

**Fysikaalisen kemian oppimisen matemaattiset haasteet ja opetuksen
kehittäminen**

Pro gradu -tutkielma
Jyväskylän yliopisto
Kemian laitos
11.9.2020
Liisi Rajala

TIIVISTELMÄ

Tämän tutkielman kirjallisessa osassa tarkastellaan fysikaalisen kemian oppimista ja kurssien kehittämistä yliopiston aineopintotason kursseilla. Työssä tarkastellaan korkeatasoisen oppimisen prosessia konstruktivistisesta näkökulmasta sekä perehdytään oppimiseen kemian ja erityisesti fysikaalisen kemian konteksteissa. Fysikaalisen kemian oppimista on tarkasteltu etenkin sisältöjen matemaattisuuden näkökulmasta.

Fysikaalisen kemian oppimista haastaviksi tekijöiksi on tunnistettu muun muassa aihealueiden laajuus, abstraktius ja matemaattisuus sekä opiskelijoiden negatiiviset ennakoasenteet ja heikko motivaatio fysikaalisen kemian opintoja kohtaan. Opiskelijoiden heikko matemaattisten käsitteiden ymmärrys haastaa fysikaalisen kemian ilmiöiden matemaattista tarkastelua ja tulosten yhdistämistä teoriaan. Aktiivisen oppimisen keinojen hyödyntäminen vaikuttaisi tukevan fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärtämistä ja parantavan opiskelijoiden motivaatiota.

Työn kokeellisessa osassa tutkittiin Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1. Fysikaalisen kemian kursseilla opettaneiden henkilöiden näkemyksiä kartoitettiin haastattelututkimuksen avulla. Kurssin KEMA224 aloittavien opiskelijoiden matemaattisia valmiuksia kartoitettiin esitietokokeella. Laajemmin opiskelijoiden kokemuksia kurssista KEMA224 selvitettiin kyselytutkimuksella.

Tulosten perusteella opiskelijoiden matemaattisissa esitiedoissa oli huomattavan paljon hajontaa. Opiskelijat kokivat matemaattiset taitonsa yleisesti melko hyviksi, mutta menestyivät heikosti matemaattisessa esitietokokeessa. Matemaattiset taidot olivat puutteellisia erityisesti derivaatta- ja integraalifunktioiden osalta. Näitä teemoja ei käsitellä fysikaalisen kemian näkökulmasta riittävän laajasti kurssin KEMA224 matemaattisilla esitietokursseilla. Opiskelijat kokivat fysikaalisen kemian ilmiöiden jäävän kurssilla KEMA224 jossain määrin piiloon matemaattisuuden alle. Kurssilla KEMA224 erityisesti heikosti menestyneet opiskelijat kokivat matemaattisuuden esteeksi kurssilla etenemiselle. Kuitenkin myös kurssilla hyvin menestyneet opiskelijat olisivat kaivanneet tukea kurssin KEMA224 matemaattisiin tehtäviin. Kurssin ohjausten ja harjoitustehtävien koettiin auttaneen ilmiöiden ymmärtämisessä ja tukeneen oppimista hyvin.

ESIPUHE

Tämä tutkielma on tehty Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella vuosien 2019 ja 2020 aikana. Tutkielman kirjallinen osa on tehty lukuvuoden 2019–2020 aikana. Kokeellisen osan aineistonhankinta suoritettiin syksyllä 2019 ja aineiston analysointi ja tulosten tarkastelu kesällä 2020. Työn ohjaajana toimi FT, KM, yliopistonopettaja Jouni Välisaari.

Halusin tehdä tutkielmani joko oppimisen tai opettamisen näkökulmasta haasteelliseksi koetusta korkeakoulutasoisesta aiheesta. Lisäksi toivoin löytäväni aiheen, jossa pääaineeseeni kemiaan yhdistyisi luontevasti myös sivuaineeni, eli matematiikka. Perehtyminen fyysikaalisen kemian aineopintokursseihin tarjosi tähän loistavan mahdollisuuden.

Tämän tutkielman suunnittelussa ja aiheen rajauksessa suurena apuna toimivat kemian laitoksen fyysikaalisen kemian opetuksessa useita vuosia mukana olleet FT, yliopistonlehtori Toni Kiljunen, FT, yliopistonopettaja Saara Kaski ja FT Akseli Mansikkamäki. Heidän avullaan tutkielmaa saatiin rajattua omaa mielenkiintoani, mutta myös Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen opetussuunnitelmatyötä tukevaksi.

Oman mielenkiintoni mukaisesti fyysikaalisen kemian oppimista tarkasteltiin opiskelijoiden näkökulmasta, keskittyen mahdollisiin matemaattisiin haasteisiin fyysikaalisen kemian opiskelussa. Pitkän suunnittelutyön jälkeen tutkielman kokeellinen osa rajattiin käsittelemään Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen, opetussuunnitelmakauden 2017–2020 mukaista, aineopintotason kurssia KEMA224 Fyysikaalinen kemia 1. Tämä kurssi käsittelee termodynamiikan teemoja, joten myös kirjallisessa osassa on keskitytty tarkastelemaan tähän aihepiiriin liittyviä tutkimuksia.

Erityisesti haluan kiittää ohjaajani Jouni Välisaarta, joka jaksoi kannustaa ja rohkaista minua kohti työn valmistumista projektini venyessä huomattavasti aiottua pidemmäksi. Kiitos, että muistutit välillä ottamaan myös vapaapäiviä ja nauttimaan kesästä. Esitän kiitokseni myös Toni Kiljuselle, apusi työn kokeellisessa osassa oli korvaamatonta. Kiitos myös muille tutkimuksen suunnitteluun ja toteutukseen osallistuneille. Lisäksi haluan kiittää ystäviäni ja läheisiäni, jotka ovat tukeneet ja tsempanneet minua läpi opintojeni. Erityisen tärkeitä henkisen hyvinvointini ylläpitämiseksi ovat olleet kummilasten kanssa vietetyt hetket, Calculus-kerhon kekkerit sekä illat Mario Kart-pelin parissa.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--------------------|-----|
| TIIVISTELMÄ | i |
| ESIPUHE | ii |
| SISÄLLYSLUETTELO | iii |
| KÄYTETYT LYHENTEET | vi |

KIRJALLINEN OSA

| | |
|---|----|
| 1 JOHDANTO | 1 |
| 2 FYSIKAALINEN KEMIA OPETUSSUUNNITELMASSA | 3 |
| 2.1 Fysikaalinen kemia perusopinnoissa | 3 |
| 2.2 Fysikaalinen kemia aineopinnoissa | 4 |
| 2.2.1 Fysikaalinen kemia 1 | 5 |
| 3 OPPIMISPROSESSI JA SEN TEHOSTAMINEN | 8 |
| 3.1 Tiedon prosessoinnin malli | 8 |
| 3.2 Merkityksellinen oppiminen – Bloomin taksonomia | 9 |
| 3.2.1 Kognitiivinen ulottuvuus | 10 |
| 3.2.2 Tiedollinen ulottuvuus | 12 |
| 3.3 Motivaation merkitys oppimiselle | 13 |
| 3.4 Metakognition merkitys oppimiselle | 15 |
| 3.5 Aktiivinen oppiminen | 17 |
| 4 KEMIAN OPPIMISEN ERITYISPIIRTEITÄ | 20 |
| 4.1 Kemian rakenteen monimutkaisuus – Johnstonen kolmitasomalli | 20 |
| 4.2 Kemian kielelliset ominaisuudet | 22 |
| 4.3 Kemian matemaattisuus | 23 |
| 5 FYSIKAALISEN KEMIAN OPPIMISEN ERITYISPIIRTEITÄ | 26 |
| 5.1 Laajat ja abstraktit aiheet | 26 |
| 5.2 Opiskelijoiden motivaatio ja ennakoasenteet | 27 |
| 5.3 Usean oppiaineen integraatio | 30 |
| 6 FYSIKAALISEN KEMIAN MATEMAATTISUUS | 31 |

| | | |
|----------------------------|---|----|
| 6.1 | Matematiikan merkitys fysikaalisen kemian kurssilla menestymiseen | 31 |
| 6.2 | Tiedon siirtyminen kontekstien välillä | 33 |
| 6.3 | Yhteenveto fysikaalisen kemian matemaattisuudesta | 35 |
| 7 | FYSIKAALISEN KEMIAN OPETUKSEN KEHITTÄMINEN | 36 |
| 7.1 | Oppimistavoitteiden, opetuksen ja arvioinnin yhdenmukaistaminen | 36 |
| 7.2 | Opiskelijälähtöinen, aktiivinen oppiminen | 37 |
| 7.3 | Yhteistyö kemian, matematiikan ja fysiikan laitosten välillä | 40 |
| 8 | YHTEENVETO | 41 |
| 8.1 | Fysikaalisen kemian matemaattisuus | 41 |
| 8.2 | Laajat abstraktit aihepiirit ja opiskelijoiden motivaatio | 42 |
| 8.3 | Aktiivisen oppimisen menetelmät fysikaalisen kemian opetuksessa | 43 |
| KOKEELLINEN OSA | | |
| 9 | TUTKIMUSKYSYMYKSET | 46 |
| 10 | TUTKIMUKSEN TOTEUTUS | 46 |
| 10.1 | Henkilökunnan haastattelut | 46 |
| 10.2. | Esitietokysely | 47 |
| 10.3 | Kyselytutkimus | 48 |
| 11 | TUTKIMUSMETODIT | 49 |
| 11.1 | Henkilökunnan haastattelut | 49 |
| 11.2 | Esitietokysely | 49 |
| 11.3 | Kyselytutkimus | 51 |
| 12 | TUTKIMUSAINEISTO | 53 |
| 12.1 | Henkilökunnan haastattelut | 53 |
| 12.2 | Esitietokysely | 54 |
| 12.3 | Kyselytutkimus | 54 |
| 13 | TUTKIMUSTULOKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI | 55 |
| 13.1 | Henkilökunnan haastattelut | 55 |
| 13.1.1 | Kurssin Fysikaalinen kemia 1 toteutus | 55 |

| | |
|--|-----|
| 13.1.2 Opiskelijoiden matemaattiset valmiudet | 57 |
| 13.1.3 Fysikaalisen kemian kurssien kehitystyö | 59 |
| 13.2 Esitietokysely | 62 |
| 13.2.1 Opiskelijoiden kokemukset matemaattisista taidoistaan | 62 |
| 13.2.2 Suoritetut yliopistotason matematiikan opinnot | 66 |
| 13.2.3 Suoritetut yliopistotason fysiikan opinnot | 69 |
| 13.2.4 Matemaattiset tehtävät | 70 |
| 13.3 Kyselytutkimus | 77 |
| 13.3.1 Matemaattisen osaamisen merkitys kemian opinnoissa | 82 |
| 13.3.2 Opiskelijoiden kokemukset matemaattisista taidoistaan | 83 |
| 13.3.3 Suoritetut yliopistotason matematiikan opinnot | 87 |
| 13.3.4 Suoritettujen matematiikan kurssien hyödyllisyys | 94 |
| 13.3.5 Matemaattisten taitojen riittävyys | 98 |
| 13.3.6 Opetusmuotojen oppimista tukeva vaikutus | 107 |
| 13.3.7 Fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärtäminen | 113 |
| 13.3.8 Opiskelijoiden asenteet fysikaalisen kemian kurssia kohtaan | 118 |
| 14 POHDINTA | 124 |
| 14.1 Eettisyyden ja luotettavuuden arviointi | 124 |
| 14.2 Johtopäätökset | 125 |
| 14.3 Pohdinta | 127 |
| 14.3.1 Oppimistavoitteet ja arviointi | 127 |
| 14.3.2 Fysikaalisen kemian ilmiöiden käsittely | 127 |
| 14.3.3 Fysikaalisen kemian kurssien matemaattisuus | 129 |
| 15 KIRJALLISUUSLUETTELO | 132 |
| LIITTEET | |

KÄYTETYT LYHENTEET

- KEMP111** Kemian perusteet 1 (yleinen kemia 1) (5 op)
Kurssilla esitellään kemian peruskäsitteitä ja -ilmiöitä. Kurssin sisältöihin kuuluvat alkuaineet ja jaksollinen järjestelmä, yhdisteiden nimeäminen, stoikiometria, kaasujen käyttäytyminen sekä sidosteoria. Lisäksi kurssi sisältää johdannon sekä termodynamiikkaan että kvanttimekaaniseen atomi- ja molekyyliin.¹
- KEMP112** Kemian perusteet 2 (yleinen kemia 2) (5 op)
Kurssilla esitellään kemian peruskäsitteitä, -teorioita ja -ilmiöitä. Kurssin sisältöihin kuuluvat molekyylien väliset vuorovaikutukset, aineen olomuodot ja faasimuutokset, liukoisuus, reaktiokinetiikka, hapot ja emäkset, termodynamiikka sekä sähkökemian.²
- KEMA224** Fysikaalinen kemia 1 (4 op)
Kurssilla käsitellään syvällisemmin termodynamiikan perussääntöjä ja niihin liittyviä matemaattisia malleja. Lisäksi kurssi sisältää kemiallisen potentiaalin, aineen olomuodon ja sen muutosten sekä liuosten ominaisuuksien teoreettista ja matemaattista tarkastelua.³
- KEMA225** Fysikaalinen kemia 2 (4 op)
Kurssilla tutustutaan kvanttimekaniikan ja molekyyli-spektrometrian perusteisiin. Aiheina kurssilla ovat atomien rakenne ja spektrit, molekyyliorbitaalit sekä rotaatio-, värähtely- ja elektronispektroskopia.⁴
- KEMA230** Fysikaalisen kemian työt (4 op)
Kurssilla suoritetaan termodynamiikkaa, faasimuutoksia, sähkökemian ja molekyyli-rakennetta tutkivia laboratoriotöitä ja laaditaan työselostuksia. Kurssilla käytettävät laitteistot ovat kalorimetri, tisluslaitteisto, refraktometri, lämpöhaude, sähkökenno, IR- ja UV/VIS-spektrometrit, lämpö-johtokyky- ja virtamittarit sekä vaa'at.⁵

- MATY010 Matematiikan propedeuttinen kurssi (5 op)
Kurssilla tutustutaan peruslaskutoimituksiin, lausekkeisiin, yhden muuttujan reaaliarvoisiin yhtälöihin ja epäyhtälöihin sekä yhtälöryhmiin. Lisäksi kurssilla tutustutaan analyyttiseen geometriaan, tasokäyriin sekä erilaisiin reaali-funktioihin. Kurssilla opetellaan myös derivoinnin ja integroinnin perusteita.⁶
- MATA114 Differentiaaliyhtälöt (4 op)
Kurssilla käsitellään differentiaaliyhtälöiden ratkaisumenetelmiä. Kurssin aiheina ovat ensimmäisen ja toisen kertaluvun tavalliset differentiaaliyhtälöt sekä lineaariset differentiaaliyhtälösystemit.⁷
- MATP121 Lineaarinen algebra ja geometria 1 (7 op)
Kurssilla tutustutaan Euklidisen avaruuden lineaariseen ja geometriseen rakenteeseen. Kurssilla käsiteltäviä teemoja ovat lineaarinen riippumattomuus, aliavaruus, kanta, dimensio ja ortogonaalisuus. Lisäksi kurssilla opetellaan matriisien laskutoimitukset ja determinantin perusominaisuudet lineaarisen yhtälöryhmän ratkaisemiseksi.⁸
- MATA181 Vektorialculus 1 (5 op)
Kurssilla keskitytään vektorimuotoisiin yhtälöihin, niiden laskennalliseen käsittelyyn sekä geometriseen tulkintaan. Sisältöihin kuuluvat käyrien ja pintojen esitykset yhtälöiden avulla, yhden ja useamman muuttujan vektorifunktion derivaatan käsite ja geometrinen tulkinta sekä vektorifunktioiden ääriarvo-ongelmien ratkaisumenetelmät.⁹
- MATA182 Vektorialculus 2 (4 op)
Kurssilla syvennetään vektoriarvoisten funktioiden laskennallista käsittelyä. Teemoina ovat kahden ja kolmen muuttujan funktioiden integrointi, napa- ja pallokoordinaatit, vektorikentät ja polkuintegraalit sekä käyrien ja pintojen parametrisointi.¹⁰
- MATP211 Calculus 1 (4 op)
Kurssilla käsitellään yhden muuttujan reaali-funktioiden differentiaalilaskentaa raja-arvon, jatkuvuuden ja derivaatan aihepiireissä. Kurssilla kerrataan

polynomit, rationaalifunktiot sekä trigonometriset funktiot ja tutustutaan niiden ominaisuuksiin. Lisäksi kurssin sisältöihin kuuluvat yhtälöiden ja epäyhtälöiden ratkaiseminen sekä joukkojen graafinen hahmottelu.¹¹

MATP212 Calculus 2 (5 op)

Kurssilla syvennetään yhden muuttujan reaalfunktion differentiaalilaskentaa. Käsiteltäviä aihepiirejä ovat funktion monotonisuus, käänteisfunktio, derivaatan sovellukset sekä funktion ääriarvot. Lisäksi kurssilla esitellään Riemannin integraali, antiderivaatta ja analyysin peruslause. Näitä teemoja harjoitellaan tutustumalla myös integraalin sovelluksiin.¹²

MATP213 Calculus 3 (5 op)

Kurssi keskittyy yhden muuttujan reaalfunktioiden integraalilaskentaan. Integrointitekniikoista tällä kurssilla käsitellään osittaisintegrointi, sijoitusmenetelmä sekä osamurtokehitemä. Lisäksi käsitellään epäoleellista integraalia ja integraalin sovelluksia. Myös kartioleikkaukset, parametrisoidut käyrät ja napakoordinaatit esitellään tällä kurssilla sekä tutustutaan lukujonoihin ja -sarjoihin.¹³

FYSP1010 Mekaniikan perusteet (5 op)

Kurssin sisältöihin kuuluvat liikkeen ja voimien kuvaaminen vektoreiden avulla, Newtonin lait, liike- ja pyörimismäärän periaate sekä energiaperiaate.¹⁴

FYSP1020 Värähtelyt ja termodynamiikka (5 op)

Kurssilla käsitellään värähtelyliikettä, virtausmekaniikkaa ja aaltoliikeoppia. Termodynamiikan osalta kurssi käsittelee ideaalikaasun tilanyhtälöä, termodynamiikan pääsääntöjä, lämpötilaa, lämpö määrää, lämpökapasiteettia sekä lämpökoneita ja entropiaa.¹⁵

FYSP1040 Sähköopin perusteet (4 op)

Kurssilla käsitellään varausmallia ja sen avulla sähköisen vuorovaikutuksen selittämistä. Lisäksi kurssilla käsitellään erilaisten kappaleiden välille syntyvää sähköistä voimaa sekä johteissa että eristeissä. Kurssilla opetellaan selittämään sähkökentän ja sähköisen potentiaalinyhteyttä sähköiseen voimaan ja systeemin

energiatasapainoon. Sisältöihin kuuluvat myös kapasitanssi, kondensaattorit, sähkövirta, tasavirtapiirit ja Kirchhoffin lait.¹⁶

FYSP1050 Sähkömagnetismin perusteet (6 op)

Kurssin sisältöihin kuuluvat magneettinen vuorovaikutus ja sen selittäminen magneetikentän avulla, varatun hiukkasen liikeradan laskeminen Lorentzin lain avulla, sähkömagneettinen induktio ja siihen liittyvät Faradayn ja Lenz'in lait. Sähkömagneettisia aaltoja ja niiden etenemistä harjoitellaan selittämään Maxwellin yhtälön avulla. Lisäksi kurssilla käsitellään sädeoptiikan periaatteita, kuten heijastumista ja taittumista peileissä ja linseissä.¹⁷

FYSP111 Derivointi ja integrointi (3 op)

Tämä kurssi on poistunut opintotarjonnasta. Kurssilla käsiteltiin yhden muuttujan funktioita, niiden raja-arvoa ja jatkuvuutta sekä derivointia ja integrointia.¹⁸

FYSP112 Vektorit ja kompleksiluvut (3 op)

Tämä kurssi on poistunut opintotarjonnasta. Kurssin sisältöinä olivat vektorit, usean muuttujan funktiot sekä kompleksiluvut.¹⁸

FYSP113 Differentiaaliyhtälöt (3 op)

Tämä kurssi on poistunut opintotarjonnasta. Kurssilla käsiteltiin ensimmäisen ja toisen kertaluvun differentiaaliyhtälöitä, alku- ja reuna-arvotehtäviä sekä differentiaaliyhtälöiden ratkaisua sarjojen avulla.¹⁸

FYSA2001 Moderni fysiikka, osa A (5–6 op)

Kurssilla käsitellään kvanttifysiikan perusteita. Sisältöihin kuuluvat aaltohiukkas-dualismi, Schrödingerin yhtälö, hiukkanen laatikossa sekä harmoninen värähtelijä. Kurssilla käsitellään vetyatomia sekä useamman elektronin atomeja ja molekyylien rakennetta, sidoksia ja spektrejä. Lisäksi tutustutaan kiinteän aineen rakenteeseen, eristeisiin, johteisiin ja puolijohteisiin. Kurssilla esitellään myös materiaalfysiikan ja nanotieteiden sovelluksia.¹⁹

FYSA1130 Fysiikan numeeriset menetelmät (4 op)

Kurssin sisältöihin kuuluvat numeerinen derivointi ja integrointi, lineaaristen ja epälineaaristen yhtälöiden ja yhtälöryhmien ratkaiseminen sekä tavalliset

differentiaaliyhtälöt. Lisäksi kurssilla käsitellään Poissonin yhtälön ratkaisemista, optimointia, PNS-sovittamista sekä harjoitellaan ominaisarvo-ongelmien ratkaisemista.²⁰

KIRJALLINEN OSA

1 JOHDANTO

Fysikaalinen kemia on kemian osa-alue, jossa keskitytään tutkimaan aineiden atomi- ja molekyyli-tason muutoksia sekä luomaan matemaattisia malleja kemiallisten ilmiöiden selittämiseksi.^{21,22} Fysikaalinen kemia sisältää paljon perustietoa kemiallisista reaktioista, minkä vuoksi sen opiskelu on tärkeää kaikille tuleville kemian alan ammattilaisille.²³ Usein fysikaalisen kemian kurssien tavoitteena on opettaa myös erilaisten systeemien mallintamista ja datan analysointia sekä kasvattaa opiskelijan loogista päättelykykyä ja kriittistä ajattelua.²³

Fysikaalinen kemia on kansainvälisesti jo pitkään tunnistettu opiskelijoille haastavaksi opintokokonaisuudeksi yliopistotason kemian opinnoissa.^{24,25} Opiskelijoiden odotukset kursseilla suoriutumisesta ovat alhaiset ja läpäisyprosentit ovat pieniä.²⁵⁻²⁷ Tämän havaittu heikentävän opiskelijoiden motivaatiota kursseja kohtaan. Alan kiinnostuksen väheneminen on selvästi havaittavissa fysikaaliseen kemiaan suuntautuvien jatko-opiskelijoiden määrän vähenemisenä.²⁴

Kurssien haastavuus on innoittanut tutkijoita selvittämään fysikaalisen kemian kursseilla suoriutumiseen vaikuttavia tekijöitä.^{22,26-29} Tutkimuksissa havaittuja tekijöitä ovat muun muassa laajat ja abstraktit aihealueet, joiden hallintaan tarvitaan sekä kemiallista että matemaattista osaamista.^{28,30,31} Opiskelijoiden heikko luotto matemaattisten taitojensa riittävyyteen alentaa motivaatiota fysikaalisen kemian opintoja kohtaan, mikä voi johtaa liian vähäiseen työpanokseen kurssin aikana.^{27,30} Hankaluudet eivät kuitenkaan ole lähtöisin pelkästään opiskelijoista, vaan tutkimuksissa on ilmennyt myös opetussuunnitelmaan sekä kurssien toteuttamiseen ja arviointiin liittyviä tekijöitä.^{26,32-35}

Kemian opiskelija tarvitsee laajat matematiikan taidot opintojensa tueksi.^{36,37} Matematiikka on eräs tärkeimmistä fysikaalisen kemian työvälineistä.³⁸ Kemian matemaattisuus yhdistetäänkin usein vain osaksi fysikaalista kemiaa, mutta todellisuudessa matematiikkaa tarvitaan kaikilla kemian aloilla.³⁹ Fysikaalisessa kemiassa tarvittava matemaattinen osaaminen on kuitenkin yleensä sekä laajempaa että monimutkaisempaa verrattuna muihin kemian aloihin. Valitettavasti näyttäisi siltä, että yliopistoissa matematiikan kurssit eivät täysin vastaa kemian opiskelijoiden tarpeisiin.³⁷

Myös Jyväskylän yliopistossa fysikaalisen kemian kurssit on koettu opiskelijoiden keskuudessa haastaviksi ja työläiksi. Kemian opiskelijoiden keskusteluissa fysikaalisen kemian

aineopintotason kurssit nousevat esiin yleensä negatiivisessa valossa. Lisäksi ensimmäisen vuoden opiskelijoita pelotellaan näillä edessä häämöttävillä ”fyskon”, eli fysikaalisen kemian kursseilla. Ei ole myöskään mitenkään tavatonta, että opiskelijat kilpailevat sillä, kuka on joutunut uusimaan kurssitenttinsä useampaan kertaan.

Eräs Jyväskylän yliopiston kemian opiskelija on pohtinut fysikaalisen kemian kurssien suorittamista sanoittaen uudelleen Eppu Normaalin kappaleen *Baarikärpänen*. Kappaleen sanat julkaistiin kemian opiskelijoiden ainejärjestölehdessä Ruiskussa syksyllä 2017.⁴⁰ Kertosäkeen sanoituksista käy hyvin ilmi kyseisen opiskelijan ajatukset fysikaalisesta kemiasta:

*”Siis fyskooa, fyskooa / joka päivä painetaan
ja kun demot on ohi, / niin lisää lasketaan.
Tahdon läpi nämä kurssit / kandidaatiks valmistuu,
mut fyskon takii eipä taida / sekään onnistuu.”*

Sanojen perästä löytyy myös meemi, jossa fysikaalisen kemian haastavuudella leikitellään *Taru Sormusten Herrasta* -elokuvan hahmon Gandalfin sanoja muokaten: ”*Welcome to Physical Chemistry – You shall not pass!*”⁴⁰

2 FYSIKAALINEN KEMIA OPETUSSUUNNITELMASSA

Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella on mahdollista opiskella kemiaa sekä pääaineopiskelijana⁴¹ että sivuaineopiskelijana⁴². Opetussuunnitelmakaudella 1.8.2017-31.7.2020 kemian kandidaattiohjelmaan sisältyy fysikaalista kemiaa käsitteleviä kursseja sekä perus- että aineopintovaiheessa.⁴³ Kemian perusopintokokonaisuus on sama riippumatta siitä, suoritetaanko se pää- vai sivuaineena.^{42,43} Perusopintojen osalta fysikaalisen kemian osaamistavoitteet ovat samat molemmille opiskelijaryhmille. Kemian aineopintokokonaisuudessa pääaineopiskelijat suorittavat kolme ja sivuaineopiskelijat kaksi pakollista fysikaalisen kemian kurssia.^{42,43} Kemian maisteriohjelmassa on valittavissa spektroskopian ja laskennallisen kemian opintosuunta, joka painottuu vahvasti fysikaalinen kemian kentälle.⁴¹ Tämän lisäksi etenkin rakenne- ja synteetikemian sekä nanotieteiden maisteriohjelman opintosuunnissa fysikaalisen kemia on osana opintoja. Tässä tutkielmassa ei käsitellä maisteriohjelman kursseja ja niiden sisältöjä.

2.1 Fysikaalinen kemia perusopinnoissa

Jyväskylän yliopiston kemian kandidaattiohjelman perusopintojen osaamistavoitteisiin kuuluu kyky kuvata ja laskea reaktiokinetiikkaan, tasapainoon ja termodynamiikkaan liittyviä perusasioita.⁴³ Lisäksi osaamistavoitteena mainitaan atomien ja kemiallisten yhdisteiden rakenteiden sekä sidosteorioiden perusteiden hallinta. Nämä teemat käsitellään kemian perusopintokursseilla KEMP111 Kemian perusteet 1 (5 op)¹ ja KEMP112 Kemian perusteet 2 (5 op)². Molemmat kurssit suositellaan suoritettavaksi opintojen ensimmäisen vuoden syyslukukaudella.⁴³

Kurssilla KEMP111 Kemian perusteet 1 käsitellään atomien ja molekyylien kvanttimekaanisia malleja sekä erilaisia sidosteorioita. Lisäksi kurssilla käsitellään lämpökemian ja kalorimetrian perusteita, opiskellaan kaasujen käyttäytymistä ja ideaalikaasulakeja sekä reaktioyhtälöiden tasapainottamista ja stoikiometriaa. Näin ollen kurssi pohjustaa kemiallisten ilmiöiden laskennallista käsittelyä.¹

Kurssilla KEMP112 Kemian perusteet 2 käsitellään aineen olomuotoja ja faasimuutoksia, liuosten ominaisuuksia, reaktiokinetiikkaa ja kemiallista tasapainoa sekä termodynamiikan

perusteita entropian ja Gibbsin energian muutosten kautta. Kurssi KEMP112 tarjoaa opiskelijalle hyvät pohjatiedot aineopintovaiheen fysikaalisen kemian kursseille.²

2.2 Fysikaalinen kemia aineopinnoissa

Jyväskylän yliopiston kemian kandidaattiohjelman aineopintojen osaamistavoitteissa fysikaalinen kemia nousee esille huomattavasti perusopintojen tavoitteita voimakkaammin.⁴³ Osaamistavoitteissa mainitaan termodynamiikan peruslakien hallitseminen sekä teoreettisesti että laskennallisesti, kemiaan liittyvien fysikaalisten lakien matemaattinen käsittely, graafien ja diagrammien tulkinta ja tuottaminen sekä kvanttimekaniikan mukaisen atomien ja molekyylien rakenteen mallin esittäminen ja selittäminen. Lisäksi atomi- ja molekyyllimallien avulla atomien ja molekyylien spektroskooppisen käyttäytymisen ennustaminen sekä erilaisten atomi- ja molekyyli-spektrien tulkinta ja analysoiminen mainitaan aineopintotason osaamistavoitteissa. Näitä teemoja käsitellään fysikaalisen kemian näkökulmasta kolmella aineopintotason kurssilla: KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (4 op)³, KEMA225 Fysikaalinen kemia 2 (4 op)⁴ ja KEMA230 Fysikaalisen kemian työt (4 op)⁵. Kurssit suositellaan suoritettavaksi opintojen kolmannen vuoden syksyllä.

Kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 syvennetään perusopinnoista, etenkin kurssilta KEMP112, saatuja fysikaalisen kemian tietoja ja taitoja. Kurssin osaamistavoitteisiin kuuluu fysikaalisten prosessien tulkinta termodynamiikan käsitteillä, reaktio-olosuhteiden vaikutuksen arvioiminen kemialliseen tasapainoon, systeemien energian muutoksen määrittäminen laskennallisesti lämpöopin lakien avulla sekä olomuodon muutosten teoreettinen käsittely ja faasidiagrammien muodostaminen.³

Fysikaalisen kemian toisella aineopintokurssilla, KEMA225 Fysikaalinen kemia 2, keskitytään kvanttimekaniikkaan ja spektroskopiaan, eli syvennetään kurssin KEMP111 tietoja.⁴ Tämä kurssi ei kuulu pakollisena osana kemian sivuaineopiskelijoiden opintokokonaisuuteen.⁴² Kurssin KEMA225 osaamistavoitteisiin⁴ kuuluvat:

- kvanttimekaniikan teoriarakenteen selittäminen ja sen yhdistäminen kokeellisiin havaintosuureisiin,
- kvanttimekaniikan ja spektroskopian yhteyden tunnistaminen,

- sähkömagneettisen säteilyn vaikutuksen selittäminen molekyylin sisäisiin vapausasteisiin,
- erilaisten spektroskopisten menetelmien avulla saadun informaation kuvaaminen ja yksinkertaisten spektrien tulkitseminen sekä
- kemiaan liittyvien fysikaalisten ilmiöiden laskennallinen kuvaaminen matemaattisten yhtälöiden avulla.

Fysikaalisen kemian teoriakurssien tukena Jyväskylän yliopiston kemian kandidaattiohjelmaan kuuluu laboratoriotyökurssi, KEMA230 Fysikaalisen kemian työt, missä luennoilla käsitellyjä teorioita yhdistetään kokeelliseen työskentelyyn. Opetussuunnitelmakaudella 2017–2020 laboratoriotyökurssi suoritetaan osin limittäin teoriakurssien kanssa. Olennaisena osana kurssiin kuuluu työselostusten laatiminen, jolla tavoitellaan havaintojen, teorian ja matemaattisen käsittelyn yhdistämistä toisiinsa. Osaamistavoitteina mainitaan lisäksi omatoiminen spektrofotometrinen mittausten suorittaminen, mittaustulosten tulkinta ja esittäminen graafisesti sekä tulosten virhelähteiden arviointi ja laskennallinen käsittely.⁵

Tämän tutkielman kokeellisessa osassa käsitellään kurssia Fysikaalinen kemia 1, joten sen sisällöt ja esitietovaatimukset esitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

2.2.1 Fysikaalinen kemia 1

Jyväskylän yliopiston kemian kandidaattiohjelman aineopintokurssi KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (4 op), kuuluu pakollisena kurssina kemian pää- ja sivuaineopiskelijoille opetussuunnitelmakaudella 2017-2020.^{42,43} Kemiaa pääaineenaan opiskeleville kurssia suositellaan suoritettavaksi opintojen kolmantena vuonna ja se ajoittuu lukuvuoden ensimmäiseen periodiin.³

Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 tiedolliset sisällöt painottuvat vahvasti termodynamiikkaan (taulukko 1).³ Kurssilla käytetään oppikirjana Atkinsin ja de Paulan³⁸ teosta *Atkins' Physical Chemistry*, jonka luvut 1-6 käsittelevät kurssin sisältöjä.

Taulukko 1. Aineopintokurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (4 op) sisällöt³

| Lämpökemian perusteet | Lämpökemian koneisto | Kemiallinen potentiaali | Aineen olomuodot | Liusten ominaisuudet |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Spontaanisuus | Termodynamiikan pääsäännöt | Olosuhteiden vaikutus tasapainoon | Faasidiagrammit | Seosten termodynaaminen kuvaus |
| Tasapainovakio | Tilafunktiot | Reaktiosta saatava työ | Faasimuutokset | Aineiden aktiivisuudet |
| Reaktiolämpö | Differentiaalilaskenta | Sähkökemia | Höyrynpaine | |
| Entropia | | | Kolligatiiviset ominaisuudet | |

Kurssin sisältöjen pohjalta kurssille on muotoiltu neljä hyvin laajaa osaamistavoitetta. Opiskelijan tulee osata³:

- i. tulkita fysikaalisia prosesseja klassisen termodynamiikan käsitteillä
- ii. arvioida reaktio-olosuhteiden vaikutuksia kemialliseen tasapainoon
- iii. määrittää kvantitatiivisesti kemiallisten systeemien energetiikkaa soveltamalla lämpöopin lakeja
- iv. käsitellä olomuotojen muutoksia teoreettisesti sekä muodostaa faasidiagrammeja.”

Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 osaamistavoitteiden mukaisesti kurssin käytyään opiskelijoiden odotetaan hallitsevan fysikaalisen kemian ilmiöiden käsittelyä sekä teoreettisesti että laskennallisesti.³ Etenkin derivaatta- ja integraalifunktioita tarvitaan läpi kurssin.³⁸ Esitietovaatimuksena kurssille KEMA224 esitetään kemian perusopintojen fysikaalista kemiaa käsittelevät kurssit KEMP111 ja KEMP112 sekä matematiikan laitoksen tarjoamat laskennalliset perusopintokurssit MATP211 Calculus 1 (4 op) ja MATP212 Calculus 2 (5 op) tai näiden kurssien sisältöjä vastaavat tiedot.³ Kurssit MATP211 ja MATP212 kuuluvat pakollisina opintoina kemian kandidaatin tutkintoon.⁴³

Kurssin MATP211 Calculus 1 sisältöjä ovat yhden muuttujan reaali-funktioiden differentiaalilaskenta raja-arvon, jatkuvuuden ja derivaatan aihepiireissä. Kurssilla käsitellään polynomien, rationaalifunktioiden ja trigonometristen funktioiden perusteita ja ominaisuuksia. Lisäksi kurssin sisältötavoitteina mainitaan yhtälöiden ja epäyhtälöiden ratkaiseminen sekä joukkojen hahmottaminen reaaliakselilla ja tasossa. Esitietovaatimuksena Calculus 1 kurssille

esitetään lukion pitkän matematiikan oppimäärä tai sitä vastaavat tiedot. Kurssin oppikirjana käytetään Adamsin ja Essexin⁴⁴ teosta *Calculus: a Complete Course*, jonka luvut P, 1, 2 ja osittain luku 4 käsittelevät kurssin sisältöjä.¹¹

Kurssilla MATP212 Calculus 2 syvennetään yhden muuttujan reaalifunktioiden differentiaalilaskentaa. Kurssi käsittelee myös yhden muuttujan reaalifunktioiden integraalilaskentaa. Kurssin aiheita ovat funktion monotonisuus ja käänteisfunktio, alkeisfunktiot ja niiden ominaisuudet sekä derivaatan erilaiset sovellukset ja ääriarvot. Kurssilla esitellään Riemannin integraali, antiderivaatta ja analyysin peruslause sekä opetellaan sijoitusmenetelmien avulla integrointia ja tutustutaan integraalin sovelluksiin. Kurssin esitietovaatimuksena esitetään kurssi MATP212 tai sitä vastaavat tiedot. Myös tällä kurssilla käytetään kirjana edellä mainittua Adamsin ja Essexin⁴⁴ teosta, jonka luvut 3,4 ja 5 käsittelevät kurssin sisältöjä.¹²

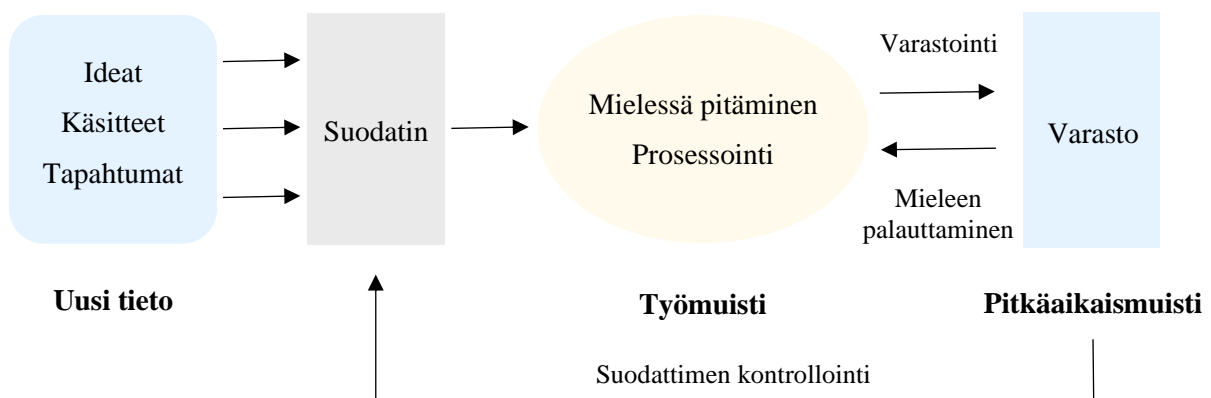
Termodynamiikan käsitteiden ymmärtäminen edellyttää opiskelijoilta riittävän vahvaa matemaattista osaamista ja kykyä yhdistää matemaattiset esitykset tarkasteltavaan ilmiöön.³² Tämän tutkielman kokeellisessa osassa pyritään selvittämään opiskelijoiden näkökulmaa matemaattisten esitietojensa riittävydestä KEMA224 kurssin suorittamiseksi.

3 OPPIMISPROSESSI JA SEN TEHOSTAMINEN

Oppiminen on kiinnostanut tutkijoita jo satojen vuosien ajan.⁴⁵ Siten tutkimuksia oppimisesta löytyy runsaasti. Tutkimuksista on syntynyt lukuisia erilaisia toisiaan tukevia ja toisaalta myös toisilleen vastakkaisia teorioita. Tässä luvussa oppimista käsitellään sosiaalisen konstruktivismin näkökulmasta. Tämän suuntauksen teorit pohjautuvat vahvasti Baldwinin, Piaget'n ja Vygotskyn 1900-luvun alkupuolen tutkimuksiin ja niistä muodostuneisiin teorioihin oppimisesta.⁴⁵ He korostivat oppimisen olevan aina samanaikaisesti sekä yksilöllinen että yhteisöllinen prosessi. Tämä tarkoittaa sitä, että yksilön oppiminen tapahtuu aina vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa.⁴⁵ Piaget'n teorioihin pohjautuu myös teoria tiedon rakentumisesta suuremmiksi tietokokonaisuuksiksi aktiivisen uudelleenorganisoinnin, eli kognitiivisten prosessien myötä.⁴⁵

3.1 Tiedon prosessoinnin malli

Oppiminen on monimutkainen, opiskelijan omaa aktiivisuutta vaativa ja aikaa vievä prosessi.⁴⁶ Lukuisat tutkimukset painottavat opiskelijan oman aktiivisuuden roolia merkityksellisen oppimisen saavuttamisessa.^{46,47} Oppimisprosessista voidaan kuvata tiedon prosessoinnin mallilla (kuva 1), jonka perusteet Miller kehitti jo 1950-luvulla.^{33,45} Malli kuvaa passiivisia ja aktiivisia vaiheita, joita uuden tiedon tallentuminen osaksi pitkäaikaismuistia edellyttää.³³ Passiivisesti, osittain tiedostamattomatta, ympäristöstä käsiteltäväksi valikoitu tieto etenee työmuistissa tapahtuvan aktiivisen prosessoinnin kautta kohti laajempaa tietovarastoa ja näin lopulta tallentuu pitkäaikaismuistiin.



Kuva 1. Tiedon prosessoinnin malli Johnstonen (2009) mukaan.³³

Opiskelijalla on aina jonkinlaisia ennakoajatuksia ja -tietoja, joiden valossa uutta tietoa prosessoidaan.^{33,46} Lisäksi opiskelijan kulttuuriset ja sosiaaliset ympäristöt vaikuttavat hänen tapansa tarkastella ja käsitellä uutta tietoa.⁴⁶ Nämä ennakoasetelmat ovat ikään kuin suodatin, joka ohjaa opiskelijan huomion kiinnittymistä.³³ Suodattimen avulla valikoitunut tieto siirtyy rajalliseen työmuistiin, jossa tapahtuu tiedon aktiivinen prosessointi.^{33,48}

Tehokkaan prosessoinnin tuloksena opiskelijan on mahdollista muodostaa yhteyksiä aiemmin opittuun tietoon, jolloin uusi tieto linkittyy osaksi aiemmin opittua, suurempaa kokonaisuutta.^{33,46,48} Nämä suuremmat kokonaisuudet tallentuvat pitkäaikaismuistiin, josta ne voidaan jälleen tarvittaessa palauttaa työmuistin käsiteltäviksi.^{33,46} Tiedon aktiivinen prosessointi vaikuttaa pitkäaikaismuistiin siirtyvän tiedon, eli oppimisen laatuun.⁴⁷ Tähän perustuvat Bloomin taksonomian kognitiivisten prosessien tasot.

3.2 Merkityksellinen oppiminen – Bloomin taksonomia

Opiskelijoilta odotetaan entistä enemmän ymmärrystä eri oppiaineista, mutta samaan aikaan sekä opetus että oppimateriaalit tukevat lähinnä ulkoa opettelua.⁴⁶ Opetussuunnitelmat sisältävät valtavasti sekä tiedollisia että taidollisia tavoitteita, jotka opetuksen olisi tarkoitus kattaa.⁴⁹ Opettajan vastuulla on valita, mitä asioita mistäkin teemoista käsitellään ja minkälaisesta näkökulmasta.^{30,49} Nämä valinnat määrittävät, millaisia oppimistavoitteita opettaja asettaa kursseilleen.⁵⁰

Opetuksen suunnittelu oppimistavoitteita tukeväksi helpottuu huomattavasti, kun tavoitteet mietitään huolellisesti.⁴⁷ Selkeät, ennalta suunnitellut tavoitteet laajentavat opettajan näkemystä opetuksen erilaisista mahdollisuuksista ja suuntaavat opetusta ja oppimistavoitteita pois pelkästä ulkoa opettelusta.⁴⁷ Myös arviointityökalut tulee suunnitella määriteltyjen tavoitteiden saavuttamista mittaaviksi.⁵⁰ Bloomin taksonomia on työkalu, joka helpottaa opettajaa yhtenäistämään oppimistavoitteet, opetuksen ja arvioinnin niin, että ne muodostavat loogisen kokonaisuuden.⁴⁷

Bloomin taksonomian ensimmäinen versio on julkaistu vuonna 1956. Tuolloin taksonomia oli yksiulotteinen, hierarkkinen esitys, joka kuvasti eriasteisia osaamisen alueita ja tasoja. Alkuperäisen työryhmän tarve luokittelujärjestelmän kehittämiseksi oli auttaa korkeakoulujen opetushenkilökuntaa suunnittelemaan tarkoituksenmukaisia arviointityökaluja opiskelijoiden

oppimistulosten mittaamiseksi. Taksonomian avulla haluttiin helpottaa erilaisten osaamisten tasojen tunnistamista ja tätä kautta arviointityökalujen kehittämistä myös korkeampitasoista osaamista mittaavaksi. Valmiiden hyvin suunniteltujen koetehtävien jakaminen opettajalta toiselle yhtenäistää samalla arviointia yliopistojen välillä. Työ on osoittautunut erittäin merkitykselliseksi, sillä taksonomiaa on hyödynnetty alkuperäisen tarkoituksensa lisäksi myös kansainvälisesti opetussuunnitelmien uudistamisessa sekä opettajien koulutuksessa.⁴⁹

Taulukko 2. Bloomin taksonomiataulukko Anderson *et al.*⁴⁹ mallin mukaan.

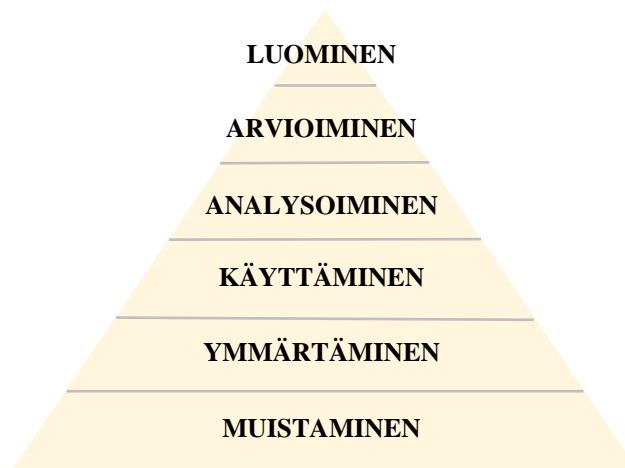
| TIEDOLLINEN ULOTTUVUUS | | KOGNITIIVISTEN PROSESSIEN ULOTTUVUUS | | | | | |
|---------------------------|-------------------|--------------------------------------|----------|---------|------------------------------|----------|-------|
| | | Matalamman tason ajattelu | | | Korkeamman tason ajattelu | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | | Muistaa | Ymmärtää | Käyttää | Analysoida | Arvioida | Luoda |
| A | Faktuaalinen | | | | | | |
| B | Konseptuaalinen | | | | | | |
| C | Proseduraalinen | | | | | | |
| D | Metakognitiivinen | | | | | | |

Bloomin taksonomia muotoiltiin uudelleen 1990-luvulla hyödyntäen vuosien varrella kertynyttä tutkimustietoa sekä oppimisesta että tehokkaista opetusmenetelmistä.⁴⁹ Uusitusversiossa on kiinnitetty huomiota taksonomian käyttökelpoisuuteen kaikilla koulutusasteilla opetuksen ja arvioinnin suunnittelussa, sekä opetussuunnitelmien kehitystyössä.⁵¹ Uusittu taksonomia koostuu kognitiivisesta ja tiedollisesta ulottuvuudesta, jotka yhdessä muodostavat taksonomiataulukon (taulukko 2).⁴⁹ Taulukkoon voidaan sijoittaa kunkin opetuskokonaisuuden oppimistavoitteet sen perusteella, millaista tietoa opeteltava aihe sisältää ja minkä tasoista tiedon prosessointia opiskelijalta odotetaan.⁴⁷

3.2.1 Kognitiivinen ulottuvuus

Bloomin taksonomian kognitiivisten prosessien ulottuvuus perustuu konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen merkityksellisestä oppimisesta.⁴⁷ Kognitiivinen ulottuvuus sisältää kuusi erilaista oppimisen tasoa (kuva 2). Tasot muodostuvat eriasteisista kognitiivisista prosesseista, jotka kuvaavat oppijan kykyä käsitellä ja soveltaa oppimaansa tietoa. Tasojen kognitiiviset

prosessit ovat: muistaminen (*remembering*), ymmärtäminen (*understanding*), käyttäminen (*applying*), analysoiminen (*analyzing*), arvioiminen (*evaluating*) ja luominen (*creating*).⁴⁷ Kognitiiviset prosessit nähdään opiskelijan aktiiviseksi toiminnaksi, joka mahdollistaa tiedon rakentumisen suuremmiksi kokonaisuuksiksi.^{46,47} Opiskelijan aktiivinen toiminta ja tiedon prosessointi ovat edellytyksinä opitun soveltamiselle myös uusissa konteksteissa.⁴⁶ Tiedon siirto ei yleensä onnistu, jos oppiminen jää vain muistamisen tasolle.⁴⁶



Kuva 2. Bloomin taksonomian kognitiivisten prosessien ulottuvuus.

Alkuperäisessä taksonomiassa tasojen ajateltiin olevan hierarkkisessa järjestyksessä siten, että ylemmän tason saavuttaminen vaatii aina alemman tason vankkaa hallintaa.⁵¹ Anderson *et al.*⁵¹ kuvaavat uusitussa taksonomiassa kognitiivisten tasojen hallitsemisen menevän tiukan hierarkian sijasta lomittain. Esimerkiksi peruskoulussa opetellaan käyttämään (taso 3) monia matematiikan laskutoimituksia, mutta vasta yliopistotasolla voidaan saavuttaa kunnollinen ymmärrys (taso 2) teorioista näiden laskutoimitusten taustalla. Anderson *et al.*⁵¹ näkevät kognitiivisen ulottuvuuden tasojen välisen hierarkian kognitiivisten prosessien monimutkaisuudessa. Korkeamman tason prosessi on aina kognitiivisesti matalamman tason prosessia monimutkaisempi, eli vaatii korkeamman tason ajattelua (*higher order thinking*).

Kognitiivisten prosessien tasot jakautuvat edelleen alatasoihin, jotka kuvaavat tarkemmin, millaista osaamista tason hallinta vaatii (taulukko 3).⁴⁷ Myös alatasot ovat kognitiivisen haastavuutensa mukaisessa järjestyksessä.⁵¹ Esimerkiksi muistaminen (taso 1) jakaantuu kahteen alatasoon, *tunnistamiseen* ja *mieleen palauttamiseen*. Muistamista voidaan mitata tehtävällä, jossa opiskelijan tulee yhdistää oikea termi oikeaan selitykseen. Tällöin oikea selitys on opiskelijalle näkyvissä ja riittää, että hän tunnistaa annetuista vaihtoehdoista oikean. Vastaavan tietosisällön muistamista voidaan mitata myös tehtävällä, jossa opiskelijan tulee itse

kirjoittaa selitys kysytylle termille. Tämä tehtävä vaatii opiskelijalta mieleen palauttamista, mikä on kognitiivisesti oikean vastauksen tunnistamista haastavampi prosessi.⁵¹

Taulukko 3. Kognitiivisten prosessien ulottuvuuden alatasot

| KOGNITIIVISTEN PROSESSIEN ULOTTUVUUS | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Muistaminen | Ymmärtäminen | Käyttäminen | Analysoiminen | Arvioiminen | Luominen |
| Tunnistaminen | Tulkitseminen | Suorittaminen | Erittelemine | Tarkastaminen | Hypoteesien tekeminen |
| Mieleen palauttaminen | Esimerkin antaminen | Soveltaminen | Järjestäminen | Kritisoiminen | Suunnittelemine |
| | Luokittelemine | | Määrittelemine | | Tuottaminen |
| | Tiivistäminen | | | | |
| | Päättelemine | | | | |
| | Vertaaminen | | | | |
| | Selittäminen | | | | |

3.2.2 Tiedollinen ulottuvuus

Bloomin taksonomiassa erilaiset tiedon muodot jaetaan neljään kategoriaan, jotka muodostavat taksonomian tiedollisen ulottuvuuden.⁴⁷ Kategoriat ovat:

- A. faktuaalinen tieto (*factual knowledge*),
- B. konseptuaalinen tieto (*conceptual knowledge*),
- C. proseduraalinen tieto (*procedural knowledge*) ja
- D. metakognitiivinen tieto (*metacognitive knowledge*).

Faktuaalinen, konseptuaalinen ja proseduraalinen tieto (kategoriat A-C) ovat tieteenalakohtaista, mutta metakognitiivinen tieto (kategoria D) on luonteeltaan ennemminkin henkilökohtaista ja sovellettavissa tieteenalalta toiselle.⁴⁷ Kategorioiden välillä voidaan nähdä jatkumo konkreettisesta tiedosta (faktuaalinen tieto) kohti abstraktimpaa tietoa (metakognitiivinen tieto).⁵⁰ Myös tiedollinen ulottuvuus jakautuu edelleen alakategorioihin, jotka selittävät tarkemmin kategorioiden sisältöjä ja niiden välisiä eroavaisuuksia.

Faktuaalinen tieto (kategoria A) on tieteenalan perustietoa, jota tarvitaan kommunikointiin, ymmärtämiseen ja tiedon organisointiin. Kemian alalla tällaista tietoa ovat esimerkiksi alkuaineiden kemialliset merkit, yhdisteiden nimet sekä rakennekaavat. Faktuaalinen tieto on yleensä yksittäistä ja irrallista, joten sen hallitseminen vaatii ulkoa opettelua.⁴⁷

Konseptuaalinen tieto (kategoria B) koostuu tieteenalan erilaisista kategorioista ja luokitteluista, jotka kokoavat yhteen alan faktuaalisen tiedon. Konseptuaalinen tieto rakentuu laajemmista kokonaisuuksista ja selittää myös eri luokkien välisiä yhteyksiä ja riippuvuuksia. Tieteenalan teoriat, mallit, rakenteet ja periaatteet luokitellaan konseptuaalisen tiedon kategoriaan.⁴⁷

Proseduraalinen tieto (kategoria C) rakentuu tieteenalan käytännöllisestä tiedosta. Kategoriaan kuuluvat algoritmit, tekniikat ja menetelmät, joiden avulla alan tietoa käsitellään. Proseduraaliseen tietoon kuuluvat myös kriteeristöt siitä, milloin mitäkin menetelmää voi tai kannattaa käyttää.⁴⁷

Metakognitiivinen tieto (kategoria D) poikkeaa luonteeltaan muista tiedon kategorioista, sillä se keskittyy oppijan tietoisuuteen omasta osaamisestaan. Kategoriaan kuuluu sekä kognitioon liittyvää yleistä tietoa että tietoa omista kognitiivisista prosesseista. Näin ollen tähän kategoriaan lasketaan mukaan tieto omista opiskelumenetelmistä ja ongelmanratkaisutaidoista sekä niiden mahdollisista puutteista.⁴⁷

Metakognitiivisen tiedon merkitys on korostunut 1990-luvun tutkimusten valossa. Tämän vuoksi se ei ollut lainkaan mukana alkuperäisessä, 1950-luvulla kehitetyssä, taksonomiassa. Metakognition lisäämisen taksonomiaan uskotaan korostavan entisestään opiskelijan aktiivisen roolin tärkeyttä oppimisprosessissa. Lisäksi sen tehtävänä on muistuttaa opetushenkilökuntaa siitä, että myös metakognitiivisia taitoja voi ja kannattaa opettaa.⁴⁷ Metakognition merkitystä oppimiseen käsitellään tarkemmin luvussa 3.4.

3.3 Motivaation merkitys oppimiselle

Motivaatio on monimutkainen käsite, jonka ympärille liittyy useita erilaisia tutkimussuuntauksia.^{45,52,53} Motivaatioon läheisesti liittyviä teemoja ovat muun muassa yksilön tavoitteet, itsesäätelykyky, minäpystyvyys sekä odotukset menestymisestä.^{52,53} Tämän lisäksi

motivaatioon vaikuttavat erilaiset oppimisympäristöt ja yksilön vaikutusmahdollisuudet.^{52,53} Selkeitä vaikutussuhteita teemojen välillä ei ole pystytty tyhjentävästi osoittamaan lukuisista, useiden vuosikymmenten aikana tehdyistä tutkimuksista huolimatta.^{45,53}

Motivaatio käsitetään nykyisin prosessiksi, jossa yksilön erilaiset tarpeet ja tavoitteet ohjaavat toimintaa. Tavoitteet voivat liittyä esimerkiksi perustarpeiden tyydyttämiseen, hauskanpitoon, opiskeluun tai työtekoon. Motivaation ansiosta ryhdymme toimeen ja saamme tehtävämme valmiiksi. Lisäksi motivaatio ohjaa muun muassa suunnittelua, päätöksentekoa, harjoittelua, ongelmanratkaisua ja edistymisen arviointia.⁵⁴

Motivaatio on tärkeimpiä tekijöitä yksilön aktiivisen toiminnan ylläpitämisessä.⁵⁴ Opiskelussa tämä näkyy muun muassa siinä, miten paljon opiskelija käyttää aikaansa opiskeluun.^{45,46} Opiskelijan motivaatiota parantavat esimerkiksi oppimista tukeva opetussuunnitelma⁴⁸, opettajan pätevyys ja innostavuus⁴⁸, opiskelijan riittävä autonomia,⁵⁵ opiskeltavan aiheen tarpeellisuuden kokeminen⁴⁶ sekä annettujen tehtävien sopiva vaikeustaso^{46,55}. Motivaatio on kuitenkin aina sekä aika- että kontekstisidonnaista.⁵⁴

Motivaatio voidaan jakaa sisäiseen ja ulkoiseen motivaatioon.⁴⁵ Nämä motivaatiotyypit eivät ole toisiaan poissulkevia, vaan yksilö on usein samanaikaisesti sekä sisäisesti että ulkoisesti motivoitunut.^{54,55} Näihin motivaatiotyyppeihin liittyy läheisesti myös teoria yksilön tavoitesuuntautumisesta, joka ohjaa motivaatiota ja sitä kautta myös yksilön toimintaa.^{45,53,55} Tavoitteen asettelu voidaan jakaa oppimiskeskiseen (*mastery goal*) ja tehtäväkeskeiseen (*performance goal*) suuntautumiseen. Myöskään tavoitesuuntautumisesta eivät ole toisiaan poissulkevia, vaan osittain toisiaan tukevia.^{52,56}

Ihmisellä on luontainen halu oppia, tutkia ja ymmärtää asioita.⁵⁵ Tähän haluun perustuu sisäinen motivaatio, jonka ohjaamana yksilön toiminta kohdistuu tehtäviin, joista hän nauttii.⁵⁴ Sisäistä motivaatiota kuvaavat uteliaisuus, halu haastaa itseään sekä itsenäinen toiminta uuden asian hallitsemiseksi.⁵⁵ Halu tai tarve tällaiseen tekemiseen on peräisin yksilöstä itsestään, eivätkä sitä ohjaa ulkoiset velvoitteet tai ihanteet.^{54,55} Tällaiset kuvaukset liittyvät voimakkaasti myös oppimiskeskiseen tavoitteenasetteluun.^{45,56}

Sisäisesti motivoitunut opiskelija on kiinnostunut aiheen oppimisesta.^{46,55} Tällaisten opiskelijoiden tavoitteiden on havaittu liittyvän aiheen syvälliseen hallintaan ja osaamisen kehittymiseen.⁵⁶ Sisäisesti motivoitunut opiskelija käyttää tutkimusten mukaan tehokkaampia

oppimisstrategioita verrattuna ulkoisesti motivoituneeseen opiskelijaan.^{48,54} Bloomin taksonomian mukaan tehokkaammat oppimisstrategiat tarkoittavat haastavampien kognitiivisten prosessien, eli korkeamman ajattelun käyttöä, jolloin oppiminen syvenee.⁴⁷ Opiskelijan sisäistä motivaatiota aiheen opiskelua kohtaan kasvattaa aiheen mielenkiintoisuus.^{46,48} Omaan elämään liittyvät aihepiirit koetaan yleensä hyvin merkityksellisiksi ja näin ollen kiinnostus aihetta kohtaan kasvaa.^{31,46,48}

Ulkoisen motivaation ohjaama toiminta kohdistuu tehtäviin, joista yksilö odottaa hyötyvänsä.^{54,55} Ulkoinen motivaatio on usein lähtöisin yhteiskunnan ja ympäristön asettamista odotuksista ja vallitsevista ihanteista.⁵³⁻⁵⁵ Tekojen tavoitteina ovat tällöin muun muassa hyvän maineen kartuttaminen, erilaiset palkkiot tai toisaalta myös rangaistusten välttäminen.⁵⁴

Ulkoisesti motivoituneiden opiskelijoiden tavoitteena on suoriutua kursseista ja annetuista tehtävistä mahdollisimman hyvin arvosanoin.⁴⁶ Tavoitteiden on havaittu liittyvän etenkin vertaisiaan paremmin suoriutumiseen sekä omien heikkojen kohtiensa näyttämisen välttelyyn.⁵⁶ Tällaisten opiskelijoiden opiskelutyylit tähtäävät syvällisemmän oppimisen tavoittelun sijasta asioiden ulkoa opetteluun⁴⁸ ja virheiden välttelyyn⁴⁶. Ulkoa opettelemisella voi saavuttaa Bloomin taksonomian alempien tasojen (1-3) yksinkertaisia prosesseja.⁴⁷ Tämä voi mahdollistaa hyvät arvosanat yksittäisissä kurssitenteissä, mutta syvempi oppiminen ja aiheiden laajempi ymmärrys jää saavuttamatta.⁴⁸ Tämä johtaa helposti myös siihen, ettei tietoa osata soveltaa uusissa konteksteissa.⁴⁶

3.4 Metakognition merkitys oppimiselle

Dewey⁵⁷ on jo 1930-luvulla kuvannut, miten tehokas ongelmanratkaisu vaatii reflektiivaa ajattelua ongelman tunnistamisen, soveltuvien ratkaisukeinojen analysoimisen ja parhaan ratkaisun löytämiseksi. Myöhemmin tällaista reflektiivistä ajattelua on alettu kutsua metakognitioksi.⁴⁵ Metakognition merkitystä oppimisprosesseissa alettiin ymmärtää paremmin 1970-luvulla, Flavellin tutkimusten avulla.⁴⁵ Hänen tutkimuksensa ovatkin muokanneet vahvasti käsityksiä merkityksellisestä ja tehokkaasta oppimisesta.

Metakognitio tarkoittaa yksinkertaistetusti kykyä ajatella omaa ajattelua.⁵⁸ Metakognition katsotaan koostuvan metakognitiivisesta tiedosta, kokemuksesta ja toiminnasta.⁴⁵ Nämä kolme ovat voimakkaassa vuorovaikutuksessa keskenään ja rajanveto termien välille on osittain

hankalaa.⁵⁹ Metakognitiivista tietoa voi kartuttaa tietoisesti, mutta lisäksi se muovaantuu metakognitiivisten kokemusten kautta.⁵⁹ Metakognitiivinen toiminta puolestaan pohjautuu yksilön metakognitiiviseen tietoon ja kokemukseen.⁵⁹

Metakognitiivinen tieto on mielen toiminnan ymmärtämistä.⁴⁵ Flavellin⁵⁹ määritelmän mukaan se on tietoa ihmisen kognitiivisuudesta sekä ymmärrystä yksilöiden erilaisista kognitiivisista tavoitteista, toiminnoista ja kokemuksista. Omien tietojen ja taitojen riittävyteen sekä omaan ymmärrykseen liittyviä kokemuksia kutsutaan metakognitiivisiksi kokemuksiksi, jotka muokkaavat yksilön metakognitiivista tietoa.⁵⁹ Oman toiminnan ja ajattelun säätely erilaisissa tilanteissa kohti omia tavoitteita on metakognitiivista toimintaa.⁵⁹ Säätely tapahtuu tekemällä valintoja omaan metakognitiiviseen tietoon ja kokemukseen perustuen.^{45,59}

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan metakognitiiviset prosessit ovat olennaisia korkeatasoisen oppimisen saavuttamiseksi.⁵⁸ Metakognition avulla opiskelija kykenee tarkastelemaan omia vahvuuksia ja heikkouksiaan opiskeluun liittyen.⁴⁶ Lisäksi se auttaa omien tavoitteiden ja ajankäytön suunnittelemisessa sekä aiemmin opitun tiedon aktivoinnissa. Aiemmin opitun aktivoiminen ja omien puutteiden tunnistaminen auttavat opiskelijaa havaitsemaan ja korjaamaan aiemmin syntyneitä virhekäsityksiä.⁵⁸ Metakognitio ohjaa opiskelijaa myös opiskelumenetelmien valinnassa.⁴⁵

Metakognitiivisten taitojen kehittymisen on havaittu parantavan opiskelijoiden ongelmanratkaisukykyä⁵⁸ ja motivaatiota opintoja kohtaan.⁶⁰ Ilman reflektioivaa ajattelua ongelmaa ei pysähdytä tarkastelemaan syvällisemmin, vaan turvaudutaan ensimmäisenä mieleen nouseviin, rutiininomaisiin toimintamalleihin.⁵⁷ Yksilön motivaatio ja uskomukset omista mahdollisuuksista ongelman ratkaisemiseksi vaikuttavat siihen, minkälaiseen ratkaisu- ja ajattelumalliin ongelmatilanteessa päädytään.^{45,59} Siten motivaatio aiheetta kohtaan lisää myös todennäköisyyttä metakognitiiviselle toiminnalle.

Yksilön metakognitiivisten taitojen kehittyminen oppimista tukevaksi edellyttää tietoa erilaisista oppimistyyleistä ja oppimisen mekanismeista.^{45,46} Oppimisstrategioiden opettamisen on huomattu parantavan opiskelijoiden suoriutumista korkeakoulutasoisella kemian kurssilla.⁶¹ Alemmilla kouluasteilla myös heikommilla opiskelustrategioilla voi menestyä, mutta korkeakoulutasolla tehokkaammat strategiat ovat edellytyksenä ymmärtämiselle.⁶¹ Strategioiden opettamisen lisäksi opiskelijoita on kuitenkin opetettava myös arvioimaan, milloin mikäkin strategia on käyttökelpoisen.⁴⁵ Opetuksen on tärkeää ohjata opiskelijaa

pohtimaan omaa osaamistaan ja tunnistamaan siinä olevia puutteita.^{46,58} Tämä auttaa opiskelijaa ymmärtämään oman aktiivisuuden merkityksen oppimiselle.

3.5 Aktiivinen oppiminen

Opiskelijälähtöisten opetustyylien on havaittu lisäävän todennäköisyyttä opiskelijan metakognitiiviselle ajattelulle.^{58,61} Opiskelijälähtöisyydellä viitataan opetukseen, jonka tavoitteena on opiskelijan aktiivinen, merkityksellinen ja tavoitteellinen työskentely tiedon rakentajana.⁶² Jo 1980-luvulla Chickering ja Gamson⁶³ ovat kehottaneet käyttämään aktiivisen oppimisen tekniikoita oppimisen ja opettamisen parantamiseksi korkeakouluissa. Tuolloin he totesivat, että korkealaatuinen oppiminen edellyttää opiskelijan aktiivista toimintaa ja uuden tiedon reflektointia suhteessa aiemmin opittuun ja koettuun.

Aktiiviselle oppimiselle on hyvin vaikea löytää yhtä selkeää määritelmää. Aktiivisen oppimisen teorioihin liittyy paljon erilaisia käsitteitä, joita tutkijat ovat vuosikymmenten ajan tulkinneet omista näkökulmistaan.^{64,65} Erilaisia määritelmiä yhdistää opiskelijan aktiivinen työskentely opiskeltavan materiaalin parissa, omistautuminen oppimisprosessille ja oman oppimisen tiedostaminen, eli metakognitio.^{63–65}

Aktiivisen oppimisen menetelmissä opiskelijan rooli muuttuu passiivisesta tiedon vastaanottajasta aktiiviseksi tiedon käsittelijäksi.^{45,63,65} Aktiivisen oppimisen keinoin tavoitellaan yhteisen ymmärryksen luomista vuorovaikutuksen keinoin.^{45,66} Opiskelija joutuu tällöin käyttämään korkeampitasoista ajattelua ja monimutkaisempia kognitiivisia prosesseja.⁴⁷ Tämä lisää konseptuaalista ymmärrystä^{46,58} ja kehittää opiskelijan oppimisstrategioita^{67,68}. Myös opettajan tulee toimia aktiivisesti, tukien ja ohjaten opiskelijoiden oppimisprosessia oikeaan suuntaan.^{45,65}

Opiskelijan aktiivisuudella ei tarkoiteta pelkästään muistiinpanojen kirjoittamista tai kotitehtävien tekemistä, vaan nimenomaan aktiivista osallistumista opetukseen.⁶⁴ Keinoja tällaisen opetuksen järjestämiseen on olemassa lukuisia. Harmin ja Toth⁶⁶ ovat koostaneet opettajien avuksi käsikirjan, *Inspiring Active Learning: A Complete Handbook for Today's Teachers*, joka käsittelee aktiivisen oppimisen hyödyntämistä opetuksessa. Teoksessa he esittelevät yli 250 erilaista tapaa lisätä opiskelijoiden aktiivisuutta ja vastuunottamista oppimisestaan. Teoksen neuvojen avulla oppituntiin voi helposti lisätä joko yksittäisiä

opiskelijoiden aktiivisuutta lisääviä komponentteja tai vaihtoehtoisesti suunnitella näitä oppeja hyödyntäen kokonainen oppitunti.

Luonnontieteiden opetuksessa käytettyjä aktiivista oppimista tukevia opetusmenetelmiä ovat muun muassa⁶⁵:

- vuorovaikutukselliset luennot (*interactive lectures*),
- kokeellinen oppiminen (*experimental learning*),
- käänteinen oppiminen (*flipped learning*),
- ongelmalähtöinen oppiminen (*problem-based learning*),
- yhteisöllinen oppiminen (*collaborative learning*) ja
- yhteistoiminnallinen oppiminen (*cooperative learning*).

Vuorovaikutuksellisten luentojen menetelmässä perinteiseen luentotyypin opetukseen lisätään opiskelijoita aktivoivia elementtejä, kuten ajatuskarttojen luomista aiemmin opitun aktivoimiseksi, puheen tauottamista opiskelijoiden oman ajatuksen tukemiseksi, tietovisoja tai kilpailuja sekä vuorovaikutuksen lisäämistä keskustelun ja kysymysten keinoin.⁶⁵

Kokeellinen työskentely on esimerkiksi laboratoriotöiden, erilaisten mallinnusohjelmien sekä kentällä tapahtuvan työskentelyn avulla oppimista. Kokeellisen työskentelyn tavoitteena on yhdistää teoreettinen tieto käytännön konteksteihin.⁶⁵

Käänteisessä oppimisessä kontaktiopetuksen ja kotitehtävien perinteiset roolit käännetään toisin päin. Tällöin opiskelijat tutustuvat opiskeltavaan aiheeseen ennakkoon kotona esimerkiksi videoluentojen tai oppikirjan avulla. Kontaktiopetukseen varattu aika hyödynnetään tehtävien tekemiseen ja yhteiseen keskusteluun aiheesta.⁶⁵

Ongelmalähtöisessä oppimisessä opiskelijoiden tehtävänä on löytää ratkaisu heille annettuun ongelmaan, joka on yleensä peräisin joko yhteiskunnasta tai työelämästä.⁶⁹ Usein ongelmat muodostuvat luonteeltaan oppiainerajat ylittäviksi. Ongelmanratkaisua voidaan suorittaa joko yksilö- tai ryhmätyönä.⁶⁵

Yhteisöllisessä oppimisessä opiskelijat työskentelevät yhtenä ryhmänä kohti yhteistä tavoitetta. Tässä menetelmässä jokaisen ryhmäläisen tiedot ja taidot ovat jatkuvasti ryhmän käytössä, jolloin tiedonjako opiskelijoiden välillä lisääntyy. Myös yhteistoiminnallisessa oppimisessä

työskennellään yhteistä tavoitetta kohti ryhmänä, mutta työ koostetaan jakamalla jokaiselle opiskelijalle oma vastuualue. Tällöin jokainen opiskelija työskentelee osittain yksin oman vastuualueensa parissa, hyödyntäen työssä lähinnä omia tietoja ja taitojaan.⁶⁵

Aktiivista oppimista tukevia opetusmenetelmiä voidaan käyttää joko osana yksittäistä oppituntia tai ne voivat muodostaa perustan useamman oppitunnin mittaiselle työskentelylle.⁶⁵ Oppitunti voi rakentua myös samanaikaisesti useampaa menetelmää hyödyntäen, esimerkiksi yhdistämällä käännteistä ja yhteistoiminnallista oppimista.⁶² Menetelmien soveltuvuus opetukseen on riippuvaista niin luokka-asteesta kuin käsiteltävästä aiheestakin.⁶⁵ Opinnoissaan pidemmällä olevat opiskelijat kykenevät suoriutumaan avoimemmista projekteista, jotka vaativat sekä itseohjautuvuutta että korkeampaa ajattelua. Aktiivisen oppimisen menetelmät sopivat näin ollen erinomaisesti korkeamman asteen koulutukseen, valmistuen opiskelijoita työelämälle tyypilliseen ongelmanratkaisuun.⁶⁵

4 KEMIAN OPPIMISEN ERITYISPIIRTEITÄ

Luvussa 3 esiteltiin erilaisia oppimiseen liittyviä teorioita, jotka luovat perustan kaikelle oppimiselle kontekstista riippumatta. Tässä luvussa keskitytään tarkastelemaan oppimista erityisesti kemian kontekstissa. Jokaisella tieteenalalla on oma tyypillinen rakenteensa, joka vaikuttaa myös tieteenalalle tyypilliseen ajatteluun.⁵⁸ Luvussa esitellään kemian alan tiedonrakentumisen erityispiirteitä ja niiden vaikutusta oppimiseen.

4.1 Kemian rakenteen monimutkaisuus – Johnstonen kolmitasomalli

Kemian ilmiöitä voidaan kuvata usealla eri tasolla, minkä vuoksi kemiaa pidetään rakenteeltaan monimutkaisena.^{31,33,48} Arkipäivässä havaittavien kemiallisten ilmiöiden takana on tieteellisiä selityksiä, jotka ovat hyvin abstrakteja.^{31,70} Siinä missä molekyyliä ja atomeja voidaan kuvata korkeatasoisella mikroskoopilla, ovat orbitaalit ja energiatasot täysin teoreettisia selityksiä.⁷⁰ Kemiallisen kielen avulla arkipäivässä havaittavia kemian ilmiöitä selitetään käyttäen avuksi näitä abstrakteja teorioita.^{31,33,70}

Useissa kemian oppikirjoissa käsitellään kemian tietoa kemistien näkökulmasta loogisessa järjestyksessä aloittaen rakennuspalikoista, kuten atomeista ja molekyyleistä, ja niiden välisistä vuorovaikutuksista.⁴⁸ Tämän jälkeen erilaisia ilmiöitä selitetään näiden rakennuspalikoiden avulla. Johnstone⁷¹ on kuitenkin kritisoinut tätä oppikirjojen loogisuutta vedoten oppimisen psykologiaan. Hänen mukaansa opetus kannattaisi aloittaa opiskelijoille arkipäivästä tuttujen ilmiöiden käsittelyllä ja edetä opetuksessa hiljalleen kohti abstrakteja, ilmiöitä selittäviä teorioita.³³

Johnstone³³ on kehittänyt kemian ilmiöiden erilaisia näkökulmia kuvaavan kolmitasomallin (kuva 3). Tämä malli sisältää kolme erilaista tarkastelun tasoa; makrotaso, symbolinen taso ja molekyyli-taso. Kaikki tasot ovat keskenään samanarvoisia ja toisiaan täydentäviä.⁷¹ Kemian ilmiöiden ymmärtämiseen vaaditaan jokaisen tason tarkastelua.⁷¹ Kemiallisen tiedon tasojen malli auttaa opetushenkilökuntaa hahmottamaan opetuksessa käytettävien tasojen määrää ja suunnittelemaan opetustaan siten, että tasojen käyttö olisi oppimisen kannalta tarkoituksenmukaista.³³

Makrotason ilmiöt ovat niitä, joita voidaan konkreettisesti havaita aistien avulla.³³ Tälle tasolle kuuluvat arkipäivästä tutut kemian ilmiöt ja käsitteet sekä käytännössä, esimerkiksi laboratoriossa ja keittiössä, tehtävä kemia.⁷¹ Molekyylitasolla käsitellään asioita, joita ei voida havaita paljaalla silmällä.³³ Molekyylitasosta käytetään myös termejä mikrotaso ja sub-mikrotaso.⁷² Tälle tasolle kuuluvat makrotasolla havaittujen ilmiöiden kemialliset selitykset, jotka sisältävät tietoa esimerkiksi atomeista ja niiden välisistä vuorovaikutuksista.⁷² Symbolinen taso sisältää mallit ja esitykset, joiden avulla makro- ja molekyylitason välistä yhteyttä pyritään selittämään.^{31,72} Tälle tasolle kuuluvat reaktioyhtälöt, kaaviot ja molekyylimallit sekä matemaattiset esitykset.⁷²



Kuva 3. Johnstonen malli kemiallisen tiedon tasoista.³³

Tutkimukset ovat osoittaneet, että siirtyminen tiedon tasolta toiselle tuottaa opiskelijoille haasteita myös korkeakouluopinnoissa.⁴⁸ Kemian alan ammattilaiset kykenevät sujuvasti siirtymään tasolta toiselle, mutta aloittelijalle tämä on mahdotonta.⁷² Myös opetuksessa saatetaan yhdistää kerralla kaikki kolme tiedon tasoa, opettajan vaihtaessa tiedostamattaan tasolta toiselle.^{31,33} Tämä aiheuttaa opiskelijan työmuistin ylikuormittumisen⁷², jolloin opiskelija ei kykene seuraamaan opetusta³³. Tämä johtaa virhekäsitysten syntymiseen opiskelijan yrittäessä yksinkertaistaa hänelle tarjottua tietoa.⁷¹ Metakognition avulla opiskelijan on mahdollista yhdistää eri näkökulmista saatu tieto suuremmaksi kokonaisuudeksi ja havaita mahdollisesti syntyneet virhekäsitykset.⁵⁸ Tämä vaatii kuitenkin ohjausta.

Johnstone⁷¹ on ehdottanut, että opetus tulisi aloittaa käsittelemällä vain yhtä tiedon tasoa. Perinteisesti kemian opetus painottuu voimakkaasti symbolisen tason käsittelyyn.³¹ Johnstone³³ on kirjoittanut, että opetuksen alkuvaiheessa symbolisen tason käsittely kannattaisi kuitenkin jättää hyvin vähäiseksi, sillä tämän tason tietoa on yksinään hankala yhdistää aiemmin opittuun. Vallalla olevan oppimiskäsityksen mukaan oppimista helpottaa käsiteltävän aiheen linkittyminen arkipäivään, eli makrotasolle.^{31,33} Tämä auttaa opiskelijaa luomaan yhteyksiä aiemmin opittuun³³ ja koostamaan arkitiedon tilalle tieteellisempiä selitysmalleja³¹.

Arkipäivään yhdistyvät teemat lisäävät myös opiskelijan motivaatiota oppimista kohtaan.^{31,46,48} Tämän vuoksi on perusteltua aloittaa kemian opetus keskittyen makrotason käsittelyyn.^{31,71} Opetuksessa siirrytään hiljalleen kohti selitysmallia, jossa symbolisen tason kemiallisilla esityksillä voidaan osoittaa yhteys makrotason havaintojen ja molekyyli-tason selitysten välillä.⁷⁰

Fysikaalisen kemian alalla tutkitaan aineen käyttäytymistä ja reaktioita atomi- ja molekyyli-tasolla²¹ sekä luodaan matemaattisia malleja kuvaamaan näitä molekyyli-tason ilmiöitä²². Fysikaalisen kemian ydin löytyy siis Johnstonen kolmitasomallin symbolisen ja molekyyli-tason väliltä. Lähtökohtaisesti tutkimuksessa tavoitellaan makrotason ilmiöiden, kuten olomuotojen muutosten ymmärtämistä.^{3,38} Yliopistotasolla myös fysikaalisen kemian opetuksessa tavoitellaan fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärtämistä ja käsittelemistä sekä teoreettisesti että matemaattisesti.^{3,30} Tämän vuoksi aiheen opiskelu ja ymmärtäminen vaativat kaikkien kolmen kemiallisen tiedon tason yhdistelyä.

Aihetta käsitellään tarkemmin fysikaalisen kemian oppimisen näkökulmasta luvuissa 5, 6 ja 7. Lisäksi tämän tutkielman kokeellisessa osassa tutkitaan opiskelijoiden näkökulmaa fysikaalisen kemian ilmiöiden teoreettisesta ja matemaattisesta oppimisesta Jyväskylän yliopiston kemian laitoksen fysikaalisen kemian kurssilla.

4.2 Kemian kielelliset ominaisuudet

Tieteiden, kuten kemian, opiskeluun kuuluu olennaisena osana tieteellisen kielen opiskelu. Tieteellisillä teksteillä on oma tyypillinen rakenteensa, joka poikkeaa arkipäiväisistä teksteistä. Yleisesti tieteelliseen tekstiin sisältyy tietyntyylinen argumentointi ja syy-seuraussuhteiden esiin tuominen. Teksti rakentuu tieteenalan oman termistön ympärille, jonka ymmärtäminen on edellytyksenä tekstin sisällön ymmärtämiselle. Kemian kieli koostuu muun muassa kemiallisista merkeistä, rakennekaavoista sekä reaktioyhtälöistä. Tämän lisäksi teksti sisältää alalle tyypillistä teknistä sanastoa, kuten erilaisten laboratoriovälineiden ja laitteiden nimiä. Kemian tekstit sisältävät matemaattisia kaavoja ja yhtälöitä, joten myös matematiikan kielen ymmärrys on tarpeellista kemiallisen kielen ymmärtämiseksi.^{73,74}

Kemian kielen opiskelua on verrattu vieraan kielen opiskeluun.⁷³ Vieraan kielen opiskelua helpottaa kuitenkin se, että sanoille löytyvät tutut vastineet omasta äidinkielestä, toisin kuin

kemiassa.⁷³ Taber⁷⁴ nostaa esiin myös Kuhnin (1977) huomautuksen siitä, että tällaiset kemian kielelle tyypilliset termit muuttuvat opiskelijalle käyttökelpoisiksi vasta, kun ilmiö niiden takana tulee ymmärretyksi. Näin ollen kemian kielen opiskeleminen vaatii samalla myös uuden kontekstin, kemian, opiskelemista.⁷³ Tämä kuormittaa työmuistia ja jättää vähemmän kapasiteettia uuden tiedon prosessoimiseen pitkäaikaismuistiin tallennettavaksi.³³

Kemian kieli sisältää myös arkipäivästä tuttuja sanoja, kuten työ, mutta sanan merkitys kontekstien välillä muuttuu.^{73,74} Tämän on havaittu hämmäntävän opiskelijoita ja aiheuttavan väärinymmärryksiä.^{33,73,74} Lisäksi monia kemiallisia ilmiöitä kuvataan arkipäivässä virheellisin kemiallisin termein.³¹ Arkikielessä on tapana puhua sokerin *sulamisesta* suussa, vaikka kemian näkökulmasta kyseessä on sokerin *liukeneminen*.

Kemian ilmiöiden ymmärtämistä haastaa myös ilmiöiden inhimillistäminen puheessa. Kemian opetuksessa saatetaan puhua esimerkiksi elektronien hyökkäämisestä tai elektronien jakamisesta atomien välillä. Tämä antaa käsityksen siitä, että ilmiöiden takana on aineiden aktiivista toimintaa, vaikka todellisuudessa kyse on passiivisten aineiden välisestä vuorovaikutuksesta. Tällaisen aineita inhimillistävän kielenkäytön ajatellaan helpottavan ilmiöiden ymmärtämistä, mutta valitettavasti sillä aikaansaadaan virheellisiä käsityksiä ilmiöiden todellisesta luonteesta.⁷⁴

Kielellisiä ongelmia kemian oppimisen esteenä voidaan ennaltaehkäistä kiinnittämällä huomiota opetuksessa käytettäviin sanavalintoihin. Opetuksessa on hyvä käyttää aikaa opiskelijoille vieraiden termien selittämiseen. Opiskelijoille tulisi korostaa arkipäivästä tuttujen sanojen erilaisia merkityksiä kemian kontekstissa. Lisäksi tulisi kiinnittää huomiota arkipäivässä opittujen virheellisten termien käyttöön ja ohjata opiskelijoita käyttämään oikeita termejä.^{31,73}

4.3 Kemian matemaattisuus

Kemistien matemaattisen osaamisen merkitys on ollut jatkuvassa kasvussa. On jopa pohdittu, että matematiikan liittyminen osaksi kemiaa on ollut historiassa taitekohta, jonka jälkeen myös kemiasta on tullut vakavasti otettava tieteenala. Kemian matemaattisuuden merkitys alkoi kasvaa 1900-luvun alkupuolella fyysikkojen kehittäessä termodynamiikan teorioita. Tuon ajan kemistit eivät kuitenkaan ottaneet matemaattisia malleja lämpimästi vastaan, sillä kemian

pelättiin muuttuvan omasta tieteenalastaan yhdeksi fysiikan alalajiksi. Matemaattisia malleja soveltavat uudet teorit saivat kuitenkin hiljalleen jalansijan kemistien keskuudessa ja näistä syntyi kokonaan uusi kemian haara – fysikaalinen kemia.⁷⁵

Kemian matemaattisuus yhdistetään usein vain osaksi fysikaalista kemiaa.³⁹ Todellisuudessa matematiikkaa tarvitaan kuitenkin kaikilla kemian eri osa-alueilla.³⁹ Tarvittavan matematiikan laajuus vaihtelee kuitenkin paljon suuntautumisesta riippuen.³⁶ Synteettisessä orgaanisessa kemiassa tarvittava matematiikka on melko yksinkertaista ja laskennallista, analyttisen kemian matemaattisuus on enemmän tilastotieteellistä ja toisessa ääripäässä fysikaalisen kemian ala pohjautuu täysin matemaattisiin malleihin.³⁶ On siis selvää, että kemian opiskelijat tarvitsevat laajat matemaattiset pohjatiedot menestyäkseen opinnoissaan.^{36,37}

Yliopistoon tulevien kemian opiskelijoiden matemaattiset taustatiedot vaihtelevat hyvin paljon, riippuen toisen asteen matematiikan opintojen laajuudesta.⁷⁶ Yliopiston tarjoamat matematiikan kurssit eivät täysin vastaa kemian opiskelijoiden tarpeisiin.³⁷ Esimerkiksi differentiaaliyhtälöt ja lineaarinen algebra, joita tarvitaan fysikaalisen kemian opiskelussa, jäävät usein käsittelemättä kemian opiskelijoilta vaadituilla matematiikan kursseilla. Toisaalta kursseilla käsitellään laajasti esimerkiksi erilaisia integrointitekniikoita, joista kemian opiskelijat eivät juurikaan hyödy.

Kemisteistä koostunut työryhmä on nostanut esiin kuusi kemisteille tärkeintä matemaattista aihepiiriä, jotka olisi tärkeä käsitellä kemian opiskelijoilta vaadituilla matematiikan kursseilla.³⁶ Nämä kuusi teemaa ovat:

1. usean muuttujan väliset riippuvuudet,
2. numeeriset menetelmät,
3. visualisointi,
4. skaalaus ja tulosten arviointi,
5. matemaattinen päättely sekä
6. datan analysointi.

Kyseisessä tutkimuksessa on esitetty yksityiskohtaisesti kemian opiskelijoiden tarvitsemat matemaattiset taidot ja mietitty opetusvastuun jakamista matematiikan ja kemian kurssien välillä.³⁶ Matematiikan käsitteiden ymmärrystä opiskelijat tarvitsevat etenkin laskennossa (*Calculus*), kuvaajien käsittelyssä, avaruudellisissa esityksissä ja lineaarialgebrassa. Näin ollen

olisi perusteltua, että näiden teemojen opetusvastuu olisi matemaatikoilla. Samoihin teemoihin palataan myöhemmin kemian kursseilla, soveltaen opittua kemian kontekstiin. Oppiminen syvenee, kun matematiikan kursseilta tuttuja menetelmiä sovelletaan uudessa kontekstissa.³⁶

5 FYSIKAALISEN KEMIAN OPPIMISEN ERITYISPIIRTEITÄ

Edellä on käsitelty oppimista ja yleisesti kemiaan liittyviä oppimisen haasteita. Tässä luvussa keskitytään tarkastelemaan kemian oppimisen haasteita fysikaalisen kemian kontekstissa. Tutkimuksissa on käynyt ilmi, että erityisesti fysikaalisen kemian oppimista haastavia tekijöitä ovat laajat ja abstraktit aiheet^{23,28,30,48,77}, opiskelijoiden motivaation puute^{22,24,26–28,78} ja aiheiden voimakas linkittyminen fysiikan ja matematiikan konteksteihin^{26,29,30,38}.

5.1 Laajat ja abstraktit aiheet

Fysikaalinen kemia keskittyy tutkimaan aineen atomi- ja molekyyli-tason muutoksia.²¹ Monet ilmiöiden ymmärtämisen kannalta keskeiset käsitteet ovat tämän vuoksi hyvin abstrakteja.^{23,28,30,48,77} Tutkimukset osoittavat opiskelijoiden kokevan aiheiden abstraktiuden haastavan fysikaalisen kemian ilmiöiden oppimista.^{28,30,77} Aiheet jäävät kursseilla hyvin irrallisiksi arkipäivästä, mikä hankaloittaa käsitteiden ymmärtämistä.²⁸

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan uusien, etenkin abstraktien, aihepiirien opiskelussa yhteyksien luominen aiemmin opittuun syventää oppimista.⁷⁹ Yhteyksien löytäminen opiskelijan arkielämään (makrotaso) auttaa ymmärtämään ilmiön eri tasoja, jolloin arkiset selitysmallit saadaan helpommin korvattua tieteellisillä malleilla.^{28,48} Omaan elämään linkittyvät aiheet lisäävät myös opiskelijoiden sisäistä motivaatiota opiskeltavaa aihetta kohtaan.^{31,46,48} Toisaalta arkipäivään linkittäminen saattaa johtaa myös virhekäsitysten syntymiseen.^{46,48}

Useissa yliopistoissa fysikaalisen kemian teorian opetus jakaantuu kahteen kurssiin, termodynamiikkaan ja kvanttikemiaan.^{22,30} Opiskelijat kokevat termodynamiikan kvanttikemiaa helpommaksi, sillä aihe on osittain tuttua aiemmista opinnoista.^{26,77} Lisäksi termodynamiikasta on tarjolla paljon käytännön esimerkkejä, joiden avulla aihe on helpompi liittää arkikokemukseen ja aiemmin opittuun.^{26,77} Toisaalta termodynamiikka koetaan hankalaksi niemenomaan aiheessa tarvittavan laajan pohjatiedon vuoksi.²⁶ Kvanttikemiassa tarvittava matematiikka koetaan haastavammaksi, mutta silti myös termodynamiikan kursseilla aiheiden matemaattisuus tuottaa haasteita.⁷⁷

Opiskelijoilla on tutkimusten mukaan paljon virhekäsityksiä termodynamiikan ilmiöistä.^{32,48,80} Virhekäsitykset muodostuvat puutteellisesta ymmärryksestä tai uuden asian virheellisestä linkittymisestä aiemmin opittuun.^{46,48} Thomas ja Schwenz⁸⁰ ovat tutkimuksessaan havainneet yliopisto-opiskelijoiden käyttävän arkikieltä kuvatessaan fysikaalisen kemian ilmiöitä. Kuvauksissa käytetään arkikielen sanoja, kuten työ, ymmärtämättä sanalla olevan arkikielestä eroava merkitys kemian kontekstissa. Lisäksi selityksissä on havaittu sekä puutteita että virheitä kemian pääperiaatteiden osaamisessa, vaikka nämä teemat on käsitelty sekä lukio- että perusopintoasteella. Nämä puutteet aiheuttavat opiskelijoille ongelmia fysikaalisen kemian ilmiöiden oppimiseen ja uusia virhekäsityksiä pääsee syntymään, ellei tarjottu opetus haasta opiskelijoiden aiempia käsityksiä.⁸⁰

Sekä luennoitsijat että opiskelijat kokevat kurssien sisällön laajuuden tuottavan haasteita oppimiselle.²⁸ Ongelmaan on yritetty etsiä ratkaisua miettimällä, missä järjestyksessä kurssien sisältöjä tulisi käsitellä, jotta opettavien asioiden kuormittavuus olisi opiskelijalle vähäisempää.^{23,48,77} Mitään yksiselitteisesti muita parempaa järjestystä ei kuitenkaan voida saada aikaiseksi, sillä oppimiseen vaikuttavat aina opettaja, opetusmenetelmät, käytössä olevat resurssit sekä opiskelijoiden taustatiedot ja mielenkiinnon kohteet.⁷⁷

Opetussuunnitelmaa olisi lisäksi tärkeää miettiä mukaan otettavien aiheiden laajuuden ja ajankohtaisuuden näkökulmasta.^{23,34} Opetettavien aiheiden laajuutta merkittävämpi tekijä tulisi olla laatu, jolla mukaa valitut aiheet käsitellään.^{28,46} Oppimisen tiedetään olevan aikaa vievä prosessi.⁴⁶ Jos kurssiin sisällytetään liian paljon eri aiheita, on selvää, että yhden aiheen käsittelylle jäävä aika vähenee ja näin ollen oppiminen jää pinnalliselle tasolle.⁴⁶

5.2 Opiskelijoiden motivaatio ja ennakoasenteet

Opiskelijoilla on ongelmia motivoitua fysikaalisen kemian opiskeluun.^{24,27,28} Sekä opiskelijat että opetushenkilökunta tunnistavat motivaation puutteen ongelmaksi kursseilla menestymisen kannalta. Syyksi motivaation puutteelle on esitetty fysikaalisen kemian kurssien huonoa mainetta opiskelijoiden keskuudessa.²⁸ Huonon maineen taustalla uskotaan olevan aiheiden abstraktius ja matemaattisuus.²⁷ Kurssien huono maine ilmenee tutkimuksissa opiskelijoiden negatiivisina ennakoasenteina kursseja kohtaan.^{27,28,76} Negatiivinen ennakoasenne vaikuttaisi osittain aiheutuvan aiemmin kurssilla heikosti menestyneiden opiskelijoiden puheista.⁷⁶

Nicoll ja Francisco²⁷ ovat huomanneet, että matemaattiset taitonsa heikoiksi kokevat opiskelijat eivät usko mahdollisuuksiinsa suoriutua fysikaalisen kemian kursseista hyvin. Heidän tutkimuksestaan käy kuitenkin ilmi, että ennakkoasenteet kurssia tai omia taitoja kohtaan eivät vaikuta kursseista suoriutumiseen. Lisäksi opiskelijoiden asenteet kurssia kohtaan ovat muuttuneet kurssin edetessä positiivisemmiksi.

Kotitehtävapisteeet ovat yksi parhaimmista mittareista kurssiarvosanaa ennustettaessa.^{22,81} Cuadros *et al.*⁸¹ ovat osoittaneet, että opiskelijoiden ennakkotiedot eivät ole merkittävässä osassa kotitehtävien tekemisessä. Siten kotitehtävien tekeminen viestii sekä opiskelijan opiskelumotivaatiosta että hyvistä opiskelumnetelmistä^{22,81}. Kotitehtäviä tehdessä opiskelija joutuu kertaamaan kurssimateriaalia saadakseen tehtävät ratkaistua, jolloin myös oppiminen syvenee.²²

Hahn ja Polik²² ovat tutkineet opiskelijoiden motivaation vaikutusta fysikaalisen kemian kurssiarvosanoihin. Mittarina he käyttivät opiskelijalle kurssin aikana kertyneitä kotitehtävapisteeitä. He uskovat keskimääräisten kotitehtävapisteeiden olevan hyvä motivaation mittari. Heidän tutkimuksensa tehtiin pienessä yliopistossa, jossa opiskelijoille tarjottiin useita mahdollisuuksia saada apua kotitehtäviinsä. Siten he kokevat, että myös heikommilla opiskelijoilla oli hyvät mahdollisuudet kerätä kotitehtävapisteeitä, jos he vain motivoituivat näkemään vaivaa.

Hahn ja Polik²² käyttivät tutkimuksessaan motivaation mittarina myös opiskelijan aiempaa kurssimenestystä sekä kemian että matematiikan kursseilla. Tutkijat totesivat opiskelijan yleisen motivaation opintojaan kohtaan olevan merkittävä tekijä fysikaalisen kemian kurssimenestyksen takana, sillä myös nämä tekijät korreloivat kurssiarvosanaan. Vastaavasti Derrick ja Derrick²⁹ ovat huomanneet fysikaalisen kurssilla heikosti suoriutuneiden opiskelijoiden suoriutuneen heikosti myös aiemmissa kemian, fysiikan ja matematiikan opinnoissaan. He uskovat tämän viestivän opiskelijoiden heikosta motivaatiosta opintojaan kohtaan, jolloin myös heidän havaintonsa tukee motivaation merkitystä opiskelumestykselle. Tutkijat eivät tutkimuksissaan ottaneet kantaa lahjakkuuden ja motivaation erottamiseksi tutkimusaineistoissaan.

Gojak-Salimović *et al.*²⁶ ovat selvittäneet tutkimuksessaan yliopiston toisen vuoden kemian opiskelijoiden motivaatiota opintojaan kohtaan. Tehdyn kyselyn perusteella vain noin 20 %

opiskelijoista ilmoitti olevansa motivoituneita jatkamaan kemian opintojaan ja 20 % opiskelijoista ilmoitti suunnitelleensa alan vaihtoa. Fysikaalisen kemian haastavien aihealueiden ymmärtäminen edellyttäisi läpi kurssin jatkuvaa työskentelyä. Opiskelijoiden tenttivastausten perusteella tutkijoille välittyi kuitenkin tunne siitä, että opiskelijat motivoituivat opiskelemaan vain vähimmäismäärän, joka riittää kurssista suoriutumiseen.

Sözbilir²⁸ on tutkimuksessaan saanut samansuuntaisia tuloksia. Fysikaalisen kemian opintojakson loppupuolella jopa 37 % opiskelijoista koki erääksi kurssin ongelmakohtaksi opiskelijoiden kiinnostuksen ja motivaation puutteen opintoja kohtaan. Myös tässä tutkimuksessa fysikaalisen kemian opettajat olettivat opiskelijoiden tavoittelevan kurssisuoritusta minimityöllä. Opiskelijoiden vastaukset tukivat tätä oletusta, sillä 37 % opiskelijoista koki fysikaalisen kemian kurssin ja etenkin sen tentin kannustavan ilmiöiden syvemmän ymmärryksen tavoittelun sijasta ulkoa opetteluun. Kuitenkin jopa 19 % opiskelijoista olisi toivonut kurssille enemmän opetusta, joka tukisi paremmin ilmiöiden ymmärtämistä.

Opettajat ovat raportoineet ongelmaksi opiskelijoiden liian vähäisen työpanoksen fysikaalisen kemian kursseilla.³⁰ Opiskelijoille tulisi opettaa tehokkaita työskentely- ja opiskelutapoja, sillä niillä on suuri merkitys opintomenestykseen.^{22,61} Opiskelijoita tulisi kannustaa työskentelemään kurssimateriaalin parissa aktiivisesti läpi kurssin, esimerkiksi kotitehtäviä tehden.²² Etenkin motivoituneille opiskelijoille voidaan opettaa kognitiivisia kykyjä, joilla vaikuttaisi olevan yhteys fysikaalisen kemian kursseilla suoriutumiseen.²⁹

Bruce⁷⁸ on luonut fysikaalisen kemian aloitusluennolle esimerkkiprojektin, jonka käsittelyssä opiskelijat pääsevät näkemään mallintamisen, mallin kriittisen arvioinnin sekä energian merkityksen kemiallisissa kysymyksissä. Esimerkkiprojektissa teemaa lähestytään makroskooppisen näkökulman jälkeen sekä molekyyllitasolla että matemaattisesti, jolloin fysikaalisen kemian kaikki näkökannat tulevat esille. Aloitusluennon tavoitteena on lisätä opiskelijoiden ymmärrystä fysikaalisen kemian merkityksestä ja erilaisuudesta verrattuna muihin kemian haaroihin. Tämän toivotaan hälventävän mahdollisia negatiivisia ennakkoluuloja ja lisäävän opiskelijoiden motivaatiota kurssia kohtaan.

5.3 Usean oppiaineen integraatio

Fysikaalinen kemia yhdistää tiiviisti kemian, fysiikan sekä matematiikan tietoja ja taitoja.^{26,38} Opiskelijan tulee kyetä siirtymään sujuvasti kontekstien välillä ymmärtääkseen fysikaaliset ilmiöt, joita fysikaalinen kemia kuvaa matemaattisin mallein.³⁵ Tieteessä ja tutkimuksessa eri alojen integraatio on hyvin tyypillistä, sillä se edesauttaa ilmiöiden syvällisempää ymmärtämistä.²⁶ Luonnontieteiden opetuksessa keskitytään perinteisesti oman tieteenalan näkökulmaan. Näin ollen eri tieteenaloja yhdistävä opetus ei ole opiskelijoille tuttua.

Derrick ja Derrick²⁹ ovat selvittäneet fysikaalisen kemian kurssista alhaisen tai hylätyn arvosanan saaneiden opiskelijoiden menestystä muilla yliopiston kursseilla. He havaitsivat, että näistä opiskelijoista jopa puolet olivat saaneet hylätyn arvosanan myös jostain matematiikan kurssista. Lisäksi nämä opiskelijat olivat yleensä saaneet hylättyjä arvosanoja myös aiemmista kemian ja fysiikan kursseista. Tämä tutkimus antaa viitteitä siitä, että opiskelijoiden heikko opintomenestys ja siitä aiheutuva pohjatietojen puutteellisuus selittäisi osittain fysikaalisen kemian vaikeuksia. Tätä pohdintaa tukee myös tutkijoiden havainto siitä, että fysiikan ja laskentopainotteisten matematiikan kurssien arvosanat korreloivat vahvasti fysikaalisen kemian arvosanoihin. Etenkin fysiikassa hyvin menestyneet opiskelijat menestyvät hyvin myös fysikaalisen kemian kurssilla.²⁹

6 FYSIKAALISEN KEMIAN MATEMAATTISUUS

Fysikaalisen kemian tavoitteena on luoda matemaattisia malleja selittämään kemiallisia ilmiöitä.²² Tämän vuoksi matematiikka on tärkeä työväline fysikaalisessa kemiassa.³⁸ Kemian aloista juuri fysikaalisen kemian hallitseminen vaatii kaikista laajimman matemaattisen osaamisen.^{36,37} Matematiikan käsitteistä etenkin derivaatan ja integraalin ymmärtäminen ovat keskeisiä fysikaalisen kemian kannalta.³⁵ Lisäksi muun muassa kinetiikan ja termodynamiikan osa-alueilla tarvitaan ymmärrystä logaritmifunktioista sekä taitoa piirtää ja tulkita erilaisten funktioiden kuvaajia.⁸² Sekä opiskelijat että luennoitsijat pitävät matemaattisuutta yhtenä suurimmista oppimisen haasteista fysikaalisen kemian kursseilla.^{26,28,30,77}

6.1 Matematiikan merkitys fysikaalisen kemian kurssilla menestymiseen

Opiskelijat kokevat matemaattiset taidot tärkeiksi kemian opiskelun kannalta, mutta luotto omiin taitoihin on heikkoa.⁸³ Luottamuksen puute johtaa siihen, että matemaattisuutta vaativat kemian aihepiirit, kuten fysikaalinen kemia, koetaan ahdistaviksi.⁸³ Fysikaalisen kemian ilmiöt voivat jäädä kurssilla piiloon matemaattisuuden alle, jos opiskelija joutuu kurssilla keskittymään matemaattisten menetelmien opiskeluun.^{28,37}

Opiskelijat kokevat etenkin differentiaalilaskentaa, eli derivointia ja integrointia vaativat fysikaalisen kemian tehtävät hankaliksi.²⁶ Näitä teemoja käsitellään usein vain pintapuolisesti kemian opiskelijoille pakollisilla matematiikan kursseilla.³⁷ Lisäksi sanalliset tehtävät, joiden ratkaiseminen vaatii ongelmanratkaisutaitoa, tuottavat opiskelijoille vaikeuksia.²⁶ Sanallisten tehtävien ratkaisukykyyn on huomattu korreloivan selvästi opiskelijoiden menestymiseen fysikaalisen kemian kurssilla.²⁷

Matematiikan kurssien arvosanoilla vaikuttaisi olevan yhteys fysikaalisen kemian kurssiarvosanoihin.^{22,29} Derrick ja Derrick²⁹ ovat tutkimuksessaan huomanneet, että etenkin laskennallisilla Calculus-kursseilla menestyminen ennakoisi selkeästi myös fysikaalisen kemian kurssilla menestymistä. Lisäksi fysikaalisen kemian kurssista hylätyn arvosanan saaneista opiskelijoista valtaosa oli aiemmissa opinnoissaan joutunut suorittamaan uudestaan myös matematiikan kursseja. Hahn ja Polik²² ovat havainneet tutkimuksessaan, että matematiikan kurssien hyvä keskiarvo ennustaa hyvää arvosanaa myös fysikaalisen kemian kurssilla.

Nicoll ja Francisco²⁷ ovat tutkineet matematiikan pohjatietojen vaikutusta fysikaalisen kemian kurssiarvosanoihin. Pohjatietoja tutkittiin kokeella, joka mittasi fysikaalisen kemian kurssin suorittamiseksi tarvittavia matemaattisia taitoja erilaisin laskutehtävin. Kokeessa menestymisen huomattiin korreloivan opiskelijan kurssiarvosanan kanssa. Tulosten tarkemmassa analysoinnissa huomattiin, että vain sanallisten tehtävien ratkaisutaito oli merkittävä tekijä ennustettaessa menestymistä fysikaalisen kemian kurssilla. Koe sisälsi sanallisten tehtävien lisäksi myös laskennallisia ja algebrallisia tehtäviä. Laskennallisten tehtävien ratkaisutaidon huomattiin korreloivan myös kurssiarvosanoihin, mutta havaittu korrelaatio oli kuitenkin huomattavasti heikompi kuin sanallisissa tehtävissä.

Suoritettujen matematiikan kurssien määrän merkityksestä menestykseen fysikaalisen kemian kurssilla on saatu ristiriitaisia tuloksia. Hahn ja Polik²² ovat osoittaneet korrelaation näiden tekijöiden välillä, mutta Nicoll ja Francisco³ ovat saaneet tutkimuksessaan päinvastaisen tuloksen. Tulosten eroavaisuus voi johtua tutkimuksissa käytetyistä erilaisista kysymysten asetteluista, joka on johtanut erilaisiin tutkimusaineistoihin.²² Hahn ja Polik²² ovat pohtineet, että suoritettujen kurssien määrän pitäisi vaikuttaa opiskelijan matemaattisiin valmiuksiin. Kursseista saatu arvosana vaikuttaisi näiden tutkimusten perusteella suoritettujen kurssien määrää merkittävämmältä tekijältä ennustettaessa suoriutumista fysikaalisen kemian kurssilla.²² Pelkkä altistuminen matematiikalle ei siis näyttäisi tuottavan hyvää tulosta, vaan merkittävämpää on se, mitä kursseilla todella opitaan.

Nicoll ja Francisco²⁷ ovat mitanneet tutkimuksessaan myös opiskelijoiden loogista päättelykykyä ja huomanneet sen korreloivan fysikaalisen kemian kurssilla menestymiseen. Hyvän päättelykyvyn omaavat opiskelijat kykenevät luomaan yhteyksiä aiemmin opittuun ja näin ollen yhdistämään myös matemaattiset ongelmat arkipäivän teemoihin. Loogisen päättelykyvyn on huomattu olevan yhteydessä myös muilla kemian kursseilla menestymiseen.⁸⁴ Donnellyn ja Hernándezin⁶⁸ tutkimuksessa opiskelijat joutuivat ratkaisemaan heille vieraaseen kemian kontekstiin sijoitettuja haastavia laskutehtäviä. Tutkimuksessa huomattiin, että opiskelijat pystyivät hyvän loogisen päättelykyvyn ja matemaattisen päättelyn avulla suoriutumaan näistä tehtävistä ilman kemian kontekstin ymmärrystä.

6.2 Tiedon siirtyminen kontekstien välillä

Yhtenä fysikaalisen kemian oppimisvaikeuksiin johtavista tekijöistä pidetään opiskelijoiden kykyä siirtää matematiikan kursseilla oppimiaan tietoja ja taitoja kemian kontekstiin.^{30,35} Aihetta on tutkittu muun muassa kokein, joissa opiskelijat ovat suorittaneet samanlaista laskutaitoa ja matemaattista päättelyä vaativat laskutoimitukset sekä matematiikan että kemian kontekstissa.^{26,82,85,86} Tutkimukset antavat viitteitä siitä, että ongelmat matemaattisten taitojen siirtymisessä kontekstien välillä olisivat peräisin matematiikan puutteellisesta konseptuaalisesta ymmärtämisestä.

Sekä lukio- että yliopistotason kemian opiskelijoilla on huomattu olevan yleisesti heikot matemaattiset taidot.^{26,86} Tutkimuksessaan Scott⁸⁶ huomasi, että lukiolaiset suoriutuivat samantasoisesti sekä kemian että matematiikan kokeesta, kun tehtävät olivat yksinkertaisia. Kuitenkin kokeen haastavammissa, ongelmanratkaisua vaativissa, tehtävissä opiskelijat suoriutuivat kemian kontekstiin siirretyistä tehtävistä huomattavasti heikommin. Matemaattiset taidot eivät siis siirtyneet kontekstien välillä näissä ongelmanratkaisutehtävissä. Gojak-Salimović *et al.*²⁶ huomasivat, että yliopiston toisen vuoden kemian opiskelijat suoriutuivat heikosti kokeesta, joka sisälsi sekä puhtaasti matematiikan tehtäviä että fysikaalisen kemian kontekstiin sovellettuja matemaattisia tehtäviä. Keskiverto-opiskelija sai tehtävistä vain puolet oikein. Opiskelijat arvioivat osanneensa soveltaa tietoja kontekstien välillä, mutta heidän koetuloksensa eivät tukeneet tätä arviota.

Potgieter *et al.*⁸⁵ ovat havainneet tutkimuksessaan ensimmäisen vuoden kemian opiskelijoiden suoriutuvan hyvin logaritmiyhtälön käsittelyä ja tulkintaa vaativista tehtävistä sekä matematiikan että kemian kontekstissa. Heidän tutkimuksessaan puolet opiskelijoista vastasi matematiikan kokeeseen ja puolet kokeeseen, joka sisälsi vastaavat matemaattiset ongelmat sovellettuna kemian kontekstiin. Molempien ryhmien opiskelijat suoriutuivat kokeesta hyvin, mutta matematiikan kokeen tehneet saivat hieman paremmat kokonaispisteet. Tutkijat havaitsivat kemian kokeen virhelähteiksi nimenomaan matemaattisen päättelyn puuttumisen sekä virheellisesti muistetut tai tulkitut kemian faktat. Vain yhden opiskelijan kohdalla kyse oli virheellisestä matemaattisesta päättelystä. Molemmissa ryhmissä samat tehtävät aiheuttivat opiskelijoille hankaluutta. Etenkin kuvaajien piirtämiseen liittyvät taidot olivat erittäin heikot. Tämä tutkimus antaa viitteitä siitä, että ongelma on enemmän matemaattisten konseptien ymmärtäminen kuin osaamisen siirtäminen uuteen kontekstiin.

Leopoldin ja Edgarin⁸⁷ tutkimus tukee ajatusta yliopisto-opiskelijoiden puutteellisesta matemaattisten käsitteiden ymmärryksestä. He ovat tutkineet opiskelijoiden matemaattisia valmiuksia monivalintatyypisellä matematiikan kokeella, jossa laskimen käyttö oli kiellettyä. Opiskelijat joutuvat tutkijoiden mukaan turvautumaan matemaattisen kontekstin ymmärtämiseen vastatessaan tehtäviin ilman laskinta. Kokeeseen valikoitiin kemian kannalta olennaisia matematiikan teemoja, kuten logaritmin käsittelyä, merkitsevien numeroiden ymmärrystä, yhtälön ja kuvaajan tulkitsemista sekä yhtälönratkaisua. Tämän kokeen pisteitä verrattiin opiskelijoiden samana lukuvuotena suorittamaan kemian kurssiin ja suoriutumisen välillä havaittiin merkittävä yhteys. Heikosti kemian kurssilla menestyneet opiskelijat olivat hyvin todennäköisesti saaneet heikot pisteet myös matematiikan kokeesta. Koe paljasti opiskelijoilla olevan virhekäsityksiä logaritmifunktioista. Tutkijat olettavat tämän havainnon jäävän helposti piiloon kursseilla, joilla laskimen käyttö sallitaan.

Myös Hoban *et al.*⁸² ovat tehneet laajan tutkimuksen matemaattisen osaamisen siirtymisestä kemian kontekstiin. Tutkimuksessaan he keskittyivät pohtimaan myös selitystä mahdolliselle siirtovaikutukselle. He huomasivat, että opiskelijat, jotka osasivat antaa selityksen matemaattisesti oikealle vastaukselle, kykenivät ratkaisemaan vastaavan tehtävän myös kemian kontekstissa. Vastaavasti opiskelijat, jotka eivät osanneet antaa oikealle vastaukselleen selitystä, eivät yleensä kyenneet suoriutumaan vastaavasta tehtävästä kemian kontekstissa. Tämän tutkimuksen perusteella matemaattisten työkalujen tehokas käyttö kemian kontekstissa edellyttäisi matematiikan konseptuaalista ymmärrystä.

Hoban *et al.*⁸² huomasivat, että yksittäisissä tapauksissa opiskelijat kykenivät ratkaisemaan kemian kontekstin tehtävän, vaikka eivät suoriutuneet vastaavasta tehtävästä matematiikan kontekstissa.⁸² Tutkijat olettavat tämän olevan seurausta kemian kontekstissa opittuun rutiininomaiseen laskutehtävän suorittamiseen. Tämä on hyvä esimerkki Bloomin taksonomian tason 3 (käyttää) alatasojen *suorittaa* ja *soveltaa* erosta. Laskutoimituksen suorittaminen kemian kontekstissa voidaan oppia tekemään ilman suurempaa ymmärrystä tekemisen takana, mutta laskun todellinen ymmärtäminen vaatii matemaattisten taitojen soveltamista kemian kontekstissa ja on näin ollen kognitiivisesti huomattavasti monimutkaisempi prosessi.⁴⁷ Tiedon soveltaminen kertoo syvemmästä oppimisesta, mikä ilmenee tässä tutkimuksessa opiskelijan kykyinä antaa vastaukselleen myös pätevä matemaattinen selitys.⁸²

Tutkimukset tiedon siirtymisestä yleisesti erilaisten kontekstien välillä tukevat näitä edellä esitettyjä tutkimustuloksia. Nykyisin uskotaan, että tiedon siirtyminen kontekstien välillä

edellyttää alkuperäisen kontekstin syvällistä oppimista, eli konseptuaalista ymmärrystä.⁴⁶ Pelkkä matemaattisten yhtälöiden muistaminen ei siis välttämättä takaa niiden onnistunutta käyttöä kemian kontekstissa, vaan tueksi tarvittaisiin ymmärrystä yhtälöistä. Ymmärryksen kautta opiskelijan on mahdollista arvioida yhtälön käyttökelpoisuutta uusissa tilanteissa ja soveltaa oppimaansa myös uusissa konteksteissa.^{46,49} Ymmärryksen aikaansaaminen vaatii puolestaan aikaa, jotta uusi opetettava asia linkittyy osaksi aiemmin opittua.^{33,46} Tämän vuoksi opetuksessa tulisi käyttää riittävästi aikaa oleellisten teemojen opetteluun, eikä kiirehdiä eteenpäin tarjoten opiskelijoille vain yksittäisiä faktoja mahdollisimman monesta teemasta.⁴⁶

6.3 Yhteenveto fysikaalisen kemian matemaattisuudesta

Fysikaalisen kemian kurssien matemaattisuus tuottaa opiskelijoille vaikeuksia.^{26,28,30,77} Tutkimukset ovat osoittaneet, että ennen fysikaalisen kemian kurssia suoritettujen matematiikan kurssien määrällä ei ole juurikaan vaikutusta opiskelijan menestymiseen fysikaalisen kemian kurssilla.^{22,27} Merkittävämpää vaikuttaisi olevan se, miten hyvin opiskelija menestyy suorittamallaan matematiikan kursseilla.²² Tätä päätelmää tukee se, että aiemmissa matematiikan opinnoissaan hyvin menestyneet opiskelijat vaikuttivat menestyvän hyvin myös fysikaalisessa kemiassa.^{22,29} Lisäksi opiskelijat, jotka eivät saa fysikaalisen kemian kurssia hyväksytysti suoritettua, ovat usein saaneet hylätyn arvosanan aiemmissa matematiikan opinnoissaan.²⁹

Matematiikan konseptuaalinen ymmärrys vaikuttaisi tukevan suoriutumista fysikaalisen kemian matemaattisista tehtävistä.^{22,82,85,87} Etenkin sanallisten tehtävien ratkaisukyvyyn, ongelmanratkaisukyvyyn ja opiskelijan loogisen päättelykyvyyn on havaittu korreloivan fysikaalisen kemian kursseilla menestymiseen.^{26,27} Tällaisten taitojen hallitseminen viestii korkeatasoisesta oppimisesta, sillä esimerkiksi ongelmanratkaisu vaatii Bloomin taksonomian korkeampien tasojen (*käyttää*, *analysoida* ja *arvioida*) hallitsemista.⁴⁹ Myös tämänhetkiset käsitykset tiedon siirtymisestä kontekstien välillä painottavat, että tiedon siirtymisen edellytyksenä on alkuperäisen kontekstin syvällinen ymmärtäminen.⁴⁶

7 FYSIKAALISEN KEMIAN OPETUKSEN KEHITTÄMINEN

Tässä luvussa esitellään fysikaalisen kemian kurssien kehittämiseen liittyviä tutkimuksia ja niiden tuloksia. Tarkasteluun on valittu tutkimuksia, jotka käsittelevät fysikaalista kemiaa yleisesti tai erityisesti termodynamiikan näkökulmasta, sillä tämän tutkielman kokeellisessa osassa tarkasteltavan fysikaalisen kemian kurssin sisällöt liittyvät nimenomaan termodynamiikkaan.

7.1 Oppimistavoitteiden, opetuksen ja arvioinnin yhdenmukaistaminen

Opetussuunnitelman sisältöjen pohtiminen fysikaalisen kemian kurseja kehitettäessä on olennaista.^{23,28,34,48} Opetuksessa tulisi keskittyä käsittelemään kurssin olennaisimmat teemat tavoitellen ilmiöiden syvällistä ymmärrystä.^{23,28,30} Tämä helpottaa opiskelijoiden keskittymistä oppimisen kannalta olennaisiin sisältöihin, mikä vähentää työmuistin kuormitusta.⁴⁸ Opetuksen osalta tulisi miettiä, missä teemoissa kemian konseptuaalisen ymmärryksen kehittyminen on matemaattista ymmärrystä tärkeämpää ja missä teemoissa yhtä tärkeää.³⁰ Tämä auttaa suunnittelemaan kurssin opetusta ja arviointia kurssin tavoitteiden mukaisiksi.⁴⁹

Matemaattisen ymmärryksen tärkeyden pohtiminen on olennaista, sillä fysikaalisen kemian matemaattisuus tuottaa opiskelijoille haasteita oppimiseen.^{26,28,30,77} Etenkin ilmiöissä, joissa kemian konseptuaalinen ymmärrys on matemaattista ymmärrystä tärkeämpää, tulisi opetusta toteuttaa kemian konteksti edellä ja vasta tämän jälkeen lisätä mukaan myös matemaattinen tarkastelu.²⁸ Aiheiden matemaattista käsittelyä voidaan keventää myös nykyään hyvin saatavilla olevien mallinnusohjelmistojen avulla, jotka tukevat myös abstraktien käsitteiden hahmottamista.²³

Fysikaalisen kemian kurseja tarkastelevissa tutkimuksissa on huomattu, että opettajien arviointityökalut eivät välttämättä vastaa kursseille asetettuja oppimistavoitteita.^{28,30} Laajassa tutkimuksessa opettajat raportoivat käyttävänsä osaamisen arvioinnissa lähinnä tehtäviä, jotka mittaavat opiskelijan matemaattista ymmärrystä fysikaalisen kemian ilmiöistä.³⁰ Kyseisille kursseille opettajat olivat kuitenkin asettaneet tavoitteeksi sekä kemiallisen että matemaattisen ymmärryksen ilmiöistä. Kurssin arviointityökalut eivät siis mitanneet kurssille asetettujen tavoitteiden mukaista osaamista. Myös opiskelijoiden kokemusten mukaan fysikaalisen kemian

tentissä kysytään myös asioita, joita ei kurssin aikana käsitelty.²⁸ Lisäksi opiskelijat kokivat tenttien mittaavan lähinnä ulkoa muistamista, mikä ei kannusta heitä syvälliseen opiskeluun.

7.2 Opiskelijalähtöinen, aktiivinen oppiminen

Fysikaalisen kemian opetuksessa tulisi hyödyntää tuoretta tutkimustietoa menetelmistä, joiden avulla abstraktien aiheiden oppimista voitaisiin tehostaa.^{23,61} Turkissa opiskelijat ovat kokeneet fysikaalisen kemian kurssin huonoksi puoleksi opettajalähtöisen opetuksen.²⁸ Laajan tutkimuksen perusteella jopa 79 % opettajista käyttää fysikaalisen kemian kursseilla lähinnä opettajalähtöisiä opetusmenetelmiä.³⁰ Opiskelijalähtöisten, aktiivista oppimista hyödyntävien menetelmien on yleisesti todettu parantavat opiskelijoiden motivaatiota, edesauttavan ilmiöiden syvällisempää ymmärtämistä, opettavan kriittistä ajattelua ja parantavan opiskelijoiden ongelmanratkaisukykyä.^{67,68,76}

Aktiivisen oppimisen menetelmät lisäävät keskustelua opetustilanteissa, mikä auttaa opiskelijoiden virhekäsitysten ilmentämisessä.⁸⁰ Keskustelu tarjoaa mahdollisuuden haastaa näitä virhekäsityksiä, jolloin opiskelijoiden on mahdollista työstää käsityksiään uudelleen.^{46,76} Etenkin pienryhmässä suoritettavat oppimistehtävät auttavat opiskelijoita refleктоimaan omaa ajatteluaan, korjaamaan toistensa virheellisiä käsityksiä sekä syventämään omaa ymmärrystään aiheesta.^{61,68} Ryhmätyöskentely luokkatilassa tarjoaa myös opettajalle mahdollisuuden yksilölliseen opetukseen ryhmiä auttaessa.⁶⁷

Donnelly ja Hernández⁶⁸ ovat kokeilleet opiskelijoita aktivoivaa, käännteistä oppimista (*flipped learning*) yleisen kemian kurssin opetusmenetelmänä ja selvittäneet opiskelijoiden näkemyksiä tällaisesta opetuksesta. Heidän kurssillaan opiskelijat tutustuivat opiskeltavaan materiaaliin etukäteen kotona sekä lukien että tehtäviä tehden. Luento-aika hyödynnettiin teemaan liittyvien ongelmanratkaisutehtävien tekemiseen ja niistä keskusteluun sekä yhteisesti että pienissä ryhmissä. Luennoitsija esitti luennolla kysymyksiä satunnaisesti valituille opiskelijoille. Opiskelijat kokivat tämän motivoivan heitä opiskelemaan materiaalin hyvin ennakkoon. Kurssin arvioinnissa luentoaktiivisuuden osuus oli jopa 30 %, mikä motivoi opiskelijoita osallistumaan luennoille, vaikka satunnaisesti jaetut vastausvuorot aiheuttivat opiskelijoille ahdistuksen tunnetta. Tehtävien tekeminen ennen varsinaista teeman opetusta koettiin haastavaksi ja tehtävänratkaisussa luotettiin matemaattiseen päättelyyn kemian kontekstin ymmärryksen sijaan.

Hinde ja Kovac⁶⁷ ovat tutkimuksessaan soveltaneet aktiivisen oppimisen menetelmiä opettamallaan fysikaalisen kemian kursseilla. Molemmat käyttivät kurssillaan yhteistoiminnallista, ohjattua tutkivaa oppimista. Hinde säilytti kurssillaan perinteiset luennot, mutta kurssin aikana opiskelijat osallistuvat seitsemään yhteistoiminnallista oppimista hyödyntävään tietokonepohjaiseen työpajaan sekä tekivät kurssin kotitehtävät ryhmissä, palauttaen yhteisen vastauksen. Kovac sovelsi kurssillaan yhteistoiminnallista opetusta luento-opetuksen tilalla. Kurssilla opiskelijat saivat halutessaan tehdä myös kotitehtävät ryhmissä. Sekä Hinde että Kovac kokivat uusien opetusmenetelmien tuoneen heitä lähemmäs opiskelijoita ja saaneet heidät ymmärtämään oppimista paremmin. Opiskelijoilta saadun palautteen perusteella he ovat ymmärtäneet, että fysikaalisessa kemiassa on hyvä säilyttää myös perinteistä luento-opetusta, jotta opiskelijoiden on helpompi ymmärtää isompia asiakokonaisuuksia. Opiskelijoiden palaute uusista opiskelutavoista on ollut pääosin positiivista. Opiskelijat kokivat oppimisensa syventyneen, kun opiskeltavaa materiaalia joutui työstämään itse ja siitä keskusteltiin yhdessä vertaisten kanssa.

Kovac⁶⁷ pyysi opiskelijoitaan kirjoittamaan kurssin aikana säännöllisin väliajoin tiivistelmän siihen asti oppimistaan asioista. Tehtävän suorittaminen vaatii monimutkaisempien kognitiivisten prosessien, kuten tiedon analysoinnin harjoittamista.⁴⁷ Tämä havaittiin tehokkaaksi oppimiskeinoksi, sillä opiskelijan tarvitsee tiivistelmää kirjoittaessaan reflektoida oppimaansa ja muodostaa yksittäisistä tiedoista eheä kokonaisuus sanallisessa muodossa.⁶⁷ Aiheen muotoileminen omin sanoin vaatii metakognitiivista ajattelua, joka auttaa opiskelijaa jäsentämään ajatuksiaan ja yhdistämään aiheen aiemmin oppittuun.^{46,58,61}

Myös Partanen⁷⁶ muutti fysikaalisen kemian kurssejaan opiskelijoita aktivoivaan suuntaan. Luentojen alussa opiskelijoille esitettiin aiheen keskeisiin asioihin liittyviä kysymyksiä, joihin luennolla tarjottiin vastauksia. Vastaukset näihin kysymyksiin käsiteltiin yhteisesti joko saman päivän luennolla tai seuraavan luennon aluksi. Luennointi keskeytettiin säännöllisesti tarjoten opiskelijoille mahdollisuuksia aiheesta keskusteluun pienryhmissä. Keskustelun tueksi laadittiin valmiita kysymyksiä, jotka haastoivat yleisesti tunnettuja virhekäsityksiä käsiteltävästä teemasta. Lisäksi kurssisuoritukseen kuului ennakkotehtäviä, joiden tarkoituksena oli valmistaa opiskelijoita tulevan luennon keskusteluihin. Opiskelijat kokivat luennoilla käytävien keskustelujen motivoivan heitä osallistumaan luennoille. Etenkin ne opiskelijat, jotka muuten suoriutuisivat kurssilla heikosti, näyttäisivät hyötyvän uudesta luentorakenteesta.

Partanen⁷⁶ uudisti myös kurssinsa harjoitustehtävät ryhmätyöskentelyä ja keskustelua hyödyntäviksi. Harjoitustunnilla suoritettiin kaksi ongelmanratkaisua vaativaa tehtävää pienryhmissä ja lopuksi ratkaisut käsiteltiin yhdessä keskustellen. Tämän lisäksi opiskelijoille annettiin viikoittain kolme haastavaa, soveltavaa kotitehtävää, jotka sai halutessaan ratkoa myös itsenäisesti. Kirjallisesti palautetuista tehtävistä opiskelijoille annettiin myös kirjallinen palaute. Harjoitustehtävien rakenteen uudistamisella havaittiin olevan luentojen rakenteen uudistamista suurempi vaikutus opiskelijoiden menestymiseen kurssilla. Opiskelijat kokivat harjoitustehtävien syventäneen oppimista ja lisänneen motivaatiota fysikaalista kemiaa kohtaan.

Aktiivista oppimista soveltaneissa tutkimuksissa opiskelijat ovat kokeneet ryhmätöiden työpanoksen jakautuvan epätasaisesti ryhmäläisten välillä.^{67,68,76} Tästä huolimatta opiskelijat ymmärsivät ryhmäkeskustelujen merkityksen oppimista syventävänä tekijänä.^{67,68,76} Työpanoksen tasapuolisempaa jakautumista voi edistää opiskelijoille jaetut roolit, joita vaihdetaan jokaisella tapaamiskerralla, jos läpi kurssin työskennellään samoissa ryhmissä.⁶⁷ Läpi kurssin pysyvät kiinteät ryhmäjaot saattavat kuitenkin olla ongelmallisia, mikäli poissaoloja ilmenee runsaasti.⁶⁷ Myös opiskelijoiden myöhästelyt opetustilaisuuksista vähentävät ryhmän tehokasta opiskeluaikaa.⁶⁷ Opettajan tulisi motivoida opiskelijoita saapumaan paikalle ajoissa ja työskentelemään aktiivisesti ja tasapuolisesti ryhmässä.⁶⁸

Aktiivisen oppimisen lisääminen kurssille ei välttämättä paranna opiskelijoiden kurssiarvosanoja.^{30,67} Erilaisissa ryhmätyöskentelyn muodoissa on mahdollista, että heikommin suoriutuvat opiskelijat jäävät ryhmässä muiden varjoon, eivätkä hyödy ryhmän voimasta oppimista edistävänä tekijänä.⁶⁷ Vaikka aktiivisen oppimisen menetelmien on havaittu kehittävän opiskelijoiden oppimisstrategioita, ei tämäkään menetelmä sovi kaikille opiskelijoille.⁶⁷ Kurseilla kannattaa käyttää monipuolisesti erilaisia opetustyyliä, jotta kaikille opiskelijoille voitaisiin tarjota mielekkäitä oppimistilanteita.⁶⁷

Uusia oppimismenetelmiä sovellettaessa kursseille on tärkeä löytää tasapaino opiskelijälähtöisen ja opettajälähtöisen opetuksen välillä.^{58,67} Muutoksia tehtäessä palautetta tulisi kerätä jo kurssin aikana.^{67,68} Tällöin opiskelijoiden kokemat ongelmat tulevat esiin ja niihin voidaan reagoida jo kurssin aikana. Myös opiskelijälähtöisessä opetuksessa opettajan tulee toimia aktiivisesti.^{45,65} Opettajan tulee auttaa opiskelijoita reflektoimaan oppimaansa ja

muodostamaan yhteyksiä opiskeltavien aiheiden välillä.^{58,67} Ilman opettajan tukea aktiivisen oppimisen hyödyt jäävät saavuttamatta.⁵⁸

7.3 Yhteistyö kemian, matematiikan ja fysiikan laitosten välillä

Fysikaalisen kemian opetuksen kehittämisen lisäksi tarvitaan opetussuunnitelmallista uudistusta ja yhteistyötä matematiikan, kemian ja fysiikan laitosten välillä.^{26,32,34,35,86} Sekä kemian, fysiikan että matematiikan kursseilla käsitellään osittain samoja teemoja, mutta laitosten kurssit keskittyvät tiukasti vain oman tieteenalansa näkökulmaan.³⁵ Laitosten opetussuunnitelmien olisi perusteltua muodostaa yhdessä looginen kokonaisuus.³⁴ Eri laitosten kurssien linkittyessä toisiinsa voitaisiin paremmin varmistua siitä, että opiskelijalla olisi tarvittavat ennakkotiedot fysikaalisen kemian kurssille tullessaan.³⁴ Kurssien sisällölliset yhteydet auttaisivat opiskelijoita soveltamaan oppimaansa uusissa konteksteissa, mikä on olennaista myös tieteellisen ajattelun kehittymisen kannalta.²⁶

Colorado State Universityssä on kehitetty kemian opiskelijoille suunnattu matematiikan kurssi, *Applied Mathematics for Chemists* (MfC), jonka tavoitteena on kehittää opiskelijoiden matemaattista päättelykykyä ja tarjota opiskelijoille tarvittavat matemaattiset pohjatiedot fysikaalisen kemian kursseille. Kurssi tarjotaan vaihtoehtona perinteisille matematiikan laitoksen tarjoamille laskennallisille Calculus-kursseille. Opiskelijat saavat valita suorittavatko Calculus-kurssikokonaisuuden, vai korvaavatko osan näistä kursseista MfC-kurssilla. Fysikaalisen kemian kurssilla MfC-kurssin suorittaneet opiskelijat ovat erottuneet selkeästi, suoriutuen kurssin matemaattisuuden osalta huomattavasti Calculus-kurssit suorittaneita opiskelijoita paremmin. MfC-kurssilla matemaattisia menetelmiä harjoitellaan kemian kontekstissa ja näin ollen muun muassa Schrödingerin yhtälö on opiskelijoille tuttu fysikaalisen kemian kurssille tultaessa. Nämä opiskelijat voivat siis fysikaalisen kemian kurssilla keskittyä ymmärtämään yhtälön kemiallista merkitystä matemaattisen pohdinnan sijasta.³⁷

8 YHTEENVETO

Tämän tutkielman kirjallisessa osassa on kuvattu oppimista yleisesti sekä erityisesti kemian kontekstissa. Kemian kontekstissa oppimista on tarkasteltu etenkin fysikaalisen kemian näkökulmasta, esitellen fysikaalisen kemian oppimisen erityispiirteitä, matemaattisuutta sekä kurssien kehittämistä käsitteleviä tutkimuksia ja niiden tuloksia. Tarkastelussa keskeisimpänä mielenkiinnon kohteena on ollut fysikaalisen kemian matemaattisten ongelmien tarkastelu ja mahdollisten ratkaisumallien esittäminen. Tässä luvussa todetaan edeltävien lukujen keskeisimmät johtopäätökset käsitellyn tutkimuskirjallisuuden pohjalta.

8.1 Fysikaalisen kemian matemaattisuus

Fysikaalisen kemian matemaattiset haasteet vaikuttaisivat tutkimusten mukaan johtuvan osittain opiskelijoiden heikosta matematiikan konseptien hallinnasta.^{22,82,85,87} Matematiikan kursseilla hyvin menestyvät opiskelijat näyttäisivät menestyvän myös fysikaalisen kemian kursseilla.^{22,29} Tiedon siirtyminen matematiikan kontekstista kemian kontekstiin edellyttää matematiikan syvällisempää osaamista.⁴⁶ Syvälinen osaaminen mahdollistaa Bloomin taksonomian korkeampien tasojen (*käyttää*, *analysoida* ja *arvioida*) kognitiivisten prosessien hallinnan.⁴⁹ Näiden taitojen merkitys korostuu sanallisten ja ongelmanratkaisua vaativien tehtävien ratkomisessa. Tämän tyylistä tehtävistä hyvin suoriutuvat opiskelijat ovat menestyneet hyvin fysikaalisen kemian kursseilla.^{22,26}

Matematiikan ja kemian laitoksen välinen yhteistyö kemian opiskelijoille suunnattujen matematiikan opintojen kehittämiseksi näyttäisi olevan toimiva ratkaisu fysikaalisen kemian matemaattisten ongelmien helpottamiseksi.³⁷ Tällä hetkellä monissa yliopistoissa matematiikan kurssit eivät sisällöltään vastaa kemian opiskelijoiden tarpeisiin.³⁶ Kemian opiskelijoille suunnitellut matematiikan kurssit antaisivat mahdollisuuden keskittyä juuri kemian opinnoissa tarvittavien matemaattisten konseptien syvällisempään opiskeluun.³⁶

Yhteistyö myös fysiikan laitoksen kanssa siten, että kemian, matematiikan ja fysiikan kurssien sisällöt ja suoritusaikataulut tukisivat toisiaan, voisi vähentää opiskelijoiden työmuistin ylikuormittumista.^{26,32,34,35,86} Laajempi laitosten välinen opetussuunnitelmatyö mahdollistaisi opintojen nykyistä loogisemman kokonaisuuden ja parantaisi opiskelijoiden ennakkotietoja uusille kursseille tullessa.³⁴ Tämä voisi auttaa opiskelijoita soveltamaan osaamistaan eri

tieteenaloilla ja linkittämään osaamistaan suuremmiksi, eheämmiksi asiakokonaisuuksiksi yli oppiainerajojen.^{26,33}

8.2 Laajat abstraktit aihepiirit ja opiskelijoiden motivaatio

Oppimista haastavana tekijänä pidetään myös fysikaalisen kemian kurssien sisältöjen abstraktiutta ja laajuutta.^{23,28,30,31,48,77} Käsiteltäviä teemoja on paljon ja opettajan tehtäväksi jää valita, missä teemoissa panostetaan ilmiöiden syvällisempään.^{23,28,30} Tämän lisäksi opettajien tulisi pohtia, missä teemoissa kemian konseptuaalinen ymmärrys ilmiön matemaattista ymmärrystä tärkeämpää.³⁰ Selkeä ja yksityiskohtainen tavoitteenasettaminen ennen kurssin alkua auttaa opiskelijaa hahmottamaan kurssin olennaiset asiat sekä opettajaa suunnittelemaan tavoitteita vastaavat materiaalit ja arviointityökalut.^{30,49}

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaisesti yhteyksien löytäminen arkipäivään helpottaa abstraktien aiheiden ymmärtämistä.^{48,74} Myös Johnstonen³³ teoriat kemian oppimisesta tukevat tätä ajatusta. Aiheen linkittyminen arkipäivästä tuttuihin asioihin helpottaa mielekkäiden asiakokonaisuuksien rakentamista ja näin ollen helpottaa työmuistin kuormitusta asioiden siirtyessä helpommin pitkäaikaismuistiin.³³ Omaan elämään yhdistyvät teemat lisäävät myös opiskelijoiden sisäistä motivaatiota opiskeltavaa aihetta kohtaan.^{31,46,48} Tämä on olennainen havainto, sillä tutkimukset osoittavat opiskelijoiden motivaation fysikaalisen kemian opintoja kohtaan olevan heikkoa.^{24,27,28}

Opiskelijoiden motivaatiota fysikaalista kemiaa kohtaan heikentää nimenomaan kurssien abstraktius ja matemaattisuus.²⁷ Omat matemaattiset valmiutensa heikoksi kokevat opiskelijat eivät usko menestyvänsä fysikaalisessa kemiassa.²⁷ Lisäksi aiempina vuosina heikosti fysikaalisen kemian kurssilla menestyneet opiskelijat luovat kurseille huonoa mainetta opiskelijoiden keskuudessa, mikä lisää uusien opiskelijoiden negatiivisia ennakoasenteita fysikaalisen kemian kursseja kohtaan.^{27,28,76} Opiskelijat ovat motivoituneita opiskelemaan vain sen, mitä kurssin läpäiseminen vaatii, ja näin ollen työpanos kurssilla jää usein liian vähäiseksi.^{26,30} Tutkimuksissa on myös huomattu, että opiskelijan oma kokemus matemaattisista valmiuksistaan ei korreloi kurssi-arvosanan kanssa ja opiskelijoiden asenteet fysikaalista kemiaa kohtaan voivat muuttua positiivisemmiksi kurssin edetessä.²⁷

Kotitehtävapisteen on huomattu korreloivan opiskelijan arvosanaan fysikaalisessa kemiassa.^{22,81} Tämän vuoksi olisi hyvin tärkeää kannustaa opiskelijoita aktiiviseen työskentelyyn läpi kurssin.²² Opiskelijan motivaatiota fysikaalista kemiaa kohtaan voidaan parantaa oppimista tukevalla opetus suunnitelmalla⁴⁸, opettajan pätevyydellä ja innostavuudella⁴⁸, opiskeltavien teemojen sovellettavuuden korostamisella⁴⁶, yhteyksien luomisella arkipäivään^{31,46,48} sekä annettavien tehtävien sopivalla vaikeustasolla⁴⁶. Lisäksi aktiivisen oppimisen menetelmiä hyödyntämällä opiskelijat ovat kokeneet motivaationsa fysikaalista kemiaa kohtaan parantuneen.⁷⁶

8.3 Aktiivisen oppimisen menetelmät fysikaalisen kemian opetuksessa

Nykyisten oppimiskäsitysten valossa tiedon aktiivinen prosessointi on olennainen osa laadukasta oppimista.^{33,47,48,58} Aktiivisen prosessoinnin vaiheessa opiskelija luo yhteyksiä aiemmin opittuun, mikä auttaa asioiden tallettamisessa pitkäaikaismuistiin.^{33,46,48} Bloomin taksonomian mukaan hyvät metakognitiiviset taidot ovat olennainen osa tiedon aktiivisesta prosessointia ja näin ollen parantavat oppimisen laatua.⁴⁷

Metakognitiivisten taitojen, eli kyvyn reflektoida omaa ajatteluaan, on havaittu edistävän korkealaatuista oppimista.⁴⁷ Näiden taitojen avulla opiskelija pystyy tunnistamaan vahvuuksia ja puutteita omassa opiskelutavoissaan sekä huomaamaan asioita, joiden ymmärtäminen vaatii lisää opiskelua.⁴⁶ Lisäksi metakognitiiviset taidot auttavat opiskelijaa ajankäytön suunnittelussa sekä omien tavoitteiden asettamisessa. Hyvät metakognitiiviset taidot vaikuttaisivat parantavan myös ongelmanratkaisukykyä.⁵⁸ Näitä taitoja voi ja kannattaa opettaa opiskelijoille.⁴⁷ Taitojen kehittyminen vaatii tietoa erilaisista oppimistyyleistä ja oppimisteorioista.⁴⁶

Opiskelijalähtöiset, aktiivista oppimista hyödyntävät opetusmenetelmät näyttäisivät lisäävän opiskelijoiden metakognitiivisten taitojen käyttöä osana opiskeluprosessia.^{58,61} Opiskelijalähtöisyyttä hyödyntäneillä fysikaalisen kemian kursseilla luento-opetus korvattiin kokonaan tai osittain joko pienryhmissä tai koko ryhmän kesken käydyillä keskusteluilla sekä ongelmanratkaisutehtävillä.^{67,68,76} Näillä kursseilla myös kotitehtävien ratkaisemisessa opiskelijoita kannustettiin hyödyntämään ryhmätyöskentelyä.^{67,76} Kotitehtävien ratkaisemisella ryhmissä tavoiteltiin opiskelijoiden välisen vuorovaikutuksen lisääntymistä.

Keskustelevan opetuksen lisääminen mahdollistaa opiskelijoiden virhekäsitysten ilmenemistä ja niiden työstämistä kohti täsmällisempiä selitysmalleja.^{46,76} Päävastuu materiaalin työstämisessä jää opiskelijoille, mikä lisää tiedon aktiivista prosessointia ja syventää oppimista.⁶⁷ Opettajan tehtävänä opiskelijälähtöisessä oppimisessa onkin nimenomaan tukea oppimista ja ohjata opiskelijoiden ajattelua oikeaan suuntaan.^{58,67} Pienryhmätyöskentely mahdollistaa myös yksilöllisen, jokaisen ryhmän tarpeita vastaavan opetuksen ja ohjauksen.⁶⁷

Opiskelijat ovat kokeneet aktivoivien opetusmenetelmien lisäävän heidän motivaatiotaan fyysikaalista kemiaa kohtaan.^{68,76} Ryhmätyöskentely on koettu hyödylliseksi oppimisen kannalta, mutta toisaalta siihen liittyy myös paljon huomioon otettavia seikkoja opetusta suunniteltaessa.^{67,68,76} Ryhmätöissä heikommalla oppilaalla saattavat jäädä lajakaampiin varjoihin tai työnjako ei muuten ole tasapuolista. Poissaolot ja myöhästelyt vaikuttavat ryhmän toimintaan ja vähentävät aktiivista työskentelyaikaa. Opettajan tulisi motivoida opiskelijoita saapumaan tapaamisiin ajoissa ja huolehtimaan ryhmän tasapuolisesta työnjaosta.⁶⁸

Mikään yksittäinen opetusmenetelmä ei sovi kaikille opiskelijoille. Sama pätee myös opiskelijälähtöisten opetusmenetelmien kohdalla.⁶⁷ Tutkimukset osoittavat, että kurseilla tulisi löytää hyvä tasapaino opettaja- ja opiskelijälähtöisen työskentelyn välille.^{58,67} Opettajalähtöinen, luennointiin pohjautuva opetus saattaa auttaa opiskelijoita hahmottamaan paremmin laajempia asiakokonaisuuksia, joten siitä ei tulisi kokonaan luopua.⁶⁷ Muutoksia tehtäessä palautetta tulisi kerätä opiskelijoilta jo kurssin aikana, jotta mahdollisiin ongelma-kohtiin voidaan puuttua ajoissa.⁶⁷

KOKEELLINEN OSA

9 TUTKIMUSKYSYMYKSET

1. Millaisia haasteita fyysikaalisen kemian oppimisessa yliopistotasolla tunnetaan?
2. Millaiset matemaattiset ennakkotiedot opiskelijoilla on yliopiston aineopintotason fyysikaalisen kemian opintojaksolle tultaessa?
3. Millainen vaikutus opiskelijoiden matemaattisilla ennakkotiedoilla on yliopiston aineopintotason fyysikaalisen kemian kursseilla menestymiseen?
4. Miten voimakkaasti fyysikaalisen kemian matemaattisuuden koetaan haastavan ilmiöiden ymmärtämistä?
5. Miten yliopiston aineopintotason fyysikaalisen kemian kursseja voitaisiin kehittää oppimista paremmin tukeviksi?

10 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimus toteutettiin Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella vuosina 2019 ja 2020. Aineiston keruu suoritettiin vuoden 2019 aikana (kuva 4). Tutkimuksen alkuvaiheessa haastateltiin fyysikaalisen kemian opetukseen osallistuvaa kemian laitoksen henkilökuntaa. Haastatteluissa saadun tiedon pohjalta tutkimusmetodeiksi valittiin syksyn 2019 kurssilla KEMA224 Fyysikaalinen kemia 1 toteutettu esitietokysely sekä kemian opiskelijoiden ainejärjestön sähköpostilistan kautta jaettu laajempi kyselytutkimus.



Kuva 4. Tutkimuksen aineistonkeruun vaiheet ja aikataulu.

10.1 Henkilökunnan haastattelut

Tutkimuksen suunnittelu aloitettiin yhdessä tutkijan, tutkimuksen ohjaajan ja kolmen fyysikaalisen kemian kurssilla aiempina vuosina opettaneen henkilön kesken. Kukin henkilö

haastateltiin ensin yksitellen. Vapaamuotoisten haastatteluiden avulla kartoitettiin henkilökunnan näkemyksiä fysikaalisen kemian aineopintokurssien kehittämistarpeesta, ongelmakohdista, opiskelijoiden matemaattisesta taitotasosta sekä kurssien aiemmasta että työn alla olevasta kehitystyöstä. Haastatteluilla varmistuttiin myös siitä, että tutkimus koetaan tarpeelliseksi myös laitoksen henkilökunnan mielestä.

Käytettävissä olevien resurssien ja henkilökunnan haastatteluiden perusteella tutkimus rajattiin koskemaan vain kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1. Tällä kurssilla tarvittavien matemaattisten työkalujen kirjo on laajempi kuin kvanttimekaniikkaa keskittyvällä kurssilla KEMA225 Fysikaalinen kemia 2. Näin ollen kurssi KEMA224 tarjosi laajemman mahdollisuuden tarkastella opiskelijoiden matemaattisia ennakkotietoja. Opiskelijoille ensimmäinen fysikaalisen kemian kurssi tarjosi myös luontevamman aineiston opiskelijoiden ennakkoasenteiden tarkasteluun fysikaalista kemiaa kohtaan. Lisäksi tutkijan omakohtaisen kokemuksen puuttuminen kurssista KEMA224 katsottiin tutkimuksen luotettavuutta lisääväksi tekijäksi.

Alustavien haastatteluiden ja aiheen tarkemman rajaamisen jälkeen pidettiin tapaaminen, johon kaikki aiemmin haastatellut henkilöt osallistuivat. Tämän tapaamisen tarkoituksena oli vielä yhteisesti keskustella tutkimuksen aiheen rajaamisesta ja kuunnella henkilökunnan ideoita käytettävistä tutkimusmetodeista. Tapaamisessa kirjattiin ylös kysymyksiä, joihin henkilökunnan jäsenet toivoivat saavansa vastauksia tämän tutkimuksen avulla.

Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 vastuuhenkilön kanssa pidettiin muutama kahdenkeskeinen tapaaminen. Näiden tapaamisten perusteella päätettiin syksyn 2019 kurssilla järjestää opiskelijoiden matemaattista lähtötaoa mittaava esitietokysely. Tapaamisissa sovittiin myös kyselyn suunnitteluun ja toteuttamiseen liittyvistä yksityiskohdista.

10.2. Esitietokysely

Esitietokyselyllä kartoitettiin opiskelijoiden matemaattisten opintojen laajuutta, matemaattista osaamista sekä opiskelijoiden kokemuksia omista matemaattisista taidoistaan. Kysely toteutettiin syyskuussa 2019 kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 Moodle-oppimisympäristössä verkkotenttinä. Kysely avattiin opiskelijoille kurssin ensimmäisenä päivänä ja vastausaika annettiin reilu vuorokausi. Kyselyyn vastaaminen oli opiskelijoille

vapaaehtoista, eikä vaikuttanut kurssiarvosanaan. Kyselyyn vastaamisesta opiskelijat saivat yhden laskuharjoituspisteen.

10.3 Kyselytutkimus

Osana tutkimusta toteutettiin laajempi kyselytutkimus, johon toivottiin vastauksia myös aiempina vuosina kurssille osallistuneilta opiskelijoilta. Kyselyllä kartoitettiin opiskelijoiden kokemuksia kurssista KEMA224 Fysikaalinen kemia 1, painottaen kurssin matemaattisuuteen ja fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärtämiseen mahdollisesti liittyviä haasteita. Kyselytutkimuksen kysymysten laadinnassa hyödynnettiin henkilökunnan haastatteluissa esiin nousseita kysymyksiä, joiden lisäksi kehitettiin laaja kysymyspatteri kartoittamaan opiskelijoiden kokemuksia kurssista. Kysely julkaistiin joulukuun alussa 2019 Jyväskylän yliopiston kemian opiskelijoiden ainejärjestön sähköpostilistalla. Muistutussähköposti lähetettiin viikkoa myöhemmin. Vastausaikaa kyselyyn annettiin noin kuukausi.

11 TUTKIMUSMETODIT

11.1 Henkilökunnan haastattelut

Tutkimuksen suunnittelun yhteydessä suoritettujen henkilökunnan haastattelut toteutettiin hyvin vapaamuotoisina puolistrukturoituina teemahaastatteluina. Etukäteen mietityt keskustelua ohjaavat kysymykset (liite 1) liittyivät fysikaalisen kemian matemaattisiin haasteisiin. Tavoitteena oli kuulla henkilökunnan kokemuksia aiheesta, joten kysymyksillä ei haluttu ohjata keskustelua liian kapea-alaiseksi. Haastatteluiden aikana esiin nousseista asioista tehtiin muistiinpanot, joita analysoitiin aineistolähtöisellä laadullisella sisällönanalyysillä. Muistiinpanot ohjasivat sekä jatkohaastatteluita että tutkielman aiheen muotoutumista. Lisäksi haastatteluissa saatiin esiin henkilökunnan näkemystä opiskelijoiden matemaattisista ennakkotiedoista ja haasteista kurssilla.

11.2 Esitietokysely

Yhdessä kurssin vastuuhenkilön kanssa suunniteltiin esitietokysely syksyn 2019 KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 kurssille. Esitietokyselyllä selvitettiin kurssilla aloittavien opiskelijoiden matemaattista osaamista fysikaalisen kemian kurssien suorittamisen kannalta olennaisissa teemoissa. Kyselyyn valittiin teemoja sekä ensimmäisen (KEMA224) että toisen (KEMA225) fysikaalisen kemian aineopintokurssin osalta. Kysely sisälsi taustatietokysymyksiä (liite 2), joilla kartoitettiin opiskelijoiden matematiikan ja fysiikan taustaa sekä kokemuksia matemaattisista kyvyistään.

Kurssin vastuuhenkilö suunnitteli kyselyn matemaattiset kysymykset (liite 3) aiempien vuosien materiaalien ja opetuskokemuksensa pohjalta. Matemaattisia tehtäviä oli viisi, joista kaikissa oli vähintään kaksi alakohtaa. Tehtävän a-kohdassa käsiteltiin teemaa matematiikan kursseilta tutuin merkinnöin ja b-kohdassa samaan tehtävätyyppiin sovellettiin kemian merkistöä ja kontekstia. Tehtävissä tarvittavat matematiikan teemat olivat yhtälönratkaisu, logaritmfunktio, eksponenttifunktio, summa- ja tulotermin, sinifunktio, derivaatta ja integraali. Lisäksi yksi tehtävistä käsitteli kuvaajien tulkitsemista.

Kysely toteutettiin Moodle-oppimisympäristöön kurssin muiden materiaalien ohien. Opiskelijat ratkaisivat laskutehtävät ensin paperilla ja tämän jälkeen syöttivät vastauksensa

tentinä toteutettuun kyselypohjaan. Vastauksen palauttamisen jälkeen tehtävän oikeat ratkaisut tulivat näkyviin tehtävien itsearviointia varten. Itsearviointi suoritettiin valitsemalla annetuista väitteistä sopivimmat (taulukko 4). Itsearviointien lisäksi opiskelijoiden tuli pohtia oliko tehtävässä tarvittavia matemaattisia menetelmiä käsitelty hänen suorittamallaan matematiikan tai fysiikan kursseilla. Teknisen toteutuksen yksinkertaistamiseksi kaikki väitteet olivat samassa väiteryhmässä. Väitteet oli koodattu teemoittain numeroin 1–3 ja opiskelijoiden tuli valita väitteistä enintään kolme tehtävää parhaiten kuvaavaa väitettä. Lisäksi jokaisen tehtävän perässä oli avoin tekstikenttä, johon opiskelijoita pyydettiin omin sanoin kuvaamaan, mikä tehtävässä oli hankalaa.

Taulukko 4. Esitietokyselyn matemaattisten tehtävien itsearvioinnissa käytetyt väitteet, joista opiskelijoiden tuli valita 1–3 parhaiten kuvaavaa väitettä.

| Väitteet matemaattisten tehtävien itsearviointiin |
|--|
| 1. En osannut tehtäviä alkuunkaan. |
| 1. Pääsin tehtävissä alkuun. |
| 1. Sain tehtävät lähes valmiiksi. |
| 1. Sain tehtävät ratkaistua, mutta ratkaisussani oli virhe. |
| 1. Sain ratkaisut oikein. |
| 2. Käymilläni matematiikan kursseilla on käsitelty vastaavia tehtäviä |
| 2. Käymilläni matematiikan kursseilla ei ole käsitelty vastaavia tehtäviä |
| 2. En osaa sanoa, onko käymilläni matematiikan kursseilla käsitelty vastaavia tehtäviä |
| 3. Käymilläni fysiikan kursseilla on käsitelty vastaavia tehtäviä |
| 3. Käymilläni fysiikan kursseilla ei ole käsitelty vastaavia tehtäviä |
| 3. En osaa sanoa, onko käymilläni fysiikan kursseilla käsitelty vastaavia tehtäviä |

Esitietokysely esiteltiin kurssin ensimmäisellä luennolla paikalla olleille opiskelijoille. Opiskelijoita ohjeistettiin vastaamaan kysymyksiin sen hetkisen osaamisensa perusteella, käyttämättä kurssikirjoja, verkkomateriaaleja tai muita apuvälineitä. Laskimen käyttö tehtävien ratkaisemisessa oli sallittua. Kyselyn tehtävät jaettiin opiskelijoille luennon lopuksi pdf-

tiedostona kurssin Moodle-alustalla. Heti luennon jälkeen alkoi kurssin aikatauluun kuulunut ohjaustunti, jossa opiskelijoilla oli mahdollisuus aloittaa tehtävien ratkaiseminen. Kyselyyn vastaamiseen annettiin aikaa reilu vuorokausi, jotta vastaukset palautettaisiin ennen kurssin seuraavaa luentoa. Näin haluttiin varmistaa vastausten todella kuvaavan opiskelijoiden ennakkotietoja.

Kyselyyn vastaaminen oli opiskelijoille vapaaehtoista, eikä vaikuttanut heidän kurssiarvosanaansa. Vastaamisesta opiskelijat saivat yhden laskuharjoituspisteen, minkä toivottiin motivoivan vastaamiseen. Opiskelijat vastasivat kyselyyn omalla nimellään laskuharjoituspisteiden saamiseksi. Aineisto anonymisoitiin Excel-tiedostoon siirtämisen yhteydessä. Näin ollen vastauksia ei analyysivaiheessa voitu yhdistää yksittäisiin opiskelijoihin.

Esitietokysely koostui monivalintakysymyksistä sekä avoimista kysymyksistä. Monivalintakysymykset analysoitiin laskemalla vastausprosentit vastausvaihtoehdoille. Itsearviointikysymysten kohdalla opiskelijat valitsivat samasta väiteryhmästä useamman vaihtoehdon. Itsearviointikysymysten väitteiden välisiä suhteita arvioitiin vastausprosenttien lisäksi väitteiden ristiintaulukoinnin avulla. Avointen kysymysten vastaukset teemoitettiin ja analysoitiin aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä.

11.3 Kyselytutkimus

Opiskelijoiden kokemuksia kurssista KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 kartoitettiin laajemmin kyselytutkimuksella (liite 4). Kyselyyn toivottiin vastauksia sekä syksyllä 2019 kurssille osallistuneilta että aiempina vuosina kurssin suorittaneilta opiskelijoilta. Kyselyllä kartoitettiin opiskelijoiden kokemuksia matemaattisista taidoistaan, matemaattisten opintojen laajuutta sekä kurssilla KEMA224 mahdollisesti koettuja matemaattisia haasteita. Kyselyllä selvitettiin myös opiskelijoiden ennakoasenteita fysikaalisen kemian kurseja kohtaan sekä mahdollista asenteiden muuttumista kurssin aikana. Lisäksi opiskelijoita pyydettiin arvioimaan kurssin eri osa-alueiden oppimista tukevaa vaikutusta sekä omaa työpanosta eri osa-alueilla.

Kysely toteutettiin sähköisesti selainpohjaisella Webropol-kyselytyökalulla. Linkki kyselyyn jaettiin Jyväskylän yliopiston kemian opiskelijoiden ainejärjestön sähköpostilistalla. Jakelukanavaksi valittiin sähköpostilista, jotta kysely tavoittaisi mahdollisimman monta

aiempina vuosina kurssille osallistunutta kemian pääaineopiskelijaa. Lisäksi linkki kyselyyn lähetettiin syksyllä 2019 kurssille osallistuneille opiskelijoille kurssin sähköpostilistan kautta. Opiskelijat vastasivat kyselyyn nimettömästi, joten vastauksia ei voitu yhdistää yksittäisiin opiskelijoihin.

Kysely koostui monivalintakysymyksistä, Likert-asteikollisista väittämistä sekä avoimista kysymyksistä. Kyselyn tulokset analysoitiin Webropolin omien analysointityökalujen sekä Excel-ohjelmiston avulla. Monivalintakysymysten vastausvaihtoehdoille laskettiin vastausprosentit ja Likert-asteikollisten väittämien vastauksille keskiarvo ja keskihajonta. Lisäksi tärkeimpien teemojen kohdalla selvitettiin muuttujien välistä korrelaatiota regressioanalyysin avulla. Regressiosuora kuvaa muuttujien välisen yhteyden voimakkuutta ja R^2 -arvo sitä, miten hyvin havaittua vaihtelua voidaan kuvata kyseisten muuttujien välisellä yhteydellä.⁸⁸ Opiskelijoiden vastauksia tarkasteltiin myös pienemmissä osajoukoissa esimerkiksi kurssin KEMA224 suorittamisvuoden tai suoritettujen matematiikan kurssien määrän perusteella. Avointen kysymysten vastaukset teemoitettiin ja analysoitiin aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä.

12 TUTKIMUSAINEISTO

12.1 Henkilökunnan haastattelut

Keväällä 2019 järjestettiin kolme erillistä haastattelua, joissa selvitettiin fysikaalisen kemian kursseilla opettaneiden henkilöiden näkemyksiä kurssien matemaattisuudesta ja kehittämisestä. Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituna teemahaastatteluina (liite 1) haastateltavien työhuoneessa ja dokumentoitiin muistiinpanoin. Haastattelut koodattiin haastatteluiden aikajärjestyksessä symbolein H1-H3.

Haastateltava 1 oli osallistunut vuosina 2013–2017 kurssin KEMA225 Fysikaalinen kemia 2 opetukseen ohjaten kurssin ohjaus- ja laskuharjoitustilaisuuksia. Tässä haastattelussa keskityttiin selvittämään erityisesti haastateltavan näkemyksiä opiskelijoiden matemaattisista valmiuksista sekä haasteista fysikaalisen kemian kurssilla KEMA225 (Haastattelu 1, liite 1). Haastattelu suoritettiin 29.4.2019 ja sen kesto oli 90 minuuttia.

Haastateltava 2 oli osallistunut kurssin KEMA230 Fysikaalisen kemian työt opetukseen vuodesta 2004 alkaen. Lisäksi hän oli osallistunut fysikaalisen kemian aineopintokurssien kehitystyöhön opetussuunnitelmakaudelle 2020–2023. Tutkimuksen alkuvaiheessa päätettiin, että tutkimus ei tule käsittelemään fysikaalisen kemian laboriokurssia KEMA230, joten tässä haastattelussa keskityttiin selvittämään fysikaalisen kemian kurssien kehittämiseen liittyviä suunnitelmia (Haastattelu 2, liite 1). Haastattelu suoritettiin 30.4.2019 ja sen kesto oli 60 minuuttia.

Haastateltava 3 oli toiminut kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 vastuuhenkilönä vuodesta 2013 alkaen. Tässä haastattelussa keskityttiin selvittämään etenkin kurssin KEMA224 toteutukseen liittyviä yksityiskohtia sekä haastateltavan näkemyksiä kurssin ongelmakohdista (Haastattelu 3, liite 1). Lisäksi haastattelun aikana pohdittiin mahdollisia tutkimusmenetelmiä erityisesti opiskelijoiden matemaattisten esitietojen kartoittamiseksi. Haastattelu suoritettiin 6.5.2019 ja sen kesto oli 140 minuuttia. Haastattelun lisäksi kurssin vastuuhenkilön kanssa käytiin sähköpostikirjeenvaihtoa läpi koko tutkimuksen. Sähköpostitse varmistettiin muun muassa kurssin KEMA224 toteuttamiseen ja kehittämiseen liittyviä yksityiskohtia.

12.2 Esitietokysely

Esitietokysely toteutettiin syksyllä 2019 kurssille KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 osallistuneille opiskelijoille. Kurssille oli ilmoittautunut 58 opiskelijaa, joista 50 vastasi kyselyyn. Aineistosta jätettiin pois palautukset, joissa yhteenkään laskutehtävään ei ollut vastattu. Lopullinen aineiston koko oli näin ollen 47 vastausta ja vastausprosentti 81 %. Lopulliseen aineistoon mukaan otetut vastaukset koodattiin vastausten saapumisjärjestyksessä symbolein O1-O47.

12.3 Kyselytutkimus

Kurssiin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 liittyvä laajempi kyselytutkimus toteutettiin joulukuussa 2019. Kyselyyn vastasi 51 opiskelijaa. Vastaajista kaksi oli suorittanut kurssin vuonna 2012 tai aiemmin. Heidän vastuksensa jätettiin huomioimatta aineiston analysoinnissa, sillä vuodesta 2013 eteenpäin kurssilla on ollut sama vastuuopettaja. Tämän katsottiin tekevän vastauksista paremmin vertailukelpoisia. Lopulliseen aineistoon mukaan otetut vastaukset koodattiin vastausten saapumisjärjestyksessä symbolein V1-V49.

13 TUTKIMUSTULOKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI

13.1 Henkilökunnan haastattelut

Tutkielman kokeellinen osa aloitettiin haastattelemalla kolmea fysikaalisen kemian opetukseen osallistunutta henkilökunnan jäsentä. Haastattelututkimuksella selvitettiin henkilökunnan näkemyksiä fysikaalisen kemian kurssien haasteista sekä opiskelijoiden matemaattisista valmiuksista. Lisäksi haastatteluiden avulla selvitettiin, miten kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 on toteutettu ja kehitetty sekä millaisia muutoksia fysikaalisen kemian opintojaksoihin oli suunnitteilla opetussuunnitelmauudistuksen myötä.

13.1.1 Kurssin Fysikaalinen kemia 1 toteutus

Haastateltava 3 on toiminut kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 vastuuhenkilönä vuodesta 2013 eteenpäin. Hänen haastattelussaan (H3) keskityttiin kurssin toteutukseen ja kehittämiseen liittyviin teemoihin. Luvussa 13.1.1 esitetään haastattelun 3 tulokset liittyen kurssin KEMA224 toteutukseen.

Kurssilla KEMA224 käytetyt opetusmuodot pysyivät pääosin samoina vuosina 2013–2019 (taulukko 5). Kurssin ohjaustilaisuudet otettiin käyttöön vuonna 2014. Lisäksi muista vuosista poiketen ennakkotehtävät eivät olleet käytössä vuosina 2017 ja 2018. Kurssin opetus kesti kuusi viikkoa. Perinteistä opettajajohtoista luento-opetusta oli viikoittain kaksi kertaa. Heti viikon ensimmäisen luentokerran jälkeen opetus jatkui ohjaustilaisuudella (60 min). Ohjauksissa opiskelijat ratkoivat matemaattisia fysikaalisen kemian tehtäviä (1–2 tehtävää/viikko) pienryhmissä. Ohjauksissa oli paikalla kurssin vastuuhenkilö ja assistenttina fysikaalisen kemian tohtoriopiskelija, joilta sai tarvittaessa apua tehtäviin. Itsenäisesti suoritettavien harjoitustehtävien (5–6 tehtävää/viikko) ratkaisut käsiteltiin viikoittain harjoitustehtävien purkutilaisuudessa (90 min), jossa assistenttina toimi fysikaalisen kemian tohtoriopiskelija. Itsenäisesti suoritettavat ennakkotehtävät olivat kurssin verkko-oppimisympäristössä ja ne oli määrä suorittaa ennen luento-opetusta. Kurssin päättymisestä muutaman viikon kuluttua järjestettiin lopputentti. Lopputentin tehtävät olivat luonteeltaan kurssilla opittua tietoa soveltavia, matemaattisia tehtäviä.

Taulukko 5. Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 toteutus.

| Kurssin osa-alue | Kertoja / kurssi | Varattu aika / kerta | Max pisteet | Min pisteet |
|-----------------------------|------------------|------------------------|-------------|-------------|
| Ennakkotehtävät* | 12 | Itsenäinen työskentely | 3 | - |
| Luennot | 12 | 90 min | - | - |
| Ohjaukset** | 6 | 60 min | - | - |
| Harjoitustehtävät (5–6 kpl) | 6 | Itsenäinen työskentely | 12 | 6 |
| Harjoitustehtävien purku | 6 | 90 min | - | - |
| Loppuentti | 1 | 240 min | 24 | - |
| Koko kurssi | 6 vko | 108 h (4 op) | 30 | 18 |

*Eivät käytössä vuosina 2017 ja 2018, kertyneet pisteet bonuksina

**Käytössä vuodesta 2014 lähtien

Haastateltava 3 mainitsi, että kurssin ohjaustilaisuudet kestivät usein lukujärjestyksiin varattua 60 minuuttia pidempään. Ohjaukset järjestettiin yliopistolla avoimessa aulatilassa, joten tilavaraukset eivät rajoittaneet tilaisuuksien kestoa. Näin ollen opiskelijat jäivät usein ratkomaan tehtäviä pidemmäksi aikaa. Myös ohjaajat pyrkivät mahdollisuuksien mukaan olemaan käytettävissä myös varatun 60 minuutin jälkeen. Harjoitustehtävien purkutilaisuudet kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 kestivät haastateltavan 3 mukaan yleensä tilaisuuksille varattua 90 minuuttia lyhyemmän ajan. Purkutilaisuuksissa opiskelijat käsittelivät tehtävien ratkaisuja pienissä ryhmissä, assistentin auttaessa tarvittaessa. Haastateltava 3 koki, etteivät opiskelijat nähneet purkutilaisuuksia oppimistilanteina, vaan ratkaisut käsiteltiin vauhdilla, jotta paikalta päästiin poistumaan ajoissa.

Kurssin arvosana määräytyi harjoitustehtävistä (max 12 p.) ja loppuentistä (max 24 p.) kertyneiden pisteiden mukaisesti.³ Kurssin hyväksytyyn suoritukseen vaadittiin vähintään 18 pistettä siten, että harjoitustehtävistä tuli olla tehtynä vähintään puolet (6 p.). Näin ollen loppuentistä tuli saada vähintään 12 pistettä. Kurssin arvosanojen arviointiperusteet on esitetty taulukossa 6. Ennakkotehtävistä tienatuilla lisäpisteillä (max 3 p.) oli mahdollista korottaa kurssiarvosanaa.

Taulukko 6. Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arviointiperusteet vuonna 2019.³ Kurssin arvosana määräytyi harjoitustehtävien (max 12 p.) ja tentin (max 24 p.) perusteella, eli enimmäispistemäärä oli 30 pistettä. Ennakkotehtävistä oli mahdollisuus tienata lisäpisteitä (max 3 p.).

| Arvosana | Osuus pisteistä (%) |
|----------|---------------------|
| 1 | 50 |
| 2 | 60 |
| 3 | 70 |
| 4 | 80 |
| 5 | 90 |

Haastateltava 3 kertoi opiskelijoiden läpäisyprosentin kurssilla KEMA224 olleen vuosittain noin 80 %. Kurssin arvosanjakauma on voimakkaasti painottunut heikoimpaan arvosanaan (luku 13.3, kaavio 2). Tämän hän totesi olevan seurausta tukitoimista, joita kurssilla on tarjottu niille opiskelijoille, joiden pistemäärä kurssilla jäi muutaman pisteen päähän vähimmäisvaatimuksesta. Lisäksi tukitoimien piiriin pääsy edellytti vähintään kohtuullista työskentelyä kurssin aikana. Nämä opiskelijat saivat lopputentin jälkeen mahdollisuuden suorittaa aineistopohjaisen ryhmätentin. Vuosina 2018 ja 2019 ryhmätentin tehtävien tekemiseen annettiin aikaa kaksi päivää, jonka jälkeen vastaukset esitettiin yhteisessä purkutilaisuudessa. Aiempina vuosina vastaukset koostettiin yliopistolla yhden päivän aikana ja palautettiin kirjallisesti arvioitaviksi. Vuosittain noin puolet arvosanan yksi saaneista opiskelijoista oli suorittanut kurssin KEMA224 näiden tukitoimien avulla. Arvosanaan yksi vaadittiin puolet kurssin kokonaispistemäärästä (taulukko 6).

13.1.2 Opiskelijoiden matemaattiset valmiudet

Haastateltava 1 kertoi havainneensa kurssilla KEMA225 Fysikaalinen kemia 2 opiskelijoiden matemaattisten valmiuksien parantuneen vuosien 2013–2017 aikana ja kuvaili matemaattisia valmiuksia yllättävän hyväksi. Haastatteluissa (H3) kävi kuitenkin ilmi, etteivät kurssin esitietovaatimuksena olevat Jyväskylän yliopiston matematiikan laitoksen Calculus-kurssit täysin kata fysikaalisen kemian kursseilla tarvittavia matemaattisia taitoja (tarkempi tarkastelu luvussa 13.3.5). Vastaavasti myös aiemmissa tutkimuksissa on todettu, etteivät matematiikan laitoksen kurssit välttämättä tarjoa kemian opiskelijoille tarpeellisia matemaattisia taitoja.³⁷

Erityisesti osittaisderivaatta ja -integraali sekä usean muuttujan differentiaalilaskenta eivät kuulu Jyväskylän yliopiston matematiikan laitoksen kurssien Calculus 1 ja 2 sisältöihin.^{11,12}

Kurssin KEMA224 vastuuhenkilö (H3) koki, että kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 käsitellään etenkin derivaatta- ja integraalifunktioita siten, että jokainen opiskelija oppii kurssin suorittamiseen vaadittavat taidot. Toisaalta haastateltava 1 totesi havainneensa, että puutteet integraalin käsitteen ymmärtämisessä haastavat fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärrystä vielä kurssilla KEMA225 Fysikaalinen kemia 2. Myös kurssilta KEMA230 Fysikaalisen kemian työt kertyneen kokemuksen perusteella haastateltava 2 koki, että opiskelijat osaavat laskea matematiikkaa, mutta soveltaminen ja teoriaan yhdistäminen on puutteellista.

Haastatteluissa (H2 ja H3) kävi ilmi, että matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa oli kehitteillä etenkin kemian ja fysiikan opiskelijoiden tarpeisiin suunniteltu matematiikan verkkokurssi. Hankkeessa oli mukana matematiikan, tilastotieteen, kemian ja fysiikan laitosten edustajia.⁸⁹ Haastateltava 3 keräsi hankkeeseen kemian opiskelun kannalta olennaisia matemaattisia menetelmiä. Hankkeessa kerätty materiaali julkaistiin tammikuussa 2020 kaikille opiskelijoille avoimena verkkomateriaalina, jonka nimeksi tuli Matikkapakki.⁸⁹ Matikkapakissa käsitellään muun muassa derivaatan ja integraalin määritelmiä, laskusääntöjä sekä soveltamista.⁹⁰ Näin ollen opiskelijat saattavat hyötyä Matikkapakin materiaaleista myös fysikaalisen kemian matemaattisissa tehtävissä.

Haastateltava 3 mainitsi havainneensa ongelmia myös opiskelijoiden asenteessa kurssin matemaattisuuden suhteen. Hän koki, että kemian opiskelijoille kurssien matemaattisuus tulee yllätyksenä, vaikka he opiskelevat matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa. Luonnontieteen ilmiöiden ymmärrys vaatii useiden eri oppiaineiden osaamista, mutta tästä huolimatta edes yliopistotason opetuksessa oppiainerajat ylittävä tarkastelu ei vielä ole kovin yleistä.²⁶ Haastateltava 3 totesi fysikaalisen kemian kurssien olevan kemian opiskelijoille ensimmäisiä vahvasti matemaattiseen tarkasteluun pohjautuvia kemian kursseja. Hän mainitsi kurssin KEMA224 ilmiöiden ymmärtämisen vaativan ”matemaattista kielitaitoa”, joka ei tämän vaiheen opiskelijalle ole vielä entuudestaan kovin tuttua. Tämän vuoksi hän oletti, kuten kirjallisuudessa on esitetty^{28,37}, että etenkin matemaattisesti heikommilla opiskelijoilla ei välttämättä riitä voimavaroja varsinaisten ilmiöiden tarkasteluun. Myös haastateltava 1 totesi havainneensa kemiallisen ilmiön pohtimisen jäävän opiskelijoilla helposti tekemättä tehtävien matemaattisuuden vuoksi.

Fysikaalisen kemian ilmiöitä mallintavien matemaattisten laskutoimitusten suorittaminen on Bloomin taksonomian⁴⁷ mukaisesti kognitiivisesti yksinkertaisempi prosessi kuin yhtälöiden ymmärtäminen ja saatujen tulosten tulkitseminen. Matemaattisten työkalujen soveltaminen kemian kontekstissa näyttäisi edellyttävän syvempää matematiikan konseptuaalista ymmärrystä.^{22,46,82,85,87} Kuten edellä mainittiin, esitietovaatimuksina esitetyillä matematiikan kursseilla ei käsitellä kaikkia fysikaalisen kemian ilmiöiden tarkastelun kannalta olennaisia matemaattisia menetelmiä. Näiden menetelmien opettaminen kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 ei välttämättä takaa riittävää matemaattista ymmärrystä menetelmistä fysikaalisen kemian tehtävien tulosten kemiallista tulkintaa ja ilmiöiden ymmärrystä ajatellen. Tulkintaa tukee se, että haastatteluiden perusteella (H1 ja H2) opiskelijoilla on edelleen myöhemmillä fysikaalisen kemian kursseilla haasteita matematiikan taitojen soveltamisessa ja matemaattisten tulosten tulkinnassa kemian näkökulmasta.

Kirjallisuudessa on esitetty, että fysikaalisen kemian kursseilla matemaattisuuden aiheuttamaa kuormitusta voitaisiin vähentää painottamalla ilmiöiden kemiallista tarkastelua.²⁸ Opetusta suunniteltaessa tulisi pohtia, missä teemoissa ilmiön kemiallinen ymmärrys on matemaattista käsittelyä tärkeämpi tavoite ja lisätä näiden aiheiden matemaattinen tarkastelu opetukseen vasta ilmiön kemiallisen tarkastelun jälkeen. Näissä teemoissa myös arvioinnissa tulisi matemaattisen osaamisen sijasta painottaa ilmiön kemiallista ymmärrystä.³⁰

13.1.3 Fysikaalisen kemian kurssien kehitystyö

Haastateltava 3 koki kurssin KEMA224 sisällöt ja tiukan aikataulun ongelmallisiksi oppimisen kannalta. Hän totesi, että kurssilla käsiteltävät ilmiöt eivät ole maalaisjärjellä ymmärrettävissä, vaan vaativat syvällisempää pohdintaa. Monet kurssilla käsiteltävistä ilmiöistä on esitelty opiskelijoille jo kemian peruskursseilla, mutta kurssin KEMA224 tavoitteena olisi ymmärtää, mitä fysikaalisissa systeemeissä todella tapahtuu ja miten niitä voidaan matemaattisesti mallintaa. Haastateltava 3 totesi, että käsiteltävien aiheiden määrään nähden kurssin aikataulu on tiukka, eikä näin ollen mahdollista syventävää ja yksityiskohtaista aiheiden käsittelyä.

Vastaavasti myös aiemmissa tutkimuksissa fysikaalisen kemian kurssien aiheiden laajuuden ja abstraktin luonteen on todettu haastavan oppimista.^{23,28,30,48,77} Opetettavien aiheiden määrää tärkeämpi tekijä tulisi olla laatu, jolla aiheet käsitellään.^{28,46} Liian tiukka aikataulu johtaa väistämättä aiheiden pinnalliseen käsittelyyn ja heikentää oppimisen laatua, kuten

haastateltavakin totesi.⁴⁶ Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 kehityskohteeksi haastateltava 3 mainitsikin ydinteemojen terävöittämisen entisestään.

Fysikaalisen kemian opintojaksojen haastavuus on yleisesti tunnistettu Jyväskylän yliopiston kemian laitoksella. Haastateltava 2 totesi, että jo nimenä fysikaalisen kemian kurssit herättävät opiskelijoissa kauhua. Osittain tämän vuoksi opetussuunnitelmakaudelle 2020–2023 kurssien nimet tullaan muuttamaan siten, että termi ”fysikaalinen kemia” jää nimistä pois. Tässä uudistusvaiheessa kurssien sisältöjen suunniteltiin pysyvän ennallaan. Haastateltava 3 kertoi, että kurssin KEMA224 sisällöistä on jo aiemmin aikataulupaineiden vuoksi jätetty pois reaktiokinetiikan tarkastelu, joka haastateltavan 2 mukaan tullaan opetussuunnitelmakaudella 2020–2023 tarjoamaan omana kurssinaan.

Nimi uudistuksen ohella fysikaalisen kemian kurssien järjestystä sekä aikataulutusta suunniteltiin haastateltavan 2 mukaan muutettavaksi opetussuunnitelmakaudelle 2020–2023 (taulukko 7). Kvanttikemiaa käsittelevän kurssin, KEMA225 Fysikaalinen kemia 2, suunniteltiin aikaistuvan vuodella. Kurssia on opetussuunnitelmakaudella 2017–2020 suositeltu suoritettavaksi opintojen kolmannen vuoden toisessa periodissa, mutta suunnitelmana oli siirtää se opintojen toisen vuoden ensimmäiseen periodiin. Termodynamiikkaa käsittelevän kurssin, KEMA224 Fysikaalinen kemia 1, aikataulutuksen suunniteltiin pysyvän ennallaan, eli sen suorittamista suositeltaisiin opintojen kolmannen vuoden ensimmäisessä periodissa. Myös fysikaalisen kemian laborioryökurssi KEMA230 suunniteltiin jaettavaksi kahteen erilliseen osaan opintojen toisen ja kolmannen vuoden toiseen periodiin, teoriakurssien sisältöjä vastaten. Haastateltava 2 mainitsi työryhmän pohtivan mahdollisia hyötyjä ja haittoja kvanttikemian siirtämisessä ensimmäiseksi fysikaalisen kemian kurssiksi. Fysikaalisen kemian opetussuunnitelman uudistustyössä konsultoitii myös Helsingin yliopistossa fysikaalisen kemian opetusta uudistanutta Lauri Partasta.

Taulukko 7. Fysikaalisen kemian kurssien aikataulutus kemian pääaineopinnoissa opetussuunnitelmakaudella 2017–2020 ja suunniteltu aikataulutuksen muuttuminen opetussuunnitelmakaudeksi 2020–2023. Kurssikoodit opetussuunnitelman 2017–2020 mukaisesti: KEMA224 Fysikaalinen kemia 1, KEMA225 Fysikaalinen kemia 2, KEMA230 Fysikaalisen kemian työt. Suunnitelmassa kurssi KEMA230 toteutus jakautuu kahdeksi, teoriakurssien sisältöjä mukailevaksi kokonaisuudeksi KEMA230A ja KEMA230B.

| Ajoitus | OPS 2017–2020 | | OPS 2020–2023 | |
|------------|---------------|---------|---------------|----------|
| | 3. vuosi | | 2. vuosi | 3. vuosi |
| 1. periodi | KEMA224 | | KEMA225 | KEMA224 |
| 2. periodi | KEMA225 | | KEMA230A | KEMA230B |
| 3. periodi | | KEMA230 | - | - |

Oppimista parhaiten tukevaa järjestystä fysikaalisen kemian sisältöjen opettamiselle on pohdittu myös aiemmissa tutkimuksissa.^{23,48,77} Mitään yksiselitteisesti parasta järjestystä aiheille ei kuitenkaan ole löydetty, sillä oppimisen kannalta kurssien sisällöissä on omat etunsa sekä haasteensa järjestyksestä riippumatta.^{26,32,48,77} Sisältöjen järjestystä tärkeämpänä tekijänä pidetään opeteltavien sisältöjen valikoimista aiheiden ajankohtaisuuden ja käyttökelpoisuuden näkökulmasta.^{23,34} Kokemus opiskeltavan aiheen tarpeellisuudesta lisää opiskelijan motivaatiota⁴⁶, lisää opiskelijoiden sitoutumista opiskeluprosessiin^{45,46} ja näin ollen parantaa oppimistuloksia^{48,54}.

Kauden 2020–2023 opetussuunnitelma vahvistettiin tutkielman valmistumiseen mennessä. Fysikaalisen kemian aineopinnot kurssien aikataulutuksessa päädyttiin noudattamaan suunnitelmaa, josta haastateltava 2 kertoi (taulukko 7). Näin ollen kvanttimekaniikkaa käsitelleen kurssin KEMA225 Fysikaalinen kemia 2 sisällöt siirtyivät käsiteltäväksi opintojen 2. vuoden ensimmäisessä periodissa kurssilla KEMA2250 Atomien ja molekyylien rakenne (4 op). Termodynamiikkaa käsitelleen kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 aikataulutus pysyi ennallaan, opintojen 3. vuoden ensimmäisessä periodissa. Kurssin uudeksi nimeksi päätettiin KEMA2240 Termodynamiikka ja kemiallinen tasapaino (4 op). Laboratoriokurssi KEMA230 Fysikaalisen kemian työt jakautui alustavan suunnitelman mukaisesti (taulukko 7) kahteen erilliseen kurssiin KEMA2350 Fysikaalisen kemian työt A (2 op) ja KEMA2340 Fysikaalisen kemian työt B (2 op) teoriakurssien sisältöjä vastaten.

13.2 Esitietokysely

Esitietokysely järjestettiin syksyn 2019 kurssille KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 osallistuneille opiskelijoille. Esitietokyselyyn vastanneista opiskelijoista 66 % (31/47) oli kemian pääaineopiskelijoita, 15 % (7/47) matematiikan pääaineopiskelijoita ja 13 % (6/47) biologian pääaineopiskelijoita (taulukko 8).

Esitietokyselyssä selvitettiin kurssille KEMA224 osallistuneiden opiskelijoiden matemaattisia esitietoja. Suomessa toisen asteen matematiikan opintojen laajuuden valinnaisuutta on pidetty yhtenä matemaattisten taitojen hajontaa lisäävänä tekijänä kemian pääaineopiskelijoilla yliopistossa.⁷⁶ Tässä aineistossa opiskelijoiden toisen asteen matematiikan opintojen laajuus ei kuitenkaan ole merkittävä tekijä, sillä lyhyen matematiikan suorittaneiden opiskelijoiden osuus oli hyvin pieni (4/47, 9 %).

Taulukko 8. Esitietokyselyyn vastanneiden opiskelijoiden taustatietoja

| Pääaine | n | % | Matematiikan opintojen laajuus toisen asteen opinnoissa | | | |
|-----------------|-----------|------------|---|-----------|----------|----------|
| | | | Pitkä | | Lyhyt | |
| | | | n | % | n | % |
| Kemia | 31 | 66 | 30 | 97 | 1 | 3 |
| Fysiikka | 1 | 2 | 1 | 100 | - | - |
| Biologia | 6 | 13 | 5 | 83 | 1 | 17 |
| Matematiikka | 7 | 15 | 7 | 100 | - | - |
| Muu | 2 | 4 | - | - | 2 | 100 |
| Yhteensä | 47 | 100 | 43 | 91 | 4 | 9 |

13.2.1 Opiskelijoiden kokemukset matemaattisista taidoistaan

Esitietokyselyssä opiskelijoita pyydettiin arvioimaan omia matemaattisia taitojaan. Arviointi suoritettiin sekä omin sanoin taitoja kuvaamalla että valitsemalla annetuista väitteistä omia taitoja parhaiten kuvaavat väitteet. Avoimeen kysymykseen vastasi 43 (43/47, 91 %) opiskelijaa. Vastaukset teemoitettiin ja analysoitiin aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä. Opiskelijoiden kuvausten perusteella matemaattinen taitotaso jaettiin kolmeen luokkaan: hyvä, keskinkertainen ja heikko (taulukko 9).

Taulukko 9. Opiskelijoiden matemaattinen taitotaso avoimeen kysymykseen annettujen kuvauksien perusteella.

| Matemaattinen taitotaso | n | % |
|-------------------------|-----------|------------|
| Hyvä | 26 | 60 |
| Keskinkertainen | 8 | 19 |
| Heikko | 9 | 21 |
| Yhteensä | 43 | 100 |

Avoimeen kysymykseen vastanneista opiskelijoista (43/47) valtaosa (26/43, 60 %) kuvaili matemaattisia taitojaan hyväksi (taulukko 9). Hyvien taitojen kategoriaan luokiteltiin peruslaskutaidot hallitsevat sekä vahvoiksi taitonsa kuvanneet opiskelijat (4/26, 15 %). Peruslaskutaidot hallitseviksi luokiteltiin myös sellaiset vastaukset, joissa opiskelijat kokivat menestyvänsä matematiikassa hyvin, mutta kertoivat tarvitsevansa apua haastavampiin tehtäviin:

O42: ”Matemaattiset taidot ok, olen pärjännyt matematiikan kursseilla ihan hyvin tähän mennessä. Vaikeissa tehtävissä täytyy monesti pyytää apua/tukea.”

Kaikista kysymykseen vastanneista opiskelijoista 42 % (18/43) koki, ettei ollut tarvinnut matemaattisia taitoja pitkään aikaan, joten ne olivat päässeet ”ruostumaan”. Osa oli osallistunut matematiikan opetukseen edellisen kerran lukiassa, mutta myös yliopistotason matematiikan opinnoista oli monilla opiskelijoilla aikaa useampi vuosi. Muutamat opiskelijat mainitsivat lisäksi kesäloman heikentäneen laskurutiinia, minkä vuoksi kokivat tarvitsevansa kertausta. Myös taitonsa hyväksi kuvaavien ryhmässä 11 opiskelijaa (11/26, 42 %) kertoi taitojen palauttamisen vaativan jonkin verran kertaamista:

O13: ”Minulla on mielestäni hyvät matematiikan taidot joskin vähän ruosteessa.”

O27: ”Jotkin asiat voivat olla hieman ruosteessa vähäisen käytön jäljiltä, mutta pienellä kertauksella tulevat takaisin.”

Matemaattiset taitonsa huonoksi kokevien opiskelijoiden joukko oli myös melko suuri (9/43, 21 %). Tässä ryhmässä opiskelijat kuitenkin usein (4/9) kuvasivat, taitojen heikkouden johtuvan pitkästä tauosta laskemisesta. Nämä opiskelijat olivat kuitenkin itse kirjoittaneet taitojensa olevan heikot, joten heidän vastauksensa luokiteltiin heikkojen ryhmään. Osa

opiskelijoista kuvasi selkeästi, etteivät olleet aiemminkaan kokeneet taitojaan hyväksi, mutta nyt olivat vielä lisäksi unohtaneet paljon:

O21: ”Matemaattiset taitoni ovat tällä hetkellä melko heikot ja kertauksen tarpeessa. Minulla on pitkä aika, kun olen viimeksi lukenut matematiikkaa lukiassa, ennen Calculus 1 & 2 kursseja, ja nekin olivat minulle todella hankalat kurssit.”

Avoimen kysymyksen lisäksi opiskelijoita pyydettiin valitsemaan annetuista yhdeksästä väitteestä (taulukko 10) kolme parhaiten omaa matemaattista osaamista kuvaavaa väitettä. Taulukossa 10 opiskelijoiden valitsemat väitteet on esitetty ristiintaulukoimalla väitteiden välisten suhteiden kartoittamiseksi. Noin puolet opiskelijoista (23/47, 49 %) vastasi kokevansa pärjäävänsä kohtalaisesti matemaattisissa tehtävissä (taulukko 10). Sanalliset matemaattiset tehtävät haastaviksi koki hieman yli puolet (26/47, 55 %) kyselyyn vastanneista opiskelijoista. Suuri osa opiskelijoista (35/47, 74 %) vastasi kokevansa matematiikan oppimisen vaativan paljon työtä.

Taulukko 10. Opiskelijoiden kokemukset omista matemaattisista taidoistaan. Opiskelijoita pyydettiin valitsemaan annetuista väitteistä (1–9) kolme parhaiten omaa matemaattista osaamistaan kuvaavaa. Opiskelijoiden vastaukset on esitetty ristiintaulukoituna väitteiden välisten suhteiden selvittämiseksi.

| Väite | Väite | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1. Pärjään hyvin matemaattisissa tehtävissä. | 16 | | | | | | | | |
| 2. Pärjään kohtalaisesti matemaattisissa tehtävissä. | - | 23 | | | | | | | |
| 3. Pärjään huonosti matemaattisissa tehtävissä. | - | 1 | 9 | | | | | | |
| 4. Koen sanalliset matemaattiset tehtävät helpoiksi. | 11 | 5 | - | 16 | | | | | |
| 5. Koen sanalliset matemaattiset tehtävät haastaviksi. | 5 | 14 | 7 | - | 26 | | | | |
| 6. Matematiikan oppiminen ei vaadi minulta suurta työpanosta. | 7 | 3 | - | 8 | 2 | 10 | | | |
| 7. Matematiikan oppiminen vaatii minulta paljon työtä | 9 | 18 | 9 | 8 | 22 | - | 35 | | |
| 8. En koe oppivani matematiikkaa, vaikka teen sen eteen paljon töitä. | - | 2 | 1 | - | 2 | - | 1 | 3 | |
| 9. En koe oppivani matematiikkaa, enkä jaksa tehdä sen eteen juurikaan töitä. | - | 2 | - | - | 1 | - | 2 | - | 2 |

Tutkimuksissa on osoitettu, että kemian opiskelijoiden luotto omiin matemaattisiin taitoihinsa on heikkoa.⁸³ Esitietokyselyyn vastanneista opiskelijoista 34 % (16/47) vastasi pärjäävänsä hyvin matemaattisissa tehtävissä. Näistä opiskelijoista suurin osa (11/16, 69 %) koki myös sanalliset tehtävät helpoiksi. Aineistossa on kuitenkin kemian opiskelijoiden lisäksi myös muiden pääaineiden opiskelijoita. Kemian pääaineopiskelijoista vain kahdeksan (8/31, 26 %) koki pärjäävänsä hyvin matemaattisissa tehtävissä. Joka viides (6/31, 19 %) kemian pääaineopiskelija koki pärjäävänsä matemaattisissa tehtävissä huonosti.

Sanallisten tehtävien ratkaisutaidon on havaittu olevan yhteydessä fysikaalisen kemian kurssilla menestymiseen.²⁷ Aiemmissa tutkimuksissa on käynyt ilmi, että fysikaalisen kemian sanalliset, ongelmanratkaisua vaativat tehtävät ovat opiskelijoille haastavia.²⁶ Myös tämän tutkimuksen tulosten perusteella useat opiskelijat (26/47, 55 %) kokevat sanalliset tehtävät haastaviksi (taulukko 10). Myös matemaattisissa tehtävissä mielestään hyvin pärjäävistä opiskelijoista (16/47, 34 %) lähes kolmannes (5/16, 31 %) koki sanalliset tehtävät haastaviksi. Vain kemian pääaineopiskelijoiden (31/47) vastauksia tarkasteltaessa havaittiin, että heistä suurin osa (20/31, 65 %) koki sanalliset tehtävät haastaviksi. Opiskelijat, jotka kokivat matematiikan oppimisen vaativan paljon työtä (35/47, 74 %) vastasivat kokevansa sanalliset tehtävät haastaviksi (22/35, 63 %) huomattavasti useammin kuin matematiikkaa helpommin omaksuvat oppivat opiskelijat (2/10, 20 %) (taulukko 10).

Valittujen väittämien perusteella muodostuneet tulokset (taulukko 10) eroavat yllättävän paljon taulukossa 9 esitetyistä avointen vastausten perusteella muodostuneista tuloksista. Avomissa vastauksissa vain kahdeksan (8/43, 17 %) opiskelijaa kuvasi matemaattisia taitojaan kohtalaisiksi, mutta kuitenkin väittämän: ”Pärjään kohtalaisesti matemaattisissa tehtävissä” valitsi jopa 23 (23/47, 49 %) opiskelijaa. Ero vastauksissa selittyy osittain avointen vastausten analysoinnissa tehdystä luokittelusta. Harva opiskelija kuvasi avoimessa kentässä taitojaan yksityiskohtaisesti, mikä vaikeutti vastausten luokittelua. Esimerkiksi taitojaan sanoilla ”*ihan ok*” kuvanneet opiskelijat (3/43) luokiteltiin taitotasoon hyvä, mutta valittujen väittämien perusteella nämä opiskelijat kokivat pärjäävänsä matemaattisissa tehtävissä kohtuullisesti. Matemaattisten taitojensa luokittelu tai kuvaaminen saattoi olla myös opiskelijoille jossain määrin haastavaa. Esimerkiksi eräs vaihtoehdon: ”Pärjään kohtalaisesti matemaattisissa tehtävissä” valinnut opiskelija kuvasi taitojaan näin:

O35: ”Mielestäni olen hyvä matematiikassa. En kuitenkaan ole huippu eli monimutkaiset yhtälöt pelästyttävät. Ymmärrän matematiikkaa, mutta se on raskasta luettavaa.”

13.2.2 Suoritetut yliopistotason matematiikan opinnot

Toisen asteen matematiikan opintojen laajuuden lisäksi esitietokyselyssä selvitettiin opiskelijoiden ennen kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suorittamia yliopistotason matematiikan kursseja (taulukko 11). Kurssin KEMA224 matemaattisina esitietokursseina vuonna 2019 olivat kurssit MATP211 Calculus 1 ja MATP212 Calculus 2 tai näitä vastaavat tiedot.³ Nämä matematiikan laitoksen kurssit kuuluivat pakollisena kemian ja fysiikan kandidaattitutkintoihin opetussuunnitelmakaudella 2017–2020.⁴¹ Opiskelija saattoi korvata nämä kurssit muilla perusopintotason kursseilla suorittaessaan matematiikan perusopintokokonaisuutta (25 op) tai aineopintokokonaisuutta (60 op). Biologian ja matematiikan kandidaattitutkintojen opetussuunnitelmissa matematiikan kurssit MATP211 ja MATP212 olivat vapaavalintaisia.

Esitietokyselyyn vastanneista opiskelijoista 72 % (34/47) oli suorittanut molemmat kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 matemaattisista esitietokursseista, MATP211 ja MATP212, ennen kurssin alkua (taulukko 11). Kemian pääaineopiskelijoista 84 % (26/31) oli suorittanut molemmat matemaattiset esitietokurssit. Matematiikan pääaineopiskelijat olivat suorittaneet muiden pääaineiden opiskelijoita enemmän aineopintotason matematiikan kursseja (MATA-alkuiset kurssikoodit) ennen kurssia KEMA224 (taulukko 11). Kyselyyn valitut aineopintotason matematiikan kurssit olivat sisällöltään fysikaalisen kemian kurssien suorittamista tukevia.

Taulukko 11. Opiskelijoiden suorittamat matematiikan kurssit ennen KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 opintojaksoa. Matematiikan kurssikoodien selitykset: MATY010 Matematiikan propedeuttinen kurssi, MATP121 Lineaarinen algebra ja geometria, MATP211 Calculus 1, MATP212 Calculus 2, MATP213 Calculus 3, MATA114 Differentiaaliyhtälöt, MATA181 Vektoricalculus 1, MATA182 Vektoricalculus 2, FYSP111 Derivointi ja integrointi, FYSP112 Vektorit ja kompleksiluvut, FYSP113 Differentiaaliyhtälöt. Kurssikoodien selitykset ja lyhyet kurssikuvaukset löytyvät työssä käytettyjen lyhenteiden luettelosta, alkaen sivulta vii.

| Matematiikan kurssi | Opiskelijoiden vastaukset pääaineittain | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|----|------------------|-----|------------------|----|----------------------|-----|-------------|----|-------------------|----|
| | Kemia (n = 31) | | Fysiikka (n = 1) | | Biologia (n = 6) | | Matematiikka (n = 7) | | Muu (n = 2) | | Yhteensä (n = 47) | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % |
| MATY010 | 17 | 55 | - | - | 2 | 33 | 3 | 43 | 1 | 50 | 23 | 49 |
| MATP121 | 8 | 26 | 1 | 100 | 1 | 17 | 7 | 100 | - | - | 17 | 36 |
| MATP211* | 28 | 90 | 1 | 100 | 4 | 67 | 5 | 71 | - | - | 38 | 81 |
| MATP212* | 26 | 84 | 1 | 100 | 2 | 33 | 5 | 71 | - | - | 34 | 72 |
| MATP213 | 10 | 32 | 1 | 100 | 1 | 17 | 6 | 86 | - | - | 18 | 38 |
| MATA114 | - | - | 1 | 100 | 1 | 17 | 7 | 100 | - | - | 9 | 19 |
| MATA181 | - | - | 1 | 100 | - | - | 6 | 86 | - | - | 7 | 15 |
| MATA182 | - | - | 1 | 100 | - | - | 5 | 71 | - | - | 6 | 13 |
| FYSP111** | - | - | 1 | 100 | - | - | 1 | 14 | - | - | 2 | 4 |
| FYSP112 | - | - | 1 | 100 | - | - | 1 | 14 | - | - | 2 | 4 |
| FYSP113** | - | - | 1 | 100 | - | - | - | - | - | - | 1 | 2 |
| Ei mitään näistä | - | - | - | - | 1 | 17 | - | - | 1 | 50 | 2 | 4 |

* KEMA224:n esitietovaatimuksena vuodesta 2017 alkaen

** KEMA224:n esitietovaatimuksena vuosina 2014–2016

Kurssilla MATP211 Calculus 1 kerrataan ja syvennetään lukion pitkän matematiikan sisältöjä.¹¹ Fysikaalisen kemian kannalta olennaisia sisältöjä kurssilla MATP211 ovat etenkin derivaatta sekä joukkojen graafinen hahmottaminen. Kurssilla MATP212 Calculus 2 yhden muuttujan differentiaalilaskentaan perehdytään huomattavasti kurssia MATP211 laajemmin. Fysikaalisen kemian kurssien kannalta olennaisia sisältöjä kurssilla MATP212 ovat derivaatan sovellukset, Riemannin integraali ja integraalin sovellukset.¹² Näin ollen olisi tärkeää, että opiskelijat suorittaisivat molemmat matemaattiset esitietokurssit ennen kurssin KEMA224 alkua.

Derivaatta ja integraali ovat keskeisiä fysikaalisessa kemian matemaattisia menetelmiä, joten niiden ymmärtäminen on olennaista fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärtämiseksi.³⁵ Yhden muuttujan reaali-funktioiden differentiaalilaskentaan keskitytään vielä laajemmin kurssilla MATP213 Calculus 3, jonka keskeisinä sisältöinä ovat erilaiset integrointitekniikat sekä osittaisintegrointi. Esitietokyselyyn vastanneista opiskelijoista 38 % (18/47) oli suorittanut kurssin MATP213 ennen kurssia KEMA224. Näistä opiskelijoista noin puolet (10/18, 56 %) oli kemian pääaineopiskelijoita. Kurssi MATP213 oli kemian kandidaattitutkinnossa vapaavalintaisena kurssina opetussuunnitelmakaudella 2017–2020.⁴³ Esitietokyselyyn vastanneista kemian pääaineopiskelijoista kolmannes (10/31, 32 %) oli suorittanut kurssin MATP213.

Henkilökunnan haastattelussa (H3) havaittiin, että erityisesti fysikaalisen kemian ilmiöiden kannalta olennainen useamman muuttujan differentiaalilaskenta ei kuulu matematiikan perusopintotason kurssien sisältöihin. Haastateltavan 3 mukaan kurssilla KEMA224 tarvittavia usean muuttujan differentiaalilaskennan menetelmiä käsitellään matematiikan laitoksen aineopintotason kursseilla MATA181 Vektoricalculus 1⁹ ja MATA182 Vektoricalculus 2¹⁰. Näiden kurssien esitietovaatimuksina mainittiin perusopintotason matematiikan kurssit MATP211 Calculus 1 ja MATP212 Calculus 2.^{9,10} Esitietokyselyyn vastanneista opiskelijoista seitsemän (7/47, 15 %) oli suorittanut kurssin MATA181 ja kuusi (6/47, 13 %) kurssin MATA182 (taulukko 11). Kurssit suorittaneet opiskelijat olivat matematiikan ja fysiikan pääaineopiskelijoita.

Myös kirjallisuudessa on esitetty, etteivät matematiikan laitoksen kurssit tarjoa kemian opiskelijoille riittäviä matemaattisia valmiuksia.³⁷ Jyväskylän yliopiston matematiikan laitoksella olisi tarjolla kursseja, joilla käsitellään fysikaalisen kemian opiskelun kannalta olennaisia matemaattisia menetelmiä, etenkin MATA181 ja MATA182. Nämä kurssit olivat kuitenkin kemian opiskelijoille vapaavalintaisia aineopintotason kursseja, eivätkä opiskelijat tulosten perusteella olleet suorittaneet niitä ennen fysikaalisen kemian opintojaan. Ennen aineopintotason matematiikan kurssien suorittamista, kemian opiskelijoiden tulisi suorittaa tutkintoon kuuluvat matematiikan perusopintotason kurssit. Kaikki kemian pääaineopiskelijat eivät olleet suorittaneet edes perusopintotason kursseja MATP211 ja MATP212 ennen kurssin KEMA224 alkamista (taulukko 11).

13.2.3 Suoritetut yliopistotason fysiikan opinnot

Fysikaaliseen kemiaan yhdistyy tiiviisti matematiikan lisäksi myös fysiikka.^{26,38} Fysiikassa hyvin menestyvien opiskelijoiden on havaittu menestyvän hyvin myös fysikaalisen kemian kursseilla.²⁹ Esitietokyselyssä selvitettiin opiskelijoiden yliopistotason fysiikan opintojen laajuutta ennen kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1. Opiskelijat valitsivat suorittamansa fysiikan kurssit annetusta kurssien luettelosta, joka sisälsi lähinnä fysiikan perusopintotason kursseja (FYSP-alkuiset kurssikoodit). Listaan mukaan valittu aineopintotason kurssi FYSA2001 Moderni fysiikka, A-osa (5–6 op) tukee sisällöltään kurssin KEMA225 Fysikaalinen kemia 2 suorittamista. Kurssi FYSA1130 Fysiikan numeeriset menetelmät (4 op) tukee opiskelijoiden matemaattisten taitojen kehittymistä.

Esitietokyselyyn vastanneista opiskelijoista noin puolet (24/47, 51 %) oli suorittanut vähintään yhden fysiikan kurssin ennen kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (taulukko 12). Biologian pääaineopiskelijoista suurin osa (5/6, 83 %) ei ollut suorittanut yhtään listassa mainittua fysiikan kurssia. Kemian, matematiikan ja biologian kandidaatin tutkintoihin ei kuulu pakollisena osana yhtään fysiikan kurssia.⁴¹ Näiden pääaineiden opiskelijoilla suoritetut fysiikan kurssit kuuluvat todennäköisesti sivuainekokonaisuuteen.

Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 sisällöt liittyvät tiiviisti termodynamiikkaan, joten etenkin kurssin FYSP1020 Värähtelyt ja termodynamiikka (5 op) suorittaminen oletettavasti tukee myös kurssin KEMA224 suorittamista. Kurssilla FYSP1020 käsitellään esimerkiksi termodynamiikan pääsäännöt sekä ideaalikaasun tilanyhtälö, jotka ovat kurssin KEMA224 keskeisiä sisältöjä.^{3,15} Esitietokyselyyn vastanneista opiskelijoista 38 % (18/47) oli suorittanut kurssin FYSP1020 (taulukko 12). Kemian pääaineopiskelijoista kurssin FYSP102 oli suorittanut 45 % (14/31).

Taulukko 12. Opiskelijoiden suorittamat fysiikan kurssit ennen KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 opintojaksoa. Fysiikan kurssikoodien selitykset: FYSP1010 Mekaniikan perusteet, FYSP1020 Värähtelyt ja termodynamiikka, FYSP1040 Sähköopin perusteet, FYSP1050 Sähkömagnetismin perusteet, FYSA2001 Moderni fysiikka, osa A, FYSA1130 Fysiikan numeeriset menetelmät. Kurssikoodien selitykset ja lyhyet kurssikuvaukset löytyvät työssä käytettyjen lyhenteiden luettelosta, alkaen sivulta viii.

| Fysiikan kurssi | Opiskelijoiden vastaukset pääaineittain | | | | | | | | | | Yhteensä (n = 47) | |
|-------------------------|---|-----------|---------------------|------------|---------------------|-----------|-------------------------|-----------|----------------|------------|----------------------|-----------|
| | Kemia (n = 31) | | Fysiikka (n = 1) | | Biologia (n = 6) | | Matematiikka (n = 7) | | Muu (n = 2) | | | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % |
| FYSP1010 | 15 | 48 | 1 | 100 | 1 | 17 | 4 | 57 | - | - | 21 | 45 |
| FYSP1020 | 14 | 45 | 1 | 100 | - | - | 3 | 43 | - | - | 18 | 38 |
| FYSP1040 | 12 | 39 | 1 | 100 | - | - | 3 | 43 | - | - | 16 | 34 |
| FYSP1050 | 11 | 35 | 1 | 100 | - | - | 3 | 43 | - | - | 15 | 32 |
| FYSA2001 | 2 | 6 | 1 | 100 | - | - | 3 | 43 | - | - | 6 | 13 |
| FYSA1130 | - | - | 1 | 100 | - | - | - | - | - | - | 1 | 2 |
| Ei mitään näistä | 13 | 42 | - | - | 5 | 83 | 3 | 43 | 2 | 100 | 23 | 49 |

13.2.4 Matemaattiset tehtävät

Opiskelijoiden matemaattisia esitietoja kartoitettiin fysikaalisen kemian kannalta olennaisia matemaattisia menetelmien hallintaa mittaavilla tehtävillä (liite 3). Tehtävät sisälsivät yhtälönratkaisua, logaritmi- ja eksponenttifunktioita, summa- ja tulotermejä, graafista tulkintaa sekä derivointia ja integrointia. Osa tehtävistä sisälsi yksinkertaisia matematiikan merkinnöin toteutettuja yhtälöitä (esim. tehtävä 1) ja osassa oli käytetty fysikaalisen kemian merkintätapoja ja sovelluksia (esim. tehtävä 2). Opiskelijoiden tuli ratkaista tehtävät ilman ulkopuolisia apukeinoja. Laskimen käyttö tehtävissä oli sallittua. Opiskelijat arvioivat tehtävissä suoriutumistaan taulukossa 13 esitettyjen väitteiden avulla. Tehtävät arvioitiin kokonaisuutena, vaikka ne sisälsivät useampia alakohtia. Lisäksi opiskelijoita pyydettiin omin sanoin kuvaamaan, mikä kussakin tehtävässä oli haastavaa.

Moodlen tenttipohjassa taulukoiden 14, 15 ja 16 väitteet olivat yhtenä tehtävänä, jonka tehtävänannossa ohjeistettiin valitsemaan enintään kolme tehtävän suoritusta parhaiten kuvaavaa väitettä (taulukko 4). Opiskelijoiden avoimista vastauksista kävi ilmi, että muutamat

opiskelijat olivat arvioineet erikseen tehtävän alakohtia valiten useita taulukon 14 väitteistä. Tämä selittää taulukossa 14 havaittavat yhteenlasketut vastaajamäärät, jotka ylittävät esitietokyselyn vastaajamäärän (47) lähes kaikkien tehtävien osalta. Esimerkiksi opiskelija O44 oli tehtävän 1 itsearvioinnissa valinnut vaihtoehdot ”sain tehtävät lähes valmiiksi” ja ”sain ratkaisut oikein” selventäen valintaansa avoimessa vastauksessa:

O44: ” b tehtävä oli hankalampi, en saanut oikeaa vastausta. En muista kunnolla, miten ratkaista yhtälö, jossa muuttuja on jakoviivan alapuolella”

Itsearviointien perusteella opiskelijat eivät menestyneet tehtävien ratkaisussa kovin hyvin. Yksikään opiskelija ei saanut kaikkia viittä tehtävää oikein (taulukko 13). Oikeiden ratkaisujen määrään saattaa osittain vaikuttaa kyselyn toteutus Moodle-tenttinä, sillä tenttipohja hyväksyi oikeaksi vastaukseksi ainoastaan malliratkaisun kanssa samassa muodossa esitetyn vastauksen. Kuitenkin jopa 38 % (18/47) opiskelijoista vastasi vähintään kahden tehtävän kohdalla, ettei ollut päässyt alkuunkaan (taulukko 13). Opiskelijoissa oli myös muutamia (6/47, 13 %), joille lähes kaikki tehtävät olivat osoittautuneet ylitsepääsemättömän haastaviksi.

Taulukko 13. Opiskelijoiden suoriutuminen esitietokyselyn matemaattisissa tehtävissä. Taulukossa kuvataan, monenko tehtävän kohdalla yksittäinen opiskelija on valinnut tietyn itsearviointiväittämän. Prosenttiosuuksia laskettaessa vastaajien kokonaismääränä on käytetty esitietokyselyyn vastanneiden opiskelijoiden määrää (n = 47)

| Väite | Kuinka monta kertaa opiskelija on valinnut väitteen | | | | | | | | | |
|--|---|----|----|----|---|----|---|---|---|---|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % |
| En osannut tehtäviä alkuunkaan. | 11 | 23 | 10 | 21 | 2 | 4 | 4 | 9 | 2 | 4 |
| Pääsin tehtävissä alkuun. | 12 | 26 | 8 | 17 | 8 | 17 | 1 | 2 | - | - |
| Sain tehtävät lähes valmiiksi. | 15 | 32 | 9 | 19 | 9 | 19 | 1 | 2 | - | - |
| Sain tehtävät ratkaistua, mutta ratkaisussani oli virhe. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sain ratkaisut oikein. | 13 | 28 | 4 | 9 | 4 | 9 | 2 | 4 | - | - |

Parhaiten oli osattu ratkaista tehtävä 1, jonka 43 % (20/47) opiskelijoista oli saanut oikein (taulukko 14). Tehtävän 4 oli osannut ratkaista 28 % (13/47) opiskelijoista. Muihin tehtäviin oikean vastauksen oli saanut enintään seitsemän opiskelijaa (7/47, 15 %). Vaikeimmaksi

tehtäväksi osoittautui tehtävä 3, jonka ratkaisemisessa 45 % (21/47) opiskelijoista ei ollut päässyt alkuunkaan. Myös tehtävä 5 oli huomattavan haastava, sillä 40 % (19/47) opiskelijoista vastasi, ettei ollut päässyt tehtävässä alkuunkaan.

Taulukko 14. Opiskelijoiden itsearvioinnit esitetokyselyn matemaattisiin tehtäviin. Kyselyn teknisen toteutuksen vuoksi opiskelija on voinut valita enintään kolme suoritustaan kuvaavaa väitettä. Prosenttisarakeissa vastaajien kokonaismääränä on käytetty esitetokyselyyn vastanneiden opiskelijoiden määrää (n = 47)

| Väite | Tehtävä 1 | | Tehtävä 2 | | Tehtävä 3 | | Tehtävä 4 | | Tehtävä 5 | |
|---|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|----|-----------|-----|
| | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 1. En osannut tehtäviä alkuunkaan. | 4 | 9 | 12 | 26 | 21 | 45 | 7 | 15 | 19 | 40 |
| 2. Pääsin tehtävissä alkuun. | 7 | 15 | 13 | 28 | 9 | 19 | 18 | 38 | 14 | 30 |
| 3. Sain tehtävät lähes valmiiksi. | 19 | 40 | 16 | 34 | 12 | 26 | 7 | 15 | 10 | 21 |
| 4. Sain tehtävät ratkaistua, mutta ratkaisussani oli virhe. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 5. Sain ratkaisut oikein. | 20 | 43 | 7 | 15 | 7 | 15 | 13 | 28 | 6 | 13 |
| Yhteensä | 50 | 106 | 48 | 102 | 49 | 104 | 45 | 96 | 49 | 104 |

Tehtävän 1 ratkaiseminen vaati yksinkertaista yhtälönratkaisua ja lisäksi tehtävän a-kohdassa tarvittiin logaritmin laskusääntöjä (liite 3). Opiskelijoista 81 % (38/47) vastasi, että tehtävän 1 kaltaisia tehtäviä oli käsitelty aiemmin suoritetuilla matematiikan kursseilla (taulukko 15). Opiskelijoista 83 % (39/47) vastasikin saaneensa tehtävän 1 joko lähes valmiiksi tai oikein ratkaistuksi. Opiskelijoista 17 (17/47, 36 %) kertoi avoimessa kentässä, että tehtävässä 1 eniten hankaluuksia tuottivat logaritmin laskusäännöt. Etenkin laskusääntöjen muistaminen mainittiin usein (11/17). Laskurutiinin puuttuminen kesäloman jäljiltä (4/47, 9 %) ja huolimattomuus (6/47, 13 %) nousivat myös esiin opiskelijoiden avoimissa vastauksissa tehtävän 1 virhelähteinä.

O10: "Laskusäännöt olivat hukassa, koska en ole laskenut pitkään aikaan. Tämän takia molemmat tehtävät tuntuivat hankalalta ja tein muutamia virheitä jonka vuoksi en saanut oikeita vastauksia."

Viisi (5/47, 11 %) opiskelijaa mainitsi tehtävän 1 b-kohdan olleen haastavampi. Moodlen tenttipohja tunnisti oikeaksi vastaukseksi ainoastaan sievennetyn vastauksen, joka sisälsi vain

yhden osamäärän. Muutamat opiskelijat (5/47, 11 %) kertoivatkin vastauksen sieventämisen oikeaan muotoon tuottaneen haasteita.

Taulukko 15. Opiskelijoiden kokemus esitietokyselyyn tehtäviä vastaavien tehtävyyppien käsittelystä ennen kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suoritetuilla matematiikan kursseilla. Prosenttisarakkeissa vastaajien kokonaismääränä on käytetty esitietokyselyyn vastanneiden opiskelijoiden määrää (n = 47)

| Väite | Tehtävä 1 | | Tehtävä 2 | | Tehtävä 3 | | Tehtävä 4 | | Tehtävä 5 | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 1. Käymilläni matematiikan kursseilla on käsitelty vastaavia tehtäviä | 38 | 81 | 29 | 62 | 23 | 49 | 31 | 66 | 28 | 60 |
| 2. Käymilläni matematiikan kursseilla ei ole käsitelty vastaavia tehtäviä | 1 | 2 | 2 | 4 | 8 | 17 | 2 | 4 | 5 | 11 |
| 3. En osaa sanoa, onko käymilläni matematiikan kursseilla käsitelty vastaavia tehtäviä | - | - | - | - | - | - | 4 | 9 | - | - |
| Yhteensä | 39 | 83 | 31 | 66 | 31 | 66 | 37 | 79 | 33 | 70 |

Tehtävän 2 a-kohdan yhtälönratkaisu vaati sekä logaritmi- että eksponenttifunktioiden hallintaa, kun taas b-kohta sisälsi yhtälön sieventämistä sijoittamalla (liite 3). Kahdeksan opiskelijaa (8/47, 17 %) kertoi kokeneensa tehtävän b-kohdan haastavana. Opiskelijoista 62 % (29/47) vastasi, että vastaavanlaisia tehtäviä oli käsitelty myös matematiikan kursseilla (taulukko 15). Kuitenkin vain seitsemän (7/47, 15 %) opiskelijaa sai tehtävän ratkaistua oikein (taulukko 14). Myös tässä tehtävässä kaikkein useimmin mainittu (11/47, 23 %) haaste oli logaritmin laskusääntöjen hallinta. Tässä tehtävässä haastavaksi mainittiin (8/47, 17 %) lisäksi eksponenttifunktioiden laskusäännöt. Muutama opiskelija (3/47, 6 %) mainitsi, ettei tehtävänannossa käytetty eksponenttifunktion merkintätapa ”exp” ollut heille tuttu entuudestaan. Tehtävän 2 kohdalla myös yhtälössä olleiden termien määrä oli haastavaa muutaman opiskelijan (4/47, 9 %) kokemuksen mukaan. Opiskelijat (7/47, 15 %) mainitsivat myös tämän tehtävän kohdalla tehneensä huolimattomuusvirheitä. Oikeiden vastausten vähäinen määrä selittyikin osittain huolimattomuusvirheillä, kuten erään opiskelijan vastauksesta käy ilmi:

O26: ” A-kohdassa ratkaisin yhtälön vahingossa $R:n$ suhteen enkä $T:n$, mikä oli pitkälti huolimattomuus virhe, minun olisi pitänyt olla huoleellisempi. Tehtävä ei muuten ollut mielestäni niinkään hankala. B-kohdassa sain oikean vastauksen, mutta olen vain kertonut sen auki..”

Tehtävän 3 a-kohdassa opiskelijoiden tuli kirjoittaa auki annetut summa- ja tulotermit (liite 3). Tehtävän b-kohta (eksponenttifunktio) ja c-kohta (sinifunktio) käsitteivät kuvaajien tulkintaa. Tehtävän 3 kohdalla oli muita tehtäviä useammin valittu (8/47, 17 %) vaihtoehto ”Käymilläni matematiikan kursseilla ei ole käsitelty vastaavia tehtäviä” (taulukko 15). Tämä saattaa olla yksi tekijä siihen, miksi jopa 45 % (21/47) opiskelijoista ei ollut päässyt tehtävässä alkuunkaan (taulukko 14). Useat opiskelijat (14/47, 30 %) mainitsivat, että tehtävän a-kohdassa esiintyneet summa- ja tulotermit olivat vieraita.

O21: ”En ole ikinä laskenut summa- tai tulotermejä tai ainakaan muista kursseilla laskeneeni näitä. En siis tiennyt mistä piti edes lähteä liikkeelle.”

Tehtävän 3 c-kohdan ratkaisuun tarvittu sinifunktio oli monen opiskelijan (10/47, 21 %) mielestä tehtävän 3 haastavin osuus. Muutamat opiskelijat (3/47, 6 %) mainitsivat, etteivät edes yrittäneet ratkaista tehtävän c-kohtaa, sillä trigonometria on ollut heille aina haastavaa. Nämä haastavimmiksi mainitut teemat yhdistyivät myös yksittäisten opiskelijoiden vastauksissa:

O20: ”Kohdassa a summatehtävä onnistui, mutta tulotermin sisältävä lasku ei, sillä en ole törmännyt niihin aiemmin. Kohdassa b yritin parhaani mukaan soveltaa osaamistani ja siinä onnistuin. Kohtaa c en lähtenyt ratkomaan, sillä trigonometria on ollut minulle haastavaa.”

Tehtävä 4 oli derivointitehtävä (liite 3). Tehtävässä tuli osata useita muuttujia sisältävän funktion derivointi tietyn muuttujan suhteen. Opiskelijoista 66 % (31/47) vastasi, että vastaavia tehtäviä oli käsitelty aiemmin suoritetuilla matematiikan kursseilla (taulukko 15). Oikeaan vastaukseen päässeiden opiskelijoiden määrä (13/47, 28 %) oli toiseksi suurin tehtävän 4 kohdalla (taulukko 14). Kuitenkin huomattavan suuri osa (18/47, 38 %) opiskelijoista vastasi, että oli päässyt tehtävässä vain alkuun. Tehtävän ratkaisemiseksi tarvittiin ainoastaan derivointikaavoja, joiden muistaminen mainittiin (15/47, 32 %) kaikkein haastavimmaksi sekä tehtävän a- että b-kohdassa.

Tehtävä 5 oli puolestaan integrointitehtävä (liite 3). Tehtävän a-kohta oli yksinkertaisempi, matemaattisin merkinnöin toteutettu lasku. Tehtävän b-kohdassa oli soveltavampi ja monimutkaisempi yhtälö, joka sisälsi paljon termejä. Aiemmilla matematiikan kursseilla oli käsitelty vastaavia tehtäviä useiden opiskelijoiden (28/47, 60 %) mielestä (taulukko 15). Tehtävä oli ilmeisen vaikea, sillä suurin osa opiskelijoista (33/47, 70 %) oli päässyt tehtävässä

enintään alkuun (taulukko 14). Oikeaan vastaukseen päässeiden opiskelijoiden määrä (6/47, 13 %) oli kaikkein pienin tehtävän 5 kohdalla. Eräs oikeiden vastausten vähyyteen vaikuttava tekijä on todennäköisesti myös tehtävän a-kohdassa Moodlen tenttipohjaan syötetty virheellinen mallivastaus. Tämän vuoksi tenttipohja ilmoitti tehtävään oikean ratkaisun syöttäneille opiskelijoille tehtävän menneen väärin. Malliratkaisun virheen oli avointen vastausten perusteella huomannut viisi opiskelijaa. Useat opiskelijat (15/47, 32 %) kertoivat kuitenkin integroinnin olleen tehtävässä haastavaa muun muassa siksi, ettei olleet tarvinneet integrointitaitoja pitkään aikaan:

O21: ”5a tehtävän tyyliä on käsitelty matematiikan kursseilla, mutta integroiminen on minulla hyvin ruosteessa. 5b tehtävä-tyyppiä en muista nähneeni aiemmin. En muista integroimissääntöjä näemmä kovinkaan hyvin.”

Lisäksi tehtävän 5 b-kohta koettiin (10/47, 21 %) erityisen haastavaksi. Haasteeksi b-kohdassa mainittiin muun muassa termien suuri määrä (3/10), vieraat merkinnät (2/10) sekä vieras tehtävätyyppi (3/10).

O42: ”A kohta oli helpompi. B kohta tuntui todella hankalalta ilman apuvälineitä.”

O33: ”Etenkin b-kohta oli täyttä hepreaa, enkä saanut siitä mitään irti.”

O35: ”b-kohdassa paljon kaikkea ja siksi vaikea.”

Näiden tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että huomattavalla osalla kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 aloittavista opiskelijoista on ollut puutteelliset matemaattiset pohjatiedot. Tehtävät tarjosivat opiskelijoille mahdollisuuden tunnistaa fysikaalisessa kemiassa tarvittavia matemaattisia menetelmiä, joita tulisi kerrata tai opetella kurssin KEMA224 edetessä. Opiskelijoille erityisen haastaviksi teemoiksi havaittiin integraalifunktiot, trigonometriset funktiot, logaritmifunktiot sekä summa- ja tulotermit.

Useilla opiskelijoilla oli ongelmia jo esitietokokeen yksinkertaisemmissa yhtälönratkaisutehtävissä. Näin ollen ei ollut kovin yllättävää, että tehtävän 5 kaltaisten monimutkaisempien yhtälöiden ratkaiseminen tuotti suuria haasteita. On kuitenkin huolestuttavaa, että jopa 13 % (6/47) opiskelijoista ilmoitti vähintään neljän tehtävän kohdalla, ettei ollut päässyt alkuunkaan. Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu heikon matemaattisen menestymisen ennustavan heikkoa menestystä myös fysikaalisessa kemiassa.^{27,87} Tässä

tutkimuksessa ei tehty jatkotutkimusta opiskelijoiden kurssin KEMA224 menestyksen selvittämiseksi, joten vastaavaa vertailua ei voitu tehdä.

Myös aiemmissa tutkimuksissa on havaittu etenkin kemian opiskelijoilla olevan heikot matemaattiset taidot.^{26,87} Gojak-Salimović *et al.*²⁶ havaitsivat tutkimuksessaan opiskelijoiden kokevan integrointia ja derivointia sisältävät tehtävät haastaviksi. Myös tässä tutkimuksessa saatiin vastaava tulos. Muutamat opiskelijat mainitsivat hallitsevansa derivoinnin ja integroinnin perusteet, mutta haasteita ilmeni heti yhtälöiden muuttuessa monimutkaisimmiksi. Potgieter *et al.*⁸⁵ havaitsivat opiskelijoiden hallitsevan hyvin logaritmiyhtälöiden käsittelyn ja tulkinnan. Toisaalta Leopoldin ja Edgari⁸⁷ tutkimuksen perusteella opiskelijoilla on paljon virhekäsityksiä logaritmifunktioista, mikä havaittiin muun muassa kuvaajien virheellisenä tulkitsemisena. Myös tässä tutkimuksessa logaritmifunktioiden ratkaiseminen ilman apuvälineitä oli opiskelijoille haastavaa.

Esitietokyselyn tulokset olisivat mahdollisesti olleet positiivisempia, jos esimerkiksi kaavakokoelmien käyttö olisi sallittu. Tehtävien ratkaiseminen oli avointen vastausten perusteella usein jäänyt kesken, sillä esimerkiksi logaritmin laskusäännöt tai derivointikaavat olivat unohtuneet. Kurssi KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 on ensimmäisiä kesäloman jälkeen alkavia kursseja, joten myös laskurutiinin puuttuminen tunnistettiin tuloksiin vaikuttaneeksi tekijäksi. Lisäksi huomattavan usein opiskelijat kertoivat tehtävän menneen väärin huolimattomuusvirheen vuoksi. Muutamat opiskelijat olivat kuitenkin avoimien vastausten perusteella luottavaisia sen suhteen, että laskusäännöt palautuvat mieleen, kunhan niitä vain pääsee kertaamaan ja käyttämään pitkän tauon jälkeen:

O9: ”Matemaattisen rutiinin puute, mikä korjaantuu tekemällä ko. Tehtäviä”

Itsearviointiväittämissä opiskelijoilta kysyttiin lisäksi, oliko vastaavia matemaattisia tehtäviä käsitelty aiemmin suoritetuilla fysiikan kursseilla (taulukko 4). Kyseisiin väittämiin vastasi keskimäärin 53 % (25/47) esitietokyselyyn vastanneista opiskelijoista. Noin puolet (23/47, 49 %) esitietokyselyyn vastanneista opiskelijoista eivät todennäköisesti olleet suorittaneet yhtään yliopistotasosta fysiikan kurssia ennen kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (taulukko 12). Tuloksia raportoitaessa esitetään vain niiden opiskelijoiden vastaukset, jotka olivat suorittaneet fysiikan kursseja (24/47). Fysiikan kursseja suorittaneista opiskelijoista keskimäärin 77 % (18,4/24) oli tehtävien itsearvioinneissa valinnut fysiikan kursseja koskevia väittämiä (taulukko 16).

Kaikkien tehtävien kohdalla alle puolet fysiikan kursseja suorittaneista opiskelijoista (24/47) koki, että vastaavia tehtäviä olisi käsitelty fysiikan kursseilla (taulukko 16). Useimmin opiskelijat kokivat tehtävän 2 (9/24, 38 %) tyyliä tehtäviä olleen myös fysiikan kursseilla. Tulosten perusteella enintään 19 % (9/47) kaikista esitietokyselyyn vastanneista opiskelijoista sai etua aiemmin suoritetuista fysiikan kursseista esitietokyselyn matemaattisten tehtävien ratkaisemiseen.

Taulukko 16. Fysiikan kursseja suorittaneiden opiskelijoiden kokemus esitietokyselyn tehtäviä vastaavien tehtävätyyppien käsittelystä ennen kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suoritetuilla fysiikan kursseilla. Prosenttisarakeissa vastaajien kokonaismääränä on käytetty fysiikan kursseja suorittaneiden opiskelijoiden määrää (n = 24)

| Väite | Tehtävä 1 | | Tehtävä 2 | | Tehtävä 3 | | Tehtävä 4 | | Tehtävä 5 | |
|--|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|----|
| | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 1. Käymilläni fysiikan kursseilla on käsitelty vastaavia tehtäviä | 8 | 33 | 9 | 38 | 5 | 21 | 6 | 25 | 7 | 29 |
| 2. Käymilläni fysiikan kursseilla ei ole käsitelty vastaavia tehtäviä | 2 | 8 | 2 | 8 | 7 | 29 | 5 | 21 | 5 | 21 |
| 3. En osaa sanoa, onko käymilläni fysiikan kursseilla käsitelty vastaavia tehtäviä | 7 | 29 | 8 | 33 | 8 | 33 | 6 | 25 | 7 | 29 |
| Yhteensä | 17 | 71 | 19 | 79 | 20 | 83 | 17 | 71 | 19 | 79 |

13.3 Kyselytutkimus

Kyselytutkimukseen pyydettiin vastauksia opiskelijoilta, jotka olivat suorittaneet opintojensa aikana kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1. Kurssin on voinut suorittaa osana kemian pää- tai sivuaineopintoja. Linkki kyselyyn jaettiin kemian opiskelijoiden sähköpostilistan kautta. Oletettavasti tämän vuoksi lähes kaikki (47/49, 96 %) kyselyyn vastanneet olivat kemian pääaineopiskelijoita (taulukko 17).

Tutkimuksessa selvitettiin opiskelijoiden matemaattisia valmiuksia kurssille KEMA224 tultaessa. Taustatietona opiskelijoilta kysyttiin heidän toisen asteen matematiikan opintojensa laajuutta (kysymys 2, liite 4). Vastaajista vain kuudella (6/49, 12 %) oli suoritettuna lyhyen matematiikan oppimäärä ennen yliopisto-opintoja (taulukko 17). Nämä kaikki olivat kemian

pääaineopiskelijoita. Opiskelijoiden yliopistotason matematiikan opintojen laajuutta kartoittavan kysymyksen tulokset on esitetty luvussa 13.3.3.

Taulukko 17. Kyselyyn vastanneiden opiskelijoiden taustatietoja kurssin suorittamisvuosittain

| Pääaine | Kurssin KEMA224 suorittamisvuosi | | | Yhteensä |
|---|----------------------------------|---------------|-----------|-----------|
| | 2014–2016 | 2017 tai 2018 | 2019 | |
| Kemia | 14 | 19 | 14 | 47 |
| Biologia | - | 1 | 1 | 2 |
| Yhteensä | 14 | 20 | 15 | 49 |
| Matematiikan opintojen laajuus 2.asteella | 2014–2016 | 2017 tai 2018 | 2019 | Yhteensä |
| Pitkä matematiikka | 13 | 15 | 15 | 43 |
| Lyhyt matematiikka | 1 | 5 | - | 6 |
| Yhteensä | 14 | 20 | 15 | 49 |
| Kurssiarvosana* | 2014–2016 | 2017 tai 2018 | 2019 | 2014–2019 |
| Keskiarvo | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 2,8 |
| Keskihajonta | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,4 |

*Hyväksytyn suorituksen arviointi asteikolla 1–5

Opiskelijoiden vastausten lisäksi kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 vastuuhenkilöltä selvitettiin kurssille ilmoittautuneiden opiskelijoiden todelliset määrät ja arvosanajakaumat vuosilta 2014–2019 (taulukko 18 ja kaavio 2). Taulukosta 18 nähdään, että kurssille KEMA224 ilmoittautuneista opiskelijoista noin 70 % suorittaa kurssin hyväksytysti. Kurssille ilmoittautuneiden opiskelijoiden lukumäärässä on mukana myös opiskelijoita, jotka ovat ilmoittautuneet kurssille, mutta eivät tee mitään kurssiin liittyviä osasuorituksia. Verrattaessa kyselyyn vastanneiden määrää kurssin hyväksytysti suorittaneiden todelliseen lukumäärään nähdään, että kyselyn vastausprosentti oli erittäin pieni (49/318, 15 %).

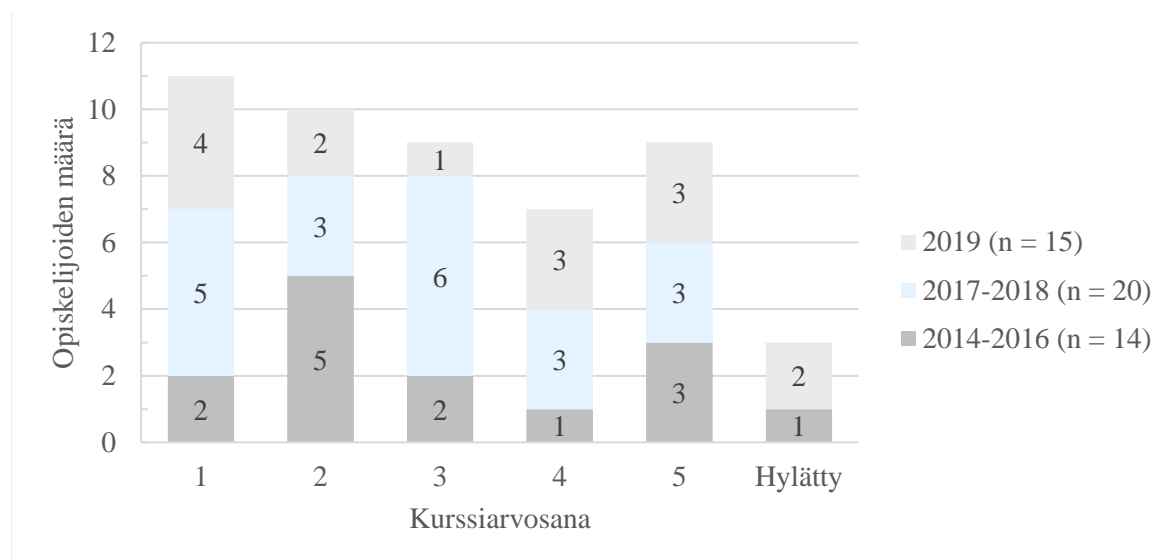
Taulukko 18. Todelliset kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suorittaneiden opiskelijoiden määrät ja arvosanjakaumat vuosilta 2014–2019

| Opiskelijoiden määrä kurssilla KEMA224 | Kurssin KEMA224 suorittamisvuosi | | | Yhteensä |
|---|----------------------------------|---------------|------|------------|
| | 2014–2016 | 2017 tai 2018 | 2019 | |
| Suorittaneet | 171 | 107 | 40 | 318 |
| Ilmoittautuneet | 251 | 149 | 58 | 458 |
| % | 68 | 72 | 69 | 69 |
| Kurssiarvosana* | 2014–2016 | 2017 tai 2018 | 2019 | Yhteensä |
| Keskiarvo | 2,5 | 2,2 | 2,6 | 2,4 |
| Keskihajonta | 1,4 | 1,1 | 1,4 | 1,3 |

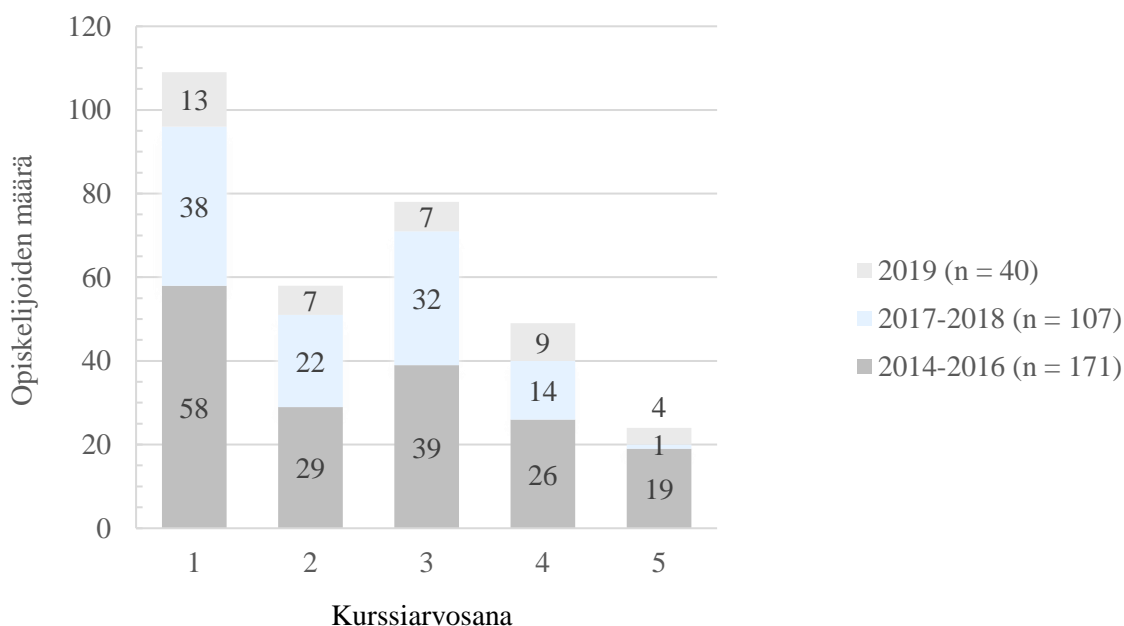
*Hyväksytyt suorituksen arviointi asteikolla 1–5

Pienen vastausprosentin vuoksi kyselyssä saatuja kurssiarvosanjakaumia verrattiin todellisiin lukuihin, jotta nähtiin, miten kattavasti kyselyn otos vastaa todellisuutta. Kurssilla hyväksytty suoritus on arvioitu asteikolla 1–5, arvosanan 5 ollessa paras mahdollinen. Taulukoita 17 ja 18 vertaamalla huomataan, että kurssin KEMA224 keskimääräinen arvosana on todellisuudessa ollut hieman alhaisempi ($2,4 \pm 1,3$) kuin kyselyyn vastanneiden opiskelijoiden keskimääräinen arvosana ($2,8 \pm 1,4$). Etenkin vuosien 2017 ja 2018 aikana kurssille osallistuneiden opiskelijoiden kohdalla ero oli huomattava, kun todellinen keskiarvo on ollut $2,2 (\pm 1,1)$, mutta kyselyyn vastanneiden opiskelijoiden keskiarvoksi muodostui $2,8 (\pm 1,4)$. Näin ollen kyselyyn vastanneet opiskelijat ovat menestyneet kurssilla KEMA224 hieman keskimääräistä paremmin.

Kaaviossa 1 on esitetty kyselyyn vastanneiden opiskelijoiden kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanojen jakauma ja kaaviossa 2 kurssin todellinen arvosanjakauma. Kaaviosta 1 nähdään, että kyselyyn vastanneet opiskelijat ovat saaneet kurssista KEMA224 melko tasaisesti kaikkia arvosanoja, kuitenkin heikoimman arvosanan 1 painottuessa hieman. Kaaviosta 2 käy selvästi ilmi kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanojen epätasainen jakautuminen. Erityisen selkeästi tästä kaaviosta nähdään arvosanan 1 voimakas painottuminen. Muiden arvosanojen osalta todellinen jakauma muistuttaa normaalijakaumaa, mikä on yleisesti hyvin tyypillinen jakauma tarkasteltaessa suuren opiskelijajoukon arvosanoja. Normaalijakauman mukaisesti pieni osa opiskelijoista saa parhaan arvosanan, pieni osa heikoimman ja loput sijoittuvat tälle välille.



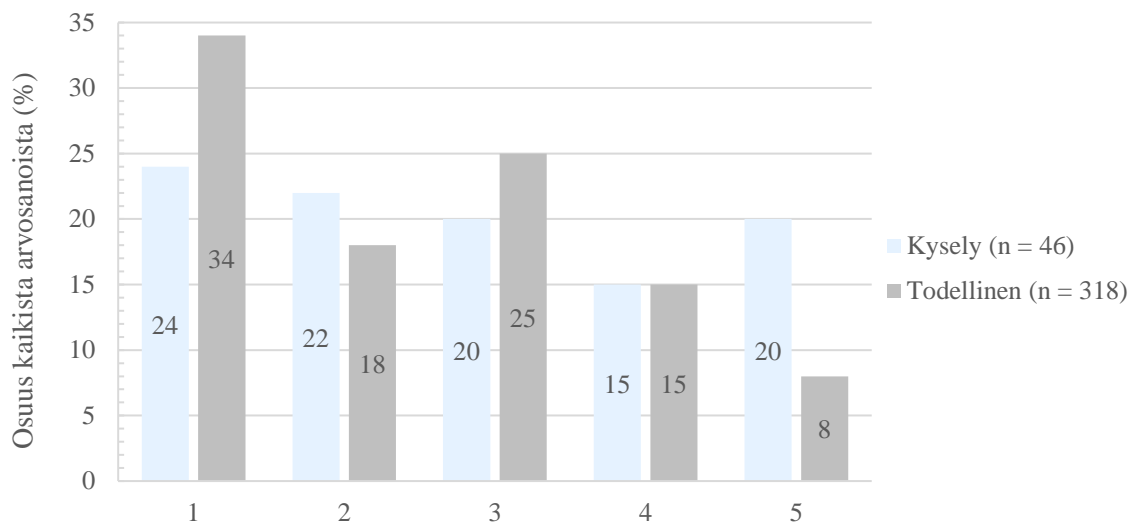
Kaavio 1. Kyselyyn vastanneiden opiskelijoiden arvosanajakauma kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1. Hyväksytty suoritus on arvosteltu asteikolla 1–5. Paras mahdollinen arvosana on 5. Opiskelijat on pylväissä jaoteltu pienempiin ryhmiin KEMA224 suoritusvuoden perusteella.



Kaavio 2. Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 hyväksytysti suorittaneiden opiskelijoiden todellinen arvosanajakauma vuosina 2014–2019. Hyväksytty suoritus on arvosteltu asteikolla 1–5. Paras mahdollinen arvosana on 5. Opiskelijat on pylväissä jaoteltu pienempiin ryhmiin KEMA224 suoritusvuoden perusteella.

Kyselyyn vastanneista kurssin KEMA224 hyväksytysti suorittaneista opiskelijoista 24 % (11/46) sai kurssista arvosanan 1, kun kaikista vuosina 2014–2019 kurssin hyväksytysti suorittaneista opiskelijoista jopa 34 % sai arvosanan 1 (kaavio 3). Kurssilla heikommin

pärjännneiden opiskelijoiden osuus vastaajajoukossa on siis 10 % pienempi kuin todellisuudessa. Lisäksi kyselyyn vastanneista opiskelijoista 20 % (9/46) suoritti kurssin KEMA224 arvosanalla 5, kun todellisten lukujen perusteella vuosina 2014–2019 kurssin parhaalla arvosanalla suoritti vain 8 % (24/318) opiskelijoista (kaavio 3). Näiden tulosten perusteella kyselyn vastaukset painottavat kurssilla KEMA224 hyvin menestyneiden opiskelijoiden näkemyksiä.

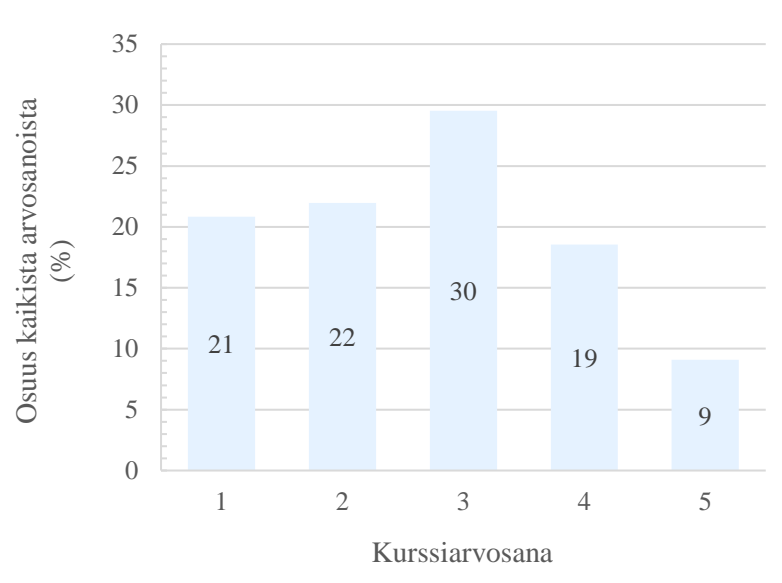


Kaavio 3. Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanojen prosentuaaliset osuudet vuosina 2014–2019 kyselytutkimuksen vastausten (kysely) sekä virallisten lukujen (todellinen) perusteella. Hyväksytyt suoritukset on arvosteltu asteikolla 1–5. Paras mahdollinen arvosana on 5.

Arvosanjakaumissa näkyvä arvosanan 1 painottuminen selittyy osittain tukitoimista, jotka kurssilla on käytössä. Kursseilla kohtuullisesti töitä tehneet opiskelijat, jotka eivät saaneet koottua hyväksytyyn suoritukseen vaadittua 18 pistettä, saivat osallistua aineistopohjaiseen ryhmätenttiin. Ryhmätentin toteutus on esitelty tarkemmin luvussa 13.1.1. Kurssin vastuuhenkilön arvioin mukaan noin puolet arvosanan yksi saaneista opiskelijoista ovat saaneet kurssin suoritettua tukitoimien avulla.

Kurssin KEMA224 arvosanjakaumaa tarkasteltiin myös poistamalla aineistosta tukitoimin kurssin suorittaneet opiskelijat (54/318), joiden määrä arvioitiin jakamalla arvosanan 1 saaneiden opiskelijoiden määrä kahdella. Tällöin kurssin hyväksytysti suorittaneiden määräksi jäi 264 opiskelijaa. Aineiston muokkauksen jälkeen muodostettu prosentuaalinen arvosanjakauma on esitetty kaaviossa 4. Muutoksesta huolimatta heikoimmalla arvosanalla kurssin suorittaneiden opiskelijoiden osuus kaikista kurssin hyväksytysti suorittaneista opiskelijoista olisi korkea (55/264, 21 %). Osuus olisi tällöin samaa luokkaa kuin arvosanan

kaksi ja kolme saaneiden opiskelijoiden osuus kaikista opiskelijoista. Tuloksista nähdään, että tukitoimista huolimatta kurssin KEMA224 arvosanat painottuvat heikompiin arvosanoihin.



Kaavio 4. Todellisista luvuista muokattu arvosanajakauma, jossa tukitoimin kurssin suorittaneet opiskelijat (arviolta 54) on poistettu aineistosta. Näin ollen hyväksytyjen arvosanojen kokonaismäärä kaaviossa on 264.

13.3.1 Matemaattisen osaamisen merkitys kemian opinnoissa

Kemian opiskelijat tarvitsevat opinnoissaan laajaa matemaattista osaamista.^{36,37} Jonkin verran matematiikkaa tarvitaan kaikilla kemian eri osa-alueilla, mutta erityisesti fysikaalisessa kemiassa sen merkitys on suuri.³⁶ Tässä tutkimuksessa selvitettiin Jyväskylän yliopiston kemian opiskelijoiden kokemuksia matemaattisen osaamisen merkityksestä kemian opintojen kannalta. Kokemus opiskeltavien aiheiden tarpeellisuudesta lisää opiskelijan motivaatiota opintoja kohtaan.⁴⁶ Hyvin motivoitunut opiskelija käyttää todennäköisemmin tehokkaita oppimisstrategioita^{48,54} ja sitä kautta yltää parempiin oppimistuloksiin⁴⁷.

Tulosten perusteella opiskelijat näyttäisivät ymmärtävät hyvin matemaattisten taitojen merkityksen erityisesti fysikaalisen kemian opiskelun kannalta (taulukko 19). Suurin osa (43/49, 88 %) kyselyyn vastanneista opiskelijoista oli täysin samaa mieltä (vaihtoehto 4) siitä, että matemaattiset taidot ovat tärkeitä fysikaalisen kemian kursseilla. Lähes kaikki opiskelijat (45/49, 92 %) pitivät matemaattisia taitoja tärkeinä (vaihtoehdot 3 ja 4) myös yleisesti kemian kannalta, mutta vastauksissa oli kuitenkin hieman enemmän hajontaa. Myös Johnstonin *et al.*⁸³

tutkimuksessa opiskelijat kertoivat kokevansa matemaattiset taidot tärkeiksi yleisesti kemian opintojen kannalta.

Taulukko 19. Opiskelijoiden kokemukset matemaattisten taitojen merkityksestä kemian opinnoissa. Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä, EOS = en osaa sanoa

| Väite | Opiskelijoiden vastaukset | | | | | | | KA* | KH* |
|---|---------------------------|---|----|----|-----|-----|------------|------------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS | YHT | | | |
| 1. Pidän matemaattisia taitoja tärkeinä kemian opiskelun kannalta. | 0 | 3 | 29 | 16 | 1 | 49 | 3,2 | 0,6 | |
| 2. Pidän matemaattisia taitoja tärkeinä fysikaalisen kemian opiskelun kannalta. | 0 | 0 | 6 | 43 | 0 | 49 | 3,9 | 0,3 | |

*KA = keskiarvo, KH = keskihajonta

Kemian matemaattisuus yhdistetään usein voimakkaasti vain fysikaalisen kemiaan³⁹, joka pohjautuu kemiallisten ilmiöiden kuvaamiseen matemaattisin mallein³⁶. Monilla kemian aloilla tarvittava matematiikka on melko yksinkertaista laskentoa, mutta fysikaalisen kemian hallinta vaatii laajempaa matemaattista osaamista.³⁶ Näin ollen on luontevaa, että opiskelijat kokevat matemaattisen osaamisen erityisen tärkeäksi nimenomaan fysikaalisen kemian opiskelun kannalta.

13.3.2 Opiskelijoiden kokemukset matemaattisista taidoistaan

Opiskelijoita pyydettiin kuvailemaan omin sanoin matemaattisia taitojaan (kysymys 6, liite 4). Kysymykseen vastasi 92 % (45/49) opiskelijoista. Vastaukset analysoitiin aineistolähtöisen sisällönanalyysin avulla. Vastausten perusteella opiskelijat luokiteltiin matemaattisilta taidoiltaan eteviin, perustaidot hallitseviin, keskinkertaisiin, taidot unohtaneisiin ja heikkoihin (taulukko 20). Nämä luokat yhdistettiin vielä matemaattisia taitojaan positiivisesti (etevät ja perustaidot hallitsevat), keskinkertaisesti ja negatiivisesti (unohtaneet ja heikot) kuvaavien ryhmiksi.

Taulukko 20. Opiskelijoiden kokemus omista matemaattisista taidoistaan. Opiskelijoiden matemaattinen taitotaso määriteltiin avoimeen kysymykseen annettujen kuvauksien perusteella (kysymys 6, liite 4)

| Matemaattinen taitotaso | n | % | Kokemus matemaattisista taidoista | | |
|-----------------------------|-----------|------------|-----------------------------------|-----------|------------|
| | | | | n | % |
| Etevä | 9 | 20 | ⇒ Positiivinen | 35 | 78 |
| Peruslaskutaidot hallitseva | 26 | 58 | | | |
| Keskinkertainen | 4 | 9 | ⇒ Keskinkertainen | 4 | 9 |
| Unohtuneet taidot | 3 | 7 | ⇒ Negatiivinen | 6 | 13 |
| Heikko | 3 | 7 | | | |
| Yhteensä | 45 | 100 | | 45 | 100 |

Kysymykseen vastanneista opiskelijoista suurin osa (35/45, 78 %) kuvaili matemaattisia taitojaan positiiviseen sävyyn. Jopa 20 % (9/45) opiskelijoista kuvasi omaavansa laajat matemaattiset taidot ja kertoivat matemaattisen ajattelun olevan heille luontevaa. Nämä opiskelijat luokiteltiin matemaattiselta taitotasoltaan eteviksi. Tässä ryhmässä usea (6/9) koki matematiikan omaksi vahvuusalueekseen.

V17: ”Matemaattinen logiikka ja ajattelu on mielestäni vahvuuksiani. Pärjäsin lukion matematiikassa moitteettomasti. Yhtälöiden pyörittely ja ratkaiseminen onnistuu hyvin...”

Yhdeksän opiskelijaa (9/45, 20 %) kertoi unohtaneensa aiemmin osaamiaan matemaattisia taitoja. Näiden opiskelijoiden vastausten luokittelu positiiviseen tai negatiiviseen kokemukseen tehtiin sen perusteella, mitä opiskelija kertoi aiheiden palauttamisesta muistiin. Kokemus luokiteltiin positiiviseksi (6/9), jos opiskelija kuvaili pystyvänsä palauttamaan unohtuneet asiat mieleen kohtuullisella kertaamisella.

V31: ”Perus derivointi-, integrointi- ym. matemaattiset taidot ovat minulla mielestäni hyvin hallussa. Toki ne unohtuvat ajoittain, jos en niitä käytä, mutta asiat muistuvat nopeasti mieleen.”

Negatiiviseksi kokemukseksi luokiteltiin vastaukset (2/9), joissa opiskelijat kertoivat unohtaneensa suuren osan ja kokivat aiemmin opitun mieleen palauttamisen olevan heille

kohtuuttoman työlästä tai jopa mahdotonta. Lisäksi negatiiviseen kokemukseen luokiteltiin vastaus (1/9), jossa opiskelija ei maininnut mitään muistiin palauttamisesta.

V34: ”Matemaattiset taitoni ovat melko heikot. Olen opiskellut pitkän matematiikan monta vuotta sitten, joten asiat olivat päässeet unohtumaan ja Calculus 1 ja 2 olivatkin sen vuoksi erittäin hankalia ja jouduin uusimaan niitäkin useampaan kertaan.”

Kemian opiskelijoilla on havaittu olevan heikko luotto matemaattisiin taitoihinsa.⁸³ Lisäksi huomattava osa opiskelijoista koki laskemista vaativat matemaattiset tehtävät ahdistaviksi. Jyväskylän yliopiston kemian opiskelijoiden kohdalla tilanne vaikuttaisi olevan hieman parempi tämän tutkimuksen tulosten perusteella. Opiskelijat kuvasivat matemaattisia taitojaan pääosin positiiviseen sävyyn. Useista vastauksista kävi ilmi, että opiskelijat luottavat omaavansa hyvän peruslaskutaidon. On kuitenkin mahdollista, etteivät opiskelijoiden kokemukset matemaattisista taidoistaan ole realistisia kemian opinnoissa menestymisen kannalta. Opiskelijat saattavat kokea matemaattiset taitonsa riittäviksi, mutta siitä huolimatta suoriutuvat heikosti kemian matemaattista osaamista mittaavissa kokeissa.²⁶

Suuri osa opiskelijoista analysoi vastauksessaan matemaattisia taitojaan hyvin monipuolisesti. Osa opiskelijoista (11/45, 24 %) mainitsi myös hankalaksi kokemiaan matematiikan aihepiirejä (taulukko 21). Kuusi opiskelijaa (6/45, 13 %) mainitsi haastavaksi matematiikan osa-alueeksi differentiaalilaskennan. Näistä opiskelijoista neljä (4/6) mainitsi erityisesti integroinnin tuottavan heille hankaluuksia, vaikka muuten kokivat matemaattiset taitonsa hyviksi. Eräs opiskelija kuvasi vastauksessaan integroinnin aiheuttamaa turhautumista:

V17: ”...Ongelmia yleensä ilmenee differentiaalilaskennassa: integraalien ja niihin liittyvien sääntöjen kanssa sählääminen osaa olla hyvinkin turhauttavaa.”

Taulukko 21. Haastaviksi koetut matematiikan teemat, jotka opiskelijat ($n = 45$) mainitsivat kuvatessa omia matemaattisia taitojaan. Differentiaalilaskennan osalta sulkuumerkinnällä on eritelty opiskelijat, jotka mainitsivat nimenomaan integroinnin (4/6) tai derivoinnin (1/6) vastauksessaan.

| Haastavaksi mainittu teema | n | % |
|----------------------------|-----|----|
| Soveltaminen | 5 | 11 |
| Differentiaalilaskenta | 6 | 13 |
| - Integrointi | (4) | |
| - Derivointi | (1) | |
| Analyysi | 2 | 4 |
| Differentiaaliyhtälöt | 1 | 2 |

Viisi opiskelijaa (5/45) mainitsi kokevansa matemaattisten työkalujen soveltamisen haastavaksi joko kemian tai matematiikan kontekstissa (taulukko 21). Matematiikan peruslaskutaidot hallitsevista opiskelijoista neljä (4/26) mainitsi juuri soveltamisen tuottavan heille kaikista eniten ongelmia. Eräs matemaattiset taitonsa keskinkertaisiksi kokeva opiskelija nosti vastauksessaan esille erityisesti fysikaalisissa sovelluksissa kokemansa ongelmat:

VI3: ” Ylettömän laiska laskemaan, vaikka yrittäessäni koen olevani vähintään kohtalainen matemaattisesti. Koen fysikaaliset formuloinnit epäselkeinä verrattuna puhtaammin matemaattisiin formuloihin. ”

Gojak-Salimovićin *et al.*²⁶ tutkimuksessa opiskelijat kertoivat kokeneensa fysikaalisen kemian kurssilla haastaviksi tehtävät, joissa vaadittiin differentiaalilaskentaa, tiedon yhdistelyä ja matemaattista päättelyä.²⁶ Samat teemat nousivat esille tässä tutkimuksessa opiskelijoiden hankalaksi kokemina matematiikan aihepiireinä, kuten taulukosta 21 nähdään. Tämä tulos tukee Gojak-Salimović *et al.*²⁶ havaintoja siitä, että opiskelijoiden matemaattiset taidot voivat olla kemian opintojen kannalta puutteellisia, vaikka he itse arvioivat matemaattista osaamistaan positiivisesti. Tämän tutkimuksen aineisto on kuitenkin pieni ja vain harva opiskelija pohti myös hankalaksi kokemiaan aihealueita, joten tulosten yhteyttä ei voida yleistää.

13.3.3 Suoritetut yliopistotason matematiikan opinnot

Tässä tutkimuksessa selvitettiin opiskelijoiden matemaattista taustaa ja sen yhteyttä opiskelijan menestymiseen fysikaalisen kemian termodynamiikkaa käsittelevällä kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1. Taulukosta 17 nähdään, että suurin osa (43/49, 88 %) opiskelijoista oli suorittanut matematiikan pitkän oppimäärän toisen asteen koulutuksessa. Toisen asteen matematiikan opintojen laajuuden lisäksi selvitettiin, mitä yliopistotason matematiikan kursseja opiskelijat olivat suorittaneet ennen kurssia KEMA224. Tulokset on esitetty taulukossa 22.

Taulukko 22. Opiskelijoiden suorittamat matematiikan kurssit ennen KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 opintojaksoa. Matematiikan kurssikoodien selitykset: MATY010 Matematiikan propedeuttinen kurssi, MATP121 Lineaarinen algebra ja geometria, MATP211 Calculus 1, MATP212 Calculus 2, MATP213 Calculus 3, FYSP111 Derivointi ja integrointi, FYSP112 Vektorit ja kompleksiluvut, FYSP113 Differentiaaliyhtälöt. Kurssikoodien selitykset ja lyhyet kurssikuvaukset löytyvät työssä käytettyjen lyhenteiden luettelosta, alkaen sivulta vii.

| Matematiikan kurssi | Kurssin KEMA224 suorittamisvuosi | | | | | | Yhteensä | % |
|---------------------|----------------------------------|----|-----------|----|------|----|----------|----|
| | 2014–2016 | % | 2017–2018 | % | 2019 | % | | |
| MATY010 | 7 | 50 | 12 | 60 | 7 | 47 | 26 | 53 |
| MATP121 | 1 | 7 | 3 | 15 | 8 | 53 | 12 | 24 |
| MATP211* | 3 | 21 | 12 | 60 | 14 | 93 | 29 | 59 |
| MATP212* | 2 | 14 | 9 | 45 | 13 | 87 | 24 | 49 |
| MATP213 | - | - | 5 | 25 | 8 | 53 | 13 | 27 |
| FYSP111** | 8 | 57 | 5 | 25 | - | - | 13 | 27 |
| FYSP112 | 2 | 14 | 1 | 5 | - | - | 3 | 6 |
| FYSP113** | 7 | 50 | 3 | 15 | - | - | 10 | 20 |
| Ei mitään | 3 | 21 | 1 | 5 | - | - | 4 | 8 |

* KEMA224:n esitietovaatimuksena vuodesta 2017 alkaen

** KEMA224:n esitietovaatimuksena vuosina 2014–2016

Opetussuunnitelmakaudella 2017–2020 Jyväskylän yliopiston kemian kandidaattiohjelmaan sisältyi vähintään 15 opintopistettä fysiikan, tilastotieteen tai matematiikan opintoja. Kandidaattiopintoihin kuului pakollisena osana vähintään kaksi perusopintotason matematiikan kurssia. Matematiikan kursseista kemian kandidaatin tutkintoon tuli suorittaa matematiikan laitoksen kurssit MATP211 Calculus 1 (4 op) ja MATP212 Calculus 2 (5 op). Nämä kurssit

saattoi korvata myös muilla perusopintotason matematiikan kursseilla, mikäli suoritti tutkintoonsa matematiikan perusopintokokonaisuuden (25 op) tai aineopintokokonaisuuden (60 op).⁴³

Kyselyssä opiskelijat valitsivat suorittamansa matematiikan kurssit luettelosta, johon oli valittu fysikaalisen kemian kannalta olennaisia matemaattisia sisältöjä käsitteleviä kursseja (kysymys 8, liite 4). Luettelo sisälsi pääasiassa perusopintotason kursseja. Yksittäisten opiskelijoiden kohdalla on siis mahdollista, että suoritettujen matematiikan kurssien määrä on todellisuudessa suurempi kuin tuloksien perusteella nähdään.

Opintosuunnitelmakaudella 2017–2020 kemian kandidaatin tutkintoon kuuluneiden matematiikan kurssien MATP211 Calculus 1 ja MATP212 Calculus 2 sisällöt olivat myös matemaattisina esitietovaatimuksina fysikaalisen kemian aineopintokurssille.³⁻⁵ Ennen vuotta 2017 fysikaalisen kemian kurssien matemaattisena esitietovaatimuksena olivat fysiikan laitoksen tarjoamat menetelmäkurssit FYSP111 Derivointi ja integrointi (3 op) sekä FYSP113 Differentiaaliyhtälöt (3 op).¹⁸ Fysiikan menetelmäkurssit suorittaneiden opiskelijoiden ei tarvinnut suorittaa Calculus-kursseja. Calculus-kurssit tulivat matematiikan laitoksen kurssitarjontaan lukuvuodeksi 2016–2017.¹⁸ Aineiston tarkastelussa selvisi, että vain yksi FYSP-kurssit suorittanut opiskelija oli suorittanut myös kurssit MATP211 ja MATP212.

Taulukosta 22 nähdään, että vuonna 2019 kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suorittaneista opiskelijoista lähes kaikki olivat suorittaneet esitietovaatimuksena olevat matematiikan kurssit MATP211 Calculus 1 (14/15, 93 %) ja MATP212 Calculus 2 (13/15, 87 %). Kaikki MATP212 kurssin suorittaneet olivat suorittaneet myös tätä edeltävän kurssin MATP211, joten 87 % opiskelijoista oli suorittanut molemmat kurssin KEMA224 matemaattiset esitietokurssit. Puolet (8/15, 53 %) vuoden 2019 kurssilaisista oli suorittanut myös valinnaiset matematiikan kurssit MATP121 Lineaarinen algebra ja geometria 1 sekä MATP213 Calculus 3.

Vuosina 2017–2018 KEMA224 kurssille osallistuneista opiskelijoista noin puolet (taulukko 22) oli suorittanut esitietovaatimuksena olevat Calculus-kurssit MATP211 (12/20, 60 %) ja MATP212 (9/20, 45 %). Osa opiskelijoista oli suorittanut aiemmin matemaattisina esitietoina esitetyt fysiikan menetelmäkurssit FYSP111 Derivointi ja integrointi (5/20, 25 %) sekä FYSP113 Differentiaaliyhtälöt (3/20, 15 %). Näin ollen 60 % opiskelijoista (12/20) oli suorittanut molemmat (joko MATP211 ja MATP212 tai FYSP111 ja FYSP113) esitietoina

esitetyt matemaattiset kurssit. Molemmat matemaattiset kurssit suorittaneiden opiskelijoiden määrä vuosina 2017–2018 oli siis alhaisempi kuin vuonna 2019 kurssin KEMA224 suorittaneilla.

Edelleen taulukosta 22 nähdään, että vuosina 2014–2016 KEMA224 kurssille osallistuneista opiskelijoista (14/49) noin puolet oli suorittanut molemmat fysiikan menetelmäkurssit FYSP111 (8/14, 57 %) ja FYSP113 (7/14, 50 %). Muutama opiskelija oli suorittanut näiden kurssien tilalla matematiikan laitoksen Calculus-kurssit. Myös tässä joukossa (14/49) kaksi kolmesta opiskelijasta (9/14, 64 %) oli suorittanut molemmat matemaattisista esitietokursseista.

Verrattuna aiempien vuosien opiskelijoihin, vuonna 2019 kurssille KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 osallistuneista opiskelijoista suurempi osa oli suorittanut molemmat KEMA224 matemaattiset esitietokurssit ennen kurssin alkamista. Tämä ei kuitenkaan näyttäisi parantaneen opiskelijoiden suoriutumista fysiikaalisen kemian kurssilla, sillä vuonna 2019 keskimääräinen KEMA224 arvosana ($2,9 \pm 1,6$) oli samaa tasoa kuin aiempinakin vuosina (taulukko 17). Toisaalta arvosanojen hajonta vuonna 2019 oli aavistuksen suurempaa kuin aiempina vuosina, arvosanojen painottuessa asteikon ala- ja yläpäihin (kaavio 1). Tämän tutkimuksen aineisto on kuitenkin hyvin pieni, mikä heikentää vuosikohtaisen vertailun luotettavuutta.

Osalla opiskelijoista (8/49, 16 %) oli suorittamatta kaikki tutkintoon kuuluvat matematiikan opinnot kurssille KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 tullessa. Näiden opiskelijoiden matemaattiset taustatietojen voidaan siten olettaa olleen heikolla tasolla kurssia KEMA224 ajatellen. Osalla näistä opiskelijoista saattoi toki olla matemaattista taustaa esimerkiksi aiemmista opinnoista. Vastauksista käy ilmi, että osa opiskelijoista oli suorittanut tutkintoon kuuluvia Calculus-kursseja samanaikaisesti KEMA224 kurssin kanssa, mutta tällöin kurssit eivät tukeneet toisiaan:

V4: "...Samalla kävin calculuksia, mutta monesti sieltä sai fyskoon [kurssiin KEMA224] tarvittavia työkaluja vasta viikon tai useamman jäljessä fyskon etenemiseen nähden."

Ennen kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 opiskelijat olivat suorittaneet keskimäärin kolme yliopistotason matematiikan kurssia ($2,7 \pm 1,5$). Suoritettujen matematiikan kurssien määrässä oli kuitenkin huomattavasti hajontaa. Opiskelijoiden ennen kurssia KEMA224

suorittamien matematiikan kurssien määrää verrattiin opiskelijoiden KEMA224 kurssiarvosanoihin (taulukko 23). Arvosanavertailussa huomioitiin vain kurssin hyväksytysti suorittaneiden opiskelijoiden vastaukset (46/49, 94 %). Lisäksi vain muutamia kursseja suorittaneiden opiskelijoiden kohdalla selvitettiin, sisälsivätkö nämä kurssit KEMA224 matemaattisia esitietokursseja.

Taulukko 23. Opiskelijoiden kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanan ja suoritettujen matematiikan kurssien määrän välinen suhde. Kurssiarvosanoissa on otettu huomioon vain hyväksytysti kurssin suorittaneiden opiskelijoiden arvosanat (n = 46). Hyväksytty suoritus on arvosteltu asteikolla 1–5. Paras mahdollinen arvosana on 5.

| Suoritettujen matematiikan kurssien määrä | Opiskelijoiden määrä | | KEMA224 arvosana | | | | | | |
|---|----------------------|------------|------------------|-----------|----------|----------|----------|------------|------------|
| | n | % | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | KA* | KH* |
| 0 | 4 | 8 | - | 1 | 2 | - | - | 2,7 | 0,5 |
| 1 | 7 | 14 | 2 | 2 | 1 | 1 | - | 2,2 | 1,1 |
| 2 | 11 | 24 | 4 | 1 | 2 | - | 4 | 2,9 | 1,7 |
| 3 | 13 | 27 | 2 | 5 | 4 | 1 | - | 2,3 | 0,8 |
| 4 | 8 | 16 | 1 | 1 | - | 4 | 2 | 3,6 | 1,3 |
| 5 | 4 | 8 | 1 | - | - | 1 | 2 | 3,8 | 1,6 |
| 6 | 2 | 4 | 1 | - | - | - | 1 | 3,0 | 2,0 |
| Yhteensä | 49 | 100 | 11 | 10 | 9 | 7 | 9 | 2,8 | 1,4 |

*KA = keskiarvo, KH = keskihajonta

Opiskelijoista 22 % (11/49) oli suorittanut alle kaksi matematiikan kurssia ennen kurssia KEMA224 (taulukko 23). Näistä opiskelijoista kolmannes (4/11, 36 %) oli suorittanut vain lukion pitkää matematiikkaa kertaavan matematiikan propedeuttisen kurssin MATY010. Myös kaksi kurssia suorittaneista opiskelijoista neljällä (4/11, 36 %) suoritetuista kursseista toinen oli kertaava kurssi MATY010. Yhden matematiikan kurssin suorittaneiden opiskelijoiden (7/49, 14 %) keskimääräinen KEMA224 arvosana ($1,8 \pm 0,7$) oli jopa arvosanaa alhaisempi kuin kaikkien vastaajien keskimääräinen kurssiarvosana ($2,8 \pm 1,4$).

Jopa 29 % (14/49) opiskelijoista oli suorittanut neljä tai useampia matematiikan kursseja (taulukko 23). Näiden opiskelijoiden keskimääräinen KEMA224 arvosana ($3,6 \pm 1,5$) oli huomattavasti keskimääräistä kurssiarvosanaa ($2,8 \pm 1,4$) korkeampi. Viisi matematiikan kurssia suorittaneiden opiskelijoiden (4/49, 8 %) keskimääräinen KEMA224 arvosana

($3,8 \pm 1,6$) oli jopa arvosanan verran kaikkien opiskelijoiden keskimääräistä kurssiarvosanaa korkeampi. Tässä ryhmässä (4/49) opiskelijoiden määrä on kuitenkin hyvin pieni, mikä saattaa vääristää tuloksia.

Alle kaksi matematiikan kurssia suorittaneista opiskelijoista (11/49) yksikään ei ollut saanut kurssista KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanaa 5 (taulukko 23). Kaksi matematiikan kurssia suorittaneista opiskelijoista neljä (4/11, 36 %) oli suorittanut kurssin KEMA224 arvosanalla 5. Vastaavasti yli kolme matematiikan kurssia suorittaneista viisi opiskelijaa (5/14, 36 %) oli saanut arvosanan 5. Oli mielenkiintoista huomata, että kurssin arvosanalla 1 suorittaneita opiskelijoita oli kaikissa ryhmissä, lukuun ottamatta opiskelijoita, jotka eivät olleet suorittaneet yhtään matematiikan kurssia.

Sekä suoritettujen matematiikan kurssien määrän että laadun perusteella opiskelijoiden matemaattisissa valmiuksissa vaikuttaisi olevan suuria eroja fysikaalisen kemian kurssille tullessa. Fysikaalisen kemian kurssi KEMA224 on suositeltu suoritettavaksi kandidaattiopintojen loppupuolella, opintojen kolmannen vuoden ensimmäisessä periodissa.³ Tämän vuoksi olisi oletettavaa, että suurin osa opiskelijoista olisi suorittanut tutkintoon vaadittavat matematiikan opinnot ennen kurssia KEMA224. Oletuksen mukaisesti, suurin osa opiskelijoista (34/49, 69 %) oli suorittanut nämä matematiikan opinnot kurssille tullessaan. Kuitenkin noin viidennekseltä opiskelijoista puuttuivat nämä suoritukset. Samaan aikaan melko isolla osalla opiskelijoista (14/49, 29 %) oli kurssille KEMA224 tullessaan suoritettuna jopa neljä tai useampia matematiikan kursseja.

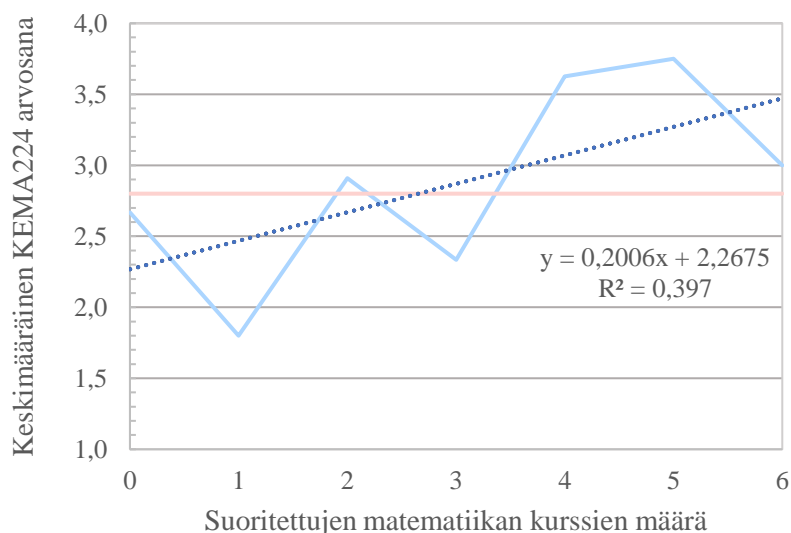
Tutkimusten mukaan opiskelijoiden matemaattisten taitojen suurta hajontaa pidetään merkittävänä haasteena fysikaalisen kemian opetuksessa.⁷⁶ Toisaalta on havaittu, etteivät edes matemaattisesti lahjakkaiksi oletetut opiskelijat välttämättä selviydy termodynamiikan laskennallisista tehtävistä.³⁵ Opiskelijat kokevat termodynamiikan erääksi haastavimmista fysikaalisen kemian aihealueista, sillä sen opiskelu vaatii laajaa matemaattista osaamista.²⁶

Nicoll ja Francisco²⁷ ovat tutkimuksessaan todenneet, että suoritettujen matematiikan kurssien määrä ei näyttäisi korreloivan fysikaalisen kemian kurssiarvosanan kanssa. Hahn ja Polik²² ovat tutkimuksessaan saaneet osoitettua korrelaation fysikaalisen kemian kurssiavosanan ja suoritettujen matematiikan kurssien lukumäärän välillä. Hahn ja Polik pohtivat, että erot tuloksissa voivat johtua erilaisesta aineistonkeruusta. Heidän aineistonsa kerättiin opiskelijoiden opintosuoritusotteista. Nicoll ja Francisco²⁷ keräsivät aineistonsa

kyselytutkimuksella opiskelijoilta, kuten myös tässä tutkielmassa on tehty. Opiskelijoilta kerätyssä aineistossa väärin muistamisen mahdollisuutta ei voida sulkea pois.

Tämän tutkimukset tulosten perusteella suoritettujen matematiikan kurssien määrä ei näyttäisi suoraan ennustavan opiskelijan KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 kurssin arvosanaa. Yli kolme matematiikan kurssia suorittaneiden opiskelijoiden KEMA224 arvosana oli keskimääräistä KEMA224 kurssi-arvosanaa korkeampi, mutta tähän ryhmään mahtui myös useampia kurssin heikolla arvosanalla suorittaneita (taulukko 23). Toisaalta vain yksittäisiä matematiikan kursseja suorittaneissa opiskelijoissa oli kurssilla KEMA224 hyvin menestyneitä.

Suoritettujen matematiikan kurssien määrän ja KEMA224 kurssi-arvosanan välillä on kuitenkin havaittavissa heikkoa korrelaatiota ($R^2 = 0,397$) (kaavio 5). Jokainen suoritettu matematiikan kurssi nosti opiskelijan kurssi-arvosanaa 0,2:lla. Kaaviosta 5 nähdään, että kolme tai useampia matematiikan kursseja suorittaneet opiskelijat menestyivät keskimääräistä paremmin ja alle kolme kurssia suorittaneet keskimääräistä heikommin kurssista KEMA224. On kuitenkin huomattavaa, että puolet (24/49, 49 %) kyselyyn vastanneista opiskelijoista oli suorittanut kaksi tai kolme matematiikan kurssia. Näin ollen muissa ryhmissä vastaajamäärät ovat huomattavasti pienempiä. Tämän vuoksi tulosta voidaan pitää lähinnä suuntaa-antavana.



Kaavio 5. Opiskelijoiden ennen kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suoritettujen matematiikan kurssien määrän ja KEMA224 arvosanan välinen suhde. Kaaviossa näkyvä vaakaviiva arvon 2,8 kohdalla on kaikkien hyväksytysti kurssin suorittaneiden opiskelijoiden keskiarvo.

Hahn ja Polik²² huomasivat tutkimuksessaan, että pelkkä altistuminen matematiikalle ei takaa riittäviä matemaattisia valmiuksia kemian opintoihin. Heidän mukaansa matematiikan kursseista saatu arvosana vaikuttaisi olevan suoritettujen kurssien määrää olennaisempi tekijä opiskelijoiden matemaattisia valmiuksia arvioitaessa. Etenkin laskentopainotteisilla (*Calculus*) matematiikan kursseilla menestymisen on havaittu ennustavan suoriutumista fyysikaalisen kemian kursseista.²⁹ Näillä matematiikan kursseilla heikosti menestyneet opiskelijat kohtasivat todennäköisemmin ongelmia myös fyysikaalisen kemian kursseista suoriutumisessa. Tässä tutkimuksessa opiskelijoilta ei kysytty suoritettujen matematiikan kurssien arvosanoja, joten vastaavaa vertailua ei pystytty tekemään.

Suomen yliopistoissa kemian opintonsa aloittavien opiskelijoiden matemaattisten taitojen hajontaa lisäävänä tekijänä on pidetty myös toisen asteen koulutuksen matematiikan opintojen laajuuden valinnaisuutta.⁷⁶ Tässä tutkimuksessa toisen asteen matematiikan opintojen laajuuden vaikutus on kuitenkin hyvin pieni, sillä kyselyyn vastanneista 49 opiskelijasta vain kuusi (12 %) oli suorittanut 2. asteen koulutuksessa lyhyen matematiikan oppimäärän. Näistä opiskelijoista yksi ei ollut suorittanut mitään kysytyistä yliopistotason matematiikan kursseista ja yksi vain propedeuttisen matematiikan kurssin ennen fyysikaalisen kemian opintojaan (taulukko 24). Loput (5/6) lyhyen matematiikan suorittaneet olivat yliopistossa suorittaneet KEMA224 esitietovaatimuksena olevat Calculus-kurssit MATP211 ja MATP212. Kaikki kuusi opiskelijaa kuvasivat omia matemaattisia taitojaan positiiviseen sävyyn.

Keskimääräisiä kurssiarvosanoja verratessa lyhyen ja pitkän matematiikan suorittaneiden opiskelijoiden välillä on kuitenkin huomattava ero. Lyhyen matematiikan suorittaneiden opiskelijoiden keskimääräinen KEMA224 kurssiarvosana ($2,3 \pm 1,2$) oli puoli numeroa kaikkien kyselyyn vastanneiden opiskelijoiden keskimääräistä arvosanaa ($2,8 \pm 1,4$) heikompi. Pitkän matematiikan suorittaneiden opiskelijoiden (43/49, 88 %) keskimääräinen KEMA224 arvosana oli ($2,9 \pm 1,5$). Lyhyen matematiikan suorittaneiden opiskelijoiden määrä oli kuitenkin erittäin pieni, mikä heikentää tuloksen luotettavuutta.

Vain lyhyen matematiikan suorittaneiden opiskelijoiden ryhmässä (6/49), suoritettujen matematiikan kurssien määrällä ei näyttäisi olevan merkitystä fyysikaalisen kemian kursseilla menestymiseen, sillä esimerkiksi vain propedeuttisen matematiikan suorittanut opiskelija sai kurssista arvosanan 4 kun toisaalta viisi matematiikan kurssia suorittanut opiskelija suoritti KEMA224 kurssin arvosanalla 1. Tämä tulos osoittaa, että toisen asteen koulutuksessa lyhyen

matematiikan oppimäärän suorittaneet opiskelijat voivat menestyä hyvin matemaattisesti haastavalla fysikaalisen kemian kurssilla.

Taulukko 24. Lyhyen matematiikan pohjatiedot suorittaneiden opiskelijoiden yliopistotason matemaattinen tausta ennen kurssia KEMA224, kokemus omista matemaattisista taidoista sekä KEMA224 arvosana.

| Ennen KEMA224 suoritettut matematiikan kurssit** | Oma kokemus matemaattisista taidoista* | KEMA224 arvosana |
|--|--|------------------|
| MATY010, MATP211, MATP212 | Peruslaskutaidot | 2 |
| MATP211, MATP212 | Peruslaskutaidot | 1 |
| MATY010 | Etevä | 4 |
| MATY010, MATP211, MATP212, MATP213 | Peruslaskutaidot | 4 |
| - | Peruslaskutaidot | 2 |
| MATY010, MATP211, MATP212, MATP213, MATP121 | Peruslaskutaidot | 1 |

*Luokittelu kuten taulukossa 20

** MATY010 Matematiikan propedeuttinen kurssi, MATP211 Calculus 1, MATP212 Calculus 2, MATP213 Calculus 3, MATP121 Lineaarinen algebra ja geometria

13.3.4 Suoritettujen matematiikan kurssien hyödyllisyys

Opiskelijoita pyydettiin arvioimaan suorittamiensa matematiikan kurssien hyödyllisyyttä fysikaalisen kemian kurssin KEMA224 kannalta numeerisesti (kysymys 11, väite 1, liite 4). Opiskelijoiden vastaukset ryhmiteltiin suoritettujen matematiikan kurssien määrän mukaisesti opiskelijoiden matemaattisten taustatietojen vaikutuksen arvioimiseksi.

Opiskelijat kokivat suoritettut matematiikan kurssit jokseenkin hyödyllisiksi ($2,9 \pm 1,0$) kurssin KEMA224 kannalta (taulukko 25). Vastauksissa oli odotetusti melko paljon hajontaa, sillä opiskelijoiden suorittamien matematiikan kurssien määrä ($2,7 \pm 1,6$) vaihteli myös paljon. Täysin eri mieltä väitteen kanssa olevia opiskelijoita (4/48, 8 %) oli vain alle kolme matematiikan kurssia suorittaneiden ryhmissä.

Taulukko 25. Opiskelijoiden kokemus suorittamiensa matematiikan kurssien hyödyllisyydestä kurssin KEMA224, Fysikaalinen kemia 1 suorittamisen kannalta (kysymys 11, väite 1, liite 4) suhteessa suoritettujen matematiikan kurssien määrään.

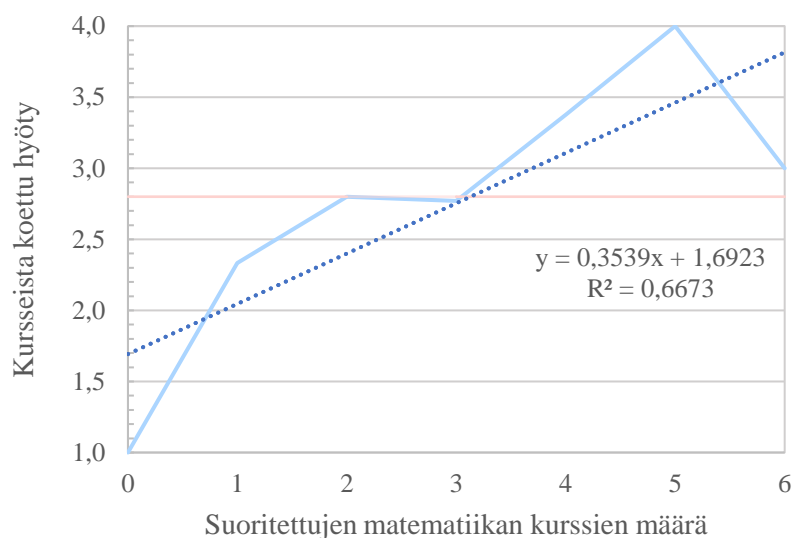
| Väite: Suorittamistani yliopiston matematiikan kursseista oli hyötyä kurssilla KEMA224 | Suoritettujen matematiikan kurssien määrä | | | | | | | | Yhteensä | Keski-arvo | Keskihajonta |
|--|---|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|--------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | |
| 4, Täysin samaa mieltä | - | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 | 15 | 3,7 | 1,3 | |
| 3, Jokseenkin samaa mieltä | - | 2 | 5 | 4 | 3 | - | - | 14 | 2,6 | 1,0 | |
| 2, Jokseenkin eri mieltä | - | 1 | 2 | 6 | 1 | - | 1 | 11 | 3,0 | 1,2 | |
| 1, Täysin eri mieltä | 1 | 2 | 1 | - | - | - | - | 4 | 1,0 | 0,7 | |
| En osaa sanoa | 2 | 1 | 1 | - | - | - | - | 4 | 0,8 | 0,8 | |
| Yhteensä | 3 | 7 | 11 | 13 | 8 | 4 | 2 | 48 | 2,8 | 1,5 | |
| Keskiarvo | 1,0 | 2,3 | 2,8 | 2,8 | 3,4 | 4,0 | 3,0 | 2,9 | | | |
| Keskihajonta | 0,0 | 1,1 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | | | |

Opiskelijoista 11 (11/48, 23 %) oli jokseenkin eri mieltä suorittamiensa matematiikan kurssien hyödyllisyydestä (taulukko 25). Tässä ryhmässä (11/48) opiskelijat olivat suorittaneet keskimäärin kolme matematiikan kurssia ($3,0 \pm 1,2$). Näiden opiskelijoiden keskimääräinen KEMA224 kurssiarvosana oli 1,6 ($\pm 0,7$), mikä oli selkeästi alle kaikkien vastaajien keskimääräisen kurssiarvosanan ($2,8 \pm 1,4$). Kuitenkin nämä opiskelijat (11/48) olivat jokseenkin eri mieltä ($2,4 \pm 1,0$) siitä, että kurssin matemaattisuus olisi ollut heille esteenä kurssilla etenemisessä (kysymys 11, väite 8, liite 4).

Lähes kaikki (12/14) neljä tai useampia matematiikan kursseja suorittaneet opiskelijat kokivat hyötynsä ($3,5 \pm 0,7$) näiden kurssien sisällöistä myös kurssilla KEMA224 (taulukko 25). Näiden opiskelijoiden KEMA224 kurssiarvosana ($4,0 \pm 1,2$) oli huomattavasti keskimääräistä kurssiarvosanaa ($2,8 \pm 1,4$) korkeampi. Vain yhden matematiikan kurssin suorittaneilla opiskelijoilla kokemus kyseisen kurssin hyödyllisyydestä oli keskimääräistä ($2,7 \pm 1,0$) hieman heikompi ($2,3 \pm 1,1$).

Taulukon 25 tuloksissa havaittiin selkeä korrelaatio ($R^2 = 0,667$) suoritettujen matematiikan kurssien määrän ja kursseista koetun hyödyn kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 välillä (kaavio 6). Jokainen suoritettu matematiikan kurssi nosti hyödyllisyyden kokemusta 0,4:llä. On

siis selvää, että opiskelijoiden tulisi suorittaa fysikaalisen kemian esitietovaatimuksina esitetyt matematiikan kurssit ennen kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suorittamista.



Kaavio 6. Ennen kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suoritettujen matematiikan kurssien määrän ja niistä kurssin KEMA224 suhteen koetun hyödyn välinen suhde. Hyötyä arvioitiin väitteellä: ”Suorittamistani yliopiston matematiikan kursseista oli hyötyä kurssilla Fysikaalinen kemia 1” Likert-asteikon vastausvaihtoehdoin: 1 = Täysin eri mieltä, 2 = Jokseenkin eri mieltä, 3 = Jokseenkin samaa mieltä, 4 = Täysin samaa mieltä (kysymys 11, väite 1, liite 4). Kaaviossa näkyvä vaakaviiva arvon 2,8 kohdalla on keskimääräinen matematiikan kursseista koettu hyöty.

Opiskelijoita pyydettiin lisäksi kertomaan, miten heidän suorittamansa matematiikan kurssit tukivat kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suorittamista (kysymys 9, liite 4). Kysymykseen vastasi 45 opiskelijaa (45/49, 92 %). Avoimen kysymyksen analysoinnissa on kiinnitetty huomiota myös siihen, mitä matematiikan kursseja opiskelija on suorittanut (taulukot 22 ja 23).

Opiskelijoista 27 (27/45, 60 %) kuvasi suorittamistaan matematiikan kursseista olleen jonkinlaista hyötyä fysikaalisen kemian kurssien suorittamisessa. Numeerisen vastauksen tulosten mukaisesti myös avoimessa vastauksessa kaikki yli kolme matematiikan kurssia suorittaneet opiskelijat (14/49) mainitsivat suorittamiensa kurssien tukeneen KEMA224 suorittamista jollain tapaa. Suuressa osassa positiivisista kuvauksista (13/27, 48 %) suoritettujen kurssien koettiin kerranneen ja palauttaneen mieleen lukiossa opiskeltuja matematiikan teemoja ja antaneen hyvän peruslaskutaidon.

Matematiikan sisällöistä erityisesti integroinnin kertaaminen ja uusien integrointitekniikoiden oppiminen koettiin hyödylliseksi. Integroinnin opiskelun hyödyllisyyden mainitsi 15 opiskelijaa (15/45, 33 %), joista kuusi (6/15) oli suorittanut myös integrointiin keskittyvän valinnaisen matematiikan kurssin MATP213 Calculus 3. Integroinnin lisäksi myös derivoinnin mieleen palauttaminen mainittiin hyödylliseksi kuudessa vastauksessa (6/45, 13 %). Eräs KEMA224 matemaattiset esitietokurssit MATP211 Calculus 1 ja MATP212 Calculus 2 suorittanut opiskelija kuvasi:

V8: ”Integrointi oli tuttua calculus-kursseilta ja oli avuksi Fysikaalisessa kemiassa”

Avoimeen kysymykseen vastanneista opiskelijoista kolmannes (15/45, 33 %) kertoi, etteivät suoritetut matematiikan kurssit tukeneet kurssin KEMA224 suorittamista millään tapaa. Näistä opiskelijoista puolet (8/15, 53 %) oli suorittanut molemmat KEMA224 kurssille esitetyt matemaattiset esitietokurssit ja neljällä (4/15, 27 %) oli suoritettuna vain toinen esitietokursseista. Matemaattiset kurssit hyödyttömiksi kokeneista opiskelijoista neljä (4/15, 27 %) oli suorittanut Calculus-kurssien sijasta vanhoja fysiikan menetelmäkursseja. Kaksi opiskelija koki esitietoina esitettyjen matematiikan kurssien MATP211 Calculus 1 sekä MATP212 Calculus 2 kertaavan vain lukiossa opittua, kun fysikaalisen kemian opiskeluun vaadittaisiin syvempää matematiikan osaamista. Eräs KEMA224 matemaattiset esitietokurssit MATP211 ja MATP212 suorittanut opiskelija kuvasi:

V14: ”Eivät tukeneet. Kursseista on kolmosluokalla jo aikaa, ja ne ovat aikalailla lukiomatikan kertausta. Fysikossa tarvittaisiin vähän syvempää matikkaa.”

Tuloksissa nousee selkeästi esille opiskelijoiden kokemus integrointitekniikoiden opiskelun hyödyllisyydestä fysikaalisen kemian opintojen kannalta. Tulos on erittäin looginen, sillä nimenomaan integraalin ja derivaatan käsitteiden ymmärtäminen on keskeistä fysikaalisen kemian matemaattisten ongelmien kannalta.³⁵ Peruslaskutaidon hallinta vähentää työmuistin kuormittumista³³ ja siten auttaa opiskelijaa keskittymään kemiallisen ilmiön ymmärtämiseen matemaattisten menetelmien opettelemisen sijasta.^{28,37} Opiskelijat kokivatkin myös peruslaskutaidon vahvistumisen auttaneen kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suoriutumisessa. Kuitenkin suuri osa opiskelijoista olisi kaivannut kurssilla KEMA224 myös syvempää matemaattisten teemojen hallintaa.

Opiskelijoiden kokemukset matematiikan kurssien hyödyistä fysikaalisen kemian opintojen kannalta vaihtelivat melko paljon. Myös samoja kursseja suorittaneiden opiskelijoiden kokemukset vaihtelivat huomattavasti, mikä tukee aiempia tutkimustuloksia²² siitä, että pelkkä altistuminen matematiikalle ei riitä takaamaan fysikaalisen kemian kannalta riittäviä matemaattisia taitoja. Oppimisen laatuun ja määrään vaikuttavat muun muassa opiskelijan motivaatio ja opiskelutekniikat.^{47,55,57} Matemaattisen osaamisen soveltamisen kemian kontekstissa on havaittu vaativan matematiikan konseptuaalista ymmärrystä.⁸² On mahdollista, että erilaiset kokemukset samojen kurssien hyödyllisyydestä johtuisivat eritasoisesta oppimisesta kyseisillä kursseilla. Kursseilla paremmin menestyneet opiskelijat saattavat kyetä siirtämään osaamistaan paremmin kontekstien välillä ja näin ollen hyötyvät matematiikan kursseista enemmän. Tässä tutkimuksessa ei kysytty opiskelijoiden matematiikan kurssien arvosanoja, joten tällaista vertailua ei pystytty tekemään.

13.3.5 Matemaattisten taitojen riittävyys

Kuten edellä on todettu, suoritettujen matematiikan kurssien määrä tai pelkkä matematiikalle altistuminen eivät riitä takaamaan opiskelijoille hyviä matemaattisia taitoja.^{22,27} Tässä tutkimuksessa selvitettiin opiskelijoiden kokemuksia omien matemaattisten taitojensa riittävydestä kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (kysymykset 10 ja 11, liite 4). Lisäksi selvitettiin, millaisia matemaattisia taitoja opiskelijat olisivat omasta mielestään tarvinneet, jotta olisivat menestyneet paremmin kurssilla KEMA224 (kysymys 12, liite 4).

Taulukossa 26 on esitetty opiskelijoiden vastaukset kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 matemaattisuutta koskeviin väittämiin (kysymys 11, liite 4). Taulukosta nähdään, että opiskelijoiden kokemus omien matemaattisten taitojen riittävydestä kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suorittamisen kannalta oli melko positiivinen ($2,7 \pm 1,0$), mutta vastauksissa oli jälleen paljon hajontaa. Opiskelijoista puolet (28/49, 57 %) oli jossain määrin tai täysin samaa mieltä siitä, että heillä oli kurssilla tarvittavat matemaattiset taidot (väite 2). Suurin osa opiskelijoista (34/49, 69 %) ei pitänyt kurssin matemaattisuutta esteenä kurssilla etenemisen kannalta. Kurssin koettiin myös opettaneen uusia matemaattisia taitoja (30/49, 61 %) sekä vahvistaneen matemaattista osaamista (35/49, 71 %).

Taulukko 26. Opiskelijoiden kokemukset kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 matemaattisuudesta (kysymys 11, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä, EOS = en osaa sanoa

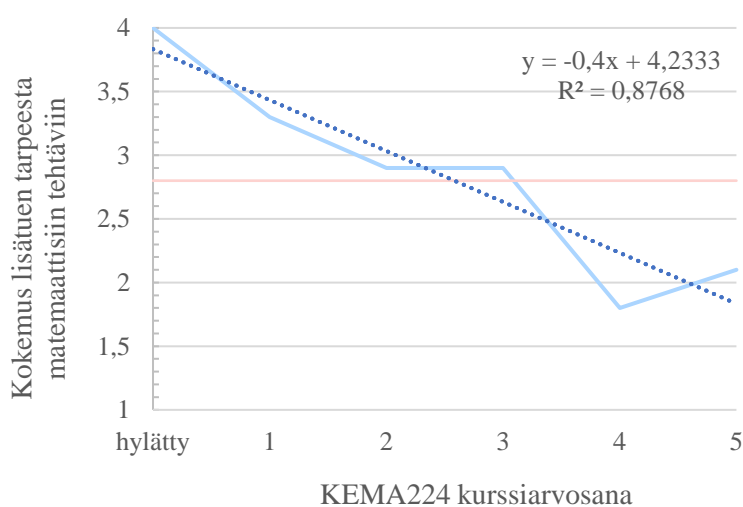
| Väite | Opiskelijoiden vastaukset (n) | | | | | | | |
|---|-------------------------------|----|----|----|-----|-----|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS | YHT | KA* | KH* |
| 1. Suorittamistani yliopiston matematiikan kurseista oli hyötyä kurssilla KEMA224 | 4 | 11 | 14 | 15 | 4 | 48 | 2,9 | 1,0 |
| 2. Minulla oli kurssilla tarvittavat matemaattiset taidot. | 8 | 13 | 15 | 13 | 0 | 49 | 2,7 | 1,0 |
| 3. Kurssi vahvisti matemaattista osaamistani. | 4 | 6 | 28 | 7 | 4 | 49 | 2,8 | 0,8 |
| 4. Kurssi opetti minulle uusia matemaattisia taitoja. | 5 | 13 | 20 | 10 | 1 | 49 | 2,7 | 0,9 |
| 5. Olisin tarvinnut kurssilla enemmän tukea matemaattisiin tehtäviin. | 5 | 14 | 15 | 13 | 1 | 48 | 2,8 | 1,0 |
| 6. En oppinut tarvittavia matemaattisia taitoja kurssin aikana. | 12 | 17 | 11 | 5 | 3 | 48 | 2,2 | 1,0 |
| 7. Kurssilla keskityttiin liikaa matemaattisten taitojen oppimiseen. | 11 | 21 | 7 | 4 | 5 | 48 | 2,1 | 0,9 |
| 8. Matemaattisuus oli minulle este kurssilla etenemiseen. | 22 | 12 | 9 | 5 | 1 | 49 | 1,9 | 1,0 |

*KA = keskiarvo, KH = keskihajonta

Vaikka suuri osa opiskelijoista koki matemaattiset taitonsa riittäviksi kurssin KEMA224 kannalta, niin opiskelijat olisivat kaivanneet kurssilla enemmän tukea matemaattisiin tehtäviin (väite 5, taulukko 26). Puolet opiskelijoista (28/48, 58 %) oli jokseenkin tai täysin samaa mieltä siitä, että tukea olisi tarvittu enemmän. Näistä opiskelijoista suurin osa (21/28, 75 %) oli suorittanut vähintään toisen matemaattisista esitietokursseista (FYSP111 tai MATP211) ja 12 opiskelijaa (12/28, 43 %) oli suorittanut molemmat esitietokursseista (FYSP111 ja FYSP113 tai MATP211 ja MATP212).

Tarkemmassa tutkimusaineiston tarkastelussa havaittiin, että myös matemaattiset taitonsa riittäviksi kokeneiden (väite 2, taulukko 26) opiskelijoiden joukosta kolmannes (10/28, 36 %) ilmoitti kaivanneensa enemmän tukea matemaattisiin tehtäviin. Mielenkiintoista oli, että useat tukea kaivanneista opiskelijoista (18/28, 64 %) olivat kuitenkin jossain määrin tai täysin samaa mieltä siitä, että kurssilla keskityttiin liikaa matemaattisten taitojen oppimiseen (väite 7, taulukko 26).

Tuen tarpeen kokemuksen havaittiin korreloivan ($R^2 = 0,877$) opiskelijoiden KEMA224 kurssiarvosanan kanssa (kaavio 7). Kokemus tuen tarpeesta väheni 0,4:llä arvosanan noustessa yhdellä. Arvosanan viisi tai neljä saaneet opiskelijat (15/49, 31 %) olivat jokseenkin eri mieltä ($2,0 \pm 0,7$) väitteen: ”olisin tarvinnut kurssilla enemmän tukea matemaattisiin tehtäviin” kanssa. Kuitenkin vain kaksi arvosanan viisi saaneista opiskelijoista (2/9) oli täysin eri mieltä väitteen kanssa. Näin ollen myös kurssilla erityisen hyvin pärjänneet opiskelijat kokivat tarvinneensa enemmän tukea matemaattisten tehtävien tekemiseen. Opiskelijat, jotka eivät olleet saaneet kurssia suoritettua (3/49) olivat yksimielisiä siitä, että matemaattisiin tehtäviin olisi tarvittu enemmän tukea ($4,0 \pm 0,0$).



Kaavio 7. Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanan suhde siihen, miten vahvasti opiskelijat kokivat, tarvinneensa lisätukea kurssin matemaattisiin tehtäviin (kysymys 11, väite 5, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä. Kaaviossa näkyvä vaakaviiva arvon 2,8 kohdalla kuvaa opiskelijoiden keskimääräistä kokemusta.

Kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 matemaattisia tehtäviä sisälsivät etenkin kurssiarvosteluun vaikuttavat itsenäisesti suoritettut harjoitustehtävät sekä ohjatusti pienryhmissä suoritettut ohjaustehtävät (kuvaukset luvussa 13.1.1). On mielenkiintoista, että opiskelijoiden keskimääräinen kokemus saadun tuen riittävydestä oli samaa luokkaa sekä itsenäisen että ohjatun työskentelyn osalta (taulukko 27). Opiskelijoista 31 % (15/49) oli jokseenkin tai täysin eri mieltä siitä, että sai tarpeeksi tukea harjoitustehtävien tekemiseen. Ohjaustehtävien kohdalla tilanne oli hieman parempi, vastaavan prosentin ollessa 20 % (10/49). Kyselyn lopussa olleeseen vapaan sanan kenttään (kysymys 27, liite 4) kolme opiskelijaa

kommentoi kaivanneensa kurssille ”ohjaustilaisuutta”, jossa olisi saanut tukea kurssin arvosteluun vaikuttaviin, itsenäisesti tehtäviin harjoitustehtäviin.

Taulukko 27. Opiskelijoiden kokemukset saamansa tuen riittävydestä kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 tehtäviin. Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä, EOS = en osaa sanoa

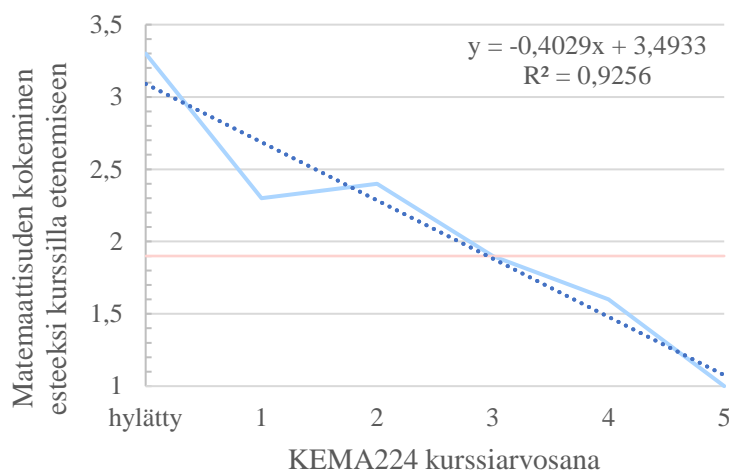
| Väite | Opiskelijoiden vastaukset (n) | | | | | | KA* | KH* |
|--|-------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS | YHT | | |
| 1. Sain tarpeeksi tukea harjoitustehtävien tekemiseen. | 4 | 11 | 21 | 10 | 3 | 49 | 2,8 | 0,9 |
| 2. Sain tarpeeksi tukea ohjaustehtävien tekemiseen. | 2 | 8 | 22 | 9 | 8 | 49 | 2,9 | 0,8 |

*KA = keskiarvo, KH = keskihajonta

Moni opiskelija (21/49, 43 %) koki jonkin verran puutteita kurssin suorittamisen kannalta tarpeellisissa matemaattisissa taidoissaan (väite 2, taulukko 26). Tarkemmassa aineiston tarkastelussa havaittiin, että tässä ryhmässä opiskelijat kokivat oppineensa kurssin KEMA224 aikana uusia matemaattisia taitoja ($3,0 \pm 0,8$) keskimääräistä ($2,7 \pm 0,9$) enemmän sekä kurssin vahvistaneen heidän matemaattista osaamistaan ($2,8 \pm 0,7$). Toisaalta taitonsa puutteelliseksi kokeneista opiskelijoista noin puolet (12/21, 57 %) koki, ettei kurssin aikana oppinut tarvittavia matemaattisia taitoja ja näin ollen kurssin matemaattisuus oli heille ainakin jossain määrin esteenä kurssilla etenemiseen. Matemaattisuuden kokeminen esteeksi kurssilla etenemiseen ($2,6 \pm 1,0$) oli huomattavasti keskimääräistä ($1,9 \pm 1,0$) voimakkaampaa matemaattiset taitonsa riittämättömiksi kokeneiden opiskelijoiden joukossa (21/49).

Kaikkiaan viisi opiskelijaa (5/49, 10 %) oli täysin samaa mieltä ja jopa yhdeksän opiskelijaa (9/49 18 %) jokseenkin samaa mieltä siitä, että kurssin matemaattisuus oli heille este kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 etenemiseen (väite 8, taulukko 26). Näin ollen huomattava määrä opiskelijoista (14/49, 29 %) koki, että kurssin matemaattisuus oli heille jossain määrin esteenä kurssilla etenemiselle. Näistä opiskelijoista kaksi ei ole saanut kurssia hyväksytysti suoritettuja ja muiden (12/14) keskimääräinen arvosana ($1,8 \pm 0,8$) oli selvästi kaikkien kyselyyn vastanneiden keskimääräistä KEMA224 kurssiarvosanaa ($2,8 \pm 1,4$) alhaisempi.

Matematiikan kokemisen esteeksi havaittiin korreloivan vahvasti ($R^2 = 0,926$) opiskelijan KEMA224 kurssi-arvosanan kanssa (kaavio 8). Kurssista arvosanan viisi (9/49, 18 %) saaneet opiskelijat olivat yksimielisiä siitä, että matemaattisuus ei tuottanut heille esteitä kurssilla etenemiseen ($1,0 \pm 0,0$). Opiskelijat, jotka eivät olleet saaneet kurssia hyväksytysti suoritettua (3/49, 6 %), olivat jokseenkin samaa mieltä ($3,3 \pm 1,9$) väitteen kanssa. Matemaattisuuden kokeminen esteeksi kurssilla KEMA224 etenemiseen väheni noin 0,4:llä kurssi-arvosanan noustessa yhdellä.



Kaavio 8. Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanan suhde siihen, miten vahvasti opiskelijat kokivat matematiikan esteeksi kurssille KEMA224 etenemiselle (kysymys 11, väite 8, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä. Kaaviossa näkyvä vaakaviiva arvon 1,9 kohdalla kuvaa opiskelijoiden keskimääräistä kokemusta.

Tutkimusten mukaan matemaattisuus on eräs suurimmista oppimisvaikeuksiin johtavista tekijöistä fysikaalisen kemian kursseilla.^{26,28,30,77} Myös tämän tutkimuksen tuloksista käy ilmi, että opiskelijat kokevat fysikaalisen kemian kurssin KEMA224 matemaattisuuden haasteelliseksi. Opiskelijoiden kokemukset lisätuen tarpeesta matemaattisiin tehtäviin sekä matemaattisuuden kokeminen esteeksi kurssilla KEMA224 etenemiselle saattavat olla yhteydessä toisiinsa. Tarjolla olevan tuen riittämättömyys voi johtaa oppimisvaikeuksiin ja sitä kautta opiskelija voi kokea kurssin matemaattisuuden esteeksi kurssilla etenemiselle.

Kyselyssä opiskelijoita pyydettiin pohtimaan matemaattisten taitojensa riittävyyttä vielä tarkemmin, fysikaalisen kemian kannalta olennaisten matemaattisten teemojen osalta (kysymys 10, liite 4). Tulokset on esitetty taulukossa 28. Väitteisiin valittiin samat

matematiikan aihepiirit, joiden osaamista mitattiin syksyn 2019 KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 kurssille osallistuneille opiskelijoille järjestetyssä esitietokyselyssä.

Taulukko 28. Opiskelijoiden kokemukset fysikaalisen kemian opiskelussa tarvittavien matemaattisten taitojensa riittävydestä kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suorittamisen kannalta (kysymys 10, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä, EOS = en osaa sanoa

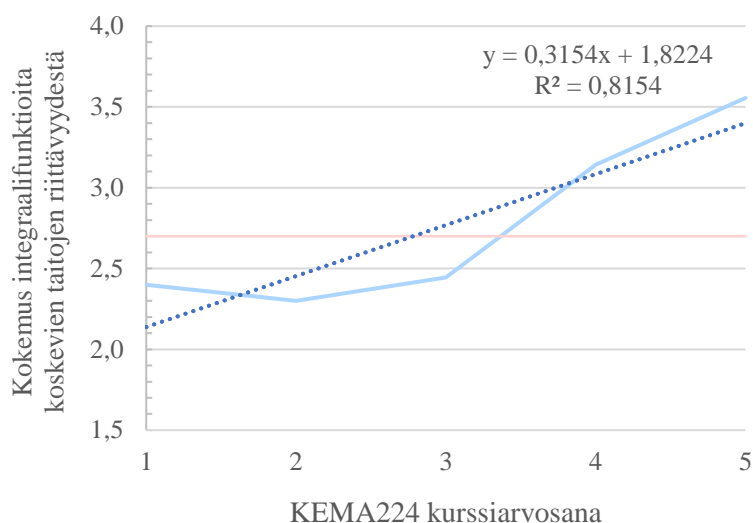
| Väite | Opiskelijoiden vastaukset (n) | | | | | | | |
|---|-------------------------------|----|----|----|-----|-----|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS | YHT | KA* | KH* |
| 1. Taustatietoni logaritmifunktioista olivat riittävät. | 4 | 6 | 20 | 18 | 1 | 49 | 3,1 | 0,9 |
| 2. Taustatietoni eksponenttifunktioista olivat riittävät. | 5 | 7 | 17 | 18 | 2 | 49 | 3,0 | 1,0 |
| 3. Taustatietoni derivaattafunktioista olivat riittävät. | 6 | 12 | 15 | 14 | 2 | 49 | 2,8 | 1,0 |
| 4. Taustatietoni integraalifunktioista olivat riittävät. | 9 | 11 | 16 | 12 | 1 | 49 | 2,6 | 1,1 |
| 5. Taustatietoni trigonometrisistä funktioista olivat riittävät. | 4 | 8 | 20 | 16 | 1 | 49 | 3,0 | 0,9 |
| 6. Taustatietoni kuvaajien piirtämisestä ja tulkitsemisestä olivat riittävät. | 3 | 3 | 18 | 24 | 1 | 49 | 3,3 | 0,8 |

*KA = keskiarvo, KH = keskihajonta

Opiskelijat kokivat matemaattiset taustatietonsa jokseenkin riittäviksi kaikissa kysytyissä teemoissa (taulukko 28). Erityisesti kuvaajien piirtämisen ja tulkitsemisen osalta (väite 6, taulukko 28) opiskelijoiden kokemukset tietojensa riittävydestä olivat hyvin positiivisia ($3,3 \pm 0,8$). Kuvatessaan matemaattisia taitojaan, osa opiskelijoista mainitsi differentiaalilaskennan olevan heille haastavaa (taulukko 21). Taulukosta 28 nähdään, että nimenomaan derivaattafunktioiden ($2,8 \pm 1,0$) ja integraalifunktioiden ($2,6 \pm 1,1$) osalta opiskelijat kokivat taitonsa olevan puutteellisimmat kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suorittamisen kannalta.

Aineiston tarkemmassa tarkastelussa havaittiin taulukossa 28 esitettyjen matemaattisten taitojen riittävyden kokemuksen olevan yhteydessä opiskelijan KEMA224 kurssiarvosanaan kuvaajien tulkintaa ja piirtämistä lukuun ottamatta. Mitä paremmin opiskelijat menestyivät kurssilla KEMA224 sitä voimakkaammin matemaattiset taidot koettiin riittäviksi kurssin suorittamisen kannalta. Erityisesti integraaliyhtälöiden kohdalla kurssilla paremmin

menestyneet opiskelijat kokivat voimakkaammin, että heidän taitonsa olivat riittävät (kaavio 9). Riittävyden kokemus kasvoi 0,3:lla kurssiarvosanan noustessa yhdellä.



Kaavio 9. Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanan suhde siihen, kokivatko opiskelijat matemaattiset taitonsa integraalifunktioiden osalta riittäviksi kurssilla KEMA224 (kysymys 10, väite 4, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä. Kaaviossa näkyvä vaakaviiva arvon 2,7 kohdalla kuvaa opiskelijoiden keskimääräistä kokemusta.

Opiskelijoita pyydettiin lisäksi pohtimaan, mitä matemaattisia taitoja he olisivat tarvinneet suoriutuakseen paremmin kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (kysymys 12, liite 4). Kysymykseen vastasi 35 opiskelijaa (35/49, 71 %). Yleisimmin mainitut matemaattiset taidot on esitetty taulukossa 29. Taulukossa esitettyjen taitojen lisäksi yksittäiset opiskelijat mainitsivat, että logaritmi- ja eksponenttifunktioiden ratkaisumenetelmien parempi hallinta olisi auttanut kurssilla KEMA224. Viisi opiskelijaa (5/35, 14 %) vastasi kokeneensa, että kurssilla KEMA224 menestyminen ei heidän kohdallaan johtunut matemaattisten taitojen puutteesta.

Taulukko 29. Matemaattisia taitoja, joita opiskelijat kokivat tarvitseensa, jotta olisivat suoriutuneet paremmin kurssista KEMA224 Fysikaalinen kemia 1. Derivoinnin osalta taulukossa on eroteltu sulkumerkinnällä vastaukset, joissa mainittiin erityisesti osittaisderivointi

| Matemaattinen taito | n | % |
|---|-----|------|
| Integrointi | 9 | 26 |
| Derivointi | 9 | 26 |
| - Osittaisderivointi | (6) | (17) |
| Matemaattinen hahmottaminen | 5 | 14 |
| Differentiaaliyhtälöiden ratkaisumenetelmät | 4 | 11 |
| Analyysi, yhtälöiden johtaminen | 3 | 9 |

Opiskelijat kokivat, että syvempi osaaminen etenkin integroinnin ja derivoinnin osalta olisi auttanut suoriutumaan paremmin kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (taulukko 29). Tämä tulos tukee taulukossa 28 esitettyjä opiskelijoiden numeerisia arvioita matemaattisten taustatietojensa riittävydestä kurssilla KEMA224. Myös numeeristen arvioiden mukaan opiskelijat kokivat integraali- ja derivaattafunktioiden osalta taustatietonsa kaikista heikoimmiksi. Muutama opiskelija nosti differentiaalilaskennan esiin haastavana teemana jo kuvatessaan matemaattisia taitojaan (taulukko 21).

Derivaattafunktiota käsitellään kemian opiskelijoille pakollisella matematiikan kurssilla MATP211 Calculus 1.¹¹ Tämän kurssin suorittaneiden opiskelijoiden (29/49, 59 %) kokemus taustatietojensa riittävydestä derivaattafunktioiden osalta oli jokseenkin positiivinen ($2,9 \pm 1,0$), mutta hajonta on kuitenkin melko suurta. Avoimissa vastauksissa derivoinnin maininneista opiskelijoista useampi (6/9) tarkensi, että erityisesti osittaisderivaatan merkityksen ja siihen liittyvien merkintöjen tunteminen olisi ollut hyödyllistä kurssin KEMA224 suorittamisen kannalta (taulukko 29). Fysikaalisen kemian ilmiöitä kuvaavissa funktioissa on monesti useita muuttujia. Kurssilla MATP211 käsitellään derivaattafunktioita vain yhden muuttujan tapauksissa¹¹, mikä saattaa olla yksi taitojen riittävyden kokemukseen vaikuttava tekijä.

Integraalifunktioita käsitellään jonkin verran kemian opiskelijoille pakollisella matematiikan kurssilla MATP212 Calculus 2.¹² Kurssilla keskitytään integroinnin osalta lähinnä Riemannin integraalin määrittelyyn sekä sen perustapauksiin. Myös kurssilla MATP212 käsiteltävät

tapaukset ovat yhden muuttujan funktioita. Tämän kurssin suorittaneiden opiskelijoiden (24/49, 49 %) kokemus integrointitaitojen riittävydestä ($2,8 \pm 1,0$) kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 kannalta oli hieman keskimääräistä ($2,6 \pm 1,1$) positiivisempi. Avoimissa vastauksissa yhdeksän opiskelijaa (9/35, 26 %) mainitsi kokeneensa tarvetta integraalifunktioiden paremmalle hallinnalle (taulukko 29). Näistä opiskelijoista seitsemän (7/9) oli suorittanut fysikaalisen kemian matemaattiset esitietokurssit MATP211 Calculus 1 ja MATP212 Calculus 2.

Monipuolisemmin integrointitekniikoihin sekä osittaisintegrointiin perehdytään vasta kemian opiskelijoille valinnaisella matematiikan kurssilla MATP213 Calculus 3.¹³ Tämän kurssin suorittaneiden opiskelijoiden (13/49, 27 %) kokemus taustatietojensa riittävydestä integraalifunktioiden osalta oli erittäin positiivinen ($3,2 \pm 0,7$). Noin puolet kurssin MATP213 suorittaneista opiskelijoista (6/13, 46 %) oli täysin samaa mieltä siitä, että heidän taustatietonsa tässä teemassa olivat riittävät kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 kannalta.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella vaikuttaisi, että erityisesti integraalifunktioiden osalta fysikaalisen kemian kursseille asetetut matemaattiset esitietokurssit eivät tarjoa opiskelijoille riittävää osaamista. Tämä tulos tukee aiempia tutkimustuloksia, joiden mukaan kemian opiskelijoille pakolliset matematiikan kurssit eivät palvele kemian opiskelijoiden tarpeita.³⁷ Kyseisen tutkimuksen mukaan etenkin integrointia ja derivointia käsitellään vain pintapuoleisesti näillä kursseilla. Vastaavasti Jyväskylän yliopistossa fysikaalisessa kemiassa tarvittavia integrointi- ja derivointitekniikoita käsitellään matematiikan kursseilla, jotka eivät kuulu osaksi kemian opiskelijoiden tutkintoa.

Erytyisesti useamman muuttujan differentiaalilaskentaan, jonka osaamista fysikaalisen kemian laskennalliset tehtävät usein vaativat, perehdytään vasta kemian opiskelijoille valinnaisilla aineopintotason matematiikan kursseilla MATA181 Vektorialculus 1 (5 op)⁹ ja MATA182 Vektorialculus 2 (4 op)¹⁰. Kurssilla MATA181 käsitellään myös osittaisderivaattaa, jonka ymmärrystä opiskelijat olisivat kaivanneet suoriutuakseen paremmin kurssista KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (taulukko 29). Kyselyyn vastanneista opiskelijoista vain yksi oli suorittanut kurssin MATA181 ennen kurssia KEMA224.

Opiskelijat kokivat matemaattiset taitonsa monilta osin riittäviksi fysikaalisen kemian kurssin suorittamisen kannalta, mutta olisivat silti kaivanneet enemmän tukea matemaattisiin tehtäviin. Tämä voi olla merkki opiskelijoiden ongelmista soveltaessa matemaattisia taitoja kemian

kontekstissa. Tutkimuksissa on huomattu opiskelijoilla olevan todellisuutta positiivisempi mielikuva kyvyistään soveltaa matemaattisia taitoja kemian kontekstissa.²⁶ Matemaattisten taitojen siirtyminen kemian kontekstiin näyttäisi tutkimusten mukaan edellyttävän vahvaa ymmärrystä matematiikan käsitteistä.^{68,82,85,87} Matemaattiset taidot saatetaan kokea riittäviksi, jos laskusäännöt ja mekaaninen suorittaminen onnistuu, mutta Bloomin taksonomian mukaisesti taitojen soveltaminen vaatii kuitenkin syvällisempää osaamista.⁴⁷ Muutamat opiskelijat kokivat, että parempi matemaattinen hahmotuskyky ja matematiikan analyysin hallinta olisi auttanut heitä suoriutumaan paremmin fysikaalisen kemian kurssista. Näiden taitojen hallinta vaatii nimenomaan matematiikan konseptuaalista osaamista, mikä auttaisi taitojen soveltamisessa kemian kontekstiin.

13.3.6 Opetusmuotojen oppimista tukeva vaikutus

Fysikaalisen kemian opetuksen kehittämistä ajatellen opiskelijoita pyydettiin arvioimaan kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 käytettyjä opetusmuotoja. Kurssin KEMA224 toteutus pysyi vuosina 2014–2019 hyvin samanlaisena. Kurssin opetus koostui luennoista, ohjatusta tehtävien ratkomisesta pienryhmissä (ohjaukset) sekä harjoitustehtävien purkutilaisuudesta. Näiden lisäksi kurssin itsenäiseen opiskeluun sisältyivät ennakkotehtävät, harjoitustehtävät sekä loppuentti. Poikkeuksena muihin vuosiin nähden, ennakkotehtävät eivät olleet käytössä vuosien 2017 ja 2018 kursseilla. Kurssin toteutusta on kuvattu tarkemmin luvussa 13.1.1.

Taulukosta 30 nähdään, että opiskelijat kokivat kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 oppimista parhaiten tukeviksi ohjaukset ($3,5 \pm 0,8$) sekä harjoitustehtävien tekemisen ($3,5 \pm 0,7$). Vastaavasti oppimista vähiten tukeviksi opetusmuodoiksi koettiin kurssin loppuentti ($2,0 \pm 0,9$) ja luennot ($2,2 \pm 0,9$). Ohjauksissa rutiininomaisia laskutehtäviä ratkottiin pienryhmissä ja tarvittaessa tehtäviin sai apua paikalla olleelta ohjaajalta. Harjoitustehtävät sai ratkoa joko yksin tai yhdessä muiden opiskelijoiden kanssa. Jokaisella opiskelijalla piti olla omat vastaukset harjoitustehtävapisteen saamiseksi. Harjoitustehtävien ratkaisut käsiteltiin viikoittaisissa purkutilaisuuksissa, jotka opiskelijat kokivat myös jossain määrin ($3,0 \pm 0,9$) oppimista tukeviksi, vaikka henkilökunnan kokemusten (H3) perusteella opiskelijat eivät hyödyntäneet tilaisuuteen varattua aikaa tehokkaaseen opiskeluun (luku 13.1).

Taulukko 30. Opiskelijoiden kokemukset kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 käytetyistä opetusmuodoista oman oppimisen näkökulmasta (kysymys 14, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä, EOS = en osaa sanoa

| Väite | Opiskelijoiden vastaukset (n) | | | | | | | |
|--|-------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS | YHT | KA* | KH* |
| 1. Ennakkotehtävät** tukivat oppimistani hyvin. | 1 | 11 | 14 | 0 | 21 | 47 | 2,5 | 0,6 |
| 2. Luennot tukivat oppimistani hyvin. | 12 | 18 | 12 | 4 | 3 | 49 | 2,2 | 0,9 |
| 3. Ohjaukset tukivat oppimistani hyvin. | 2 | 2 | 13 | 27 | 4 | 48 | 3,5 | 0,8 |
| 4. Harjoitustehtävien tekeminen tuki oppimistani hyvin. | 1 | 2 | 17 | 29 | 0 | 49 | 3,5 | 0,7 |
| 5. Harjoitustehtävien purkutilaisuus tuki oppimistani hyvin. | 4 | 10 | 17 | 17 | 1 | 49 | 3,0 | 0,9 |
| 6. Itsenäinen opiskelu tuki oppimistani hyvin. | 7 | 16 | 16 | 8 | 2 | 49 | 2,5 | 0,9 |
| 7. Tentti tuki oppimistani hyvin. | 15 | 16 | 12 | 2 | 4 | 49 | 2,0 | 0,9 |

*KA = keskiarvo, KH = keskihajonta

**käytössä vuosina 2014–2016 ja 2019

Kyselyssä opiskelijoita pyydettiin kertomaan, millaisia lisäharjoituksia he olisivat kaivanneet kurssille KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (kysymys 22, liite 4). Kysymykseen vastasi 18 opiskelijaa (18/49, 37 %). Heistä kolme (3/18) mainitsi, että kurssilla voisi olla enemmän ohjaustilaisuuksia, joissa tehtäviä ratkottaisiin pienryhmissä. Eräs opiskelija koki, että etenkin kurssin loppupuolella, haastavimmissa teemoissa lisäohjaukset olisivat hyödyllisiä:

V25: ”Lisää ohjauksia, ehkä enemmän kurssin alun jälkeen. Kun laskuharjoitukset alkoivat haastamaan enemmän, tuntui että ohjaukset jättivät vähemmän valmiuksia laskareihin.”

Neljä opiskelijaa (4/18) mainitsi kaivanneensa kurssille myös helppoja perustehtäviä. Tehtävien toivottiin olevan haastavuutensa mukaisessa järjestyksessä, jolloin ne muodostaisivat loogisemman kokonaisuuden. Helpommat tehtävät harjoitusten alussa olisivat opiskelijoiden mielestä valmistaneet haastavampiin tehtäviin ja näin ollen helpottaneet uusien ilmiöiden käsittelyä:

V13: ”Lisää yhdessä pienryhmissä laskemista loogisesti etenevillä jatkuvasti vaikeavilla tehtävillä. Jokaisen tehtävän pitäisi jotenkin laajentaa ymmärrystä pohjaten kuitenkin aiemmin opittuun.”

V34: ”Olisin todellakin kaivannut myös ns. perustehtäviä, jossa olisi käsitelty uutta ilmiötä helpompien tehtävien avulla. Jossa olisi päässyt harjoittamaan viikkotehtävissä tarvittavaa matematiikkaa. Niitä olisi tarvinnut erityisesti kurssin alussa, jotta olisi päässyt helpommin mukaan kurssille.”

Opiskelijoista yli puolet (29/49, 59 %) koki kurssin harjoitustehtävien olleen vaikeustasoltaan sopivan haastavia (taulukko 31). Suuri osa opiskelijoista (23/48, 48 %) piti myös ohjaustehtävien vaikeustasoa sopivan haastavana. Opiskelijat, jotka pitivät kurssin KEMA224 harjoitustehtäviä (18/49, 37 %) liian haastavina, kokivat niiden tekemisen kuitenkin tukeneen oppimistaan jossain määrin ($3,1 \pm 0,8$). Samoin ohjaustehtävät liian haastaviksi kokeneet opiskelijat (12/48, 25 %) olivat jokseenkin samaa mieltä ($2,9 \pm 1,0$) siitä, että ohjaukset tukivat oppimista hyvin. Ohjaustehtävien vaikeustasoa ei osannut arvioida 23 % (11/48) opiskelijoista (taulukko 31). Näistä opiskelijoista neljä (4/11) ilmoitti, ettei osallistunut yhteenkään kurssin ohjaustilaisuuteen.

Taulukko 31. Opiskelijoiden kokemukset luento-esimerkkien, harjoitustehtävien sekä ohjaustehtävien vaikeustasoista kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1

| | Luento-esimerkit | | Harjoitustehtävät | | Ohjaustehtävät | |
|-------------------|------------------|-----|-------------------|-----|----------------|-----|
| | n | % | n | % | n | % |
| Liian helppoja | - | - | - | - | - | - |
| Mukavan helppoja | * | * | 1 | 2 | 2 | 4 |
| Sopivan haastavia | 15 | 31 | 29 | 59 | 23 | 48 |
| Liian haastavia | 14 | 29 | 18 | 37 | 12 | 25 |
| En osaa sanoa | 20 | 41 | 1 | 2 | 11 | 23 |
| Yhteensä | 49 | 100 | 49 | 100 | 48 | 100 |

* Vaihtoehto ei ollut valittavissa

Luento-esimerkkien vaikeustason arviointi oli opiskelijoille haastavampaa. Useat opiskelijat (20/49, 41 %) eivät osanneet ottaa kantaa luentojen laskuesimerkkien vaikeusasteesta

(taulukko 31). Näistä opiskelijoista 75 % (15/20) ilmoitti kuitenkin osallistuneensa kaikille tai lähes kaikille kurssin luennoille.

Tulosten perusteella kurssiin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 liittyvät tehtävät on saatu rakennettua hyvin kurssin muita osa-alueita tukeviksi (taulukko 32). Kurssin ohjaustilaisuudet olivat heti luentojen jälkeen ja niissä ratkottavissa tehtävissä oli tarkoitus päästä käyttämään luennolla opittuja tietoja. Opiskelijoiden kokemusten perusteella tavoitteessa onnistuttiin hyvin, sillä 69 % (34/49) opiskelijoista oli jokseenkin tai täysin samaa mieltä siitä, että ohjaustehtävät syvensivät luennoilla opittua (taulukko 32). Lisäksi opiskelijat kokivat, että ohjaustehtävien tekemisestä oli hyötyä myös harjoitustehtävien tekemiseen ($3,0 \pm 0,9$). Kolmannes opiskelijoista (15/49, 31 %) oli täysin samaa mieltä ohjauksen harjoitustehtäviä tukevasta vaikutuksesta. Ohjaustehtävillä oli selkeä tukeva vaikutus sekä luentoihin että harjoitustehtäviin, mikä puoltaa ohjauksien kokemista oppimista erittäin hyvin tukevana opetusmuotona.

Taulukko 32. Opiskelijoiden kokemukset kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 käytettyjen opetusmuotojen toisiaan tukevasta vaikutuksesta. Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä, EOS = en osaa sanoa

| Väite | Opiskelijoiden vastaukset (n) | | | | | | | |
|---|-------------------------------|---|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS | YHT | KA* | KH* |
| 1. Ohjaustehtävät syvensivät luennoilla opittua. | 2 | 4 | 22 | 12 | 9 | 49 | 3,1 | 0,8 |
| 2. Ohjaustehtävistä oli hyötyä harjoitustehtävien tekemiseen. | 3 | 7 | 16 | 15 | 8 | 49 | 3,0 | 0,9 |
| 3. Harjoitustehtävät syvensivät luennoilla opittua. | 2 | 5 | 29 | 9 | 4 | 49 | 3,0 | 0,7 |

*KA = keskiarvo, KH = keskihajonta

Tutkimusten mukaan hyvät kotitehtäväpisteet ennustavat opiskelijan menestymistä korkeakoulutason kemian kursseilla.^{22,81} Tutkimuksissa harjoitustehtävinä on käytetty joko oppikirjan valmiita tehtäviä²² tai opettajan suunnittelemia kemian kontekstiin sidottuja ja tosielämän tapauksiin liittyviä tehtäviä⁸¹. Opiskelijoiden kokemus harjoitustehtävien oppimista tukevasta vaikutuksesta tukee näitä tuloksia. Harjoitustehtävien oppimista tukeva vaikutus voimistuu tutkimusten mukaan harjoitusten jälkeen tapahtuvan itsenäisen opiskelun myötä, esimerkiksi loppupenttiin kerratessa.⁸¹ Tässä tutkimuksessa opiskelijoiden kokemukset

itsenäisen opiskelun oppimista tukevasta vaikutuksesta ($2,5 \pm 0,9$) vaihtelivat paljon (väite 7, taulukko 30).

Korkeamman tason ajattelua vaativien aktiivisen oppimisen menetelmien on todettu sopivan erityisen hyvin korkeakoulutasoiseen opetukseen.^{63,65} Tämän tutkimuksen tulokset tukevat tätä havaintoa. Oppimista parhaiten tukeviksi koetut opetusmenetelmät, harjoitustehtävät ja ohjaukset, vaativat opiskelijoilta aktiivista työskentelyä opiskeltavan materiaalin parissa. Etenkin ohjaustilaisuudet noudattivat aktiiviseen oppimiseen lukeutuvaa yhteisöllisen oppimisen menetelmää⁶⁵, sillä tehtäviä ratkottiin pienissä ryhmissä. Oppimistilanteissa tapahtuvan vuorovaikutuksen on havaittu lisäävän metakognitiivisten prosessien käyttöä ja syventävän oppimista.^{47,58,61} Muutamat opiskelijat olisivat kaivanneet kurssille vielä enemmän pienryhmissä laskemista, mikä kertoo näiden opiskelijoiden havainneen ryhmässä tapahtuvan opiskelun edut.

Käytetyistä opetusmuodoista kurssin tentti koettiin vähiten oppimista tukevaksi (taulukko 30). Eräs opiskelija perusteli kokemustaan kurssitentistä kyselyn lopussa olleeseen vapaan sanan kenttään (kysymys 27, liite 4):

V47: ”Mielestäni kurssin tentti ei vastannut mitään mitä oli luennoilla opetettu tai demoissa [harjoitustehtävissä]/ohjauksissa laskettu.”

Kommentti kuvaa vain yksittäisen opiskelijan kokemusta, mutta vastaavia kokemuksia on noussut esiin myös aiemmissa tutkimuksissa²⁸. Lisäksi on yleistä, että fyysikaalisen kemian kursseilla käytetyt arviointityökalut eivät vastaa kurssin oppimistavoitteita.^{28,30} Usein kurssin tentissä mitataan lähinnä ilmiöiden matemaattisen käsittelyn hallintaa, vaikka oppimistavoitteiden mukaisesti kursseilla tähdätään myös kemian käsitteiden ymmärrykseen.³⁰ Tässä tutkimuksessa ei tehty vastaavaa vertailua kurssin KEMA224 osalta.

Neljä opiskelijaa mainitsi (kysymys 22, liite 4) kaivanneensa kurssille KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 tenttiä tukevia harjoitus- tai kertaustehtäviä:

V49: ”Esimerkkilaskuja tentissä olevista tehtävistä.”

V15: ”Kurssin lopussa ennen tenttiä olisi ollut kiva saada jokaisesta aihealueesta erikseen tenttiä tukevia tehtäviä, jotka olisi voinut tehdä ennen tenttiä.”

Nämä kommentit viittaavat siihen, että opiskelijat kokivat tenttitehtävien poikenneen kurssin muista tehtävistä, eikä yhteyttä opiskeltuihin asioihin nähty. Tutkimuksissa on havaittu opiskelijoiden menestyvän paremmin tentissä, jonka tehtävät muistuttavat kurssin aikana suoritettuja tehtäviä.²² Tällöin syvempää oppimista voi olla vaikea erottaa ulkoa opitusta mekaanisesta suorittamisesta tenttivastausten perusteella. Kurssin KEMA224 tenttitehtävät olivat luonteeltaan kurssilla opitun tiedon soveltamista vaativia. Tällaiset tehtävät mittaavat ilmiöiden syvempää ymmärrystä, jolloin tentissä ei pärjää opettelemalla asioita ulkoa.⁴⁷ Tenttitehtävien soveltava luonne kurssilla KEMA224 saattaa olla kurssin normaalijakaumasta poikkeavaan arvosanjakaumaan vaikuttava tekijä.

Aiemmissa tutkimuksissa syyksi opiskelijoiden heikolle kurssimenestykselle fysikaalisen kemian opintojaksoilla on epäilty myös opiskelijoiden liian vähäistä työpanosta.^{26,28,30} Fysikaalisessa kemiassa matematiikka ja fysiikka yhdistyvät tiiviisti opiskeltaviin aiheisiin.^{26,29,30,38} Tämä luo opiskeluun lisää haasteita ja ilmiöiden ymmärtäminen vaatii opiskelijoilta jatkuvaa työskentelyä läpi opintojakson.²⁶ Kyselyssä selvitettiin opiskelijoiden ajankäyttöä ja sen jakautumista eri opetusmuotojen välille kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 sisältöjen opiskelussa (kysymys 15, liite 4). Tulokset on esitetty taulukossa 33.

Taulukko 33. Opiskelijoiden arviot opiskeluun käyttämästään ajasta kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 osa-alueittain (kysymys 15, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = alle tunti, 2 = 1-2 h, 3 = 2-3 h, 4 = 3-4 h, 5 = 4-5 h, 6 = yli 5 tuntia, EOS = en osaa sanoa

| Kurssin KEMA224 osa-alue | Opiskelijoiden vastaukset (n) | | | | | | | EOS | YHT | KA* | KH* |
|---|-------------------------------|----|----|----|---|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | |
| 1. Tulevan viikon aiheisiin tutustuminen ennakkoon | 35 | 7 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 | 49 | 1,3 | 0,6 | |
| 2. Ennakkotehtävien tekeminen** | 13 | 13 | 3 | 0 | 0 | 0 | 18 | 47 | 1,7 | 0,7 | |
| 3. Ohjaustehtävien tekeminen | 4 | 11 | 17 | 8 | 3 | 2 | 4 | 49 | 3,0 | 1,2 | |
| 4. Harjoitustehtävien tekeminen | 1 | 1 | 4 | 14 | 8 | 17 | 4 | 49 | 4,7 | 1,2 | |
| 5. Itsenäinen opiskelu edellä mainittujen vaihtoehtojen lisäksi | 13 | 11 | 8 | 6 | 2 | 3 | 5 | 48 | 2,6 | 1,5 | |

*KA = keskiarvo, KH = keskihajonta

**käytössä vuosina 2014–2016 ja 2019

Opiskelijat arvioivat käyttäneensä harjoitustehtävien tekemiseen aikaa viikoittain noin neljä tuntia (taulukko 33). Kolmannes opiskelijoista (17/49, 35 %) arvioi käyttäneensä harjoitustehtävien tekemiseen viikoittain jopa yli 5 tuntia. Harjoitustehtäviin käytetyn ajan ei havaittu korreloivan ($R^2 = 0,003$) opiskelijan kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanaan. Korrelaatiota kurssiarvosanoihin ei havaittu myöskään ennakkotehtäviin ($R^2 = 0,002$) tai ohjaustehtäviin ($R^2 = 0,002$) käytetyn ajan osalta.

Cuardros *et al.*⁸¹ havaitsivat tutkimuksessaan harjoitustehtävien oppimista tukevan vaikutuksen voimistuvan myöhemmin tapahtuvan itsenäisen opiskelun jälkeen. Kyselyssä opiskelijoilta ei erikseen kysytty lopputenttiin kertaamiseen käytettyä aikaa, vaan ainoastaan viikoittaista itsenäisen opiskelun määrää. Opiskelijoiden arviot itsenäiseen opiskeluun viikoittain käytetystä ajasta vaihtelivat paljon ($2,6 \pm 1,5$), ollen keskimäärin noin kaksi tuntia (taulukko 33). Itsenäiseen opiskeluun käytetyn ajan huomattiin olevan yhteydessä opiskelijan KEMA224 kurssiarvosanaan. Itseopiskeluun enemmän aikaa käyttäneet opiskelijat menestyivät kurssilla KEMA224 hieman paremmin. Tämän tutkimuksen aineisto on kuitenkin pieni ja ilmoitetut opiskeluun käytetyt ajat opiskelijan muistinvaraisia arvioita.

13.3.7 Fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärtäminen

Kirjallisuudessa on esitetty, että fysikaalisen kemian ilmiöiden merkitys saattaa jäädä ymmärtämättä opiskelijoilta, joille aiheiden matemaattinen tarkastelu tuottaa haasteita.^{28,37} Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten opiskelijat kokivat kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 erilaisten opetusmuotojen tukevan ilmiöiden ymmärtämistä ja koettiinko aiheiden matemaattisuus esteeksi ilmiöiden ymmärtämiselle. Kyselyssä (liite 4) ilmiöiden ymmärtämiseen liittyviä kokemuksia kysyttiin opetusmuodoittain (kysymykset 17, 21 ja 25) sekä kokonaisuutena koko kurssiin liittyen (kysymys 26). Tulokset on esitetty taulukossa 34.

Taulukko 34. Opiskelijoiden kokemukset fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärtämisestä kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1. Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä, EOS = en osaa sanoa

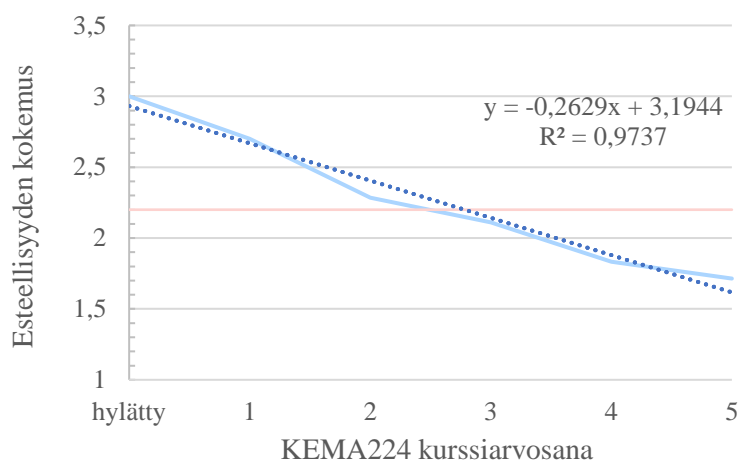
| Väite | Opiskelijoiden vastaukset (n) | | | | | | | |
|--|-------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS | YHT | KA* | KH* |
| 1. Opin kurssilla ymmärtämään fysikaalisen kemian ilmiöitä. | 6 | 12 | 25 | 6 | 0 | 49 | 2,6 | 0,8 |
| 2. Ilmiöiden ymmärtämiseen käytettiin tarpeeksi aikaa luennoilla. | 23 | 12 | 6 | 1 | 7 | 49 | 1,6 | 0,8 |
| 3. Harjoitustehtävät auttoivat ymmärtämään fysikaalisen kemian ilmiöitä. | 3 | 12 | 25 | 9 | 0 | 49 | 2,8 | 0,8 |
| 4. Ohjaustehtävät auttoivat ymmärtämään fysikaalisen kemian ilmiöitä. | 4 | 7 | 24 | 6 | 8 | 49 | 2,8 | 0,8 |
| 5. Kemian sisällöt jäivät kurssilla matematiikan varjoon. | 5 | 13 | 17 | 13 | 1 | 49 | 2,8 | 1,0 |
| 6. Harjoitustehtävissä tarvittava matematiikka oli esteenä ilmiöiden ymmärtämiselle. | 12 | 20 | 13 | 4 | 0 | 49 | 2,2 | 0,9 |
| 7. Ohjaustehtävissä tarvittava matematiikka oli esteenä ilmiöiden ymmärtämiselle. | 11 | 14 | 11 | 4 | 9 | 49 | 2,2 | 1,0 |

*KA = keskiarvo, KH = keskihajonta

Suurin osa opiskelijoista (31/49, 63 %) oli jokseenkin tai täysin samaa mieltä siitä, että oppivat kurssin KEMA224 aikana ymmärtämään fysikaalisen kemian ilmiöitä (taulukko 34). Kurssilla ilmiöiden ymmärtämistä parhaiten tukeviksi koettiin harjoitus- ja ohjaustehtävät ($2,8 \pm 0,8$). Tulos on yhtenevä sen kanssa, että kurssin KEMA224 osa-alueista yleisesti oppimista parhaiten tukeviksi opetusmuodoiksi koettiin harjoitustehtävien tekeminen ja ohjaukset (taulukko 30). Opiskelijat eivät kokeneet kurssin luentoja oppimista hyvin tukeviksi ($2,2 \pm 0,9$). Luennoilla ei opiskelijoiden mielestä käytetty riittävästi aikaa fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärtämiseen (väite 2, taulukko 34). Opiskelijoista jopa 47 % (23/49) oli täysin eri mieltä väitteen: ”Ilmiöiden ymmärtämiseen käytettiin tarpeeksi aikaa luennoilla” kanssa.

Opiskelijat kokivat ($2,8 \pm 1,0$) kemian sisältöjen jäävän jossain määrin matemaattisuuden varjoon kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (väite 5, taulukko 34), kuten kirjallisuudessa on esitetty.^{28,37} Väitteen kanssa jokseenkin tai täysin samaa mieltä olleista opiskelijoista puolet (15/30, 50 %) oli suorittanut kurssin KEMA224 arvosanalla 1 tai 2. Yhtä voimakkaasti opiskelijat eivät kokeneet, että harjoitustehtävien ($2,2 \pm 0,9$) tai ohjaustehtävien ($2,2 \pm 1,0$) sisältämä matematiikka olisi ollut esteenä fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärtämiselle.

Opiskelijoiden KEMA224 kurssiarvosanan havaittiin olevan yhteydessä ($R^2 = 0,974$) siihen, miten vahvasti opiskelijat kokivat ohjaustehtävissä tarvittavan matematiikan esteeksi ilmiöiden ymmärtämiselle (kaavio 10). Arvosanan vaikutus ei kuitenkaan ollut kovin suuri, sillä myös arvosanalla neljä tai viisi kurssin suorittaneista opiskelijoista useat (6/16, 38 %) kokivat matematiikan jossain määrin estävän kemiallisten ilmiöiden ymmärtämistä. Esteellisyyden kokemus väheni 0,3:lla opiskelijan KEMA224 kurssiarvosanan parantuessa yhdellä. Vastaava korrelaatio harjoitustehtävien osalta ($R^2 = 0,567$) oli huomattavasti heikompi.



Kaavio 10. Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanan suhde siihen, miten vahvasti opiskelijat kokivat ohjaustehtävissä tarvittavan matematiikan esteeksi ilmiöiden ymmärtämiselle (kysymys 25, väite 6, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä. Kaaviossa näkyvä vaakaviiva arvon 2,2 kohdalla kuvaa opiskelijoiden keskimääräistä kokemusta.

Opiskelijoiden kokemusten perusteella vaikuttaisi siltä, että kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 luennoilla käytettiin paljon aikaa aiheiden matemaattiseen käsittelyyn, mikä vähensi ilmiöiden ymmärtämiseen käytettäviä resursseja. Tätä päätelmää tukevat myös muutamien opiskelijoiden vastaukset kyselyn lopussa olleeseen vapaan sanan kenttään (kysymys 27, liite 4):

V34: "Ilman ohjauskertoja ja demokertoja kurssista ei olisi ymmärtänyt mitään. Luennoilla tunnuttiin ampuvan korkealta ja kovaa ja jokainen luento meni melkolailla yli hilseen, kun kirjoitti hirmuisia kaavoja vain perässä vihkoon ymmärtämättä yhtään mihin niitä tarvitaan."

V47: "Välillä tuntui, että luennoitsija on matemaattisesti niin fiksu ettei ymmärretä sitä että opiskelijoille matematiikka ei ole itsestään selvää. En tiedä ketä luentoiesimerkit palvelivat, kun kolmannen taulullisen kohdalla ei enää tiedä mitä ollaan laskemassa. ... Mielestäni tämän kurssin pitäisi olla kemian kurssi, eikä mikään johda ja todista kurssi."

Toisaalta noin puolet opiskelijoista (25/49, 51 %) oli jokseenkin tai täysin eri mieltä siitä, että luennoilla olisi käytetty liikaa aikaa laskujen käsittelyyn (kysymys 17, väite 4, liite 4). Useat opiskelijat (14/49, 29 %) kokivat luennoilla käsiteltyjen laskuesimerkkien olleen liian haastavia (taulukko 31). Myös opiskelijat, jotka kokivat, ettei luennoilla käytetty tarpeeksi aikaa ilmiöiden ymmärtämiseen (35/49, 71 %) ilmoittivat ($2,4 \pm 0,9$), että luennoilla ei käytetty liikaa aikaa laskujen käsittelyyn. Näistä opiskelijoista kolmasosa (13/35, 37 %) piti kuitenkin luentojen laskuesimerkkejä liian haastavina.

Eräs opiskelija pohti kyselyn vapaan sanan kenttään (kysymys 27, liite 4) kokemuksiiaan fyysikaalisen kemian matemaattisuudesta ja sen suhteesta ilmiöiden ymmärtämiseen:

V16: "Nyt kun näitä matematiikan taitoja ja osaamista on kertynyt 1-2 vuotta fyskosta [kurssista KEMA224] jälkikäteen, olen alkanut miettiä, että jos kävisin nyt fyskon uudestaan, voisoin oikeasti keskittyä sen fyskon ilmiöiden ja asioiden oppimiseen ja ymmärtämiseen."

Kyseinen opiskelija (V16) kokee selvästi, että vankempi matemaattinen osaaminen olisi auttanut keskittymään ilmiöiden ymmärtämiseen, kuten kirjallisuudessa^{28,37} on esitetty. Matemaattisissa tehtävissä ilmenevät ongelmat voivat kuitenkin johtua matemaattisten taitojen puutteen sijaan myös vaikeudesta siirtää osaamista kemian kontekstiin.^{30,35} Kahden opiskelijan pohdinnoista (V47 ja V35) välittyivät tiedon siirtämiseen ja soveltamiseen liittyvät ongelmat fyysikaalisen kemian ymmärtämisessä ja oppimisessa:

V47: ”Kemia on todella hyvin piilotettu matematiikan alle. Matematiikka ei sinänsä ollut minusta se vaikein asia tällä kurssilla, vaan se että mitä teen sillä vastauksella. Mitä vastaukset kertovat minulle?”

V35: ”Ohjauksissa tuntui usein, että apua kysyessä oletettiin vaikeuden olevan matematiikka. Itselleni vaikeaa oli päästä tehtävissä alkuun ja yhdistää matematiikka tehtävissä esitettyihin ilmiöihin. Olisi myös hyvä muistaa, että termodynamiikka ei ole monille kovin tuttua, joten ilmiöiden ja käsitteiden yhdistäminen matematiikkaan on tärkeää.”

Tutkimusten perusteella matemaattisten taitojen soveltaminen kemian kontekstissa on riippuvaista matemaattisen osaamisen tasosta.^{82,85} Bloomin taksonomian mukaisesti matemaattisen yhtälön ratkaiseminen on yksinkertaisempi prosessi kuin ongelman ratkaisuun soveltuvien matemaattisten työkalujen valitseminen, eli soveltaminen.⁴⁷ Tiedon siirtymisen edellytyksenä on matematiikan syvempi konseptuaalinen ymmärrys, joka mahdollistaa matemaattisten työkalujen käyttökelpoisuuden arvioinnin ja soveltamisen.⁴⁶ Ongelman analysoiminen ja arvioiminen ovat kognitiivisesti haastavia prosesseja ja vaativat korkeamman tason ajattelua.⁵⁰ Näin ollen ongelmat tehtävissä alkuun pääsemisessä sekä saadun ratkaisun analysoimisessa saattaisivat vaatia sekä syvempää matemaattista ymmärrystä että kehittyneempää ajattelua. Hyvien ongelmanratkaisutaitojen onkin havaittu olevan yhteydessä fyysikaalisen kemian kursseilla menestymiseen.²⁷

Kandidaattivaiheen opiskelijoille tällainen eri tieteenaloja yhdistävä korkeampitasoinen ajattelu ei ole entuudestaan kovin tuttua, vaan vaatii tukea ja opastusta.²⁶ Tämä saattaa olla yhtenä tekijänä sille, että opiskelijat kokivat kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 tehtävät liian haastaviksi. Fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärtämistä saattaisi tukea luento-esimerkkien yksinkertaistaminen. Toisaalta kurssin ohjaustehtävien tarkoituksena oli päästä käyttämään luennoilla käsiteltyjä työkaluja, tarvittaessa ohjaajan avustuksella. Opiskelijat kokivatkin, että ohjaukset syvensivät luennoilla opittua ja tukivat hyvin ilmiöiden ymmärtämistä haastavista tehtävistä huolimatta.

13.3.8 Opiskelijoiden asenteet fyysikaalisen kemian kurssia kohtaan

Tutkimusten mukaan fyysikaalisen kemian kursseilla on huono maine opiskelijoiden keskuudessa ja se heikentää opiskelijoiden motivaatiota näitä kursseja kohtaan.^{24,27,28} Tässä tutkimuksessa selvitettiin opiskelijoiden ennakkovaikutelmia (kysymys 13, liite 4) ja jälkivaikutelmia (kysymys 26, liite 4) kurssista KEMA224 Fyysikaalinen kemia 1. Ilmiöiden ymmärtämiseen liittyvien jälkivaikutelmien tulokset on esitetty taulukossa 34 (väitteet 1 ja 5) ja käsitelty luvussa 13.3.7.

Lähes kaikki (44/49, 90 %) opiskelijat olivat ennen kurssin KEMA224 Fyysikaalinen kemia 1 suorittamista kuulleet kurssin olevan vaikea (väite 2, taulukko 35). Todennäköisesti tämä on vaikuttanut siihen, etteivät opiskelijat myöskään olettaneet ($1,3 \pm 0,6$) kurssin olevan helppo (väite 1, taulukko 35). Ennakkoojatus kurssin vaikeustasosta saattaa olla peräisin vanhemmilta opiskelijoilta (väite 6, taulukko 35). Myös aiemmissa tutkimuksissa opiskelijoiden negatiivisten ennakoasenteiden fyysikaalisen kemian kursseja kohtaan on huomattu olevan peräisin vanhemmilta opiskelijoilta.⁷⁶

Taulukko 35. Opiskelijoiden ennakkovaikutelmat kurssista KEMA224 Fyysikaalinen kemia 1 (kysymys 13, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä, EOS = en osaa sanoa

| Väite | Opiskelijoiden vastaukset (n) | | | | | | | |
|---|-------------------------------|----|----|----|-----|-----|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS | YHT | KA* | KH* |
| 1. Oletin kurssin olevan helppo. | 38 | 7 | 1 | 1 | 1 | 48 | 1,3 | 0,6 |
| 2. Olin kuullut kurssin olevan vaikea. | 0 | 1 | 4 | 44 | 0 | 49 | 3,9 | 0,4 |
| 3. Tiesin kurssin vaativan matemaattista osaamista. | 1 | 3 | 15 | 30 | 0 | 49 | 3,5 | 0,7 |
| 4. Pelkäsin kurssia sen matemaattisuuden vuoksi. | 13 | 19 | 6 | 10 | 1 | 49 | 2,3 | 1,1 |
| 5. Oletin pitäväni kurssista sen matemaattisuuden vuoksi. | 20 | 12 | 8 | 5 | 4 | 49 | 2,0 | 1,0 |
| 6. Vanhemmat opiskelijat olivat antaneet kurssista hyvän vaikutelman. | 28 | 14 | 2 | 1 | 4 | 49 | 1,5 | 0,7 |

*KA = keskiarvo, KH = keskihajonta

Fysikaalisen kemian huonon maineen oletetaan johtuvan osittain myös kurssien matemaattisuudesta.²⁷ Opiskelijat tiesivät ($3,5 \pm 0,7$) kurssin KEMA224 vaativan matemaattista osaamista (väite 3, taulukko 35). Suurin osa (32/49, 65 %) opiskelijoista oli jokseenkin tai täysin eri mieltä väitteen: ”Oletin pitäväni kurssista sen matemaattisuuden vuoksi” kanssa. Lisäksi jopa 20 % opiskelijoista (10/49) oli täysin samaa mieltä siitä, että pelkäsi kurssia KEMA224 etukäteen sen sisältämän matemaattisuuden vuoksi. Nämä opiskelijat (10/49) suorittivat kurssin keskimäärin arvosanalla 2,1 ($\pm 0,9$). Nämä tulokset tukevat oletusta siitä, että fysikaalisen kemian kurssien huono maine on ainakin osittain seurausta kurssien matemaattisuudesta.

Nicoll ja Franciso²⁷ ovat esittäneet, että opiskelijoiden ennako-oletukset fysikaalisen kemian kurssilla menestymistä kohtaan eivät kuitenkaan välttämättä vaikuta opiskelijan kurssimenestykseen. Opiskelijoiden pelon kokemus kurssin matemaattisuutta kohtaan oli heikosti yhteydessä KEMA224 kurssiarvosanaan ($R^2 = 0,356$). Etukäteen koettu pelon kokemus väheni 0,2:lla arvosanan noustessa yhdellä. Vastaavasti opiskelijoiden oletukset siitä pitäisivätkö kurssista KEMA224 sen matemaattisuuden vuoksi olivat hyvin heikosti yhteydessä kurssiarvosanoihin ($R^2 = 0,287$, muutos + 0,1). Näin ollen myös tämän tutkimuksen tulosten perusteella näyttäisi siltä, että opiskelijan ennakoasenteet eivät ole suoraan yhteydessä kurssimenestykseen. Tässä tutkimuksessa kyselyyn vastatessaan opiskelijat olivat jo suorittaneet kurssin KEMA224, mikä saattaa heikentää kuvattujen ennakkovaikutelmien luotettavuutta.

Opiskelijoiden jälkivaikutelmissa kurssista KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 oli huomattavan paljon hajontaa (taulukko 36). Opiskelijat kokivat kuitenkin hyvin yksimielisesti ($3,5 \pm 0,4$) kurssin KEMA224 olleen työläs. Kurssin vaikeustason arvioinnissa opiskelijat olivat myös melko yksimielisiä, sillä 90 % opiskelijoista (44/49) oli jokseenkin tai täysin eri mieltä siitä, että kurssi oli helppo. Vaikka kurssi koettiin työlääksi ja haastavaksi, oli opiskelijoista yli neljännes (14/49, 29 %) täysin samaa mieltä siitä, että kurssista oli peloteltu liikaa etukäteen.

Taulukko 36. Opiskelijoiden kokemukset kurssista KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (kysymys 26, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä, EOS = en osaa sanoa

| Väite | Opiskelijoiden vastaukset (n) | | | | | | | |
|--|-------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS | YHT | KA* | KH* |
| 1. Kurssi oli helppo. | 27 | 17 | 4 | 0 | 1 | 49 | 1,5 | 0,6 |
| 2. Kurssi oli työläs. | 0 | 0 | 9 | 40 | 0 | 49 | 3,8 | 0,4 |
| 3. Osaan soveltaa kurssilla oppimaani käytäntöön. | 12 | 20 | 9 | 4 | 4 | 49 | 2,1 | 0,9 |
| 4. Kurssi vaati paljon matemaattista osaamista. | 0 | 6 | 19 | 23 | 1 | 49 | 3,4 | 0,7 |
| 5. Pidin kurssista sen matemaattisuuden vuoksi. | 13 | 16 | 11 | 5 | 4 | 49 | 2,2 | 1,0 |
| 6. Vanhempien opiskelijoiden antama mielikuva kurssista piti paikkansa. | 3 | 17 | 15 | 13 | 1 | 49 | 2,8 | 0,9 |
| 7. Kurssista oli peloteltu liikaa etukäteen. | 13 | 7 | 12 | 14 | 3 | 49 | 2,6 | 1,2 |
| 8. Asenteeni fysikaalista kemiaa kohtaan muuttui positiivisemmaksi kurssin käytyäni. | 16 | 7 | 13 | 6 | 7 | 49 | 2,2 | 1,1 |

*KA = keskiarvo, KH = keskihajonta

Tutkimusten mukaan opiskelijoiden asenteet fysikaalista kemiaa kohtaan saattavat muuttua positiivisemmiksi kurssin aikana.²⁷ Taulukosta 36 nähdään, että opiskelijoiden kokemukset asenteen muuttumisesta vaihtelivat paljon ($2,2 \pm 1,1$). Reilu kolmannes (19/49, 39 %) opiskelijoista oli jokseenkin tai täysin samaa mieltä siitä, että heidän asenteensa fysikaalista kemiaa kohtaan muuttui positiivisemmaksi kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 aikana. Näistä opiskelijoista suurin osa (12/19, 63 %) oli jokseenkin tai täysin eri mieltä siitä, että vanhempien opiskelijoiden antama mielikuva kurssista piti hyvin paikkansa. Lähes kaikki näistä opiskelijoista (16/19, 84 %) olivat myös jokseenkin tai täysin samaa mieltä siitä, että kurssista oli peloteltu liikaa etukäteen.

Kaikkiaan 41 % (20/49) kyselyyn vastanneista oli jokseenkin tai täysin eri mieltä siitä, että vanhempien opiskelijoiden antama mielikuva kurssista KEMA224 piti hyvin paikkansa (taulukko 36). Näistä opiskelijoista 90 % (18/20) oli jokseenkin tai täysin samaa mieltä siitä, että kurssista oli peloteltu liikaa etukäteen ja yli puolet (12/20, 60 %) kertoivat olevansa

jokseenkin tai täysin samaa mieltä asenteensa muuttumisesta positiivisemmaksi. Tässä ryhmässä suurin osa opiskelijoista (15/20, 75 %) oli suorittanut kurssin arvosanalla 4 tai 5.

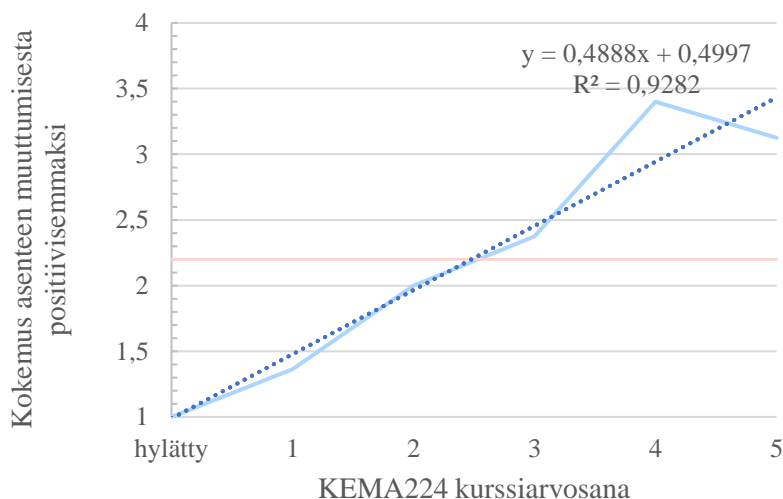
Noin puolet opiskelijoista (26/49, 53 %) koki kuullessaan ennakkoon liikaa pelottelua kurssista KEMA224 (taulukko 36). Tässä ryhmässä oli tasaisesti kaikilla arvosanoilla kurssin KEMA224 suorittaneita opiskelijoita, keskimääräisen kurssiarvosanan ollessa 3,2 ($\pm 1,4$). Suurin osa tämän ryhmän opiskelijoista (18/26, 69 %) oli myös jokseenkin tai täysin eri mieltä vanhempien opiskelijoiden antaman mielikuvan kanssa. Lisäksi liikaa pelottelua kuulleista opiskelijoista suurin osa (16/26, 62 %) oli jokseenkin tai täysin samaa mieltä väitteen: ”Asenteeni fysikaalista kemiaa kohtaan muuttui positiivisemmaksi kurssin käytyäni” kanssa.

Tulosten perusteella isolla osalla opiskelijoista oma kokemus kurssista KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 oli positiivisempi kuin vanhempien opiskelijoiden luoma ennakkokuva. Myös kurssista etukäteen kuultua pelottelua pidettiin jokseenkin liioiteltuna. Näin ollen tulokset tukevat Nicoll ja Francicon²⁷ tutkimustulosta, jonka mukaan opiskelijoiden asenteet fysikaalista kemiaa kohtaan voivat muuttua positiivisemmiksi kurssien aikana.

Kurssista KEMA224 negatiivisen jälkivaikutelman saaneiden opiskelijoiden joukko oli huomattavan suuri. Jopa kolmannes opiskelijoista (16/49, 33 %) oli täysin eri mieltä siitä, että heidän asenteensa fysikaalista kemiaa kohtaan olisi muuttunut positiivisemmaksi kurssin KEMA224 aikana (taulukko 36). Näistä opiskelijoista valtaosa (11/16, 69 %) oli täysin eri mieltä väitteen: ”Vanhemmat opiskelijat olivat antaneet kurssista hyvän vaikutelman” kanssa. Lisäksi useat (10/16) olivat täysin eri mieltä siitä, että kurssista KEMA224 olisi peloteltu liikaa. Yhdeksän opiskelijaa (9/16) oli myös täysin samaa mieltä siitä, että vanhempien opiskelijoiden antama mielikuva kurssista piti hyvin paikkansa. Opiskelijat, jotka eivät kokeneet asenteensa muuttuneen positiivisemmaksi, suorittivat kurssin KEMA224 keskimäärin arvosanalla 1,7 ($\pm 1,1$). Opiskelijoista kolme (3/16) ei ollut saanut kurssia hyväksytysti suoritettua.

Asenteen muuttumisen positiivisemmaksi huomattiin olevan yhteydessä ($R^2 = 0,928$) opiskelijan KEMA224 kurssiarvosanan kanssa (kaavio 11). Arvosanan vaikutus oli huomattava, asenteen muuttuessa jopa 0,5:llä positiivisemmaksi arvosanan noustessa yhdellä. Tulosten perusteella vaikuttaisi siltä, että opiskelijat, jotka havaitsivat menestyvänsä kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1, muodostivat kurssista positiivisemmän mielikuvan kuin kurssilla heikommin menestyvät opiskelijat. Näin ollen tulokset ovat vastaavia Partasen⁷⁶ havaintojen kanssa siitä, että fysikaalisen kemian kursseista negatiivista kuvaa välittävät ne

vanhemmat opiskelijat, jotka eivät ole itse menestyneet kyseisillä kursseilla. Kaaviosta 3 nähtiin, että kurssin KEMA224 arvosanalla 1 tai 2 suorittaneiden osuus kaikista kurssin hyväksytysti suorittaneista on 52 %, joten negatiivisia ennakkoajatuksia mahdollisesti levittävien kemian opiskelijoiden joukko on suhteellisen suuri Jyväskylän yliopistossa.

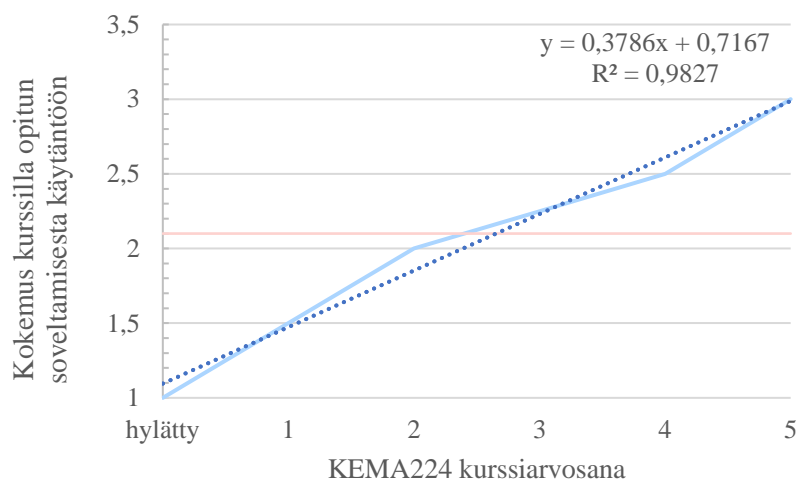


Kaavio 11. Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanan suhde opiskelijoiden kokemukseen asenteensa muuttumisesta positiivisemmaksi kurssin aikana (kysymys 26, väite 10, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä. Kaaviossa näkyvä vaakaviiva arvon 2,2 kohdalla kuvaa opiskelijoiden keskimääräistä kokemusta.

Opiskelijoiden kokemus kyvystä soveltaa kurssilla opittua käytäntöön oli melko negatiivinen ($2,1 \pm 0,9$). Opiskelijoista noin puolet (25/49, 51 %) oli jokseenkin samaa mieltä siitä, että oppi kurssilla KEMA224 ymmärtämään fysikaalisen kemian ilmiöitä (väite 2, taulukko 34). Kuitenkin suurin osa näistä opiskelijoista (15/25, 60 %) oli jokseenkin tai täysin eri mieltä siitä, että osaavat soveltaa käytäntöön oppimaansa. Kaikkiaan vain 13 opiskelijaa (13/49, 27 %) oli jokseenkin tai täysin samaa mieltä siitä, että osaa soveltaa oppimaansa käytäntöön (taulukko 36).

Bloomin taksonomian⁴⁷ mukaisesti opitun soveltaminen on kognitiivisesti haastavampi prosessi kuin ymmärtäminen (taulukko 3). Kyky soveltaa opittua käytäntöön viittaa korkeampitasoiseen, syvempään oppimiseen. Opiskelijoiden kokemuksen kyvystään soveltaa kurssilla KEMA224 oppimaansa käytäntöön havaittiin korreloivan ($R^2 = 0,983$) opiskelijan KEMA224 kurssi-arvosanaan (kaavio 12). Kokemus kyvystä soveltaa kurssilla opittua tietoa nousi 0,4:llä arvosanan noustessa yhdellä. Arvosanalla 5 kurssin KEMA224 suorittaneet

opiskelijat olivat jokseenkin samaa mieltä ($3,0 \pm 1,5$) ja arvosanalla 1 kurssin suorittaneet opiskelijat jokseenkin eri mieltä ($1,5 \pm 0,5$) siitä, että osaavat soveltaa oppimaansa käytäntöön. Bloomin taksonomian nojalla tulos on erittäin looginen.



Kaavio 12. Kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 arvosanan suhde opiskelijan kokemukseen kyvystä soveltaa kurssilla oppimaansa käytäntöön (kysymys 26, väite 4, liite 4). Likert-asteikon numeerisia arvoja vastaavat vaihtoehdot: 1 = täysin eri mieltä, 2 = jokseenkin eri mieltä, 3 = jokseenkin samaa mieltä, 4 = täysin samaa mieltä. Kaaviossa näkyvä vaakaviiva arvon 2,1 kohdalla kuvaa opiskelijoiden keskimääräistä kokemusta.

Fysikaalisen kemian ilmiöiden ymmärtämisen kokemuksen ei havaittu olevan yhtä voimakkaasti yhteydessä ($R^2 = 0,582$) KEMA224 kurssiarvosanaan. Opiskelijan kokemus ilmiöiden ymmärtämisestä nousi 0,2:lla arvosanan noustessa yhdellä. Bloomin taksonomian⁴⁷ mukaisesti oppimiseen liitettyä termi ”ymmärtää” on hyvin monitasoinen (taulukko 3). Myös opiskelijoiden käsitykset ilmiöiden ymmärtämisestä voivat olla hyvin monenlaisia. Toisaalta myös termi ”oppia” on hyvin monitasoinen, sisältäen kaikki Bloomin taksonomian tasot. Kyselyssä ei tarkemmin määritelty näitä termejä, mikä saattaa vaikuttaa myös heikompaan korrelaatioon ilmiöiden ymmärtämisen ja kurssiarvosanan välillä.

14 POHDINTA

14.1 Eettisyyden ja luotettavuuden arviointi

Tutkielman kokeellisessa osassa tutkittiin etenkin kurssia KEMA224 Fysikaalinen kemia 1. Kyseinen kurssi ei ole kuulunut tutkijan omaan opintokokonaisuuteen, minkä on vähentänyt tulosten tulkinnan subjektiivisuutta. Tutkijan ennakkokäsitykset kurssista KEMA224 olivat muodostuneet opiskelijoiden puheiden sekä laitoksella yleisesti käytävien keskustelujen perusteella. Tuloksia on kuitenkin pyritty tarkastelemaan näistä ennakkokäsityksistä riippumatta mahdollisimman objektiivisesti.

Tutkimukseen osallistuminen oli kaikissa tutkimuksen vaiheissa täysin vapaaehtoista. Kyselytutkimuksen aineisto koottiin anonymisti. Esitietokyselyn aineisto anonymisoitiin, kun vastaukset siirrettiin Moodlesta Exceeliin. Vain henkilökunnan haastattelut olivat yhdistettävissä haastateltaviin vielä tulosten analysointivaiheessakin. Tutkimukseen osallistuneiden anonymiteetistä pyrittiin pitämään mahdollisimman hyvin huolta. Henkilökunnan jäsenten roolit fysikaalisen kemian opetuksessa olivat kuitenkin merkittäviä tulosten luotettavuuden kannalta, joten ne on kirjattu tuloksiin näkyville. Aineiston käsittelyssä, säilyttämisessä ja hävittämisessä on noudatettu hyviä tieteellisiä käytäntöjä.

Haastattelututkimukseen valittiin kolme fysikaalisen kemian henkilökunnan jäsentä, jotka ovat osallistuneet fysikaalisen kemian opetukseen ja kehittämiseen viime vuosina. Haastateltavat edustavat hyvin pientä osaa kemian laitoksen henkilökunnasta, mutta ovat kuitenkin olleet merkittävässä osassa fysikaalisen kemian opetusta, mikä lisää tulosten luotettavuutta. Haastateltaville ei etukäteen lähetetty haastattelukysymyksiä, joten he eivät voineet etukäteen valmistautua haastatteluihin. Haastattelut toteutettiin vapaamuotoisina keskusteluina, jolloin keskustelu ohjautui haastateltaville päällimmäisenä mieleen nousseiden asioiden pohjalta. Haastateltaviin oltiin kuitenkin yhteydessä myös haastattelujen jälkeen, jolloin heillä oli mahdollisuus täydentää vastauksiaan. Haastattelut dokumentoitiin muistiinpanoin, mutta tarkkoja lopullisia kysymyksiä ei kirjattu ylös. Tämä heikentää haastattelujen toistettavuutta.

Esitietokyselyyn saatiin erittäin kattava otos vuonna 2019 kurssille Fysikaalinen kemia 1 osallistuneita opiskelijoita, vastausprosentin ollessa 81 %. Tulokset edustavat kuitenkin vain yksittäisen vuoden kurssia, eikä näin ollen ole suoraan yleistettävissä. Opiskelijat arvioivat matemaattisissa tehtävissä menestymistään itsearviointiväitteiden perusteella, eikä Moodle-

tentin antamia pisteitä tarkistettu aineiston analysointivaiheessa. Tämä heikentää tulosten luotettavuutta. Opiskelijoilla ei kuitenkaan pitänyt olla mitään tarvetta esittää valheellisia itsearviointeja, sillä tehtävissä menestyminen ei vaikuttanut heidän kurssiarvosanaansa. Tehtävien itsearvioinnin tarkkuutta heikentävä tekijä oli tehtävien arvioiminen kokonaisuutena, vaikka tehtävät sisälsivät useampia alakohtia. Osa opiskelijoista arvioi väittämien avulla erikseen tehtävien kaikki alakohtat, mutta suurin osa opiskelijoista valitsi vain yhden, tehtävän kokonaisuutta arvioivan väitteen. Itsearviointiväitteitä seurannut avoin tekstikenttä antoi kuitenkin hyvin tietoa opiskelijoiden suoriutumisesta tehtävien eri alakohtissa.

Kyselytutkimuksen luotettavuutta heikentää kyselyn hyvin pieni vastausprosentti, joka oli noin 15 %. Kemian pääaineopiskelijoiden sähköpostilistan kautta ei voitu tavoittaa jo valmistuneita opiskelijoita tai kemiaa sivuaineenaan opiskelleita opiskelijoita. Useat opiskelijat kertoivat jättäneensä vastaamatta kyselyyn, sillä kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suorittamisesta oli kulunut useita vuosia. Nämä opiskelijat kokivat, etteivät pystyneet enää vastaamaan luotettavasti kurssia koskeviin kysymyksiin. Myös muutamat kyselyyn vastanneista opiskelijoista kirjoittivat kyselyn avoimiin kenttiin vastaustensa olevan osittain vain muistinvaraisia arvioita. Tämä on otettava huomioon tulosten luotettavuutta heikentävänä tekijänä. Kysely on helposti toistettavissa ja tuloksien luotettavuutta voitaisiin lisätä teettämällä tutkimus pidempiaikaisena seurantatutkimuksena, toteuttaen kysely joka vuosi heti kurssin päätyttyä.

Kyselytutkimukseen vastanneiden opiskelijoiden arvosanjakauma poikkesi huomattavasti kurssin todellisesta arvosanjakaumasta. Kyselyyn vastanneet opiskelijat olivat saaneet melko tasaisesti kaikkia arvosanoja. Todellisuudessa arvosanjakauma painottuu voimakkaasti arvosanoihin 1 ja 2. Täten vastauksissa painottuvat hieman enemmän kurssilla paremmin menestyneiden opiskelijoiden näkemykset.

14.2 Johtopäätökset

Aiheiden matemaattisuutta pidetään yhtenä suurimmista fysikaalisen kemian oppimista haastavaista tekijöistä.^{26,28,30,77} Ilmiöiden matemaattisen tarkastelun yhdistyminen teoriaan edellyttää hyviä matemaattisia pohjatietoja ja matemaattisten käsitteiden ymmärrystä.^{22,82,85,87} Oppimista haastavat myös kurssien laajat ja abstraktit sisällöt.^{23,28,30,31,48,77} Yksittäisten teemojen syvälliseen käsittelyyn ei riitä aikaa, mikä johtaa helposti virhekäsitysten

syntymiseen.⁸⁰ Lisäksi kurssien huono maine on tunnistettu opiskelijoiden motivaatiota heikentäväksi tekijäksi.^{24,27,28,76}

Fysikaalisen kemian kurssille tullessa opiskelijoiden matemaattinen tausta on hyvin kirjava. Opiskelijat menestyivät heikosti matemaattisessa esitietokokeessa, vaikka kokivat matemaattiset taitonsa pääasiassa melko hyväksi. Opiskelijoilla oli haasteita jopa yksinkertaisissa yhtälönratkaisutehtävissä. Derivoinnin ja integroinnin osalta matemaattisissa taidoissa oli puutteita sekä esitietokokeen että kyselytutkimuksen perusteella. Erityisesti usean muuttujan funktiot sekä osittaisderivointi ja -integrointi jäivät käsittelemättä kemian opiskelijoille pakollisilla matematiikan kursseilla. Haasteet matemaattisten tehtävien tulosten yhdistämisessä fysikaalisen kemian teoriaan viittaavat matemaattisten käsitteiden puutteelliseen ymmärrykseen.

Matematiikan opintojen laajuuden sekä matemaattisten esitietojen havaittiin olevan yhteydessä fysikaalisen kemian kurssilla menestymiseen. Useampia matematiikan kursseja suorittaneet opiskelijat kokivat suurempaa hyötyä suoritetuista matematiikan kursseista ja menestyivät kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 hieman paremmin. Kurssilla paremmin menestyneiden opiskelijoiden kokemus matemaattisten taustatietojensa riittävydestä oli myös positiivisempi kuin heikommin menestyneillä opiskelijoilla.

Opiskelijat kokivat fysikaalisen kemian ilmiöiden jäävän matemaattisuuden varjoon kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1. Erityisesti kurssin luennoille olisi toivottu enemmän ilmiöiden ymmärtämiseen tähtäävää opetusta. Opetushenkilökunnan näkemyksen mukaan opiskelijoiden voimavarat eivät riitä ilmiöiden pohtimiseen matemaattisen suorittamisen jälkeen. Näin ollen opiskelijat eivät onnistu yhdistämään matemaattisia tehtäviä fysikaalisen kemian teoriaan tai soveltamaan oppimaansa.

Abstraktien teemojen oppimista voidaan helpottaa luomalla selkeitä yhteyksiä aiemmin opittuun.⁷⁹ Aktiivisen oppimisen menetelmiä hyödyntämällä voidaan haastaa tunnettuja virhekäsityksiä⁸⁰ ja lisätä opiskelijoiden metakognitiivisten taitojen käyttöä^{58,61}. Keskusteleva opetus auttaa opiskelijoita hahmottamaan laajempia asiakokonaisuuksia.^{45,66} Lisäksi kurssien oppimistavoitteiden tarkka määrittely on olennaista opetuksen sekä arvioinnin yhdenmukaistamiseksi.³⁰ Laajoista sisällöistä tulisi korostaa ydinteemoja, joiden käsittelyyn varattaisiin enemmän aikaa. Erityisesti matemaattisen ja kemiallisen ymmärryksen painotus tulisi määrittellä teemoittain.

14.3 Pohdinta

Fysikaalisen kemian kurssien huono maine opiskelijoiden keskuudessa heikentää opiskelijoiden motivaatiota fysikaalisen kemian opintoja kohtaan. Opiskelijoiden havaittiin jopa pelkäävän kurssia etukäteen etenkin sen matemaattisuuden vuoksi. Kurssin KEMA224 kohdalla maineen parantamisessa olennaista vaikuttaisi olevan opiskelijoiden parempi menestyminen kurssilla. Paremmiin menestyneet opiskelijat kokivat, että kurssista oli peloteltu liikaa etukäteen ja heidän asenteensa fysikaalista kohtaan muuttui positiivisemmaksi kurssin aikana. Opiskelijoiden menestyksen paraneminen voisi näin ollen vaikuttaa myös kurssien yleiseen maineeseen ja parantaa opiskelijoiden motivaatiota fysikaalisen kemian opintoja kohtaan. Alla esitän tämän tutkimuksen pohjalta nousseita ajatuksia kurssien kehittämiseksi sekä jatkotutkimusehdotuksia.

14.3.1 Oppimistavoitteet ja arviointi

Kurssien suunnittelussa tulisi pohtia tarkasti kurssin oppimistavoitteet ja suunnitella kurssin opetus, harjoitukset sekä arviointi näiden tavoitteiden mukaisiksi. Kurssin kemiallisen ja matemaattisen osaamisen painotus tulisi myös päättää ennakkoon ja tuoda selkeästi ilmi myös opiskelijoille. Kurssien sisällöt ovat laajoja, minkä vuoksi kaikkiin teemoihin ei ole mahdollista perehtyä syvällisesti. Olisi kuitenkin tärkeää, että ydinaiheiden oppimiseen varattaisiin kurssilla riittävästi aikaa. Tämä auttaisi opiskelijoita sekä opetushenkilökuntaa hahmottamaan kurssin ydinsisältöjä ja keskittymään olennaisiin asioihin. Kurssin arviointityökalut tulisi suunnitella siten, että ne mittavat asetettujen tavoitteiden mukaista osaamista sisältäen ilmiöiden kemiallista ja matemaattista tarkastelua, painottaen kurssin ydinsisältöjä.

14.3.2 Fysikaalisen kemian ilmiöiden käsittely

Fysikaalisen kemian abstraktit, arkipäivästä irralliset aiheet haastavat oppimista. Näiden teemojen oppimista voitaisiin tehostaa luomalla selkeitä yhteyksiä aiemmin opittuun.⁷⁹ Haastattelujen perusteella kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 käsiteltävistä aiheista useat ovat opiskelijoille tuttuja jo kemian peruskursseilta, mutta aineopintokursseilla niiden tarkastelussa mennään entistä syvemmälle. Oppimista voisi siis mahdollisesti tehostaa korostamalla opetuksessa yhteyksiä peruskursseilla käsiteltyihin materiaaleihin. Yhteistyössä

peruskurssien vetäjien kanssa voitaisiin suunnitella tehtäviä, joita tarkasteltaisiin yleisesti peruskurssilla ja syvennettäisiin aineopintotason kursseilla. Toisaalta aineopintokurssilla voitaisiin esittää samoja kuvia tai kuvaajia, joita on tulkittu jo perusopinnoissa. Peruskurssilta tutun tehtävän, kuvan tai kuvaajan näkeminen loisi yhteyden aiemmin opittuun ja saattaisi näin ollen helpottaa syvällisemmän tarkastelun ymmärtämistä.

Fysikaalisen kemian teemoihin liittyvistä virhekäsityksistä on paljon tutkimustietoa, jota voitaisiin hyödyntää kurssin opetuksessa. Opetuksen tulisi tarjota opiskelijoille tilaisuuksia havaita ja korjata virheellisiä käsityksiään. Aktiivisen oppimisen keinojen hyödyntäminen fysikaalisen kemian kursseilla näyttäisi auttavan opiskelijoita ymmärtämään käsiteltäviä ilmiöitä ja lisäämään opiskelijoiden motivaatiota fysikaalisen kemian opintoja kohtaan. Opiskelijat kokivat kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 aktiivisen oppimisen periaatteita noudattavat ohjaukset oppimista hyvin tukeviksi. Opiskelijat toivoivat kurssille lisää ohjausten kaltaisia oppimistilaisuuksia.

Opiskelijat olivat jossain määrin samaa mieltä siitä, että oppivat kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 ymmärtämään fysikaalisen kemian ilmiöitä. Kuitenkin samaan aikaan opiskelijat kokivat, että kemian sisällöt jäivät piiloon kurssin matemaattisuuden alle. Opetushenkilökunnan näkemyksen mukaan opiskelijoiden voimavarat eivät välttämättä riitä ilmiöiden pohtimiseen matemaattisen suorittamisen jälkeen. Näin ollen opiskelijat eivät onnistu yhdistämään matemaattisia tehtäviä fysikaalisen kemian teoriaan tai soveltamaan oppimaansa. Huomattava osa opiskelijoista koki kurssin jälkeen, ettei osaisi soveltaa kurssilla oppimaansa käytäntöön. Kurssin KEMA224 tenttitehtävät ovat luonteeltaan kurssilla opitun soveltamista mittaavia, mikä saattaa olla eräs selittävä tekijä kurssin arvosanajakauman voimakkaaseen painottumiseen heikompiin arvosanoihin.

Kurssille tarvittaisiin siis opetusmuotoja, jotka yhdistäisivät tehokkaammin ilmiöiden kemiallisen ja matemaattisen tarkastelun.⁷⁶ Aiemmissä tutkimuksissa⁶⁷ tehokkaaksi, etenkin kemian sisältöjen ymmärrystä parantavaksi menetelmäksi on havaittu kurssin eri vaiheissa tehtävät kirjalliset tehtävät, joissa opiskelijat tulee pohtia mitä on tähän mennessä oppinut. Tällainen tehtävä pakottaa opiskelijan tarkastelemaan oppimaansa, mikä auttaa suurempien asiakokonaisuuksien hahmottamisessa ja näin ollen parantaa oppimistuloksia. Tehtävä voi sisältää esimerkiksi tiiviin teorian käsittelyn ja siihen liittyvän matemaattisen tehtävän ratkaisemisen tulosten tarkasteluineen.^{67,76} Tällainen tehtävä vahvistaisi samalla myös teorian yhdistämistä ilmiön matemaattiseen käsittelyyn.

Edellä kuvattu tehtävä vaatii opiskelijoilta metakognitiivisten taitojen käyttöä ja tukee näin ollen myös korkeamman tason ajattelun kehittymistä. Korkeamman tason ajattelun on havaittu olevan yhteydessä opiskelijoiden ongelmanratkaisutaidon kehittymiseen⁶¹, jonka on puolestaan havaittu olevan yhteydessä fysikaalisen kemian kursseilla menestymiseen^{26,27}. Fysikaalisen kemian opintojaksot ovat ensimmäisiä vahvasti matemaattiseen tarkasteluun keskittyviä kursseja kemian opinnoissa, joten kurssien suorittaminen vaatii uudenlaisien opiskelutekniikoiden käyttöä. Erilaisten opiskelutekniikoiden opettaminen opintojen alussa on tutkimusten mukaan parantanut opiskelijoiden opintomenestystä yleisesti kemian opinnoissa.⁶¹ Näiden taitojen opettamista kannattaisi täten harkita osana kemian perusopintoja.

Metakognitiivisten taitojen käyttö tehostuu tutkimusten mukaan myös aktiivisen oppimisen menetelmiä hyödynnettäessä.^{58,61} Kirjallisuuskatsauksessa on esitetty useita tutkimuksia, joissa on käytetty aktiivisen oppimisen menetelmiä osana sekä yleisen kemian että fysikaalisen kemian kurssien uudistamista.^{67,68,76} Näissä tutkimuksissa on saatu lupaavia tuloksia aktiivisen oppimisen hyödyistä kemian opetuksessa. Etenkin kursseilla heikosti menestyneiden opiskelijoiden osuuden on havaittu vähentyneen aktiivisen oppimisen menetelmien käyttöönoton jälkeen.⁷⁶ Tämän tutkimuksen tulosten perusteella kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 luentojen luonnetta kannattaisi kehittää opettajajohtoisesta luennoinnista kohti opiskelijoita enemmän aktivoivaa, keskustelevaa opetusta. Uusien opetusmenetelmien käyttöönotto kannattaa kuitenkin tehdä vaiheittain ja kerätä opiskelijoilta palautetta myös kurssin aikana. Näin voidaan reagoida uusien menetelmien myötä mahdollisesti ilmeneviin ongelmiin jo varhaisessa vaiheessa.

14.3.3 Fysikaalisen kemian kurssien matemaattisuus

Fysikaalisen kemian kurssien matemaattisuus ja huomattava hajonta opiskelijoiden matemaattisessa tasossa on tunnistettu fysikaalisen kemian kursseilla oppimista voimakkaasti haastavaksi tekijäksi. Tulosten perusteella opiskelijat kokivat, etteivät saaneet tarpeeksi tukea matemaattisten tehtävien suorittamiseen. Myös matemaattiset esitietokurssit suorittaneista ja kurssilla KEMA224 hyvin menestyneistä opiskelijoista useat kokivat kaivanneensa kurssin KEMA224 aikana enemmän tukea matemaattisten tehtävien tekemiseen. Heikosti fysikaalisen kemian kurssilla menestyneet opiskelijat kokivat matemaattisuuden esteeksi kurssilla etenemiseen muita opiskelijoita voimakkaammin.

Matemaattisten tehtävien ratkaisemiseen tarjotut tukitoimet olisivat tämän tutkimuksen tulosten perusteella saattaneet auttaa opiskelijoita menestymään paremmin kurssilla KEMA224 Fysikaalinen kemia 1. Erityisesti derivointi ja integrointi useamman muuttujan tapauksissa on opiskelijoille vierasta, sillä matemaattisilla esitietokursseilla ei käsitellä näitä teemoja lainkaan. Tämän vuoksi etenkin näitä menetelmiä vaativien tehtävien kohdalla tulisi varmistaa, että opiskelijoilla on tarvittaessa mahdollisuus saada tukea tehtävien ratkaisemiseen. Kurssin aikana tarjotut tukitoimet saattaisivat auttaa opiskelijoita hahmottamaan paremmin tehtävissä käsiteltäviä fysikaalisen kemian ilmiöitä ja sitä kautta parantaa kurssimenestystä.

Tässä tutkimuksessa ei tarkemmin selvitetty millaisia tukitoimia opiskelijoille tarjottiin ja millaisia tukitoimia opiskelijat olisivat kaivanneet. Selvittämällä tarkemmin opiskelijoiden tarvetta tukitoimille, voitaisiin tuki kohdistaa paremmin opiskelijoiden tarpeita vastaavaksi. Opiskelijat ehdottivat avoimissa vastauksissaan, että haastaviksi koettuja harjoitustehtäviä voisi helpottaa sijoittamalla harjoitusten alkuun teemaan liittyviä helpompia perustehtäviä, joissa pääsisi harjoittelemaan matemaattista menetelmää ennen soveltavampia tehtäviä. Yhtenä tukitoimena voisi kokeilla myös matematiikan laitoksen Calculus-kursseilla käytössä olevia, kurssin aikatauluun sijoitettuja vapaaehtoisia tilaisuuksia, joissa tehtäviä ratkottaisiin ohjaajan avustamana joko itsenäisesti tai pienissä ryhmissä.

Fysikaalisen kemian kurssien aikataulutusta muutettiin uudelle opetussuunnitelmakaudelle 2020–2023. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella muutos saattaa entisestään korostaa opiskelijoiden matemaattisia haasteita etenkin toisen vuoden opintoihin sijoitetulla kurssilla KEMA2250 Atomien ja molekyylien rakenne. Suuri osa opiskelijoista ei ollut suorittanut kolmannen opintovuoden syksyyn mennessä molempia matemaattisia esitietokursseja ja nyt fysikaalisen kemian opintojen alkamista aikaistettiin vuodella. Uuden opetussuunnitelman tullessa voimaan, olisi hyvä tutkia opiskelijoiden matemaattista taustaa kurssille KEMA2250 tultaessa, jotta matemaattisiin ongelmiin voidaan varautua ja reagoida jo kurssin alkaessa.

Opetussuunnitelman muutoksen vuoksi olisi erittäin tärkeää painottaa opintonsa aloittaville kemian opiskelijoille, että matematiikan opinnot tulisi suorittaa jo ensimmäisen opintovuoden aikana. Toisen asteen koulutuksessa lyhyen matematiikan suorittaneille opiskelijoille tämä tuottaa kuitenkin haasteita, sillä sekä lukion pitkän matematiikan sisällöt käsittelevä matematiikan propedeuttinen kurssi MATY010 että ensimmäinen tutkintoon kuuluva kurssi MATP211 Calculus 1 järjestetään syksyn ensimmäisessä periodissa. Tämän vuoksi propedeuttisen kurssin suorittaneet opiskelijat tulevat todennäköisesti opiskelemaan kurssia

MATP211 aikaisintaan opintojen toisen vuoden syksynä, päällekkäin fysikaalisen kemian kurssin KEMA2250 kanssa. Tämän tutkimuksen tulokset antoivat viitteitä siitä, ettei Calculus-kurssien suorittaminen yhtäaikaaisesti fysikaalisen kemian kurssien kanssa tue fysikaalisen kemian kurssin suorittamista. Toisaalta esitetökokeen tulokset osoittavat myös laskurutiinin ylläpitämisen tärkeyden. Mikäli matematiikan opinnot painottuisivat ensimmäisen vuoden opintoihin, tulisi myös pohtia keinoja opiskelijoiden laskurutiinin ylläpitämiseksi.

Matematiikan kurssien aikataulutusta voisi pohtia yhdessä matematiikan laitoksen kanssa siten, että kurssien aikataulutus tukisi paremmin myös kemian pääaineopiskelijoita. Tällä hetkellä kurssia MATP211 Calculus 1 tarjotaan myös verkkokurssina kevätlukukaudella. Verkkokurssin suorittaminen ei kuitenkaan välttämättä tue opiskelijoiden matemaattisten käsitteiden ymmärryksen kehittymistä, mikä on edellytyksenä taitojen soveltamiselle kemian kontekstissa. Etenkin propedeuttisen kurssin suorittaneiden opiskelijoiden olisi tärkeää päästä osallistumaan kontaktiopetuksen, joka tarjoaa paremmat mahdollisuudet matemaattisen ymmärryksen vahvistamiseen.

Tulokset kuitenkin osoittivat, etteivät kurssit MATP211 Calculus 1 ja MATP212 Calculus 2 tarjoa kemian opiskelijoille riittäviä työkaluja fysikaalisen kemian matemaattisista tehtävistä suoriutumiseen. Täten yhteistyö matematiikan laitoksen kanssa myös kurssien sisältöjen kannalta olisi tarpeellista. Keväällä 2020 julkaistu matemaattisten menetelmien verkkomateriaali, Matikkapakki, julkaistiin osittain paikkaamaan näitä sisällöllisiä puutteita. Kuten edellä on todettu, matemaattisen osaamisen siirtyminen kemian kontekstiin vaatii kuitenkin matemaattisten käsitteiden ymmärrystä, jota saattaa olla hankala saavuttaa verkkomateriaalia itse opiskellen. Lisäksi verkkomateriaalin opiskelu on opiskelijoille vapaaehtoista, eikä kartuta opintopisteitä, joten motivaatio materiaalin syvälliseen opiskeluun saattaa olla heikkoa. Tämän vuoksi suositellaan kehitettäväksi kemian opiskelijoille suunnattua matematiikan laitoksen järjestämää kurssia, joka sisältäisi kemian opintojen kannalta olennaisten matemaattisten menetelmien opiskelua. Kurssin pääasiallisena tavoitteena tulisi olla menetelmien hallinta siten, että osaaminen olisi siirrettävissä kemian konteksteihin. Tällainen kurssi tarjoaisi mahdollisuuden opiskella menetelmien käyttöä kemian kontekstiin sijoitettujen esimerkkitehtävien avulla.

15 KIRJALLISUUSLUETTELO

1. KEMP111 Kemian perusteet 1 (yleinen kemia 1) (5 op),
<https://www.jyu.fi/ops/fi/science/kemian-kandidaattiohjelma/unit/3973> (29.1.2020).
2. KEMP112 Kemian perusteet 2 (yleinen kemia 2) (5 op),
<https://www.jyu.fi/ops/fi/science/kemian-kandidaattiohjelma/unit/3974> (29.1.2020).
3. KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 (4 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/kemian-kandidaattiohjelma/unit/3907> (25.12.2019).
4. KEMA225 Fysikaalinen kemia 2 (4 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/kemian-kandidaattiohjelma/unit/3908> (29.1.2020).
5. KEMA230 Fysikaalisen kemian työt (4 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/kemian-kandidaattiohjelma/unit/3909> (29.1.2020).
6. MATY010 Matematiikan propedeuttinen kurssi (5 op),
<https://www.jyu.fi/ops/fi/science/matemaattis-luonnontieteellisen-tiedekunnan-muut-opinnot/unit/6390> (22.5.2020).
7. MATA114 Differentiaaliyhtälöt (4 op),
<https://www.jyu.fi/ops/fi/science/matematiikan-aineenopettajan-kandidaattiohjelma/unit/6160> (22.5.2020).
8. MATP121 Lineaarinen algebra ja geometria 1 (7 op),
<https://www.jyu.fi/ops/fi/science/matematiikan-aineenopettajan-kandidaattiohjelma/unit/6218> (22.5.2020).
9. MATA181 Vektorialculus 1 (5 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/matematiikan-aineenopettajan-kandidaattiohjelma/unit/13627> (22.5.2020).
10. MATA182 Vektorialculus 2 (4 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/matematiikan-aineenopettajan-kandidaattiohjelma/unit/13628> (22.5.2020).
11. MATP211 Calculus 1 (4 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/matemaattis-luonnontieteellisen-tiedekunnan-erilliset-opintokokonaisuudet/unit/14655> (29.1.2020).
12. MATP212 Calculus 2 (5 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/matemaattis-luonnontieteellisen-tiedekunnan-erilliset-opintokokonaisuudet/unit/14656> (29.1.2020).
13. MATP213 Calculus 3 (5 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/matematiikan-aineenopettajan-kandidaattiohjelma/unit/13622> (22.5.2020).
14. FYSP1010 Mekaniikan perusteet (5 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/fysiikan-kandidaattiohjelma/unit/13224> (16.8.2020).
15. FYSP1020 Värähtelyt ja termodynamiikka (5 op),
<https://www.jyu.fi/ops/fi/science/fysiikan-kandidaattiohjelma/unit/13225> (16.8.2020).

16. FYSP1040 Sähköopin perusteet (4 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/fysiikan-kandidaattiohjelma/unit/13227> (16.8.2020).
17. FYSP1050 Sähkömagnetismin perusteet (6 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/fysiikan-kandidaattiohjelma/unit/13228> (16.8.2020).
18. Vanhat opetussuunnitelmat — Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, <https://www.jyu.fi/science/fi/ohjeita-opiskelijalle/tutkinto-ohjelmat/vanhat-opetussuunnitelmat> (22.5.2020).
19. FYSA2001 Moderni fysiikka, osa A (5-6 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/fysiikan-kandidaattiohjelma/unit/16180> (16.8.2020).
20. FYSA1130 Fysiikan numeeriset menetelmät (4 op), <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/fysiikan-kandidaattiohjelma/unit/16202> (16.8.2020).
21. Physical Chemistry - American Chemical Society, <https://www.acs.org/content/acs/en/careers/college-to-career/areas-of-chemistry/physical-chemistry.html> (19.10.2019).
22. Hahn, K. E. ja Polik, W. F., Factors influencing success in physical chemistry, *J. Chem. Educ.*, **2004**, *81*, 567–572.
23. Ellison, M. D. ja Schoolcraft, T. A., Advances in teaching physical chemistry: Overview. Teoksessa: Ellison, M. D. ja Schoolcraft, T. A. (toim.), *Advances in Teaching Physical Chemistry ACS Symposium Series*, American Chemical Society, 2007, vol. 973, ss. 1–7.
24. Moore, R. J. ja Schwenz, R. W., Provocative opinion: The problem with P. chem., *J. Chem. Educ.*, **1992**, *69*, 1001–1002.
25. Porile, N. T., Diagnostic quiz to identify failing students in physical chemistry, *J. Chem. Educ.*, **1976**, *53*, 109–110.
26. Gojak-Salimovic, S.; Korac, F.; Zejnilagic-Hajric, M. ja Nuic, I., Physical chemistry for undergraduate students: Sources of students' difficulties and potential solutions, *Bull. Chem. Technol. Bosnia Herzegovina*, **2018**, 35–40.
27. Nicoll, G. ja Francisco, J. S., An investigation of the factors influencing student performance in physical chemistry, *J. Chem. Educ.*, **2001**, *78*, 99–102.
28. Sözbilir, M., What makes physical chemistry difficult? Perceptions of Turkish chemistry undergraduates and lecturers, *J. Chem. Educ.*, **2004**, *81*, 573–578.
29. Derrick, M. E. ja Derrick, F. W., Predictors of success in physical chemistry, *J. Chem. Educ.*, **2002**, *79*, 1013–1016.
30. Fox, L. J. ja Roehrig, G. H., Nationwide survey of the undergraduate physical chemistry course, *J. Chem. Educ.*, **2015**, *92*, 1456–1465.

31. Gabel, D., Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future, *J. Chem. Educ.*, **1999**, *76*, 548–554.
32. Bain, K.; Moon, A.; Mack, M. R. ja Towns, M. H., A review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level, *Chem. Educ. Res. Pr.*, **2014**, *15*, 320–335.
33. Johnstone, A. H., You can't get there from here, *J. Chem. Educ.*, **2010**, *87*, 22–29.
34. Ivan, M. ja Šulcová, R., Mathematics, chemistry and science connection as a basis of scientific thinking, *SHS Web Conf.*, **2017**, *37*, 01017.
35. Becker, N. ja Towns, M., Students' understanding of mathematical expressions in physical chemistry contexts: An analysis using Sherin's symbolic forms, *Chem. Educ. Res. Pr.*, **2012**, *13*, 209–220.
36. Craig, N. C., Chemistry report: MAA-CUPM curriculum foundations workshop in biology and chemistry, Macalester College, November 2-5, 2000, *J. Chem. Educ.*, **2001**, *78*, 582–586.
37. Neville, R.; Krummel, A. T.; Levinger, N. E. ja Shipman, P. D., Applied mathematics for chemistry majors, https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/acs.jchemed.8b00107/suppl_file/ed8b00107_si_001.pdf (14.9.2019).
38. Atkins, P. ja de Paula, J., *Atkins' Physical Chemistry*, 10. painos, Oxford University Press, Oxford, Iso-Britannia, 2014.
39. Klein, D. J., Mathematical chemistry! Is it? And if so, What is it?, *Hyle*, **2013**, *19*, 35–85.
40. Fyskokärpänen, *Jyväskylän Yliopiston kemistit ry:n Ainejärjestölehti Ruisku*, 2017, 10.
41. Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta — Opetussuunnitelmat, <https://www.jyu.fi/ops/fi/science#autotoc-item-autotoc-2> (25.12.2019).
42. Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan erilliset opintokokonaisuudet — Opetussuunnitelmat, <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/matemaattis-luonnontieteellisen-tiedekunnan-erilliset-opintokokonaisuudet#kemian-perusopinnot-valinnaisina-opintoina-26210> (25.12.2019).
43. Kemian kandidaattiohjelma — Opetussuunnitelmat, <https://www.jyu.fi/ops/fi/science/kemian-kandidaattiohjelma> (25.12.2019).
44. Adams, R. ja Essex, C., *Calculus : a complete course*, 8. painos, Pearson, Yhdysvallat, 2013.
45. Lehtinen, E.; Vauras, M. ja Lerkkänen, M.-K., *Kasvatuspsykologia*, PS-Kustannus, Jyväskylä, 2016.

46. Bransford, J.; Brown, A. L. ja Cocking, R. R., *How people learn - barin, mind, experience and school*, National Academy Press, Washington D.C., Yhdysvallat, 1999.
47. Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R.; Airiasian, P. W.; Cruikshank, K. A.; Mayer, R. E.; Pintrich, P. R.; Raths, J. ja Wittrock, M. C., The revised taxonomy structure. Teoksessa: *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational outcomes: Abridged Edition*, Longman, New York, Yhdysvallat, 2001, ss. 25–92.
48. Sirhan, G., Learning difficulties in chemistry: An overview, *J. Turkish Sci. Educ.*, **2007**, 4, 2–20.
49. Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R.; Airiasian, P. W.; Cruikshank, K. A.; Mayer, R. E.; Pintrich, P. R.; Raths, J. ja Wittrock, M. C., *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational outcomes: Abridged Edition*, Longman, New York, Yhdysvallat, 2001.
50. Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R.; Airiasian, P. W.; Cruikshank, K. A.; Mayer, R. E.; Pintrich, P. R.; Raths, J. ja Wittrock, M. C., The taxonomy: Educational objectives and student learning. Teoksessa: *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational outcomes: Abridged Edition*, Longman, New York, Yhdysvallat, 2001, ss. 1–23.
51. Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R.; Airiasian, P. W.; Cruikshank, K. A.; Mayer, R. E.; Pintrich, P. R.; Raths, J. ja Wittrock, M. C., Appendixes. Teoksessa: *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational outcomes: Abridged Edition*, Longman, New York, Yhdysvallat, 2001, ss. 261–270.
52. Wentzel, K. R. ja Miele, D. B., *Handbook of motivation at school*, 2. painos, Routledge, New York, Yhdysvallat, 2016.
53. Nurmi, J.-E., Motivaation merkitys oppimisessa, *Kasvatus*, **2013**, 44, 548–554.
54. Schunk, D. H.; Meece, J. L. ja Pintrich, P. R., *Motivation in education : theory, research and applications*, 4. painos, Pearson Education, Harlow, 2014.
55. Deci, E. L. ja Ryan, R. M., *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*, Springer Science+Business Media, LLC, New York, Yhdysvallat, 1985.
56. Pintrich, P. R., Multiple goals, multiple pathways: The role of goal orientation in learning and achievement have shown that, *J. Educ. Psychol.*, **2000**, 92, 544–555.
57. Dewey, J., *How we think : a restatement of the relation of reflective thinking to the educative process*, D. C. Heath and company, Boston, Yhdysvallat, 1933.
58. Rickey, D. ja Stacy, A. M., The role of metacognition in learning chemistry, *J. Chem. Educ.*, **2000**, 77, 915–920.

59. Flavell, J. H., Metacognition and cognitive monitoring a new area of cognitive—
Developmental inquiry, *Am. Psychol.*, **1979**, *34*, 906–911.
60. AL-Baddareen, G.; Ghaith, S. ja Akour, M., Self-efficacy, achievement goals, and
metacognition as predictors of academic motivation, *Procedia - Soc. Behav. Sci.*,
2015, *191*, 2068–2073.
61. Cook, E.; Kennedy, E. ja McGuire, S. Y., Effect of teaching metacognitive learning
strategies on performance in general chemistry courses, *J. Chem. Educ.*, **2013**, *90*, 961–
967.
62. Toivola, M.; Peura, P. ja Humaloja, M., *Flipped learning : käännteinen oppiminen*,
Edita, Helsinki, 2017.
63. Chickering, A. ja Gamson, Z., Seven principles for good practice in undergraduate
education, *Am. Assoc. High. Educ. Bull.*, **1987**, *39*, 3–7.
64. Micheal, P., Does active learning work? A review of the research, *J. Eng. Educ.*, **2004**,
93, 223–231.
65. Misseyanni, A.; Lytras, M. D.; Papadopoulou, P. ja Marouli, C., Active learning
strategies in higher education : Teaching for leadership, innovation, and creativity,
Emeral Publ., **2018**, 399.
66. Harmin, M. ja Toth, M., *Inspiring active learning : a complete handbook for today's
teachers*, 2. painos, Association for Supervision and Curriculum Development,
Alexandria, Va., Yhdysvallat, 2006.
67. Hinde, R. J. ja Kovac, J., Student active learning methods in physical chemistry, *J.
Chem. Educ.*, **2001**, *78*, 93–99.
68. Donnelly, J. ja Hernández, F. E., Fusing a reversed and informal learning scheme and
space: Student perceptions of active learning in physical chemistry, *Chem. Educ. Res.
Pract.*, **2018**, *19*, 520–532.
69. Poikela, E., *Ongelmaperustainen pedagogiikka : Teoriaa ja käytäntöä*, Tampere
University Press, 2002.
70. Taber, K. S., Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical
knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education, *Chem. Educ.
Res. Pr.*, **2013**, *14*, 156–168.
71. Johnstone, A. H., Teaching of chemistry - logical or psychological?, *Chem. Educ. Res.
Pr.*, **2000**, *1*, 9–15.
72. Johnstone, A. H., Chemical education research in Glasgow in perspective, *Chem. Educ.
Res. Pract.*, **2006**, *7*, 49–63.
73. Markic, S.; Broggy, J. ja Childs, P., How to deal with linguistic issues in chemistry

- classes. Teoksessa: Eilks, I. ja Hofstein, A. (toim.), *Teaching Chemistry – A Studybook*, SensePublishers, Rotterdam, Alankomaat, 2013, ss. 127–152.
74. Taber, K. S., Exploring the language(s) of chemistry education, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2015**, *16*, 193–197.
75. Gavroglu, K. ja Simões, A., From physical chemistry to quantum chemistry: How chemists dealt with mathematics, *Hyle*, **2012**, *18*, 45–69.
76. Partanen, L., Student oriented approaches in the teaching of thermodynamics at universities – developing an effective course structure, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2016**, *17*, 766–787.
77. Tsaparlis, G., The logical and psychological structure of physical chemistry and its relevance to graduate students’ opinions about the difficulties of the major areas of the subject, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2016**, *17*, 320–336.
78. Bruce, C. D., Beyond the syllabus: Using the first day of class in physical chemistry as an introduction to the development of macroscopic, molecular-level, and mathematical models, *J. Chem. Educ.*, **2013**, *90*, 1180–1185.
79. Taber, K., Chemistry lessons for universities?: A review of constructivist ideas, *Univ. Chem. Educ.*, **2000**, *4*, 63–72.
80. Thomas, P. L. ja Schwenz, R. W., College physical chemistry students’ conceptions of equilibrium and fundamental thermodynamics, *J. Res. Sci. Teach.*, **1998**, *35*, 1151–1160.
81. Cuadros, J.; Yaron, D. ja Leinhardt, G., Chemical education research: ”One firm spot”: The role of homework as lever in acquiring conceptual and performance competence in college chemistry, *J. Chem. Educ.*, **2007**, *84*, 1047–1052.
82. Hoban, R. A.; Finlayson, O. E. ja Nolan, B. C., Transfer in chemistry: a study of students’ abilities in transferring mathematical knowledge to chemistry, *Int. J. Math. Educ. Sci. Technol.*, **2013**, *44*, 14–35.
83. Johnston, P. R.; Watters, D. J.; Brown, C. L. ja Loughlin, W. A., An investigation into student perceptions towards mathematics and their performance in first year chemistry: introduction of online maths skills support, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2016**, *17*, 1203–1214.
84. Bird, L., Logical Reasoning Ability and Student Performance in General Chemistry, *J. Chem. Educ.*, **2010**, *87*, 541–546.
85. Potgieter, M.; Harding, A. ja Engelbrecht, J., Transfer of algebraic and graphical thinking between mathematics and chemistry, *J Res Sci Teach*, **2008**, *45*, 197–218.
86. Scott, F. J., Is mathematics to blame? An investigation into high school students’

- difficulty in performing calculations in chemistry, *Chem. Educ. Res. Pr.*, **2012**, *13*, 330–336.
87. Leopold, D. G. ja Edgar, B., Degree of mathematics fluency and success in second-semester introductory chemistry, *J. Chem. Educ.*, **2008**, *85*, 724–731.
88. Regressioanalyysi - KvantimOTV,
<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/regressio/analyysi.html> (9.9.2020).
89. Uusi Matikkapakki auttaa fysiikan ja kemian opiskelijoilta kurssitehtävissä — Jyväskylän yliopisto, <https://www.jyu.fi/fi/ajankohtaista/arkisto/2020/01/uusi-matikkapakki-auttaa-fysiikan-ja-kemian-opiskelijoilta-kurssitehtavissa> (29.7.2020).
90. Matikkapakki — Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta,
<https://www.jyu.fi/science/fi/ohjeita-opiskelijalle/opiskelu/matikkapakki-tukimateriaaliluun> (29.7.2020).

LITTEET

Haastattelu 1

1. Millaiseksi koet opiskelijoiden matemaattiset valmiudet fysikaalisen kemian kursseille tultaessa?
2. Millaisiin fysikaalisen kemian matemaattisuuteen liittyviin teemoihin toivoisit tämän tutkimuksen vastaavan?
3. Millaisia kehitysideoita sinulla on mielessäsi fysikaalisen kemian kursseille?

Haastattelu 2

1. Millaiseksi koet opiskelijoiden matemaattiset valmiudet fysikaalisen kemian kursseille tultaessa?
2. Miten fysikaalisen kemian opetusta ollaan kehittämässä?
3. Millaisiin fysikaalisen kemian kurssien kehittämiseen liittyviin teemoihin toivoisit tämän tutkimuksen vastaavan?
4. Millaisia kehitysideoita sinulla on mielessäsi fysikaalisen kemian kursseille?

Haastattelu 3

1. Miten kurssia KEMA224 Fysikaalinen 1 on toteutettu ja kehitetty niinä vuosina, kun olet ollut kurssin vastuhenkilönä?
2. Millaiseksi koet opiskelijoiden matemaattiset valmiudet fysikaalisen kemian kursseille tultaessa?
3. Millaisia vaikeuksia olet havainnut opiskelijoilla kurssin KEMA224 Fysikaalinen kemia 1 suorittamisessa?
4. Millaisiin fysikaalisen kemian matemaattisuuteen liittyviin teemoihin toivoisit tämän tutkimuksen vastaavan?
5. Millaisia kehitysideoita sinulla on mielessäsi fysikaalisen kemian kursseille?

Taustatietokysymykset

1. Pääaineesi?

Biologia
Fysiikka
Kemia
Matematiikka
Muu, mikä?

2. Oletko käynyt lukion pitkän matematiikan?

Kyllä
Ei

3. Mitä seuraavista matematiikan kursseista olet suorittanut ennen kurssin alkamista?

MATY010, Matematiikan propedeuttinen kurssi
MATP121 Lineaarinen algebra ja geometria 1
MATP211, Calculus 1
MATP212, Calculus 2
MATP213, Calculus 3
MATA114, Differentiaaliyhtälöt
MATA181, Vektorialculus 1
MATA182, Vektorialculus 2
FYSP111, Derivointi ja integrointi
FYSP112, Vektorit ja kompleksiluvut
FYSP113, Differentiaaliyhtälöt

4. Mitä seuraavista fysiikan kursseista olet suorittanut ennen kurssin alkamista?

FYSP1010 Mekaniikan perusteet
FYSP1020 Värähtelyt ja termodynamiikka
FYSP1040 Sähköopin perusteet
FYSP1050 Sähkömagnetismin perusteet
FYSA2001 Moderni fysiikka
FYSA1130 Fysiikan numeeriset menetelmät

5. Millaiseksi koet omat matemaattiset taitosi? Valitse seuraavista väittämistä kolme parhaiten tunnettasi kuvaavaa väittämää.

Pärjään hyvin matemaattisissa tehtävissä.

Pärjään kohtalaisesti matemaattisissa tehtävissä.

Pärjään huonosti matemaattisissa tehtävissä.

Koen sanalliset matemaattiset tehtävät helpoiksi.

Koen sanalliset matemaattiset tehtävät haastaviksi.

Matematiikan oppiminen ei vaadi minulta suurta työpanosta.

Matematiikan oppiminen vaatii minulta paljon työtä.

En koe oppivani matematiikkaa, vaikka teen sen eteen paljon töitä.

En koe oppivani matematiikkaa, enkä jaksakaan tehdä sen eteen juurikaan töitä.

6. Kuvaile omin sanoin matemaattisia taitojasi. (avoin tekstikenttä)

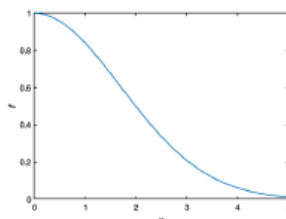
Ohjaus 1: matemaattisia taitoja

1. a) Ratkaise x yhtälöstä $a + bc \log_e x = y$.
- b) Ratkaise y yhtälöstä $\frac{1}{y} - \frac{1}{y_0} = 2ab$.
2. a) Ratkaise T yhtälöstä: $\ln p = \ln \left[b \exp \left(-\frac{H}{RT} \right) \right]$.
- b) Sievennä van der Waalsin yhtälö $\left[p - a \left(\frac{n}{V} \right)^2 \right] [V - nb] = nRT$ muotoon, jossa ei esiinny V eikä n sijoittamalla $V_m = V/n$.

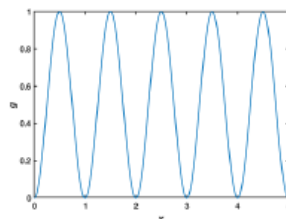
3. a) Kirjoita auki summa- ja tulotermit (Σ) ja (Π) funktioissa f ja g :

$$f(x) = \sum_{n=-1}^1 a_{n+1} x^n \quad \text{ja} \quad g = \frac{N!}{\prod_{n=0}^2 a_n!}$$

- b) Alla olevassa kuvassa on esitetty funktio muotoa $f(x) = \exp(-ax^2)$. Mikä on parametri a ? (Tarkastele funktion arvon on putoamista puoleen.)



- c) Alla olevassa kuvassa on esitetty funktio muotoa $g(x) = \sin^2\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$. Mikä on parametri L ?



4. a) Laske derivaatta $\frac{d}{dx}(ax^{-1} + b + cx)^{1/2}$.
- b) Derivoi ajan suhteen konsentraatio $c(t) = c_0 \exp(-2kt)$.
5. a) Laske integraali $\int_1^2 (ax^{-1} + b + cx) dx$.
- b) Määritä keskimääräinen vauhti $\bar{v} = \int_0^\infty v f(v) dv$, kun jakauma on $f(v) = 4\pi \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} v^2 e^{-Mv^2/(2RT)}$ ja taulukkokirjan integrointikaava on $\int_0^\infty x^{2n+1} e^{-ax^2} dx = \frac{n!}{2a^{n+1}}$.

Saatekirje

Kemian pääaineopiskelijoille pakolliset fysikaalisen kemian aineopintokurssit jakavat paljon mielipiteitä ja näyttäytyvät usein keskusteluissa. Syksyllä 2020 voimaan astuvan uuden opetussuunnitelman myötä kurssien opetusta ja sisältöjä ollaan kehittämässä. Kurssien kehittämisessä hyödynnetään tuoretta tutkimustietoa yliopistoon soveltuvista pedagogisista menetelmistä sekä kurssien vastuuhenkilöiden kokemuksia aiemmilta vuosilta. Tämän kyselytutkimuksen avulla on mahdollista tuoda esiin myös opiskelijoiden kokemuksia kehitystyön tueksi. Tavoitteena on kuulla kurssille osallistuneiden opiskelijoiden näkemyksiä kurssien hyvistä ja huonoista puolista.

Tämä kyselytutkimus koskee kurssia Fysikaalinen kemia 1. Tutkimus on osa kemian aineenopettajalinjan Pro gradu -tutkielmaani, missä keskityn tarkastelemaan fysikaalisen kemian oppimisen haasteita pääasiassa matemaattisesta näkökulmasta. Pyrin pohtimaan opiskelijoiden matemaattisten taitojen yhteyttä fysikaalisen kemian kurseilla pärjäämiseen ja miettimään mahdollisia kehitysehdotuksia opiskelijoilta kerätyn aineiston ja aiemman tutkimustiedon pohjalta.

Kyselyyn vastaaminen tapahtuu anonymisti, eikä vastauksia voida yhdistää vastaajaan. Kyselyyn vastataksesi riittää, että olet osallistunut kurssille, vaikka suoritusmerkintä olisikin vielä saamatta. Kyselyyn voivat vastata kaikki kurssille osallistuneet, pääaineesta riippumatta. Aineistoa käytetään tähän tutkielmaan ja se poistetaan tutkielman valmistuttua. Osa kysymyksistä on rinnastettavissa kurssipalautteeseen ja näiltä osin aineistoa tullaan käsittelemään kurssipalautteen tavoin kurssin kehittämistarkoituksessa.

Kyselyyn vastaaminen on täysin vapaaehtoista ja vie aikaa noin 10-15 minuuttia. Toivoisin, että mahdollisimman moni kurssin käynyt vastaisi kyselyyn, jotta opiskelijoiden ääni saataisiin mahdollisimman vakuuttavasti esille.

Kiitos kaikille vastaajille!

Liisi Rajala
liisi.t.rajala@student.jyu.fi
045-6795198

Ohjaaja:
Jouni Välisaari
jouni.valisaari@jyu.fi
040-8053720

1. Pääaineesi?

- Biologia
- Fysiikka
- Kemia
- Matematiikka
- Muu, mikä?

2. Matematiikan opintojesi laajuus toisen asteen koulutuksessa?

- Pitkä matematiikka
- Lyhyt matematiikka
- Muu, mikä?

3. Minä vuonna osallistuit kurssille Fysikaalinen kemia 1 ensimmäistä kertaa?

- 2019
- 2017 tai 2018
- 2014, 2015 tai 2016
- 2013
- 2012 tai aiemmin

4. Minkä arvosanan sait kurssista?

- 5
- 4
- 3
- 2
- 1
- En ole vielä saanut kurssia suoritettua

5. Luetko oppikirjatekstistä kaavat ja yhtälöt?

- Luen aina kaavat ja yhtälöt.
- Luen vain osan kaavoista ja yhtälöistä.
- Luen yleensä pelkät kaavat ja yhtälöt.
- Hyppään lukiessani kaavojen ja yhtälöiden yli.
- En lue oppikirjoja

6. Kuvaile omin sanoin matemaattisia taitojasi.

7. Vastaa seuraaviin matematiikan tärkeyttä koskeviin väitteisiin. 1 = Täysin eri mieltä, 2 = Jokseenkin eri mieltä, 3 = Jokseenkin samaa mieltä, 4 = Täysin samaa mieltä, EOS = En osaa sanoa

| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Pidän matemaattisia taitoja tärkeinä kemian opiskelun kannalta. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Pidän matemaattisia taitoja tärkeinä fysikaalisen kemian opiskelun kannalta. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

8. Mitä seuraavista matematiikan kursseista olit suorittanut ENNEN kurssia Fysikaalinen kemia 1?

- MATY010, Matematiikan propedeuttinen kurssi
- MATP121 Lineaarinen algebra ja geometria 1
- MATP211, Calculus 1
- MATP212, Calculus 2
- MATP213, Calculus 3
- MATA114, Differentiaaliyhtälöt
- MATA181, Vektorialculus 1
- MATA182, Vektorialculus 2
- FYSP111, Derivointi ja integrointi
- FYSP112, Vektorit ja kompleksiluvut
- FYSP113, Differentiaaliyhtälöt
- En mitään yllä mainituista

9. Miten suorittamasi matematiikan kurssit tukivat kurssin Fysikaalinen kemia 1 suorittamista?

10. Vastaa seuraaviin matematiikan teemoja koskeviin väitteisiin ajatellen kurssia Fysikaalinen kemia 1. 1 = Täysin eri mieltä, 2 = Jokseenkin eri mieltä, 3 = Jokseenkin samaa mieltä, 4 = Täysin samaa mieltä, EOS = En osaa sanoa

| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Taustatietoni logaritmfunktioista olivat riittävät. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Taustatietoni eksponenttifunktioista olivat riittävät. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Taustatietoni derivaattafunktioista olivat riittävät. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Taustatietoni integraalifunktioista olivat riittävät. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Taustatietoni trigonometrisistä funktioista olivat riittävät. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Taustatietoni kuvaajien piirtämisestä ja tulkitsemisessä olivat riittävät. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

11. Vastaa seuraaviin kurssin Fysikaalinen kemia 1 matemaattisuutta koskeviin väittämiin. 1 = Täysin eri mieltä, 2 = Jokseenkin eri mieltä, 3 = Jokseenkin samaa mieltä, 4 = Täysin samaa mieltä, EOS = En osaa sanoa

| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Suorittamistani yliopiston matematiikan kurseista oli hyötyä kurssilla Fysikaalinen kemia 1. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Minulla oli kurssilla tarvittavat matemaattiset taidot. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Kurssi vahvisti matemaattista osaamistani. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Kurssi opetti minulle uusia matemaattisia taitoja. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Olisin tarvinnut kurssilla enemmän tukea matemaattisiin tehtäviin. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| En oppinut tarvittavia matemaattisia taitoja kurssin aikana. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Kurssilla keskityttiin liikaa matemaattisten taitojen oppimiseen. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Matemaattisuus oli minulle este kurssilla etenemiseen. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

12. Mitä matemaattisia taitoja olisit tarvinnut suoriutuaksesi paremmin kurssista Fysikaalinen kemia 1?

16. Miten paljon osallistuit kurssin luennoille?

- Osallistuin kaikille luennoille.
- Osallistuin lähes kaikille luennoille.
- Osallistuin muutamille luennoille.
- En osallistunut luennoille.

17. Vastaa seuraaviin väittämiin koskien kurssin luentoja. 1 = Täysin eri mieltä, 2 = Jokseenkin eri mieltä, 3 = Jokseenkin samaa mieltä, 4 = Täysin samaa mieltä, EOS = En osaa sanoa

| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Kurssin luennot olivat hyödyllisiä. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Luennoilla oli helppo seurata opetettavaa aihetta. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ilmiöiden ymmärtämiseen käytettiin tarpeeksi aikaa luennoilla. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Luennoilla käytettiin liikaa aikaa laskujen läpikäymiseen. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

18. Millaiseksi koet luennolla käytyjen laskuesimerkkien vaikeustason?

- Liian helppoja
- Sopivan haastavia
- Liian haastavia
- En osaa sanoa

19. Millaiseksi koit harjoitustehtävien vaikeustason?

- Liian helppoja
- Mukavan helppoja
- Sopivan haastavia
- Liian haastavia
- En osaa sanoa

20. Miten paljon teit harjoitustehtäviä kurssin aikana?

- Tein kaikki tehtävät.
- Tein kaikki tehtävät, jotka osasin.
- Tein vain osan tehtävistä.
- En tehnyt tehtäviä lainkaan.

21. Vastaa seuraaviin harjoitustehtäviä koskeviin väittämiin. 1 = Täysin eri mieltä, 2 = Jokseenkin eri mieltä, 3 = Jokseenkin samaa mieltä, 4 = Täysin samaa mieltä, EOS = En osaa sanoa

| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Harjoitustehtävät syvensivät luennoilla opittua. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Harjoitustehtävät auttoivat ymmärtämään fysikaalisen kemian ilmiöitä. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Harjoitustehtävissä tarvittava matematiikka oli esteenä ilmiöiden ymmärtämiselle. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Sain tarpeeksi tukea harjoitustehtävien tekemiseen. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Harjoitustehtävistä annetut malliratkaisut olivat hyödyllisiä. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Koen onnistumisen iloa, kun saan haastavan harjoitustehtävän ratkaistua. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

22. Millaisia lisäharjoituksia olisit kaivannut kurssille ja missä vaiheessa?

Ohjaukset ovat olleet käytössä vuosina 2014-2019. Jätähän vastaamatta ohjauksia koskeviin kysymyksiin, jos olet suorittanut kurssin Fysikaalinen kemia 1 ennen vuotta 2014.

23. Miten paljon osallistuit kurssin ohjauksiin?

- Osallistuin kaikkiin ohjauksiin.
- Osallistuin lähes kaikkiin ohjauksiin.
- Osallistuin muutamiin ohjauksiin.
- En osallistunut ohjauksiin.

24. Millaiseksi koit ohjaustehtävien vaikeustason?

- Liian helppoja
- Mukavan helppoja
- Sopivan haastavia
- Liian haastavia
- En osaa sanoa

25. Vastaa seuraaviin ohjaustehtäviä koskeviin väittämiin. 1 = Täysin eri mieltä, 2 = Jokseenkin eri mieltä, 3 = Jokseenkin samaa mieltä, 4 = Täysin samaa mieltä, EOS = En osaa sanoa

| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Ohjaustehtävät syvensivät luennoilla opittua. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ohjaustehtävistä oli hyötyä harjoitustehtävien tekemiseen. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ohjaustehtävät auttoivat ymmärtämään fysikaalisen kemian ilmiöitä. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Tehtävistä keskustelu ryhmissä syvensi oppimistani. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Sain tarpeeksi tukea ohjaustehtävien tekemiseen. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ohjaustehtävissä tarvittava matematiikka oli esteenä ilmiöiden ymmärtämiselle. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

26. Millainen jälkivaikutelma sinulle jäi kurssista? Vastaa väittämiin. 1 = Täysin eri mieltä, 2 = Jokseenkin eri mieltä, 3 = Jokseenkin samaa mieltä, 4 = Täysin samaa mieltä, EOS = En osaa sanoa

| | 1 | 2 | 3 | 4 | EOS |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Kurssi oli helppo. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Kurssi oli työläs. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Opin kurssilla ymmärtämään fysikaalisen kemian ilmiöitä. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Osaan soveltaa kurssilla oppimaani käytäntöön. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Kurssi vaati paljon matemaattista osaamista. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Pidin kurssista sen matemaattisuuden vuoksi. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Kemian sisällöt jäivät kurssilla matematiikan varjoon. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Vanhempien opiskelijoiden antama mielikuva kurssista piti paikkansa. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Kurssista oli peloteltu liikaa etukäteen. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Asenteeni fysikaalista kemiaa kohtaan muuttui positiivisemmaksi kurssin käytyäni. | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

27. Jos mieleesi nousi vielä jotain, mitä haluaisit sanoa kurssista fysikaalinen kemia 1, niin kirjoita se tähän.