisiä vuorovaikutuksia. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 15 (oppilaat 1, 2, 7, 10, 14, 15, 18, 21, 23, 24, 26, 27, 35, 36 ja 41).
4. Vastauksessa on jotain virheellistä. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 10 (oppilaat 3, 4, 8, 11, 17, 20, 25, 31, 34 ja 37).

Taulukko 1. Oppilaiden vastausten jakautuminen veden rakenteen kohdalla.



Ensimmäiseen kategoriaan luokitellut vastaukset olivat vastauksen sisällön ja laajuuden kannalta lähestulkoon täydellisiä. Oppilaiden, joiden vastaukset tähän kategoriaan luokiteltiin, voidaan sanoa hallitsevan veden rakenteen molekyylien sisäisten ja ulkoisten vuorovaikutusten näkökulmasta erinomaisesti. Yhtenä erinomaisena esimerkkinä kannattaa katsoa oppilaan 9 vastaus (liite 3). Kyseinen vastaus sisältää hyvän piirroksen veden rakenteesta ja tämän lisäksi oppilaan selitys tukee hänen piirrostaan hyvin. Ensimmäiseen kategoriaan luokiteltuja oppilaiden vastauksia en analysoi tässä sen kummemmin, vaan totean pelkästään, että 9 oppilaan vastaukset 41:stä olivat erinomaisia.

Oppilaat, joiden vastaukset luokiteltiin kategoriaan 2, ovat ymmärtäneet veden rakenteen molekyylyltasolla erinomaisesti. Kategoriaan 2 luokitellut vastaukset eroavat kategorian 1 vastauksista sillä, että kategorian 2 oppilaat eivät ole tarkastelleet vesimolekyylien keskinäisiä vuorovaikutuksia. Vastauksista puuttuu siis selitys siitä,

miten sähköisesti varautunut vesimolekyyli vuorovaikuttaa toisen vesimolekyylin kanssa. Liitteeksi 4 olen liittänyt oppilaan 28 vastauksen. Vastauksesta käy ilmi selvästi se, että veden rakenne ja osittaisvarausten syntyminen on oppilaalla erinomaisesti hallussa. Vastauksesta käy myös ilmi se, että oppilas ei ole ymmärtänyt tarkastella vesimolekyylien välisiä vuorovaikutuksia.

Kolmanteen kategoriaan luokitellut vastaukset sisältävät tiedon siitä, että vesi koostuu kahdesta vetyatomista ja yhdestä happiatomista. Tähän kategoriaan luokiteltujen oppilaiden veden rakenteen hallinta on jäänyt melko vähäiseksi. Oppilaat ovat siis oppineet veden molekyylirakenteen oikein, mutta elektronegatiivisuuden ja osittaisvarausten syntymisen vaikutus molekyylin sitoutumiseen on näiltä oppilailta jäänyt oppimatta tai ymmärtämättä. Tähän kategoriaan luokitellut oppilaiden vastaukset hieman eroavat toisistaan, sillä osa oppilaista on käsitellyt vedyn ja hapen sidoksen muodostumista tarkempaan kuin muut oppilaat. Kuitenkin katson, että tämän tutkimuksen kannalta tähän kategoriaan luokiteltujen oppilaiden vastaukset ovat samanarvoisia. Kahdesta eritasoisesta vastauksesta olen esimerkeiksi liittänyt oppilaiden 1 ja 15 vastaukset (liitteet 5 ja 6).

Neljänteen kategoriaan luokiteltujen oppilaiden vastaukset eroavat paljon toisistaan, sillä joukkoon mahtuu erinomaisia ja hieman huonompia yrityksiä. Yhdistävä tekijänä näillä vastauksilla on kuitenkin se, että vastauksissa on jotain virheellistä. Osan virheellisistä vastauksista luokittelin huolimattomuusvirheiksi ja tällaisia olivat muun muassa oppilaiden 11, 17 ja 20 vastaukset (liitteet 7, 8 ja 9). Oppilaiden 3 ja 25 vastauksissa (liitteet 10 ja 11) huomioni kiinnittyi väitteeseen, että vesimolekyyli on ulospäin varaukseton. Lisäksi oppilas 25 väittää seuraavaa: "... vesimolekyylissä hapen ja vedyn välillä on dipolisidokset, jotka...vesimolekyylit voivat liittyä toisiinsa vahvoilla sidoksille...". Tässä vastauksessa väärää on se, että vetysidos ei muodostu saman vesimolekyylin hapen ja vedyn välille, vaan kahden eri vesimolekyylin hapen ja vedyn välille. Lisäksi oppilaan 25 väite, että vesimolekyylit liittyvät keskenään vahvoilla sidoksilla, on väärä. Se on väärä siksi, että vesimolekyylien väliset sidokset ovat heikompia kuin vesimolekyylin sisäiset sidokset. Oppilaiden 31 ja 37 vastauksia (liitteet 12 ja 13) yhdistää sana dispersiovoima. Molemmat oppilaat puhuvat dispersiovoimista veden yhteydessä, mikä on väärin. Heikot dispersiovoimat eivät ole pääasiallisessa roolissa poolisissa yhdisteissä vaan poolittomissa yhdisteissä.

Edellä esitettyjen virheiden lisäksi oppilaiden 4 ja 34 vastauksissa (liitteet 14 ja 15) esiintyi mielenkiintoinen virhe. Molemmat oppilaat ovat vastauksessaan yrittäneet selittää miksi vesimolekyyli on tietyn mallinen ja tässä oppilaiden selityksessä ilmenee virhe. Molemmilla oppilailla on vastauksessa selitetty, että vedyt asettuvat tiettyyn kulmaan, mutta kuitenkin molempien oppilaiden selitys on virheellinen.

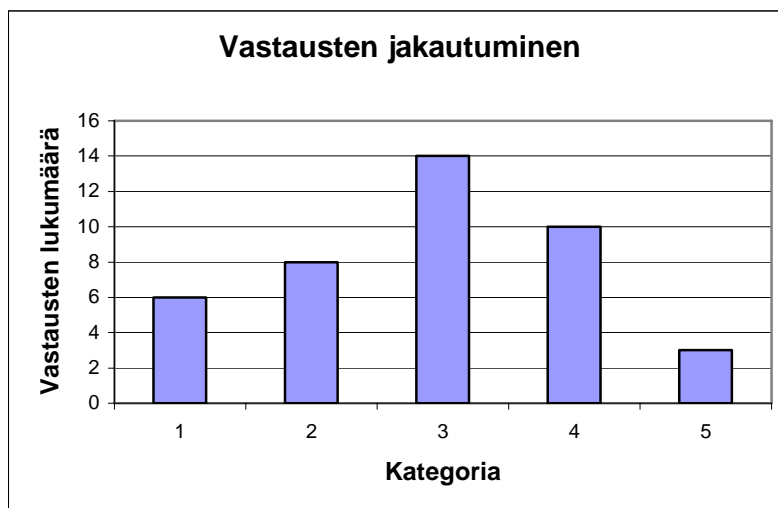
Tulosten jakautumisesta (taulukko 1) nähdään, että suurin osa oppilasta on osannut tarkastellut veden rakennetta pelkästään molekyylin vuorovaikutusten kannalta. Jakauma kertoo siis siitä, että lukiolaisten veden rakenteen hallinnassa on puutteita vesimolekyylien keskinäisten vuorovaikutusten osalta. Vaikka vastausten jakauma on mielestäni aika huolestuttava, olen myös toisaalta yllättynyt yhdeksän oppilaan vastauksesta, jotka olivat erinomaisia suorituksia.

7.2 Ruokasuola

Kyselyn vastaukset analysoitiin ruokasuolan kohdalla sen perusteella, onko ruokasuolan rakennetta selitetty vain molekyyalitasolla vai laajemmalla tasolla. Kyselyn vastaukset luokiteltiin viiteen eri kategoriaan seuraavalla tavalla:

1. Vastauksessa on selitetty ruokasuolan rakentuvan ioneista. Vastauksessa on lisäksi selitetty ionisidoksen synty ja se, että ruokasuola pysyy kasassa sähköisten vuorovaikutusten avulla. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 6 (oppilaat 9, 16, 25, 32, 33 ja 39).
2. Vastauksessa on selitetty ruokasuolan rakenne natriumin ja kloorin välille syntyvän ionisidoksen avulla. Vastaus on jäänyt yhden natrium-ionin ja yhden kloridi-ionin tarkasteluun. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 8 (oppilaat 4, 8, 11, 19, 20, 21, 30 ja 31).
3. Vastauksen piirroksessa on jotain virheellistä, mutta selitys on virheetön. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 14 (oppilaat 3, 5, 7, 14, 15, 18, 23, 24, 28, 29, 34, 35, 37 ja 40).
4. Piirroksessa ja selityksessä on jotain virheellistä. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 10 (oppilaat 6, 10, 12, 13, 22, 26, 27, 36, 38 ja 41).
5. Ei vastausta tai vastaus ei sisältänyt mitään oleellista tietoa. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 3 (oppilaat 1, 2 ja 17).

Taulukko 2. Oppilaiden vastausten jakautuminen ruokasuolan kohdalla.



Ensimmäiseen kategoriaan luokitellut vastaukset olivat vastauksen sisällön ja laajuuden kannalta lähestulkoon täydellisiä. Oppilaiden, joiden vastaukset tähän kategoriaan luokiteltiin, voidaan sanoa hallitsevan ruokasuolan rakenteen erinomaisesti. Yhtenä erinomaisena esimerkkinä kannattaa katsoa oppilaan 9 vastaus (liite 3). Kyseinen vastaus sisältää hyvän piirroksen ruokasuolan rakenteesta ja tämän lisäksi oppilaan selitys tukee hänen piirrostaan hyvin. Ensimmäiseen kategoriaan luokiteltuja oppilaiden vastauksia en analysoi tässä sen tarkemmin. Mainitsen ainoastaan sen, että kuuden oppilaan vastaukset 41:stä olivat erinomaisia.

Oppilaat, joiden vastaukset luokiteltiin kategoriaan 2, ovat ymmärtäneet ruokasuolan rakenteen hyvin. Kategoriaan 2 luokitellut vastaukset eroavat kategorian 1 vastauksista vain sillä, että kategorian 2 oppilaat eivät ole tarkastelleet natriumin ja kloorin välisiä vuorovaikutuksia suuremmissa mittakaavassa. Hyvinä vastauksia voidaan pitää myös siksi, että kategoriaan 2 luokitellut vastaukset sisälsivät selityksen siitä, että natriumin ja kloorin välille syntyy ionisidos. Liitteenä 9 on nähtävissä muun muassa oppilaan 20 vastaus. Kuvasta käy selvästi ilmi se, että oppilas on ymmärtänyt ruokasuolan koostuvan natrium- ja kloridi-ioneista.

Kolmanteen kategoriaan luokitellut vastaukset sisältävät virheen oppilaan piirroksessa. Tähän kategoriaan luokiteltiin suurin osa oppilaiden vastauksista ja tämän kategorian vastaukset kertovat hyvin siitä, mikä on tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden yleisin virhekäsitys. Liitteinä 4 ja 15 olevista oppilaiden 28 ja 34 vastauksista nähdään se,

miten oppilaat ovat piirtäneet natriumkloridin virheellisesti. Oppilaat siis ovat käyttäneet kovalenttisen sidoksen piirtämismallia ionisidosta piirtäessään ja tämä on väärin.

Neljänteen kategoriaan luokiteltujen oppilaiden vastaukset eroavat kolmanteen kategoriaan luokittelusta sillä, että piirroksen lisäksi myös oppilaan selitys sisältää väärää tietoa. Yleisimpänä yhdistävä tekijänä neljänteen kategoriaan luokitelluilla vastauksilla on se, että oppilas on piirtänyt ja selittänyt ruokasuolan rakenteen kovalenttista sidosmallia käyttäen. Hyvänä esimerkkinä liitteinä 16 ja 17 on nähtävillä oppilaiden 12 ja 13 vastaukset. Oppilas 12 väittää, että: ”*Natrium muodostaa kloorin kanssa kaksoissidoksen...*” ja oppilas 13 väittää, että: ”*Muodostuu natriumista ja kloorista, joiden välillä yksinkertainen sidos.*”

Viidenteen kategoriaan luokiteltiin kolme vastausta, joista kahteen paperiin ei ollut piirretty eikä selitetty mitään (oppilaat 1 ja 2). Luokittelin lisäksi oppilaan 17 vastauksen tähän kategoriaan, koska hänen vastauksensa ei juuri sisältänyt tietoa ruokasuolan rakenteesta.

Tulosten jakautumisesta (taulukko 2) nähdään, että oppilailla on ruokasuolan rakenteen hallitsemisen kanssa ongelmia. Vain kuusi oppilasta on selittänyt ruokasuolan rakentuvan ioneista, jotka muodostavat ionihilan. Huolestuttavimpana vastausten jakaumasta nähdään virheellisten vastausten määrä, sillä peräti kahdenkymmenen neljän oppilaan vastaukset sisältävät virheellistä tietoa. Oppilaiden mallivastauksia on nähtävillä liitteinä 3-30.

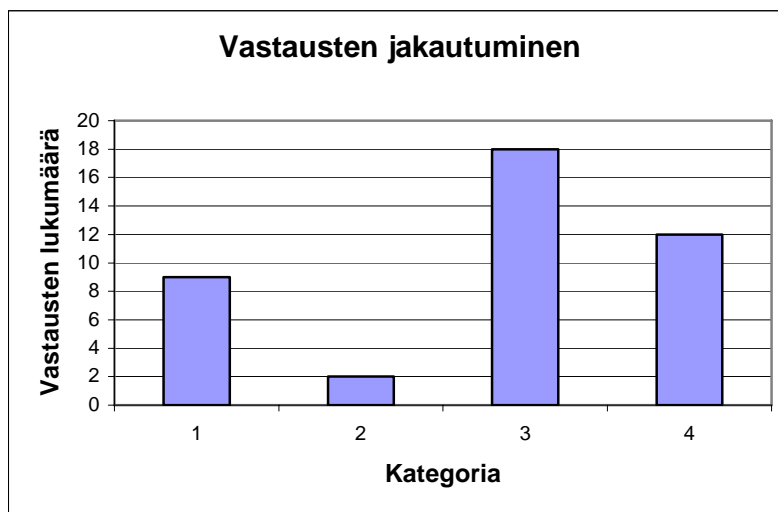
7.3 Kuparijauhe

Kyselyn vastaukset analysoitiin kuparin kohdalla sen perusteella, onko kuparijauheen rakennetta selitetty vain atomitasolla vai laajemmalla tasolla. Kyselyn vastaukset luokiteltiin neljään eri kategoriaan seuraavalla tavalla:

1. Vastauksessa on selitetty kuparijauheen rakenne metallihilan avulla. Vastaus on lisäksi sisältänyt selityksen siitä, että metallihila sisältää vapaita elektroneja, jotka pitävät hilan koossa. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 9 (oppilaat 2, 6, 8, 9, 28, 32, 33, 34 ja 40).

2. Vastauksessa on selitetty kuparijauheen rakenne pelkästään metallihilan avulla, mutta ei mainintaa vapaista elektroneista, jotka pitävät metallihilan kasassa. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 2 (oppilaat 27 ja 35).
3. Vastauksessa on tarkasteltu kuparin elektronirakennetta. Vastauksessa ei ole mainintaa siitä miten kupariatomit vuorovaikuttavat keskenään. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 18 (oppilaat 7, 10, 12, 15, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 30, 31, 36, 37, 38, 39 ja 41).
4. Ei vastausta tai vastaus ei sisällä minkäänlaista aineen rakenteen tarkastelua. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 12 (oppilaat 1, 3, 4, 5, 11, 13, 14, 16, 20, 21, 26 ja 29).

Taulukko 3. Oppilaiden vastausten jakautuminen kuparijauheen kohdalla.



Ensimmäiseen kategoriaan luokitellut vastaukset olivat vastauksen sisällön ja laajuuden kannalta lähestulkoon täydellisiä. Oppilaiden, joiden vastaukset tähän kategoriaan luokiteltiin, voidaan sanoa hallitsevan metallien rakenteen erinomaisesti. Yhtenä erinomaisena esimerkkinä kannattaa katsoa oppilaan 9 vastaus (liite 3). Kyseinen vastaus sisältää hyvän piirroksen kuparin rakenteesta ja tämän lisäksi oppilaan selitys tukee hänen piirrostaan hyvin. Ensimmäiseen kategoriaan luokiteltuja oppilaiden vastauksia en analysoi tässä sen tarkemmin. Mainitsen ainoastaan sen, että yhdeksän oppilaan vastaukset 41:stä olivat erinomaisia.

Oppilaat, joiden vastaukset luokiteltiin kategoriaan 2, ovat ymmärtäneet metallien sitoutumisen kohtalaisesti. Kategoriaan 2 luokitellut vastaukset eroavat kategorian 1 vastauksista sillä, että kategorian 2 oppilaat eivät ole kertoneet vapaiden elektronien

tehtävää metallin rakenteessa. Kuitenkin oppilailla 27 ja 35 on hieman käsitystä siitä, miten metallit sitoutuvat. Liitteenä 18 on nähtävissä oppilaan 35 vastaus.

Kolmanteen kategoriaan luokitellut vastaukset eivät juuri sisältäneet tietoa kupariatomien sitoutumisesta. Tähän kategoriaan luokiteltiin suurin osa oppilaiden vastauksista ja tämän kategorian vastaukset kertovat hyvin siitä, mikä on tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden yleisin metallien rakenteen hallinta. Tähän kategoriaan luokiteltujen oppilaiden metallien rakenteen hallintaa kuvaa hyvin lainaus oppilaan 17 vastauksesta: ”*Joku tollanen atomimalli... enpä muuten keksi miten kuparin piirtäisin...*”. Oppilaiden yleisin kuparin rakenteen tarkastelumalli oli kuparin atomimalli. Oppilaat olivat siis piirtäneet kuparin Bohrin-atomimallin ja sen jälkeen kertoneet kuparin makrotason ominaisuuksia. Tähän kategoriaan luokitelluista vastauksista hyvänä esimerkkinä liitteinä 16 ja 8 on oppilaiden 12 ja 17 vastaukset.

Neljänteen kategoriaan luokiteltujen oppilaiden vastaukset eivät pääasiassa sisältäneet minkäänlaista tietoa kuparin rakenteesta. Yleisimpänä yhdistävä tekijänä neljänteen kategoriaan luokitelluilla vastauksilla on se, että oppilaat olivat luetelleet kuparin makrotason ominaisuuksia. Tästä hyvänä esimerkkinä liitteinä 7 ja 9 on esitetty oppilaiden 11 ja 20 vastaukset. Neljänteen kategoriaan luokiteltiin myös yksi tyhjä vastaus (oppilas 13).

Vastausten jakautuminen (taulukko 3) kertoo selvästi, että oppilailla on suuria ongelmia metallin rakennetta selittäessä. Huolestuttavana nähdään se, että peräti kahdeksantoista oppilasta on kuparin rakennetta selittäessään tarkastellut vain yksittäisen kupariatomin elektronirakennetta ilman, että selityksestä selviää kuinka kupariatomit vuorovaikuttavat keskenään. Kuitenkin positiivisessa mielessä täytyy myöntää, että yhdeksän oppilasta oli osannut aivan erinomaisesti piirtää ja selittää kuparin rakenteen.

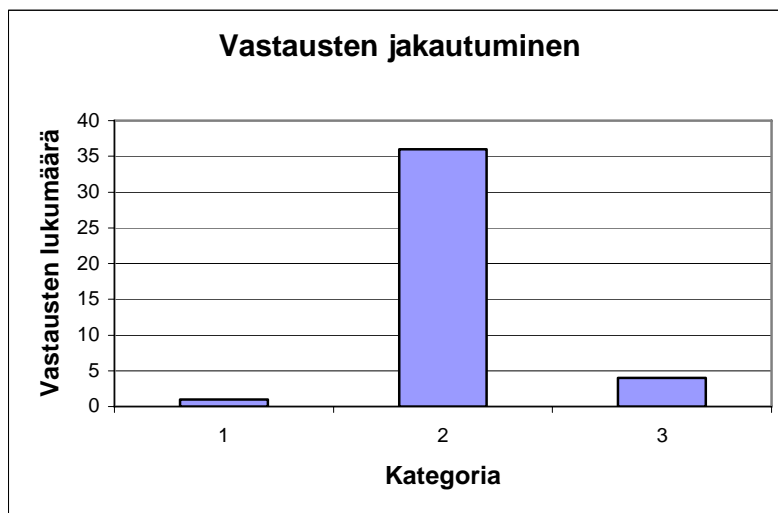
7.4 Heksaani

Kyselyn vastaukset analysoitiin heksaanin kohdalla sen perusteella, onko heksaanin rakennetta selitetty vain molekyyalitasolla vai laajemmalla tasolla. Kyselyn vastaukset luokiteltiin kolmeen eri kategoriaan seuraavalla tavalla:

1. Vastauksessa on selitetty heksaanin molekyyli rakenne oikein. Vastauksessa on lisäksi selitetty molekyylin hetkellinen poolisuus ja siitä aiheutuvat heikot dispersiovoimat. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 1 (oppilas 9).

- Vastauksessa on selitetty heksaanin molekyyli rakenne oikein. Vastauksessa ei kuitenkaan ole tarkasteltu molekyylien välisiä vuorovaikutuksia. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 36 (oppilaat 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39 ja 41).
- Vastauksessa on jotain virheellistä. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 4 (oppilaat 21, 27, 34 ja 40).

Taulukko 4. Oppilaiden vastausten jakautuminen heksaanin kohdalla.



Ensimmäiseen kategoriaan luokiteltiin vain yksi vastaus (oppilas 9). Kyseinen oppilas on osannut tarkastella sekä molekyylin sisäisiä, että ulkoisia vuorovaikutuksia. Oppilaan suoritus on kehumisen arvoinen, mutta toisaalta tämä tilanne antaa myös kuvan siitä, mikä on kyselyyn osallistuneiden lukiolaisten heksaanin rakenteen hallinta. Oppilaan 9 vastaus on nähtävillä liitteenä 3.

Oppilaat, joiden vastaukset luokiteltiin kategoriaan 2, ovat ymmärtäneet orgaanisen kemian rakennekaavojen piirtämisen ja nimeämisen erinomaisesti. Kuten kaaviosta nähdään, niin suurin osa oppilaiden vastauksista luokiteltiin kategoriaan 2. Kategoriaan 2 luokitellut vastaukset eroavat kategorian 1 vastauksista sillä, että kategorian 2 oppilaat eivät ole tarkastelleet kahden tai useamman heksaanimolekyylin välisiä vuorovaikutuksia. Tähän kategoriaan luokiteltujen vastausten pääasiallinen vastaustapa oli se, että oppilaat olivat piirtäneet heksaanimolekyylin ja selittäneet heksaanimolekyylin sisältävän kovalenttisia sidoksia. Liitteenä 9 ja 18 on esitetty oppilaiden 20 ja 35 vastaukset, jotka antavat hyvän yleiskuvan siitä miten tähän kategoriaan luokitellut oppilaat ovat vastanneet kysymykseen.

Kolmanteen kategoriaan luokitellut vastaukset sisälsivät jotain virheellistä tietoa. Kolme tähän kategoriaan luokitelluista vastauksista sisälsi virheen, jossa oppilaat ovat piirtäneet heksaanin rengasrakenteena. Kyseisten oppilaiden (oppilaat 21, 27 ja 30) vastaukset on nähtävillä liitteinä 19, 20 ja 21. Tähän kategoriaan luokiteltiin myös yksi mielenkiintoinen tapaus, jossa oppilas 40 on yrittänyt selittää heksaanimolekyylien toisiinsa sitoutumista seuraavalla tavalla: ”*Heksaanimolekyylit ovat poolittomia, joten ne liittyvät toisiinsa vetysidoksin...*”. Tässä tapauksessa oppilaalla näyttää menneen sekaisin se mitä molekyyliä vaaditaan, että vetysidoksia voisi syntyä. Oppilaan 40 vastaus on nähtävillä liitteenä 22.

Vastausten jakaumasta (taulukko 4) nähdään selvästi, että suurin osa oppilaista on osannut selittää heksaanin rakenteen vain molekyyliatasolla. Vain yksi oppilasta on tarkastellut heksaanin rakennetta myös molekyylien välisten vuorovaikutusten näkökulmasta. Vastausten jakaumasta voidaan myös nähdä, että virheellisten vastausten määrä on yllättävän pieni. Tämän perusteella voidaan sanoa, että heksaanin rakenne molekyylin sisäisten vuorovaikutusten näkökulmasta näyttää olevan lukiolaisilla hyvin hallussa.

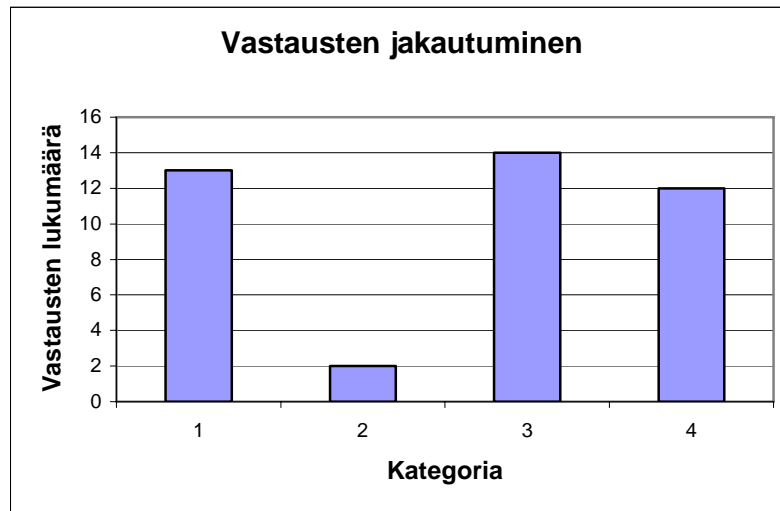
7.5 Veden ja ruokasuolan olomuoto

Ensimmäisessä jatkokysymyksessä oppilaiden oli määrä selittää miksi vesi on normaaliolosuhteissa neste ja miksi ruokasuola on normaaliolosuhteissa kiinteä. Oppilaiden vastaukset luokiteltiin seuraavalla tavalla:

1. Vastauksessa on selitetty vesimolekyylien välisten vetysidosten olevan heikompia kuin ruokasuolan ionihilan sisältämien sähköiset vuorovaikutukset. Vastaus on sisältänyt tiedon siitä, että sidosten erilaisuudesta johtuen ruokasuola vaatii enemmän energiaa olomuodonmuutokseen. Lisäksi vastaus on sisältänyt mikrotason perustelun. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 13 (oppilaat 3, 4, 5, 9, 11, 12, 16, 32, 33, 35, 38, 40 ja 41).
2. Vastauksessa on selitetty, että olomuodonmuutos riippuu aineen rakenteesta. Vastauksessa ei kuitenkaan selvästi ole mainittu sitä, että olomuotojen muutoksien erot johtuvat molekyylien välisten vuorovaikutusten välisistä eroista. Vastaukset ovat lisäksi sisältäneet mikrotason perustelun. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 2 (oppilaat 29 ja 34).

3. Vastauksessa on selitetty, että olomuodon muutos on jokaiselle aineelle ominainen. Vastauksessa ei ole kerrottu aineen koostumuksen tai aineen välillä vaikuttavien sidosten vaikutusta aineen ominaisuuksiin. Vastaus ei ole sisältänyt mikrotason perustelua. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 14 (oppilaat 8, 10, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 30, 31, 36 ja 39).
4. Ei vastausta tai vastaus ei sisällä minkäänlaista todellista pohdintaa. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 12 (oppilaat 1, 2, 6, 7, 13, 14, 18, 23, 26, 27, 28 ja 37).

Taulukko 5. Oppilaiden vastausten jakautuminen jatkokysymyksessä: ”Miksi vesi on normaaliolosuhteissa neste ja miksi ruokasuola on normaaliolosuhteissa kiinteä?”.



Ensimmäiseen kategoriaan luokitellut vastaukset olivat vastauksen sisällön ja laajuuden kannalta täydellisiä. Oppilaiden, joiden vastaukset luokiteltiin tähän kategoriaan, voidaan sanoa ymmärtävän aineen rakenteen vaikutuksen aineen olomuotoon. Vastausten jakautuminen kertoo myös sen, että oikeiden ja hyvien vastausten määrä on suurempi kuin mitä oikeiden ja hyvien vastausten määrä veden ja ruokasuolan rakenteen vastauksissa. Esimerkkinä tämän kategorian hyvistä vastauksista olen laittanut liitteiksi 18 ja 22 oppilaiden 35 ja 40 vastaukset.

Oppilaat, joiden vastaukset luokiteltiin kategoriaan 2, ovat ymmärtäneet aineen rakenteen ja aineen rakenteen sisältämien sidosten vaikutuksen aineen olomuotoon. Kategoriaan 2 luokitellut vastaukset eroavat kategorian 1 vastauksista sillä, ettei kategorian 2 oppilaiden vastauksista selvästi käy ilmi se, että vetysidokset on helpompi katkaista kuin että rikkoisi natriumkloridin ionihilan. Kategorian 2 vastaukset ovat kyllä hyviä ja oikein, mutta olen halunnut erottaa nämä erilleen kategorian 1 loistavista vastauksista. Oppilaiden 29 ja 34 vastaukset on nähtävillä liitteinä 23 ja 15.

Kolmanteen kategoriaan luokitellut vastaukset sisältävät tiedon siitä, että aineen olomuoto on kyseiselle aineelle ominainen. Kolmannen kategorian vastaukset eivät sisällä sen tarkempaa tarkastelua siitä, miten aineen rakenne tai aineen sidokset vaikuttavat aineen olomuotoon. Lisäksi yhdistävä tekijä näillä vastauksilla on se, että vastausten perusteluissa ei ole käytetty aineiden mikrotason rakennetta. Tähän kategoriaan liittyen olen liittänyt liitteiksi 8 ja 24 oppilaiden 17 ja 19 vastaukset.

Neljänteen kategoriaan luokitellut oppilaiden vastaukset eroavat paljon toisistaan, sillä joukkoon mahtuu mitä erilaisimpia selityksiä. Yhdistävä tekijä näillä vastauksilla on kuitenkin se, että vastausten perusteluissa ei ole käytetty aineiden mikrotason rakennetta. Lisäksi vastaukset ovat pääasiassa olleet sellaisia, etteivät ne käytännössä ole vastanneet kysymykseen. Liitteinä 25, 26 ja 20 on esitetty oppilaiden 14, 26 ja 37 vastaukset. Kyseisten oppilaiden vastaukset edustavat hyvin neljänteen kategoriaan luokitelluiden vastausten tasoa. Neljänteen kategoriaan luokiteltiin lisäksi tyhjät vastaukset, joita tuli kaksi kappaletta.

Vastausten jakaumasta (taulukko 5) huomataan, että kolmasosalla vastaajista tuntuu olevan hyvä ymmärrys aineen rakenteen vaikutuksesta aineen olomuotoon. Kuitenkin jakauma kertoo myös sen, että 60 % vastaajista tietää aineen olomuodon olevan aineelle ominainen, mutta toisaalta heillä ei näytä olevan mikrotason ymmärrystä siitä, mistä aineelle ominainen olomuoto johtuu. Lisäksi vastausten jakauma kertoo, että viisitoista oppilasta osasi käyttää mikrotason tietouttaan veden ja ruokasuolan ominaisuuksia tulkitessaan.

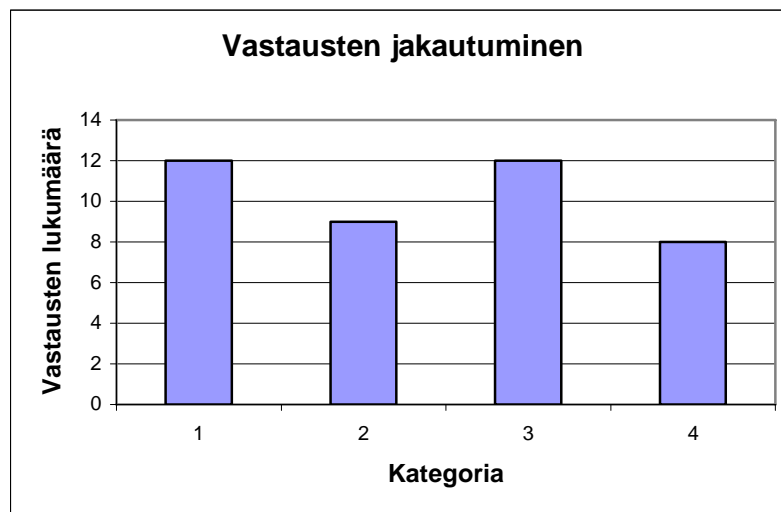
7.6 Ruokasuolan ja kuparin ominaisuudet

Toisessa jatkokysymyksessä oppilaiden oli määrä selittää miksi ruokasuolakide on helpompi hajottaa kuin palanen kuparia. Oppilaiden vastaukset luokiteltiin seuraavalla tavalla:

1. Vastauksessa on selitetty aineen rakenteen vaikutus aineen kovuuteen. Vastauksesta käy ilmi metallihilan aiheuttavan kuparin muovailtavuuden ja kestävyuden. Vastauksessa on myös selitetty ionihilan helppo hajotettavuus. Lisäksi vastaus on sisältänyt mikrotason perustelun. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 12 (oppilaat 2, 4, 5, 9, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 ja 40).

2. Vastauksessa on todettu eron kuparin ja ruokasuolan välillä johtuvan metallihilan ja ionihilan erilaisuudesta. Vastaus on lisäksi sisältänyt osittaista mikrotason tarkastelun siitä, miksi kupari ei rikkoonnu yhtä helposti kuin ruokasuola. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 9 (oppilaat 8, 13, 17, 18, 21, 37, 38, 39 ja 41).
3. Vastauksessa on vain todettu, että erot johtuvat aineiden rakenteesta tai sitoutumistavasta. Vastauksissa ei kuitenkaan mainita metallihilaa tai ionihilaa eikä vastaus ole sisältänyt mikrotason perustelua. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 12 (oppilaat 1, 3, 7, 10, 11, 12, 14, 16, 19, 26, 35 ja 36).
4. Vastauksessa on virheellinen päättely. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 8 (oppilaat 6, 15, 20, 22, 23, 24, 25 ja 27).

Taulukko 6. Oppilaiden vastausten jakautuminen jatkokysymyksessä: ”Miksi ruokasuola voidaan helposti hajottaa pienemmiksi kiteiksi, mutta samaa ei yhtä helposti voida tehdä palalle kuparia?”.



Ensimmäiseen kategoriaan luokitellut vastaukset olivat vastauksen sisällön ja laajuuden kannalta täydellisiä tai lähes täydellisiä. Tämän lisäksi kyseiset oppilaat olivat perustelleet vastauksiaan mikrotasolla erinomaisesti. Oppilaiden, joiden vastaukset tähän kategoriaan luokiteltiin, voidaan sanoa ymmärtävän hyvin metallien ja ioniyhdisteiden rakenteiden vaikutuksen aineen kovuuteen. Esimerkkinä tämän kategorian hyvistä vastauksista olen laittanut liitteiksi 21 ja 12 oppilaiden 30 ja 31 vastaukset.

Oppilaat, joiden vastaukset luokiteltiin kategoriaan 2, ovat ymmärtäneet, että metallihila on kestävämpi kuin ionihila. Kategoriaan 2 luokitellut vastaukset eroavat kategorian 1 vastauksista sillä, ettei kategorian 2 oppilaiden vastauksista selvästi käy ilmi miksi

ionihila hajoaa helpommin kuin metallihila. Kategorian 2 vastauksia yhdistää lisäksi se, että vastaus ei sisällä yhtä syvällistä mikrotason perustelua kuin kategorian 1 vastaukset. Kategorian 2 vastaukset sisältävät oikean vastauksen, mutta ne ovat pääasiassa toteamuksia, että ruokasuolan ionihila on helpompi murtaa kuin kupari metallihila. Oppilaiden 17 ja 37 vastaukset edustavat hyvin tämän kategorian kaikkia vastauksia ja ne ovat nähtävillä liitteinä 8 ja 13.

Kolmanteen kategoriaan luokitellut vastaukset sisälsivät pääasiallisesti toteamuksen, että kuparilla on vahvemmat sidokset kuin ruokasuolalla. Kategoriaan 3 luokitellut vastaukset eroavat kategorian 2 vastauksista sillä, että kategorian 3 oppilaiden vastauksista puuttuu maininta siitä, että erot ominaisuuksissa johtuvat metallihilan ja ionihilan erilaisuudesta. Kategorian 3 vastaukset sisältävät oikean vastauksen, mutta ne ovat pääasiassa toteamuksia, joita ei ole mikrotasolla perusteltu. Oppilaiden 1 ja 3 vastaukset edustavat hyvin tämän kategorian kaikkia vastauksia ja ne ovat nähtävillä liitteinä 5 ja 10.

Neljännän kategorian vastaukset sisältävät jonkinlaisen virheellisen päättelyn. Suurimmassa osassa vastauksista (oppilaat 15, 20, 22, 23, 24, 25) oppilaat olivat selittäneet, että ruokasuola on rakenteeltaan heikompi kuin kupari, koska ruokasuola rakentuu kahdesta alkuaineesta. Ihmettelen mistä tämä päättely on keksitty ja mitenköhän mielipide muuttuisi, jos kyseisille oppilaille näyttäisi kuinka pehmeää kiinteä natrium on? Olisi erittäin mielenkiintoista haastatella kyseisiä oppilaita ja selvittää tarkemmin se mitä he tuolla toteamuksellaan oikeastaan tarkoittavat. Edellisen lisäksi tähän kategoriaan luokittelin kaksi muuta vastausta, joissa oppilas 27 toteaa: "... *molemmissa atomit/molekyylit ovat toisiinsa kiinnittynyt dispersiovoimilla...*" ja oppilas 6 toteaa: "*ruoka suola kiteytyy, minkä takia sen rakenne on heikompi.*". Edellisistä lainauksista nähdään, että oppilas 27 on ymmärtänyt dispersiovoiman väärin. Oppilaan 6 vastausta en ymmärrä ja olisikin mielenkiintoista päästä keskustelemaan kyseisen oppilaan kanssa siitä, mitä hän tuolla toteamuksellaan tarkoitti. Olen liittänyt liitteiksi 27, 28, 29 ja 20 oppilaiden 6, 22, 23 ja 27 vastaukset.

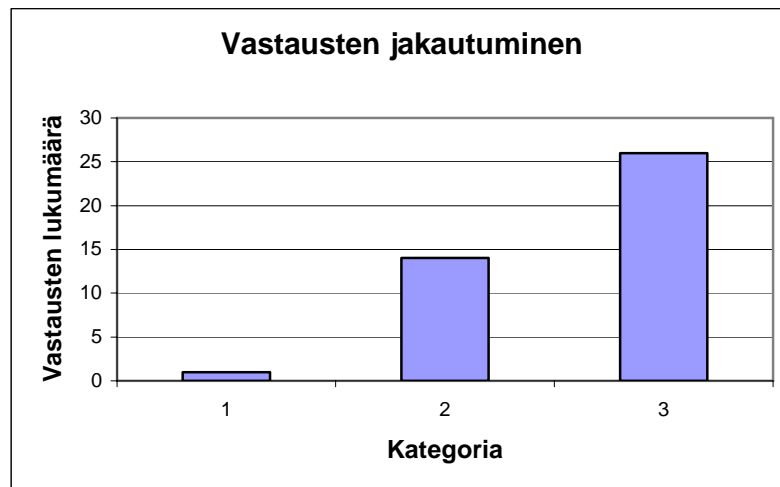
Vastausten jakaumasta (taulukko 6) nähdään, että oppilaat ovat osanneet hyvin vastata siihen miksi ruokasuola käyttäytyy erilalla kuin kupari. Vastausten jakauma kertoo myös toisaalta sen, että peräti kaksikymmentäyksi oppilasta on käyttänyt mikrotason perustelua vastatessaan kysymykseen.

7.7 Heksaanin veteen liukenemattomuus

Kolmannessa jatkokysymyksessä oppilaiden oli määrä selittää miksi heksaani ei liukene veteen. Oppilaiden vastaukset luokiteltiin seuraavalla tavalla:

1. Vastauksessa ilmenee, että vesi on poolinen ja heksaani on pooliton yhdiste. Vastauksessa on lisäksi selitetty, että koska toinen aineista on pooliton ja toinen on poolinen, eivät ne pysty vuorovaikuttamaan keskenään. Lisäksi vastaus on sisältänyt mikrotason perustelun. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 1 (oppilas 33).
2. Vastauksessa ilmenee, että vesi on poolinen ja heksaani on pooliton yhdiste. Vastauksessa on lisäksi todettu, että poolinen liukenee pooliseen ja pooliton liukenee poolittomaan. Vastaus on sisältänyt mikrotason perustelua. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 14 (oppilaat 4, 5, 9, 13, 16, 22, 28, 29, 30, 31, 35, 37, 38 ja 40).
3. Vastauksessa on jotain virheellistä. Vastauksia tähän kategoriaan tuli 26 (oppilaat 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 32, 34, 36, 39 ja 41).

Taulukko 7. Oppilaiden vastausten jakautuminen jatkokysymyksessä: ”Miksi heksaani ei liukene veteen, vaan muodostuu kaksi faasia?”.



Ensimmäiseen kategoriaan luokiteltiin vain yksi vastaus. Tämä vastaus on sekä sisällön että laajuuden kannalta täydellinen. Oppilas 33 on osannut vastata kysymykseen oikein ja tämän lisäksi hän on perustellut vastaustaan mikrotasolla. Oppilaan 33 vastaus on nähtävissä liitteenä 31.

Oppilaat, joiden vastaukset luokiteltiin kategoriaan 2, ovat hyvin ymmärtäneet, että samanlainen liukenee samanlaiseen. Tähän kategoriaan luokitellut vastaukset eroavat kategorian 1 vastauksesta sillä, että kategorian 1 vastaus on perusteltu paremmin. Kategorian 2 vastauksia yhdistää myös se, että kaikki vastaukset ovat sisältäneet mikrotason perustelun. Oppilaiden 13 ja 16 vastaukset edustavat hyvin tämän kategorian kaikkia vastauksia ja ne ovat nähtävillä liitteinä 17 ja 30.

Kolmanteen kategoriaan luokitellut vastaukset sisälsivät jotain virheellistä tietoa. Kategoriaan 3 luokitellut vastaukset sisältävät mitä erilaisimpia selityksiä, joista kerron joitakin mielenkiintoisimpia. Virheelliset vastaukset jakautuivat kolmeen erilaiseen virhetyyppiin. Oppilaiden 7, 19, 35, 34, 39 vastauksia yhdistää se, että kaikki oppilaat ovat olleet sitä mieltä, että heksaani ei liukene veteen, koska heksaanilla ja vedellä on niin vahvat omat rakenteet. Oppilaiden 8, 15, 18, 20 ja 26 vastauksia taas yhdistää se, että oppilaat ovat vain todenneet, että vesi ja heksaani eivät reagoi keskenään ja tämän vuoksi ne eivät liukene toisiinsa. Oppilaiden 1, 2, 3, 10, 11, 12, 14, 17, 23, 24, 32 ja 41 vastauksia yhdistää se, että oppilaat ovat väittäneet aineiden erilaisen tiheyden aiheuttavan veden ja heksaanin liukenemattomuuden. Loput tähän kategoriaan luokitelluista vastauksista olivat sekoituksia edellä esitetystä virhetyypeistä. Liitteinä 10, 24 ja 9 on nähtävissä oppilaiden 3, 19 ja 20 vastaukset.

Vastausten jakautuminen kertoo, että kyselyyn osallistuneista oppilaista peräti 60 % ei osannut selittää miksi heksaani ei liukene veteen. Lisäksi vastausten jakauma kertoo, että viisitoista oppilasta on osannut käyttää mikrotason tietouttaan perustellessaan miksi heksaani ei liukene veteen.

8 Tutkimustulosten analysointi

Tätä tutkimusta on vienyt eteenpäin kysymykset siitä, mitä lukiolaiset oikeasti osaavat aineen rakenteesta, toteutuvatko lukion opetussuunnitelmassa (2003) asetetut tavoitteet aineen rakenteen kohdalla ja millaisia aineen rakenteeseen liittyviä virhekäsityksiä lukiolaisilla esiintyy. Seuraavassa luon katsauksen siihen, miten tämän tutkimuksen tulokset vastaavat edellä esitettyihin kysymyksiin.

8.1 Lukiolaisten aineen rakenteen hallinta

Tutkimus paljastaa, että suurin osa oppilaista on ymmärtänyt hyvin tässä tutkimuksessa mukana olleista aineista kovalenttisten aineiden (vesi ja heksaani) molekyyliarakenteet. Kyselyyn vastanneet oppilaat ovat pääasiassa osanneet piirtää ja selittää miten vesimolekyyli ja heksaani rakentuvat. Tutkimus kuitenkin osoittaa selvästi sen, että oppilailla on suuria ongelmia kovalenttisten molekyylien ulkoisten vuorovaikutusten selittämisessä. Oppilaat eivät siis ole osanneet kertoa tai piirtää miten vesimolekyylit ja heksaanimolekyylit vuorovaikuttavat keskenään. Voidaankin sanoa, että poolisuuden ja dispersiovoimien vaikutus molekyylien sitoutumisessa on jäänyt oppilailla oppimatta tai sitten niiden vaikutusta aineen rakenteessa ei ole ymmärretty.

Mistä molekyylien välisten vuorovaikutusten oppimattomuus johtuu, siihen en tämän tutkimuksen perusteella osaa tarkasti vastata. Olen kuitenkin sitä mieltä, että esimerkiksi heksaanin kohdalla syy siihen, etteivät oppilaat ymmärrä molekyylien välisiä vuorovaikutuksia, saattaa olla lukion orgaanisen kemian kurssien sisällössä. Tällä tarkoitan sitä, että lukion orgaanisen kemian kurssit painottuvat pääasissa orgaanisten molekyylien reaktioiden opetteluun sekä rakennekaavojen piirtämiseen ja nimeämiseen. En pysty todistamaan edellä esittämäni väitettä, joten tämän aiheen lisätutkimus olisi tarpeen.

Huolestuttavin asia, jonka tutkimus paljastaa, on lukiolaisten ioniyhdisteiden ja metallien rakenteen hallinnan taso. Sekä ruokasuolan että kuparin rakenteen selittäminen tai piirtäminen on tuntunut olevan tutkimuksen kohderyhmälle ylitsempäsemättömän vaikeaa. Ruokasuolan rakenteen hallitsemisessa saadut tulokset paljastavat selvästi sen, että oppilailla on ongelmia käsittää se, milloin syntyy ionisidos ja millainen tämän ionisidoksen kiderakenne on. Ruokasuolan rakenteen piirtämisessä ja selittämisessä paljastui lisäksi yksi todella yleinen virheellinen käsitys, joka oppilailla tuntuu olevan. Tämä yleinen virhekäsitys oli ionisidoksen mallintaminen kovalenttisella sidoksella.

Kuparin rakenteen hallitsemisesta saadut tulokset paljastavat metallien sitoutumisen olevan oppilaille vaikea asia. Itse asiassa tuntuu, että suurin osa ei ole oppinut metallien mikrotason rakennetta ollenkaan. Tämä ilmenee esimerkiksi siinä, että suurin osa kyselyyn vastanneista oppilaista oli tarkastellut vain yhtä kupariydintä Bohrin-atomimallin avulla. Kuparin rakenteen selittämiseen saadut vastaukset olivat siinä

mielessä erikoisia, että yhtään sinänsä virheellistä käsitystä oppilailla ei ilmennyt. Mistä ioniyhdisteiden ja metallien rakenteiden heikko osaaminen sitten johtuu, siihen en saanut tämän tutkimuksen perusteella vastausta vaan tämä aihe kaipaisi lisätutkimusta.

Vaikka lukiolaisten pääasiallinen aineen rakenteen hallinta on melko heikolla tasolla, niin toisaalta olen positiivisesti yllätynyt hyvien vastausten määrästä ja laadusta. Jokaisen aineen kohdalla ensimmäiseen kategoriaan lajitellut vastaukset ovat olleet erinomaisia. Vastauksien jakaumasta nähdään myös se, että kyselyyn osallistuneista oppilaista yksi (oppilas 9) on osannut selittää ja piirtää jokaisen aineen rakenteen oikein. Lisäksi oppilas 32 on osannut selittää ja piirtää kolmen aineen rakenteen oikein.

Käsittelin kappaleessa 4.5 lukion kurssien keskeisiä sisältöjä opetussuunnitelman (2003) pohjalta. Kun katsotaan mitä lukion opetussuunnitelma asettaa kurssien sisällön keskeisiksi tavoitteiksi, voidaan todeta, että ainakaan tämän tutkimuksen perusteella keskeiset tavoitteet eivät täyty. Esimerkiksi orgaanisen kemian -kurssin kohdalla opetussuunnitelman tavoitteet eivät täysin täyty, sillä suurin osa oppilaista ei osaa heksaanin rakennetta molekyylien välisten vuorovaikutusten näkökulmasta. Lisäksi, kun katsotaan mikä on metallien kemia -kurssin tavoitteita ja verrataan tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden kuparin rakenteen hallintaa, voidaan todeta, että tämänkään aineen kohdalta opetussuunnitelman tavoite ei täysin täyty.

Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan sanoa, että kyselyyn osallistuneiden lukiolaisten aineen rakenteen hallinta on kohtalaisella tasolla. Tutkimus selvästi paljastaa, että erityisesti metallien ja ioniyhdisteiden rakenne on oppilaille vaikea asia. Myös molekyylien väliset sitoutumiset tuntuvat olevan vaikea asia oppilaille.

8.2 Lukiolaisilla esiintyneet virhekäsitykset

Veden rakenteen selittämisessä ja piirtämisessä nousi esille muutama virheellinen termin käyttö. Tällaisia termejä olivat muun muassa termit dispersiovoima, vetysidos, vetysidosten voimakkuus ja vesimolekyylin muoto. Dispersiovoima-käsitteen väärinkäyttö ilmeni itse asiassa tutkimuksen muissakin vaiheissa ja yleisin virhe oli se, että oppilaat käyttivät kahden eri tavalla varatun kappaleen välisestä voimasta sanaa dispersiovoima eikä sanaa sähköinen vuorovaikutus. Dispersiovoima tarkoittaa siis voimaa, joka syntyy molekyylien hetkellisistä varauksista. Dispersiovoima on siis

eräänlainen sähköisen vuorovaikutuksen alalaji, mutta on väärin sanoa, että kaksi ”koko ajan” varattua hiukkasta pysyisi kasassa dispersiivoimien takia.

Veden rakenteesta puhuttaessa muutaman oppilaan kohdalla tuli vastaan virheellinen käsitys vetysidoksen ja sen voimakkuuden kohdalla. Oppilailla oli ensinnäkin käsitys, että vetysidos muodostuu vesimolekyylin sisällä vedyn ja hapen välille. Lisäksi yksi oppilas väitti, että vesimolekyylit vuorovaikuttavat keskenään vahvojen vetysidosten avulla. Edellisessä väittämässä väärää on se, että vetysidoksia ei voi mielestäni luokitella vahvoiksi sidoksiksi. Tässä tapauksessa olisi kuitenkin mielekkäintä haastatella kyseistä oppilasta ja tällä tavoin selvittää, kuinka vahvoiksi oppilas on vetysidokset käsittänyt.

Veden rakenteen kohdalla nousi esiin muutaman oppilaan väite, että vesimolekyylissä olevat vedyt ovat tietyssä kulmassa, jostain muusta syystä kuin hapen vapaista elektronipareista johtuen. Toinen oppilaista väitti, että vesimolekyylin muoto johtuu elektronegatiivisuudesta ja toinen oppilas väitti, että vesimolekyylin muoto johtuu siitä, että vedyt haluavat mahdollisimman kauas toisistaan.

Ruokasuolan rakenteen piirtämisessä ja selittämisessä yleinen virhekäsitys: ruokasuolan rakenteen piirtäminen kovalenttisella sidoksella tai suora väite, että ruokasuola sisältää yksinkertaisen tai kaksoissidoksen. Tämä virheellinen käsitys on siinä mielessä huolestuttava, että se esiintyi peräti 24 oppilaalla.

Kuparin piirtämisessä ja selittämisessä ei ilmennyt sinänsä virheellisiä käsityksiä. Vastaukset olivat siis joko täydellisiä tai epätoivoisia yritelmiä. Kertooko virheellisten käsitysten puute sitten siitä, ettei virheellisiä käsityksiä ole päässyt syntymään kun rakennettakaan ei ole opittu? Edelliseen en osaa vastata, mutta väitän, että jos kyselyn otantaa suurennettaisiin, alkaisi tämänkin aineen kohdalla esiintyä jotain tiettyjä virheellisiä käsityksiä. Heksaanin kohdalla esiintyi kolme väärää vastausta ja nämä vastaukset sisälsivät saman virheen. Virhe oli se, että heksaani oli piirretty rengasrakenteena. Onko edellä mainittu johtunut sitten väärin oppimisesta, vai huolimattomuudesta, siihen en tämän tutkimuksen osalta osaa vastata.

Kyselyn toisessa osassa nousi myös esiin muutamia virheellisiä käsityksiä. Ensinnäkin yksi aineen ominaisuuksiin liittyvä virheellinen käsitys näyttäisi olevan se, että oppilaat luulevat kuparin olevan kovempaa kuin ruokasuola, koska ruokasuola rakentuu kahdesta eri alkuaineesta. Esille nousi lisäksi sellaiset virheelliset käsitykset, että aineen

tiheys tai rakenteen vahvuus vaikuttaisi aineiden toisiinsa liukenemiseen. Mistä oppilaat tällaisia käsityksiä ovat keksineet, siihen ei tämä tutkimus anna vastausta.

8.3 Lukiolaisten kyky yhdistää mikrotason ja makrotason tieto

Kyselyn toinen vaihe mittasi oppilaiden kykyä yhdistää mikrotason tieto makrotason havaintoon. Tulokset kertovat, että viisitoista oppilasta käytti vastauksensa perusteluna mikrotason tietoa. Lisäksi peräti kaksikymmentäyksi oppilasta oli käyttänyt aineen rakennetta perustellessa vastaustaan. Vastausten jakaumat kertovat siitä, että ensimmäisessä ja kolmannessa jatkokysymyksessä yli puolet oppilaista on vastannut jatkokysymyksiin perustelematta vastaustaan mikrotasolla. Lisäksi hieman alle puolet on vastannut toiseen jatkokysymykseen perustelematta vastaustaan mikrotasolla. Voidaankin sanoa, että kyselyyn osallistuneiden lukiolaisten mikro- ja makrotason tietojen yhdistelykyky on kohtalainen.

Jatkokysymysten perustelujen taso kertoo mielestäni sen, kuinka hyvin oppilaat oikeasti ovat oppineet kemiaa. Sellainen oppilas, joka on osannut perustella vastauksensa mikrotason rakenteen avulla, on ymmärtänyt sen, miten aineen rakenne vaikuttaa kyseisen aineen ominaisuuksiin. Väitän myös, että oppilas, joka on vastannut jatkokysymyksiin perustelematta vastauksiaan mikrotasolla, ei ole ymmärtänyt aineen rakenteen merkitystä aineen ominaisuuksiin. Näin väitän siksi, että aineen ominaisuuksia voi muistaa aina ulkoa. Väitän edellistä myös siksi, että liitteenä 24–44 olevista vastauksista näkee selvästi kuka on ymmärtänyt aineen rakenteen vaikutuksen aineen ominaisuuksiin ja kuka on vastannut kysymyksiin vain ulkomuistista.

8.4 Tutkimustulosten yhteenveto

Tämä tutkimus paljastaa sen, että lukiolaisten aineen rakenteen hallinta on kohtalaisella tasolla. Tämä ilmenee ensinnäkin lukiolaisten aineen rakenteen hallinnasta ja aineen rakenteen hallinnassa ilmenneistä virhekäsityksistä. Tutkimus paljastaa myös sen, että erityisesti metallien ja ioniyhdisteiden rakenteet ovat oppilaille vaikeita. Myös molekyylien väliset sitoutumiset tuntuvat olevan vaikea asia oppilaille. Tutkimus kertoo myös sen, että oppilaiden mikro- ja makrotason tietämyksen yhdistämiskyky on kohtalainen.

Tämä tutkimuksen tuloksia ei suoraan voida verrata luvussa 2.4 esitettyihin aikaisempiin tieteellisiin tutkimuksiin. Tämä johtuu siitä, että tämän tutkimuksen

kaltaista tutkimusta ei ole aikaisemmin tehty, sillä tutkimuksessa käytetyt kyselylomakkeet ovat tutkijan itsensä kehittämät. Kuitenkin, jos tässä tutkimuksessa ilmenneitä virhekäsityksiä verrataan aikaisemmissa tutkimuksissa ilmenneihin virhekäsityksiin, voidaan todeta, että tämä tutkimus tukee aikaisempia tieteellisiä tutkimuksia hyvin. Tämä näkyy esimerkiksi sillä, että tämäkin tutkimus paljastaa kovalenttisen ja ionisen sitoutumisten ja näihin liittyvän elektronien jakautumisen olevan ongelmallista oppilaille (Peterson & Treagust 1989; Boo 1998). Lisäksi tämä tutkimus tukee hyvin Shepherdin ja Rennerin (1982) tutkimuksen tuloksia, jotka paljastavat aineen sisäisten voimien vaikutuksen ymmärtämisen olevan vaikea asia lukioikäisille oppilaille.

Miksi molekyylien välisten vuorovaikutusten huono hallinta sitten johtuu? Johtuuko se lukion opetussuunnitelmasta, lukion oppikirjoista, siitä mitä luokassa tapahtuu vai jostakin muusta? Valitettavasti en tämän tutkimuksen perusteella osaa vastata edellä esitettyihin kysymyksiin, mutta totean, että tämä aihe kaipaisi lisätutkimusta.

9 Tutkimuksen tarkastelu

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää millä tasolla lukiolaisten aineen rakenteen hallinta on. Tutkimuksen tulokset kertovat, että erityisesti molekyylien väliset vuorovaikutukset, ioniyhdisteiden rakenne ja metallien rakenne ovat oppilaille vaikeita asioita. Tämä tutkimus ei kuitenkaan vastaa siihen miten tämän tutkimuksen aikana esiintyneistä virhekäsityksistä päästään eroon. Toivon, että tämä työ innoittaa jotakin muuta tutkijaa selvittämään mistä aineen rakenteen oppimisen vaikeudet johtuvat ja miten virheellisistä käsityksistä päästään eroon. Jatkotutkimuksena tähän aiheeseen voisikin kehitellä opetustapaa, jolla virhekäsityksistä päästään eroon.

Tutkimuksen eräs tavoite oli myös kehittää omaa opettajuuttani. Tämä tavoite täyttyi, sillä tämän tutkimuksen aikana olen joutunut syvällisesti pohtimaan niin kemian teorioita kuin opettamiseen liittyviä ongelmia. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että opettaminen on haasteellista, koska opetettavan aineen hallinnan lisäksi hyvältä opettajalta vaaditaan hyvät didaktiset taidot. Didaktiset taidot ovat opettajalle tärkeä työväline, mutta niillä ei voi korvata hyvää aineenhallintaa. Toisaalta erinomaisestakaan kemian tuntemuksesta ei ole opettajalle hyötyä, ellei tämä tiedosta oppilaiden tasoa.

Lähteet

Ahtee, M. 1992. Oppilaiden käsitykset valo-opin ilmiöistä ja niiden ottaminen huomioon opetuksessa. Helsingin yliopisto. Opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 102.

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

Asunta, T., Goodwin, A., Orlik, Y. 2003. Trainee science teachers' understanding of evaporation and boiling – a small-scale study in three countries. *Journal of Science Education* 4(2), 76-79.

Averill, B. & Eldredge, P. 2007. *Chemistry: Principles, Patterns, and Applications*. Pearson education.

Ben-Zvi, R., Eylon, B. & Silberstein, J. 1987. Students' visualization of chemical reaction. *Education in Chemistry*, 24(4), 117-120.

Boo, H. K. 1998. Students' understanding of Chemical Bonds and Energetics of Chemical Reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 569-581.

Butts, B. & Smith, R. 1987. HSC chemistry students' understanding of structure and properties of molecular and ionic compounds. *Research in science education*, 17, 192-201.

Engenström, Y. 1984. Orientointi opetuksessa. Valtion painatuskeskus. Julkaisusarja B 29.

Gabel, D.L., Samuel, K.V. & Hunn, D. 1987. Understanding the Particulate Nature of Matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8). 695-697.

Hill, J.W., Petrucci, R.H. McCreary, T.W. & Perry, S.S. 2005. *General Chemistry*, 4. painos. Pearson Education.

Jenssen, W. B. 1998. Logic, History, and the Chemistry textbook: Does Chemistry Have a Logical Structure? *Journal of Chemical Education*, 75(6), 679-689.

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

Johnstone, A. H. 2000. Teaching of Chemistry- Logical or Psychological? Chemistry Education: Research And Practice In Europe 1(1), 9-15.

Kyyrönen, L. 1999. Kemian oppiminen tarkasteltuna kemiallisen tiedon luonteen näkökulmasta. Didacta Varia 4(1), 61-66.

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

Levävaara, H. 1997. Opettajan ja oppilaan käsitysten kohtaaminen. Avoin tutkimus peruskoulun valo-opin opetuksessa. Helsingin yliopisto. Opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 174.

McMurray, J. & Fay, R.C. 2001. Chemistry, 3. painos. Prentice-Hall.

Novick, S. & Nussbaum, J. 1981. Alternative frameworks, conceptual conflict an accommodation: Toward aprincipled teaching strategy. Instructional Science, 11(3), 183-200.

Nussbaum, J. 1985. The particulate nature of matter in gaseous phase. Teoksessa R. Driver, E. Guesne ja A. Tiberghien (toim.) Children`s ideas in science. Milton Keynes: Open University Press, 124-144.

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

Opetushallitus. 2003. Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003. Saatavilla pdf-muodossa <http://www.oph.fi> (haettu 15.9.2006).

Osborne, R. J. & CosGrove, M. M. J. 1983. Children`s conceptions of the changes of state of water. Journal of Reseach in Science Teaching, 20(9), 825-838.

Pfundt, H. 1981. The Atom – The Final Linc in the Division Process or the First Building Block? Cimica Didactica, 7, 75-94.

Peterson, R. F. & Treagust, D. F. 1989. Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students`concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. Journal of Reearch in Science Teaching, 26(4), 301-314.

Petrucci, R. H., Harwood, W. S., Herring, F. G & Madura, J. D. 2007 General Chemistry: Principles and Modern Applications, 9. painos. Pearson Education.

Saari, H. 1997. Aineen rakenteen oppiminen ja opettaminen peruskoulun yläasteen fysiikassa. Joensuun yliopisto. Fysiikan laitos. Lisensiaattitutkimus.

Sanger, M. J. 2000. Using Particulate Drawing to Determine and Improve Students' Conception of Pure Substance and Mixtures. *Journal of Chemical Education*, 77(6), 762-766.

Shepherd, D. L. & Renner, J. W. 1982. Students' understandings and misunderstandings of the states of matter and density changes. *School Science and Mathematics*, 82(8), 650-665.

Taber, K. S. 1994. Misunderstanding the ionic bond. *Education in chemistry*, 31(4), 100-103.

Yarroch, W. L. 1985. Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22 (5), 449-459.

HUOM! Oppilaiden vastausten liittäminen elektroniseen versioon osoittautui erittäin ongelmalliseksi ja siksi tästä elektronisesta versiosta puuttuu liitteet 3-31. Kyseiset liitteet on nähtävillä Jyväskylän yliopiston Ylistönrinteen kirjastosta löytyvästä kirjallisesta versiosta.

Liitteet

Liite 1: Kyselykaavake A

Liite 2: Kyselykaavake B

Liite 3: Oppilaan 9 vastauksia

Liite 4: Oppilaan 28 vastauksia

Liite 5: Oppilaan 1 vastauksia

Liite 6: Oppilaan 15 vastauksia

Liite 7: Oppilaan 11 vastauksia

Liite 8: Oppilaan 17 vastauksia

Liite 9: Oppilaan 20 vastauksia

Liite 10: Oppilaan 3 vastauksia

Liite 11: Oppilaan 25 vastauksia

Liite 12: Oppilaan 31 vastauksia

Liite 13: Oppilaan 37 vastauksia

Liite 14: Oppilaan 4 vastauksia

Liite 15: Oppilaan 34 vastauksia

Liite 16: Oppilaan 12 vastauksia

Liite 17: Oppilaan 13 vastauksia

Liite 18: Oppilaan 35 vastauksia

Liite 19: Oppilaan 21 vastauksia

Liite 20: Oppilaan 27 vastauksia

Liite 21: Oppilaan 30 vastauksia

Liite 22: Oppilaan 40 vastauksia

Liite 23: Oppilaan 29 vastauksia

Liite 24: Oppilaan 19 vastauksia

Liite 25: Oppilaan 14 vastauksia

Liite 26: Oppilaan 26 vastauksia

Liite 27: Oppilaan 6 vastauksia

Liite 28: Oppilaan 22 vastauksia

Liite 29: Oppilaan 23 vastauksia

Liite 30: Oppilaan 16 vastauksia

Liite 31: Oppilaan 33 vastauksia

Liite 1(1): Kyselykaavake A

Kyselykaavake 1: Aineen rakenne

1.11.2006

Oppilasnumero: _____

Jari-Petteri Kautto

Piirrä ja selitä sinulle esitettävien neljän (4) aineen rakenne molekyylien sisäisten ja ulkoisten vuorovaikutusten näkökulmasta.

Aine 1: Vesi, H_2O :

Piirros	Selitys

Aine 2: Ruokasuola, $NaCl$:

Piirros	Selitys

Liite 1(2): Kyselykaavake A

Aine 3: Kupari, Cu:

Piiros	Selitys

Aine 4: Heksaani, C₆H₁₄:

Piiros	Selitys

Liite 2: Kyselykaavake B

Kyselykaavake 2: Aineen rakenne

1.11.2006

Oppilasnumero: _____

Jari-Petteri Kautto

Miksi vesi on normaaliolosuhteissa neste ja miksi ruokasuola on normaaliolosuhteissa kiinteä?

Miksi ruokasuola voidaan helposti hajottaa pienemmiksi kiteiksi, mutta samaa ei yhtä helposti voida tehdä palalle kuparia?

Miksi heksaani ei liukene veteen, vaan muodostuu kaksi faasia?