

LOISTAVAN OPPILASTYÖN KEHITTÄMINEN

Loisteaineet ja niitä käsittelevä oppilastyö lukion opetussuunnitelmalle 2019

Pro Gradu-tutkielma

Herkko Laukkanen

Kemian opettajan pääaine

Kemian laitos

Turun yliopisto

Tammikuu 2022

TURUN YLIOPISTO

Kemian laitos

LAUKKANEN, HERKKO: Loistavan Oppilastyön Kehittäminen

Tutkielma, 55 s.

Kemian opettajan pääaine

Tammikuu 2022

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -järjestelmällä.

Lukioiden vuonna 2021 voimaan astuvat opetussuunnitelmat seuraavat vuonna 2019 suunniteltuja lukion opetussuunnitelman perusteita, ja niissä on havaittavissa suuria muutoksia aiempiin verrattuna. Eräs suuri muutos liittyy oppimisen jäsentelyyn: kurssien sijaan opetus esitetään moduuleissa, joista kootaan opintojaksot koulukohtaisesti. Opintojakso voi muodostua yhdestä tai useammasta moduulista, ja nämä moduulit voivat olla kaikki samasta tai useammasta eri oppiaineesta. Useamman oppiaineen opintokokonaisuudet luovat tarpeen oppiainerajoja ylittävälle oppilastöille.

Kemian ja fysiikan opetuksen tavoitteet ovat suurilta osin päällekkäisiä, joten näiden kahden aineen yhdistäminen on luontaista. Kummankin aineen eräs tärkeä tavoite on ymmärtää näiden tieteiden sovelluksia yhteiskunnassa ja teknologiassa. Eräs tällainen sovellus on loisteaineiden ja luminesenssin käyttäminen erilaisissa käyttökohteissa, kuten LED-lamppujen värin korjaamisessa. Luminesenssia ja loisteaineita voidaan käsitellä kemian moduuliin KE5 Kemiaallinen energia ja kiertotalous tai fysiikan moduuliin FY8 Aine, säteily ja kvantittuminen liittyen.

Luminesenssi-ilmiössä materiaali absorboi energiaa, joka purkautuu valon fotonina. Jos energia absorboidaan valosta, ilmiötä kutsutaan fotoluminesenssiksi. Fotoluminesenssissa absorboidun ja emittoidun valon aallonpituudet eroavat toisistaan. Materiaaleja, joissa esiintyy luminesenssia, kutsutaan loisteaineiksi. Ceriumilla seostettu yttriumalumiinigranaatti ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$) on loisteaine, jossa emittoidun fotonin aallonpituus on virittävää pidempi, ja sitä voidaan tämän takia käyttää sinisten ledien värin säätämiseen, sillä se hohtaa sinisen valon vaikutuksesta keltaisena.

Oppilastyö, jossa lukiolaiset valmistavat $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ ja päälylystävät sillä ledin kehitettiin Stuckeyn et al. artikkelissa “Microwave Synthesis of a Prominent LED Phosphor for School Students: Chemistry’s Contribution to Sustainable Lighting” (*J. Chem. Educ.* vol. 96, no. 12) esitellyn demonstraation pohjalta. Kehittämisessä hyödynnettiin kehittämistutkimusta kaksisyklisenä prosessina, jossa kehitettiin ensin oppilastyön laboratorio-osuutta ja sitten vasta työohjeita.

Oppilastyö havaittiin relevantiksi varsinkin yksilöllisellä ja yhteiskunnallisella tasolla, mutta vähemmän relevantiksi ammatillisella tasolla, eli opiskelijat kokivat loisteaineet työn ansiosta mielenkiintoisiksi ja he ymmärsivät loisteaineiden merkitystä yhteiskunnassa, mutta loisteaineiden parissa työskentelystä ei kuitenkaan kiinnostuttu. Tosin ne opiskelijat, jotka ovat kaikkein ahkerimpia ja kiinnostuneimpia kemiasta, kokivat työn muita relevantimmaksi ammatillisella tasolla. Opiskelijat kokivat oppineensa uutta sekä loisteaineista että kemian tutkimuksesta ja työmenetelmistä. Opiskelijat oppivat uutta myös luminesenssin ja loisteaineiden teoriasta, mutta eniten heidän havaittiin oppineen loisteaineiden käyttökohteista, erityisesti arkisista käyttökohteista.

Sisällysluettelo

1 Johdanto	1
2 Kehittämistutkimus	3
3 Teoreettinen ongelma-analyysi	4
3.1 Kemian teoria	4
3.1.1 Luminesenssi ja loisteaineet	5
3.1.2 Yttriumalumiinigranaatin ja muiden loisteaineiden rakenne	6
3.1.3 Loisteaineiden käyttökohteet	7
3.2 Kemian opettamisen teoria	9
3.2.1 Lukioden opetussuunnitelmat vuodesta 2021 alkaen	9
3.2.2 Relevanssiteoria	14
3.2.3 Lähestymistavat oppimiseen ja ChemApproach	16
3.3 Analyysin yhteenveto	17
4 Kehittämisprosessi	21
4.1 Sopivan työn löytäminen	22
4.1.1 Katsaus artikkeliin	22
4.2 Ensimmäinen kehityssykli	23
4.3 Toinen kehityssykli	26
4.4 Työn soveltaminen lukioon	26
4.5 Kehitysprosessin tuloksia	27
5 Kehittämistuotos	28
5.1 Materiaalit ja työvälineet	28
5.2 Työvaiheet 1–2: Materiaalien mittaaminen ja liuoksen valmistaminen	30
5.3 Työvaihe 3: Synteesi	31
5.4 Työvaiheet 4–5: Tuotteen tarkistaminen ja lampun päällystäminen	32
5.5 Riskit	34
5.6 Työn kehittäminen havainnoinnin pohjalta	34
5.7 Jatkokehittäminen	34

6 Tulokset.....	36
6.1 Millaisia vahvuuksia ja kehittämiskohteita yliopisto-opiskelijat havaitsivat loisteaineisiin liittyvässä työssä?.....	36
6.1.1 Kokevatko työn kokeilleet opiskelijat työn lukio-opetukseen sopivaksi?	37
6.1.2 Mitä vahvuuksia työn kokeilleet opiskelijat työssä tunnistavat?	38
6.1.3 Mitä kehittämiskohteita työn kokeilleet opiskelijat työssä tunnistavat?.....	40
6.2 Millä tavalla yliopisto-opiskelijat näkivät loisteaineet ainerajat ylittävänä aihekokonaisuutena?	42
6.3 Miten yliopisto-opiskelijat kokivat loisteaineiden ja niihin liittyvän työn relevanssin?	46
6.3 Miten opiskelijoiden lähestymistavat kemian oppimiseen vaikutti heidän kokemuksiinsa loisteaineisiin liittyvästä työstä?	48
7 Johtopäätökset ja pohdinta	50
Viiteluettelo.....	53

Käytetyt lyhenteet selitteineen

LOPS	= lukion opetussuunnitelma
LED	= light emitting diode = valoa emittoiva diodi
YAG:Ce	= yttriumalumiinigranaatti, jossa ceriumia seosionina

1 Johdanto

Uusi, vuonna 2021 voimaan astuva lukion opetussuunnitelma (LOPS) 2019 muuttaa lukion kurssijärjestelmää huomattavasti erilaiseksi aikaisempiin opetussuunnitelmiin verrattuna. Keskeisenä uudistuksena opetussuunnitelmassa ei enää esitetä kursseja kuten ennen, vaan opetus on jäsenneilty moduuleihin, joista opintojaksot kootaan lukiokohtaisesti. [1] Tällainen asetelma mahdollistaa monitieteisten opintojaksojen järjestämisen. Useamman oppiaineen sisältöjä omaavassa opetusjaksossa voi olla opetussisältöä esimerkiksi sekä kemiasta että fysiikasta.

Tähän asti lukioon suunnitellut tutkimukselliset laboratoriotyöt on suunniteltu vain yhden aineen opetuksen sisältöjä ja tavoitteita silmällä pitäen, ja mikäli ne ovat sivunneet muiden aineiden aiheita, se on ollut vain onnellinen sattuma. LOPS 2019 kuitenkin luo tarpeen ainerajat aidosti ylittävälle laaja-alaisille töille, jotka voi helposti yhdistää esimerkiksi sekä fysiikkaan että kemiaan, sillä samalla kurssilla saatetaan käsitellä kumpaakin ainetta.

LOPSissa 2019 laaja-alaisen osaamisen tavoitteeksi kemian opetuksessa annetaan muun muassa opiskelijan yhteiskunnallisten osaamisen tukeminen. Tähän kuuluu se, että opiskelija ymmärtää kemian merkityksen yhteiskunnassa ja teknologiassa. [1] Kestävän kehityksen edistäminen on eräs keskeinen yhteiskunnallinen tavoite, johon liittyy kemia sekä omana tieteenalanaan että osana teknologisten ratkaisujen kehittämistä.

Kestävän kehityksen kannalta LED-valot ovat paras vaihtoehto lampuissa, sillä ne ovat pitkäikäisiä ja tuottavat valoa tehokkaasti. Usein ledin tuottamaan valoa pitää kuitenkin jotenkin muokata, jotta saadaan aikaiseksi ihmisille mieluista valkoista valoa. Valon muokkaamiseen on olemassa erilaisia strategioita. Eräs näistä strategioista on ledien päällystäminen sellaisilla materiaaleilla, joissa esiintyy luminesenssia. [2]

Luminesenssi on ilmiö, jossa valon fotonit hetkellisesti absorboituu ioniin, joka absorption seurauksena emittoi fotonin, jonka aallonpituus eroaa alkuperäisestä fotonista. Aineita, joissa esiintyy luminesenssia, kutsutaan loisteaineiksi. Yttriumalumiinigranaatti, johon on seostettu ceriumioneja ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$) on loisteaine, joka absorboi valoa UV:n sekä sinisen valon aallonpituuksilla, emittoiden tämän seurauksena keltaista valoa. [2] Vuonna 2014 fysiikan Nobel-palkinto myönnettiin Isamu Akasakille, Hiroshi Amanolle ja Shuji Nakamuralle sinisten ledien kehittämisestä, sillä se mahdollisti entistä kirkkaampien energiaa säästävien valkoisten valaisimien kehittämisen. [3] Valkoinen LED voidaan valmistaa esimerkiksi korjaamalla sinisen ledin väriä $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$

-yhdistettä sisältävällä päällysteellä, sillä yhdistämällä sinistä ja keltaista valoa saadaan aikaan valoa, joka on hyvin lähellä valkoista.

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää lukioon sopiva oppilastyö, jossa valmistetaan ceriumilla seostettua yttriumalumiinigranaattia sekä havainnollistetaan loisteaineiden merkitystä kestävän tulevaisuuden kannalta. Tutkimus toteutettiin kehittämistutkimuksena. Oppilastyön kehityksen lähtökohtana käytettiin Diekemperin ym. aiemmin julkaisemaa demonstraatiota [2], jossa oppilaille havainnollistetaan loisteaineen valmistamista ja ledin päällystämistä. Työstä pyrittiin saamaan sellainen, joka soveltuu LOPSissa 2019 esitettyihin fysiikan ja kemian tavoitteisiin ja sisältöihin, näitä kahta ainetta eheyttäen. Näin autetaan opiskelijoita hahmottamaan, etteivät luonnontieteet ole yksittäisiä kokonaisuuksia, vaan niiden välillä on vahvoja yhteyksiä.

Lukion opetussuunnitelman perusteissa on esitetty kaikille lukio-opinnoille yhteisiä laaja-alaisia tavoitteita. Työstä pyrittiin tekemään sellainen, että se palvelee mahdollisimman monta näistä tavoitteista. Erityisesti vuorovaikutusosaamista, monitieteistä ja luovaa osaamista sekä eettisyyttä ja ympäristöosaamista. Lisäksi työllä haluttiin lisätä opiskelijoiden kiinnostusta luonnontieteisiin, sekä havainnollistaa heille kemian osa-aluetta, joka saattaa olla heille aiemmin tuntemattomampi, ja sen merkitystä heidän arjessaan.

Alkuperäinen demonstraatio, jossa työ toteutetaan yliopisto-opiskelijoiden johtamana, haluttiin muuttaa oppilastyöksi, jonka lukio-opiskelijat voivat tehdä itse. Diekemperin ym. artikkelissa kuvaamaa kokeellisen osuuden suoraan siirtämistä lukioon tai muuten kouluympäristöön hankaloitti eniten työssä käytetty laboratoriomikroaaltouuni. Erääksi keskeiseksi tavoitteeksi siksi otettiin myös se, että valmiiseen työhön tarvittavat välineet todennäköisesti löytyvät lukioista.

Tutkimuksessa pyrittiin löytämään vastaus seuraaviin kysymyksiin:

- Millä tavalla loisteaineisiin liittyvä oppilastyö voisi tukea lukion opetussuunnitelman tavoitteiden toteutumista?
- Millä tavalla loisteaineisiin liittyvä oppilastyö voisi tukea sitä, kuinka relevantiksi opiskelijat kokevat kemian opetuksen?
- Millaisia asioita tulee huomioida loisteaineisiin liittyvää oppilastyötä kehitettäessä lukioon?
- Millaisia vahvuuksia ja kehittämiskohteita yliopisto-opiskelijat havaitsivat loisteaineisiin liittyvässä työssä?
- Millä tavalla yliopisto-opiskelijat näkivät loisteaineet ainerajat ylittävänä aihekokonaisuutena?
- Miten yliopisto-opiskelijat kokivat loisteaineiden ja niihin liittyvän työn relevanssin?
- Miten opiskelijoiden lähestymistavat kemian oppimiseen vaikuttivat heidän kokemuksiinsa loisteaineisiin liittyvästä työstä?

2 Kehittämistutkimus

Tutkimus päätettiin toteuttaa kehittämistutkimuksena. Kehittämistutkimus on suhteellisen tuore ja vähän tunnettu tutkimussuuntaus, jolle ei ole vielä annettu yksiselitteistä määritelmää. Sille annetuissa erilaisissa määritelmissä kuitenkin havaitaan yhteneviä, kehittämistutkimukselle ominaisia, piirteitä. Ensinnäkin kehittämistutkimus on tyypillisesti opetukseen liittyvää tai sitä tukevaa tutkimusta. Toiseksi kehittämistutkimus on luonteeltaan syklistä ja/tai iteratiivista. Kolmantena yleisenä piirteenä kehitystutkimukselle sen lopputuloksena saadaan tuotos, joka on sellaisenaan valmis käyttöön otettavaksi. [4] Seuraavaksi käydään läpi nämä piirteet tarkemmin.

Kehittämistutkimus liittyy yleensä opetukseen. Tällä tarkoitetaan sitä, että tutkimus kohdistuu jonkin sisällön opettamiseen ja että tutkimuksen tuloksena saadaan mielenkiintoisempi, helpommin ymmärrettävä, mielekkäämpi tai muuten parempi tapa opettaa kyseistä sisältöä. Vaikka kehittämistutkimus liittyykin usein opettamiseen, sitä voidaan soveltaa myös monella muilla aloilla, esimerkiksi insinööritieteissä. [4]

Kehittämistutkimus on syklistä ja/tai iteratiivista. Tämän tutkimuksen kannalta tämä tarkoitti sitä, että kehitettävää työtä kokeiltiin monta kertaa kehityskohteita ja -ideoita etsien ja työtä muokaten opetukseen sopivammaksi. Syklisyys siis tarkoittaa sitä, että samaa toistetaan monta kertaa, tosin pienin muutoksin. Iteratiivisuuteen puolestaan kuuluu se, että tuotoksen kehityksen varrelta pystytään havaitsemaan siitä useampi erilainen versio, eli iteraatio. Tässä tutkimuksessa pystyttiin havaitsemaan työstä itsestään neljä iteraatiota ja työohjeista kolme. [4]

Kehittämistutkimuksen lopputuloksena saadaan käyttöön otettava tuotos. Tämä lopputuotos voisi olla esimerkiksi jokin verkko-oppimisympäristö tai opetusvideo, tai esimerkiksi kokonainen kurssi. Tämän tutkimuksen lopputuloksena saatiin laboratoriotyö, joka voidaan ottaa käyttöön lukio-opetuksessa. [4]

Tällä kertaa kehittämistutkimusta hyödynnettiin siis siten, että aiemmin julkaistua demonstraatiota kehitettiin oppilastyöksi uuteen ympäristöön ja ennen kaikkea lukion opetussuunnitelmaan 2019 sopivaksi. Oppilastyön ja demonstraation suurin ero tässä tutkimuksessa on se, että oppilastyön opiskelijat tekevät itse, demonstraatioissa sen tekee esimerkiksi opettaja opiskelijoiden havainnoidessa. Tässä tutkimuksessa kehitys oli monivaiheinen ja varsinaisia kehityssyklejä pystytään erottamaan kaksi.

Tämä tutkimus mukailee kirjassa Kehittämistutkimus Opetusalalla esitettyä pro gradu- tutkielman rakennetta. [5] Luvussa 3 esitetään tehty teoreettinen ongelma-analyysi, sekä vastataan sen

perusteella kahteen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Luvussa 4 kerrotaan tarkemmin siitä, miten kehitystutkimus toteutettiin tässä tutkimuksessa ja vastataan työn ehkä keskeisimpään tutkimuskysymykseen ”Millaisia asioita tulee huomioida loisteaineisiin liittyvää oppilastyötä kehitettäessä lukioon?”. Viidennessä luvussa kuvaillaan kehitetty harjoitustyö. Luku 6 käsittelee empiiristä ongelma-analyysiä ja sen tuloksia, ja siinä käsitellään loput tutkimuskysymyksistä. Viimeisessä luvussa 7 tehdään saaduista vastauksista yhteenveto sekä pohditaan näitä vastauksia.

3 Teoreettinen ongelma-analyysi

Kemian opettamista tutkittaessa on olennaista tarkastella paitsi kemian luonnontieteellistä teoriaa, myös opettamisen teoriaa. Keskeisesti tarkastellaan sitä, miten nämä sopivat yhteen ja tukevat toisiaan. Tämän tutkimuksen teoreettisessa ongelma-analyysissä pyrittiin selvittämään millä tavalla loisteaineisiin liittyvä oppilastyö voisi tukea lukion opetussuunnitelman tavoitteiden toteutumista, ja millä tavalla loisteaineet liittyvä oppilastyö voisi tukea opiskelijoiden kokemaa relevanssia.

Jotta voitiin vastata ensimmäiseen kysymykseen, piti ensin perehtyä sekä loisteaineisiin että lukion opetussuunnitelmaan. Tarkastelussa kiinnitettiin huomiota siihen, miltä osin loisteaineiden teoria ja käytäntö liittyy Lukion opetussuunnitelman perusteissa 2019 esitettyihin opetuksen tehtäviin ja sen sisältöihin. Jälkimmäistä kysymystä tarkasteltiin perehtymällä relevanssiteoriaan sekä erääseen malliin opiskelijoiden lähestymistavasta oppimiseen.

3.1 Kemian teoria

Kehitettävän oppilastyön aiheeksi valittiin fotoluminesenssi. Fotoluminesenssi on ilmiö, jossa materiaali muuttaa sähkömagneettisen säteilyn aallonpituutta. Tämä tapahtuu, kun sähkömagneettisen säteilyn fotonit virittävät materiaalin hilalla olevia ioneja tai molekyylejä. Elektronin virityksen purkautuessa virittynyt ioni tai molekyyli emittoi fotonin, jonka aallonpituus eroaa virittävästä fotonista. [6] Fotoluminenssista käytetään tässä tutkielmassa myös termiä ”luminesenssi”, mutta muunkinlaista luminenssia on olemassa. Yleisesti luminesenssissa absorboidaan energiaa, joka sitten vapautuu fotonina. Esimerkiksi termoluminesenssissa energia saadaan lämmöstä ja elektroluminesenssissa sähköisestä varauksesta. Materiaaleja, joissa esiintyy luminesenssia, kutsutaan loisteaineiksi. [7]

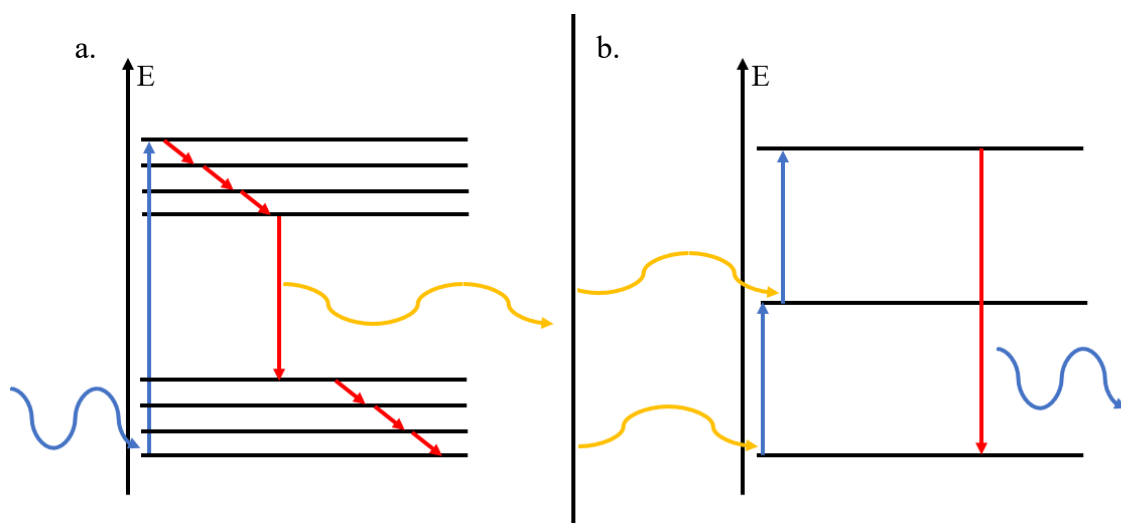
Loisteaineista keskitytään erityisesti yttriumalumiinigranaattiin, johon on seostettu cerium(III)-ioneja. Lisäksi tutustutaan vielä joihinkin loisteaineiden yleisimpiin käyttökohteisiin. Erityisesti tarkastellaan käyttökohteita, jotka liittyvät arkeen, yhteiskuntaan ja ympäristöön, ja erityisesti sellaisiin, jotka edistävät kestävästä tulevaisuuden rakentamista.

3.1.1 Luminesenssi ja loisteaineet

Fotoluminesenssi voidaan luokitella sen perusteella kumman fotonin aallonpituus pidempi, virittävän vai purkautuvan. Down-shiftingissä emittoituvan fotonin aallonpituus on pidempi kuin virittävän fotonin, up-konversiossa se on lyhyempi. [8] Nämä nimet johtuvat siitä, että fotonin energia ja aallonpituus ovat kääntäen verrannollisia, eli pienenergisemmän fotonin aallonpituus on suurempi kuin suurenergisemmän fotonin. Aallonpituudessa tapahtuvan muutoksen takia loisteaineita voidaan käyttää valon värin korjaamiseen esimerkiksi lamputissa ja näytöissä.

Down-shiftingissä fotonien energia pienenee (aallonpituus kasvaa), sillä viritystila voi muuttua paitsi pääenergiakuorien välillä, myös alakuorilta toisille. Fotonin energia absorboidaan yhtenä virityksenä, mutta absorboitu energia purkautuu monena pienenä purkauksena, joista vain kaikkein suurin vapauttaa fotonin. Pienissä purkauksissa energia vapautuu esimerkiksi lämpönä tai värähtelynä. Joissain tapauksissa virityksen on havaittu purkautuvan jopa kahtena fotonina. Tämä ilmiö on nimeltään down-konversio. [8] Kuvassa 4a on annettu esimerkki down-shiftingistä. Virittävän ja purkautuvan fotonin välistä energian muutosta kutsutaan Stokesin siirtymäksi.

Up-konversiossa emittoituvan fotonin energia on suurempi ja aallonpituus pienempi kuin absorboituvan fotonin, sillä ioni absorboi useamman fotonin, yleensä kaksi, ennen emissiota. Emissiossa kaikista absorboituista fotoneista saatu energia purkautuu samanaikaisesti yhdessä fotonissa. [8] Tämä mekanismi on siis tietyllä tavalla päinvastainen kuin down-konversion, sillä tässä tapahtuu useampi virittyminen mutta energia purkautuu vain kerran. Up-konversio on esitetty kuvassa 4b.



Kuva 1: a. Down-shiftingissä fotonin energia pienenee mutta aallonpituus kasvaa
b. Up-konversiossa puolestaan energia kasvaa aallonpituuden pienentyessä.

Fotoluminesenssia voidaan luokitella myös sillä perusteella, loppuuko loiste heti virityksen päätyttyä vai kestääkö loiste hetken. Fluoresenssissa loiste päättyy käytännössä heti virityksen päättyessä. Fosforesenssissa puolestaan loiste kestää silmin havaittavasti hetken vielä virityksen päätyttyäkin, kauemmin kuin yhden millisekunnin. Tämä johtuu siitä, että toisin kuin fluoresenssissa, fosforesenssissa spin-tila muuttuu virityksen aikana. Tällaista muutosta kutsutaan kielletyksi siirtymäksi. Mekanismin verrattain pitkäkestoisempi loiste johtuu siitä, että spin-tilan muuttuminen purkamisen aikana kestää kauemmin kuin sellainen purkautuminen, jossa ei vaadita spin-tilan muutosta. [6], [7] Tämä ero kestossa voidaan havaita, kun loisteainetta viritetään lampulla ja lamppu sammutetaan. Fluoresenssissa materiaalin loiste päättyy heti lampun sammuesssa, kun taas fosforesenssissa loiste päättyy viiveellä lampun sammuttamisesta.

Eräs yleinen loisteaine on yttriumalumiinigranaatti, johon on seostettu cerium(III)-ioneja. Tässä materiaalissa esiintyy fluoresenssia, eli materiaali loistaa vain silloin kun sitä viritetään. Materiaali absorboi sekä UV-valoa että sinistä valoa alueella 300–480 nm, jossa absorption huiput ovat 330 nm sekä 460 nm. Sen emittoima valo on väriltään keltaista ja emission huippu on noin 530 nm. [9] Materiaalissa tapahtuu siis down-shiftingiä, sillä valon aallonpituus kasvaa. Luminesenssissa virittyminen tapahtuu vain tietyllä aallonpituudella, koska ionin elektronikuorten välinen energiaero on kvantittunutta. Myös emittoituvan valon homogeenisuus johtuu energian kvanttiluonteesta.

3.1.2 Yttriumalumiinigranaatin ja muiden loisteaineiden rakenne

Loisteaineiden rakenteessa on yleensä kaksi tai kolme loisteen kannalta tärkeää osaa. Valtaosa materiaalista on ns. ”isäntämateriaalia” tai matriisia, kiderakenteista materiaalia, johon muut osat seostuvat. Matriisit ovat yleensä oksideja, nitridejä tai oksinitridejä. [10] Matriisiin on seostunut jokin seosioni, aktivaattori, joka muuttaa isäntämateriaalin ominaisuuksia. Virityksen voidaan sanoa tapahtuvan aktivaattorilla. Aktivaattorit ovat usein harvinaisia maametalleja, tosin myös jotkin siirtymämetallit voivat toimia aktivaattoreina. [11]

Mahdollinen kolmas osa on toinen seosioni, jota kutsutaan koaktivaattoriksi. Koaktivaattori ei itsessään saa aikaan loistetta, mutta sillä voidaan muuttaa loisteen ominaisuuksia, esimerkiksi aallonpituutta tai kestoä. Eräs koaktivaattori on herkistimeksi kutsuttu seosioni (engl. *sensitizer*), joka auttaa virittymisessä esimerkiksi absorboimalla fotonin ja siirtämällä siitä saadun energian aktivaattorille. [12]

Eräs mahdollinen isäntämateriaali on yttriumalumiinigranaatti, suhdekaavaltaan $Y_3Al_5O_{12}$. Sen kiderakenne muodostuu kolmesta osasta. Nämä osat ovat yttrium, alumiini sekä alumiinitetraoksidi

(AlO_4). Näistä viimeisin, AlO_4 , on itsessään koordinaatioltaan tetraedrinen siten, että alumiini on siinä happiatomien keskellä. Yttrium- ja alumiini-ionit ovat myös koordinoituneet happiatomien suhteen, ja näistä yttrium on koordinaatioltaan dodekaedrinen ja alumiini oktaedrinen. Vaihtoehtoinen ja ehkä informatiivisempi tapa esittää yttriumalumiinigranaatin kaava on $\text{Y}_3\text{Al}_2(\text{AlO}_4)_3$, sillä tässä on otettu huomioon materiaalin rakenteen osat, tosin tämäkään esitys ei ota huomioon koordinaatiota. $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$:n koordinaation rakenteen pienimmäksi yksiköksi, eli on havaittu kuutio, joka sisältää kahdeksan kertaa yhdisteen suhdekaavan, eli yhteensä 160 atomia per yksikkö. [13] Tämä rakenne on suhteellisen monimutkainen, joten sitä esittäessä lukiolaisille kannattaa tehdä jokin yksinkertaistus.

Kehitetyssä oppilastyössä valmistetaan yttriumalumiinigranaattia, jonka hilassa on mukana cerumia seosionina ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$). Ceriumionit ovat hilassa mukana hilavirheenä ja ne ovat sijoittuneet satunnaisesti yttriumalumiinigranaatin rakenteeseen siten, että ne korvaavat osan yttrium-ioneista. [9] Yttriumalumiinigranaatissa cerium toimii aktivaattorina. Yttriumalumiinigranaatti tarjoa cerium-ionille sellaisen ympäristön, että siinä voi tapahtua absorptiota ja emissiota niiden aallonpituuksien alueella kuin aiemmin esitettiin.

Ceriumin lisäksi muillakin aktivaattoreilla voidaan saada aikaan loisteaineita yttriumalumiinigranaatissa. Esimerkiksi terbiumin ollessa aktivaattori-ioni saadaan aikaiseksi vihreää väriä [14], kun taas esimerkiksi ytterbiumilla [15] seostettu $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ on lämpötilariippuvainen loisteaine. Kun yttriumalumiinigranaattiin seostetaan neodyymia, saadaan aikaan eräs keskeinen lasereissa käytettävä loisteaine. [16]

Myös orgaanisia loisteaineita on olemassa, kuten esimerkiksi nestemäisessä liuoksessa oleva peryleeni, joka voidaan saada hohtamaan sinisenä. Orgaanisella luminesenssilla on useita erilaisia mekanismeja, jotka liittyvät kovalenttisten sidosten hybridisaatioon sekä vakauteen. [17] Näin ollen näiden mekanismit eroavat aiemmin esitellystä epäorgaanisten loisteaineiden mekanismista, jossa loiste on mahdollista, jos metalliatomi voi esiintyä ionina, jolla on parittomia elektroneja. Orgaaniset loisteaineet ovat usein kuitenkin epäorgaanisia loisteaineita epävakaampia sekä kemiallisesti että fysikaalisesti, ja niiden loiste on himmeämpää.

3.1.3 Loisteaineiden käyttökohteet

Loisteaineille on olemassa monenlaisia käyttökohteita. Loisteaineita voidaan käyttää niin lääketieteellisessä kuvantamisessa, turvallisuus- ja väärennyksenestomerkinnöissä, lamputissa ja

näytöissä kuin viihde-esineissäkin. Lisäksi luminesenssia esiintyy niin elottomassa kuin elollisessakin luonnossa.

Loisteaineita käytetään erilaisissa väärennöksenesto- ja turvamerkinnoissa. Esimerkiksi seteleissä ja postimerkeissä voidaan käyttää tietyllä alueilla absorboivia ja emittoivia loisteaineita, joita väärentäjien on hankala toistaa. [18] Monien loisteaineiden loisteen kesto on riippuvaista lämmöstä, mutta ei muista ympäristötekijöistä. Näitä loisteaineita käytetään lämpötilan mittaamiseen, ja tämäntyyppisiä lämpömittareita pidetään tarkkoina, sillä niiden kanssa ei tarvitse ottaa ympäristöä huomioon muun kuin lämpötilan osalta. Ytterbiumilla seostettu $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ on eräs loisteaine, jota käytetään lämpömittareissa. [15]

$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ voidaan käyttää LED-lamppujen värin korjaamisessa. Tästä tuli mahdollista, kun Isamu Akasaki, Hiroshi Amano ja Shuji Nakamura onnistuivat kehittämään 90-luvulla sinisen ledin. $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ loistaa sinisen ledin valossa keltaisena. Kun näitä kahta valoa sekoitetaan sopivissa määriin, saadaan aikaan valoa, joka on melkein valkoista. [2], [9] Tutkijat palkittiin vuonna 2014 fysiikan Nobel-palkinnolla sinisen LED-lampun kehittämisestä, sillä se mahdollisti entistä kirkkaampien ja energiaa säästävien väriltään valkoisten valaisimien kehittämisen. [3] Lisäksi loisteaineita voidaan käyttää muunkinlaisissa valaisimissa, esimerkiksi neodyymillä seostettua yttriumalumiinigranaattia käytetään lasersäteiden tuottamisessa. [16] Koska LED-valaisimia käytetään laajasti erilaisissa käyttökohteissa, myös loisteaineita löytyy esimerkiksi näytöissä.

Viime aikoina on tutkittu loisteaineiden käyttämistä *in vivo* bio- ja lääkekuvantamisessa merkkiaineina. Tällaisessa käytössä loisteainetta viritetään ennen kuin se injektoidaan elimistöön. Loisteaine jakautuu elimistöön tai keskittyy erityisesti esimerkiksi syöpäsoluihin. Jakautuminen elimistössä voidaan sitten havaita loisteen avulla. Kuvantamista varten tutkitaan erityisesti infrapuna-alueella hohtavien kestoluminoivien materiaalien käyttämistä. [18]–[20] Pimeässä hohtavia kestoluminoivia aineita käytetään arkisemmin hätäpoistumismerkkinnoissa, joilla ohjataan ihmisten liikettä pimeässä. [18] Tällaisia loisteaineita käytetään myös pimeässä käytettävien laitteiden ohjauspaneelissa ja esimerkiksi myös kellojen numeroissa sekä viisareissa [18] ja erilaisissa pimeässä hohtavissa viihde-esineissä [20].

Loisteaineet eivät ole vain ihmisen keksintöjä, vaan loisteaineita löytyy myös luonnosta. UV-valon vaikutuksesta hohtavia mineraaleja on useampia, esimerkiksi aragoniitti ja pyromorfiitti. Luonnosta on löydetty erilaisia mineraaleja, jotka loistavat laajassa skaalassa erilaisia värejä kuten

laboratorioissakin valmistetut loisteaineet. Näiden loisteaineiden rakenne atomitasolla on myös samanlainen, niissä on matriisi, johon on koordinoitunut jokin aktivaattori. [21]

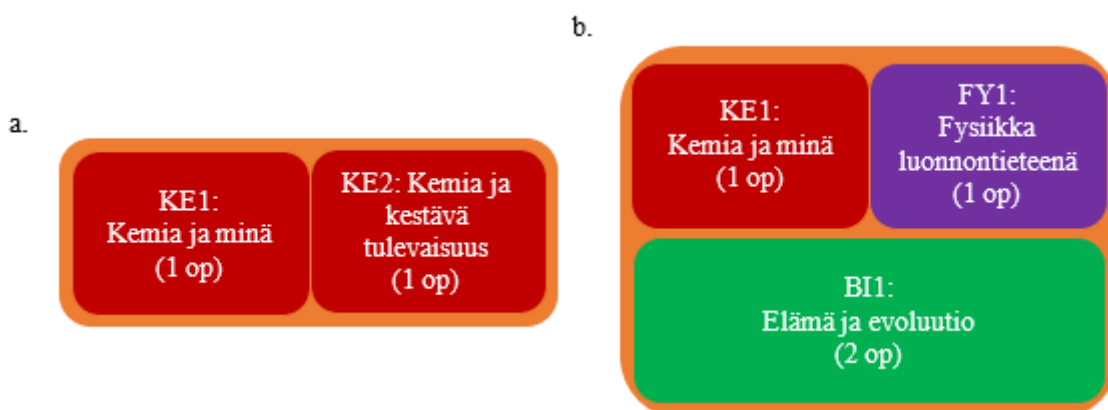
Luminesenssia esiintyy myös elollisessa luonnossa, tosin tämä luminesenssi ei ole mekanismiltaan fotoluminesenssia, vaan sitä kutsutaan bioluminesenssiksi. Bioluminesenssi on mekanismiltaan lähempänä kemiallisista reaktioista aiheutuvaa kemiluminesenssia, sillä bioluminesenssi seuraa tiettyjä biokemiallisia reaktioketjuja. Bioluminesenssia esiintyy luonnossa monissa erilaisissa eläimissä joistakin syvänmerenkaloista tulikärpästen kautta tiettyihin sieniin. [22]

3.2 Kemian opettamisen teoria

Kemian opettamisen teorian osuudessa kirjallisuuskatsausta keskitytään ensin lukioissa syksyllä 2021 voimaan astuvaa opetussuunnitelmaa, joka esittelee Lukion Opetussuunnitelman perusteissa 2019. Tämän jälkeen käsitellään luonnontieteiden relevanssia käyttäen apuna relevanssiteoriaa.

3.2.1 Lukioden opetussuunnitelmat vuodesta 2021 alkaen

Lukion opetussuunnitelman perusteet (LOPS) 2019 ei esittele suoraan kursseja, vaan siinä oppiaineiden sisältö on jäsennelty 1–3 opintopisteen moduuleihin. Nämä moduulit eivät kuitenkaan suoraan vastaa aiempien suunnitelmien kursseja, vaan ne on korjattu opintojaksoilla. Kun lukiossa suunnitellaan koulukohtaista opetussuunnitelmaa, samalla kootaan lukion tarjoamat opintojaksot moduuleista. Opintojakso voi muodostua yhdestä moduulista, mutta siihen voidaan sisällyttää myös useampi moduuli. Vaikka moduulit ovatkin oppiainekohtaisia, opintojaksot voi koota myös oppiainerajat ylittävästi. [1] Esimerkiksi kemian kaksi ensimmäistä moduulia KE1: Kemia ja minä sekä KE2: Kemia ja kestävä tulevaisuus voisi koota yhdeksi kemian opintojaksoksi (kuva 1a). Toisena esimerkkinä kemian, fysiikan ja biologian ensimmäiset moduulit KE1: Kemia ja minä,



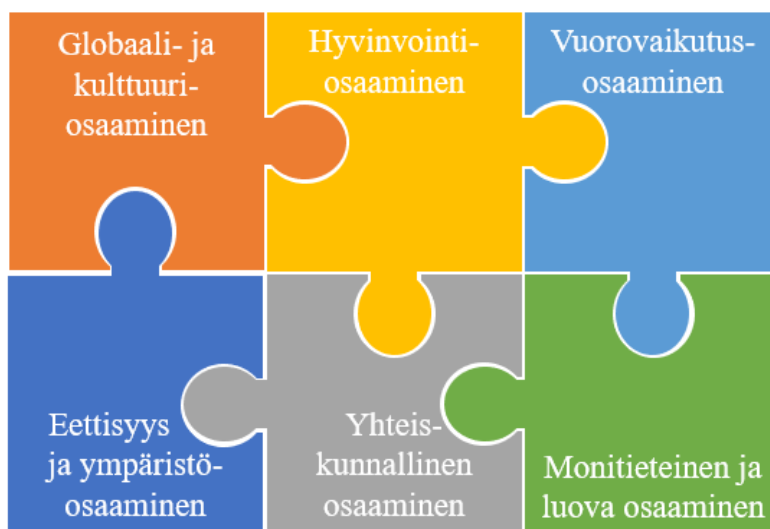
Kuva 2: Kaksi esimerkkiä opintojaksojen kokoamisesta. Opintojakso voidaan koota yhdestä tai useammasta moduulista. a) Moduulit voivat olla samasta oppiaineesta, tai b) Moduulit voivat myös olla kahdesta tai useammasta eri oppiaineesta.

FY1: Fysiikka luonnontieteenä ja BI1: Elämä ja evoluutio voisi koota yhdeksi tiederajat ylittäväksi opintojaksoksi (kuva 1b).

LOPSin mukaan eräitä keskeisimpiä kemian ja fysiikan opetuksen tehtäviä on auttaa opiskelijoita ymmärtämään näiden tieteiden sovellusten merkitystä yhteiskunnassa, teknologiassa ja ympäristöhaasteiden ratkaisuissa. Opetus kehittää opiskelijoiden luonnontieteellistä ajattelua ja auttaa opiskelijaa omaksumaan tietoja ja taitoja. Tämä puolestaan kehittää opiskelijoiden kykyä tehdä erilaisia arjen valintoja ja ottaa osaa yhteiskunnalliseen keskusteluun ja päätöksentekoon. [1]

Opetuksen tärkeimpiä lähtökohtia ovat luonnollisesti havainnointi ja kokeellisuus. Lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaan tämä tukee käsitteiden omaksumista ja ymmärtämistä, sekä luonnontieteiden luonteen ymmärtämistä. Tutkimisen taidot kehittyvät opintojen myötä. Kokeellinen työskentely kehittää laboratoriotyöskentelyn, yhteistyön ja kriittisen ajattelun taitoja, sekä innostaa kemian ja fysiikan opiskeluun. Opintojen edetessä opiskelijat oppivat myös suunnittelemaan omaa kokeellista työskentelyä. [1] Kokeellisen työskentelyn merkitystä painotetaan opetussuunnitelman perusteissa koko kemian osuudessa, sekä moduulikohtaisissa kuvauksissa että yleisessä osiossa.

Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019 määrittelee kaikelle lukio-opetukselle yhteisiä, laaja-alaisen osaamisen tavoitteita. Nämä tavoitteet ovat hyvinvointiosaaminen, vuorovaikutusosaaminen, eettisyys ja ympäristöosaaminen, globaali- ja kulttuuriosaaminen, yhteiskunnallinen osaaminen sekä monitieteinen ja luova osaaminen. Näiden tavoitteiden tehtävänä on kehittää opiskelijan yleissivistystä, sekä kasvattaa hänet hyväksi ihmiseksi, jolla on hyvät valmiudet niin jatko-opintoihin ja työelämään kuin myös kestävän tulevaisuuden kehittämiseen, kuten kuvassa 2 esitetään. Laaja-alainen osaaminen on keskeistä niin ainekohtaisesti kuin myös oppiaineita yhdistävästi. [1]



Kuva 3: Lukion opetussuunnitelman mukaan hyvä ihminen muodostuu silloin, kun opetuksessa yhdistyy kaikki laaja-alaisen osaamisen alueet.

Seuraavaksi käydään nämä laaja-alaisen osaamisen tavoitteet siltä osalta, miten ne liittyvät kemian ja fysiikan opintoihin.

Vuorovaikutusosaaminen tukee opiskelijan vuorovaikutustaitojen kehittymistä. Vuorovaikutukseen sisältyy sekä empaattisuutta että ristiriitojen ja konfliktitilanteiden käsittelyä ja purkamista. Kemian ja fysiikan harjoitustyöt kehittävät opiskelijan vuorovaikutuksellisia taitoja. Perinteisen laboratoriotyöskentelyn lisäksi voidaan hyödyntää monipuolisesti muitakin ryhmätyöskentelytapoja. Kemian opetuksessa tulee kiinnittää huomiota arkikielen sekä kemian tieteellisen kielen eroihin. Fysiikassa ja kemiassa opiskelijat oppivat myös pitkäjänteisyyttä ja vastuunottamista. [1]

Hyvinvointiosaaminen liittyy opiskelijan identiteetin sekä itsetuntemuksen rakentamiseen. Lisäksi tähän osaamiseen liittyy nimensä mukaisesti sekä opiskelijan oman että muiden, kuten myös yhteisöjen ja ympäristön hyvinvoinnin kehittäminen ja vaaliminen. Kemian opetuksen pohjalta opiskelija oppii, miten kemian avulla voidaan tukea sekä ihmisten että ympäristön hyvinvointia. Opiskelija ymmärtää miten hän voi vaikuttaa näihin hyvinvointeihin omilla valinnoillaan. [1]

Globaali- ja kulttuuriosaamisen saralla opiskelija oppii omasta sekä muiden identiteeteistä, kielistä ja uskonnoista. Opiskelija oppii refleктоimaan ja arvostamaan erilaisia kulttuureja sekä näiden arvoja. Eettisyys ja ympäristöosaaminen liittyy siihen, miten opiskelija osaa suunnitella ja arvioida toimintaansa eettisyyden ja vastuullisuuden lähtökohdista. Tähän osaamiseen kytkeytyy vahvasti kestävä kehitys. Kemian opetuksessa opiskelijat oppivat ympäristöongelmista, kuten ilmastonmuutoksesta, niiden syistä ja kemian tarjoamista ratkaisuksista näihin ongelmiin. Nämä laaja-alaisen osaamisen alueet kehittyvät kemiassa opiskelijoiden luonnontieteellisen ajattelun sekä tiedon kriittistä tarkastelun kehittyessä. Kemian innovaatioista oppiminen kehittää myös näitä osaamisia. [1]

Hyvinvointiosaaminen, globaali- ja kulttuuriosaaminen sekä eettisyys ja ympäristöosaaminen otetaan fysiikan opetuksessa huomioon lisäämällä opiskelijoiden ymmärrystä fysiikan merkityksestä kestävästä tulevaisuudesta rakentamisessa. Opiskelijoiden vastuunottaminen tekemisistään sekä ympäristöstä kehittyy opetuksen myötä. Lisäksi opiskelijat oppivat soveltamaan tietojaan fysiikan merkityksestä kestävässä tulevaisuudessa. [1]

Yhteiskunnallisen osaamisen myötä opiskelija ymmärtää ja arvostaa demokratiaa, oikeudenmukaisuutta sekä tasa-arvoon perustuvaa yhteiskuntaa. Tämän lisäksi opiskelija oppii ottamaan osaa yhteiskunnalliseen päätöksentekoon. Kemiassa myös tämä laaja-alaisen osaamisen alue kehittyy samalla kun opiskelijoiden luonnontieteellisen ajattelun ja tiedon kriittisen tarkastelun taidot kehittyvät. Opiskelija oppiessaan kemian innovaatioista kehittää myös näitä osaamisia. Myös

fysiikassa annetaan opiskelijoille valmius osallistua yhteiskunnalliseen keskusteluun opettamalla mm. luonnontieteellistä ajattelua sekä tiedonhankintataitoja ja tiedon luotettavuuden arviointia. [1]

Monitieteinen ja luova osaaminen on tietyllä tapaa hyvin monipuolinen osaamisen alue. Tämä osaaminen käsittää opiskelijan ajattelun, näkemysten ja toiminnan arvolähtökohtien pohdintaa ja reflektiota eettiseltä ja ekologiselta kannalta. Opiskelija tutustuu erilaisiin tapoihin hankkia ja esittää tietoa samalla kehittäen kykyään arvioida tietoa kriittisesti. Opiskelijan monilukutaito kehittyy laaja-alaiseen käsitykseen perustuen, jolloin opiskelijan uteliaisuus ja tiedonetsintätaidot paranevat. Opiskelija oppii näkemään ympäristön, talouden, teknologian ja politiikan välisiä yhteyksiä. [1]

Monitieteinen osaaminen kehittyy kemian opinnoissa käytettävien monipuolisten mallien myötä sekä tulkitsemalla kemiaan liittyviä tekstejä, kuvia, videoita sekä simulaatioita. Kemian ja fysiikan opetuksessa käytetään monipuolisia ympäristöjä ja opetustapoja, kuten tekstejä, kuvia, videoita ja kaavoja. Monipuolisten ympäristöjen sekä opetustapojen käyttäminen puolestaan kehittää monitieteistä osaamista. Tieto- ja viestintäteknologia tukee myös näiden aineiden opettamista. Luova osaaminen kehittyy myös kemian ilmiöiden monipuolisen tarkastelun myötä. [1]

Tutkimuksessa päädyttiin kehittämään loisteaineisiin ja luminesenssiin liittyvä työ. Ilmiönä luminesenssi käsitellään luvussa 3.2.1 Luminesenssi ja loisteaineet. Tähän aiheeseen päädyttiin, koska ilmiötä voidaan tarkastella sekä fysiikan että kemian kannalta, ja se liittyy läheisesti esimerkiksi kestävän tulevaisuuden rakentamiseen. Kestävä tulevaisuus ilmeni usein kummankin oppiaineen osuuksissa LOPSissa. Ilmiönä luminesenssi ei sisälly LOPSin kemian osuuteen, eikä nimellä mainittuna myöskään fysiikan osuuteen. Luminesenssi voidaan kuitenkin lukea fysiikkaan moduuliin 8, jonka aiheita ovat aine, säteily ja kvantittuminen. FY8 kuvataan LOPSissa seuraavasti:

Moduuli käsittelee kvanttifysiikan teknologisia sovelluksia sekä sitä, miten kvanttifysiikka ilmenee alkeishiukkastason ilmiöistä nanomittakaavaan ja aina kosmisen mittakaavan ilmiöihin saakka. Tarkastelun kohteena ovat myös erilaiset radioaktiiviseen hajoamiseen, ionisoivaan säteilyyn ja kvantittumiseen perustuvat teknologiat. [1]

Keskeisenä sisältönä kurssissa on energian kvantittuminen aineen ja säteilyn vuorovaikutuksessa, fotonin sähkömagneettisen säteilykentän kvanttina, atomin rakenne, atomin elektronien kvanttitilat ja aaltomekaanisen atomimallin periaate sekä kvantittumiseen perustuva teknologia: laser ja kvanttirakenteet. Eräs moduulin tavoitteista on se, että opiskelija ymmärtää kvantittumiseen perustuvan teknologian merkityksen nyky-yhteiskunnassa. [1]

Kemian moduuleja esitetään LOPSissa yhteensä kuusi kappaletta, joista kaksi on pakollisia ja kolme valtakunnallisia valinnaisia moduuleja. [1] Tämän lisäksi koulut voivat suunnitella ja toteuttaa omia koulukohtaisia moduulejaan. Kemian moduulien sisällöt eroavat toisistaan, mutta kaikkien moduulien opetukseen sisältyy tutkimuksellisuutta ja kokeellista työskentelyä. Seuraavaksi käydään läpi kemian moduulit ja pohditaan mihin niistä luminesenssia käsittelevä työ sopii, ja mitkä niistä sopivat parhaiten yhteen fysiikan moduulin 8 kanssa.

KE1 Kemia ja minä ja KE2 Kemia ja kestävä tulevaisuus ovat kemian kaksi pakollista moduulia, jotka ovat kumpikin yhden opintopisteen laajuisia, muiden kemian moduulien ollessa laajuudeltaan kaksi opintopistettä. KE1:ssä korostuvat hyvinvointiosaaminen sekä yhteiskunnallinen osaaminen, KE2:ssa puolestaan tutustutaan kemian ratkaisuihin kestävä elämäntavan edistämiseksi. [1] Loisteaineet sopivat näihin laaja-alaisen osaamisen alueisiin, sillä niitä käytetään esim. energian säästämiseen. Nämä ovat kuitenkin varhaisia moduuleja, joihin luminesenssi voi olla turhan hankala aihe. Lisäksi näitä kahta kurssia voi olla hankala yhdistää koulukohtaisessa opintojaksotarjonnassa FY8-moduulin kanssa. KE3 Molekyylit ja mallit keskittyy lähinnä hiilen kemiaan ja luminesenssityö on siksi hankala yhdistää tähän moduuliin, loisteaineiden ollessa usein epäorgaanisia materiaaleja.

Moduulissa KE4, aiheeltaan Kemiallinen reaktio, keskitytään kemiallisten reaktioiden tarkasteluun kokeellisesti. Tämän takia melkein mikä tahansa synteesi on helppo yhdistää moduuliin. KE4 keskeisiin sisältöihin kuuluu kokeellisten reaktioiden lisäksi reaktioiden ilmaisu symbolisesti, sekä saannon ja rajoittavan tekijän määrittäminen. Moduulin aiheisiin kuuluu myös ideaalikaasun tilanyhtälö, saostumis- ja hajoamisreaktio, additio, eliminaatio ja substituutio sekä muita konsepteja, reaktioita ja reaktiomekanismeja, joihin kehitetty loisteainetyö ei juuri liity. [1] Toisaalta moduulia vastaavassa opintojaksossa käytettävän työn ei tarvitse vastata kaikkia moduulin keskeisiä sisältöjä.

Sekä luminesenssin ja loisteaineiden että FY8-moduuliin yhdistämisen kannalta moduulilla KE5 Kemiallinen energia ja kiertotalous on paljon potentiaalia. Moduuli käsittelee kemiallista energiaa sekä energian varastointi- ja hyödyntämistapoja. Lisäksi laaja-alaisen osaamisen tavoitteista korostuvat eettisyys ja ympäristöosaaminen sekä vuorovaikutusosaaminen, joihin valmis työ soveltuu. Opiskelija ymmärtää energian säilymisen ja hyödyntämisen periaatteita ja kemiallisesta energiaa sen tuottamisen, varastoinnin ja hyödyntämisen kannalta. Opiskelija oppii tuntemaan joidenkin metallien ominaisuuksia sekä valmistus- ja jalostusprosesseja sekä kierrättämisen periaatteita. Opintokokonaisuudessa käydään läpi myös näiden prosessien ympäristövaikutuksia. Opiskelija oppii tutkimaan sähkökemian ilmiöitä ja kuvaamaan niitä malleilla. [1]

Moduulin keskeiset sisällöt liittyvät lähinnä hapetus-pelkistysreaktioihin sekä näiden reaktioenergioihin. Näiden sisältöjen lisäksi joidenkin metallien ominaisuuksien, käyttökohteiden, valmistus- ja jalostusprosessien läpikäyminen kuuluu tähän moduuliin, jonka lisäksi keskustellaan myös metallien riittävydestä ja kierrättämisestä. Lisäksi tutustutaan luonnontieteelliseen tutkimukseen, tutkimuksen suunniteluun ja ongelmanratkaisuun.

Loisteaineen valmistaminen sopii kemian moduuliin 5, koska moduulin aiheisiin kuuluu metallien ominaisuudet. Loisteaineissa harvinaisten maametallien ionit ovat keskeisessä osassa luminesenssin syntymisen kannalta kuten aiemmin huomattiin. Lisäksi moduulit KE5 ja FY8 sopivat keskenään yhdistettäväksi, sillä kummassakin käsitellään energiaa kemiallisena ja fysikaalisena ilmiönä.

Moduulissa KE6 tarkastellaan kemiallista tasapainoa ja tutustutaan teollisiin prosesseihin. [1] Loisteaineet ja niiden valmistaminen sopii moduuliin tällä tasolla, varsinkin teollisena prosessina. Kun moduulia tarkastellaan tarkemmin, huomataan ettei loisteaineet sovi moduulin sisällöistä muihin kuin kemian ratkaisuihin ympäristön ongelmissa, ja tähänkin ehkä eri tavalla kuin mitä LOPSin perusteiden kirjoittajat tarkoittivat. Moduulin muihin tavoitteisiin kuuluu esimerkiksi reaktionopeus, kemiallinen tasapaino, hapot ja emäkset sekä kemian ratkaisut terveyden ongelmien ratkaisussa.

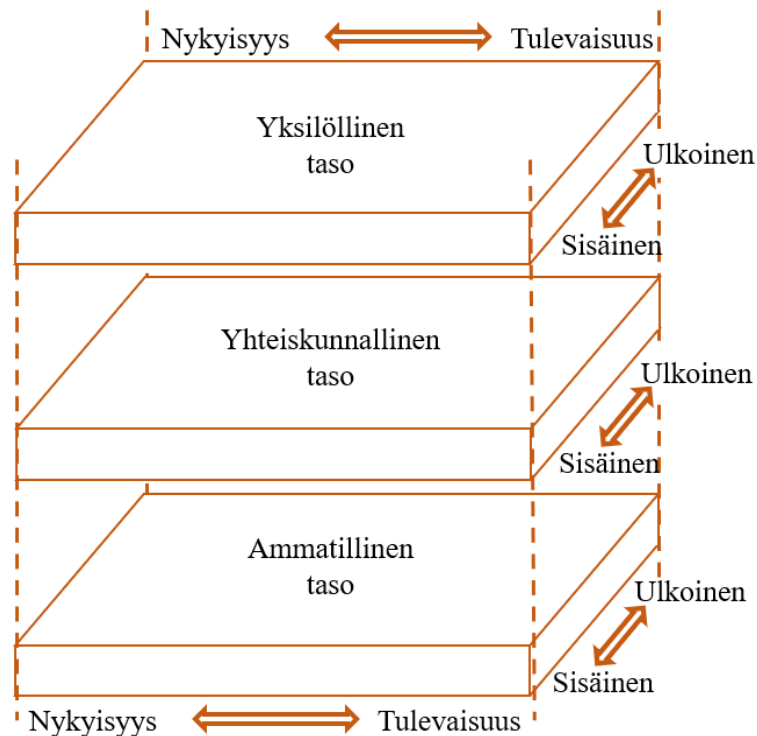
3.2.2 Relevanssiteoria

Luonnontieteiden, kuten kemian ja fysiikan, opetuksesta puhutaan usein relevanssin kannalta. Luonnontieteitä kritisoidaan usein sen takia, etteivät opiskelijat näe niitä kovin relevanttina. Relevanssi on kuitenkin terminä määritelty usein hyvin löyhästi tai epäselvästi. Artikkelissaan Stuckey ym. käsittelevät luonnontieteiden opetuksen relevanssia ja havaitsivat, että usein termiä ”relevanssi” on käytetty synonyyminä sellaisille termeille kuten ”mielenkiintoinen” tai ”tärkeä”. [23]

Stuckey ym. pyrkivät kehittämään yksiselitteisen käsitteen relevanssille tiedeopetuksessa. He argumentoivat, että relevanssi on moniulotteinen käsite, joka voi liittyä tieteen merkitykseen tai opiskelijoiden mielenkiintoon, mutta ei välttämättä liity niihin. He havainnollistavat relevanssin moniulotteisuuden (kuva 3) kolmena tasona: sisäinen, yhteiskunnallinen ja ammatillinen, joissa kaikissa on vielä kaksi akselia: nykyisyys–tulevaisuus ja ulkoinen–sisäinen. Tämä voidaan hahmottaa myös kolmena päällekkäisenä nelikenttänä. [23]

Ensimmäinen taso on yksilöllinen taso (engl. *individual dimension*). Tämän tason relevanssi käsittää oppijan henkilökohtaisen mielenkiinnon sekä opetuksen yhteyden oppijan arkipäiväisiin tarpeisiin ja kykyjen kehittymiseen. [23] Tällä tasolla relevantti opetus on mielenkiintoista, koska se on esimerkiksi yllättävä tai oppija kokee sen hänelle hyödylliseksi. Opetus on tällä tasolla relevanttia

silloin kun opiskelija pitää oppimaansa oman elämänsä kannalta keskeisenä tai kun hän kokee kykyjensä kehittyvän opetuksen myötä.



Kuva 4: Relevanssin ulottuvuudet. Relevanssin ulottuvuudet muodostuvat kolmesta päällekkäisestä tasosta, joissa on kaikissa nykyisyys–tulevaisuus- ja sisäinen–ulkoinen-akselit. [5]

Kun oppiainetta tarkastellaan yhteiskunnallisesta näkökulmasta, puhutaan relevanssin yhteiskunnallisesta tasosta (engl. *societal dimension*). Oppijoiden itseohjautuvuus ja vastuunottaminen kehittyy ymmärryksen kehittyessä tieteen ja yhteiskunnan välisestä yhteydestä. Tällä tasolla relevanssi liittyy oppijan kasvamiseen yhteiskunnan jäseneksi ja hänen kehittymiseensä ottaa osaa yhteiskunnalliseen keskusteluun. [23] Yhteiskunnallisen tason relevanssin ja opetussuunnitelman laaja-alaisen osaamisen tavoitteiden välillä voidaan nähdä yhteyksiä, sillä joihinkin laaja-alaisen osaamisen alueisiin liittyy yhteiskunnan jäseneksi kasvaminen. Kaikkein vahvin yhteys voidaan nähdä yhteiskunnalliseen osaamiseen, mutta yhteiskunnallisia osioita voidaan havaita myös globaali- ja kulttuuriosaamisessa sekä eettisyys ja ympäristöosaamisessa.

Viimeinen kolmesta tasosta on ammatillinen taso (engl. *vocational dimension*). Tämän tason relevanssi liittyy oppijoiden orientaatioon tulevia ammatteja tai opintoja varten. Opetus on ammatillisesti relevanttia myös silloin kun se mahdollistaa opiskelijalle ammatinvalinnan laajemmin tulevaisuudessa. [23] Relevanssin ammatillisella tasolla opiskelija ymmärtää miten hänen juuri oppimaansa sisältöä voidaan kaupallistaa ja mahdollisesti myös miten hän itse pystyisi tulevaisuudessa pääsisi kyseiselle alalle. Ymmärryksen lisäksi taso käsittää myös opiskelijan kiinnostuksen työskennellä oppimansa parissa.

Kuten mainittu, jokainen näistä tasoista pystytään jakamaan nelikentäksi kahden akselin mukaisesti. Ensimmäinen näistä akseleista on aika-akseli nykyisyydestä tulevaisuuteen. Tällä akselissa nykyisyys viittaa opiskelijan nykyisyyteen, eli koulu-aikoihin, kun taas tulevaisuus viittaa siihen aikaan, kun hän on siirtynyt tai siirtymässä yhteiskunnan täydeksi jäseneksi ja mahdollisesti työelämään. Esimerkiksi yhteiskunnallisen tason nykyisyyteen voidaan laskea oman paikan löytäminen yhteiskunnassa. Tulevaisuuteen tässä tasossa voisi lukea esimerkiksi yhteiskunnallisen vaikuttamisen oppiminen. [23] Nykyisyys-dimensiossa opitaan taitoja, joista on hyötyä opiskeluaikoina, tulevaisuus-dimension taidoilla on hyötyä opiskeluaikojen jälkeen.

Toinen akseleista on sisäinen–ulkoinen-akseli. Sisäisyys tarkoittaa opiskelijan omien halujen ja tarpeiden saavuttamista, kun taas ulkoisuus tarkoittaa ympäristön tarpeiden saavuttamista. Esimerkiksi ammatillisella tasolla sisäiseen relevanssiin voisi kuulua tiedon saamista mahdollisista ammateista tai kyseisen työn saaminen, kun taas ulkoiseen relevanssiin voisi liittää taloudelliseen kasvuun osaa ottamista tai korkeiden arvosanojen saamisen, joka puolestaan avaa mahdollisuuksia monenlaiseen jatkokoulutukseen. [23]

3.2.3 Lähestymistavat oppimiseen ja ChemApproach

Opiskelijoiden kokemaan relevanssiin vaikuttaa hyvin todennäköisesti myös heidän asenteensa ja lähestymistapansa oppimaansa kohtaan. Tässä tapauksessa heidän asenteensa kemiaa kohtaan vaikuttaa siihen, kuinka relevantiksi he kokevat kemian opetuksen relevanssin. Eräs tapa mitata opiskelijoiden suhtautumista oppimaansa kohtaan ovat niin sanotut Students' Approach to Learning -mallit eli SAL-mallit.

Lähestymistapoja oppimiseen ja opiskeluun on runsaasti erilaisia riippuen esimerkiksi tavoitteista, motivaatioista, asenteista sekä monista muista syistä. Opettajia ja muita opetusta tarjoavia tahoja kuitenkin kiinnostaa oppimisen lähestymistapojen mallintaminen sekä luokittelemisen, jotta opetusta voitaisiin tehokkaammin kohdistaa. Kuten monissa muissakin ilmiöissä, mallit ovat yksinkertaisuuksia verrattuna todellisuuteen. Oppimisen lähestymistavat jaetaan SAL-malleissa (*Students' Approach to Learning*) yleisesti kahteen osaan, syväoppimiseen (engl. *deep approach*) ja pintaoppimiseen (engl. *surface approach*). Kumpaankin sisältyy sekä oppijan strategia oppimiseen että hänen motivaationsa siihen, ja nämä yhdessä muodostavat lähestymistavan. [24]

Kun opiskelija tähtää aihepiiriin ymmärtämiseen, mahdollisesti sisäisen mielenkiinnon takia ja käyttää opiskellessaan tähän tähtääviä toimintatapoja, puhutaan syväoppimisesta. Puolestaan silloin kun opiskelija tähtää ulkoa oppimiseen ulkoisten syiden kuten arvosanojen takia, puhutaan

pintaoppimisesta. Todellisuudessa nämä kaksi tapaa eivät täysin sulje pois toisiaan, ja oppijassa voidaan havaita samanaikaisesti sekä syvä- että pintaoppimisen piirteitä. Näiden kahden lisäksi joskus tunnistetaan myös kolmas lähestymistapa, strateginen oppiminen (engl. *strategic approach*), joka eroaa kahdesta aikaisemmasta jo esimerkiksi siinä, että se liittyy enemmän opiskelun järjestelyyn kuin asenteisiin. [24] Nyt kuitenkin keskitytään vain kahteen aiemmin esiteltyyn tapaan.

ChemApproach-kysely on työkalu, joka on kehitetty opiskelijoiden SAL-mallin mukaisten oppimistapojen määrittelemiseen yliopistotason kemian opinnoissa. Kysely koostuu 35 kysymyksestä, johon vastataan asteikolla yhdestä viiteen, jossa 1 = Täysin eri mieltä ja 5 = Täysin samaa mieltä. Kysely suunniteltiin alun perin ennustamaan opintojen keskeyttämistä tai pääaineen vaihtamista kemian pääaineopiskelijoiden keskuudessa. [25]

Kyselyllä voidaan selvittää opiskelijan SAL-mallin mukainen lähestymistapa oppimiseen, jopa tarkemmin kuin mitä malliin usein lasketaan. ChemApproach jakaa kummankin lähestymistavan vielä kahteen alaluokkaan erityisesti käytettyjen opiskelumetodien mukaan. Nämä yhteensä neljä lähestymistapaa ovat lannistunut pintaoppiminen (engl. *submissive surface*, SubSurf), pinnallisiin opiskeluteknikoihin keskittyvä oppiminen (engl. *technical surface*, TechSurf), aktiivinen syväoppiminen (engl. *active deep*, ActDeep) ja käytäntöä painottava syväoppiminen (engl. *practical deep*, PractDeep). Nämä luokat on määritelty tarkemmin taulukossa 1. Opiskelijoiden, joilla oli SubSurf-piirteitä, havaittiin olevan suurimassa riskissä keskeyttää opinnot, kun taas PractDeep-opiskelijat jatkoivat todennäköisimmin kemian opiskelua. [25]

Taulukko 1: ChemApproach-kyselyn avulla selvittävät SAL-mallin mukaiset oppimistavat [25]

Oppimistapa	Määritelmä
SubSurf	Ei ole kiinnostunut kemiasta oppimisesta, ei näe vaivaa tulosten parantamisen eteen.
TechSurf	Käyttää ulkoa opettelua monipuolisempia oppimistapoja. Oppiminen on kuitenkin melko pinnallista.
ActDeep	Aktiivisesti laajentaa näkemystään aiheesta etsimällä lisämateriaaleja jo ennen luentoa.
PractDeep	Hyödyntää laboratoriotyöskentelyä ja muita käytännön töitä syventääkseen oppimaansa.

3.3 Analyysin yhteenveto

Oppiaineina sekä kemian että fysiikan tehtävä on edistää tieteiden yhteiskunnallisesti, teknologisesti ja ympäristöllisesti tärkeiden ratkaisujen tunnettuutta. Loisteaineet ja niiden teoria sijoittuu näiden kahden aineen rajapinnalle, ja niitä sovelletaan kaikissa näissä ratkaisuissa, erityisesti teknologisissa, ja tämän kautta yhteiskunnallisissa ja ympäristöllisissä ratkaisuissa. Lisäksi luminesenssi voidaan yhdistää biologiaan mielenkiintoisena yksityiskohtana sekä kuvantamisen että bioluminesenssin

kannalta, tosin jälkimmäisessä luminesenssin mekanismi on erilainen kuin loisteaineissa ja aiemmin laajemmin käsitellyssä fotoluminesenssissa.

Laaja-alaisen osaamisen tavoitteita otetaan kemian ja fysiikan opetuksessa huomioon hyvin samanlaisilla tavoilla. Erityisesti vuorovaikutusosaamisen, yhteiskunnallisen osaamisen sekä monitieteisen ja luovan osaamisen tavoitteita täytetään kummassakin hyvin samankaltaisilla tavoilla. Tämän takia on hyvin luontevaa yhdistää näiden kahden aineen opetusta. Vuorovaikutusosaaminen otetaan huomioon kummankin aineen laboratoriossa tehtävissä oppilastöissä. Loisteaineita käytetään energiansäästämissä ratkaisuissa, jolloin ne edesauttavat myös ympäristöongelmien ratkaisuissa. Tämä liittyy globaali- ja kulttuuriosaamiseen sekä eettisyys- ja ympäristöosaamiseen.

Moduulissa FY8: Aine, säteily ja kvantittuminen käsitellään energian kvantittumista aineen ja säteilyn vuorovaikutuksessa, kuten sitä tapahtuu loisteaineiden luminesenssissa. Luminesenssi-ilmiöön liittyvät myös elektronin kvanttitilat, joita myös käsitellään moduulissa, siltä kannalta miten nämä tilat määräävät virittävän ja purkautuvan fotonin aallonpituuden. Moduulissa paneudutaan myös kvantittumiseen perustuvaan teknologiaan, kuten lasereihin. Laserteknologiassa hyödynnetään loisteaineita, esimerkiksi $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Nd}^{3+}$. Lisäksi myös LED-lamput, joissa väriä korjataan loisteaineilla ovat kvantittumiseen perustuvaa teknologiaa.

Loisteaineet liittyvät olennaisesti moduuliin FY8, mutta ne voivat liittyä myös useampaan kemian moduuliin. Kaikkien kemian moduulien sisällöt käydään lyhyesti läpi taulukossa 2. Taulukossa myös määritetään, sopiiko luminesenssi kuhunkin moduuliin, sekä onko moduulilla loogista yhtymäpintaa moduulin FY8 kanssa. Tässä tutkielmassa jätetään tarkemmin käsittelemättä se, miten loisteaineita voitaisiin hyödyntää muiden luonnontieteiden, biologian ja maantieteen, opetuksessa, mutta kuten aiemmin huomattiin, potentiaalista yhtymäpintaa olisi myös näihin aineisiin.

Taulukosta voidaan nähdä, että aiheena luminesenssi ja loisteaineet voidaan yhdistää moduuleihin KE1, KE2, KE4, KE5 ja KE6, eli kaikkiin paitsi yhteen moduuliin. Näissä kuitenkin on melkein kaikissa jotain sovittamisongelmia. Moduuleihin KE1 ja KE2 luminesenssi voi olla turhan hankala ja spesifi aihe ottaen huomioon, kuinka aikaisin nämä kurssit tulevat opiskelijoille. KE4 puolestaan keskittyy muuten orgaaniseen kemiaan, loisteaineiden ollessa yleensä epäorgaanisia yhdisteitä. KE6 moduulissa loisteaineet ja niiden valmistaminen voidaan liittää muutamaan kurssin tavoitteista, mutta moduulissa käsitellään pääasiassa tasapainoreaktioita sekä happoja ja emäksiä, joten tähänkin luminesenssin liittäminen olisi pääosin pinnallista.

Taulukko 2: Lukion opetussuunnitelman perusteissa 2019 esiteltyjen kemian moduulien sisällöt. Lisäksi määritetään luminesenssin sopivuus kyseiseen moduuliin, ja sitä voiko moduulista koota opintokokonaisuuden FY8: Aine, säteily ja kvanttuminen kanssa.

Moduuli (laajuus)	Moduulin sisältöjä	Sopiiko luminesenssi?	Sopiiko yhteen FY8 kanssa?
KE1: Kemia ja minä (1 op)	Kemia opiskelijan elämässä, jaksollinen järjestelmä, atomin rakenne, puhtaat aineet, seokset, erotusmenetelmät, ainemäärä, konsentraatio.	Sopii sisältöihin, mutta käytännössä luminesenssi voi olla hankala aihe näin aikaisin opinnoissa.	Ei sovi.
KE2: Kemia ja kestävä tulevaisuus (1 op)	Luonnontieteet ja kestävä elämäntapa, aineen rakenteen mallintaminen, yhdisteiden kaavat, sidokset, aineiden ominaisuudet.		
KE3: Molekyylit ja mallit (2 op)	Liuoksen valmistaminen, yleisimmät orgaaniset yhdisteet, hiiliyhdisteiden hapettuminen ja pelkistyminen sekä mallintaminen, suhde- ja molekyylikaavat, kvanttimekaaninen atomimalli, hybridisaatio, isomeria, spektroskopia.	Ei sovi.	Ei sovi.
KE4: Kemiallinen reaktio (2 op)	Kemiallisten reaktioiden tutkiminen, reaktioyhtälöt, saanto ja rajoittava tekijä, ideaalikaasun tilanyhtälö, saostumis- ja hajoamisreaktion, palamisreaktio, protolyysi, neutraloituminen, titraaminen, additio, eliminaatio, substitutio jne. hiiliyhdisteissä, polymeerit.	Kemiallisena reaktiona loisteaineiden valmistus sopii, myös reaktioyhtälöä voidaan tarkastella. Toisaalta moduuli keskittyy orgaaniseen kemiaan, loisteaineen valmistamisen ollessa epäorgaaninen reaktio.	Ei sovi.
KE5: Kemiallinen energia ja kiertotalous (2 op)	Reaktioenergia, reaktiosarja- ja seoslaskut, hapetusluvut ja niihin liittyvät reaktiot, metallien ominaisuudet ja käyttökohteet, sähkökemian, luonnontieteellinen tutkimus.	Sopii, varsinkin hapetusluvut sekä metallien ominaisuuksien ja käyttökohteiden kannalta.	Sopii, sillä kummankin keskeisiä aiheita on energia.
KE6: Kemiallinen tasapaino (2 op)	Reaktionopeus, kemiallinen tasapaino, hapot ja emäkset, happo-emästasapaino, puskuriliuokset, kemian ratkaisut terveyden ja ympäristön ongelmiin.	Teollisiin prosesseihin ja ympäristön ongelmiin, mutta ei muihin tavoitteisiin tai sisältöihin.	Ei sovi.

Eniten potentiaalia on moduulissa KE5: Kemiallinen energia ja kiertotalous. Luminesenssi liittyy esimerkiksi moduulin aiheisiin hapetusluvut, metallien ominaisuudet ja käyttö sekä luonnontieteellinen tutkimus. Lisäksi muut kurssin aiheet eivät ole ristiriitaisia luminesenssin kanssa, vaan loisteaineiden valmistusta voidaan käyttää esimerkiksi reaktioenergian havainnollistamisessa. Erityisesti metallien kemian kannalta loisteaineet voivat tuoda opetukselle sellaista lisäarvoa, joka voisi muuten jäädä puuttumaan, sillä aktivaattorit ovat yleensä harvinaisten maametallien ioneja.

Kehitettyä työtä kokeili yliopisto-opiskelijat, jotka antoivat työstä palautetta. Palautetta kerättiin esimerkiksi työn sopivuudesta lukio-opetukseen, työn vahvuuksista sekä siitä, mitä työssä tarvitsee vielä kehittää. Samalla tutkittiin yliopisto-opiskelijoiden näkemystä loisteaineista ainerajat ylittävänä kokonaisuutena.

Loisteaineiden valmistamista käsittelevän oppilastyön voi olettaa olevan yksilöllisellä tasolla relevanttia, koska loisteaineet ovat yleisiä arjessa niiden monien käyttökohteiden takia. Loisteaineiden käyttökohteet eivät ole erityisen tunnettuja, mutta oppilastyöllä voidaan lisätä tietoa niistä. Lisäksi yttriumalumiinigranaattia valmistaessa synteesisireaktio on yllättävä ja dramaattinen.

Yhteiskunnallisella tasolla loisteaineiden voi olettaa olevan jossain määrin relevanttia, tosin ei niin vahvasti kuin yksilöllisellä tasolla. Yhteiskunnalliseen tasoon loisteaineet liittyvät kestävästä tulevaisuudesta edistävän teknologian, esimerkiksi energiatehokkaiden lamppujen, kannalta. Opiskelijat oppivat myös ottamaan osaa yhteiskunnalliseen keskusteluun tältä kannalta. Loisteaineita käsittelevä oppilastyö tuo opetukseen enemmän yhteiskunnallista relevanssia kuin pelkät loisteaineet, sillä opiskelijat kehittävät oppilastoita tehdessään itseohjattavuuttaan sekä vastuunottamista.

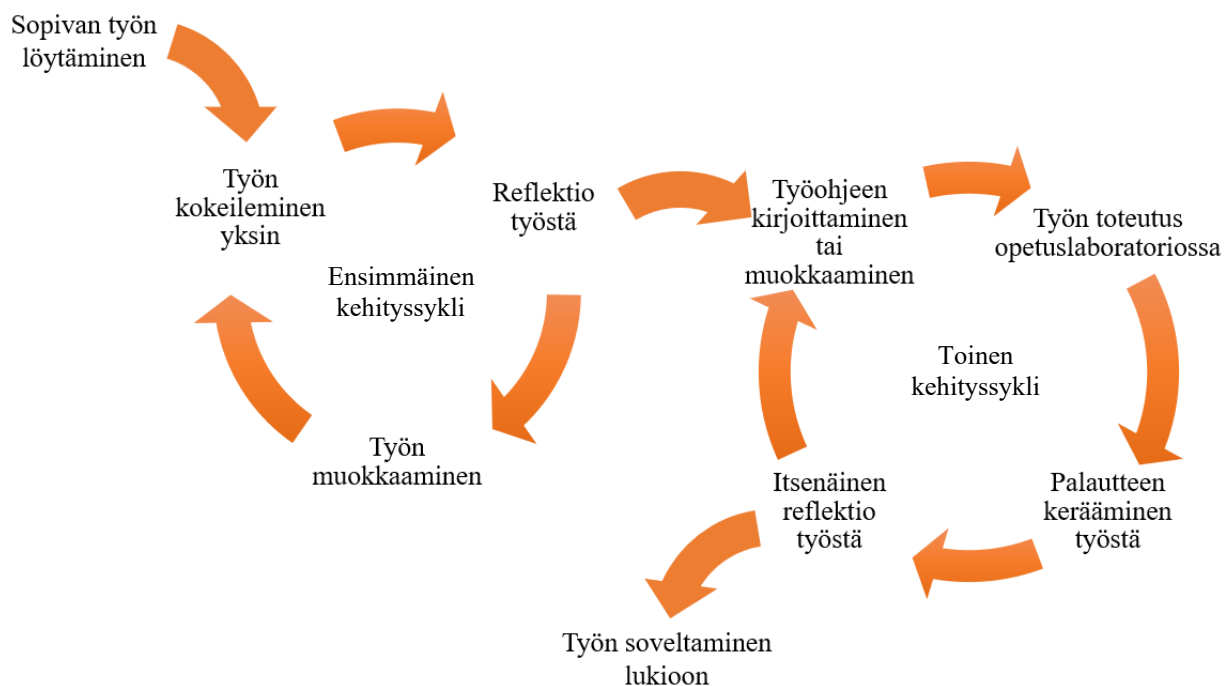
Kolmannella, eli ammatillisella, tasolla loisteainetyö on luultavasti vähemmän relevantti kuin kahdella aiemmalla tasolla. Kuten aiemmin on todettu, loisteaineilla on laaja skaala erilaisia käyttökohteita, ja niiden käyttämistä uusissa sovelluksissa tutkitaan jatkuvasti. Opiskelijoiden voi kuitenkin olla hankala ymmärtää miten he voivat tulevaisuudessa työskennellä loisteaineiden parissa paitsi työllistymällä loisteaineita tutkivaan kemian laboratorioon.

Oppilastyön, jossa valmistetaan ceriumilla seostettua yttriumalumiinigranaattia, relevanssia tutkittiin kyselylomakkeen avulla. Kyselyä sekä sen tuloksia käsitellään myöhemmin. Nyt käsittelyn hypoteesiksi otettiin, että työn voi sanoa olevan relevanttia sekä yhteiskunnallisella että erityisesti yksilöllisellä tasolla. Työn oletettiin olevan vähemmän relevanttia ammatillisella tasolla. Työtä kokeilleet opiskelijat olivat aiemmin täyttäneet ChemApproach-kyselylomakkeen, jolla tutkittiin opiskelijoiden lähestymistapoja oppimiseen. Nyt tehdyn kyselylomakkeen tuloksia verrattiin ChemApproachin tuloksiin ja tutkittiin, vaikuttiko opiskelijoiden lähestymistapa oppimiseen heidän kokemaan työn relevanssin.

4 Kehittämisprosessi

Tutkimuksen ehkä keskeisin tutkimuskysymys koski sitä, millaisia asioita tuli ottaa huomioon loisteaineisiin liittyvää oppilastyötä kehitettäessä. Tässä luvussa keskitytään kyseiseen tutkimuskysymykseen. Työn kehittämisprosessi toteutettiin kahdessa syklissä. Ennen ensimmäistä kehityssykliä etsittiin kehitettäväksi sopiva aiemmin julkaistu oppilastyö tai demonstraatio. Kehitettäväksi työksi valittiin Diekemperin, Schnickin ja Schwarzerin suunnittelema demonstraatio [2]. Ensimmäisessä kehityssyklissä työtä kehitettiin tutkimuslaboratoriossa. Tässä kehityssyklissä työtä muutettiin kouluympäristöön paremmin sopivaksi. Kehitystyötä tehtiin itsenäisesti ilman ohjattavia, ja työstä pystytään erottamaan yhteensä neljä toisistaan eroavaa iteraatiota. Lisäksi työstä pyrittiin tekemään sellainen, joka voidaan toteuttaa lukiossa käytettävien resurssien rajoissa.

Toisessa kehityssyklissä kirjoitettiin työohje, jota kokeiltiin yliopiston opetuslaboratoriossa pääasiassa ensimmäisen vuoden kemian opiskelijoille suunnatulla kurssilla. Tässä vaiheessa keskityttiin eniten työohjeiden muokkaamiseen esimerkiksi opiskelijoilta saadun palautteen pohjalta. Iteraatioita pystytään havaitsemaan tässä kehityssyklissä kaksi. Lopuksi työ muokattiin lopulliseen muotoonsa saadun palautteen sekä oman reflektion pohjalta. Luvussa 5 on esitetty yksityiskohtainen kuvaus kehittämistuotoksesta eli kehitetystä työstä. Toisessa kehityssyklissä kerättiin empiiriseen ongelma-analyysiin aineistoa. Analyysin tulokset esitellään luvussa 6. Koko kehitysprosessi on esitetty kuvassa 5. Kuvasta näkee myös sen, miten nämä kaksi kehityssykliä kytkeytyvät toisiinsa.



Kuva 5: Työtä kehitettäessä etsittiin sopiva aiemmin julkaistu työ, jota voitaisiin kehittää ennestään. Seuraavaksi työtä kehitettiin laboratoriossa lukioon sopivaksi mm. käytettyjen välineiden kannalta. Seuraavaksi työtä ja työohjeita kehitettiin opiskelijoiden kanssa harjoitustyöosastolla. Lopuksi työohjeet kirjoitettiin lopulliseen muotoonsa, jossa ne olivat lukion oppilastyölle sopivat.

4.1 Sopivan työn löytäminen

Kehitettäväksi sopivan työn etsiminen aloitettiin tekemällä haku erään keskeisimmän kemian opettamista käsittelevän lehden, Journal of Chemical Educationin, verkkosivuilla ”demonstrations” ja ”laboratory experiments” osuuksien artikkeleista, joiden aiheisiin sisältyy luminesenssi. Hakutulokset käytiin läpi aikajärjestyksessä tuoreimmasta vanhimpaan.

Sopivan työn kuvaus löytyi lehden joulukuussa 2019 julkaistussa numerossa (vol. 96, no. 12). Muitakin artikkeleita harkittiin, mutta tämän työn ajateltiin olevan lukiolaisille kaikkein mielenkiintoisin. Tässä artikkelissa, nimeltään ”Microwave Synthesis of a Prominent LED Phosphor for School Students: Chemistry’s Contribution to Sustainable Lighting”, kuvaillaan LED-valojen sekä harvinaisten maametallien kemian merkitystä kestäväälle tulevaisuudelle. Artikkelissa kuvaillaan demonstraatio, jolla pyritään auttamaan tämän merkityksen ymmärtämistä.

Artikkelissa kuvaillussa demonstraatiossa valmistetaan LED-valoissa käytettyä loisteainetta, $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$, kolmen tai neljän oppilaan ryhmissä, joita valvoi ja auttoi kemian opettajaksi opiskeleva yliopisto-opiskelija. Alkuperäisen työn kuvaus löytyy Diekemperin ym. artikkelista [2].

4.1.1 Katsaus artikkeliin

Johdannon jälkeen artikkelissa käsitellään LED-teknologiaa sekä harvinaisia maametalleja, jota seuraa artikkelin pisin osuus, kokeellisen työn kuvaus. Kuvauksen jälkeen käsitellään turvallisuutta. Artikkelin toiseksi pisimmässä osuudessa käsitellään loisteaineiden käyttämistä *systems thinking* -opettamisen soveltamisessa. Artikkelin lopussa on vielä keskustelu- ja johtopäätösosauudet.

Johdannossa alustetaan artikkelin aihetta lähinnä valaistuksissa tapahtuneiden muutosten kautta ja miten epäorgaanisen kemian tutkimuksen osuus tässä on vähän tunnettu. Johdannossa mainitaan suoraan ceriumilla seostettu yttriumalumiinigranaatti ja mainitaan, minkälaisiin kemian aiheisiin tämän materiaalin valmistaminen voidaan yhdistää.

Osiassa *Led Technology And Rare Earth Elements* käsitellään LED-teknologiaa ja sen kehityksiä, jonka jälkeen käsitellään harvinaisia maametalleja. Ledeistä kerrotaan, miten sinisenä loistavien galliumnitridi-LED-valon kehittäminen mahdollisti down-shiftingloisteaineiden käyttämisen LED-valoissa. Tässä osiossa kerrotaan LED-valojen yleisyydestä sekä niiden spekseistä. Näiden lisäksi käsitellään harvinaisia maametalleja sisältävien yhdisteiden käyttämistä ledien kanssa. Myös harvinaisten maametallien harvinaisuudesta sekä tuottamisesta ja kierrättämisestä puhutaan.

Experimental procedure -osiossa kuvataan työn kulkua. Kuvatussa demonstraatioissa tutkitaan ensin lamppuja infrapunakameralla. Tutkittavana on hehkulamppu, loisteputkilamppu sekä kaksi LED-lamppua (kylmä sekä lämmin valkoinen). Tämän osion tarkoituksena on aloittaa keskustelua opiskelijoiden kanssa siitä minkälaisia ongelmia lamppuissa voi olla ja miten näitä ongelmia on pyritty korjaamaan. Tämän jälkeen kuvaillaan yttriumalumiinigranaatin valmistaminen ja LED-lampun päällystäminen tällä loisteaineella. Tätä osiota seuraa *Hazards*-osuus, jossa käydään läpi työhön liittyviä vaaroja ja riskejä. Samat vaarat ja riskit on käyty läpi tässä tutkimuksessa luvussa 5.5 Riskit.

Luvussa *Luminophores for integrating systems thinking into modern school chemistry* puhutaan kemian relevanssista erityisesti yhteiskunnalliselta kannalta. Luvussa myös annetaan ehdotuksia siitä, miten loisteaineet voidaan ottaa osaksi kemian opetusta. Loisteaineopettamisella tavoitellaan erityisesti sitä, että opiskelijat oppivat hahmottamaan kemian yhteyttä yhteiskunnallisten ongelmien ratkaisuihin. Tutkimuksessa havaittiin työn ja opetuksen muuttaneen opiskelijoiden näkemystä LED-teknologiasta sekä niihin liittyvistä loisteaineista. Opiskelijoiden havaittiin kykenevän käsittelemään näitä aiheita laajasti sekä kriittisesti työn jälkeisessä keskustelussa. Keskustelussa puhuttiin esimerkiksi ledeihin sekä loisteaineisiin tarvittavien materiaalien hankkimisesta sekä kierrättämisestä.

4.2 Ensimmäinen kehityssykli

Työn ensimmäisessä kehittämissyklissä työn laboratorio-osuutta kehitettiin epäorgaanisen materiaalikemian tutkimuslaboratoriossa ilman opiskelijaryhmää. Artikkelin synteesissä käytettiin laboratoriomikroaaltouunia, johon suurimmalla osalla lukioista ei ole minkäänlaista pääsyä. Tämän takia työ pitäisi sellaisenaan toteuttaa esimerkiksi yliopistovierailun aikana, eivätkä opiskelijat voi tehdä työtä itsenäisesti, vaan he tarvitsevat apua vähintään mikroaaltouunin käyttämisessä. Siksi suurimmaksi kehityskohteeksi tässä vaiheessa otettiin vaihtoehtoisen lämmitysmenetelmän löytäminen. Ensimmäisen kehityssyklin suurimmat erot on esitetty taulukossa 3.

Ennen muutosten tekemistä työ suoritettiin käyttämällä synteesissä laboratoriomikroaaltouunia. Mikroaaltouuni oli tosin erilainen kuin artikkelissa kuvailtu, ja sillä ei voitu esimerkiksi seurata reaktion etenemistä synteesin aikana. Alkuperäisessä artikkelissa käytettiin HLL MW 4000 -mikroaaltouunia, mutta nyt käytössä oli Milestone MLS 1200 Mega -mikroaaltouuni.

Taulukko 3: Työn ensimmäisen kehityssyklin iteraatiot.

Iteraatio	Lämmitys	Lähtöaine	Massa (g)	Huomio
1	Laboratorio-mikroaaltouuni	Y(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Al(NO ₃) ₃ · 9 H ₂ O Ce(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Urea	0,8102 3,4655 0,0195 2,2055	Kaikki valmistettu reaktioliuos ei mahtunut kerralla sille varattuun astiaan, joten synteesireaktio tehtiin kahdessa osassa. Lisäksi saatu tuote sekoittui aktiivihillen kanssa, joten tuotteen lopullinen saanto oli todella pieni. Tuote kuitenkin loisti.
	Laboratorio-mikroaaltouuni	Y(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Al(NO ₃) ₃ · 9 H ₂ O Ce(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Urea	0,8110 3,4561 0,0191 2,2160	
2	Kaasupoltin	Y(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Al(NO ₃) ₃ · 9 H ₂ O Ce(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Urea	0,8173 3,4620 0,0276 2,2160	Valmis materiaali hohti huomattavasti paremmin kuin edellä. Reaktin saanto oli huomattavasti runsaampi kuin aiemmin. Reaktio näkyi hyvin.
3	Kaasupoltin	Y(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Al(NO ₃) ₃ · 9 H ₂ O Ce(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Urea	0,4026 1,7665 0,0125 1,1284	Saanto vieläkin tarpeeksi runsas päällystämiseen.
4	Talousmikroaaltouuni	Y(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Al(NO ₃) ₃ · 9 H ₂ O Ce(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Urea	0,4103 1,7337 0,0189 1,1891	Hohto yhtä hyvää kuin kaasupolttimella valmistetussa, mutta saanto pienempi. Myös reaktio näkyi huonommin.
	Talousmikroaaltouuni	Y(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Al(NO ₃) ₃ · 9 H ₂ O Ce(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O Urea	0,4086 1,7389 0,0100 1,1013	

Alkuperäisen työn mikroaaltouunissa ei tarvittu aktiivihiltä lämmön jakautumisen säätelyyn, toisin kuin nyt käytetyssä. Osa aineista meni kiehuessaan hiilen kanssa sekaisin, joten loisteainetta saatiin talteen vain vähän. Tuote kuitenkin hohti, joten työn kehittämistä pystyttiin jatkamaan. Kaikki ensimmäisen syklin aikana valmistetut Y₃Al₅O₁₂:Ce³⁺ -näytteet on esitetty kuvassa 6. Kuvassa ensin valmistetut näytteet ovat vasemmalla, myöhemmin valmistetut oikealla. Työn tässä iteraatiossa valmistetut näytteet ovat kolme ensimmäistä vasemmalta katsottuna, ja ne on merkattu numerolla 1

Tuotteen saantia laboratoriomikroaaltouunilla olisi voitu lisätä esimerkiksi käyttämällä erilaisia asetuksia ja erisuuruista tehoa tai esimerkiksi luopumalla aktiivihillestä. Tähän ei nyt ryhdytty, sillä laboratoriomikroaaltouunista oltiin työssä joka tapauksessa luopumassa. Ensimmäisen iteraation tarkoituksena oli vain varmistaa se, että tuote loistaa.

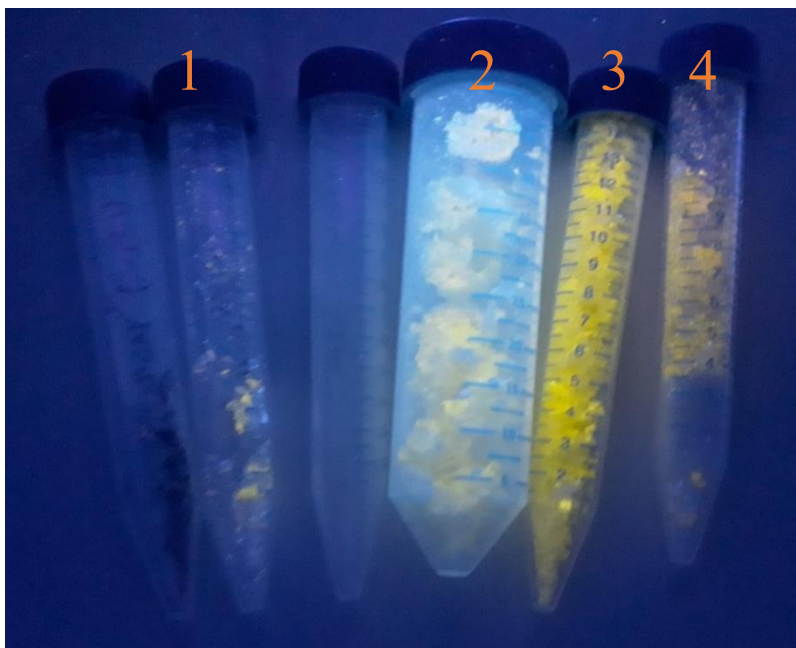
Vaihtoehtoja laboratoriomikroaaltouunille keksittiin kaksi: tavallinen talousmikroaaltouuni tai kaasupoltin. Ensimmäinen vaihtoehto olisi lämmitysmekanismitaan samanlainen kuin alun perin käytetty mikroaaltouuni suurimman eron ollessa mahdollisesti erilaisissa turvamekanismeissa sekä tehossa. Toisaalta useamman tällaisen hankkiminen kemianluokkaan voi olla hankalaa, mikä hankaloittaa työn toteuttamista lukiossa. Toinen vaihtoehto, eli kaasupoltin, puolestaan on yleinen työväline koulujen kemian laboratorioissa ja siksi opiskelijat ovat tottuneet käyttämään niitä kemian

harjoitustöissä. Huolena oli kuitenkin se, että kaasupolttimen lämmitysmekanismi poikkeaa huomattavasti mikroaaltouunista.

Työn kehityksessä otettiin ensin kokeiluun kaasupoltin, joka oli helpommin saatavilla. Työ suoritettiin muuten identtisesti kuin aiemmin, mutta mikroaaltouuni korvattiin kaasupolttimella. Työn havaittiin onnistuvan paremmin kaasupolttimella kuin aiemmalla mikroaaltouunilla, joten työn kehittämistä jatkettiin kaasupoltinta käyttäen. Kaasupolttimen eduksi havaittiin myös synteessin kulun seuraaminen vetokaapin lasin läpi. Tämä on suuri etu, sillä synteessin tapahtuessa vapautuu paljon valoa. Tässä työn iteraatiossa valmistettu materiaali on merkattu kuvaan 6 numerolla 2.

Seuraavassa iteraatiossa lähtöaineiden massat puolitettiin ja tuote valmistettiin kaasupolttimella. Tällä kehityksellä työstä oli tarkoitus saada kustannustehokkaampi samalla pienentäen opettajien kynnystä ottaa työ käyttöön omille kursseilleen. Valmistettu tuote on merkattu numerolla 3 kuvaan 6. Puolitettullakin ainemäärällä saatiin tarpeeksi tuotetta lediin päällystämiseen, joten ainemäärät puolitettiin lopulliseen työhön.

Työtä kokeiltiin vielä talousmikroaaltouunilla kahdella eri teholla. Toisella näistä valmistettu tuote on kuvassa 6 numeron 4 kohdalla. Tällä tavalla saatu tuote havaittiin silmänmääräisestikin epähomogeenisemmäksi ja himmeämmäksi loisteeltaan kuin kaasupolttimella valmistettu tuote. Tämän takia työn kehityksessä päätettiin palata aiempaan iteraatioon, eli iteraatioon kolme. Oppilastyö suunniteltiin iteraation kolme pohjalta toisessa kehityssyklissä.



Kuva 6: Työn ensimmäisen kehittämissyklin aikana valmistetut $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$. Numerolla 1 merkatut kolme tuotetta on valmistettu laboratoriomikroaaltouunilla, 2 ja 3, on valmistettu kaasupolttimella, 3 puolikkaalla ainemäärällä aiempiin tuotteisiin verrattuna. Tuote 4 on valmistettu puolikkaalla ainemäärällä talousmikroaaltouunilla.

4.3 Toinen kehityssykli

Toisessa syklissä kehittäminen toteutettiin opetuslaboratoriossa pääasiassa ensimmäisen vuoden kemian pääaineopiskelijoille tarkoitettulla laboratoriokurssilla. Työtä kokeili yhteensä viidellä opetuskerralla 48 opiskelijalla, jotka työskentelivät pääsääntöisesti pareittain. Ennen kun työtä voitiin kehittää opetuslaboratoriossa, työlle kirjoitettiin ohjeet. Työohjeet kirjoitettiin samaan muotoon kuin muutkin saman kurssin työohjeet. Ensimmäinen versio työohjeista löytyy liitteestä 1. Näitä työohjeita käytettiin kahden ensimmäisen opiskelijaryhmän (N=23) kanssa.

Kaikilta opiskelijoilta kerättiin työn tekemisen jälkeen palaute paperilomakkeella. Lomakkeessa kysyttiin, sopiiko työ heidän mielestään lukioon, mikä oli työn paras osuus sekä mikä työssä kaipaava vielä kehittämistä. Opiskelijoita pyydettiin tekemään ajatuskartta loisteaineista, jolla tutkittiin mitä he olivat ymmärtäneet loisteaineista tämän työn pohjalta. Kun työohjeita oli kokeiltu kahden ensimmäisen opiskelijaryhmän kanssa, siitä oli saatu tarpeeksi palautetta kehittämistä varten.

Paperilomakkeella saadun palautteen perusteella tehtiin seuraavat muutokset: Työvälineluetteloon lisättiin pihdit, jotka olivat aiemmasta versiosta unohtuneet. Vaiheisiin 3 ja 4, joissa tehtiin synteesi sekä tarkasteltiin synteessin tulosta UV-lampulla, lisättiin maininta pihtien käyttämisestä kuuman upokkaan kanssa. Vaiheeseen 4 lisättiin myös maininta huoneen pimentämisestä UV-lamppua käytettäessä. Viimeiseen työvaiheeseen muutettiin päällysteeseen käytettävän loisteaineen määrä sekä lisättiin maininta ylimääräisen loisteainejätteen keräämisestä erilliseen astiaan. Paperilomaketta sekä siinä saatua palautetta käydään tarkemmin läpi luvussa 7 Johtopäätökset ja pohdinta.

Lisäksi työohjeisiin tehtiin muutama muutos muistakin syistä kuin lomakkeella saadusta palautteesta. Työvaiheessa 1 muutettiin sanajärjestystä siten, että mitattavissa materiaaleissa sanottiin ensin aineen nimi ja sitten mitattava massa. Tämä idea saatiin eräältä opiskelijalta, ja tämän ansiosta myöhemmillä harjoituskerroilla tuntuikin olleen vähemmän hämmennystä mitattavien aineiden massoista kuin aiemmilla. Työvaiheessa 2 muutettiin magneettisekoittajan kierrosnopeus 600 rpm:stä 800 rpm:ään, jotta kiinteiden aineiden liukeneminen veteen tapahtuisi hieman nopeammin. Tämä toinen versio työohjeesta löytyy liitteestä 2. Työohjeiden toista iteraatiota käytettiin kolmen opiskelijaryhmän (N=25) kanssa. Myös heiltä kerättiin palautetta samalla tavalla kuin edellä.

4.4 Työn soveltaminen lukioon

Kehitysprosessin viimeisessä vaiheessa kehitetty työ muokattiin yliopistoympäristöstä lukioon. Tässä vaiheessa kirjoitettiin uudet työohjeet toisessa kehityssyklissä saadun palautteen sekä tehtyjen havaintojen pohjalta. Lopullisten työohjeiden pohjana käytettiin aiempia iteraatioita työohjeista, sekä

sovelletusti Kemianluokka Gadolinin työohjeita [26]. Viimeistä iteraatiota suunnitellessa otettiin huomioon kaikki saatu palaute, myös ne, joiden pohjalta työohjetta oli jo kehitetty, ettei mikään kehitysidea jäänyt huomioimatta. Luvussa 7 esitetään, miten palaute otettiin huomioon lopullisia työohjeita kirjoitettaessa.

Työohjeissa päällysteeseen laitettavan yttriumalumiinigranaatin määrä tarkennettiin lopullisessa versiossa 3–4 lusikan kärjelliseksi. Lopullisiin työohjeisiin lisättiin ohjeistuksia turvallisuudesta, mukaan lukien kemikaalien vaaramerkinnät. Työohjeisiin lisättiin maininta siitä mitkä jätteet kerätään erikseen. Lisäksi työohjeiden jokaisessa versiossa pyrittiin lisäämään selkeyttä edelliseen verrattuna, tosin muutoksia varottiin tekemästä liikaa, sillä työ sai kerätyssä palautteessa myös paljon kehuja selkeydestään.

Luvussa 5 esitettävissä työohjeissa käydään läpi työhön tarvittavat materiaalit ja lasketaan työn materiaalikustannuksia, jotta työ olisi opettajille helpompi budjetoida ja ottaa mukaan opetukseen. Samassa yhteydessä käydään läpi työssä käytettäviä välineitä ja pohditaan vähiten yleisille työvälineille vaihtoehtoja.

4.5 Kehitysprosessin tuloksia.

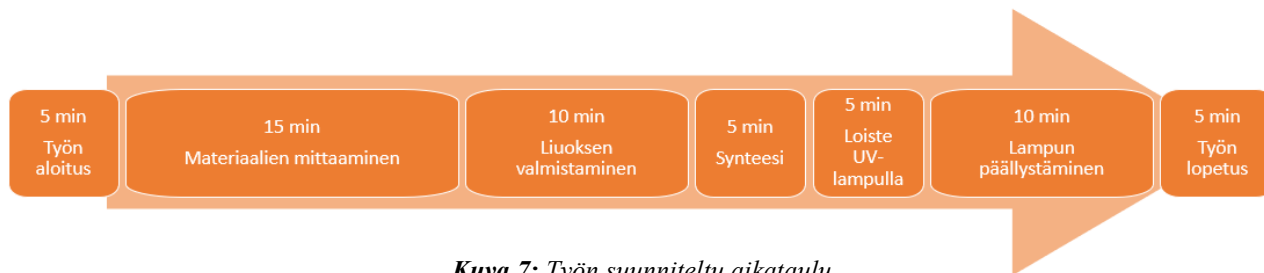
Kehitysprosessin lopputuloksena saatiin selvästi valmis oppilastyö, mutta sen lisäksi kehitysprosessista voidaan saada jonkinlainen käsitys siitä millaisia asioita kannattaa ottaa työn suunnittelussa huomioon. Kun kehitetään lukioon sopivaa työtä loisteaineista, täytyy ottaa huomioon seuraavia asioita:

- Työn turvallisuus sekä se, miten turvallisuutta käsitellään työohjeissa.
- Lähtöaineiden saatavuus ja niiden hinnat sekä työvälineiden yleisyys.
- Työn kiinnostavuus ja relevanssi opiskelijoille.
- Opiskelijoiden aikaisemmat tiedot aiheesta ja siihen liittyvästä teoriasta, sekä se miten teoria esitellään työohjeissa.
- Työn soveltuvuus opetussuunnitelman tavoitteisiin ja sisältöön.

5 Kehittämistuotos

Tässä osiossa kuvataan työn eteneminen tarkemmin kuin lukiolaisten työohjeissa (liite 3). Yliopisto-opiskelijoilta meni työn tekemiseen noin 60 minuuttia, jonka lisäksi kannattaa varata erikseen aikaa siivoamiseen ja tiskaamiseen työn jälkeen. Työtä edeltävällä opetuskerralla voi käydä läpi loisteen mekanismia, materiaalin rakennetta ja seosionien merkitystä materiaalissa. Työn suurpiirteinen aikataulus on esitetty kuvassa 7. Opiskelijat voivat tehdä työn 2–3 hengen ryhmissä, joissa päällystetään yksi LED-lamppu jokaista opiskelijaa kohden.

Työn aloitukseen on varattu viisi minuuttia. Tähän aikaan sisältyy työohjeen ja sen vaiheiden sekä käytettävien työvälineiden nopea läpikäyminen opiskelijoiden kanssa, sekä mittauspisteiden, kemikaalien sijoittelun laboratoriossa sekä muiden opiskelijoille keskeisten käytännön seikkojen läpikäymistä. Mikäli työhön voidaan varata pidempi aika kuin 60 minuuttia, ylimääräistä aikaa kannattaa sijoittaa työn läpikäymiseen ennen työn aloittamista.



Kuva 7: Työn suunniteltu aikataulu

5.1 Materiaalit ja työvälineet

Yttriumalumiinigranaatin valmistamiseen käytetään alumiininitraattinonahydraattia, cerium(III)-nitraattiheksahydraattia, yttrium(III)nitraattiheksahydraattia ja ureaa. Materiaalien kustannukset on esitetty taulukossa 4. Kuten taulukosta nähdään $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$ kohdalla, puhtaus vaikuttaa huomattavasti kemikaalien hintaan. Materiaalien hintaa voitaisiin optimoida edelleen käyttämällä muistakin kemikaaleista vähemmän puhtaita versioita. Vähemmän puhtaita versioita on myös saatavilla esimerkiksi Sigma-Aldrichin verkkosivulta, josta taulukoidut hinnat ovat saatu. Synteessin pitäisi onnistua myös vähemmän puhtailla lähtöaineilla kuin mitä taulukossa on esitetty.

Taulukossa 4 on ennustettu pakkausten riittoisuutta sekä yhden synteessin materiaalien hintaa. Tässä optimistisessa ennusteessa kaikkien pakkausten sisältö pystytään hyödyntämään kokonaan, mutta todellisuudessa pakkausten riittoisuus on pienempi. Yhden synteessin pienin teoreettinen hinta pienimmillä pakkauksilla on noin 1,55 € kun käytetään epäpuhtaampaa alumiininitraattia. Suurimmilla pakkauksilla teoreettinen hinta on noin 0,58 € per synteesi. Näiden aineiden lisäksi liuoksen valmistamiseen tarvitaan 0,5 millilitraa tislattua vettä synteesiä kohden, sekä muutama millilitra kirkkaaksi kuivuvaa liimaa jokaista päällystettä kohden.

Taulukko 4: Materiaalien kustannuksista.

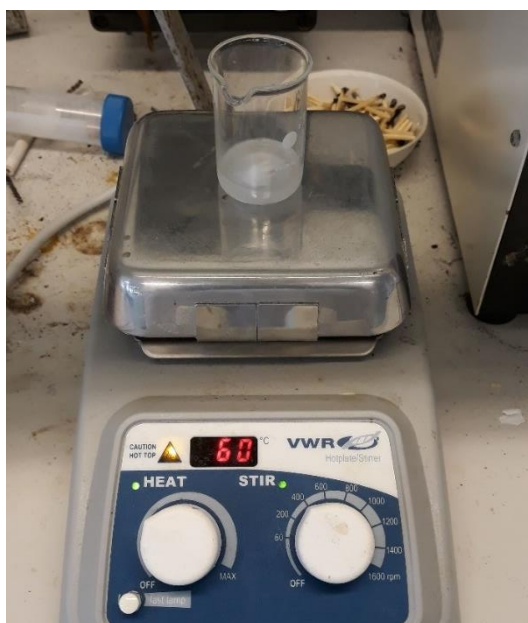
Materiaali	Yhteen synteisiin tarvittava määrä (g)	Pakkauskoko (g)	Hinta (€)	Riittoisuus (synteesiä)	Hinta/synteesi (€)	Lähde
Y(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O (99,8 % puhdas)	0,41	25	48,00	60,976	0,7872	[27]
		100	140,00	243,90	0,574	
		500	339,00	1219,5	0,27798	
Al(NO ₃) ₃ · 9 H ₂ O (99,997 % puhdas)	1,73	10	82,10	5,7803	14,2033	[28]
		100	416,00	57,803	7,1968	
Al(NO ₃) ₃ · 9 H ₂ O (≥98% puhdas)	1,73	100	20,70	57,803	0,35811	[29]
		500	71,00	289,02	0,24566	
		2500	291,00	1445,1	0,201372	
Ce(NO ₃) ₃ · 6 H ₂ O (99% puhdas)	0,01	100	59,40	10000	0,00594	[30]
		500	194,00	50000	0,00388	
Urea (≥98% puhdas)	1,10	100	36,20	90,909	0,3982	[31]
		500	67,70	454,55	0,14894	
		1000	105,00	909,09	0,1155	
		5000	438,00	4545,5	0,09636	

Työssä tarvitaan kemikaalien ohella kaasupoltinta, UV-lamppua ja magneettisekoittajaa, jossa on lämmitystoiminto. Näiden lisäksi työhön tarvitaan tavallisempia työvälineitä punnitusruuhi, 25 ml keitinlasi, pipetti, upokas, kolmijalka, kuumennuskolmio tai -verkko, pihdit, huhmare, survin, muovilusikka ja jokin noin 5 ml astia (esimerkiksi eppendorf-putki), jossa valmistettu loisteaine voidaan sekoittaa liimaan. Työn lopussa päällystetään sininen LED-lamppu valmistetulla materiaalilla. Päällysteessä käytettiin Eri Keeper -yleisliimaa, jonka hinta on noin 2-4 senttiä per synteesi [32]. Työssä käytettiin LL-504BC2E-021-lamppuja, joiden kappalehinta on noin 0,15 € [33]. Lampun voi korvata sinisellä kattolampulla, jolloin loisteaineen vaikutusta voi tarkastella paremmin, mutta tällöin päällysteeseen tarvitaan enemmän loisteainetta ja liimaa sekä suurempaa astiaa.

Työtä kokeiltaessa opetuslaboratoriossa suurin osa tarvittavista välineistä oli kerätty opiskelijoille valmiiksi koreihin. Tämän korin voi nähdä kuvassa 8. Laboratoriossa kaasupolttimet olivat kiinni vetokaapeissa, ja opiskelijat käyttivät yhteistä UV-lamppua, jonka takia nämä puuttuvat kuvasta. Magneettisekoittaja ja pipetti oli asetettu korin viereen, ja pihdit löytyivät myös vetokaapeista.

Edellä mainituista työvälineistä lämmitystoiminnolla varustettu magneettisekoittaja ei ole täysin välttämätön, vaan sen voi tarvittaessa korvata lämmityslevyllä. Lämmityslevyn tulisi olla sellainen, jonka lämpötilan pystyy erikseen määrittämään. Mikäli käytetään tällaista vaihtoehtoista asetelmaa liuosta pitää sekoittaa käsin. Tämä sekoittaminen voi pisimmillään jatkua yli kymmenen minuuttia.

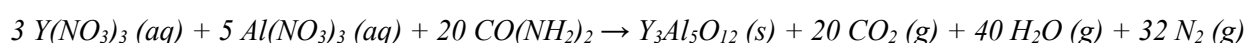
Keitinlasiin lisätään edellä mitattujen kemikaalien lisäksi 0,5 ml vettä. Veden merkitys reaktiossa on vain liuottaa kiinteät materiaalit. Tämän takia veden määrä ei ole kovin tarkka, joten mittaaminen voidaan tehdä esimerkiksi muovisella pasteur-pipetillä. Työn kokeilukerroilla käytettiin mittapipettiä, jotta opiskelijat pääsivät harjoittelemaan niiden käyttöä. Keitinlasissa olevaa liuosta sekoitetaan ja lämmitetään magneettisekoittajalla. Lämpötilaksi asetetaan 60°C ja sekoitusnopeudeksi 800 rpm. Sekoituksen aikana liuokseen lisätään 1,1 g ureaa. Sekoitusta jatketaan, kunnes kaikki aineet ovat liuenneet ja liuos on kirkas. Tähän työvaiheeseen menee yleensä alle 10 minuuttia. Kuvassa 10 näytetään esimerkki tästä työvaiheesta. Tämän jälkeen voidaan siirtyä tekemään synteesi.



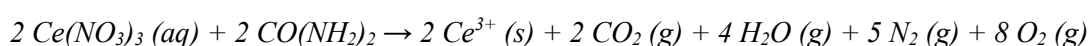
Kuva 10: Liuoksen sekoitus ja lämmitys. Lopullisessa työssä sekoitusnopeus on 800 rpm.

5.3 Työvaihe 3: Synteesi

Synteesi tehdään vetokaapissa, sillä sen aikana muodostuu paljon hiilidioksidia, vettä, typpeä sekä happea. Aiemmin valmistettu liuos siirretään keitinlasista upokkaaseen, jossa sitä voidaan lämmittää kaasupolttimella. Liuos alkaa pian lämmityksen alettua kiehumaan. Kiehuminen johtaa lopulta siihen, että liuos vaahtoutuu, jonka jälkeen vasta tapahtuu varsinainen synteesireaktio. Synteesiin on varattu kuvan 7 aikataulussa 5 minuuttia aikaa, mutta työtä kokeiltaessa joillain yliopisto-opiskelijoilla meni tähän vaiheeseen lyhyempi aika, toisilla jopa 10 minuuttia. Kuluva aika riippuu liekin lämpötilasta, kuumemmalla liekillä reaktio tapahtuu nopeammin, joten niiden opiskelijoiden, jotka käänsivät kaasupolttimen hanan enemmän auki, synteesi oli nopeampi. Synteesireaktio on seuraava [2]:



Materiaalin loisteen kannalta reaktio $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ kanssa on keskeistä. Reaktiossa muodostuu kaasuja sekä Ce^{3+} -ioneja:



Ennen synteesiä ylimääräinen vesi kiehuu pois upokkaasta. Synteesissä nitraatit reagoivat urean kanssa, muodostaen hiilidioksidia, vettä, typpeä ja happea. Synteesireaktiossa vapautuu paljon valoa, ja upokkaan sisältö voi näyttää jopa palavan, kuten kuvasta 11 nähdään. Kaasupolttimen voi sammuttaa, kun loiste loppuu ja astiaan on jäänyt jäljelle valmis kiinteä tuote. Lämmittämisen jälkeen upokas on todella kuuma, joten sitä tulee käsitellä pihdein. Tuotteen voi antaa myös jäähtyä hetken aikaa kuumennuskolmion päällä ennen kuin sitä alkaa siirtämään.

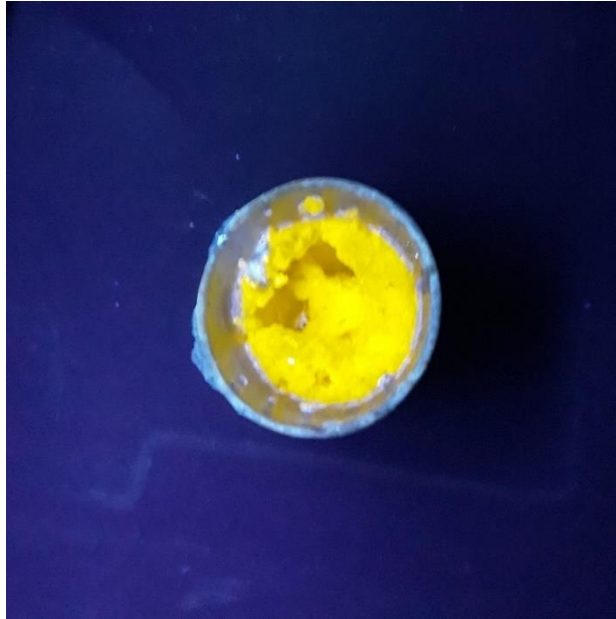


Kuva 11: Synteesin aikana tapahtuva valoilmiö.

5.4 Työvaiheet 4–5: Tuotteen tarkistaminen ja lampun päällystäminen

Ennen kuin tehdään lampulle päällyste, tarkistetaan synteesin tuote UV-lampulla. UV-lampulla voidaan varmistaa, että tuotteessa esiintyy luminesenssia. Ceriumilla seostettu yttriumalumiinigranaatti hohtaa UV-valossa keltaisena kuvan 12 mukaisesti. Keltainen hohto näkyy parhaiten hämärässä. Mikäli tuote ei hohda UV-lampun alla lainkaan mutta näyttää muuten oikealta, synteesissä saatiin yttriumalumiinigranaattia, jossa ei ole ceriumioneja koordinoituneena. Upokkaan lämpötila tulee vieläkin pitää mielessä ja käyttää tarvittaessa pihtejä.

Tarkistuksen jälkeen yttriumalumiinigranaatti siirretään huhmareeseen. Upokas voi vielä olla kuuma, jolloin siirtämisessä täytyy käyttää pihtejä tai antaa upokkaan jäähtyä. Tuote jauhetaan huhmareessa ja jauhetta siirretään 3–4 teelusikan kärjellistä noin 5 ml astiaan. Opiskelijat kokivat tähän käytetyt eppendorf-putket hankaliksi, joten kannattaa harkita toisenlaisen astian käyttämistä. Sekoitusastiassa keskeistä on koko: sen tilavuuden tulisi olla noin 5 ml ja päällystettävän lampun pitäisi mahtua siihen. Samaan astiaan lisätään myös muutama millilitraa liimaa. Työssä voidaan käyttää esimerkiksi tavallista yleisliimaa, tärkeintä on, että liima kuivuu kirkkaaksi.



Kuva 12: $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ loistaa UV-lampun alla keltaisena.

Lamppu päällystetään valmistetulla $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ -liima -seoksella upottamalla lamppu seokseen siten, etteivät lampun johdot peity. Lampun valon väristä tulee sitä vaaleampi mitä enemmän loisteainetta seokseen laitetaan ja mitä paksumpi kerros päällystettä laitetaan. Päällysteen annetaan kuivua, jonka jälkeen voidaan verrata päällystetyn lampun valon väriä päällystämättömän lampun väriin. Päällystyksen vaikutus näkyy erityisesti kuvassa 13, jossa verrataan päällystämättömää lamppua kahteen eri paksuisilla kerroksilla päällystettyyn lamppuun.



Kuva 13: Päällystämisen vaikutus UV-lamppujen väriin. Vasemmalta katsoen ensimmäistä lamppua ei ole päällystetty ollenkaan, oikeanpuoleisin puolestaan on päällystetty kaksi kertaa paksummalla kerroksella kuin keskimmäinen.

5.5 Riskit

Työtä tehtäessä käytetään tavalliset turvavälineitä (takki, suojalasit jne). Lisäksi tarvitaan suojahanskoja erityisesti käsitellessä harvinaisia metalleja sisältäviä jauheita ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ja $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$). Lähtöaineista kaikki nitraatit on luokiteltu syövyttäväksi, joista harvinaisia maametalleja sisältävät ovat myös ympäristölle vaarallisia. Yttriumnitraatti on vielä ärsyttävää ja ceriumnitraatti hapettavaa. [27]–[30] Ureaa ei ole luokiteltu vaaralliseksi. [31]

Synteesissä vapautuu kaasuja, joten se tehdään vetokaapissa. Valtaosa näistä kaasuista ei ole vaarallisia (esim. N_2 , H_2O ja CO_2), mutta kaasujen mukana voi kulkea harvinaisia maametalleja. Kuumennettua upokasta käsitellään pihtejä käyttäen. Kaasupolttimen liekki voi olla lämpötilaltaan yli 1000°C , joten upokas voi olla lämmityksen jälkeenkin vielä satojen asteiden lämpöinen. Ceriumilla seostettu yttriumalumiinigranaatti on luokiteltu ärsyttäväksi [34], joten sitäkin käsitellessä tulee noudattaa varovaisuutta.

5.6 Työn kehittäminen havainnoinnin pohjalta.

Koska työn kehittäjä ohjasi myös opiskelijoiden työskentelyä harjoitustyöosastolla, pystyttiin työn kehityksessä ottamaan huomioon myös sellaisia asioita, jotka eivät ilmennet kerätystä palautteesta. Opiskelijoiden kanssa tehtiin yhteensä noin 20–25 synteesiä. Näistä kaikki paitsi yksi onnistui odotetulla tavalla. Yksi synteesi erosi muista siinä, että tuote ei hohtanut valmistuessaan tai UV-lampun alla. Vaikuttaa siltä, että tässä synteesissä muodostui yttriumalumiinigranaattia, mutta ilman koordinoitunutta ceriumia. Tätä ei kuitenkaan tutkittu tarkemmin. Luultavasti synteesin tekijät unohtivat mitata seokseensa ceriumnitraattia, tai sitä ei muusta syystä päätynyt reaktioastiaan.

Kaikki muut synteesit kuitenkin onnistuivat, joten työ vaikuttaa anteeksiantavalta mitattujen materiaalien suhteen. Yhdistettynä siihen faktaan, että tarkka mittaaminen on paitsi kemian myös arjen kannalta keskeinen taito, jota voi harjoittaa jo lukiossa, päädyttiin mitattavat ainemäärät pitämään sellaisenaan, vaikka jotkut opiskelijat toivoivatkin niiden muutamista helpommin mitattavaksi. Lisäksi työn kustannuksen kasvavat ainemäärien kasvaessa.

5.7 Jatkokehittäminen

Työtä voitaisiin kehittää lisäämällä siihen sopiva tapa havaita muutos lampun värissä. Eräs tapa olisi verrata päällystetyn ja päällystämättömän lampun sekä mahdollisesti yttriumalumiinigranaatin UV-lampun alaisen hohteen väriä jonkinlaisella värikartalla. Värikartasta voitaisiin lukea valon väriä vastaava aallonpituus. Toinen, ehkä hienostuneempi tapa tehdä samanlainen mittaaminen olisi ottaa kuva niistä asioista, jonka valon aallonpituus halutaan määrittää. Tietokoneella jotakin

kuvankäsittelyohjelmaa käyttäen voidaan määrittää kuvasta värin sävy, josta puolestaan voidaan arvioida väriä vastaava aallonpituus.

Kumpikaan näistä aallonpituuden määrittämistavoista ei ole tarkka, toinen on vain silmänvarainen mittaustapa, kun taas toisessa yhdistetään toisiinsa kaksi arvoa, sävy ja aallonpituus, jotka eivät täysin vastaa toisiaan. Näillä menetelmillä voi kuitenkin arvioida värin muutosta. Työssä voitaisiin mitata aallonpituuden muutoksen lisäksi energian muutosta. Energianmuutos voidaan mitata mittaamalla virittävän ja emittoituvan valon aallonpituudet ja laskemalla näistä energianmuutos.

Toisaalta työtä voisi kehittää sille kohderyhmälle sopivaksi, jolla sitä nyt kehoitettiin. Kehitettynä työ voisi olla mielekästä yliopistossa ensimmäisen vuoden pääaineopiskelijoiden kemian peruskurssien harjoitustöissä tai vastaavalla harjoitustyökurssilla. Tällöin työn lopussa voitaisiin mitata lampun värissä tapahtuva muutos jollakin sopivalla spektrometrillä menetelmällä, joka olisi tarkempi ja myös aidosti kemian tutkimuksessa yleisesti käytössä. Jos työ kehitettäisiin tällaiseen käyttöön, sen tavoitteena kurssilla voisi olla epäorgaanisen kemian tutkimuksen esittelemine opiskelijoille.

6 Tulokset

Kehittämisprosessin toisessa syklissä työstä kerättiin palautetta paperilomakkeella. Paperilomakkeen tavoitteena oli selvittää, minkälaisia muutoksia työhön tulisi opiskelijoiden mielestä tehdä. Näihin kysymyksiin saatuja vastauksia käsitellään luvussa 6.1. Lisäksi opiskelijoita pyydettiin tekemään paperin kääntöpuolelle ajatuskartta loisteaineista. Näiden tulkintaa kuvaillaan tarkemmin luvussa 6.2, sillä niiden tulkinta eroaa huomattavasti paperilomakkeen muiden vastauksien tulkinnasta.

Kokeilukertojen jälkeen opiskelijat vastasivat myös sähköiseen lomakkeeseen. Tällä lomakkeella haluttiin selvittää työn sopivuutta lukioon sekä työn relevanssia relevanssiteorian kannalta. Sähköistä lomaketta käsitellään sekä luvussa 6.1 lukioon sopimisen kannalta että luvussa 6.3 relevanssin kannalta. Luvussa 6.4. tutkitaan sitä, miten opiskelijoiden oppimissuuntaus vaikutti heidän antamiin vastauksiin sähköisessä lomakkeessa.

Tämän kappaleen alaluvuissa vastataan siis järjestyksessä tutkimuskysymyksiin:

- Millaisia vahvuuksia ja kehittämiskohteita yliopisto-opiskelijat havaitsivat loisteaineisiin liittyvässä työssä?
- Millä tavalla yliopisto-opiskelijat näkivät loisteaineet ainerajat ylittävänä aihekokonaisuutena?
- Miten yliopisto-opiskelijat kokivat loisteaineiden ja niihin liittyvän työn relevanssin?
- Miten opiskelijoiden lähestymistavat kemian oppimiseen vaikutti heidän kokemuksiinsa loisteaineisiin liittyvästä työstä?

6.1 Millaisia vahvuuksia ja kehittämiskohteita yliopisto-opiskelijat havaitsivat loisteaineisiin liittyvässä työssä?

Paperiseen lomakkeeseen vastasi yhteensä 48 opiskelijaa. Lomakkeen kolme kysymystä olivat:

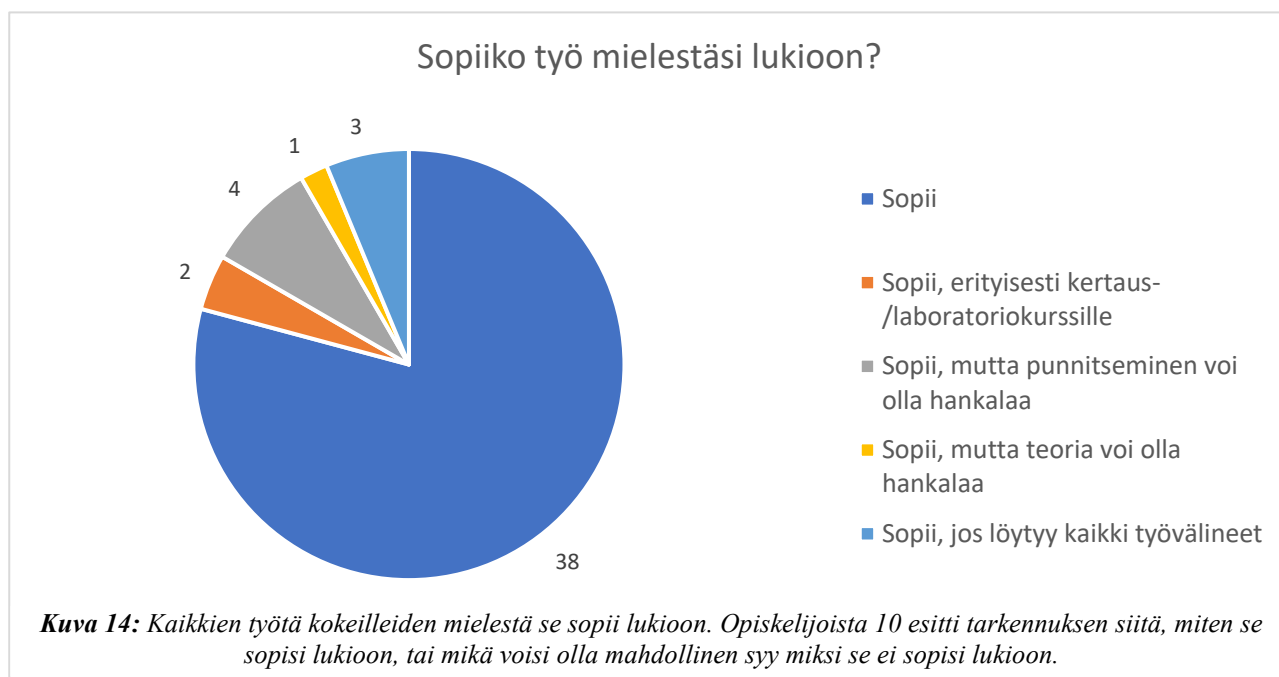
- Sopiiko työ mielestäsi lukioon? Perustele vastauksesi.
- Mikä työssä onnistui? Mikä oli työn paras osuus?
- Mikä työssä vaatii vielä kehitystä? Voit halutessasi kertoa myös kehitysideoita.

Seuraavissa alaluvuissa esitellään näihin kysymyksiin saatuja vastauksia. Kaikki nämä vastaukset siirrettiin samaan taulukkoon. Sisältönsä perusteella samanlaiset vastaukset ryhmiteltiin taulukossa yhteen. Yksi vastaus saatettiin lukea useampaan ryhmään, jos siinä nimettiin esimerkiksi useampi asia, joka vielä vaatii kehitystä. Tällä tavalla saatujen vastausryhmien koot laskettiin. Käytännössä siis ryhmien koot kertovat kuinka monta kertaa opiskelijat vastasivat tiettyjä asioita. Työn kehittämisen kannalta oleellisimpina vastauksina pidettiin sellaisia, joiden ryhmät olivat suurimpia. Tosin vastauksien määrän ollessa näin pieni melkein kaikki vastaukset pystyttiin ottamaan huomioon.

6.1.1 Kokevatko työn kokeilleet opiskelijat työn lukio-opetukseen sopivaksi?

Paperisen lomakkeen ensimmäisessä kysymyksessä kysyttiin, sopiko työ opiskelijoiden mielestä lukioon. Kaikki opiskelijat vastasivat työn sopivan heidän mielestään lukioon, tosin jotkut esittivät myös pohdintoja työstä. Näitä pohdintoja on esitetty kuvassa 14.

Neljä opiskelijaa pohti, onko tarkka punnitseminen hankalaa lukio-opiskelijoille. Punnitseminen tuotiin esille myös kolmannen kysymyksen vastauksissa. Yksi opiskelija mietti, onko teoria työn taustalla liian hankalaa ja kaksi opiskelijaa tarkensi, että heidän mielestään työ sopisi erityisesti joko kemian tai fysiikan kertaus- ja/tai laboratoriokurssille. Kolme opiskelijaa esitti huolensa siitä, löytyykö lukioista kaikki työhön tarvittavat työvälineet, kuten vetokaapit tai magneettisekoittajat. Vetokaapit ovat yleisiä lukioissa, mutta lämmittävät magneettisekoittajat ovat harvinaisempia. Siksi niille annettiin toinen vaihtoehto aiemmin.



Osaksi kurssia kuului myös tehtyä työtä koskeviin kysymyksiin vastaaminen kurssikerran jälkeen Moodle-alustalla. Loistainetyön kysymyksistä osa oli työn kehittämiseen liittyviä ja osa sellaisia, jolla oli tarkoitus mitata työn relevanssia. Opiskelijat vastasivat väittämiin joko olevansa täysin tai osittain eri mieltä, täysin tai osittain samaa mieltä, tai olevansa mielipiteeltään siltä väliltä. Nämä vastaukset voitiin sitten analyysia varten muuttaa numeerisiksi arvoiksi, jossa 1 = Täysin eri mieltä ja 5 = täysin samaa mieltä. Näitä loistainetyötä käsitteleviä kysymyksiä kutsutaan tässä tutkielmassa ”sähköiseksi lomakkeeksi”. Lomakkeen kaikki kysymykset sekä se, mihin relevanssin ulottuvuuteen ne mahdollisesti liittyvät, löytyy liitteestä 5.

Sähköisen lomakkeen seitsemän ensimmäistä kysymystä liittyivät työn kehittämiseen, ja niissä kysyttiin opiskelijoilta, miten he olivat kokeneet työn, kokivatko he esimerkiksi oppineensa sen aikana uutta ja oliko työ hauska tai haastava. Näistä vastauksista tehtiin deskriptiivinen analyysi, jossa selvitettiin opiskelijoiden vastausten keskiarvo, keskihajonta sekä odotusarvo kunkin väittämän kohdalla. Tämän analyysin tulokset on esitetty taulukossa 5, jossa keskiarvo ja keskihajonta on ilmoitettu myös niitä vastaavilla sanallisilla arvoilla.

Taulukko 5: Työhön ja sen kehittämiseen liittyvien väitteiden keskiarvo, keskihajonta sekä odotusarvo. Keski- ja odotusarvo on ilmoitettu myös sanallisesti.

Väite	Keskiarvo		Keskihajonta	Odotusarvo	
Opin uusia kemian työmenetelmiä	4,00	Osittain samaa mieltä	0,90	4,00	Osittain samaa mieltä
Opin uutta kemian tutkimuksesta	4,04	Osittain samaa mieltä	0,87	4,00	Osittain samaa mieltä
Opin lisää loisteaineista	4,67	Täysin samaa mieltä	0,52	5,00	Täysin samaa mieltä
Työ oli mielestäni hauska	4,71	Täysin samaa mieltä	0,62	5,00	Täysin samaa mieltä
Työ oli liian haastava	1,27	Täysin eri mieltä	0,61	1,00	Täysin eri mieltä
Työohjeessa oli käytetty termistöä, jota ei selitetty tarpeeksi	1,65	Osittain eri mieltä	0,81	2,00	Osittain eri mieltä
Joidenkin työvaiheiden kirjallinen ohjeistus oli mielestäni epäselvä	1,65	Osittain eri mieltä	0,81	1,00	Täysin eri mieltä

Näistä väittämistä neljä ensimmäistä olivat positiivisia väittämiä, joihin opiskelijat yleisesti yhtyivät. Taulukosta 5 nähdään, että opiskelijat kokivat oppineensa uutta sekä kemian työmenetelmistä ja tutkimuksesta, mutta erityisesti loisteaineista. Työtä pidettiin myös melko yksimielisesti hauskana. Näistä väittämistä loput kolme olivat negatiivisia väittämiä, ja niiden kanssa opiskelijat puolestaan olivat eri mieltä. Opiskelijat olivat sitä mieltä, että työ ei ollut liian haastava. Taulukon perusteella kirjallisia ohjeistuksia voisi vielä selkeyttää, sillä opiskelijat olivat keskimäärin vain osittain eri mieltä sen kanssa, että ohjeistus oli epäselvä joidenkin työvaiheiden osalta. Tulosten perusteella työssä käytetty termistö vaatii hieman enemmän selkeytystä kuin työohjeet muuten.

6.1.2 Mitä vahvuuksia työn kokeilleet opiskelijat työssä tunnistavat?

Lomakkeen toisessa kysymyksessä kysyttiin, mikä työssä oli onnistunutta ja mikä oli työn paras osuus. Näihin kahteen kysymykseen vastattiin yleisesti ristiin ja niiden ollessa hyvin samanlaisia niiden vastaukset voitiin käsitellä yhdessä. Tämän takia kysymykset oli alun perinkin laitettu yhteen. Melkein kaikki opiskelijat nimesivät useamman kuin yhden asian työssä onnistuneena ja/tai työn parhaimpana osuutena. Kaikki opiskelijoiden nimeävät asiat käsiteltiin erillisinä vastauksina, vaikka todellisuudessa ne liittyivätkin yhteen. Tämän takia vastauksia käsitellään enemmän kuin 48. Yleisimpien vastausten määrät on esitetty kuvassa 15.

Ylivoimaisesti yleisin vastaus oli dramaattiselta näyttävän synteesireaktio, jossa muodostuva loisteaine loistaa kirkkaana, joka nimettiin työn parhaimmaksi osuudeksi 35 kertaa. Tämä ilmeni vastauksissa siten, että todella monet opiskelijat ilmaisivat mielenkiintoa synteesin aikaista ”valoilmiota” kohtaan. Tätä reaktiota pidettiin hienon näköisenä, kiinnostavana ja myös konkreettisenä, sillä siinä todella näki sen kun reaktio tapahtui.

Toiseksi yleisimpänä 20 vastausta nimesi lampun päällystämisen ja päällystetyn lampun vertaamisen päällystämättömään lamppuun tai lopputuloksen näkemisen työn parhaimpina osuuksina. Kaikki tämänkaltaiset vastaukset tulkittiin liittyvän LED-lamppujen päällystämiseen. Lamppujen päällystämistä luonnehdittiin konkreettiseksi sekä mielekkääksi, sillä siinä pääsee näkemään työnsä tuloksen. Sitä pidettiin myös vain hauskana.



Kuva 15: Yleisimmät vastaukset, kun kysyttiin mikä työssä oli onnistunut ja mikä oli työn paras osuus. Vastauksia saatiin 48, mutta käytännössä kaikissa vastauksissa nimettiin useampi kuin yksi asia parhaimpana ja/tai onnistuneena.

Kolmanneksi yleinen vastaus liittyi kysymykseen siitä, mikä työssä oli onnistunutta. 16 opiskelijan mukaan onnistunutta oli se, että työohjeet olivat selkeät. Näiden vastausten pohjalta päädyttiin siihen, että lopullinen versio työohjeesta pyrittiin pitämään mahdollisimman lähellä työn kehityksen toisessa syklissä tehtyä toista iteraatiota työohjeita.

Opiskelijoiden nimeämät asiat eivät kuitenkaan kaikki sopineet näihin kolmeen kategoriaan. Muita vastauksia saatiin yhteensä 15 kappaletta, jotka käsittivät yhteensä kahdeksaa erilaista vastausta. Kaksi yleisintä näistä kahdeksasta vastauksesta ilmeni kolme kertaa, kaksi kertaa esille nousi kolme vastausta, ja vain kerran mainittiin kaksi asiaa.

Kolme vastausta sanoi työn olevan mielekästä. Yksi näistä tarkensi päällystetyn lampun näkemisen työn lopussa olevan mielekästä. Toinen sanoi työn arjenläheisyyden olleen hienoa. Tässä vastauksessa ei erikseen mainittu mielekkyyttä, mutta sen kuitenkin tulkittiin käsittelevän sitä. Kolmas opiskelija sanoi kokeneensa työn mielekkääksi, mutta ei tarkentanut miten. Nämä vastaukset voitaisiin lajitella myös eri tavalla, ja ensimmäinen näistä vastauksista laskettiin liittyvän myös lampun päällystämiseen.

Kolme opiskelijaa sanoi työn olevan havainnollistava. Tällä tarkoitetaan sitä, että kolme opiskelijaa kertoi työn havainnollistavan heidän mielestään teoriaa hyvin käytännössä. Työ havainnollistaa heidän mukaansa sitä, mitä loisteaineet ovat ja sitä, miten niitä voidaan käyttää LED-lampuissa. Lisäksi työ havainnollistaa sitä, miten virittyminen tapahtuu ja mitä siitä seuraa.

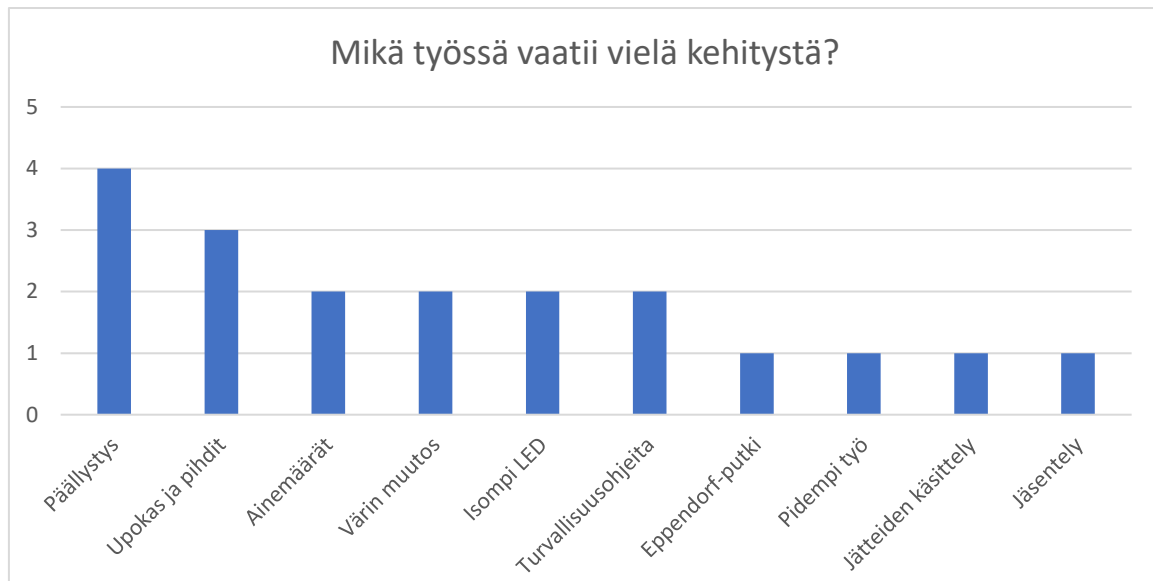
Vähemmän yleisistä vastauksista vain mielekkyys ja havainnollistaminen ilmeni kolme kertaa, mutta useampi aihe pystyttiin havaitsemaan kahdesti. Mittauspisteet oli kahden opiskelijan mukaan selkeästi sijoitettu tiloihin. Kaksi opiskelijaa koki UV-valon käyttämisen hohtamisen varmistamiseksi työn parhaaksi osuudeksi. Kahdessa vastauksessa työn teoriaa pidettiin erityisen mielenkiintoisena.

Näiden vastausten lisäksi yksi opiskelija sanoi työssä olleen onnistunutta se, ettei työssä ollut laskuja. Tämä tekee työstä paitsi yliopisto-opiskelijoille mukavan, myös lukiolaisille helpommin saavutettavan. Toinen opiskelija kehui työn uudenaikaisuutta ja tarkensi, että työssä oli hyvää se, että kauan aikaa tehdyn laboratoriotyön sijaan tämä työ liittyy hyvin moderniin aiheeseen, josta on myönnetty Nobelin palkinto vuonna 2014.

6.1.3 Mitä kehittämiskohteita työn kokeilleet opiskelijat työssä tunnistavat?

Kun kysyttiin, tarvitseeko työ vielä kehitystä, 32 opiskelijaa vastasi, ettei työ heidän mielestään tarvinnut kehitystä tai etteivät he tienneet miten työtä voisi kehittää. Myös tyhjät vastaukset, joita oli yhdeksän, tulkittiin tähän ryhmään. 17 opiskelijaa esitti kehitysideoita. Yksi vastaus laskettiin kumpaankin kategoriaan, sillä siinä vastauksessa sanottiin ensin, että kehittämistä ei tarvita, mutta sitten kuitenkin sanottiin, että työn lopussa päällysteeseen voisi käyttää enemmän loisteainetta. Yhteenveto näistä 17 vastauksesta on esitetty kuvassa 16.

Neljän opiskelijan palaute koski lamppujen päällystämistä. Heidän mielestään työohjeessa päällysteeseen laitettavaa loisteaineen määrää kannattaisi suurentaa, joko lisäämällä päällysteeseen enemmän yttriumalumiinigranaattia tai päällystämällä lamppu kahdesti. Tämän vuoksi työohjeiden toiseen iteraatioon muutettiin päällysteeseen laitettavan $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ määrä yhdestä lusikan kärjellisestä muutamaksi. Lopullisiin työohjeisiin tämä tarkennettiin vielä 3–4 lusikan kärjelliseksi.



Kuva 16: 32 opiskelijaa vastasi, ettei työ heidän mielestään tarvitse kehittämistä, loput vastaukset on esitetty kuvassa.

Toiseksi eniten palautetta annettiin pihtien käyttämisestä upokkaan kanssa. Kolme opiskelijaa ehdotti, että työohjeisiin lisätään maininta siitä, että kuuman upokkaan kanssa kannattaa käyttää pihtejä. Tämä maininta lisättiin työohjeiden toiseen versioon ja säilytettiin viimeisessä versiossa.

Työn ainemääriin, lampun värin muutokseen, LED-lampun suurentamiseen sekä turvallisuusohjeisiin liittyi kuhunkin kaksi vastausta. Ainemääriin liittyen opiskelijat olivat sitä mieltä, että mitattavat ainemäärät olivat hankalan pieniä ja että lukiolaisten kannalta niitä voisi olla hyvä suurentaa. Työohjeita ei enää kehitetty tältä kannalta, mitä perustellaan lisää luvussa 7.3 Sanaton palaute.

Kaksi opiskelijaa ehdotti suuremman lampun käyttämistä, jotta lopputulosta voisi verrata kattolamppuun. Jos pienen LED-lampun sijaan työssä päälylystettäisiinkin kattolampun kokoinen ledi, voitaisiin vielä selvemmin havainnollistaa sitä, miten suuri ero on siinä, kun tilaa valaistaan sinisellä lampulla tai kun tilaa valaistaan samanlaisella lampulla, jonka väri on korjattu. Samalla tuotaisiin konkreettisemmin esille loisteaineiden rooli arjessa. Myös työssä jätteeksi päätyvän loisteaineen määrä pienenisi. Työn lopullisessa versiossa kuitenkin säilytettiin pienet ledit niiden hinnan sekä saatavuuden vuoksi. Sinisen kattolampun löytäminen ja hankkiminen voi tehdä työn käyttöönotosta lukioissa hankalampaa. Tämän tutkielman luvussa 5 Kehittämistuotos esitettiin työohjeisiin lisättiin kuitenkin maininta siitä, miten ne voi korvata suuremmilla LED-lampuilla.

Myös turvallisuusohjeiden lisäämistä toivottiin. Erityisesti mainittiin tarvittavien suojavälineiden ja reagenssien mainitseminen työohjeissa. Työohjeen viimeiseen versioon lisättiin maininta suojavälineiden, esimerkiksi takkien sekä suojalasien ja myös hanskojen, käyttämisestä erityisesti

harvinaisia maametalleja käsitellessä. Lisäksi työohjeisiin lisättiin maininta työssä käytettävien kemikaalien turvamerkinnöistä.

Väriin muutokseen liittyen kaksi opiskelijaa jäi kaipaamaan jonkinlaista kvantitatiivista mittausta työn loppuun. Toinen näistä palautteista liittyi energian ja toinen aallonpituuden muutokseen. Nämä kaksi voidaan kuitenkin molemmat liittää väriin muutoksen mittaamiseen, sillä molemmat arvot mittaavat sitä ja ovat keskenään kääntäen verrannolliset. Toinen opiskelijoista ehdotti väriin muutoksen arvioimista jonkinlaista värikarttaa käyttäen. Tällä kertaa tämänkaltaista mittaamista ei onnistuttu lisäämään työhön, mutta otettiin kuitenkin huomioon jatkokehityksen kannalta.

Lopuksi läpikäytäviä palautteita tuli kustakin aiheesta vain yksi. Ensimmäkin eppendorf-putkista sanottiin, että ne olivat epäkäytännöllisiä loisteaineen ja liiman sekoittamisessa. Työssä käytettiin eppendorf-putkia, koska ne olivat sopivan kokoisia pienten lamppujen päällystämiseen. Lopullisessa työssä eppendorf-putki voidaan korvata muulla pienellä astialla, riippuen siitä mitä lukiossa on helposti saatavilla. Eräs opiskelija ehdotti, että työohjeisiin lisättäisiin maininta siitä, miten työssä syntyviä jätteitä tulee käsitellä. Työohjeisiin lisättiin maininta siitä, mitkä jätteet kerätään erikseen. Toivottiin, että työohjeet jäsennellään niin, että niitä olisi helpompi seurata. Työohjeiden jokaisesta versiosta pyrittiin tekemään edeltävää versiota selvempi ja paremmin jäsennelty.

Myös työn pidentämistä ehdotettiin. Tämä ehdotus liittyy luultavasti siihen, että vaikka työ onkin lukioon sopivan pituinen, se on kemian yliopisto-opiskelijoille yllättävänkin lyhyt. Pidemmän työn sovittaminen lukioon olisi hankalaa, mutta mikäli työn kehittämistä jatkettaisiin yliopisto-opiskelijoille sopivaksi, olisi hyvä idea kehittää jokin lisäosa työhön. Työn tekemiseen kuluu noin tunti, mutta Turun Yliopistossa ensimmäisen vuoden harjoitustöille on varattu aikaa kolme tuntia.

6.2 Millä tavalla yliopisto-opiskelijat näkivät loisteaineet ainerajat ylittävänä aihekokonaisuutena?

Edellä esitettyjen kysymysten lisäksi opiskelijoita pyydettiin tekemään lomakkeen taakse ajatuskartta loisteaineista. Ajatuskarttojen tekeminen ohjeistettiin sanallisesti ja samalla opiskelijoille annettiin muutama termi, joiden avulla he pääsivät alkuun, mutta joita ei ollut pakko käyttää. Ajatuskartan keskelle pyydettiin laittamaan ”Loisteaineet”, ja apusanoiksi annettiin ”käyttökohteet”, ”kuvantaminen”, ”kemia”, ”fysiikka” ja ”biologia”. Opiskelijat saivat käyttää ajatuskartan tekemisen apuna sekä työohjeita, toisiaan että internetiä.

Kunkin opetuskerran ajatuskartat yhdistettiin käyttäen internetistä löytyvää Bubbl.us-sovellusta, jolloin saatiin aikaan viisi isoa ajatuskarttaa. Ajatuskarttojen kupliin merkattiin numerolla se, kuinka yleisiä ne olivat. Numeroissa otettiin huomioon kuplien sisällön lisäksi niiden sijainti ajatuskartalla,

sillä ajatuskartoista haluttiin nähdä ennen kaikkea se, miten opiskelijat yhdistivät eri termit toisiinsa opetussession ja oppilastyön pohjalta. Joidenkin kuplien sisältöä piti tiivistää. Täydet ajatuskartat löytyvät liitteestä 4.

Ensimmäisen ryhmän (N=11) ajatuskartoissa esiintyi yhteensä 72 sisällöltään ja sijainniltaan erilaista kuplaa keskellä sijaitsevan ”Loisteaineet”-kuplan lisäksi. Näistä kuplista suurin osa esiintyi vain kerran. Melkein kaikissa ajatuskartoissa, yhteensä kymmenessä, esiintyi ”käyttökohteet”-kupla, joista jokaisella oli myös alakuplat ”Valot” tai ”Ledit” tms. Tämä korostaa oppilastyön arvoa opetus- tai havainnollistuskeinona, sillä vaikka muitakin työohjeissa tai työn sanallisessa alustuksessa mainittuja käyttökohteita esiintyi kartoissa, niitä ei esiintynyt lähellekään samalla taajuudella kuin mitä ”lamput” esiintyi. Toiseksi yleisin käyttökohde oli lääketiede, joka esiintyi yhteensä neljä kertaa.

Muita annettuja apusanoja esiintyi myös paljon, mutta näillä ei ollut yhtä yleisiä alakuplia kuin ”käyttökohteiden” ”valot”/”ledit”. ”Kemia” esiintyi yhdeksän kertaa, ja sen yleisin alakäsite oli ”luminesenssi”. Opiskelijat siis mielsivät luminesenssin enemmän kemian kuin fysiikan käsitteeksi. Luminesenssi esiintyi kahdesti myös suoraan loisteaineiden alakuplana. ”Kemiaan” yhdistettiin myös ”kidekentät”, luultavasti materiaalien rakenteeseen viitaten sekä ”energiatilat” tai ”-tasot”, jotka liittyvät luminesenssin mekanismiin. Yllättävänä lisänä kemiaan yhdistettiin myös ”rikostutkimus”.

”Fysiikkaan” liitettiin lähinnä valoon sekä sen energiaan ja aallonpituuteen sekä näiden muutoksiin liittyviä käsitteitä. ”Biologia” esiintyi usein, koska se oli eräs annetuista apusanoista, mutta siihen yhdistettiin vain tutkimukseen liittyviä käsitteitä. Kuvantaminen esiintyi kuudesti, ja siihen liitettiin sellaisia asioita mitä voi odottaa, kuten ”lääketiede” ja ”varjoaine”. Lisäksi tähän yhdistettiin tiettyjä kuvantamistapoja (magneetti- ja röntgenkuvaus), jotka eivät välttämättä suoraan liity loisteaineisiin.

Toisen ryhmän (N=12) ajatuskartoissa havaittiin hieman enemmän käsitteitä, yhteensä 76 kappaletta, mutta taas kerran suurin osa näistä esiintyi vain kerran. Toinen ryhmä käytti ensimmäistä ryhmää vähemmän aputermejä. Yleisin kupla oli taas ”käyttökohteet”, joka esiintyi yhdeksän kertaa. Tällä kertaa käyttökohteita osattiin nimetä enemmän kuin aiemmin, ja valot putosivat yleisimmästä käyttökohteesta toiseksi yleisimmäksi. ”Lamput” esiintyi kuusi kertaa. Sen sijaan ”lelut/koriste-esineet” oli nyt yleisin käyttökohde seitsemällä maininnalla. Lisäksi käyttökohteisiin liitettiin erilaiset väärennoksenestokäytöt (setelit, henkilökortit, passit), valaisimet (laser, näytöt) sekä pimeässä valaiseminen (kellot, turvamerkinnot).

”Kemia” esiintyi vain viidesti, ja siihen liitettiin melkein aina elektronin virittyminen. Loisteaineiden kemiaan liitettiin kahdesti loisteaineiden valmistaminen, ja kuten aiemmin, kemiaan liitettiin myös

rakenteeseen liittyviä käsitteitä (kuten seosionit). Biologiaan osattiin tällä kertaa liittää eliöissä esiintyvä loiste. Biologia esiintyi viidesti, eliöt/eläimet neljästi. Eläimistä mainittiin erikseen syvänmerenkalat sekä kiiltomadot. Fysiikka esiintyi vain kolmesti, ja siihen liitettiin samanlaisia valoon liittyviä käsitteitä kuin aiemmin. Lisäksi ”loisteaine”-kuplaan liitettiin suoraan elektronien viritystilat sekä lääketieteellinen kuvantaminen, kumpikin kahdesti. Lääketieteellinen kuvantaminen esiintyi myös kerran käyttökohteiden alla.

Kolmannessa ryhmässä oli vain neljä jäsentä, joten siitä ei voida tehdä yleistyksiä.

Neljäs ryhmä oli taas suurempi (N=12). Kuplia syntyi yhteensä 74 erilaista. Tässä ryhmässä käytännössä kaikki laittoivat karttaansa käyttökohteita (yhteensä 11 kappaletta kuplana ”käyttökohteet”). Yleisin yhdeksällä maininnalla oli lamput, jossa tällä kertaa esiintyi yleisenä myös oma alakuplansa ledeistä. Käyttökohteita nimettiin kattavasti, vaikka muut käyttökohteet eivät yltäneetkään lamppujen kanssa samaan suosioon.

Fysiikkaan yhdistettiin kahdesti sekä Nobelin palkinto vuodelta 2014 sekä tutkimus, mutta pienemmissä määrin myös valoon sekä energiaan liittyviä käsitteitä kuten aiempienkin ryhmien kohdalla. Kuvantamisessa pysyttiin tiiviisti lääketieteellisessä kuvantamisessa. Biologiaan yhdistettiin kahdesti sekä hohtavat eliöt että synteesi. Kemiaan yhdistettiin aiempia ryhmiä enemmän materiaalikemia, neljä kertaa. Kemiaan yhdistettiin lisäksi myös foto- ja kestoluminesenssi, sekä loisteen syntymekanismiin liittyviä käsitteitä. Tutkimus esiintyi täälläkin kahdesti.

Yllättävästi ryhmistä toiseksi pienimmästä (N=9) saatiin kaikkein laajin summattu ajatuskartta, jossa oli yhteensä 108 kuplaa keskellä sijainneen ”loisteaineet”-kuplan lisäksi. Näistä ajatuskartoista voidaan käyttökohteiden osalta havaita samanlaisia trendejä kuin aiemminkin. Kuvantamisessa ei tällä kertaa esiintynyt lääketieteellistä kuvantamista, mutta se tosin esiintyi käyttökohteiden alla. Fysiikassa oli taas havaittavissa valoon, energiaan ja mekanismiin liittyviä käsitteitä. Kemiassa oli jonkin verran tutkimukseen sekä mekanismiin liittyviä käsitteitä.

Tämän ryhmän ajatuskartoissa oli havaittavissa hyviä loisteaineiden ja luminesenssin kannalta keskeisiä kuplia, joita ei esiintynyt muiden ryhmien kartoissa. Näitä kuplia kuitenkin esiintyi kutakin vain yksittäisten opiskelijoiden kartoissa. Tämän ryhmän opiskelijat siis luultavasti työskentelivät enemmän itsenäisesti ajatuskarttojensa parissa kuin muut ryhmät.

näytöissä. Opiskelijat oppivat jonkin verran myös loisteaineiden ns. tieteellisemmistä käyttökohteista, kuten kuvantamisesta. Erityisesti loisteaineet opittiin yhdistämään lääketieteelliseen kuvantamiseen.

Opiskelijat yhdistivät tiettyjä käsitteitä sekä kemiaan että fysiikkaan. Loisteaineiden tutkimus, luminesenssi-ilmiö sekä erialaisia mekanismeihin liittyviä termejä yhdistettiin kumpaankin näistä tieteistä, tosin valmistaminen ja elektronien virittyminen yhdistettiin enemmän kemiaan ja valon muodostumiseen liittyvät termit fysiikkaan. Kemiaan yhdistettiin myös materiaalien kehittäminen ja loisteaineiden rakenteeseen liittyviä termejä. Biologiaan yhdistettiin lähinnä lääketieteellinen kuvantaminen sekä pimeässä hohtavat eliöt. Vaikuttaa siis siltä, että opiskelijat kokivat loisteaineet loisteaineita käsittelevän työn yhdistävän lähinnä fysiikan ja kemian ainesisältöjä.

6.3 Miten yliopisto-opiskelijat kokivat loisteaineiden ja niihin liittyvän työn relevanssin?

Sähköisen lomakkeen loput 11 väittämää liittyivät työn relevanssiin. Relevanssiin liittyvät väitteet tehtiin Stuckeyn ym. artikkelin pohjalta, siten, että jokaista relevanssin ulottuvuutta koski yksi väite. Väitteiden määrä pyrittiin pitämään mahdollisimman pienenä, jotta opiskelijat jaksaisivat vastata niihin mahdollisimman totuudenmukaisesti. Kahdelle ulottuvuudelle, Yhteiskunnallinen-Sisäinen-Tulevaisuus tai Ammatillinen-Ulkoinen-Nykyisyys, ei keksitty sopivaa väitettä ja ulottuvuutta Yhteiskunnallinen-Ulkoinen-Tulevaisuus koski kaksi väitettä. Väitteet on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6: Relevanssin eri ulottuvuuksia koskevat väitteet.

Relevanssin ulottuvuus			Väite
Yksilöllinen	Sisäinen	Nykyisyys	Työ lisäsi kiinnostustani loisteaineisiin.
		Tulevaisuus	Haluaisin oppia lisää loisteaineista.
	Ulkoinen	Nykyisyys	Opin työstä tietoja ja taitoja, joista on hyötyä tämänhetkissä opinnoissani.
		Tulevaisuus	Opin työstä tietoja ja taitoja, joista voi olla hyötyä myöhemmissä opinnoissani.
Yhteiskunnallinen	Sisäinen	Nykyisyys	Ymmärrän työn ansiosta paremmin loisteaineiden merkityksen jokapäiväisessä elämässäni.
		Nykyisyys	Opin lisää siitä, mihin tarkoituksiin loisteaineita käytetään.
	Ulkoinen	Nykyisyys	Tiedän työn ansiosta lisää siitä, mihin tarkoituksiin loisteaineita käytetään.
		Tulevaisuus	Työ lisäsi ymmärrystäni siitä, millä tavalla loisteainetutkimus edistää kestävästä kehitystä.
Ammatillinen	Sisäinen	Nykyisyys	Työ lisäsi kiinnostustani valita loisteaineisiin liittyviä kursseja aine- ja syventävissä opinnoissa.
		Tulevaisuus	Työ lisäsi ymmärrystäni siitä, millä tavalla kemian tutkimusta voidaan kaupallistaa.
	Ulkoinen	Tulevaisuus	Työ lisäsi kiinnostustani työskennellä tulevaisuudessa loisteaineiden tutkimuksen parissa.

Relevanssiin liittyville väittämille tehtiin samanlainen analyysi kuin muillekin sähköisen lomakkeen väitteille edellä. Relevanssiin liittyvistä väitteistä saatiin vastaukseksi, olivatko opiskelijat samaa mieltä, eri mieltä vai siltä väliltä väitteen kanssa. Tämä herätti kysymyksen siitä, milloin näiden vastausten mukaan työ on relevanttia kyseisessä ulottuvuudessa. Tulkinnassa päädyttiin siihen, että työ oli relevantti ulottuvuudessa, kun opiskelijoiden keskiarvoinen vastauksen oli joko osittain tai täysin samaa mieltä relevanssia kuvaavaan väitteen kanssa. Toisiakin rajoja relevanssille voitaisiin asettaa. Analyysin tulokset on esitetty taulukossa 7.

Työ vaikuttaisi olevan relevantti yksilöllisen tason kaikissa alueissa, eniten ehkä ulottuvuudessa Yksilöllinen-Ulkoinen-Tulevaisuus. Yksilöllisellä tasolla työn sisältö on mielenkiintoista tai hyödylliseksi koettua. Tarkempi ulottuvuus viittaa siihen, että opiskelijat kokivat oppineensa työstä jotakin, josta heille on henkilökohtaisesti tulevaisuudessa hyötyä. Yhteiskunnallisella tasolla työ olisi tulosten perusteella relevanttia nykyisyys–akselilla sekä sisäisesti että ulkoisesti, enemmän ulkoisesti. Tämä viittaisi siihen, että työ auttaa ymmärtämään loisteaineiden käyttöä sekä opiskelijoiden omassa arjessa että muutenkin yhteiskunnassa. Sama tulos voidaan nähdä myös ajatuskartoista, joissa loisteaineiden käyttökohteet ilmenivät useammin ja monipuolisemmin kuin muut ajatuskarttojen osat.

Taulukko 7: Relevanssiin liittyvien väitteiden vastausten keskiarvo, keskihajonta ja odotusarvo. Keski- ja odotusarvot on ilmoitettu myös sanallisina vastauksina. Väitteiden sijaan taulukossa ilmoitetaan relevanssin ulottuvuus.

Relevanssin ulottuvuus			Keskiarvo		Keskihajonta	Odotusarvo	
Yksilöllinen	Sisäinen	Nyk.	3,66	Osittain samaa mieltä	1,06	4,00	Osittain samaa mieltä
		Tul.	3,60	Osittain samaa mieltä	1,01	4,00	Osittain samaa mieltä
	Ulkoinen	Nyk.	3,69	Osittain samaa mieltä	0,88	4,00	Osittain samaa mieltä
		Tul.	4,02	Osittain samaa mieltä	0,73	4,00	Osittain samaa mieltä
Yhteiskunnallinen	Sisäinen	Nyk.	4,06	Osittain samaa mieltä	0,78	4,00	Osittain samaa mieltä
		Nyk.	4,40	Osittain samaa mieltä	0,71	5,00	Täysin samaa mieltä
	Ulkoinen	Nyk.	4,29	Osittain samaa mieltä	0,82	4,00	Osittain samaa mieltä
		Tul.	3,10	Siltä väliltä	1,21	3,00	Siltä väliltä
Ammatillinen	Sisäinen	Nyk.	2,88	Siltä väliltä	0,98	3,00	Siltä väliltä
		Tul.	2,79	Siltä väliltä	0,99	3,00	Siltä väliltä
	Ulkoinen	Tul.	3,77	Osittain samaa mieltä	1,04	4,00	Osittain samaa mieltä

Ulottuvuutta Yhteiskunnallinen-Ulkoinen-Tulevaisuus vastasi lomakkeessa kaksi erillistä väitettä. Näiden kahden vastauksen keskivastaukset eroavat toisistaan, toisen väitteen kanssa opiskelijat olivat osittain samaa mieltä, toisen siltä väliltä. Väitteet liittyivät siihen, miten työ vaikutti opiskelijoiden tietämykseen siitä mihin tarkoituksiin loisteaineita kehitetään, ja miten tämä tutkimus edistää kestävä kehitystä. Opiskelijat kokivat oppineensa siitä mihin tarkoituksiin loisteaineita kehitetään, mutta kestävä kehityksen edistäminen tällä tutkimuksella jäi heille epäselvemmäksi. Oppilastyön voidaan siis sanoa olevan ainakin jossain määrin relevantti tällä tasolla.

Ammatillisen tason sisäisissä ulottuvuuksissa työ ei vaikuta olevan relevantti. Toisaalta työ vaikuttaa olleen relevantti Ammatillinen-Ulkoinen-Tulevaisuus-dimensiossa. Opiskelijat eivät siis kokeneet oppineensa tai kiinnostuneensa työn ansiosta loisteaineiden parissa työskentelystä, vaikka työ vaikuttaa auttaneen opiskelijoita ymmärtämään miten loisteaineita voidaan kaupallistaa.

Siitä ulottuvuudesta, josta oli kaksi väitettä, saatiin myös kaksi toisistaan eroavaa tulosta. Tämä viittaisi siihen, ettei yhdellä kysymyksellä per ulottuvuus saada kattavia tuloksia työn relevanssista. Paitsi että relevanssi itsessään on moniulotteinen käsite, myös jokainen sen osa-alue on itsessään yllättävän monipuolinen. Jos työn relevanssista tehtäisiin kattava tutkimus samanlaista lomaketta käyttämällä, jokaista ulottuvuudesta tarvittaisiin huomattavasti useampi kuin yksi tai kaksi väittämää.

6.3 Miten opiskelijoiden lähestymistavat kemian oppimiseen vaikutti heidän kokemuksiinsa loisteaineisiin liittyvästä työstä?

Opiskelijoille oli tehty ChemApproach-kysely, jolla selvitettiin heidän lähestymistapojaan oppimiseen. Opiskelijoiden keskuudessa havaittiin kaikkia neljää aiemmin määriteltyä lähestymistapaa. ChemApproachin tuloksista tehtiin korrelaatioanalyysi sähköisen lomakkeen vastausten kanssa. Korrelaatioanalyysi tehtiin IBM SPSS Statistics 27 -ohjelmalla kaksisuuntaisena Pearsonin korrelaationa. Saatu korrelaatiotaulukko on esitetty liitteessä 6. Tulosten läpikäymisessä relevanssia koskeviin näytteisiin on merkattu väitteen perään suluissa relevanssin ulottuvuus.

Korrelaatioanalyysi tehtiin kuten edellä. Korrelaatiota lähestymistapojen ja muiden vastausten välillä oli havaittavissa vain vähän. Vain viiden väitteen osalla havaittiin korrelaatiota oppimistapoihin, ja vain yksi näistä korrelaatioista oli vahvaa, muiden ollessa heikkoa. Näistä väitteistä neljä liittyi relevanssiin, yksi työhön yleisesti. Alistuva pintaoppimisen suuntaus ei korreloinut minkään väitteen kanssa. Sinällään tämä tulos on odotettu, sillä vaikka lähestymistapa oppimiseen voikin jollain tasolla vaikuttaa siihen, miten opiskelijat kokevat oppilastyön, kokemus on riippuvainen monesta muustakin tekijästä. Analyysin keskeisimmät tulokset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7: ChemApproach-tulosten ja sähköisen lomakkeen vastausten väliset korrelaatiot.

Väite	Relevanssi	TechSurf	SubSurf	ActDeep	PractDeep
Tiedän työn ansiosta enemmän siitä, mihin tarkoituksiin loisteaineita kehitetään.	Yht. Ulk. Tul.	-	-	-	$r(48)=0,301$ $p=0,038$ heikko
Työ lisäsi kiinnostustani valita loisteaineisiin liittyviä kursseja aine- ja syventävissä opinnoissa.	Amm. Sis. Nyk.	-	-	$r(48)=0,307$ $p=0,034$ heikko	-
Työ lisäsi ymmärrystäni siitä, millä tavalla kemian tutkimusta voidaan kaupallistaa.	Amm. Ulk. Tul.	$r(48)=0,329$ $p=0,022$ heikko	-	-	$r(48)=0,364$ $p=0,011$ heikko
Työ lisäsi kiinnostustani työskennellä tulevaisuudessa loisteaineiden tutkimuksen parissa.	Amm. Sis. Tul.	-	-	$r(48)=0,435$ $p=0,002$ vahva	-

Aktiivisen syväoppimisen suuntaus korreloi vahvasti, $r(48)=0,435$, $p=0,002$, väitteen ”Työ lisäsi kiinnostustani työskennellä tulevaisuudessa loisteaineiden tutkimuksen parissa” ja heikosti, $r(48)=0,307$, $p=0,034$, väitteen ”Työ lisäsi kiinnostustani valita loisteaineisiin liittyviä kursseja aine- ja syventävissä opinnoissa”. Kumpikin väite liittyy relevanssin ammatillisen tason sisäiseen ulottuvuuteen. Vaikuttaa siis siltä, että opiskelijat, jotka etsivät aktiivisesti lisätietoa oppimistaan aiheista kiinnostuivat työn ansiosta loisteaineista uramahdollisuutena muita enemmän.

Käytäntöä painottava syväoppiminen korreloi myös kahden väitteen kanssa: ”Tiedän työn ansiosta enemmän siitä, mihin tarkoituksiin loisteaineita kehitetään” ($r(48)=0,301$, $p=0,038$) ja ”Työ lisäsi ymmärrystäni siitä, millä tavalla kemian tutkimusta voidaan kaupallistaa” ($r(48)=0,364$, $p=0,011$). Väitteet liittyivät relevanssin eri tasoihin, mutta muuten samoihin ulottuvuuksiin: ulkoinen ja tulevaisuus. Tulos on tavallaan odotettu: ne opiskelijat, jotka ottavat eniten irti laboratoriotyöskentelystä vastasivat muita enemmän työn laajentaneen heidän käsitystään muistakin aiheista kuin mihin työ kaikkein selkeimmin liittyi.

Pinnallisiin opiskelutekniikoihin keskittyvä oppimisen suuntaus korreloi vain väitteen ”Työ lisäsi ymmärrystäni siitä, millä tavalla kemian tutkimusta voidaan kaupallistaa” kanssa $r(48)=0,329$, $p=0,022$. TechSurf-oppijat eivät ole yhtä kiinnostuneita kemiasta kuin syväoppijat, mutta näkevät oppimisen eteen kuitenkin muita pintaoppijoita enemmän vaivaa. Pintaoppijoille ehkä Ammatillinen-Ulkoinen-Tulevaisuus on tärkein relevanssin ulottuvuus, sillä he mahdollisesti opiskelevat kemiaa saadakseen hyvän ammatin.

7 Johtopäätökset ja pohdinta

Vaikka loisteaineita ei suoraan mainita lukion opetussuunnitelmassa 2019, niiden tuominen mukaan lukion kemian ja ehkä erityisemmin fysiikan opetukseen tuo aineisiin loogista sisältöä, joka muuten jäisi puuttumaan. Loisteaineet sijoittuvat näiden kahden aineen rajapinnalle, niiden valmistamisen ja rakenteen ollessa enemmän yleensä kemiaan luettavaa sisältöä, kun taas luminesenssi-ilmion ja sen mekanismin ollessa enemmän fysiikkaan mielletäviä aiheita. Kummankin näiden aineen tehtäviin kuuluu lisätä tietoa oppiaineita tieteiden yhteiskunnallisesta, teknologisesta ja ympäristöllisesti tärkeistä ratkaisuksista. Loisteaineet ja luminesenssi liittyvät kummankin tieteen teknologisiin ratkaisuihin, ja tätä kautta sekä yhteiskunnallisiin että ympäristön kannalta tärkeisiin ratkaisuihin.

Laaja-alaisen osaamisen kannalta loisteaineet voidaan laskea kehittävän globaali- ja kulttuuriosaamista sekä eettisyys- ja ympäristöosaamista, sillä loisteaineita käytetään erilaisissa ympäristöratkaisuissa, erityisesti energiansäästämissä ratkaisuissa. Lisäksi loisteaineita käsittelevä oppilastyö kehittää vuorovaikutusosaamista.

Lukio-opetukseen loisteaineet voidaan ottaa luontevasti osaksi joko kemian moduulia KE5, fysiikan moduulia FY8 tai näistä kahdesta moduulista yhdessä muodostuvaa opintokokonaisuutta. Moduulin KE5: Kemiaallinen energia ja kiertotalous sisältöihin loisteaineet liittyvät esimerkiksi hapetuslukuihin sekä luonnontieteelliseen tutkimukseen, mutta erityisesti metallien ominaisuuksiin. Näistä viimeiselle loisteaineet tuovat mukaan sellaisia metallien, erityisesti harvinaisten maametallien, ominaisuuksia ja käyttökohteita, jotka voisivat opintokokonaisuudessa muuten jäädä sivummalle. Moduuliin FY8 Aine, säteily ja kvantittuminen loisteaineet ja luminesenssi sopivat erityisen hyvin, sillä moduulin keskeisiin sisältöihin kuuluvat energian kvantit sekä kvantittumiseen perustuvat teknologiset sovellukset. Moduulit luovat myös keskenään loogisen opintokokonaisuuden.

Kehittämistutkimus on luonteva tapa luoda lukioon sopiva oppilastyö. Tässä tutkimuksessa kehittämisen lähtökohtana käytettiin jo valmista demonstraatiota, mutta samaa kehittämisprosessia voitaisiin soveltaa myös muille lähtökohdille. Kaksisyklinen kehittämisprosessi mahdollistaa erilaisten lähtökohtien käyttämisen työn kehittämisessä, sillä ensimmäisen syklin aikana laboratoriossa tehtävää työskentelyä voidaan suoraviivaistaa tai yksinkertaistaa lukiolaisille sopivaksi. Tällöin työn lähtökohtana voitaisiin käyttää mitä tahansa laboratoriossa tehtyä työtä.

Kaksisyklisen kehittämisprosessin toinen vahvuus on toinen sykli, jossa keskitytään työohjeiden kirjoittamiseen. Tällä syklillä saadaan aikaan sellainen työohje, joka on kohderyhmälle mahdollisimman ymmärrettävä. Tosin tällä kertaa kehittämisessä ei voitu käyttää varsinaista

kohderyhmää, vaan lukio-opiskelijoiden sijaan työn kehittämisprosessin toisessa syklissä saatiin palautetta yliopisto-opiskelijoilta.

Työn vahvuuksiksi opiskelijat ilmoittivat työssä tehdyn synteesin, työssä päällystetyn lampun sekä selkeät työohjeet. Synteesiä pidettiin vaikuttavan näköisenä, kun taas päällystettyä lamppua pidettiin hyvin konkreettisenä. Työn ohjeita pidettiin selkeinä, vaikka niille annettiin myös kehitysehdotuksia. Kehitysehdotuksista osa liittyi työohjeiden selkeyttämiseen ennestään toisten liittyessä enemmän varsinaiseen työhön, kuten lampun päällystämiseen, ainemääriin sekä päällystettävän lampun kokoon. Myös turvallisuuteen liittyvää ohjeistusta kaivattiin enemmän kirjallisena.

Oppilastyöstä sekä sitä edeltäneestä opetustuokiosta opiskelijat kertoivat oppineensa lisää eniten loisteaineista, mutta myös kemian tutkimuksesta sekä työmenetelmistä. Heidän tekemistään ajatuskartoista päätellen he oppivat eniten loisteaineiden käyttökohteista, tarkemmin sanottuna loisteaineiden jokapäiväisistä käyttökohteista, esimerkiksi lampuista, salamavalosta, väärennöksenestomerkinnöistä ja näytöissä. Opiskelijat oppivat myös loisteaineiden käytöstä kuvantamisessa, erityisesti lääketieteellisessä kuvantamisessa, mutta vähemmän kuin arkipäiväisemmistä käyttökohteista. Opiskelijat vaikuttavat oppineen vähemmän loisteaineiden rakenteesta ja mekanismista kuin käyttökohteista, mutta he vaikuttavat kuitenkin oppineen jotain myös loisteaineiden teoriasta.

Opiskelijat näkivät kehitetyn työn oppiainerajoja ylittävänä kokonaisuutena lähinnä fysiikan ja kemian välillä, sillä työn jälkeen opiskelijat liittivät kemiaan esimerkiksi loisteaineiden rakenteen sekä tutkimisen sekä valmistamisen, kun taas fysiikkaan liitettiin esimerkiksi valon muodostumisen mekanismi sekä loisteaineiden tutkiminen. Biologiaan työn yhteys oli heikompi. Nämä havainnot tehtiin sellaisten ajatuskarttojen pohjalta, jotka opiskelijat tekivät heti laboratoriotyön tehtyään. Voisi olla mielenkiintoista nähdä myös, miten opiskelijoiden käsitys loisteaineista muuttuu ajan myötä, esimerkiksi muutaman viikon työn tekemisen jälkeen. Tällöin näkisi vahvemmin esimerkiksi sen, kuinka paljon opiskelijat kiinnostuivat loisteaineista työn myötä.

Opiskelijoiden kokemus kehitetystä työstä vaikuttaa olleen yhtenäisen positiivinen. Opiskelijat tuntuivat kokeneen työn relevantiksi erityisesti yksilöllisellä tasolla, eli he kokivat työn sisällön mielenkiintoiseksi ja kokivat oppineensa sellaista, josta on heille hyötyä. Yhteiskunnallisella tasolla työ vaikuttaa olleen relevantti kaikissa mitatuissa ulottuvuuksissa ainakin jossain määrin. Tällä tasolla relevanssi vaikuttaa vahvimmalta Nykyisyys-ulottuvuudessa, ja tätä havaintoa tukivat opiskelijoiden vastausten lisäksi heidän laatimansa ajatuskartat. Ammatillisella tasolla työn havaittiin olevan

relevantti Ammatillinen-Ulkoinen-Tulevaisuus –ulottuvuudessa, eli opiskelijat oppivat loisteaineiden kaupallistamisesta, vaikka he eivät innostuneetkaan työskentelemään loisteaineiden parissa.

Se raja, jossa työ laskettiin olevan relevanttia kussakin ulottuvuudessa, oli suhteellisen korkealla. Nyt työ laskettiin relevantiksi, jos opiskelijoiden keskimääräinen vastaus työtä koskevaan väitteeseen oli joko täysin tai osittain samaa mieltä. Toisenlaisiakin rajoja olisi voitu perustellusti tehdä. Toinen vaihtoehtoinen tulkinta olisi esimerkiksi se, että työ on relevantti silloin kun keskimääräinen vastaus ei ole kieltävä, eli myös keskivastauksen ”siltä väliltä” saaneet olisivat relevantteja. Kolmas tulkintatapa olisi esimerkiksi se, että työ on relevantti, kun ulottuvuuteen saadun väitteen keskiarvo numeerisessa tarkastelussa on yli 3,0.

Paitsi että relevanssin raja on häilyvä, myös kattavammalle kysymysvalinnalla saisi tarkemmat tulokset relevanssista. Yhtä relevanssin ulottuvuutta mitattiin kahdella väitteellä, joihin saatiin keskenään eri vastaukset. Yksi väite ulottuvuutta kohden ei selvästi riitä kattavaan relevanssin tarkasteluun, vaan väitteitä pitäisi olla huomattavasti enemmän. Työn tämänkertaiselle tulkinnalle relevanssista raja haluttiinkin pitää suhteellisen korkealla juuri siitä syystä, että väitteiden pieni määrä ei vaikuttaisi huomattavasti tuloksiin.

Aktiivinen (ActDeep) ja käytäntöä painottava (PractDeep) syväoppiminen ja pinnallisiin tekniikoihin perustuva oppiminen (TechSurf) vaikuttivat siihen, miten opiskelijat kokivat työn relevanssin. Ne opiskelijat, jotka etsivät aktiivisesti lisätietoa oppimastaan ja jotka pyrkivät ottamaan eniten irti laboratoriotyöskentelystä, vaikuttavat kokevan työn keskimäärin hieman relevantimmaksi kuin muut. Yllättävintä näissä tuloksessa oli se, että ero muihin opiskelijoihin ei ollut kovin suuri. TechSurf-oppijat eivät ole yhtä syvällisesti kiinnostuneita kemiasta kuin ActDeep- tai PractDeep-oppijat, mutta näkevät kuitenkin vaivaa oppimisen eteen. Heille työ vaikutti olevan muita enemmän relevantti ammatillisen tason ulkoinen ja tulevaisuus -dimensiossa. Tämä johtuu mahdollisesti siitä, että he opiskelevat kemiaa saadaksensa tulevaisuudessa hyvän ammatin. Tässä tutkimuksessa otanta on kuitenkin suhteellisen pieni, ja suurin osa havaitusta korrelaatiosta oli suhteellisen heikkoa, joten kattavia johtopäätöksiä on hankala tehdä.

Viiteluettelo

- [1] “Lukion Opetussuunnitelman Perusteet 2019.” Opetushallitus, Helsinki, 2019, [Online]. Available:
https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2019.pdf.
- [2] D. Diekemper, W. Schnick, and S. Schwarzer, “Microwave Synthesis of a Prominent LED Phosphor for School Students: Chemistry’s Contribution to Sustainable Lighting,” *J. Chem. Educ.*, vol. 96, no. 12, pp. 3018–3024, 2019, doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00464.
- [3] N. M. A. 2021, “The Nobel Prize in Physics 2014,” *NobelPrize.org*, 2021.
<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/summary/> (accessed Jan. 25, 2020).
- [4] J. Pernaa, “Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä,” in *Kehittämistutkimus opetuslalla*, 1st ed., J. Pernaa, Ed. Jyväskylä: PS-kustannus, 2013, pp. 9–26.
- [5] M. Aksela and J. Pernaa, “Kehittämistutkimus pro gradu-tutkielman tutkimusmenetelmänä,” in *Kehittämistutkimus opetuslalla*, 1st ed., J. Pernaa, Ed. 2013, pp. 181–200.
- [6] P. Atkins, T. Overton, J. Rourke, M. Weller, and F. Armstrong, *Inorganic Chemistry*, Fourth. Oxford University Press, 2006.
- [7] S. K. Tripathi, J. Kaur, and R. Kaur, “Photoluminescence Studies in II-VI Nanoparticles Embedded in Polymer Matrix,” in *Luminescence : Basic Concepts, Applications and Instrumentation*, S. H. Virk, Ed. Trans Tech Publications, Limited, 2014, p. 99.
- [8] R. B. Wehrspohn, U. Rau, and A. Gombert, Eds., *Photon Managment in Solar Cells*, 1st ed. John Wiley & Sons, 2015.
- [9] C. Shen, K. Li, Q. Hou, H. Feng, and X. Dong, “White LED Based on YAG:Ce,Gd Phosphor and CdSe-ZnS Core/Shell Quantum Dots,” *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 22, no. 12, pp. 884–886, 2010.
- [10] R. J. Xie and N. Hirosaki, “Silicon-based oxynitride and nitride phosphors for white LEDs-A review,” *Sci. Technol. Adv. Mater.*, vol. 8, no. 7–8, pp. 588–600, 2007, doi: 10.1016/j.stam.2007.08.005.
- [11] C. C. Lin and R.-S. Liu, “Introduction to the Basic Properties of Luminescent Materials,” in *Phosphors, Up Conversion Nano Particles, Quantum Dots and Their Applications*, 1st ed., R.-S. Liu, Ed. Springer, 2017, pp. 1–29.
- [12] T.-M. Chen and Y.-J. Yang, “Phosphors for White-Light LEDs Through the Principle of Energy Transfer,” in *Phosphors, Up Conversion Nano Particles, Quantum Dots and Their Applications*, 1st ed., R.-S. Liu, Ed. Springer, 2017, pp. 31–53.
- [13] A. B. Muñoz-García, E. Anglada, and L. Seijo, “First-Principles Study of the Structure and

- the Electronic Structure of Yttrium Aluminum Garnet Y₃Al₅O₁₂,” *Int. J. Quantum Chem.*, vol. 109, no. 9, pp. 1991–1998, 2009, doi: 10.1002/qua.22030.
- [14] Y. C. Kang, I. W. Lenggoro, S. B. Park, and K. Okuyama, “Photoluminescence characteristics of YAG:Tb phosphor particles with spherical morphology and non-aggregation,” *J. Phys. Chem. Solids*, vol. 60, no. 11, pp. 1855–1858, 1999, doi: 10.1016/S0022-3697(99)00191-2.
- [15] J. L. Kennedy and N. Djeu, “Operation of Yb:YAG fiber-optic temperature sensor up to 1600 °C,” *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 100, no. 2–3, pp. 187–191, 2002, doi: 10.1016/S0924-4247(02)00065-1.
- [16] A. Sharma and V. Yadava, “Experimental analysis of Nd-YAG laser cutting of sheet materials – A review,” *Opt. Laser Technol.*, vol. 98, pp. 264–280, 2018, doi: 10.1016/j.optlastec.2017.08.002.
- [17] J. Yang, M. Fang, and Z. Li, “Organic luminescent materials: The concentration on aggregates from aggregation-induced emission,” *Aggregate*, vol. 1, no. 1, pp. 6–18, 2020, doi: 10.1002/agt2.2.
- [18] W. Yan, F. Liu, Y. Lu, X. Wang, M. Yin, and Z. Pan, “Near infrared long-persistent phosphorescence in La₃Ga₅GeO₁₄: Cr³⁺ phosphor,” *Opt. Express*, vol. 18, no. 19, pp. 103–104, 2010.
- [19] J. Xu, S. Tanabe, A. D. Sontakke, and J. Ueda, “Near-infrared multi-wavelengths long persistent luminescence of Nd³⁺ ion through persistent energy transfer in Ce³⁺, Cr³⁺ co-doped Y₃Al₂Ga₃O₁₂ for the first and second bio-imaging,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 107, no. 081903, pp. 0–4, 2015, doi: 10.1063/1.4929495.
- [20] F. Yoshimura *et al.*, “Preparation of long-afterglow colloidal solution of Sr₂MgSi₂O₇:Eu²⁺, Dy³⁺ by laser ablation in liquid,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 257, pp. 2170–2175, 2011, doi: 10.1016/j.apsusc.2010.09.067.
- [21] J. Root, “Fluorescent Mineral Photography: A Shot In The Dark,” *Rocks Miner.*, vol. 96, no. 1, pp. 69–75, 2021, doi: 10.1080/00357529.2021.1827913.
- [22] T. Kahlke and K. D. L. Umbers, “Bioluminescence,” *Curr. Biol.*, vol. 26, no. 8, pp. R313–R314, 2016, doi: 10.1016/j.cub.2016.01.007.
- [23] M. Stuckey, A. Hofstein, R. Mamlok-Naaman, and I. Eilks, “The meaning of ‘relevance’ in science education and its implications for the science curriculum,” *Stud. Sci. Educ.*, vol. 49, no. 1, pp. 1–34, 2013, doi: 10.1080/03057267.2013.802463.
- [24] G. Vanthournout, V. Donche, D. Gijbels, and P. Van Petegem, “(Dis)similarities in research on learning approaches and learning patterns,” in *Learning Patterns in Higher Education:*

Dimensions and Research Perspectives, vol. 2, 2014, pp. 11–32.

- [25] M. Lastusaari, “Persistence in Major in Relation To Learning,” University of Turku, 2018.
- [26] “Kemianluokka Gadolin.” <https://www2.helsinki.fi/fi/tiedekasvatus/kemianluokka-gadolinin-tyoohjeiden-materiaalipankki>.
- [27] “Yttrium(III) nitrate hexahydrate,” *Sigma-Aldrich*.
<https://www.sigmaaldrich.com/FI/en/product/aldrich/237957>.
- [28] “Aluminum nitrate nonahydrate (99.997% trace metals basis),” *Sigma-Aldrich*.
<https://www.sigmaaldrich.com/FI/en/product/aldrich/229415>.
- [29] “Aluminum nitrate nonahydrate,” *Sigma-Aldrich*.
<https://www.sigmaaldrich.com/FI/en/product/sigald/237973>.
- [30] “Cerium(III) nitrate hexahydrate.” [sigmaaldrich.com/FI/en/life-science/safety/hazard-and-precautionary-statements](https://www.sigmaaldrich.com/FI/en/life-science/safety/hazard-and-precautionary-statements).
- [31] “Urea,” *Sigma-Aldrich*. <https://www.sigmaaldrich.com/FI/en/product/sigma/u5378>.
- [32] “Eri Keeper-yleisliima,” *Tokmanni*. <https://www.tokmanni.fi/yleisliima-750-ml-7311980108734>.
- [33] Triopak, “LL-504BC2E-021.” <https://www.triopak.fi/fi/tuote/LL-504BC2E-021>.
- [34] “Cerium Doped Yttrium Aluminum Garnet.” Lorad Chemical Corporation, pp. 1–5, 2017.

Loisteaineen synteesi

Harjoitustyössä tutustutaan loisteaineisiin sekä niiden valmistamiseen. Työssä valmistetaan yleisessä käytössä oleva loisteaine, yttriumalumiinigranaatti. Sitä käytetään yleisesti sinisten LED-valojen valon värin korjaamiseen valkoiseksi.

Loisteaineiden teoriaa

Loisteaineet ovat aineita, jotka muuttavat energian eri tyyppejä, kuten säteilyä, lämpöä tai sähköä valoksi. Tätä loisteilmiötä kutsutaan luminesenssiksi, ja erityisesti näkyvän valon tai UV-säteilyn aikaansaamaa luminesenssia kutsutaan fotoluminesenssiksi. Muita luminesenssin lajeja ovat esimerkiksi lämmöstä aiheutuva termoluminesenssi ja sähköstä aiheutuva elektroluminesenssi.

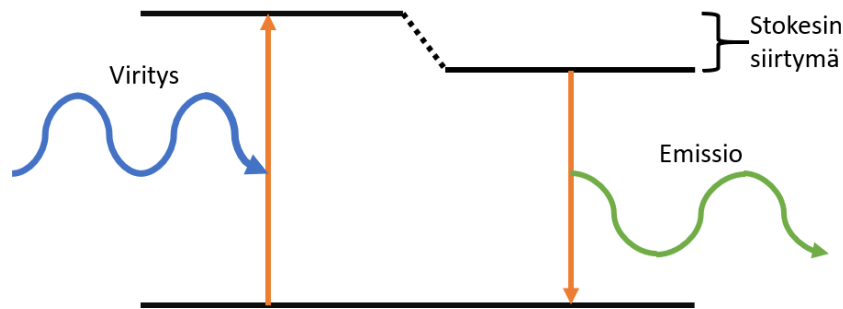
Fotoluminesenssi-ilmiö on seurausta loisteaineiden rakenteeseen lisätyistä seosioneista, jotka absorboivat fotoneja ja siten virittyvät korkeammalle energiatilalle. Virittävän fotonin tulee olla melko tarkasti tiettyä aallonpituutta, eli sen energian pitää sopia seosionin energiatilarakenteeseen, jotta seosioni voi sen absorboida. Energiatilan muutos ei ole pysyvä, vaan virittynyt tila purkautuu melkein heti, jolloin ioni palaa taas mahdollisimman matalaenergiseksi vapauttamalla ylimääräisen energian fotonina. Tätä vapauttamista kutsutaan emissioksi.

Loisteaineiden aktiivisena osana on siis seosioni, mutta seosionien toiminnan mahdollistaa stabili pohja-aine eli matriisi tai hila, jossa seosionit esiintyvät hallittuina hilavirheinä. Esimerkiksi tässä työssä valmistettavassa yttriumalumiinigranaatissa yttrium, alumiini, ja happi muodostavat tasaisen $Y_3Al_5O_{12}$ -hilan, jossa esiintyy satunnaisesti cerium-ioneja. Hila ei itsessään virity, vaan se muokkaa virittyvien ionien ominaisuuksia, esimerkiksi kidekentän suuruuden avulla energiatilojen erotusta, ja vaikuttaa näin loisteeseen. Harvinaiset maametallit eli lantanidit ovat usein erinomaisia hilavirheitä luminesenssia ajatellen ja siksi nykyisin lähes kaikissa loisteaineissa loistaa lantanidi.

Virittävän fotonin ja emittoituvan fotonin aallonpituus ei ole sama, sillä virittyneellä ionilla tapahtuu ns. Stokesin siirtymä, jossa energia hieman laskee ennen emissiota (kuva 1). Tämän siirtymän ansiosta loisteaineita pystytään käyttämään myös valon värin korjaamiseen. Tämän lisäksi on olemassa loisteaineita, jotka pystyvät pinoamaan absorboimiaan fotoneja ennen emissiota, jolloin emittoituvat fotonit ovat korkeaaenergisiä kuin virittävät fotonit.

Luminesenssin mekanismi on siis vaihe vaiheelta:

1. Fotoni törmää ioniin, joka virittyy korkeaaenergiseksi.
2. Ionin energia laskee hieman.
3. Ionin viritystila purkaantuu, jolloin se emittoi fotonin, jolla on suurempi aallonpituus (eli matalampi energia) kuin virittävällä fotonilla.



Kuva 1. Viritys, emissio ja Stokesin siirtymä.

Lampuissa yritetään saada aikaiseksi mahdollisimman valkoista valoa, jolloin ne olisivat ihmisilmälle kaikkein sopivimmat. Nykyään useimmat lamput ovat LED-lamppuja, mutta LEDit itsessään eivät pysty tuottamaan valkoista valoa, vaan siihen vaaditaan usean eri värisen valon yhdistelmä, joka luo vaikutelman valkoisesta valosta. Yleisesti käytetty tapa on yhdistää sinistä valoa tuottava LED ja keltaisena loistava loisteaine, kuten esimerkiksi ceriumseostettu yttriumalumiinigranaatti. Yttriumalumiinigranaatin, johon on lisätty cerium-onia loisteen luomiseksi, kehittämisestä myönnettiin 2014 Nobelin fysiikanpalkinto Shūji Nakamuralle.

Erilaisia loisteaineita käytetään tavallisten lamppujen lisäksi esimerkiksi näytöissä sekä kameroiden salamavalloissa, laser-valoissa ja lääketieteellisessä kuvantamisessa. Myös loisteaineisiin pohjautuvia lämpömittareita ja aurinkokennoja on kehitetty. Loisteaineet ovat yleisessä käytössä myös esim. passeissa, henkilökorteissa ja seteleissä, joissa niistä on tehty väärennöksiä vaikeuttavia turvamerkintöjä. Loisteaineita, joissa emissio on viivästynyt, eli jotka loistavat vielä minuutteja tai tunteja virityksen päätyttyä, käytetään erilaisissa turvamerkinnöissä kuten hätäpoistumismenkeissä sekä erilaisissa koriste-esineissä ja leluissa, kellojen pimeässä hohtavissa osoittimissa ja energiaa säästävissä valolähteissä.

Loisteaineita tutkitaan Turun Yliopistolla Kemian laitoksella epäorgaanisen materiaalikemian tutkimusryhmässä. Tutkimusryhmässä tutkitaan ja kehitetään erityisesti pitkään loistavia materiaaleja (kestoluminesenssi) sekä käänteisviritteisiä loisteaineita, jotka emittoivat korkeaa energisempiä valon fotoneita kuin mistä ne virittyvät. Tavoitteena ryhmässä on tutkia tarkemmin kestoluminesenssin mekanismeja sekä kehittää materiaaleja erilaisiin sensori- ja merkkiainesovelluksiin sekä lääketieteelliseen kuvantamiseen ja aurinkokennojen tehon parantamiseen. Epäorgaanisen materiaalikemian tutkimusryhmään pystyy tutustumaan paremmin esimerkiksi Instagramissa tunnuksella *inorganic_uutu* (QR-koodi kuvassa 2) tai osoitteessa *inorganic.uutu.fi*.



Kuva 2. QR-koodi Epäorgaanisen materiaalikemian tutkimusryhmän Instagramiin.

Loisteaineiden valmistaminen

Loisteaineita valmistetaan yleensä siten, että lähtöaineet sekoitetaan keskenään, ja niitä kuumennetaan suuressa lämpötilassa. Lähtöaineiden valitsemisessa tulee ottaa huomioon se, että niiden tarvitsee hilaan tarvittavien alkuaineiden lisäksi sisältää sopivia hilavirheitä.

Tehtävä harjoitustyö

Työssä valmistetaan yleisesti käytössä olevaa loisteainetta, yttriumalumiinigranaattia. Valmiilla loisteaineella päällystetään lamppu. **Synteesi suoritetaan vetokaapissa!**

Välineet

- Punnitusruuhi
- 25 ml keitinlasi
- Säädetty mittapipetti
- Magneettirae
- Magneettisekoittaja, jossa lämmitystoiminto
- Upokas
- Kaasupoltin
- Kolmijalka
- Kuumennuskolmio
- Pihdit
- LED-lamppu
- Huhmare
- Survin
- Liimaa (esim erikeper)
- Pieni astia (esim eppendorf-putki)
- Muovilusikka

Reagenssit

- $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
- Urea

Työohje

1. Lähtöaineiden mittaaminen

Valmistetaan liuos 25 ml keitinlasiin. Mitataan analyysivaa'alla punnitusruuheessa 0,405 g kidevedellistä yttriumnitraattia ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) sekä 0,010 g kidevedellistä ceriumnitraattia ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$), ja kaadetaan ne 25 ml keitinlasiin. Mitataan yläkuppivaa'alla 1,73 g kidevedellistä alumiininitrattia ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$) ja kaadetaan sekin keitinlasiin. Keitinlasiin lisätään myös 0,50 ml vettä säädettyllä mittapipetillä.

2. Liuoksen valmistaminen

Työvaiheessa 1 valmistettua liuosta sekä sekoitetaan että lämmitetään magneettisekoittajalla. Magneettisekoittajan lämpötilaksi asetetaan 60°C ja sekoitusnopeudeksi 600 rpm. Sekoituksen aikana liuokseen lisätään 1,1 g ureaa. Sekoitusta jatketaan, kunnes kaikki aineet ovat liuenneet. Tähän menee yleensä alle 10 minuuttia.

3. Synteesireaktio

Valmis liuos siirretään upokkaaseen. Vetokaappiin laitetaan kolmijalka, jonka päälle asetetaan kuumennusverkko. Upokas asetetaan kuumennusverkon päälle, ja upokasta kuumennetaan kaasupolttimella. Kuumennuksen aikana ensin vesi kiehuu pois, jonka jälkeen tapahtuu varsinainen synteesireaktio. Muodostuessaan valmis tuote hohtaa kirkkaasti. Synteesi on valmis, kun liuoksen tilalla on kiinteä tuote.

4. Tuotteen varmistaminen

Synteesin onnistuminen varmistetaan UV-lampulla. Synteesi on onnistunut, jos tuote loistaa keltaisena UV-lampun alla.

5. Lampun päällystäminen

Valmistettu yttriumalumiinigranaatti jauhetaan huhmareessa. Jauhetusta aineesta otetaan pienen muovilusikan kärjellinen ja sekoitetaan muutamaan millilitraan liimaa joka kuivuu kirkkaaksi. Sekoitus tehdään esimerkiksi eppendorf-putkessa. Saatuun seokseen upotetaan led-lamppu kokonaan siten, etteivät lampun johdot kuitenkaan peity liimaan. Päällystetyn lampun annetaan kuivua. Lamppu sytytetään kytkemällä se paristoon.

Loisteaineen synteesi

Harjoitustyössä tutustutaan loisteaineisiin sekä niiden valmistamiseen. Työssä valmistetaan yleisessä käytössä oleva loisteaine, yttriumalumiinigranaatti. Sitä käytetään yleisesti sinisten LED-valojen valon värin korjaamiseen valkoiseksi.

Loisteaineiden teoriaa

Loisteaineet ovat aineita, jotka muuttavat energian eri tyyppejä, kuten säteilyä, lämpöä tai sähköä valoksi. Tätä loisteilmiötä kutsutaan luminesenssiksi, ja erityisesti näkyvän valon tai UV-säteilyn aikaansaamaa luminesenssia kutsutaan fotoluminesenssiksi. Muita luminesenssin lajeja ovat esimerkiksi lämmöstä aiheutuva termoluminesenssi ja sähköstä aiheutuva elektroluminesenssi.

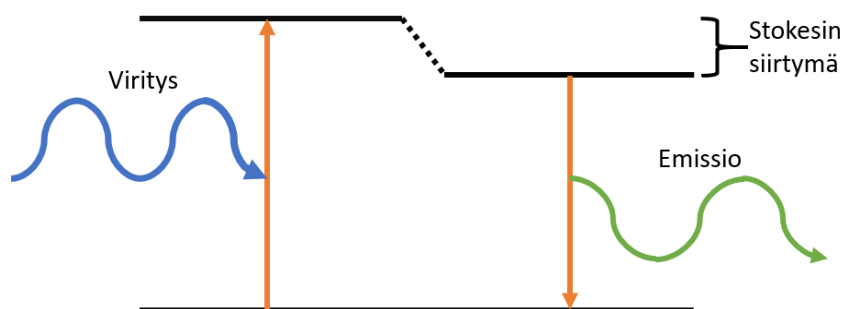
Fotoluminesenssi-ilmiö on seurausta loisteaineiden rakenteeseen lisätyistä seosioneista, jotka absorboivat fotoneja ja siten virittyvät korkeammalle energiatilalle. Virittävän fotonin tulee olla melko tarkasti tiettyä aallonpituutta, eli sen energian pitää sopia seosionin energiatilarakenteeseen, jotta seosioni voi sen absorboida. Energiatilan muutos ei ole pysyvä, vaan virittynyt tila purkautuu melkein heti, jolloin ioni palaa taas mahdollisimman matalaenergiseksi vapauttamalla ylimääräisen energian fotonina. Tätä vapauttamista kutsutaan emissioksi.

Loisteaineiden aktiivisena osana on siis seosioni, mutta seosionien toiminnan mahdollistaa stabili pohja-aine eli matriisi tai hila, jossa seosionit esiintyvät hallittuina hilavirheinä. Esimerkiksi tässä työssä valmistettavassa yttriumalumiinigranaatissa yttrium, alumiini, ja happi muodostavat tasaisen $Y_3Al_5O_{12}$ -hilan, jossa esiintyy satunnaisesti cerium-ioneja. Hila ei itsessään virity, vaan se muokkaa virittyvien ionien ominaisuuksia, esimerkiksi kidekentän suuruuden avulla energiatilojen erotusta, ja vaikuttaa näin loisteeseen. Harvinaiset maametallit eli lantanidit ovat usein erinomaisia hilavirheitä luminesenssia ajatellen ja siksi nykyisin lähes kaikissa loisteaineissa loistaa lantanidi.

Virittävän fotonin ja emittoituvan fotonin aallonpituus ei ole sama, sillä virittyneellä ionilla tapahtuu ns. Stokesin siirtymä, jossa energia hieman laskee ennen emissiota (kuva 1). Tämän siirtymän ansiosta loisteaineita pystytään käyttämään myös valon värin korjaamiseen. Tämän lisäksi on olemassa loisteaineita, jotka pystyvät pinoamaan absorboimiaan fotoneja ennen emissiota, jolloin emittoituvat fotonit ovat korkeaaenergiaisempia kuin virittävät fotonit.

Luminesenssin mekanismi on siis vaihe vaiheelta:

1. Fotoni törmää ioniin, joka virittyy korkeaaenergiaiseksi.
2. Ionin energia laskee hieman.
3. Ionin viritystila purkaantuu, jolloin se emittoi fotonin, jolla on suurempi aallonpituus (eli matalampi energia) kuin virittävällä fotonilla.



Kuva 1. Viritys, emissio ja Stokesin siirtymä.

Lampuissa yritetään saada aikaiseksi mahdollisimman valkoista valoa, jolloin ne olisivat ihmisilmälle kaikkein sopivimmat. Nykyään useimmat lamput ovat LED-lamppuja, mutta LEDit itsessään eivät pysty tuottamaan valkoista valoa, vaan siihen vaaditaan usean eri värisen valon yhdistelmä, joka luo vaikutelman valkoisesta valosta. Yleisesti käytetty tapa on yhdistää sinistä valoa tuottava LED ja keltaisena loistava loisteaine, kuten esimerkiksi ceriumseostettu yttriumalumiinigranaatti. Yttriumalumiinigranaatin, johon on lisätty cerium-onia loisteen luomiseksi, kehittämisestä myönnettiin 2014 Nobelin fysiikanpalkinto Shūji Nakamuralle.

Erilaisia loisteaineita käytetään tavallisten lamppujen lisäksi esimerkiksi näytöissä sekä kameroiden salamavalloissa, laser-valoissa ja lääketieteellisessä kuvantamisessa. Myös loisteaineisiin pohjautuvia lämpömittareita ja aurinkokennoja on kehitetty. Loisteaineet ovat yleisessä käytössä myös esim. passeissa, henkilökorteissa ja seteleissä, joissa niistä on tehty väärennöksiä vaikeuttavia turvamerkintöjä. Loisteaineita, joissa emissio on viivästynyt, eli jotka loistavat vielä minuutteja tai tunteja virityksen päätyttyä, käytetään erilaisissa turvamerkinnöissä kuten hätäpoistumismenkeissä sekä erilaisissa koriste-esineissä ja leluissa, kellojen pimeässä hohtavissa osoittimissa ja energiaa säästävissä valolähteissä.

Loisteaineita tutkitaan Turun Yliopistolla Kemian laitoksella epäorgaanisen materiaalikemian tutkimusryhmässä. Tutkimusryhmässä tutkitaan ja kehitetään erityisesti pitkään loistavia materiaaleja (kestoluminesenssi) sekä käänteisviritteisiä loisteaineita, jotka emittoivat korkeaa energisempiä valon fotoneita kuin mistä ne virittyvät. Tavoitteena ryhmässä on tutkia tarkemmin kestoluminesenssin mekanismeja sekä kehittää materiaaleja erilaisiin sensori- ja merkkiainesovelluksiin sekä lääketieteelliseen kuvantamiseen ja aurinkokennojen tehon parantamiseen. Epäorgaanisen materiaalikemian tutkimusryhmään pystyy tutustumaan paremmin esimerkiksi Instagramissa tunnuksella *inorganic_uutu* (QR-koodi kuvassa 2) tai osoitteessa *inorganic.uutu.fi*.



Kuva 2. QR-koodi Epäorgaanisen materiaalikemian tutkimusryhmän Instagramiin.

Loisteaineiden valmistaminen

Loisteaineita valmistetaan yleensä siten, että lähtöaineet sekoitetaan keskenään, ja niitä kuumennetaan suuressa lämpötilassa. Lähtöaineiden valitsemisessa tulee ottaa huomioon se, että niiden tarvitsee hilaan tarvittavien alkuaineiden lisäksi sisältää sopivia hilavirheitä.

Tehtävä harjoitustyö

Työssä valmistetaan yleisesti käytössä olevaa loisteainetta, yttriumalumiinigranaattia. Valmiilla loisteaineella päällystetään lamppu. **Synteesi suoritetaan vetokaapissa!**

Välineet

- Punnitusruuhi
- 25 ml keitinlasi
- Säädetty mittapipetti
- Magneettirae
- Magneettisekoittaja, jossa lämmitystoiminto
- Upokas
- Kaasupoltin
- Kolmijalka
- Kuumennuskolmio
- Pihdit
- LED-lamppu
- Huhmare
- Survin
- Liimaa (esim erikeper)
- Pieni astia (esim eppendorf-putki)
- Muovilusikka

Reagenssit

- $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
- Urea

Työohje

1. Lähtöaineiden mittaaminen

Valmistetaan liuos 25 ml keitinlasiin. Mitataan analyysivaa'alla punnitusruuheessa kidevedellistä yttriumnitraattia ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) 0,405 g sekä kidevedellistä ceriumnitraattia ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) 0,010 g, ja kaadetaan ne 25 ml keitinlasiin. Mitataan yläkuppivaa'alla kidevedellistä alumiininitrattia ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$) 1,73 g ja kaadetaan sekin keitinlasiin. Keitinlasiin lisätään myös 0,50 ml vettä säädettyvällä mittapipetillä.

2. Liuoksen valmistaminen

Työvaiheessa 1 valmistettua liuosta sekä sekoitetaan että lämmitetään magneettisekoittajalla. Magneettisekoittajan lämpötilaksi asetetaan 60°C ja sekoitusnopeudeksi 800 rpm. Sekoituksen aikana liuokseen lisätään 1,1 g ureaa. Sekoitusta jatketaan, kunnes kaikki aineet ovat lienneet. Tähän menee yleensä alle 10 minuuttia.

3. Synteesireaktio

Valmis liuos siirretään upokkaaseen. Vetokaappiin laitetaan kolmijalka, jonka päälle asetetaan kuumennuskolmio. Upokas asetetaan kuumennuskolmiolle, ja sitä kuumennetaan kaasupolttimella. Kuumennuksen aikana ensin vesi kiehuu pois, jonka jälkeen tapahtuu varsinainen synteesireaktio. Muodostuessaan valmis tuote hohtaa kirkkaasti. Synteesi on valmis, kun liuoksen tilalla on kiinteä tuote. Kuumennuksen jälkeen upokas on todella kuuma, joten sitä käsitellään pihdein.

4. Tuotteen varmistaminen

Synteesin onnistuminen varmistetaan UV-lampulla. Synteesi on onnistunut, jos tuote loistaa keltaisena UV-lampun alla. Upokas viedään UV-lampun alle pihtien kanssa. Kun UV-lamppua käytetään huoneen pitää olla mahdollisimman pimeä.

5. Lampun päällystäminen

Valmistettu yttriumalumiinigranaatti jauhetaan huhmareessa. Jauhetusta aineesta otetaan muutama pienen muovilusikan kärjellinen ja sekoitetaan muutamaa millilitraa liimaa, joka kuivuu kirkkaaksi. Sekoitusta tehdään esimerkiksi eppendorf-putkessa lusikan avulla. Saatuun seokseen upotetaan led-lamppu kokonaan siten, etteivät lampun johdot kuitenkaan peity liimaan. Päällystetyn lampun annetaan kuivua. Lamppu sytytetään kytkemällä se paristoon. Ylimääräinen yttriumalumiinigranaatti kerätään erilliseen jäteastiaan.

LOISTEAINEN SYNTEESI

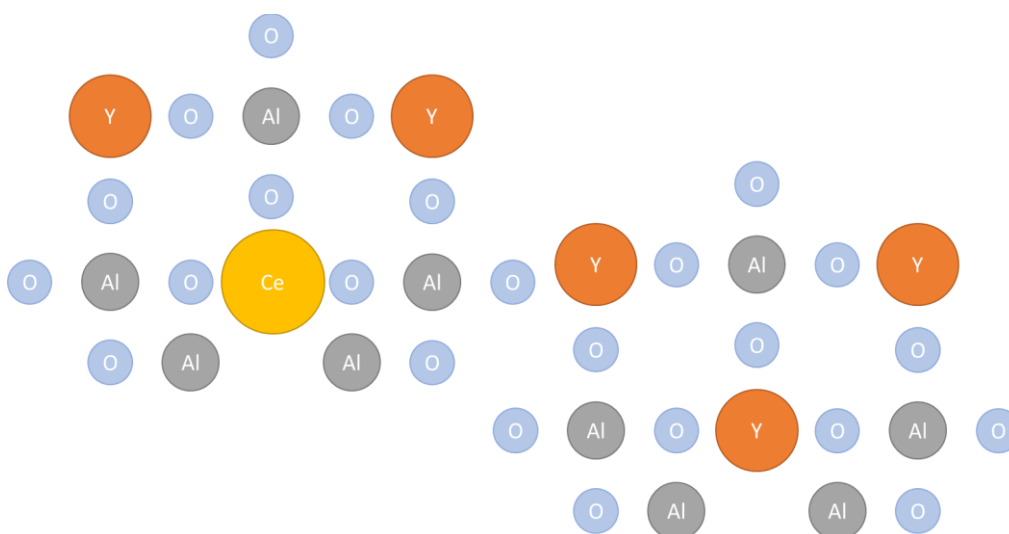
Harjoitustyössä tutustutaan loisteaineisiin sekä niiden valmistamiseen ja erääseen yleiseen käyttökohteeseen. Työssä valmistetaan erästä yleisessä käytössä oleva loisteainetta, ceriumilla seostettua yttriumalumiinigranaattia ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$). Tätä loisteainetta käytetään yleisesti sinisten LED-valojen värin muuttamiseen valkoiseksi.

Taustaa

Loisteaineet ovat aineita, jotka muuttavat energian eri tyyppejä, kuten säteilyä, lämpöä tai sähköä valoksi. Tätä loisteilmiötä kutsutaan luminesenssiksi, ja erityisesti näkyvän valon tai UV-säteilyn aikaansaamaa luminesenssia kutsutaan fotoluminesenssiksi. Muita luminesenssin lajeja ovat esimerkiksi lämmöstä aiheutuva termoluminesenssi ja sähköisen varauksen aikaan saama elektroluminesenssi.

Fotoluminesenssi-ilmiö on seurausta loisteaineiden rakenteeseen lisätyistä seosioneista, jotka imevät fotoneista energiaa, jolloin niiden kuorella oleva elektroni virittyy aiempaa korkeammalle energiatilalle. Jotta tämä voi tapahtua, pitää virittävän fotonin olla melko tarkasti tiettyä aallonpituutta. Energiatilan muutos ei ole pysyvä, vaan ioni palaa heti mahdollisimman matalaenergiseksi vapauttamalla ylimääräisen energian fotonina. Tätä vapauttamista kutsutaan emissioksi.

Loisteaineiden aktiivisena osana on siis seosioni, mutta seosionien toiminnan mahdollistaa pohja-aine eli matriisi tai hila, jossa seosionit esiintyvät ns. ”hilavirheinä”. Esimerkiksi yttriumalumiinigranaatissa yttrium, alumiini, ja happi muodostavat $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ -hilan, jossa voi esiintyä pieni määrä cerium-ioneja yttriumionien tilalla, kuten kuvassa 1 on esitetty yksinkertaistetusti. Hila ei itsessään virity, vaan se muokkaa virittyvien ionien ominaisuuksia ja vaikuttaa näin loisteeseen. Harvinaiset maametallit eli lantanidit ovat usein erinomaisia hilavirheitä luminesenssin kannalta ja siksi lähes kaikissa loisteaineissa loistaa lantanidi.

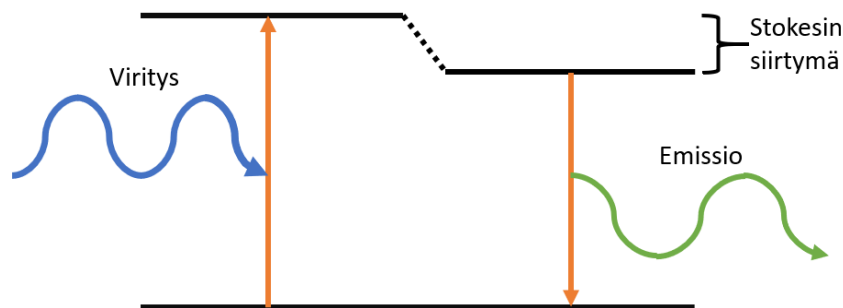


Kuva 1: $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ -rakenteessa ceriumionit korvaavat osan yttriumioneista.

Virittävän fotonin ja emittoituvan fotonin aallonpituus ei ole sama, sillä virittyneellä ionilla tapahtuu ns. Stokesin siirtymä, jossa energia hieman laskee ennen emissiota (kuva 2). Tämä vaikuttaa valon väriin, sillä energia ja aallonpituus ovat kääntäen verrannollisia, energian laskiessa, aallonpituus pitenee. Tämän siirtymän ansiosta loisteaineita pystytään käyttämään myös valon värin korjaamiseen. Tämän lisäksi on olemassa myös loisteaineita, jotka pystyvät pinoamaan virittävistä fotoneista saatua energiaa ennen emissiota, josta seuraavat fotonit ovat korkeaaenergisempiä kuin virittävät fotonit.

Luminesenssin mekanismi on siis vaihe vaiheelta:

1. Fotoni törmää ioniin, jonka elektroni virittyy korkeaaenergisiksi.
2. Elektronin energia laskee hieman.
3. Elektronin viritystila purkaantuu, jolloin ioni vapauttaa fotonin, jolla on suurempi aallonpituus (eli matalampi energia) kuin virittävällä fotonilla.



Kuva 2. Viritys, emissio ja Stokesin siirtymä.

Lamppujen valoista yritetään saada mahdollisimman valkoista, jotta ne olisivat ihmisilmälle mahdollisimman sopivat. Nykyään useimmat lamput ovat LED-lamppuja, mutta valkoista LED-lamppua ei ole pystytty kehittämään. Valkoista voidaan kuitenkin saada aikaan usean eri värisen lampun yhdistelmällä, joka luo vaikutelman valkoisesta valosta. Yleisesti käytetty tapa on yhdistää sinistä valoa tuottava ledi keltaisena loistavalla loisteaineella. Jälkimmäinen näistä on niin keskeinen kestävä tulevaisuuden kannalta, että 2014 Nobelin fysiikanpalkinto myönnettiin sinisen ledin kehittämisestä.

Erilaisia loisteaineita käytetään lamppujen lisäksi esimerkiksi näytöissä sekä kameroiden salamavalloissa, laser-valoissa ja lääketieteellisessä kuvantamisessa. Myös loisteaineisiin pohjautuvia lämpömittareita on kehitetty, ja niitä voidaan hyödyntää aurinkokennoissa tehon parantamiseksi. Loisteaineita käytetään myös esim. passien ja henkilökorttien väärentämistä vastustavissa turvamerkinnoissä. Loisteaineita, jotka loistavat vielä minuutteja tai tunteja virityksen päätyttyä, käytetään erilaisissa turvamerkinnoissä kuten hätäpoistumismenkeissä sekä erilaisissa koriste-esineissä ja leluissa, kellojen pimeässä hohtavissa osoittimissa ja energiaa säästävissä valolähteissä.

Loisteaineiden valmistaminen

Loisteaineita valmistetaan yleensä siten, että lähtöaineet sekoitetaan keskenään, ja niitä kuumennetaan suuressa lämpötilassa. Lähtöaineiden valitsemisessa tulee ottaa huomioon se, että niiden tarvitsee hilaan tarvittavien alkuaineiden lisäksi sisältää sopivia hilavirheitä.

Tehtävä harjoitustyö

Työssä valmistetaan yleisesti käytössä olevaa loisteainetta, yttriumalumiinigranaattia. Valmiilla loisteaineella päällystetään sininen LED-lamppu.

Välineet

- Punnitusruuhi
- 25 ml keitinlasi
- Pipetti
- Magneettirae
- Magneettisekoittaja, jossa lämmitystoiminto
- Upokas
- Kaasupoltin
- Kolmijalka
- Kuumennuskolmio
- Pihdit
- LED-lamppu
- Huhmare
- Survin
- Liimaa (esim. erikeper)
- Pieni, noin 5 ml, astia (esim. eppendorf-putki)
- Muovilusikka

Aineet

- $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
- Urea
- Tislattu vesi

Työohje

1. Lähtöaineiden mittaaminen

Valmistetaan liuos 25 ml keitinlasiin. Mitataan analyysivaa'alla punnitusruuheessa kidevedellistä yttriumnitraattia ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) 0,405 g sekä ceriumnitraattia ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) 0,010 g, ja laitetaan ne 25 ml keitinlasiin. Yläkuppivaa'alla mitataan kidevedellistä alumiininitrattia ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$) 1,73 g ja laitetaan se samaan keitinlasiin. Keitinlasiin lisätään myös 0,50 ml vettä pipetillä. **Suojahanskoja käytetään erityisesti yttriumia ja ceriumia sisältäviä jauheita käsiteltäessä!**

2. Liuoksen valmistaminen

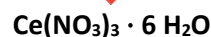
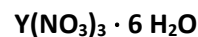
Työvaiheessa 1 valmistettua sekoitetaan magneettisekoittajalla, samalla lämmittäen. Magneettisekoittajan lämpötilaksi asetetaan 60°C ja sekoitusnopeudeksi 800 rpm. Sekoituksen aikana liuokseen lisätään 1,1 g ureaa. Sekoitusta jatketaan, kunnes kaikki aineet ovat lienneet.

TYÖTURVALLISUUS

Työn aikana tulee käyttää suojatakia, -laseja, sekä -hanskoja.

Synteesi tehdään vetokaapissa, sillä reaktiossa vapautuu paljon kaasuja.

Kuumaa upokasta käsitellessä tulee käyttää pihtejä.



3. Synteesireaktio

Valmis liuos siirretään upokkaaseen. **Synteesi suoritetaan vetokaapissa!** Vetokaappiin laitetaan kolmijalka kuumennuskolmiolla. Upokas asetetaan kuumennuskolmiolle, ja sitä kuumennetaan kaasupolttimella. Synteesi on valmis, kun liuoksen tilalla on kiinteä tuote. Muodostuessaan valmis tuote hohtaa kirkkaasti. Kuumennuksen jälkeen upokas on todella kuuma, joten sitä käsitellään pihdein.

4. Tuotteen varmistaminen

Synteesin onnistuminen varmistetaan UV-lampulla. Synteesi on onnistunut, jos tuote loistaa keltaisena UV-lampun alla. Upokas siirretään UV-lampun alle pihtien avulla. Kun UV-lamppua käytetään tilan pitää olla mahdollisimman pimeä.

5. Lampun päällystäminen

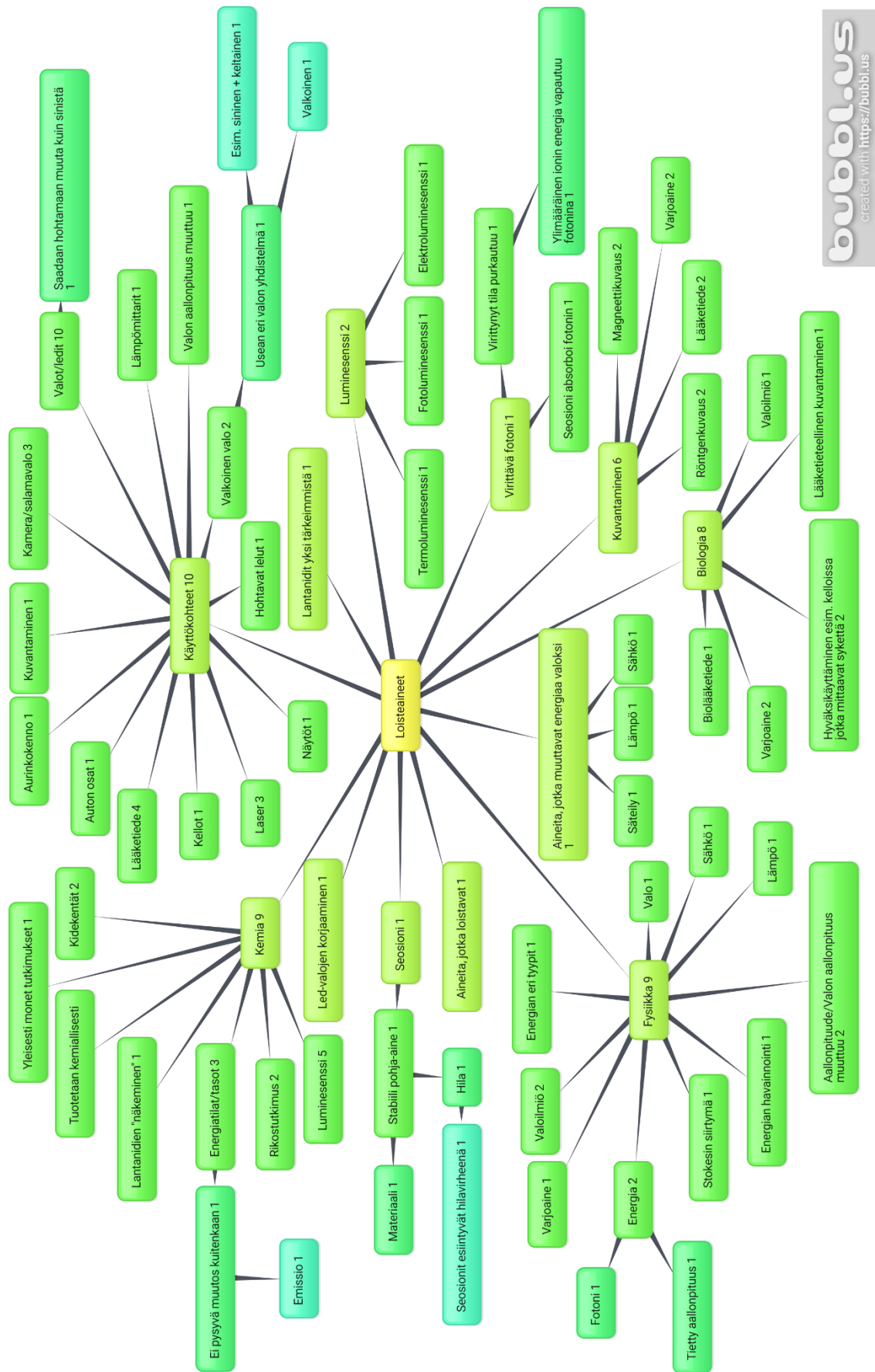
Yttriumalumiinigranaattia käsitellessä käytetään suojahanskoja. Valmistettu yttriumalumiinigranaatti jauhetaan huumareessa. Jauhettua ainetta otetaan 3–4 pienen muovilusikan kärjellistä ja sekoitetaan muutamaan millilitraan sellaista liimaa, joka kuivuu kirkkaaksi. Sekoitus tehdään pienessä astiassa, esimerkiksi 5 ml eppendorf-putkessa. Saatuun seokseen upotetaan led-lamppu siten, etteivät lampun johdot peity liimaan. Päällystetyn lampun annetaan kuivua. Lamppu saadaan syttymään kytkemällä se paristoon.

Ylimääräinen yttriumalumiinigranaatti kerätään erilliseen jäteastiaan. Samaan astiaan voidaan kerätä muutkin mahdolliset jätteet, jotka sisältävät harvinaisia maametalleja.

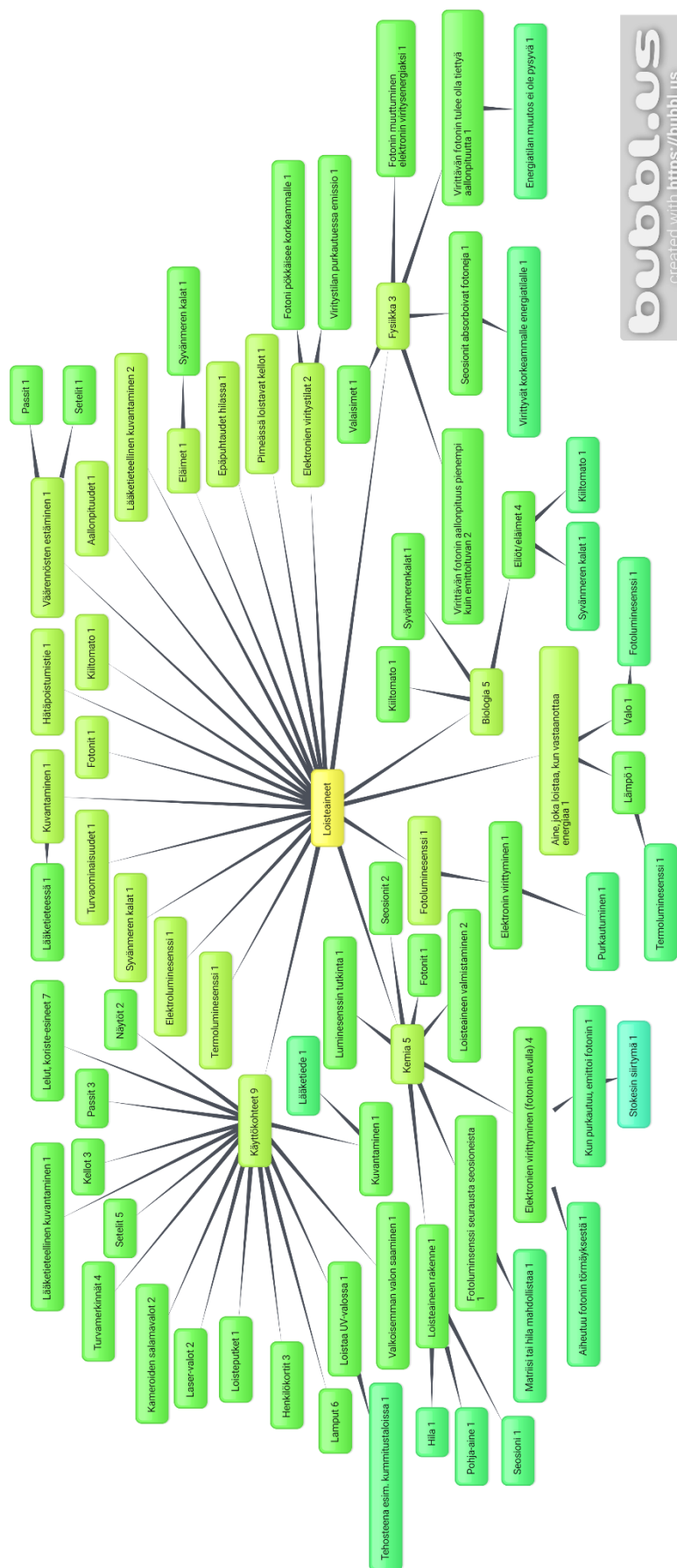
Mitä liuokselle tapahtuu kuumennettaessa?

Mitä hyötyä loisteaineiden käyttämisestä valaistuksessa on?

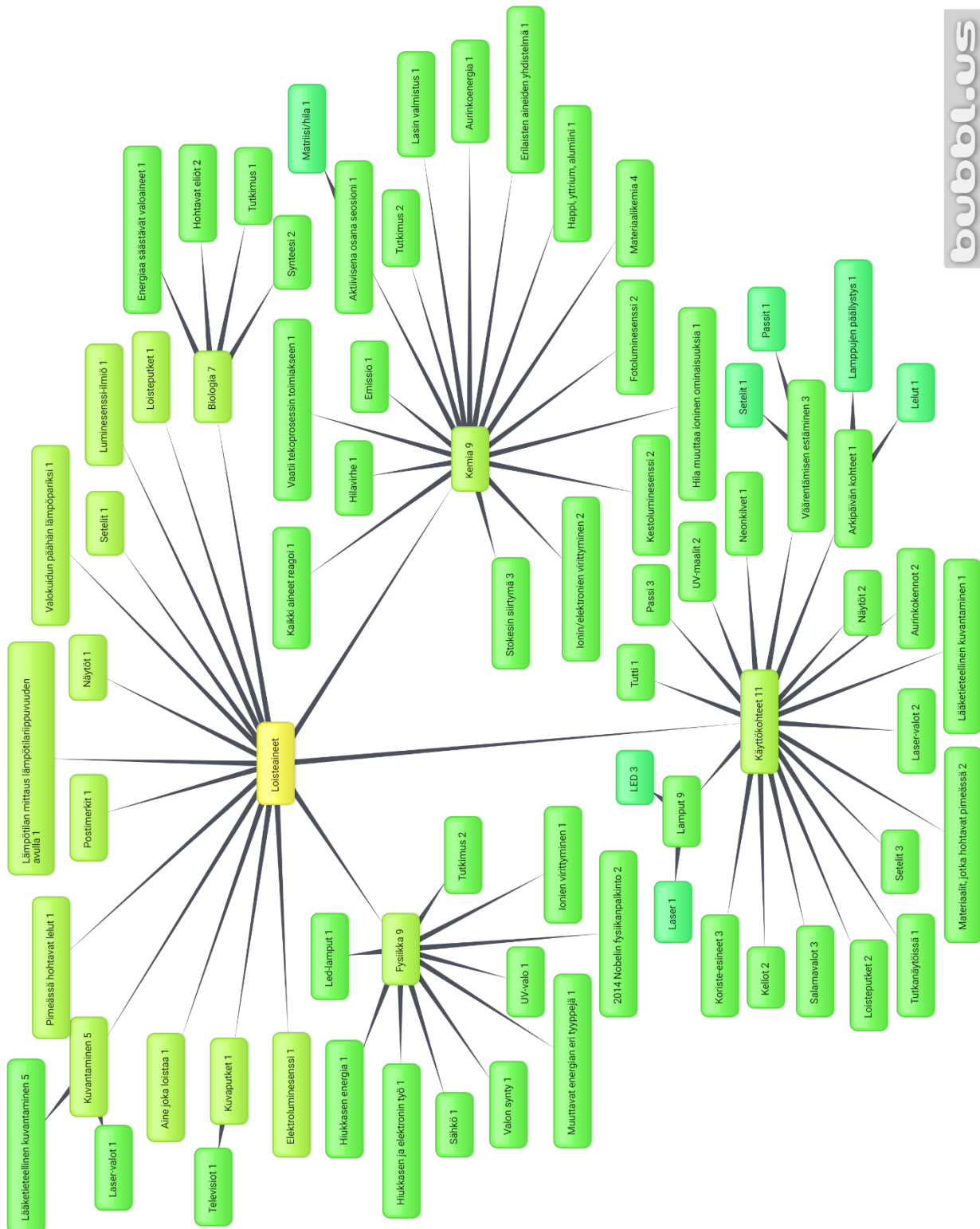
Miten tutkisit loisteaineessa tapahtuvaa valon muutosta? Entä miten tutkisit muutosta lampun värissä?



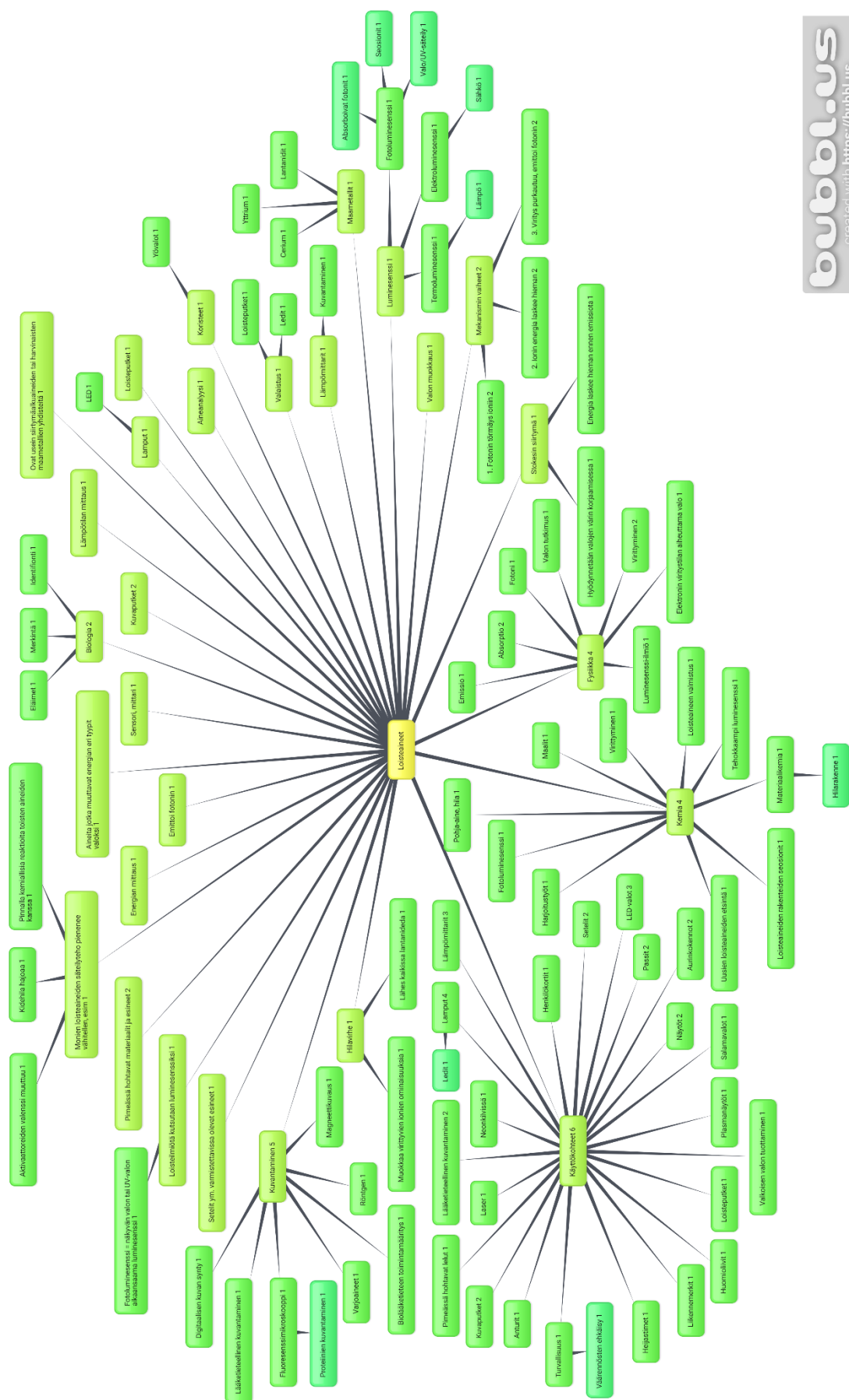
Ryhmän 1 ajatuskartoista koottu kartta.



Ryhmän 2 ajatuskartoista koottu kartta.



Ryhmän 4 ajatuskartoista koottu kartta.



Ryhmän 5 ajatuskartoista koottu kartta.

Työssä käytetyn sähköisen lomakkeen väitteet

Lomakkeen väitteisiin vastattiin joko ”Täysin samaa mieltä”, ”Osittain samaa mieltä”, ”Siltä väliltä”, ”Osittain eri mieltä” tai ”Täysin samaa mieltä”. Relevanssiin liittyvien väitteiden jälkeen on ilmoitettu mihin relevanssiteorian mukaiseen ulottuvuuteen väite laskettiin, mutta tätä ei oltu tehty alkuperäisessä lomakkeessa.

Opin uusia kemian työmenetelmiä.

Opin uutta kemian tutkimuksesta.

Opin lisää loisteaineista.

Työ oli mielestäni hauska.

Työ oli liian haastava.

Työohjeessa oli käytetty termistöä, jota ei selitetty tarpeeksi.

Joidenkin työvaiheiden kirjallinen ohjeistus oli mielestäni epäselvä.

Työ lisäsi kiinnostustani loisteaineisiin.

Yksilöllinen-Sisäinen-Nykyisyys

Haluaisin oppia lisää loisteaineista.

Yksilöllinen-Sisäinen-Tulevaisuus

Opin työstä tietoja ja taitoja, joista on hyötyä tämänhetkisissä opinnoissani.

Yksilöllinen-Ulkoinen-Nykyisyys

Opin työstä tietoja ja taitoja, joista voi olla hyötyä myöhemmissä opinnoissani.

Yksilöllinen-Ulkoinen-Tulevaisuus

Ymmärrän työn ansiosta paremmin loisteaineiden merkityksen jokapäiväisessä elämässäni.

Yhteiskunnallinen-Sisäinen-Nykyisyys

Opin lisää siitä, mihin tarkoituksiin loisteaineita käytetään.

Yhteiskunnallinen-Ulkoinen-Nykyisyys

Tiedän työn ansiosta enemmän siitä, mihin tarkoituksiin loisteaineita kehitetään.

Yhteiskunnallinen-Ulkoinen-Tulevaisuus

Työ lisäsi ymmärrystäni siitä, millä tavalla loisteainetutkimus edistää kestävästä kehitystä.

Yhteiskunnallinen-Ulkoinen-Tulevaisuus

Työ lisäsi kiinnostustani valita loisteaineisiin liittyviä kursseja aine- ja syventävissä opinnoissa.

Ammatillinen-Sisäinen-Nykyisyys

Työ lisäsi ymmärrystäni siitä, millä tavalla kemian tutkimusta voidaan kaupallistaa.

Ammatillinen-Ulkoinen-Tulevaisuus

Työ lisäsi kiinnostustani työskennellä tulevaisuudessa loisteaineiden tutkimuksen parissa.

Ammatillinen-Sisäinen-Tulevaisuus

Sähköisen lomakkeen väitteiden väliset korrelaatiot

Vahvat korrelaatiot on merkattu taulukkoon kahdella tähdellä, heikko korrelaatio yhdellä tähdellä.

	Opin uusia kemian työmenetelmiä.	Opin uutta kemian tutkimuksesta.	Opin lisää loisteaineista.	Työ oli mielestäni hauska.	Työ oli liian haastava.	Työohjeessa oli käytetty termistöä, jota ei selitetty tarpeeksi.	Joidenkin työvälineiden kirjallinen ohjeistus oli mielestäni epäselvä.
Opin uusia kemian työmenetelmiä.			,487**				
Opin uutta kemian tutkimuksesta.	,487**				,298*		
Opin lisää loisteaineista.				,553**	-,314*		
Työ oli mielestäni hauska.			,553**		-,294*		-,338*
Työ oli liian haastava.			-,314*	-,294*			
Joidenkin työvälineiden kirjallinen ohjeistus oli mielestäni epäselvä.				-,338*			
Työ lisäsi kiinnostustani loisteaineisiin.			,452**	,597**			-,388**
Haluaisin oppia lisää loisteaineista.			,435**	,393**	-,411**	-,306*	-,436**
Opin työstä tietoja ja taitoja, joista on hyötyä tämänhetkisissä opinnoissani.	,431**		,326*				-,486**
Opin työstä tietoja ja taitoja, joista voi olla hyötyä myöhemmissä opinnoissani.	,389**		,300*				
Ymmärrän työn ansiosta paremmin loisteaineiden merkityksen jokapäiväisessä elämässäni.				,479**			
Opin lisää siitä, mihin tarkoituksiin loisteaineita käytetään.		,317*	,483**				
Tiedän työn ansiosta enemmän siitä, mihin tarkoituksiin loisteaineita kehitetään.			,381**				
Työ lisäsi kiinnostustani valita loisteaineisiin liittyviä kursseja aine- ja syventävissä opinnoissa.					-,298*	-,351*	
Työ lisäsi ymmärrystäni siitä, millä tavalla kemian tutkimusta voidaan kaupallistaa.				,292*	-,438**		
Työ lisäsi kiinnostustani työskennellä tulevaisuudessa loisteaineiden tutkimuksen parissa.					-,363*	-,306*	