

Olomuodon muutokset lukion kemian opetuksessa

Tinja Seppälä ja Niko Haaro

Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian osasto, Helsingin yliopisto

Tiivistelmä: Lukion kemian opetussuunnitelmassa olomuodon muutoksia ei ole käsitelty erillisenä kokonaisuutena, mutta aihetta kuitenkin käsitellään lukion oppikirjoissa. Olomuodon muutokset liittyvät keskeisesti lukion opetussuunnitelman yleisiin tavoitteisiin, sillä opetussuunnitelmassa painotetaan opetuksen lähtökohdaksi elinympäristöön liittyvien aineiden sekä ilmiöiden havainnointia ja tutkimista. Oppilaan tulee osata käsitellä, tulkita ja esittää erilaisten tutkimusten tuloksia. Oppilaan tulee myös osata arvioida näitä tuloksia käyttäen erilaisia malleja ilmiöiden kuvaamisessa, selittämisessä ja ennusteiden tekemisessä. Elinympäristön havainnoinnissa sekä kemiallisesti että fysikaalisesti on ymmärrettävä myös keskeisesti olomuodon muutokset ja niihin liittyvät prosessit. Olomuodon muutoksien oppimisprosessissa on otettava huomioon oppilaiden mahdolliset vaihtoehtoiset käsitykset sekä huomioida ne myös opetuksessa. Tutkimuksellinen sekä toiminnallinen lähestymistapa opetuksessa vahvistaa erityisesti oppilaiden ymmärrystä olomuodoista ja olomuodon muutoksista submikroskooppisella tasolla. Tässä artikkelissa esitetään yksinkertainen ja visuaalisesti mielenkiintoinen työ olomuodon opetuksen tueksi. Työn tarkoituksena on herättää kiinnostusta olomuodon muutoksiin sekä yleisesti kemiaa kohtaan. Työssä tehdään hiilidioksidikuplia, jossa nähdään makrotasolla havaittava olomuodon muutos.

Avainsanat: olomuoto, olomuodon muutokset, submikroskooppinen taso, makrotaso, vaihtoehtoinen käsitys

1 Johdanto

Työmme tavoitteena on tehdä kattava tutkimustietoon pohjautuva artikkeli, joka auttaa olomuodon muutoksen opettamisessa lukiossa. Olomuodon muutoksia ei käsitellä lukion opetussuunnitelman perusteissa. Tästä syystä olemme tehneet tutkimuspohjaisen artikkelin, jonka tarkoituksena on käsitellä aihealueen keskeisimmät haasteet ja siten auttaa opettajaa olomuodon muutoksen opettamisessa.

Tutkimuksellinen opetus auttaa oppilaita omaksumaan paremmin olomuodon muutoksia erityisesti submikroskooppisella tasolla, jonka haasteita ja ratkaisuehdotuksia esittelemme tässä työssä. Aihetta lähdetään käsittelemään lukion opetussuunnitelman perusteiden kautta, jonka jälkeen tarkastellaan olomuodon muutoksen käsittelyä lukion oppikirjoissa. Tutkimuskirjallisuuden näkökulma esittelee olomuodon muutoksen opettamisen mahdolliset haasteet sekä tarjoaa niille ratkaisuehdotuksia. Tutkimuskirjallisuusosion jälkeen käymme lyhyesti läpi



olomuodon muutoksen kemiallisen näkökulman. Aiheen opetuksen käsittelyn tueksi haastattelimme yläkoulun ja lukion kemian ja fysiikan opettajaa. Oppikirjojen kokeellisten töiden pääpaino on opetussuunnitelman perusteissa esiintyvissä aiheissa, joten kokeellisten töiden luominen ja niiden kehittäminen on opettajalle tärkeää aiheen tutkimuksellisen opettamisen tueksi. Työn lopussa teemme yhteenvedon artikkelimme tärkeimmistä asioista ja esittelemme kokeellisen työn, jonka avulla olomuodon muutoksia voidaan lähestyä tutkimuksellisesti.

2 Opetussuunnitelma ja opetuskirjallisuus

Lukion opetussuunnitelman perusteiden (LOPS, 2015) kemian yleisiä opetuksen tavoitteita ovat kemian elinympäristöön liittyvien aineiden ja ilmiöiden havainnointi sekä tutkiminen. Oppilaan tulee osata suunnitella ja toteuttaa kokeellisia tutkimuksia turvallisesti ja yhteistyössä muiden kanssa. Tavoitteena on oppia käsittelemään, tulkitsemaan ja esittämään tutkimusten tuloksia sekä arvioimaan niitä ja koko tutkimusprosessia. Oppilaiden tulisi myös oppia käyttämään erilaisia malleja ilmiöiden kuvaamisessa ja selittämisessä sekä ennusteiden tekemisessä. Uusi lukion kemian opetussuunnitelma (LOPS, 2021, luonnos) painottaa yleisesti opetuksessa tutkimuksellisuutta ja toiminnallisuutta enemmän kuin vuoden 2015 lukion opetussuunnitelma (LOPS, 2015).

Lukion kemian oppikirjoissa olomuodon muutokset käsitellään ensimmäisellä kurssilla. Aihetta käsitellään monipuolisesti oppikirjan (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2009) kappaleessa, jossa käsitellään myös alkuaineita sekä kemiallisia sidoksia.

2.1 Lukion opetussuunnitelman perusteet (2015)

Alkuaineiden ja yhdisteiden ominaisuudet käsitellään Kemiaa kaikkialla (Ke1) -kurssilla. Keskeisimpiä aiheita ovat aineiden ominaisuuksien selittäminen aineen rakenteen, kemiallisten sidosten ja poolisuuden avulla. Aineiden ominaisuuksien tutkiminen, havainnointi ja johtopäätösten tekeminen käsitellään listattujen perustietojen jälkeen. Aineen rakenne, kemialliset sidokset, poolisuus sekä aineiden ominaisuudet ja niiden ymmärtäminen ovat perusta myös olomuotojen ja olomuodon muutoksen tarkastelussa.

KE3-kurssilla (Reaktiot ja energia) opetuksen tavoitteena on osata käyttää ja soveltaa reaktioihin liittyviä käsitteitä jokapäiväisen elämän, ympäristön,

yhteiskunnan ja teknologian ilmiöissä (esim. engl. solid, liquid, gas). Aineen häviämättömyys kemiallisessa reaktiossa ja sen yksinkertainen laskennallinen käsittely kuuluu kurssin keskeisiin tavoitteisiin. Tavoitteena on myös ymmärtää energian häviämättömyys kemiallisessa reaktiossa, sidosenergia, Hessin laki sekä kaasujen ominaisuudet.

Olomuodon muutoksia ei olla suoraan eritelty lukion kemian opetussuunnitelmassa (2015). Oppikirjoissa aihetta kuitenkin käsitellään, sillä olomuodon muutokset liittyvät keskeisesti jokapäiväisen elämän ja ympäristön tutkimiseen sekä havainnointiin. Kurseilla käsiteltäviä aiheita voidaan myös havainnollistaa arkielämän esimerkeillä, kuten olomuodon muutoksilla.

2.2 Lukion opetussuunnitelman perusteet (2021, luonnos)

Yleisinä tavoitteina on, että kemian opetus tukee oppilaan käsitteiden ja ilmiöiden ymmärtämistä siten, että niiden makroskooppinen, submikroskooppinen ja symbolinen taso muodostavat loogisen kokonaisuuden. Oppilaan aikaisemmista kokemuksista ja havainnoista edetään ilmiöiden kuvaamiseen ja selittämiseen sekä aineen rakenteen että kemiallisten reaktioiden mallintamiseen kemian merkkikielellä ja matemaattisesti. Kemian opetuksessa tulee käyttää vaihtelevia ja monipuolisia opetus- ja opiskelumenetelmiä, joilla kehitetään oppilaan käsitteellistä ja menetelmällistä osaamista. Opetuksen keskeisiin lähtökohtiin kuuluu havainnointi ja tutkiminen. Kokeellisuus eri muodoissa tukee käsitteiden omaksumista ja ymmärtämistä, tutkimisen taitojen oppimista sekä luonnontieteiden luonteen hahmottamista.

KE1.2 Kemia ja kestävä tulevaisuus (1 op.) - moduulissa oppilas syventää käsitystään kemiallisista sidoksista ja niiden merkityksestä aineen ominaisuuksille. Keskeisimpänä sisältönä on tutustua luonnontieteellisen tiedon luonteeseen ja sen kehittymiseen sekä tieteellisiin tapoihin tuottaa tietoa. Kurssin tavoitteena on myös opettaa oppilasta tutkimaan aineen ominaisuuksia kokeellisesti ja selittämään niitä aineen rakenteen avulla. Vesi ja sen ominaisuudet ovat yhtenä moduulin sisältönä erillisenä kokonaisuutena.

Uudessa kemian opetussuunnitelman luonnoksessa (2021) ei olla eritelty olomuodon muutoksia. Olomuodon muutokset liittyvät vahvasti ympäristön ja arkielämän kemiaan ja ne tarjoavat myös konkretiaa sekä esimerkkejä useille kemian ilmiöille ja käsitteille. Näistä syistä olomuodon muutoksia tullaan mitä todennäköisimmin käsittelemään lukion kemian kurseilla ja oppikirjoissa myös

jatkossa. Uusi opetussuunnitelma painottaa opetuksessa enemmän tutkimuksellisuutta sekä toiminnallisuutta verrattuna aiempaan lukion opetussuunnitelmaan.

2.3 Lukion oppikirjojen näkökulma olomuotojen käsittelyyn

Lukion kemian Mooli 1-oppikirja ”Ihmisen ja elinympäristön kemia” (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2009) tarkastelee olomuodon muutoksia kirjan toisessa luvussa. Olomuodon muutokset ja niihin liittyvät käsitteet käsitellään Mooli 1-oppikirjassa hyvin, mutta oppikirjassa ei kuitenkaan ole olomuodon muutoksiin liittyviä kokeellisia oppilastöitä. Oppikirja tarkastelee olomuodon muutoksia kokonaisuutena, jossa se käsittelee aineen kolmea yleisintä olomuotoa, jotka ovat kiinteä, neste ja kaasu. Samassa kappaleessa käsitellään myös alkuaineita ja niiden muodostamia kemiallisia sidoksia. Kemialliset sidokset ja alkuaineet liittyvät olomuodon muutoksiin olennaisesti. Tästä syystä kappaleessa syvennyttään tarkastelemaan myös eri atomien- ja molekyylien välisiä sidoksia sekä perehdytään käsitteisiin puhdas- ja amorfinen aine. Mooli-sarjassa kemiallisiin sidoksiin perehdytään lisää myös muilla kursseilla, mutta varsinainen olomuodon muutosten tarkastelu kuuluu vahvasti lukion ensimmäiselle kurssille.

Lukion kemian Mooli 1-oppikirjassa (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2009) esitetään aineen kolme tunnetuinta olomuotoa ja käydään läpi niiden merkitsemistapa kemiallisissa reaktioissa ja laskutoimituksissa. Oppikirja tuo esille myös olomuodoille tyypillisistä ominaisuuksia, joita ovat esimerkiksi nesteen mukautuminen astiaan ja kaasun diffuntoituminen. Kun eri olomuodot ja niiden ominaisuudet on käsitelty, kirja keskittyy käsittelemään eri olomuodon muutokset ja niihin liittyvät energian muutokset eli endotermisen- ja eksotermisen reaktion. Tekstin ohessa oppikirja havainnollistaa olomuodon muutoksia erilaisten kuvien ja taulukoiden kautta.

Veden olomuodon muutokset ja niihin liittyvät energian muutokset.

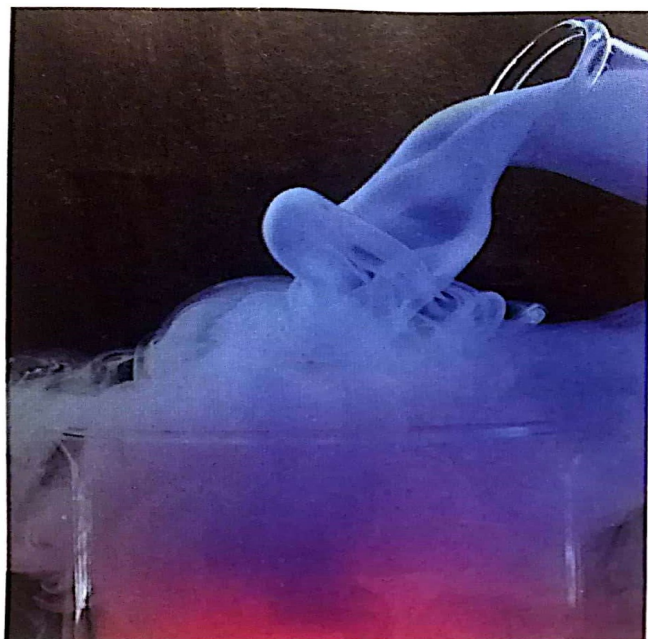
Olomuodon muutos	Energian muutos	Energian muutoksen syy
kiinteä → neste $\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	lämpöä sitoutuu eli tapahtuma on endoterminen	vesimolekyylien välisten sidosten katkeaminen vaatii energiaa
neste → kaasu $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	lämpöä sitoutuu eli tapahtuma on endoterminen	vesimolekyylien välisten sidosten katkeaminen vaatii energiaa
neste → kiinteä $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{s})$	lämpöä vapautuu eli tapahtuma on eksoterminen	vesimolekyylien välisten sidosten muodostuminen vapauttaa energiaa
kaasu → neste $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	lämpöä vapautuu eli tapahtuma on eksoterminen	vesimolekyylien välisten sidosten muodostuminen vapauttaa energiaa

Kuva 1. ”Ihmisen ja elinympäristön kemia” (25), (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2009). Kuvan taulukko kertoo

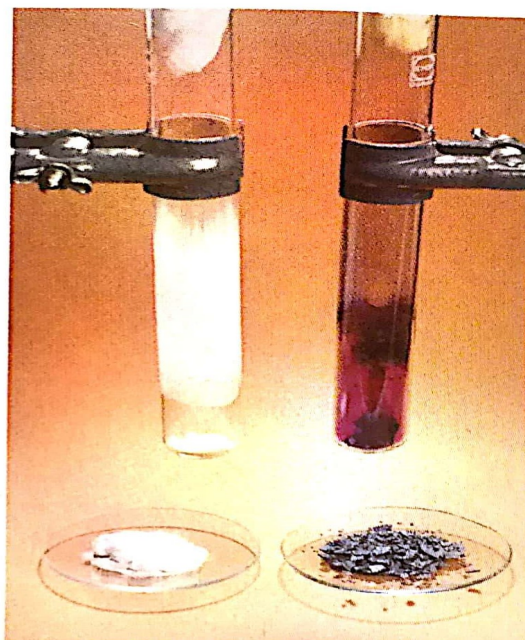
olomuodon muutoksissa tapahtuvat energian muutokset ja se tukee lukijan symbolisen tason oppimista.

Seuraavaksi Mooli 1- oppikirja (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2009) syventyy tarkastelemaan alkuaineita ja niiden muodostamia kemiallisia sidoksia. Oppikirja luokittelee aineet puhtaisiin ja amorfisiin aineisiin sekä kertoo niiden kytköksen olomuodon muutoksiin. Myös atomien- ja molekyylien väliset sidokset, kuten kovalenttinen sidos, poolinen sidos ja ionisidos sekä niiden muodostuminen käydään läpi perusteellisesti. Kovalenttisten-, poolisten-, ja ionisidosten muodostumisen ymmärtämisen tueksi on myös esitelty sidoksien muodostumista havainnollistavia kuvia.

Oppikirjoissa on käsitteitä, joita käytetään puhekielessä usein synonyymeinä. On tärkeä, että nämä käsitteet selitetään ja ymmärretään yksiselitteisesti. Tällaisia käsitteitä ovat muun muassa höyry ja kaasu sekä haihtuminen ja höyrystyminen.



Kuivajää eli kiinteä hiilidioksidi yhdessä lämpimän veden kanssa saa aikaan savuefektin. Sublimoituessaan kylmä hiilidioksidi tiivistää ilman vesihöyryn nestemäiseksi vedeksi, jolloin syntyy savun vaikutelma.



Ammoniumkloridi (vasemmalla) ja jodi (oikealla) ovat helposti sublimoituvia aineita. Ne härmistyvät takaisin kiinteäksi aineeksi jäätyessään.

Kuva 2. "Ihmisen ja elinympäristön kemia" (25), (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2009). Oheinen kuva havainnollistaa eri aineiden olomuodon muutoksia ja se tukee lukijan symbolisen tason oppimista.

3 Tutkimuskirjallisuus

Tutkimuskirjallisuudessa käsitellään olomuodon muutoksen oppimisprosessia erityisesti vaihtoehtoisten käsitysten kautta. Vaihtoehtoiset käsitykset ovat ideoita, jotka ovat ristiriidassa tieteellisesti hyväksyttävien ideoiden kanssa. Vaihtoehtoisia käsityksiä esiintyy yleisimmin submikroskooppisen tason tarkastelussa, koska aihe on oppilaille abstrakti eikä submikroskooppisen tason ilmiöitä voida havaita visuaalisesti.

Dorothy Gabel esittää klassikkoartikkelissaan (Gabel, 1999) tutkimustietoon pohjautuvan yhteenvedon kemian oppimiseen liittyvistä haasteista. Käsittelemme Gabelin artikkelia ja siinä mainittuja kemian ymmärtämisen kolmea eri tasoa johdantona tutkimuskirjallisuuden osiolle.

3.1 Johdanto tutkimuskirjallisuuteen

Dorothy Gabel esittää artikkelissaan (Gabel, 1999) kemian kolme eri tasoa, jotka ovat makroskooppinen taso, submikroskooppinen taso ja symbolinen taso. Makroskooppisella tasolla tarkoitetaan kemiallisia reaktioita, jotka voidaan havaita. Tällaisia tapahtumia ovat esimerkiksi saippuakuplan muodostuminen ja palaminen. Submikroskooppisella tasolla tarkoitetaan kemiallisia tapahtumia, jotka ovat atomien ja molekyylien tasolla, eli havaittavissa vain mikroskoopilla. Submikroskooppisen tason tapahtumia ovat esimerkiksi bakteerien ja virusten toiminta. Symbolisella tasolla tarkoitetaan kemian merkkikielen tasoa. Esimerkiksi kemiallisille käsitteille, kuten konsentraatiolle ja ainemäärälle, annetaan omat symbolinsa.

Olomuodon muutoksia opettaessa on tärkeää muistaa Gabelin (Gabel, 1999) mainitsemat kolme kemian tasoa. Tämän vuoksi tulemme tutkimuskirjallisuuden osiossamme käsittelemään paljon erityisesti makroskooppiseen tasoon ja submikroskooppiseen tasoon liittyviä käsitteitä ja ilmiöitä. Opettajan on tärkeää tiedostaa kemian oppimisen kolme eri tasoa, jotta hän voi huomioida oppilaiden mahdollisten vaihtoehtoisten käsitysten muodostumisen ajoissa. Tällöin opettaja pystyy kehittämään opetuksen tasoa, ja siten parantamaan oppilaiden kemian oppimista.

3.2 Tutkimuskirjallisuuden näkökulma:

Loughran, Mulhall & Berry (2002) esittivät tutkimuksessaan, että 80% opiskelijoista pitivät värierojen lähtöaineiden ja tuotteiden välillä olevan suora todiste kemiallisesta muutoksesta. Artikkelin mukaan eräät opiskelijat pitivät myös lämpölaajenemisen olevan todiste kemiallisesta muutoksesta. Oppilaat siis usein käyttivät termiä ”kemiallinen muutos” kuvaamaan fyysisen tilan muutosta, kuten jäätymistä, vaikka fysikaalisissa muutoksissa aineen koostumus ei muutu (esim. sulaminen), kun taas kemiallisissa muutoksissa aineen koostumus muuttuu. (Loughran, Mulhall & Berry, 2002).

Garnett, Garnett & Hackling (1995) esittelivät tutkimuksessaan havaintojaan oppilaiden vaihtoehtoisista käsityksistä olomuodon muutoksiin liittyen submikroskooppisella tasolla. Artikkelin mukaan oppilaat saattoivat sekä yläkoulu- että lukiotasolla käsittää, että atomien sekä molekyylien koko, muoto ja massa riippuivat olomuodosta. Ajateltiin myös, että kussakin olomuodossa molekyylit liikkuisivat aina tasaisella ja samalla nopeudella. Kiehumis- sekä sulamisprosesseissa oppilaat saattoivat päätellä, että aineen kovalenttiset sidokset katkeisivat kyseisissä olomuodon muutosprosesseissa. Oppilailla saattoi olla myös sellainen käsitys, että kiinteän aineen sulaessa neste ”valuisi” pois ja kiehuessa kaasu ”karkaisi” ympäristöön (Garnett, Garnett, & Hackling, 1995).

Chin-Chung Tsain (1999) tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia nuorten vaihtoehtoisia käsityksiä olomuodon muutoksista submikroskooppisella tasolla sekä etsiä ratkaisuja niiden ennaltaehkäisemiseen. Kyseinen tutkimus toteutettiin Taiwanilaisessa koulussa noin 80 oppilaan otannalla. Tutkimus aloitettiin jakamalla oppilaat kahteen ryhmään: ensimmäisessä ryhmässä aihetta ohjattiin perinteisen opetuksen kautta, kun taas toisessa ryhmässä teetettiin toiminnallinen tehtävä olomuodon muutoksista. Toiminnallisen tehtävän tarkoituksena oli toteuttaa roolipelin muodossa pienryhmissä visuaalisesti hiukkasten paikka ja liikehdintä annetuissa olomuodossa (kiinteä, neste ja kaasu). Tutkimuksessa huomattiin, että välittömässä tarkastelussa ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkittävää eroa sellaisen tehtävän suorittamiseen, jossa tuli piirtää kunkin kolmen olomuodon atomijärjestys. Toiminnallisen ryhmän kohdalla huomattiin kuitenkin myönteisiä vaikutuksia pitkän aikavälin tarkastelussa verrattuna perinteisen opetuksen ryhmään. Toiminnallisen ryhmän oppilaat omaksuivat paremmin aiheen käsitteellisen puolen verrattuna perinteisen opetuksen ryhmään, ja vaihtoehtoisten

käsitysten muodostuminen oli epätodennäköisempää toiminnallisen ryhmän oppilaiden kohdalla (Tsai, 1999).

Driverin (1999) tutkimuksessa käsiteltiin yleisesti pedagogista näkökulmaa vaihtoehtoisten käsitysten kautta. Driverin (1983) mukaan, mikäli oppilas omaksuu vaihtoehtoisia käsityksiä opetettavasta aiheesta, voi sen seurauksena olla oppimista haittaavat harhakäsitykset, sillä niiden pohjalta oppilaat saattavat tehdä virheellisiä tulkintoja opittavasta asiasta. Erityisesti varhaisessa opetuksen vaiheessa vaihtoehtoiset käsitykset saattavat olla vain heikkoja ja pinnallisia, jolloin niihin on helppo vaikuttaa opetuksella. Mikäli vaihtoehtoiset käsitykset ovat pysyviä, oppilas ei välttämättä tiedosta omia vaihtoehtoisia käsityksiään ja hänen on vaikea ymmärtää niiden kanssa ristiriidassa olevaa tietoa. Tämä voi johtaa siihen, että vaikka oppilaat ymmärtäisivät uuden opetetun asian, he saattavat silti käyttää perusteluissaan vaihtoehtoisia käsityksiä, mutta vain vähän muokattuina. Mikäli oppilas tiedostaa omien vaihtoehtoisten käsityksiensä virheellisyyden, vasta sen jälkeen hän voi onnistuneesti muuttaa uuden tiedon avulla näitä vaihtoehtoisia käsityksiään. (Driver, 1983)

3.3 Johtopäätöksiä tutkimuskirjallisuudesta

Kemiallisia ja fysikaalisia muutoksia opettaessa on tärkeää painottaa oppilaille näiden väliset erot, mutta myös korostaa niiden välistä yhteyttä jatkumona. Ympäristön ilmiöitä on otettava mukaan esimerkkien muodossa luomaan konkretiaa ja siten vähentämään sekä ennaltaehkäisemään etenkin abstraktin aiheen luomia vaihtoehtoisia käsityksiä. Erityisesti submikroskooppisen tason vaihtoehtoisia käsityksiä tulisi oikaista johdonmukaisella opetuksella yhdessä tutkimuksellisen ja toiminnallisen opetuksen kanssa aiheen abstraktiuden vuoksi. Submikroskooppinen taso, esimerkiksi olomuodon muutoksissa, aiheuttaa oppilaille useimmin vaihtoehtoisia käsityksiä sen abstraktiuden vuoksi. Tämän vuoksi opettajan on myös aktiivisesti kehitettävä uusia ja monipuolisia opetuksellisia tapoja aiheen ymmärtämisen tueksi. Useiden tutkimusten perusteella tutkimuksellisuus ja toiminnallisuus ovat oppilaiden oppimisprosessin kannalta avainasemassa. Oppilaiden vaihtoehtoisia käsityksiä tulisi huomioida myös ennaltaehkäisevästi opetuksen avulla. Tämän pitäisi tapahtua ennen kuin vaihtoehtoiset käsitykset ovat muodostumassa tai silloin, kun ne ovat vasta pinnallisia. Näistä syistä tutkimuksellista opetusta on hyödyllistä toteuttaa aktiivisesti oppilaiden kanssa.

Tutkimuskirjallisuuden havainnot olomuodon muutoksen opetuksessa	Lähde
Kemian oppimisen edellytyksenä on ymmärtää kaikki kemian kolme tasoa, jotka ovat makroskooppinen taso, submikroskooppinen taso ja symbolinen taso.	Gabel D. (1999)
Oppilaat sekoittavat usein termit kemiallinen muutos ja fysikaalinen muutos.	Loughran, Mulhall & Berry (2002)
Olomuodon muutoksen käsittelyssä oppilaille syntyy helposti vaihtoehtoisia käsityksiä erityisesti submikroskooppisella tasolla.	Garnett, Garnett & Hackling (1995)
Toiminnallisen opetuksen myötä oppilaat omaksuvat paremmin aiheen käsitteellisen puolen ja vaihtoehtoisten käsitysten muodostuminen on epätodennäköisempää.	Chin-Chung Tsain (1999)
Vaihtoehtoisia käsityksiä tulisi ennaltaehkäistä sekä muokata johdonmukaisella ja monipuolisella opetuksella jo varhaisessa vaiheessa, jotta oppiminen tehostuisi.	Driver (1983)

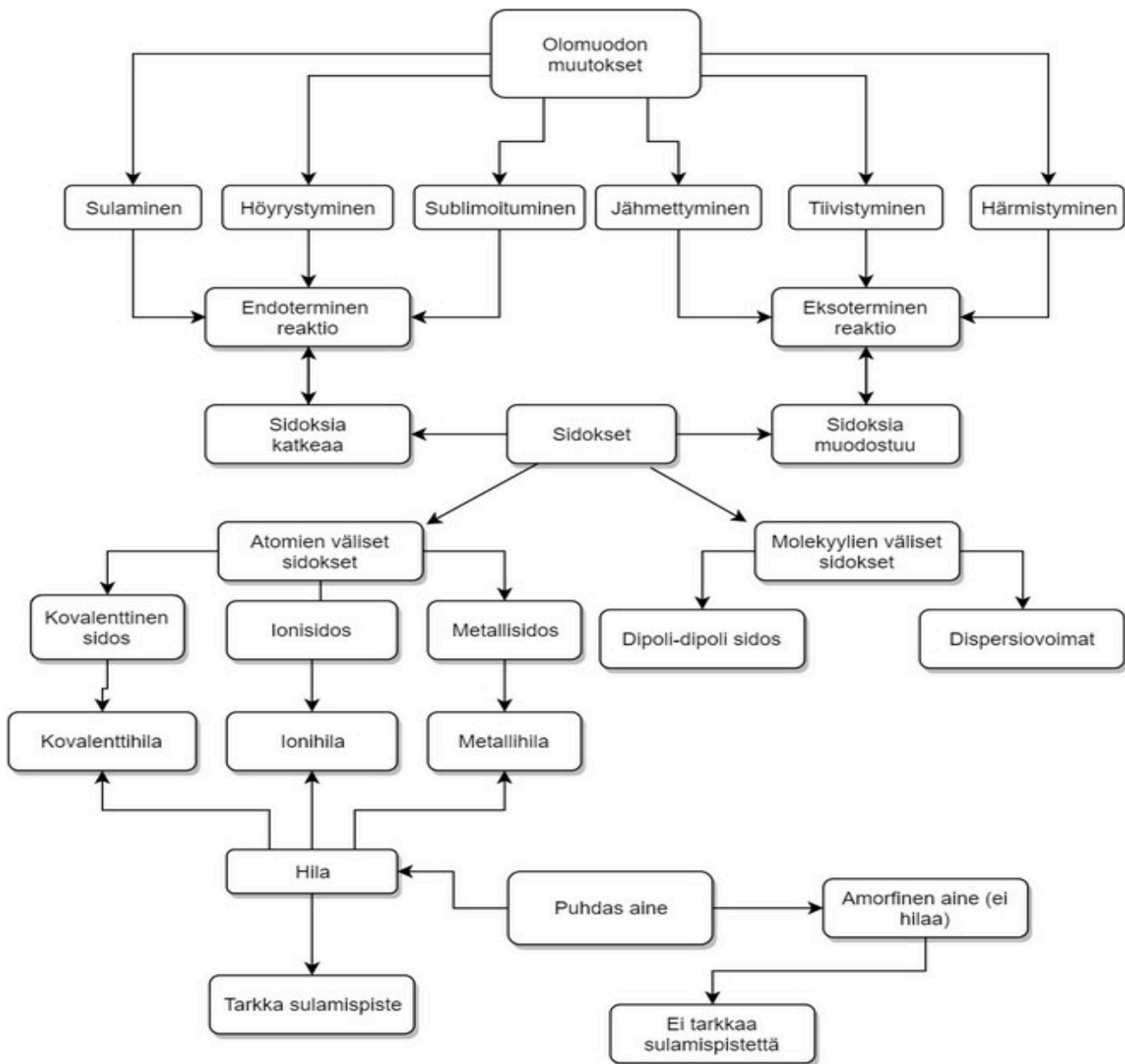
Taulukko 1. Yhteenveto tutkimuskirjallisuuden havainnoista.

4 Kemiaallinen näkökulma

Kolme tunnetuinta olomuotoa ovat kiinteä, neste ja kaasu. Olomuodon muutoksia ovat sulaminen, jähmettyminen, sublimoituminen, höyrystyminen, tiivistyminen ja härmistyminen. Olomuodon muutoksilla kuvataan aineiden fysikaalista käyttäytymistä. Olomuodon muutokset ovat joko endo- tai eksotermisiä reaktioita, eli reaktiossa joko sitoutuu tai vapautuu lämpöenergiaa.

4.1 Ajatuskartta

Oheiseen ajatuskarttaan on koottu olomuodon muutoksiin liittyvät keskeisimmät käsitteet. Ajatuskartta koostuu loogisesta kokonaisuudesta, joka on rakennettu aihealueen (olomuodon muutokset) ja muiden keskilinjassa olevien käsitteiden (sidokset, puhdas aine) avulla. Aihealue jakautuu ensin kuuteen eri olomuodon muutokseen, jotka jaetaan edelleen niiden endo- ja eksotermisyyden mukaan. Ajatuskartta jatkaa etenemistään kaikkia käsitteitä yhdistävään käsitteeseen (sidokset), joka jakautuu atomien- ja molekyylien välisiin sidoksiin. Seuraavaksi ajatuskartta havainnollistaa erilaiset sidokset ja niiden muodostamat hilarakenteet. Lopuksi ajatuskartta tuo esille käsitteen ”puhdas aine”, jonka ajatuskartta jakaa hilarakenteeseen- ja amorfiseen aineeseen.



4.2 Olomuodon muutokset

Olomuodon muutoksia ovat sulaminen, höyrystyminen, tiivistyminen, jähmettyminen, sublimoituminen ja härmistyminen. Olomuodon muutoksiin vaikuttavat lämpötila ja paine. Olomuodon muutoksissa joko vapautuu- tai sitoutuu energiaa eli olomuodon muutokset ovat joko endo- tai eksotermisiä. Olomuodon muutoksissa perehdytään atomien ja molekyylien sitoutumiseen toisiinsa (atomien- ja molekyylien väliset sidokset). Erilaiset sidokset, kuten kovalenttinen sidos ja ionisidos kertovat eri aineiden ominaisuuksista, kuten aineen sulamis- tai kiehumispisteestä. Aineita, joiden olomuodon muutokset tapahtuvat tietyssä lämpötilassa, kutsutaan puhtaiksi aineiksi. Jos aineella ei ole tarkkaa sulamispistettä, sitä kutsutaan amorfiseksi aineeksi.

Olomuodon muutokseen liittyy muutamia käsitteitä, joita käytetään puhekielessä synonyymeinä, jotka kuitenkin todellisuudessa tarkoittavat eri asioita. Tällaisia käsitteitä ovat mm. kaasu ja höyry sekä haihtuminen ja höyrystyminen. Opetustilanteessa käymme oppilaiden kanssa läpi näiden käsitteiden väliset erot ja määrittelemme ne yksiselitteisiksi.

5 Olomuodon muutoksen opettaminen

Olomuodon muutoksia käsitellään lukiossa sekä kemiassa, että fysiikassa. Kemian ja fysiikan lähestymistavat olomuodon muutoksen opettamiseen eroavat toisistaan jonkin verran. Olomuodon muutokseen liittyy haastavia osa-alueita, kuten submikroskooppisen tason käsittely, mutta olomuotoja itsessään (kiinteä, neste ja kaasu) pidetään yleisesti helppoina ja miellyttävinä opetuksen aiheina. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että olomuodot ovat hyvin havaittavissa jokapäiväisessä ympäristössä. Opetuksen käsittelyn tueksi haastattelimme yläkoulun sekä lukion kemian ja fysiikan opettajaa.

5.1 Vertailua

Kemian ja fysiikan opettajan mukaan olomuodon muutokset ovat yleisesti ottaen oppilaille melko miellyttäviä asioita opiskella, sillä makrotasolla olomuodot sekä olomuodon muutokset ovat helposti havaittavissa ja ne liittyvät vahvasti jokapäiväiseen elämään.

Fysiikassa olomuodon muutoksia käsitellään erityisesti yläkoulussa tarkemmin ja asiaa käsitellään tällöin myös energian suhteen. Lukiotasolla fysiikassa aihetta lähestytään pitkälti lämpöliikkeen kautta ja tutkitaan sitä, miten aineen rakenneosaset aina kussakin olomuodossa voivat liikkua.

Peruskoulun kemiassa käydään lähinnä olomuotojen nimet (kiinteä, neste, kaasu) ja olomuodon muutosten nimet (sulaminen, kiehuminen, sublimoituminen, jne.) läpi. Lukion kemian puolella (vrt. peruskoulu) perehdytään enemmän energiamuutokseen ja siihen, vapautuuko vai sitoutuuko energiaa prosessissa. Lukiossa kemian puolella selitetään myös tarkemmin, että miksi olomuodon muutos sitoo tai vapauttaa energiaa: sidosten katkeaminen sitoo energiaa, sidosten muodostuminen vapauttaa energiaa (endotermisyys ja eksotermisyys).

5.2. Oppilaiden yleisimmät haasteet olomuodon muutoksien omaksumisessa

Haasteita oppilaille tuottaa erityisesti energia- käsitteen ymmärtäminen olomuodon muutosten yhteydessä, eli se, että sitoutuuko vai vapautuuko prosessissa energiaa. Tätä käsitellään peruskoulutasolla fysiikassa lämpötilan avulla, mutta peruskoulun kemiassa olomuodon muutoksen käsittely jää paikoin suppeaksi. Nämä yläkoulussa saadut kohtalaisen suppeat pohjatiedot saattavat vaikeuttaa lukion kemian puolella olomuodon muutoksen käsittelyä, sillä lukion kemiassa olomuodon muutoksia käsitellään pääosin submikroskooppisella tasolla, kun taas yläkoulussa aiheen käsittely jää pitkälti makroskooppiselle tasolle. Aiheeseen liittyvät energiakaaviot tuottavat myös oppilaille osittain vaikeuksia.

5.3 Tutkimuksellinen opetus

Tutkimuksellisuutta ja toiminnallisuutta on tärkeää liittää osaksi opetusta myös olomuodon muutoksen käsittelyssä. Esimerkiksi energian sitoutumista ja vapautumista voidaan havainnollistaa erilaisilla töillä, koska niiden ymmärtäminen ja omaksuminen ilman vaihtoehtoisia käsityksiä voi olla oppilaille haastavaa. Eksotermisyyttä ja endotermisyyttä voidaan havainnollistaa esimerkiksi käärimällä lämpömittariin pumpulituppo, joka kastetaan nesteeseen (esim. etanoli). Tämän jälkeen lämpömittaria heilutellaan, jolloin haihtumista tapahtuu. Haihtuminen sitoo energiaa ympäristöstä, jolloin lämpömittarin lukema laskee. On suotavaa, että oppilaiden kanssa toteutetaan muitakin kokeellisia töitä käsiteltäessä olomuodon muutoksia.

6 Kokeellinen työ

Kokeellisessa työssä muodostamme hiilidioksidikuplia saippuavedestä ja kuivajäästä. Valitsemamme kokeellinen työ on näyttävä ja kysymyksiä herättävä olomuodon muutoksiin perustuva työ. Tämä kokeellinen työ havainnollistaa luokalle makrotasolla havaittavan olomuodon fysikaalisen muutoksen. Valitsimme kokeelliseksi työksi hiilidioksidikuplat, koska se johdattelee oppitunnin hyvin olomuodon muutoksen opettamiseen ja innostaa oppilaita aihetta kohtaan. Työ löytyy liitteestä 1.

6.1 Työn taustaa

Työssä käytetään kuivajäätä, joka on kiinteää hiilidioksidia. Kiinteän hiilidioksidin lämpötila on $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hiilidioksidikaasua alkaa muodostumaan heti, kun kuivajäätä asetetaan veteen. Muodostuva kaasu on kylmää, joka laskee astian sisällä ja sen ympärillä olevan ilman lämpötilaa. Pilvimäinen utu syntyy, kun ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy hiilidioksidin sublimoitumisen aiheuttaman lämpötilan laskun seurauksena.

6.2 Työturvallisuus

Kokeellista työtä suoritettaessa tulee käyttää suojahanskoja, suojalaseja ja työtakkia. Kuivajäätä käsiteltäessä tulee käyttää asianmukaisia suojahanskoja, sillä kiinteän hiilidioksidin lämpötila on $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Syntyvän hiilidioksidikaasun hengittämistä tulee välttää. Suosituksena on, että opettaja annostelee kuivajäät imupulloihin työturvallisuuden parantamiseksi.

6.3 Työn merkitys

Hiilidioksidikuplien teko on yksinkertaista ja hauskaa. Tämän työn tarkoitus on herättää kysymyksiä ja kiinnostusta olomuodon muutoksia kohtaan. Hauskan kokeellisen työn yhteydessä oppilaat ymmärtävät myös, miten pilvet syntyvät. Koe soveltuu toteutettavaksi niin peruskoulutasolla kuin lukiotasollakin. Submikroskooppisen tason oppimista voidaan tehostaa vanhemmilla opiskelijoilla siten, että heille annetaan valmiita kysymyksiä työssä tapahtuvista reaktiosta, tai vaihtoehtoisesti oppilaat keksivät itse kysymykset. Symbolisen tason oppimista voidaan harjoittaa päättelemällä ja kirjoittamalla reaktioyhtälöt. Alakoululaisten kanssa voidaan pohtia helpompia kysymyksiä, kuten hiilidioksidin, ilman ja vesihöyryn massoihin liittyviä kysymyksiä.

6.4 Työn suoritus

Ryhmä jaetaan pienempiin ryhmiin pareittain. Toinen ryhmän jäsenistä täyttää imupullon puolillaan vedellä ja toinen kiinnittää suppilon vesiletkuun ja kiinnittää sen imupulloon. Kun laitteisto on valmiina, kuivajäälevystä rikotaan pala, joka pudotetaan imupulloon. Toinen ryhmäläisistä upottaa suppilon saippuaveteen ja kun suppilo on nostettu saippualliuoksesta, toinen ryhmäläinen asettaa kätensä imupullon päälle. Näin suppilon päähän alkaa muodostumaan hiilidioksidikupla, joka

pudotetaan esimerkiksi pehmeän paperin päälle. Ryhmäläiset vaihtelevat roolia siten, että molemmat pääsevät tekemään kuplia.

7 Pedagoginen toteutus

Ennen opetustilannetta opiskelijoille on annettu kaksi ennakkotehtävää. Ennakkotehtävänä kaikki tutustuvat ennen opetuskertaa olomuodon muutoksia havainnollistavaan simulaatioon ja he pohtivat, mitä eroa on haihtumisella ja höyrystymisellä. Ennakkotehtävät pohjustavat opetuskertamme tärkeimpiä näkökohtia liittyen oppilaiden haasteisiin ymmärtää olomuodon muutoksia.

Opetustapahtuma alkaa pareittain suoritettavalla kokeellisella työllä, jossa teemme hiilidioksidikuplia. Kokeellisella työllä saadaan opiskelijat virittäytymään aihealueeseen ja valmiiksi syventämään heidän käsityksiä olomuodon muutoksista. Kokeellisen työn ohessa annamme opiskelijoille vastattavaksi kolme kysymystä. Kysymyksissä opiskelijat havainnoivat kokeellisessa työssä tapahtuvia olomuodon muutoksia ja he miettivät, mitä haasteita oppilailla voisi olla olomuodon muutoksen ymmärtämisessä. Kokeellinen työ ja kysymykset johdattelevat opiskelijoita seuraavaksi käsiteltävään tutkimuskirjallisuuteen. Käymme opiskelijoiden kanssa läpi kohtia, joita oppilaiden on vaikea hahmottaa tai ymmärtää olomuodon muutoksista. Havainnollistamme opiskelijoille tapoja, joiden avulla oppilaat saattaisivat hahmottaa olomuodon muutoksia paremmin. Tämä havainnollistaminen tapahtuu toiminnallisen esimerkin kautta, jossa oppilaat jakautuvat vähintään kolmen hengen ryhmiin, joissa kukin ryhmä toimii aineen hiukkasina annetuissa olomuodoissa. Kukin ryhmä demonstroi, miten aineen hiukkaset käyttäytyvät kyseisessä olomuodossa ja miten hiukkasten käyttäytyminen muuttuu olomuodon muuttuessa.

Tutkimuskirjallisuuden jälkeen käsitellään olomuodon muutoksen yhteys lukion opetussuunnitelmaan, jonka jälkeen käydään myös läpi lukion oppikirjan näkökulmia ja laajuutta käsitellä olomuodon muutoksia. Oppikirjan näkökulmaa kerrottaessa pohditaan vastausta ennakkotehtävien kysymyksiin. Lisäksi opiskelijoiden kanssa pohditaan lukion oppimateriaalissa epäselväksi jääviä asioita. Pohdimme muun muassa, miksi yleisesti puhutaan sekä atomihilasta että kovalenttihilasta ja onko näillä käsitteillä jotain eroa. Oppitunnin lopuksi käydään läpi opetuksellista näkökulmaa olomuodon muutoksiin liittyen, jolloin pohditaan myös fysiikan ja kemian aineopettajalta saatuja näkökulmia olomuodon muutoksen opettamiseen ja

haasteisiin. Oppitunti päätetään yhteiseen reflektointiin ja mahdollisten kysymysten ja epäkohtien läpikäymiseen.

8 Yhteenveto ja johtopäätökset

Lukion opetussuunnitelmassa olomuodon muutoksia ei käydä läpi omana aihealuekokonaisuutena, vaan ne käydään läpi toisen suuremman aihealueen, kuten aineen rakenteen ja ominaisuuksien ohessa. Olomuodon muutosten merkitys ympäristön ja arkielämän kemian kannalta on tärkeä. Tästä syystä voidaan olla lähes varmoja, että aihe tulee sisältymään lukion opetuksen materiaaleihin jatkossakin, vaikkei sitä olla eritelty omaksi kokonaisuudeksi vuoden 2021 lukion opetussuunnitelman luonnoksessa.

Lukion Mooli 1- oppikirjassa (Lehtiniemi & Turpeenoja, 2009) olomuodon muutokset käsitellään samassa kappaleessa alkuaineiden ja kemiallisten sidosten kanssa. Olomuodon muutoksiin liittyviä käsitteitä tarkastellaan myös lukion kemian muilla kursseilla, mutta olomuodon muutosten painotus on selvästi lukion ensimmäisellä kurssilla.

Tutkimuskirjallisuudessa esitetään, että oppilaiden on huomattu mm. sekoittavan olomuodon fysikaalisen- ja kemiallisen muutoksen (Loughran, Mulhall, & Berry, 2002). Oppilaille muodostuu myös helposti vaihtoehtoisia käsityksiä erityisesti submikroskooppisella tasolla käsiteltäessä olomuodon muutoksia (Garnett, Garnett, & Hackling, 1995). Tähän on kuitenkin kehitelty ratkaisuja, kuten Chin-Chung Tsainin (Tsai, 1999) tutkimuksessa suoritettu toiminnallinen tehtävä, jossa huomattiin toiminnallisuuden olevan oppilaiden oppimisprosessin kannalta avainasemassa.

Olomuodon muutoksen opetuksellisen näkökulman tueksi haastattelimme fyziikan ja kemian aineopettajaa, joka kertoi olomuodon opettamiseen liittyviä haasteita ja käsitteitä, joita oppilaiden on vaikea ymmärtää. Esille nousi oppilaiden haasteet tulkita sitä, että vapautuuko vai sitoutuuko eri olomuodon muutoksissa energiaa. Myös energiakaavioiden ymmärtäminen on huomattu olevan oppilaille hankalaa. Opettaja piti tärkeänä sitä, että tutkimuksellisuutta ja toiminnallisuutta pidetään kemian opetuksessa mukana jatkossakin.

Kokeellinen työ johdattelee yhdessä ennakkotehtävien kanssa opiskelijat olomuodon muutoksen keskeisten käsitteiden läpikäymiseen opetustilanteessa.

Kokeellisen työn tarkoitus on herättää kiinnostusta ja kysymyksiä aihealuetta sekä kemiaa kohtaan. Sen oppimistehoa voidaan parantaa lisäämällä työn oheen syventäviä kysymyksiä, joihin oppilaat voivat vastata kokeellisen työn yhteydessä. Työssä kuuluu käyttää asianmukaisia suojahanskoja, työtakkia, suojalaseja ja välttää reaktiossa syntyvän hiilidioksidikaasun hengittämistä.

Pedagoginen toteutus alkaa siitä, kun opiskelijat valmistautuvat opetustapahtumaan tekemällä kaksi ennakkotehtävää. Ennakkotehtävät johdattelevat opiskelijat yhdessä kokeellisen työn kanssa olomuodon muutoksiin liittyvän tutkimuskirjallisuuden käsittelemiseen. Opetustapahtuman päätarkoitus on käydä läpi tapaa ja tyyliä opettaa olomuodon muutoksia ja keskustella käsitteistä, jotka helposti sekoittuvat keskenään. Opetustapahtumassa tuodaan esille toiminnallinen esimerkki, jonka tarkoituksena on edesauttaa olomuodon muutosten submikroskooppisen tason hahmottamista. Opetustapahtuma päättyy reflektointiin ja epäkohtien läpikäymiseen.

Pedagoginen toteutus on suunnattu yliopisto-opiskelijoiden vertaisopetusta varten, jossa heitä opetetaan opettamaan olomuodon muutoksia erityisesti lukiossa. Lukiossa tai peruskoulussa aihealueen käsittely ja pedagoginen toteutus eroaisivat selkeästi artikkelissamme mainitusta tavasta ja tyylistä.

Lähteet

- Driver, R. (1983). *The Pupil as Scientist?* Milton Keynes, England: Open University Press.
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548.
<https://doi.org/10.1021/ed076p548>
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education*, 25(1), 69–96. <https://doi.org/10.1080/03057269508560050>
- Hautala, S.-M., Mötlik, M., & Nikula, S. (2018). Olomuodon muutos. *LUMAT-B: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 3(1). Retrieved from <https://www.lumat.fi/index.php/lumat-b/article/view/368>
- Kemianluokka Gadolin työohjeet osa 1. (2017, February 23). Retrieved 12 November 2019, from Helsingin yliopisto website: <https://www.helsinki.fi/fi/tiedekasvatus/kemianluokka-gadolin-tyoohjeet-osa-1>
- Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2002). *Attempting to capture and portray science teachers' pedagogical content knowledge: Chemical Reactions*. Melbourne: Faculty of Education, Monash University, Australia.
- Lukion opetussuunnitelmien perusteet. (2015). Retrieved from <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/lukion-opetussuunnitelmien-perusteet>

- Olomuoto. (2019). In *Wikipedia*. Retrieved from <https://fi.wikipedia.org/w/index.php?title=Olomuoto&oldid=18473952>
- Tsai, C.-C. (1999). Overcoming Junior High School Students' Misconceptions about Microscopic Views of Phase Change: A Study of an Analogy Activity. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 83–91. Retrieved from JSTOR.
- Turpeenoja, L., & Lehtiniemi, K. (2009). *Mooli 1, KE1, Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: Otava.

Liite 1 Hiilidioksidikuplat

Reagenssit

- Kuivajää
- Vesi
- Vesi-saippualiuos
- Elintarvikeväri

Työturvallisuus

Kokeellista työtä suoritettaessa tulee käyttää suojahanskoja, suojalaseja ja työtakkia. Kuivajäätä käsiteltäessä tulee käyttää asianmukaisia suojahanskoja, sillä kiinteän hiilidioksidin lämpötila on $-78,5^{\circ}\text{C}$. Kokeen aikana kaasuuntuvan hiilidioksidin hengittämistä tulee välttää. Suosituksena on, että opettaja annostelee kuivajäät imupulloihin työturvallisuuden parantamiseksi.

Tarvikkeet

- Imupullo
- Letku
- Käsipaperia
- Suppilo
- Astia saippualiuokselle
- Vesihaude



Työn suoritus

1. Täytä imupullo puolilleen kuumalla vedellä (lisää elintarvikeväriä halutessasi).
2. Kiinnitä imupulloon letku (ja letkun päähän suppilo).
3. Lisää pala kuivajäätä imupulloon.
4. Upota suppilo/letkun pää saippualliuokseen. (Huom.! älä pidä tällöin kättä imupullon suuaukolla)
5. Peitä imupullon suuaukko kädellä.
6. Pudota syntyneet kuplat pyyhkeen päälle, jolloin ne pysyvät kauemmin koossa.

