

Oppilaiden käsityksiä faasikaavioista lukion termodynamiikassa

Ismo Jousmäki



Pro Gradu
Fysiikan laitos
Jyväskylän yliopisto

Jyväskylän yliopisto
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Fysiikan laitos

Jousmäki Ismo: Oppilaiden käsityksiä faasikaavioista lukion termodynamiikassa

Työn ohjaaja: dosentti Juha Merikoski

Tarkastajat: dosentti Juha Merikoski ja professori Jukka Maalampi

Elokuu 2009

Tiivistelmä

Fysiikan lämpöopin opetuksessa faasikaaviot koetaan usein vaikeaksi asiaksi opettaa. Aikaisempien tutkimusten mukaan faasikaavion hahmottamisen on todettu olevan oppilaille vaikeaa. Faasikaavioissa ovat hankaluutena, kuten lämpöopissa yleensäkin, käsitteet, joilla on arkikielessä eri merkitys kuin fysiikassa, sekä lämpöopin perusilmiöiden abstraktius. Faasikaavio onkin melko abstrakti esitys arjesta tutuille konkreettisille olomuodon muutoksille.

Tässä pro gradu -tutkielmassa tarkastellaan lukion oppilaiden käsityksiä faasikaavioista ja pohditaan syitä siihen, mikä faasikaaviosta tekee niin vaikean sisäistää. Pohdinnan kohteena on lisäksi se, kuinka faasikaavioiden opetusta voitaisiin kehittää, jotta niiden oppimisesta saataisiin helpompaa. Tutkielmaa varten toteutettiin kyselytutkimus juuri lukion lämpöopin kurssin suorittaneille opiskelijoille.

Tutkimuksen tuloksina havaittiin, etteivät oppilaat osaa yhdistää heille arjesta tuttua ilmiötä oppitunnilla esitettyyn abstraktimpaan malliin samasta asiasta. Tätä abstraktimpaa mallia ei myöskään osattu kytkeä aiemmin samalla kurssilla opetettuun konkreettisempaan esitykseen. Faasikaaviota osataan käyttää perustehtävissä hyvin, mutta sen soveltaminen ei onnistu. Lisäksi havaittiin lämpötilaa vieraamman suureen, paineen, muutosten tuottavan suuria ongelmia faasikaavion käytössä. Tuloksia tarkasteltiin myös aiemmin tekemäni oppikirja-analyysin valossa, etsien samalla mahdollisia korjausehdotuksia oppikirjojen sisältöihin.

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Faasikaavioiden teoriaa	4
2.1	Olomuodot ja niiden muutokset	4
2.2	Faasit ja faasidiagrammit	6
3	Oppilaiden käsityksistä	9
4	Oppilaskysely	13
5	Analysointimenetelmät	15
5.1	Konsentraatioanalyysi	15
5.2	T-testi	22
6	Oppilaskyselyn tulkintaa ja tuloksia	23
6.1	Tehtävien tarkastelua	23
6.2	Tehtäväkohtaiset tulokset ja korrelaatiot	35
6.3	Oppikirjojen tarkastelua	39
6.4	Vastausten vertailua	42
7	Päätelmiä ja johtopäätöksiä	47
	Lähteet	52

1 Johdanto

Olomuodonmuutokset ovat jokapäiväinen osa normaalia arkielämäämme. Voimme havaita niitä kaikkialla ympärillämme. Useat päivittäiset asiat perustuvat jollain tavalla olomuodonmuutoksiin. Peruskoulussa ja lukiossa meille opetetaan tämän tärkeän aiheen perusteita. Asia vaikuttaa nopeasti katsottuna yksinkertaiselta, mutta sen opettaminen ja oppiminen sekä kytkeminen oppilaiden normaaliin arkeen eivät lopulta kuitenkaan sitä ole. Usein törmää mitä mielenkiintoisimpiin ja haastavampiin pulmiin yrittäessään ymmärtää tätä ihmeellistä asiaa.

Faasikaavio on yksinkertaisen näköinen kaavio, johon kuitenkin on onnistuttu keräämään suuri määrä tietoa olomuotojen muutoksista ja niihin liittyvistä ilmiöistä. Olen opettanut faasikaavioita lukiolaisille ja niiden vaikeus yllätti – olin aina luullut, ettei niin yksinkertaisessa kaaviossa mitään vaikeaa ole. Kun seurasin oppilaiden työskentelyä ja heidän esittämiään ajatuksia, havaitsin, että kaavion voi käsittää yllättävän monella tavalla ja sen tulkinta ei aina ole kovin yksiselitteinen. Tämä sai pohtimaan faasikaavioita syvemmin.

Fysiikan opetuksessa lämpöoppi on usein se fysiikan osa-alue, joka koetaan vaikeaksi aiheeksi opettaa. Lämpöopin opetusta hankaloittavat käsitteet, joilla on arkikielessä eri merkitys kuin fysiikassa, sekä lämpöopin perusilmiöiden abstraktius. Abstrakti kuvaus on vaikea selittää arkisten, oppilaille tutujen asioiden avulla [Lakanen, 2007]. Faasikaavioiden kohdalla abstraktin ja arkipäiväisen kytkeminen toisiinsa voidaan havaita hyvinkin selvästi jo pienissä ja näennäisesti yksinkertaisissa asioissa.

Tutkimuksissa ja käytännön kokemuksen kautta on havaittu, että lämpöopissa merkittävimpiä oppimisen esteitä on lämmön aineellistaminen. Tämä seikka nousee esiin varsinkin oppilaiden väärinkäsityksiä koskevissa tutkimuksissa, joihin on osallistunut oppilaita aina peruskoulun ensimmäisiltä luokilta yliopistoihin saakka. Juuri tästä hankaluudesta aiheutuu arkikielen ja fysiikan käsitteiden eroavaisuus. Osa väärinkäsityksistä omaksutaan jo ennen kouluun menoa, mutta suurin osa niistä opitaan kouluissa, kun käsitteitä käytetään ilman, että niitä on selitetty riittävästi. Hyvä esimerkki

on lämmön samaistaminen muihin energiakäsitteisiin. Faasidiagrammien kohdalla törmätään usein sekä hankaliin käsitteisiin että fysiikan abstraktimpaan puoleen [Lakanen, 2007].

Oppilaiden käsityksistä aineen olomuodoista ja olomuodon muutoksista on tehty useita tutkimuksia ympäri maailmaa. Nämä tutkimukset liittyvät osaltaan myös faasidiagrammeihin. Pääpaino näissä tutkimuksissa on ollut veden olomuotojen muutoksiin liittyvissä ilmiöissä, eikä niissä ole suoraan tutkittu faasikaavioiden ymmärtämistä. Näissä tutkimuksissa on kuitenkin usein todettu faasikaavioiden olevan oppilaille hyvin vaikeita ymmärtää [Koistinen, 2005].

Suoraan faasikaavioihin liittyviä tutkimuksia on tehty vähän. Näistä vähistä tutkimuksista esimerkiksi Koistinen on tutkinut pro gradu -tutkielmassaan lukion oppilaiden käsityksiä olomuodon muutoksista, tasapainotilasta ja faasidiagrammeista. Tutkimuksessaan Koistinen toteaa oppilaiden osanseen tulkita faasidiagrammeja varsin hyvin, vaikka faasidiagrammi on tunnetusti hankala asia. Miksi yksinkertainen kaavio voi olla niin hankala? Tähän on useita syitä, mutta tärkein lienee juuri sen abstraktisuus.

Tässä tutkimuksessa tutkin oppilaiden käsityksiä faasikaavioista. Kyselytutkimuksen kautta pyrin selvittämään kuinka hyvin lukiolaiset osaavat tulkita faasikaaviota ja ymmärtävät sen yhteyden olomuotojenmuutoksiin. Pyrin selvittämään syitä siihen, miksi faasikaavion hahmottaminen on vaikeata ja kuinka sitä voitaisiin opetuksen avulla helpottaa. Samalla pyrin tunnistamaan, paljastuuko vastauksien joukosta selkeitä virhekäsityksiä. Työssä tukeudutaan myös jo aiemmin tekemääni oppikirja-analyysiin faasikaavioiden osalta [Jousmäki, 2008].

Kyselyn vastauksia analysoitaessa käytetään apuna t-testiä, joka on erilaisten testitulosten vertailussa paljon käytetty keskiarvotesti. Se testaa kahden joukon erojen merkitsevyytasoja. Lisäksi tutkimuksessa käytetään konsentraatioanalyysiä. Kun perinteinen kyselyiden ja testien analysointi on perustunut oikeiden vastausten määrän ja systematiikan tutkimiseen, konsentraatioanalyysissä tarkastellaan monivalintatehtävien vastausjakaumia tehtäväkohtaisesti. Tällöin voidaan oikeiden vastausten tutkimisen lisäksi ottaa huomioon myös virheellisten vastausten antama informaatio. Virheellisten vastausten tarkastelu on erityisen hyödyllistä silloin, kun vastaajilla on johdonmukaisia

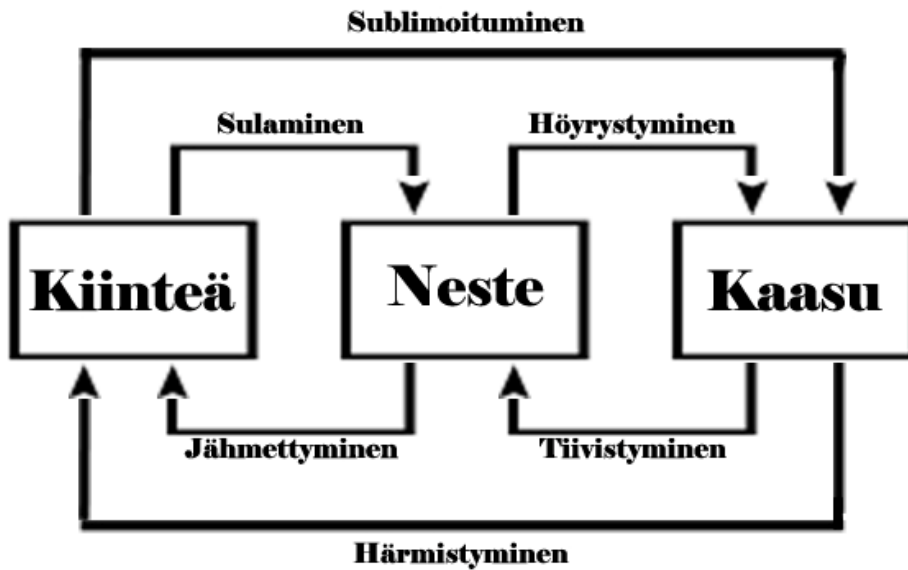
virhekäsityksiä eli heidän vastauksensa ovat keskittyneet näitä virhekäsityksiä vastaaviin vaihtoehtoihin. Virhekäsitysten selvittäminen on tärkeätä opetuksen kannalta, jotta niiden häiritsevä vaikutus voidaan ehkäistä heti opetuksen alkuvaiheessa [Bao 1999, Bao & Redish 2001].

2 Faasikaavioiden teoriaa

2.1 Olomuodot ja niiden muutokset

Aine voi olla useissa erilaisissa olomuodoissa. Se, missä olomuodossa sen näemme, riippuu tilanmuuttujista, joita ovat paine p , tilavuus V ja lämpötila T . Tietty aine saa näiden kolmen muuttujan määrittelemissä olosuhteissa rakenteen, jota sen ominaisuuksien perusteella kutsumme olomuodoksi. Arkioloissa aine esiintyy tavallisesti kolmessa olomuodossa: kiinteänä, nesteinä tai kaasuna. Näiden kolmen olomuodon lisäksi on havaittu atomien järjestäytymistä kompleksisiksi aineiksi, jotka poikkeavat edellä mainituista kolmesta yksinkertaisesta mallista ominaisuuksiltaan. Tässä työssä keskitytään jatkossa vain kolmeen pääolomuotoon [Young & Freedman 2004].

Yhden tilanmuuttujan muuttuessa myös toinen usein muuttuu ja samalla saattaa tapahtua olomuodon muutos toiseen olomuotoon, riippuen kyseisen aineen muista ominaisuuksista. Olomuodon muutokset tapahtuvat esimerkiksi, kun aineen atomien tai molekyylien liike-energiassa tapahtuu muutoksia. Molekyylien väliset vuorovaikutusvoimat ovat paljon heikompia kuin molekyylien sisäiset voimat, jotka sitovat yksittäiset atomit toisiinsa. Kun liike-energia vähenee, molekyylien keskimääräiset etäisyydet pienenevät ja niiden välinen vetovoima korostuu. Tällöin esimerkiksi kaasumainen aine voi tiivistyä nesteeksi. Jos energia edelleen vähenee, neste jähmettyy kiinteäksi aineeksi. Vastaavasti energian muutokset selittävät muutkin olomuodonmuutosprosessit, jotka ovat esitettynä kuvassa 1 [Hemilä & Utriainen 1989, Eskola, Ketolainen & Stenman 2005].



Kuva 1. Aineen olomuodonmuutokset

Muita olomuodon muutoksia ovat kiinteän aineen sulaminen nesteeksi sekä nesteen höyrystyminen kaasuksi. Nämä muutokset tapahtuvat esimerkiksi lämpötilan noustessa, jolloin atomien energia nousee ja ne alkavat liikehtiä yhä vapaammin. Aineen olomuoto voi tietyissä olosuhteissa muuttua myös suoraan kaasusta kiinteäksi härmistymällä ja kiinteästä kaasumaiseen olomuotoon sublimoitumalla [Hemilä & Utriainen 1989, Eskola, Ketolainen & Stenman 2005].

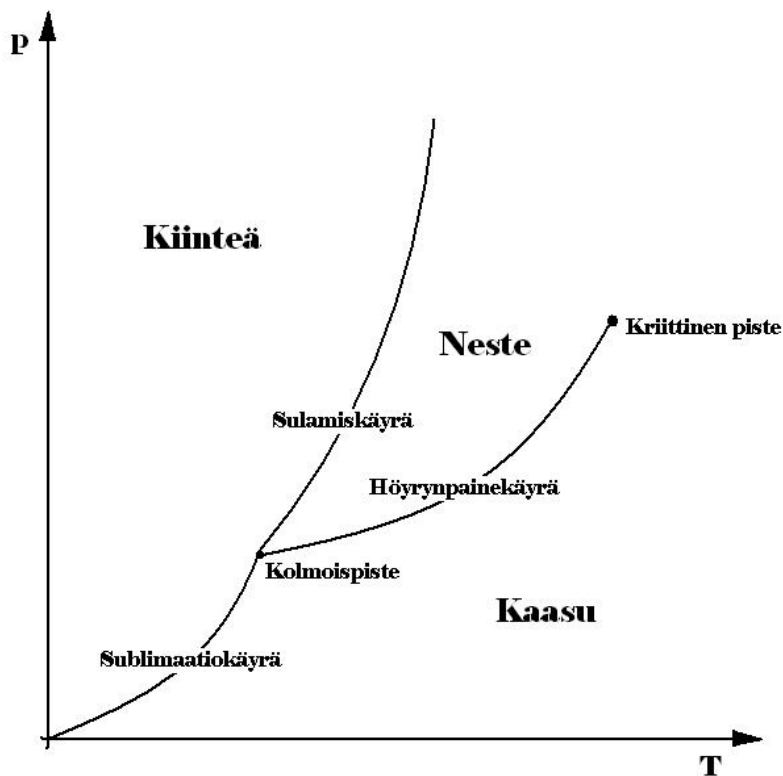
Energiaa lisättäessä neste lämpenee, kunnes se saavuttaa kiehumispisteensä. Kiehumispiste ja sulamispiste ovat jokaiselle aineelle ominaiset ja määräytyvät sen mikroskooppisista vuorovaikutuksista. Kiehumispisteessä neste höyrystyy ja tällöin sen lämpötila pysyy vakiona. Yleinen nimitys olomuodon muutokseen tarvittavalle energialle on latentti lämpö. Latentille lämmölle käytetään usein karakterisoivia nimityksiä kuten, höyrystymis-, sulamis- ja sublimoitumislämpö. Myös nämä lämmöt ovat eri aineille ominaisia. Höyrystymiseen tarvittavaa energiamäärää kutsutaan höyrystymislämmöksi. Höyrystymisen jälkeen aine on kokonaan kaasua ja sen lämpötila alkaa jälleen nousta, jos siihen edelleen lisätään energiaa [Hemilä & Utriainen 1989, Morse 1965].

2.2 Faasit ja faasidiagrammit

Puhdasta ainetta esiintyy kaasuna, nesteenä, kiinteänä aineena tai näiden yhdistelmänä. Kukin olomuoto on koostumukseltaan homogeeninen ja sillä on muuttumaton kemiallinen rakenne. Eri alkuaineiden seosta voidaan pitää puhtaana aineena, mikäli faasiseparaatiota ei tapahdu. Seoksessa eri aineosien olomuodon muutoslämpötilat ovat erilaiset, ja eri faasien koostumus muuttuu esimerkiksi höyrystymisessä, kun seoksesta höyrystyy ensin vain jokin osa. Tällöin puhtaan aineen malli ei enää päde [Fagerholm 1986].

Aineen olomuotoja kutsutaan faaseiksi. Faasin käsitteen kehitti amerikkalainen Josiah Willard Gibbs (1839–1903). Systeemissä kaikki samaa materiaalia ja olomuotoa oleva aine muodostaa faasin. Naapurifaasien välillä on selvä rajapinta. Faasin ei kuitenkaan tarvitse olla täysin yhtenäinen alue, vaan esimerkiksi jääpalat vedessä muodostavat oman faasinsa. Toisaalta esimerkiksi kiinteitä faaseja voi olla samanaikaisesti useitakin. Konkreettisella tasolla faasimuutos on aineen siirtymistä rajapinnan läpi toiseen faasiin. Arkisten olomuodonmuutosten, kuten jään sulaminen ja veden höyrystyminen, lisäksi faasimuutoksia on esimerkiksi kiteisen aineen muuttuminen toiseen kidemuotoon [Hemilä & Utriainen 1989, Kestin 1979].

Faasikaavio eli faasidiagrammi on yksinkertaisimmillaan tasokuva, josta nähdään faasimuutosten paine–lämpötila- tai paine–tilavuus-riippuvuus. Tavallinen kaksiulotteinen kolmen faasin faasikaavio, pT-diagrammi, on esitettyinä kuvassa 2. Piirroksessa faasien rajat näkyvät sublimaatio-, sulamis- ja höyrönpainekäyrinä, joilla kaksi faasia on tasapainossa keskenään. Näillä faasirajoilla tapahtuvat faasimuutokset, kun painetta tai lämpötilaa muutetaan [Hemilä & Utriainen 1989]. Faasidiagrammissa oleva faasiraja on konkreettisten faasimuutosten abstrakti kuvaus.



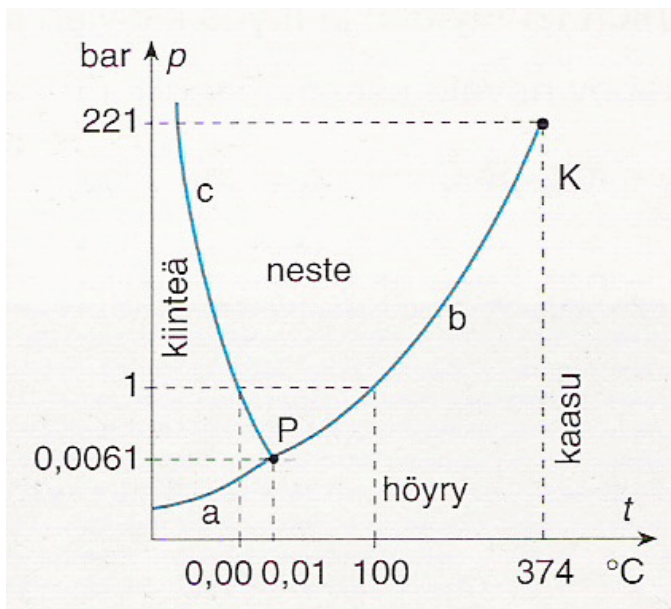
Kuva 2. pT-diagrammi eli paine lämpötilan funktiona puhtaalle aineelle.

Kuvasta 2 näemme, missä faasissa ja olomuodossa aine on tietyssä lämpötilassa tietyn paineen vallitessa termodynaamisessa tasapainossa. Sublimaatio-, sulamis- ja höyrinpainekäyrät yhdistyvät kolmoispisteessä. Tässä pisteessä kaikki kolme faasia, kiinteä, neste ja kaasu, esiintyvät yhtäaikaaisesti. Höyrinpainekäyrä päättyy pisteeseen, jota nimitetään kriittiseksi pisteeksi. Kriittistä lämpötilaa korkeammilla lämpötiloilla aine ei voi esiintyä kuin kaasuna. Kaasumaista ainetta ei saada puristettua nesteeksi, jos sen lämpötila on korkeampi kuin kriittinen lämpötila, sillä olomuodon muutosta ei sen yläpuolella ole [Hemilä & Utriainen 1989].

Kriittisen lämpötilan alapuolella esiintyvää kaasua kutsutaan usein höyryksi ja kriittisen pisteen yläpuolella esiintyvää ainetta kaasuksi. Höyry on siis kaasumaista ainetta, joka voidaan muuttaa nesteeksi pitämällä lämpötila vakiona ja muuttamalla tilavuutta. Kriittisen lämpötilan, yläpuolella kaasumolekyylien liike-energia on niin suuri, ettei kaasu voi tiivistyä ennen kuin lämpötila laskee. Mitään fysikaalista rajaa ei kaasun ja höyrin välillä ole eikä aineessa havaita muutoksia siirryttäessä höyrystä kaasuun. On

huomattava, että useissa yhteyksissä ei höyryn ja kaasun välille ole tarpeen tehdä eroa [Young & Freedman 2004].

Puhtaan aineen pT-faasikaavioissa kaikki faasimuutoskäyrät nousevat oikealle kaikilla aineilla paitsi vedellä ja eräillä muilla aineilla. Veden sulamiskäyrä nousee hieman vasemmalle, koska vesi laajenee jäätyessään. Yleensä neste muuttuu kiinteäksi kun sitä puristetaan, mutta veden kohdalla tapahtuukin kiinteän sulaminen nesteeksi puristuksen alla. Tämä nähdään kuvassa 3. Vesi on ainoa puhdas aine, jota esiintyy merkittävässä määrin kaikissa kolmessa olomuodossa ilmakehässä ja maanpinnalla [Hemilä & Utriainen 1989, Knight 2008].



Kuva 3. Veden faasikaavio, paine lämpötilan funktiona [Lehto & Luoma 2000].

Yleensä faasikaaviot pyritään piirtämään mahdollisimman selkeiksi ja helposti luettaviksi. Tällöin täytyy lämpötila- ja paineasteikkojen asteikot muuttaa epälineaariseksi, kuten kuvassa 3 on tehty. Tämä taas aiheuttaa sen, ettei konkreettisten lukuarvojen hahmottaminen ja tulkinta ole aina kovin helppoa. Tällöin kvalitatiivisuus ja kvantitatiivisuus saadaan huonosti sijoitettua samaan kuvaan.

3 Oppilaiden käsityksistä

Nykyään puhuttaessa oppimisesta päädytään hyvin nopeasti konstruktivismiin. Konstruktivismi on filosofinen suuntaus, johon liittyvää oppimiskäsitystä kutsutaan kognitiiviseksi oppimiskäsitykseksi. Konstruktivismin mukaan tieto on mentaalinen representaatio ja ihmismielen konstruktio. Kognitiivinen oppimiskäsitys korostaakin, että oppilas muokkaa tietoa aktiivisesti ja omaehtoisesti. Lisäksi konstruktivistisen ajatusmallin mukaan oppilaan aikaisemmat kokemukset vaikuttavat oppimisprosessiin. Oppimisprosessi ei siis ole vain tiedon siirtämistä muistiin, vaan se on aktiivinen tapahtuma, missä oppilas yhdistää uuden tiedon aikaisemmin oppimaansa ja kokemaansa tietoon. Tällöin oppilaan omat ennakkokäsitykset ja kokemukset toimivat jalustana, jonka varaan uutta tietoa voidaan kerätä [Ahtee & Pehkonen 2000].

Käsitteitä konstruktivismi ja kognitiivinen oppimiskäsitys käytetään nykyään lähes synonyymeinä keskenään, eikä aina voi edes olla aivan varma siitä mitä puhuja tarkoittaa puhuessaan kyseisistä asioista. Tällainen oppimiskäsitys tuo mukanaan paljon haasteita opetustyöhön. Opettajan työ ei ole vain kertoa oppilaille tosiasioita eikä oppilaiden työ vain painaa ne mieleensä. Opettajan tulee olla selvillä siitä, mitä oppilas ennestään tietää, ja osata kytkeä opittava asia aiemmin opittuun, jotta asia voisi jäsentyä oppilaan mielessä oikeanlaisiksi tietorakenteiksi. Sen selvittäminen, mitä oppilas ennestään tietää, ei ole helppoa ja opettajan pedagogiset taidot joutuvat todelliseen testiin [Ahtee & Pehkonen 2000, Sperandeo-Mineo, Fazio, & Tarantino 2006, Viiri 1995].

Maailmassa, jossa elämme, on niin paljon asioita havainnoitavana, että emme kykene käsittelemään havaintojamme lyhytkestoisen muistimme varassa, vaan joudumme varastoimaan sen pitkäkestoiseen muistiin. Tämän vuoksi joudumme aina konstruoimaan asioita uudelleen ja uudelleen ja yksinkertaistamaan niitä mahdollisuuksien mukaan. Tiedon jäsentäminen erilaisiksi tietorakenteiksi on siis välttämätöntä, jotta kykenemme käsittelemään tietoamme tehokkaasti. Tästä syystä myös opetuksen pitäisi olla sellaista, että oppilas pystyy keräämään tietoa vanhan pohjalle ja muodostamaan niistä tietorakenteita. Pelkkä opettajan näppituntuma ei riitä, vaan hänen on osattava käyttää pedagogista tietoaan oppilaiden ohjaamiseksi [Sperandeo-Mineo, Fazio, & Tarantino 2006, Viiri 1995].

Oppilaiden käsityksiä erilaisista asioista on tutkittu pitkään ja havaittu, että vahvat virheelliset käsitykset estävät tietorakenteiden oikeanlaista muodostumista ja tieto jää tällöin pirstaleiseksi. Meidän täytyy siis osata muuttaa opetusta siten, että virheelliset käsitykset voidaan karsia pois heti alkuvaiheessa [Sabella 1999].

Monesti suurin puute opetuksessa on se, ettei oppilaiden käsityksiä oteta tai osata ottaa tarpeeksi huomioon vaan keskittyminen on suunnattu uuden asian opettamiseen. Oppilaiden käsitysten tunteminen, olivat ne sitten virheellisiä tai eivät, on tärkeää, koska oppilaiden mielessä olevat käsitykset vaikuttavat opetettavan uuden asian tulkintaan, muistamiseen, uudelleen tuottamiseen ja lopulta myöhemmin opittavan asian rakentamiseen kokonaisuuksiksi [Viiri 1995].

Syytä siihen, että käsityksiä ei osata ottaa huomioon, on niin opettajissa, oppikirjoissa kuin opetussuunnitelmassakin. Usein opettajat ovat suhteellisen tietämättömiä oppilaiden käsityksistä. Uuden tutkimuksen vaikutus ei useinkaan näy oppikirjojen laadinnassa, koska oppikirjojen tekijät ovat usein opettajia. Tällöin uusi tutkimustieto ei pääse vaikuttamaan oppimateriaaliin [Viiri 1995]. Myös harjoitus- ja koetehtävät ovat useimmiten suoraviivaisia, tiettyyn aiheeseen liittyviä harjoituksia. Olisikin hyvä laatia tehtäviä, jotka yhdistävät fysiikan eri osa-alueita ja näin auttavat oppilasta linkittämään asiat toisiinsa [Sabella 1999].

Yksi syy siihen, että oppilaiden käsitykset jäävät huomioimatta, on ajanpuute. Opettajilla on täysi työ opettaa kaikki oppikirjan tarjoamat asiat ja samalla hieman keskustella myös ajankohtaisista asioista. Tällöin asiat käydään läpi pinnallisesti ja ulkoa opetellen. Asioiden sisäistämiseksi ja varsinkin aiempien käsitysten huomioimiselle ei jää aikaa. Asiat voidaan tietää, mutta niitä ei opita ymmärtämään [Ahtee & Pehkonen 2000].

Oppikirjat eivät varsinaisesti ohjaa opettajien opetusta, vaan heillä on valta päättää kuinka opetus toteutetaan. Opetushallitus antaa opetussuunnitelman perusteissa ohjeet niin peruskouluun [Opetushallitus 2004] kuin lukioonkin [Opetushallitus 2003] siitä, mitkä ovat kunkin kurssin keskeiset sisällöt ja mitä oppilaiden tulisi osata kurssin jälkeen. Opetussuunnitelma velvoittaa opettajaa käymään kyseiset asiat läpi opetuksessaan, mutta ei kerro mitään siitä kuinka opetus tulisi toteuttaa. Kirjantekijät

laativat kirjojen uudet painokset kyseisten ohjeiden perusteella, mutta opettajille jää valta muokata opetusta mieleisekseen. Valitettavan usein opettaja kuitenkin tyytyy noudattamaan opetuksessaan kirjojen sisältöä ja tällöin asiaa kertyy paljon eikä kaikkea kenties ole edes mahdollista käydä läpi kurssin aikana. Kirjantekijät haluavat antaa kirjoillaan mahdollisimman paljon tietoa aiheesta, jotta ne oppilaat, joita asia todella kiinnostaa löytäisivät jotain muutakin kuin sen pakollisen, mitä opettajat tarjoavat, ja voisivat myös itsenäisesti kehittää itseään oppiaineessa. Liian laajat kirjat saavat opettajan hämilleen, kun hän yrittää saada kaiken mahdutettua muutamaan oppituntiin noudattaen samalla opetussuunnitelmaa.

Oppilaiden ajankäytöllä on myös oma merkityksensä käsitysten muodostumisessa ja niiden pysyvyydessä. Oppilailla on paljon enemmän aikaa muodostaa omia käsityksiään maailman toiminnasta arkielämässään kuin koulun penkillä, jossa asiat vilisevät ohitse vauhdilla. Opettajan tulisi siis käyttää aika harkiten ja keskittyä oleellisempiin asioihin syvällisemmin eikä vain käydä kaikkea läpi pintapuolisesti [Viiri 1995].

Oppilaiden käsitykset tulisi kyetä kohtaamaan ja niistä tulisi keskustella yhdessä verraten niitä tieteelliseen käsitykseen ja arkielämän havaintoihin. Arkielämän havainnoista oppilailla on omaa kokemusta, mutta niiden oikeellisuudesta ei aina ole varmuutta. Näin keskustelemalla oppilaat voivat itse havaita miten asiat todella toimivat ja uuden rakentaminen on helpompaa [Viiri 1995].

Termodynamiikan opettaminen on aina mielletty vaikeaksi asiaksi, koska lämpöopissa arkinen ja abstrakti maailma kohtaavat yllättävällä tavalla ja nämä kaksi asiaa pitäisi kyetä opettamaan siten, että ne ymmärrettäisiin yhtenä asiana eivätkä jäisi irrallisiksi. Tämä on suuri haaste fysiikan opetukselle varsinkin, jos ja kun oppilaiden käsitykset usein ovat virheellisiä heidän aloittaessaan lukion.

Usein arkisen ilmiön abstraktimpi esitys on jonkinlainen kuvaaja. Kuvaajien tulkinta voi olla oppilaille jo itsessään hyvin suuri haaste. Faasikaaviossa muuttujina ovat paine ja oppilaille hieman tutumpi lämpötila. Molemmat ovat kuitenkin siinä määrin vieraita käsitteitä, että niiden käyttö ei vielä ole luontevaa. Tutkimuksissa on havaittu, että oppilaan on helpompi käsitellä kuvaajia, joiden toisena muuttujana on aika. Aika on jokaiselle oppilaalle entuudestaan tuttu käsite ja sen suoraviivainen ja yksisuuntainen

luonne helpottaa asioiden hahmottamista [Janvier 1981]. Lisäksi faasikaavio sisältää muutakin kuin vain faasimuutosten riippuvuutta annetuista muuttujista kuvaavat käyrät, nimittäin faasit.

4 Oppilaskysely

Tässä tutkielmassa analysoitava aineisto on kerätty lukion fysiikan toisen kurssin eli lämpöopin kurssin juuri suorittaneilta lukiolaisilta. Aineiston kerääminen toteutettiin alkuvuonna 2009. Tutkimukseen pyydettyt koulut valittiin satunnaisotannalla kaikkien Suomen lukioiden joukosta, ja näiden koulujen fysiikan opettajille lähetettiin sähköpostia ja kysyttiin heidän kiinnostustaan osallistua tutkimukseen. Kiinnostuneita opettajia löytyikin jonkin verran ja mukaan tutkimukseen saatiin seitsemän eri opetusryhmää viidestä eri lukiosta. Kyselyyn vastasi kaiken kaikkiaan 144 opiskelijaa, joista miehiä oli 81 ja naisia 63.

Itse tutkimus tapahtui lähettämällä yhteistyössä toisen pro gradun tekijän kanssa kouluille oppilaskyselyt, jotka kyseisen koulun fysiikan opettaja teetti oppilaille lämpöopin kurssin viimeisillä viikoilla ja kokeisiin kerratessaan. Kyselyssä oli yhteensä kahdeksan tehtävää, joista tehtävät 5–8 kuuluvat tämän tutkimuksen puitteisiin. Ensimmäiset neljä tehtävää käsitelivät niin ikään lämpöoppia, mutta liittyivät toiseen tutkimukseen, eikä niitä käsitellä sen enempää tässä työssä. Tässä työssä tarkasteltavat tehtävät ovat liitteessä 1.

Tutkimuksessa käytetyt tehtävät pyrittiin laatimaan siten, että niiden perusteella olisi mahdollista selvittää miksi faasikaaviot ovat niin vaikea asia hahmottaa ja tulkita. Tehtävissä 5A ja 5B kysytään perusasioita olomuodon muutokseen liittyen ja faasikaaviota apuna käyttäen. Tehtävän 6 tarkoituksena on selittää kuinka hyvin oppilaat osaavat kytkeä aikaisemmin oppimansa asian faasikaavioihin. Sama tehtävä myös linkittää yhteen arkielämän ilmiön sekä abstraktimman saman ilmiön esityksen faasikaavion avulla. Tehtävässä 7 tarkastellaan veden kolmoispistettä ja selvitetään osaavatko oppilaat hahmottaa faasirajoilla tapahtuvia muutoksia. Viimeinen eli tehtävä 8 lähestyy faasikaaviota suunnasta, jota oppikirjoissa ei käsitellä. Aineen tiheyden muuttuminen olomuodon muuttuessa on asia, joka liittyy kyllä olomuodon muutokseen ja sitä kautta faasidiagrammeihin, mutta kuinka lukiolainen yhteyden hahmottaa, on aivan eri kysymys.

Oppilaille annettiin kyselyn lopuksi mahdollisuus kommentoida kyselyä sekä antaa vapaasti palautetta. Näistä palautteista selviää, että oppilaat pitivät tehtyä oppilaskyselyä

varsin vaikeana. Yksi syy tähän voi hyvinkin olla se, että oppilaat ovat tottuneet kirjojen tarjoamien tehtävien kaltaisiin pääsääntöisesti yksinkertaisiin ongelmiin, eikä asian soveltamista tai liittämistä aikaisemmin opittuun juurikaan vaadita. Ongelmaksi koettiin usein myös se, että testi järjestettiin viimeisillä tunneilla ennen kurssin varsinaista koetta, eivätkä oppilaat olleet vielä itse ehtineet kerrata tulevaan kokeeseen.

5 Analysointimenetelmät

Oppilaskyselyn analysointi on pyritty tekemään siten, että tehtävistä saataisiin irti mahdollisimman paljon totuudenmukaista informaatiota oppilaiden oppimisesta. Tehtävien luonteesta riippuen analysoinnissa on käytetty kahta eri tilastollista analysointimenetelmää.

5.1 Konsentraatioanalyysi

Oppilaskyselyn tuloksia analysoitaessa voitaisiin tarkastella vain oppilaiden saamia pisteitä ja niiden keskiarvoja. Tällöin tehtävien tuottamasta informaatiosta jäisi suuri osa käyttämättä. Paljon hyödyllisempää on, jos tiedetään missä asioissa ongelmat esiintyvät ja mitä ovat ne väärät vaihtoehdot, joita oppilaat ovat valinneet. Väärin vaihtoehtojen pohjalta voidaan tällöin tehdä päätelmiä väärin ennakkokäsitysten olemassaolosta. Paras tehtäväkohtainen tieto saadaan tarkastelemalla jokaisen testiin vastanneen oppilaan jokaista vastausta erikseen ja vertaamalla näitä muiden oppilaiden vastauksiin etsien säännönmukaisuuksia [Hestenes & Halloun 1995].

Yhdysvaltalaisen fysiikan opetuksen tutkimuksen yhteydessä on kehitetty konsentraatioanalyysi, jolla voidaan monivalintakysymysten tehtäväkohtaiset vastausjakaumat esittää tiiviissä, mutta havainnollisessa muodossa. Tämä helpottaa tärkeimpien asioiden esiin nostamista ja yleisten havaintojen tekeminen on vaivattomampaa kuin vain vastausten prosenttilukuja tuijottamalla. Seuraavassa tarkastelen hieman konsentraatioanalyysin teoreettista taustaa ja sen toteutusta käytännössä [Bao 1999, Bao & Redish 2001].

Konsentraatioanalyysissä esiintyvä konsentraatiotekijä kertoo opiskelijoiden vastausten jakautumisesta eri vaihtoehtojen kesken. Vastaukset voivat esimerkiksi keskittyä yhteen oikeaan tai väärään vaihtoehtoon taikka hajaantua usean vaihtoehdon kesken, kuten tapahtuukin kun kyseessä on vain satunnaisia arvauksia tai jos oppilailla on useita käsityksiä kysyttävästä asiasta [Bao 1999].

Paljon hyödyllistä tietoa saadaan selville myös tarkastelemalla tehtäväkohtaisia vastausjakaumia. Tästä saadaan hyvä yleiskuva siitä, mitä oppilaat osaavat ja minkä asian he kokevat vaikeaksi. Myös säännönmukaiset väärät käsitykset todennäköisesti paljastuvat. Konsentraatioanalyysiä käytän oppilaskyselyn tehtävien 5A, 5B ja 8 analysoinnissa. Seuraavaksi tutustutaan hieman konsentraatioanalyysin matemaattiseen puoleen, jotta ymmärtäisimme mistä kyseinen analyysi koostuu. Oletetaan, että kyselyyn vastaa N koehenkilöä, ja monivalintatehtävässä, johon he vastaavat, on m kappaletta vastausvaihtoehtoja, joista heidän tulee valita yksi. Tällöin voidaan muodostaa m -ulotteinen vektori

$$\vec{r}_k = (y_{k1}, \dots, y_{ki}, \dots, y_{km}), \quad (1)$$

missä $k = 1, \dots, N$ indeksoi kaikki vastaajat. Tällöin komponentti y_{ki} kertoo vastaajien vastaukset siten, että $y_{ki} = 1$, jos vastaaja on valinnut vaihtoehdon ja vastaavasti $y_{ki} = 0$, jos vaihtoehtoa ei ole valittu. Tällöin vastausvektoreiden arvoista y_{ki} yksi tulee saamaan arvon yksi ja loput arvon nolla. Nyt voidaan kyseiseen kyselyyn vastanneiden koehenkilöiden yhden tehtävän vastaukset laskea yhteen, jolloin muodostuu kyseisen tehtävän kokonaisvastausvektori

$$\vec{r} = \sum_{k=1}^N \vec{r}_k = (n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_m), \quad (2)$$

missä n_i on tehtävästä kyseisen vaihtoehdon valinneiden henkilöiden määrä. Koska jokainen on valinnut vain yhden vaihtoehdoista, on $\sum n_i = N$. Nämä kokonaisvastausvektorit näyttävät siis kunkin tehtävän vastausjakauman [Bao 1999, Bao & Redish 2001].

Tarkastelemalla kokonaisvastausvektorin pituuksia voidaan havaita, että tilanteessa, jossa kaikki ovat valinneet saman vaihtoehdon, vektorin pituudeksi saadaan N . Toisena ääripäänä on jakauma, jossa vastaukset ovat tasaisesti jakautuneet kaikkien vaihtoehtojen kesken, jolloin vektorin pituudeksi saadaan

$$\sqrt{\left(\frac{N}{m}\right) \times m} = \frac{N}{\sqrt{m}}. \quad (3)$$

Muut näiden kahden välillä esiintyvät jakaumat saavat pituuden arvoiksi jotakin näiden kahden ääripään väliltä. Kokonaisvastausvektorin pituus antaa näin ollen tietoa kyseisen tehtävän vastausjakauman konsentraatiosta. Nyt voidaan määrittää kokonaisvastausvektorille sen skaalattu pituus skaalaamalla arvoja luvun N suhteen

$$r_0 = \frac{\sqrt{\sum n_i^2}}{N}. \quad (4)$$

Tällöin saadaan skaalatuksi pituudeksi jotakin väliltä $\frac{1}{\sqrt{m}} \leq r_0 \leq 1$. Jos tästä vielä vähennetään pois kokonaisvastausvektorin minimipituus, saadaan konsentraatiotekijä C muotoon

$$C = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \times \left(r_0 - \frac{1}{\sqrt{m}} \right) = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \times \left(\frac{\sqrt{\sum n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right). \quad (5)$$

Nyt C :n lausekkeesta saadaan konsentraatiotekijälle arvoja väliltä $[0,1]$. Arvo 1 tulee siinä tapauksessa, että kaikki ovat valinneet saman vaihtoehdon eli yksi arvoista n_i saa arvon N ja loput arvon nolla. C saa arvon 0 siinä tapauksessa, että kaikki n_i :t ovat yhtä suuria eli vastaukset ovat jakautuneet tasaisesti kaikkien vaihtoehtojen kesken. Kaikissa muissa tapauksissa arvot ovat nollan ja yhden väliltä [Bao 1999, Bao & Redish 2001].

Usein vastausten jakauman lisäksi on hyvä tarkastella myös virheellisten vastausten konsentraatiota. Esimerkiksi, jos jokin virheellinen vastaus on hyvin dominoiva jakaumassa, on virheellisten käsitysten määrittämisen kannalta edullista tarkastella myös väärän vastauksen konsentraatiota. Virheellisten vastausten konsentraation määrittäminen onnistuu poistamalla lausekkeesta (5) oikeiden vastausten, joiden lukumäärä on N_s , vaikutus ja vähentämällä vastausvaihtoehtojen lukumäärää yhdellä

m :stä ($m-1$):een. Virheellisten vastausten konsentraatiota merkitään merkillä Γ ja sitä kutsutaan myös konsentraatiohajonnaksi

$$\Gamma = \frac{\sqrt{m-1}}{\sqrt{m-1}-1} \times \left(\frac{\sqrt{\sum n_i^2 - N_s^2}}{N - N_s} - \frac{1}{\sqrt{m-1}} \right). \quad (6)$$

Konsentraatiohajonta saa arvoja väliltä $[0,1]$ aivan kuten konsentraatiotekijäkin. Tällöin suuret, lähellä arvoa yksi olevat konsentraatiohajonnat, viittaavat tilanteeseen, joissa yksi virheellinen vaihtoehto on ollut huomattavasti muita suositumpi ja vastaavasti pienet arvot viittaavat siihen, että virheelliset vastaukset ovat jakautuneet tasaisesti [Bao 1999, Bao & Redish 2001].

Bao on kehittänyt, tietokonesimulaatioita apuna käyttäen, konsentraatioanalyysin tulosten esittämiseksi järjestelmän, jossa käytetään yhdessä oikeiden vastausten prosenttiosuutta S , konsentraatiotekijää C ja virheellisten vastausten konsentraatiota eli konsentraatiohajontaa Γ . Tässä järjestelmässä lukuarvojen sijasta käytetään havainnollisempia kirjainkoodeja kuvaamaan kunkin kolmen muuttujan arvojen suuruuksia. Kukin kolmesta muuttujasta saa niiden lukuarvosta riippuvan kirjainkoodin kolmesta vaihtoehdosta. Näistä kolmesta kirjainkoodista L (low) kuvaa matalia, M (medium) keskitasoisia ja H (high) korkeita arvoja. Baon tekemien simulointien perusteella kehitetyt viitearvot kullekin kirjainkoodille on esitettyinä taulukossa 1 ja ne toimivat kun $m \approx 5$ [Bao 1999, Bao & Redish 2001].

Yleensä riittää tarkastella prosenttiosuuden S ja konsentraation C tuottamaa kaksikirjaimista koodia. Tapauksissa, joissa tarvitaan lisäinformaatiota virheellisistä vastauksista, voidaan mukaan käsittelyyn ottaa myös konsentraatiohajonta Γ .

Taulukko 1. Kolmen kirjainkoodin järjestelmä konsentraatioanalyysin tulkitsemiseksi [Bao 1999].

Prosenttiosuus (S)	Taso	Konsentraatio (C)	Taso	Konsentraatio- hajonta (Γ)	Taso
0,0 - 0,4	L	0,0 - 0,2	L	0,0 - 0,2	L
0,4 - 0,7	M	0,2 - 0,5	M	0,2 - 0,4	M
0,7 - 1,0	H	0,5 - 1,0	H	0,4 - 1,0	H

Kaksikirjaimista koodausta on helppo tulkita. Kirjaimista ensimmäinen antaa tiedon oikeiden vastausten määrästä ja jälkimmäinen konsentraation voimakkuudesta. Esimerkiksi, kun jakaumassa on nähtävillä yksi piikki eli vastaajat ovat valinneet paljon samaa vaihtoehtoa, konsentraatiotekijä saa kirjainkoodin H. Tällöin esimerkiksi yhdistelmä HH kertoo, että koehenkilöt ovat valinneet suurelta osin saman ja oikean vaihtoehdon. Vastaavasti kirjainkoodit LH kertovat, että oikean vastauksen prosenttiosuus on matala ja vastaukset ovat keskittyneet yhteen virheelliseen vaihtoehtoon. Tällöin on syytä epäillä virheellisen käsityksen olemassaoloa [Bao 1999, Bao & Redish 2001].

Vastausten jakautuessa vahvasti kahden vaihtoehdon välille eli kun jakaumassa näkyy kaksi piikkiä, konsentraatio saa arvon M. Tällöin joko toinen vaihtoehto on oikea ja toinen väärä, jolloin kirjainyhdistelmäksi tulee MM tai joissain tapauksissa LM. Kun molemmat paljon valitut vaihtoehdot ovat väärä, kirjainkoodi on LM. Kun kaikkia vaihtoehtoja valitaan suunnilleen sanansuuruisia määriä, tulee jakaumasta tasainen ja konsentraatio saa tällöin kirjainarvon L. Tällöin kahden kirjaimen yhdistelmä on yleensä LL, josta voidaan päätellä, että tehtävä on osattu huonosti ja väärä vaihtoehto on valittu runsaasti. Väärin vaihtoehtojen tasainen jakautuminen voi kertoa joko siitä, että väärä käsityksiä on runsaasti tai siitä, että vastaajilla ei ole mitään käsitystä oikeasta vaihtoehdosta ja vastauksen valitseminen on tapahtunut sattumanvaraisesti. Tällaisissa tapauksissa kannattaa selvittää onko tehtävä liian vaikeaselkoinen tai jopa huonosti laadittu. Taulukossa 2 on listattu tyypillisimpiä kirjainyhdistelmiä ja esimerkkejä niiden tulkintamahdollisuuksista [Bao 1999, Bao & Redish 2001].

Taulukko 2. Erilaisia kirjainyhdistelmätyyppejä ja niiden tulkintoja [Bao & Redish 2001].

Vastausjakauman muoto	Mahdollisia tyyppejä	Tulkintoja
Yksi piikki	HH LH	Yksi oikea käsitys Yksi voimakas virheellinen käsitys
Kaksi piikkiä	LM MM	Kaksi virheellistä käsitystä (tai oikea ja virheellinen) Kaksi käsitystä, oikea ja virheellinen
Tasainen jakauma	LL	Sattumanvaraisesti valittuja vastauksia

Konsentraatiotekijän C arvo on aina sidoksissa kyseisen tehtävän prosentuaaliseen tulokseen S . Tämän näkee esimerkiksi siitä, että jos kaikki vastaajat valitsevat oikean vaihtoehdon eli prosenttiosuudeksi tulee yksi, myös konsentraatio on yksi. Konsentraatiolle voidaan määrittää tehtävien prosenttiosuuksista riippuvat ylä- ja alarajat. Kyseiset rajat voidaan johtaa yhtälöstä (5) sijoittamalla maksimiarvoja vastaavat arvot. Koska lausekkeessa oikein vastanneiden määrää verrataan kaikkien henkilöiden määrään, voidaan samalla kirjoittaa $N_s/N = S$. Jos oletetaan, että vastausvaihtoehtoja on m kappaletta, niin lausekkeesta (5) saadaan konsentraatiotekijän maksimiarvo C_{\max}

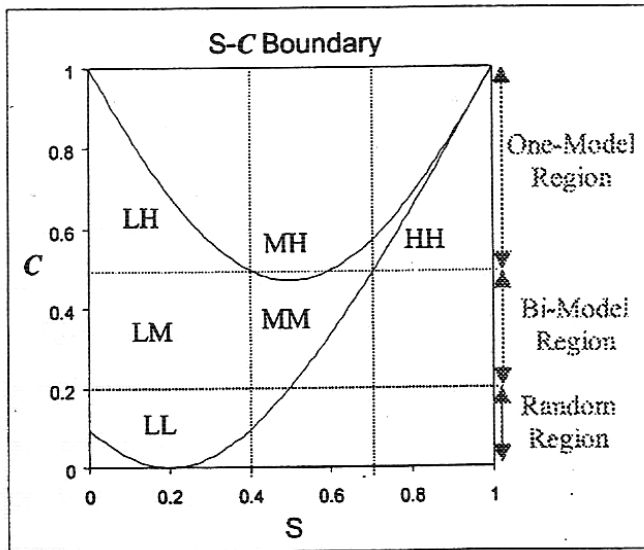
$$C_{\max} = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \times \left(\sqrt{(1-S)^2 + S^2} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right). \quad (7)$$

Aivan samoin saadaan konsentraatiotekijän minimiarvo C_{\min} , kun virheellisen vaihtoehdon valinneiden vastaajien vastaukset ovat tasaisesti jakautuneet väärin vaihtoehtojen kesken. Tällöin konsentraatiotekijän minimiarvoksi saadaan

$$C_{\min} = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \times \left(\sqrt{\frac{1}{m-1}(1-S)^2 + S^2} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right). \quad (8)$$

Nyt voidaan piirtää edellä esitettyjen lausekkeiden kuvaajat eli konsentraatiotekijän rajat oikeiden vastausten prosenttiosuuden funktiona, jolloin kuvasta voidaan katsoa, mitkä kirjainyhdistelmät ovat milloinkin mahdollisia. Käyrien $C_{\max}(S)$ ja $C_{\min}(S)$ kuvaajat $m:n$

arvolla $m=5$ on esitetty kuvassa 4. Eri alueet on kuvassa lisäksi luokiteltu sen mukaan, minkä muotoinen jakauma kussakin tapauksessa yleensä on. Jakaumassa esiintyy joko yksi selvä piikki (One-Model Region), kaksi piikkiä (Bi-Model Region) tai jakauma on muodoltaan tasainen (Random Region) [Bao 1999, Bao & Redish 2001].



Kuva 4. Konsentraatiotekijän eri kirjainkoodien sallitut alueet S-C –tasossa [Bao 1999].

S-C-kuvaajaa voidaan käyttää apuna esimerkiksi, jos eri tehtävien kirjainyhdistelmiä sijoitetaan mukaan kyseiseen kuvaajaan. Tällöin nähdään, ovatko tulokset säännönmukaisesti johonkin suuntaan painottuneita vai sijoittuvatko ne hajalleen ympäri kuvaajaa. Tarvittaessa tuloksia voidaan tarkastella myös konsentraatiohajonnan Γ avulla. Tällöin voidaan piirtää S- Γ -kuvaaja, josta voidaan paremmin tarkastella värien vaihtoehtojen valinnan säännöllisyyttä [Bao 1999, Bao & Redish 2001].

Konsentraatioanalyysin käyttö voisi olla hyvin suositeltavaa myös käytännön opetuksessa eikä vain tutkimuksessa. Oppilaiden alkutilanteen kartoitus antaa paljon viitteitä oppilaiden ennakkokäsityksistä ja siitä pohjasta, jolle uutta pitäisi alkaa rakentamaan. Tulosten pohjalta opettaja osaa korjata paremmin suurimmat virhekäsitykset ja voi painottaa opetustaan siihen suuntaan, joka olisi kussakin tilanteessa parasta. Myös oppilaiden ajattelun kehittymistä opetuksen edetessä voidaan testata samalla testillä [Bao 1999, Bao & Redish 2001].

5.2 T-testi

T-testi on hyvin yleisesti kahden ryhmän vertaamiseksi käytetty tilastollinen testi, jolla voidaan tarkkailla esimerkiksi kahden erityyppisen ryhmän merkitsevyyttä. T-testi perustuu t-jakaumaan. Studentin t-jakauma on normitetun normaalijakauman kaltainen jakauma, jonka muoto kuitenkin vaihtelee otoskoon mukana. Mitä suurempi otos on kyseessä, sitä lähempänä t-jakauma on normaalijakaumaa [Fisher 1925, Press, Teukolsky, Vetterling & Flannery 1992].

Testaaminen aloitetaan yleensä nojautumalla nollahypoteesiin. Nollahypoteesin rinnalle asetetaan vaihtoehtoinen hypoteesi. Hypoteesin testaus lähtee siitä olettamuksesta, että nollahypoteesi on totta. Juuri sen ja vaihtoehtoisen hypoteesin keskinäistä merkitsevyyttä tutkitaan t-testin avulla. Vastaukseksi saadaan merkitsevyyttä ilmaisevia prosenttilukuja, joista voidaan päätellä kuinka tilastollisesti merkitsevä kahden ryhmän ero on. Esimerkiksi, kun verrataan miesten ja naisen ryhmien välisiä merkittävyyseroja, voidaan vastaukseksi saada vaikka 8% todennäköisyys sille, onko vastaajan sukupuolella tilastollista merkitystä. Tällöin sanotaan usein, että ero on tilastollisesti melkein merkitsevä [Fisher 1925, Press, Teukolsky, Vetterling & Flannery 1992].

Tässä tutkimuksessa tarkastelen t-testin avulla oppilaskyselyn tehtäviä siten, että vertailen kahden oppikirjan merkitsevyyttä kyselyn tuloksiin, sekä vertaan naisten ja miesten vastauksia toisiinsa, havaitakseni onko sukupuolella merkittävää eroa vastausten suhteen.

6 Oppilaskyselyn tulkintaa ja tuloksia

6.1 Tehtävien tarkastelua

Tehtävä 5A

Tehtävän 5A tarkoituksena oli olla valmistelevana tehtävänä siirryttäessä edellisistä, entropiaan ja toiseen tutkimukseen liittyvistä tehtävistä faasidiagrammeihin. Alkutilanteena tehtävässä on 380-asteista vesikaasua, joka pitäisi jollain tavalla saada nestemäiseen olomuotoon. Oppilaille annetaan myös kuva veden faasikaaviosta, jonka perusteella tehtävästä tulisi selviytyä.

Oikea vastaus vaihtoehtojen joukossa oli kohta c), jonka mukaan nestemäinen olomuoto saadaan aikaan laskemalla lämpötilaa yli 280 astetta. Tehtävässä tulee havaita, että alkulämpötila on korkeampi kuin veden kriittinen lämpötila, joka oli merkitty tehtävän kuvaan pisteellä. Tämän havainnon jälkeen täytyy muistaa kriittisen pisteen merkitys ja todeta, ettei kaasua enää saada nesteeksi painetta nostamalla. Ainoaksi vaihtoehdoksi jää lämpötilan laskeminen riittävän alas.

Oikeita vastauksia 144 vastauksen joukossa oli 99 kappaletta eli 68,8 % ($S = 0,69$). Kun tehtävän tuloksia analysoidaan konsentraatioanalyysin avulla, saadaan konsentraatiotekijäksi $C = 0,43$. Tällöin voidaan tehtävän onnistumista kuvata kirjainkoodeilla MM. Konsentraatioanalyysin perusteella tehtävään on osattu vastata keskimääräisesti ja väärät vastaukset ovat hajaantuneet useamman vaihtoehdon kesken, yhden vastauksen ollessa kuitenkin muita suosittumpi. Tässä tapauksessa se yksi on oikea valinta.

Tehtävään oikein vastanneista jopa 27 on valinnut myös toisen vaihtoehdon, vaikka tehtävässä oli vain yksi ainoa oikea vaihtoehto. Jos nämä useampaan kohtaan vastanneet jätetään koko tarkastelun ulkopuolelle, putoaa oikein vastanneiden prosentuaalinen osuus hieman, 61,5 %:iin. Tällöin konsentraatiotekijä laskee entisestään ja virheelliset

vastaukset ovat hajaantuneet melko tasaisesti loppujen vaihtoehtojen kesken. Konsentraatiotestin koodauksen mukaan tehtävä on edelleen tasoa MM.

Hieman yli 17 prosenttia vastanneista valitsi vaihtoehdon d), jonka mukaan haluttu muutos saadaan aikaan aivan samoin kuin oikeassa vastauksessa laskemalla lämpötilaa noin 280 astetta, mutta lisäksi painetta lasketaan 10 baaria. Lähtötilanteessa vallitseva paine on yksi baari eikä painetta tällöin voida myöskään laskea yhtä baaria enempää. Negatiivinen paine ja sen mahdottomuus on usein asia, jota tuskin koulussakaan käsitellään. Se vain oletetaan selväksi asiaksi, mutta kuten nämä 25 vastaajaa osoittavat, myös sen kohdalla voi tulla väärinkäsityksiä.

Prosenttilukuja tarkasteltaessa havaitaan myös, että vaihtoehdon b) on valinnut yli neljännes kaikista vastanneista, jos mukaan luetaan myös kaksi vaihtoehtoa valinneet. Kyseisen vaihtoehdon mukaan nesteyttäminen on mahdollista nostamalla painetta yli 220 baaria. Vaihtoehdossa ollaan 'oikeilla jäljillä' ja se toimisikin normaalimmissa olosuhteissa, mutta koska tehtävässä lämpötila on yli kriittisen lämpötilan, ei nesteytyminen ole mahdollista ilman lämpötilan laskua. Tämän perusteella voisi siis päätellä, että valtaosa oppilaista on osannut tulkita kaaviota rutiininomaisesti oikein, mutta yllättävän paljon on ollut epäselvyyttä kriittisen pisteen merkityksen suhteen. Itse kaaviota siis osataan käyttää ja tulkita, mutta erikoispisteitä ei ole täysin hallita. Mitään yleistä väärää ennakkokäsitystä ei tehtävän perusteella nouse esiin.

Tehtävän onnistumiselle saadaan laskettua keskiarvoja, jos oletetaan, että oikean vaihtoehdon valitsemisesta ja väärän vaihtoehdon pois jättämisestä annetaan aina yksi piste. Väärästä valinnasta tai oikean merkitsemättä jättämisestä ei tällöin pisteitä jaeta. Tällöin kyseisen tehtävän maksimipistemäärä on neljä ja keskiarvoksi muodostui varsin tyydyttävä 3,2 pistettä. Tämä kertoo siitä, että jokainen vastaajista on ainakin osannut jättää valitsematta varmasti väärä vaihtoehtoja. Keskiarvoa hieman vääristää se, että jos oppilas valitsee tehtävänannon mukaisesti vain yhden vaihtoehdon ja se on väärin, on tällöin myös oikea vaihtoehto väärin, mutta kaksi muuta väärää oikein, koska ne on jätetty valitsematta, jolloin keskiarvoksi tulee vähintäänkin kaksi. Tällöin pitäisi periaatteessa tarkastella väliä [2,4], jolloin keskiarvo 3,2 sijoittuu hieman välin keskikohdan paremmalle puolelle.

Tehtävä 5B

Seuraava tehtävä, 5B, jatkaa edellisen tehtävän tapaan faasikaavioiden erityisominaisuuksien tarkastelua ja keskittyy aivan faasikaavioiden perusasioihin. Tehtävä liittyy edellisen tehtävän kuvaan veden faasikaaviosta. Tehtävässä kysytään mitä aineelle eli tässä tapauksessa vedelle tapahtuu, kun kaasumaisen 0-asteisen veden painetta nostetaan hitaasti 10 baarin verran pitäen samalla lämpötila vakiona. Lämpötila nollla astetta on merkitty veden faasikaavion kuvaan tilanteen helpottamiseksi ja oikean ratkaisun pystyy lukemaan kuvasta, jos faasikaavion vain osaa hahmottaa oikein.

Kysymyksen tilanne liittyy siihen veden erityiseen ominaisuuteen, että sen sulamiskäyrä nousee hieman vasemmalle. Tällöin, jos tehtävän tilanteen mukaan lähdetään liikkeelle kaasumaisesta muodosta, hämmistyy kaasu painetta nostettaessa ensin kiinteäksi ja paineen edelleen noustessa kiinteä aine sulaa nesteeksi. Annetusta faasikaaviosta nähdään, että paineen ollessa korkeampi kuin yksi baari, on 0-asteinen vesi nesteenä. Oikea vaihtoehto on kohta a), jonka vastanneista oppilaista valinnut vaatimattomat 50,69 %.

Konsentraatioanalyysillä tarkasteltaessa konsentraatiotekijäksi saadaan $C = 0,18$, kun oikein vastanneita on 144 vastaajan joukossa 73 kappaletta. Yhdessä prosenttiosuuden kanssa saadaan aikaan kirjainyhdistelmä ML, joka kertoo, että tehtävä on osattu jälleen keskimääräisesti. Kaikkien valintojen kesken hajontaa on runsaasti ja väärät vastaukset ovat jakautuneet melko tasaisesti kaikkiin loppuihin vaihtoehtoihin. Jakauman tasaisuus kertoo siitä, että tehtävä ei ole ollut ollenkaan yksinkertainen hahmottaa. Vaikka tehtävä ei edellytä muuta kuin kaavion tulkintaa kuvaan merkittyjen arvojen mukaisesti, tulokset kertovat selvästi ongelmista. Kyseisen tehtävän oli tarkoitus olla kenties helpoin ja aivan faasikaavion perusteisiin liittyvä, mutta vastausten perusteella näin ei ollutkaan.

Kyseinen tehtävä voi monen oppilaan mielestä sotia heidän ennakkokäsityksiään vastaan. Arkielämässä veden olomuotojen muutosten nähdään lähes aina noudattavan samaa kaavaa. Jää sulaa nesteeksi, joka sitten voi höyrystyä kaasuksi tai vastaavasti toisinpäin, vesihöyry tiivistyy nesteeksi, joka jäätyy riittävän kylmissä olosuhteissa. Tehtävän tilanteessa tämä totuttu olomuotojen keskinäinen järjestys rikkoutuu. Arkielämässä

liikutaan yleensä lämpötila-akselin suuntaan, tehtävässä paineakselin suuntaan. Vesi on niitä harvoja aineita, joilla tämän järjestyksen rikkoutuminen on mahdollista kyseisessä tilanteessa. Oppitunnilla vesi on aina esimerkkinä. Tällöin myös oppilaiden tulisi tietää kyseisestä erikoisuudesta. Tehtävän ratkaiseminen ei kuitenkaan vaadi tämän ominaisuuden muistamista, vaan sen voi ratkaista suoraan kuvasta katsomalla. Ennakkokäsitykset ilmeisesti vaikeuttavat kyseisen tehtävän ratkaisemista.

Tehtävänannossa mainitaan paineen nousevan hitaasti. Hitaan prosessin käsite saattaa olla lukiolaisille hieman vieras ja saattaa hämätä. Toisaalta, koska vaihtoehtojen joukossa ei ole ollenkaan tapausta, jossa tapahtuisi nopea prosessi ja kaasu muuttuisi suoraan nesteeksi, ei prosessin nopeudella sinänsä liene merkitystä oikeata vastausta haettaessa.

Yllätyksenä väärin vaihtoehtojen joukossa on kohta d) *Ei mikään edellisistä*, joka näyttää olleen oppilaista noin neljäsosan valinta. Muutkin vaihtoehdot ovat saaneet korkeita kannatusprosentteja, mutta mielenkiintoiseksi tuon vaihtoehdon tekee se, minkä oppilaat ovat ajatelleet olevan sopivampi vastaus kysymykseen. Kun kuvan ilmeinen tulkinta on ristiriidassa arkiodotusten kanssa, kenties oppilaat ovat epä tietoisuudessaan vain valinneet helpon vaihtoehdon, jonka valitsemalla ei tarvitse olla tarkasti jotain mieltä.

Mielenkiintoinen asia tehtävässä on se pieni seikka, että oikein vastanneista kaksi oppilasta on valinnut vaihtoehdoista myös toisen sopivan, joka periaatteessa voidaan olettaa olevan oikein, mutta tällöin vastaus jää puolittiehen. He ovat oikean vastauksen lisäksi ympyröineet myös vaihtoehdon c), jonka mukaan aine muuttuu suoraan kaasusta kiinteäksi. Juuri näinhän tehtävän tilanteessa todellakin käy, mutta prosessi jatkaa kulkuaan kunnes kaikki aine lopulta on nestettä. Tällöin vaihtoehtoa ei voida katsoa oikeaksi. Kyseisen vaihtoehdon mukanaolo testissä ei kenties ollut loppuun asti harkittu, joskin se testaa faasien tunnistamista.

Tehtävän 5 faasikaavioon on merkitty vain sublimaatio-, sulamis- ja höyrynpaineikäyrät sekä joitakin lämpötila- ja painelukemia. Oppilaille itselleen on jätetty keksittäväksi, missä olomuodossa aine kussakin käyrien rajaamissa alueissa on. Tämä voidaan mielestäni olettaa tiedetyksi lukio-opetuksen pohjalta. Lisäksi lukiolaiselle ei pitäisi olla vaikeaa päätellä lämpötilojen ja paineiden avulla, mikä mikin alue on. Arkikokemuksen

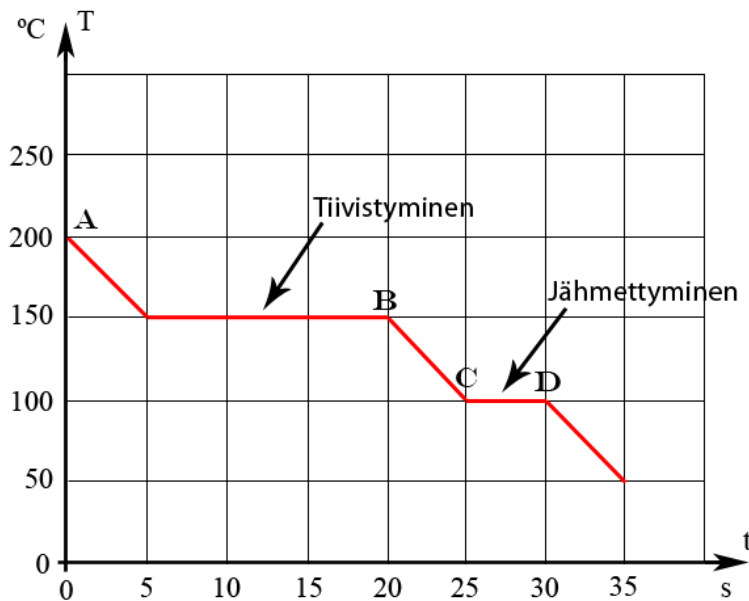
mukaan normaalipaineessa vesi on jäässä, jos sen lämpötila on nollan alapuolella, sekä vastaavasti samaisessa paineessa vesi on kaasua, kun veden lämpötila on yli sata astetta.

Keskiarvoksi tehtävälle 5B saadaan tasan kolme, kun maksimipistemäärä on neljä. Kuitenkin on syytä jälleen muistaa, että kuten edellisessäkin tehtävässä, yhdellä väärällä vastauksella saadaan vielä keskiarvoksi kaksi. Tällöin keskiarvo kolme on välin [2,4] keskellä.

Tehtävä 6

Kuudennessa tehtävässä tarkasteltiin kuinka lukiolaiset osaavat kytkeä ennen faasikavioita oppimansa asian faasikaavioihin. Tehtävässä on kaksi kuvaa, joista ensimmäinen esittää jonkin aineen jäähtymistä vakioaineessa. Kuvaajaan on piirretty jäähtymiskäyrä, jossa on esitetty lämpötila ajan funktiona. Kuvaajan käyrälle on merkitty neljä pistettä, joita vastaajien tulee verrata toiseen kuvaan. Toisena kuvana on yksinkertainen faasikaavio, johon on merkitty viisi pistettä, joihin ensimmäisen kuvan pisteet voidaan liittää. Faasikaavion pisteet ovat samalla suoralla siten, että paine on kaikissa pisteissä vakio. Tällöin tarkasteltavaksi jäävät vain lämpötilan ja olomuodon muutokset. Tämä vastaa olomuodon muutosten arkipäiväistä esiintymisjärjestystä. Oppilaiden tehtävänä on ilmoittaa, mitä toisen kuvan pistettä kukin ensimmäisen kuvan pisteistä vastaa.

Tehtävässä oppilaiden tulisi muistella hieman aiemmin opittuja asioita samaiselta termodynamiikan kurssilta. Vastaavia jäähtymis- ja lämpenemiskäyriä on käsitelty, kun opetuksen aiheena on ollut latentin lämmön käsite. Oppilaskyselyssä käytetty jäähtymiskäyrän kuva on esitetty kuvassa 5, johon on tässä lisätty kuvan havainnollistamiseksi hieman lisäinformaatiota.



Kuva 5. Erään aineen jäähtymiskäyrä.

Oppilaan tulisi tehdä jäähtymiskäyrästä päätelmä, että käyrän tasaiset osiot syntyvät, kun aineen olomuoto muuttuu. Tällöin aineen lämpötila säilyy vakiona, kunnes olomuoto on kokonaan muuttunut. Kuvaan merkityistä neljästä pisteestä kolme eli B, C ja D, sijaitsevat tällaisten tasaisten osien kohdalla eli näissä pisteissä on olomuodon muutos juuri alkamassa, tapahtumassa tai juuri loppumassa. Jos tätä havaintoa verrataan kuvaan faasikaaviosta, voidaan havaita, etteivät nämä pisteet voi sijaita muualla kuin juuri faasirajoilla. Pistettä B vastaava piste faasikaaviossa on numero 4 ja pisteitä C sekä D vastaa faasikaavion piste numero 2. Jäähtymiskäyrän piste A näyttää olevan korkeammassa lämpötilassa kuin piste B, joten vaihtoehdoksi jääkin vain piste 5, joka on kaasumaisessa olomuodossa.

Yllättävän moni oppilaista tuntuu vain katsoneen yhden pisteen suunnilleen kohdalleen ja sijoittaneen loput siitä järjestyksessä, joko vasemmalle tai oikealle sen mukaan kummassa suunnassa on riittävästi tilaa. Mielenkiinto ei mahdollisesti ole riittänyt käsittelemään loppuja pisteitä erikseen, vaan on ollut kiire eteenpäin. Yllättävän suuri on myös nollarivien eli niiden vastausten määrä, jotka eivät ole osanneet sijoittaa yhtään ainoata pistettä oikein. Näin valinneita oppilaita on jopa 29 kappaletta eli 20,1 prosenttia koko vastaajamäärästä. Näillä oppilailla toistuu lähes poikkeuksetta sama kaava. Pisteitä on alettu numeroida suoraan alusta eli piste A on saanut numeron yksi ja

piste B numeron kaksi. Loput kaksi pistettä on valittu loppuista jäljelle jäävistä ja tällöin yksikään kohta tehtävässä ei ole oikein. Viidesosa vastanneista ei siis ole havainnut sitä, kuinka lämpötila käyttäytyy kuvissa. Jos pisteen A lämpötila on selvästi suurin, kuinka se on sijoitettu faasikaavion kylmään päähän? Joko näin vastanneet oppilaat ovat olleet todella vaikeuksissa tehtävän suhteen tai sitten kiinnostus kyselyä kohtaan on heillä ollut liian vähäistä, jotta tehtävää olisi jaksettu pohtia.

Pisteen A paikan hahmottaminen faasikaaviossa on ollut oppilaille helpointa. Oppilaista 65,3 % eli 94 kappaletta 144:stä on sijoittanut kyseisen pisteen oikein. Tämä viittaisi siihen, että nämä vastaajat ovat ainakin käsittäneet sen, että lämpötila on jäähtymiskäyräkuvassa suurimmillaan vasemmalla reunassa ja faasikaaviossa oikealla reunassa. Pisteen B on oikealle kohdalle sijoittanut noin puolet vastaajista (50,7 %). Noin 15 prosenttia A:n oikein sijoittaneista on nyt erehtynyt B:n kanssa. Hankalimmiksi tapauksiksi osoittautuivat pisteet C ja D. Pistettä C vastaavan numeron faasikaaviosta on löytänyt vain 44,4 % ja pisteen D kohdalla onnistumisprosentti putoaa edelleen 37,5:een. Eli vain hieman yli kolmannes vastaajista on valinnut pisteelle D oikein paikan faasikaaviosta.

Edellä oleva prosenttien tarkastelu ei kerro kuinka moni 144:stä kyselyyn vastanneesta oppilaasta valitsi tehtävään kuusi kaikki kohdat oikein. Näitä täysin oikein vastanneita ei löydy koko joukosta kuin yhdeksän kappaletta eli ainoastaan 6,3 %. Tulos on hämmästyttävän pieni. Vertailun vuoksi kolmeen kohtaan oikein vastanneita löytyy 57 kappaletta eli 39,6 %. Näihin kolme oikein –vastausten tarkempi tarkastelu kertoo, että oikein on osattu sijoittaa pisteet A, B ja D, mutta C:n sijoittamisessa on tullut vastaan suuria ongelmia, koska se pitäisi sijoittaa samaan pisteeseen D:n kanssa. Tämä on osittain ymmärrettävää, koska lukion oppilaat ovat tottuneet tehtäviin, joissa jokaista pistettä vastaamaan löytyy ainoastaan yksi oikea vaihtoehto.

Oppilaiden tehtäväkohtaisia keskiarvoja laskettaessa maksimipistemäärä tehtävälle 6 on neljä pistettä. Tehtävän keskiarvo jää nyt kuitenkin hieman alle kahteen, mikä kertoo selkeästi, että tehtävän ratkaisemisessa on ollut pahoja ongelmia.

Tehtävän hankaluudesta kertoo paljon se, että vastauksia, joissa ei ole juurikaan järkeä, on paljon. Tällaisia vastauksia ovat ne, joissa esimerkiksi pisteiden järjestys on sellainen,

että lämpötila muuttuu edestakaisin, vaikka kyseessä on jäähtymiskäyrä. On vaikea päätellä mitä tällaisia vastauksia vastanneiden mielessä on liikkunut, mutta yksi mahdollisuus on, että he ovat saaneet muutaman pisteen mielestään kohdalleen ja jos loput pisteet eivät olekaan sopineet kuvioon, niin ne on vain merkitty jonnekin.

Tehtävä 6 kertoo hyvin siitä, mitä tapahtuu, jos aikaisemmin opittua asiaa ei kytketä uuteen asiaan kunnolla. Kouluissa, jotka ottivat osaa kyselyyn, on ollut käytössä, joko Tammen [Lehto, Luoma, Havukainen & Leskinen, 2005] tai WSOY:n [Hatakka, Saari, Sirviö, Viiri & Yrjänäinen, 2005] kustantama oppikirja. Molemmista kirjoissa on latentin lämmön käsite sekä tehtävän jäähtymiskäyrän kaltaiset kuvaajan opittu hieman aikaisemmin kuin faasikaaviot. Kirjoissa faasikaaviot on kuitenkin sijoitettu omiin kappaleisiinsa eikä kytkentää asioiden välillä ole lainkaan. Uusien käsitteiden järjestäytyminen tietorakenteiksi ja samalla asioiden oppiminen jää vaillinaiseksi, jos asioita ei kytketä vanhaan. Latentti lämpö ja faasikaaviot liittyvät vahvasti toisiinsa ja niiden kytkeminen toisiinsa auttaisi oppilasta molempien asioiden muistamisessa ja etenkin ilmiöiden käsittelyssä.

Jäähtymiskäyrä on huomattavasti faasikaaviota arkipäiväisempi esitysmuoto. Jäähtymiskäyrän kaltaisen veden kiehumiskäyrän lähes jokainen oppilas on määrittänyt jossain vaiheessa koulu-urallaan sulattaessaan luokassa jääpalasta nestettä ja edelleen kiehattaessaan sen kaasuksi. Tällöin oppilas on omin silmin todennut lämpiämisen pysähtyvän olomuodon muutoksen ajaksi. Tehtävän ensimmäinen kuva vastaa siis paremmin oppilaan arkikäsityksiä ja sitä minkä hän on omin silmin omista kokeistaan todennut. Faasikaavio on huomattavasti abstraktimpi esitysmuoto. Pienessä kaaviossa kerrotaan paljon asiaa niin tiiviisti, ettei sitä kaikkea voi ymmärtää, jos kaaviota ei voi kytkeä mihinkään aikaisemmin opittuun.

Tehtävässä 6 onkin asetettu samaan pakettiin arkipäiväisempi ja abstraktimpi versio samankaltaisista asioista. Usein oppimista sekoittavana seikkana voidaan pitää faasin käsitteen monitahoista luonnetta. Faasia voidaan käyttää niin konkreettisena kuin abstraktina käsitteenä. Konkreettisina faasit nähdään esimerkiksi, kun oppilaalla on suljetussa astiassa vettä, josta haihtuu vesihöyryä. Tällöin hän voi kertoa, että astiassa on kahta faasia yhtä aikaa. Faasikaavio tuo faaseille niiden abstraktimman merkityksen. Kaaviosta voidaan katsoa vastaavat olosuhteet ja nähdä siten mitä faaseja tällöin voi

esiintyä. Näiden merkitysten yhteensovittaminen ei ole kovin yksinkertaista, koska toista emme voi suoraan havaita arkielämässä.

Faasikaaviossa olevat käyrät kuvaavat eri faasien välisiä rajoja, joilla olomuodonmuutokset tapahtuvat. Pelkkä viiva kaaviossa on kovin abstrakti esitys muutokselle, jonka voimme luonnossa nähdä kahden eri olomuodon välillä ja joka prosessina vie aikaa. Tällöin voimme myös havaita faasimuutoksen tapahtuvan oikeasti esimerkiksi jään sulaessa. Abstraktissa faasikaaviossa kyseinen muutos ”tapahtuu” yhdessä ainoassa pisteessä. Siten ei liene yllättävää, että tehtävän kuusi hahmottamisen kanssa esiintyy ongelmia. Asioiden yhteen kytkemisellä on yllättävän suurta merkitystä tietorakenteiden muodostumiselle oppilaiden aivoissa.

Tehtävä 7

Tehtävässä 7 keskitytään tarkastelemaan kolmoispisteen merkitystä ja samalla törmätään tilanteeseen, jossa useampia faaseja on tasapainossa keskenään. Tehtävän alkutilanteessa kerrotaan jään lämpötilan olevan 0,00 astetta Celsiusta ja paine 0,0061 baaria. Kyseinen piste on merkitty tehtävän ohessa olevaan faasikaavioon katkoviivoilla ja sekä lämpötilan että paineen arvot on merkitty näkyviin. Tehtävänannossa kerrotaan, että lämpötilaa nostetaan ensin 0,01 astetta pitäen paine vakiona. Faasikaaviosta on helppo tässä vaiheessa havaita, että lämpötilan noston myötä on siirrytty veden kolmoispisteeseen, joka sekin on merkitty varsin selvästi kaavioon. Tämän jälkeen painetta nostetaan vakiolämpötilassa pysyen puoli baaria. Faasikaaviota tarkastelemalla havaitaan, että vesi on nyt nestemäisessä olomuodossa. Tämän jälkeen tehtävässä tulee itse kysymys. Mitä olomuotoja prosessin eri vaiheissa voidaan havaita? Lisäksi annetaan mahdollisuus valita useampia vaihtoehtoja.

Vaihtoehtoiksi tehtävässä on annettu kiinteä, neste, kaasu ja plasma. Alkutilanteessa tehtävänannossa mainitaan jään lämpötila eli ainakin tämän perusteella kiinteän tulisi olla valittuna kaikkien vastanneiden paperissa. Lopputilanteessa taas ollaan vahvasti nesteen puolella, joten sen tulisi olla toinen helpohko vaihtoehto. Koska tehtävässä kuljetaan veden kolmoispisteen kautta ja kyseisessä pisteessä kaikki kolme perusolomuotoa ovat

tasapainossa keskenään ja voivat esiintyä samanaikaisesti, voidaan olettaa että myös kaasua voi esiintyä tehtävässä kuvaillun prosessin aikana.

Niille oppilaille, joille plasma on edes hieman tuttu käsite, ei neljäs vaihtoehto ole luonnollisestikaan mahdollinen, koska lämmöt eivät tehtävän tapauksessa nouse tuhansiin kelvineihin. Toisaalta, aina on niitä oppilaita, joille plasmasta ei ole puhuttu ja, jotka eivät sitä kirjastakaan ole katsoneet, koska se kuuluu niin sanottuihin ekstraosioihin ja tuskin kuuluvat koealueeseen. Voidaan kuitenkin olettaa, että veden käyttäytyminen kolmoispisteessä ja sen läheisyydessä on varmasti kaikille opetettu eikä sen opetuksen yhteydessä ole plasmaa mainittu, joten kenenkään ei pitäisi sitä myöskään kolmoispisteen tarkasteluun sijoittaa. Oikeat valinnat tehtävään ovat siis kolme ensimmäistä eli kiinteä, neste ja kaasu.

Vaikka vaihtoehto a) eli kiinteä mainitaan jo tehtävänannossa, jostain syystä 12 oppilasta ei ole sitä valinnut. Ensimmäisen vaihtoehdon on oikein tällöin valinnut 91,7 prosenttia vastanneista. Kyseinen prosentti on korkea, juuri niin kuin sen kuuluukin olla. Ne kaksitoista, jotka eivät vaihtoehtoa ole valinneet, ovat joko olleet erittäin vahvasti hukassa tehtävän suhteen tai sitten he kuuluvat siihen ryhmään, joita vastaaminen ei yksinkertaisesti ole kiinnostanut ja paperiin on merkitty täysin umpimähkäisesti vain joitakin vaihtoehtoja.

Kyselyyn vastanneet oppilaat ovat erinomaisesti osanneet seurata prosessin vaiheita suoraan faasikaaviosta ja sitä kautta huomanneet, että lopputilanteessa vesi esiintyy nestemäisessä olomuodossa. Peräti 94,4 % kaikista vastanneista on valinnut b)-kohdan eli nesteen oikeaksi vaihtoehdoksi. Tämä kohta on siis osattu valita jopa hieman kiinteätä paremmin. Kiinteä ja nesteen valinta on siis kokonaisuudessaan onnistunut hyvin, mikä kertoo siitä, että itse kuvaajan lukeminen on oppilaille hyvin sujuvaa. Koehenkilöt ovat osanneet katsoa, missä ollaan alkuvaiheessa ja missä lopussa, mutta prosessinaikaiset vaiheet ja erityispisteiden merkityksen hahmottaminen ovat hankalampia tapauksia. Tuloksissa tapahtuukin yllättävä notkahdus, kun tarkastellaan kolmatta vaihtoehtoa eli kaasua.

Kaasun eli vaihtoehdon c) on kaikista 144 vastaajasta valinnut vain 85 henkilöä, joten oikein vastanneiden prosenttiosuudeksi saadaan vain 59,0 %. Yli 40 prosenttia oppilaista

ei siis ole osannut valita kaasua mukaan prosessiin. Kolmoispistettä on oppikirjoissa ja varmasti myös oppitunneilla tarkasteltu nimenomaan pisteenä, jossa kaikki kolme olomuotoa voivat esiintyä samanaikaisesti. On totta, ettei tehtävän tapauksessa välttämättä esiinny kaasumaista olomuotoa, vaan kolmoispisteen kautta kuljettaessa voi esiintyä vain kiinteätä ja nestettä. Mutta on mahdollista, että myös kaasua esiintyy ja tällöin tehtävänannon mukaisesti tulisi merkitä myös kaasufaasi mukaan prosessin olomuotoihin. Tämän kohdan perusteella oppilaat tuntuvat tietävän kuinka faasikaaviota luetaan, mutta kolmoispiste ja aineen käyttäytyminen siinä ei ole kaikille aivan selvää.

Plasman eli vaihtoehdon d) on mukaan prosessiin uuttanut 21 henkilöä eli 14,6 % vastanneista. Näin vastanneista suurella osalla on virheitä myös muissa kohdissa eli plasman valitseminen prosessiin kuuluvaksi saattaa kertoa suoraan siitä, että kyseiset oppilaat eivät ole ollenkaan selvillä faasikaavion toiminnasta tai eivät jaksaneet testiin paneutua. Toinen vaihtoehto on, etteivät kyseiset oppilaat ole olleet varmoja siitä, mitä plasma on ja ovat veikanneet sen olevan niitä olomuotoja, jotka esiintyvät kolmoispisteessä. Useassa koulussa plasmaa ei käsitellä juurikaan ja tämä aiheuttaa varmasti epätietoisuutta heti, jos tällainen vaihtoehto edes esitetään tehtävän yhteydessä.

Vaihtoehdoista plasman valinnea oppilaita voidaan käyttää hyväksi, jos oletetaan heidän olleen juuri niitä, jotka eivät ole jaksaneet paneutua testiin. Jos tarkastellaan oppilaskyselyn tuloksia karsimalla koko testistä pois plasman valinneet, voidaan havaita, etteivät keskiarvot juurikaan muutu minkään tehtävän osalta ja useimpien vastausvaihtoehtojen kohdalla muutos on jopa hieman tulosta huonontava. Tästä voidaan päätellä, että plasman valinneet ovat kuitenkin pärjänneet vähintäänkin keskimääräisesti kaikissa muissa tehtävissä. Tällöin d)-kohdan käyttö karsivana vaihtoehtona ei toimi eikä siitä saada tukea tulkinnalle, että tietty osa oppilaista olisi suhtautunut testiin kevyesti.

Kaikki kohdat oikein valinnea oppilaita oli kokonaisuudessaan 66 kappaletta eli 45,8 % kaikista vastanneista. Suurimmat virheet sattuivat vaihtoehdon c) eli kaasun valinnoissa. Periaatteessa kyseinen virhe ei sinänsä ole kovin vakava, koska tehtävän tilanne on mahdollinen myös ilman kaasun olemassaoloa. Muilta osin tehtävään oli vastattu melko onnistuneesti. Tämä kertoo siitä, että faasikaavion peruskäyttö on oppilaille kutakuinkin vaivatonta ja olosuhteiden muuttuessa osataan siirtyä kaaviossa paikasta ja tilanteesta toiseen sujuvasti. Tehtäväkohtaiseksi keskiarvoksi saadaan 3,3 pistettä

maksimipistemäärän ollessa neljä. Kokonaisuudessaan tehtävän tulos kuulostaa varsin hyvältä.

Tehtävä 8

Viimeisenä tehtävänä kyselyssä oli ongelma, jossa testattiin kuinka hyvin oppilaat osaavat soveltaa faasikaaviota tilanteeseen, jonka he tuskin edes luulevat liittyvän aiheeseen. Kahdeksannessa tehtävässä oppilaille annettiin hyvin yksinkertainen kuva erään aineen faasikaaviosta ja heitä pyydettiin valitsemaan oikea vaihtoehto kysymykseen, kasvaako vai pieneneekö aineen tiheys kyseisen aineen sulaessa? Vaihtoehtoja oli annettu kolme. Ensimmäisen eli a)-kohdan mukaan aineen tiheys kasvaa sen sulaessa. Vaihtoehdossa b) aineen tiheys pienenee sen sulaessa ja viimeisen vaihtoehdon mukaan aineen tiheydessä ei tapahdu muutoksia kyseisen aineen sulaessa.

Tehtävänannon faasikaaviossa sulamiskäyrä koukkaa reilusti oikealle, jolloin oppilaiden tulisi havaita, että kyseessä ei ole vesi vaan jokin muu aine, joka käyttäytyy sulaessaan juuri päinvastaisesti kuin vesi. Vedellähän sulamiskäyrä kaartuu hieman vasemmalle, josta syystä jää on harvempaa kuin nestemäinen vesi. Tehtävän tapauksessa on juuri päinvastainen tilanne eli kiinteä aine on tiheämpää kuin nestemäinen. Tällöin kyseisen kiinteän aineen sulaessa sen tiheys pienenee eli aine muuttuu harvemmaksi. Oikea vastaus on tällöin vaihtoehto b).

Tehtävään oli vastannut oppilaista 143 henkilöä ja oikean vaihtoehdon oli heistä valinnut 44,8 prosenttia ($S = 0,45$) eli 64 henkilöä. Konsentraatioanalyysin avulla tarkasteltaessa saadaan konsentraatiotekijäksi vaivaiset $C = 0,06$. Tällöin kirjainyhdistelmäksi saadaan ML, joka tarkoittaa, että tehtävään on osattu vastata keskimääräisesti, mutta jakauma osoittaa vastausten jakautuneen erivaihtoehtojen kesken hyvin tasaisesti. Tämä kertoo todennäköisesti siitä, että tehtävään on vastattu paljolti sattumanvaraisesti varmemman tiedon puuttuessa kokonaan.

Ensimmäinen väärä vaihtoehto eli a) aineen tiheys kasvaa sen sulaessa on saanut kannatusta 35,0 prosentin verran. Toinen vääristä vaihtoehdoista eli se, ettei aineen tiheys muutu lainkaan sen sulaessa, on kerännyt 20,3 prosentin äänisaaliin. Koska oikea vastaus

on kuitenkin saanut hieman enemmän kannatusta kuin kaksi muuta vaihtoehtoa, täytyy joukossa olla myös niitä oppilaita, jotka ovat onnistuneet päättämällä selvittämään oikean ratkaisun.

6.2 Tehtäväkohtaiset tulokset ja korrelaatiot

Yhteenvetona tehtäviin vastaamisesta voidaan sanoa, että niissä onnistuttiin välttävästi. Tehtäviä 5A, 5B ja 8 on edellä tarkasteltu niin prosenttilukujen kuin konsentraatioanalyysinkin avulla. Taulukossa 3 on konsentraatioanalyysin tulokset kerätty helpommin tarkasteltavaan muotoon. Taulukkoon on lisäksi laskettu kyseisten tehtävien konsentraatiohajonnat.

Taulukko 3. Konsentraatioanalyysin yhteenveto

Tehtävä	Prosenttiosuus		Konsentraatio		Konsentraatiohajonta (Γ)	
	(S)	Taso	(C)	Taso		Taso
5A	0,69	M	0,43	M	0,07	L
5B	0,51	M	0,18	L	0,09	L
8	0,45	M	0,06	L	0,08	L

Näiden kolmen tehtävän osaaminen on siis kokonaisuudessaan ollut varsin keskinkertaista. Tehtävän 8 osalta tulos ei yllätä, mutta 5A:n ja 5B:n tulosten perusteella on syytä tehdä joitakin johtopäätöksiä oppilaiden termodynamiikan ja tarkemmin faasikaavioiden hallitsemisesta. Konsentraatiotekijän C varsin matalat arvot kertovat selkeästi siitä tosiasista, että oppilailta ei ole ollut selkeätä suosikkia tehtävien vaihtoehdoissa vaan, kaikkia vaihtoehtoja on valittu runsaasti.

Konsentraatiohajonnan Γ arvot jäävät kaikissa kolmessa tehtävässä hyvin alhaisiksi. Kaikissa kolmessa tehtävässä jopa alle 0,1. Tämä kertoo siitä, että väärin vaihtoehtojen joukossa ei ole ollut yhtään kakkossuosikkia oikeaksi vastaukseksi, vaan väärät vastaukset ovat jakaantuneet erittäin tasaisesti kaikkien virheellisten vaihtoehtojen kesken. Tämä kertoo suoraan siitä, että oppilaat eivät ole osanneet poistaa vaihtoehtojen joukosta varmasti väärää vaihtoehtoja vaan, jos he eivät varmasti ole oikeata tienneet, on

lopullinen valinta tapahtunut enemmän tai vähemmän satunnaisesti kaikkien vaihtoehtojen joukosta.

Oppilaat tuntuvat osaavan käyttää faasikaaviota kelvollisesti tarkastellessaan sitä tietyssä lämpötilassa ja paineessa. Kaavion lukeminen piste kerrallaan siis onnistuu, mutta muutosten ymmärtäminen ja arkielämän yhdistäminen faasikaavioon ei onnistu. Lämpötila on oppilaille tuttu ja arkinen asia, mutta paineakselin ymmärtäminen ei luonnistu yhtä hyvin. Erityispisteiden merkitys saatetaan kyllä osata ulkoa, mutta tehtävien tarkastelun yhteydessä sitä ei osata käyttää. Tämä havaitaan ainakin tehtävissä 5A ja 7.

Tehtävää 6 pidettiin alusta asti ehkä kyselyn tärkeimpänä tehtävänä juuri sen vuoksi, että siinä faasikaavioon yhdistyy aiemmin opittu arkinen asia. Samaisen tehtävän tulokset osoittavat hyvin todeksi sen jo aikaisemmissa tutkimuksissa esille tulleen asian, että olomuodon muutosten arkinen ja samalla konkreettinen puoli on erittäin vaikea yhdistää abstraktimman puolen kanssa niin, että niiden sisäistäminen olisi helppoa.

Tehtävän 5 molemmissa kohdissa käsiteltiin faasikaavion käyttämistä ja perusasioita. Kiinnostuksen kohteena oli korreloiko 5A ja 5B tehtävien vastauksen tehtävän 6 kanssa. Eli ovatko esimerkiksi ne oppilaat, jotka vastasivat molempiin tehtävän 5 kohtiin oikein, vastanneet oikein myös tehtävän 6 soveltavampaan tehtävään. Tehtävien välistä korrelointia tarkasteltiin taulukoimalla ristiin vastaukset kyseisistä tehtävistä. Taulukoissa käytetään kolmea osaamisen tasoa. Tehtävä on mennyt oikein, jos sen kaikki neljä alakohtaa ovat olleet oikein ja melkein oikein, jos oppilas on merkinnyt kolme neljästä kohdasta oikein. Väärin tehtävän katsotaan olevan, jos alakohdista kaksi tai useampi on mennyt väärin.

Taulukossa 4 on esitetty tehtävän 5A ja 6 vastausten väliset korrelaatiot. Taulukosta voidaan havaita, että vain kahdeksan 5A tehtävään oikein vastanneita oppilaista on saanut oikein myös tehtävän 6. Kun otetaan huomioon tehtävän 6 oppilaille tuottamat vaikeudet, voidaan hyvillä mielin tarkastella myös melkein oikein tehtävään 6 vastanneiden korrelaatiota 5A:han oikein vastanneiden kanssa. Tällöin jopa 32 henkilöä on ollut oikeilla jäljillä myös vaikeamman, soveltavan tehtävän suhteen. Molempiin tehtäviin väärin vastanneiden määrä on niin ikään melkoisen suuri.

Kuten olettaa saattoi, ei kukaan, joka on vastannut väärin tehtävään 5A, ole keksinyt oikeata vastausta myöskään tehtävään 6.

Taulukko 4. Korrelaatiot tehtävien 5A ja 6 vastauksissa.

		Tehtävä 5A		
		Oikea	Melkein oikea	Väärä
Tehtävä 6	Oikea	8	1	-
	Melkein oikea	32	12	14
	Väärä	35	11	31

Korrelaatiot tehtävien 5B ja 6 välillä antavat samankaltaisia tuloksia kuin edellinenkin vertailu. Taulukkoon 5 on kerätty kyseisten tehtävien vastaukset samaan tapaan kuin edellä. Tehtävän 6 vastausten korrelaatiot 5B:n kanssa ovat hyvin samankaltaisia kuin 5A:n kanssa. Kukaan tehtävään 5B väärin vastannut ei edelleenkään ole vastannut oikein tehtävään 6. Vääriä vastauksia on 5B:ssä enemmän kuin 5A:ssa, joten nyt niiden vastaajien lukumäärä, jotka ovat vastanneet väärin sekä tehtävään 5B että 6, on kasvanut melkoisesti.

Taulukko 5. Korrelaatiot tehtävien 5B ja 6 vastauksissa.

		Tehtävä 5B		
		Oikea	Melkein oikea	Väärä
Tehtävä 6	Oikea	8	1	-
	Melkein oikea	29	2	17
	Väärä	22	3	52

Edelleen 5B:n ja 6:n korrelaatioita tarkasteltaessa voidaan havaita aivan samoin kuin edellisessäkin, että iso osa tehtävään 5B oikein vastanneista ei ole osannut ratkaista tehtävää 6 oikealla tavalla. Molempiin tehtäviin oikean ratkaisun ovat löytäneet myös kahdeksan oppilasta, kuten oli myös tehtävän 5A tapauksessa. Näistä vastaajista kuusi on samoja eli kuusi oppilasta on osannut vastata täysin oikein kaikkiin kolmeen tehtävään.

Koska tehtävän 5 molemmat kohdat liittyvät oleellisesti toisiinsa ja niiden osaaminen on oleellista, jotta esimerkiksi tehtävän 6 kaltaisen ongelman hahmottaminen onnistuisi kunnolla, tarkastellaan seuraavaksi kuinka hyvin tehtävän 6 vastaukset korreloivat

molempien tehtävän 5 kohtien vastausten kanssa. 5A ja 5B tehtävien vastaukset on luokiteltu edellisten luokittelujen mukaan siten, että tehtävät on ratkaistu oikein, jos molemmat kohdat on täysin oikein ratkaistu eli oppilas on saanut tehtävissä kaikki kahdeksan kohtaa oikein. Melkein oikein –luokkaan kuuluvat tehtävät on ratkaistu siten, että kahdeksasta kohdasta on osattu vähintään kuusi oikein. Loput ratkaisut, joissa oikeita kohtia on yhteensä viisi tai vähemmän pidetään tässä väärinä ratkaisuuina. Todettakoon, että tällaista vastausta, jossa olisi viisi kohtaa oikein, ei papereista löydy, vaan neljä oikeata on ensimmäinen jolla on vastaus merkitty vääräksi. Vastauksissa ei myöskään ole yhtään vastausta, jossa oppilas oli ratkaissut toisen kohdan tehtävästä 5 oikein ja toisen täysin väärin. Tällä tavoin ristiin taulukoidut vastausten lukumäärät kaikkien kolmet tehtävän osalta on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Korrelaatiot tehtävien 5A+5B ja 6 vastauksissa.

Tehtävät 5A+5B		Tehtävä 6		
		Oikea	Melkein oikea	Väärä
Oikea	6	2	-	
Melkein oikea	22	28	8	
Väärä	15	28	34	

Tehtävän 5 molempien kohtien korrelaatiota tehtävään 6 verratessa havaitaan, että melkein oikeaan on molemmissa tapauksissa osunut yllättävän moni vastaajista. Tämä saattaa kertoa siitä, että jos asiaa ei täysin hallita, saattaa tämä näkyä epävarmana vastaamisena jokaisen tehtävän kohdalla. Kaikkiaan vastaukset keskittyvät suuntaan, jossa tehtävään 6 on vastattu hieman enemmän väärin. Korrelaatioiden tarkastelusta voidaan huomata se tosiseikka, että jos oppilas ei ole osannut tehtävän 5 ratkaisua, ei hän myöskään ole osannut tehtävää 6. Molempiin eli tässä tapauksessa kaikkiin kolmesta tehtävästä väärin vastanneita on runsaasti.

Korrelaatioiden tarkastelu osoittaa oikeaksi sen oletuksen, että helpompiin tehtäviin (5A & 5B) väärin vastanneet eivät ole osanneet vastata oikein myöskään vaikeampaan 6 tehtävään. Korrelaatioiden jakaumat vastaavat hyvin tehtävistä tehtyjä havaintoja ja tukevat niistä tehtyjä päätelmiä. Asioiden ulkoa osaamisella voidaan selvittää helpohkoista ongelmista, mutta samankaltaisten asioiden soveltaminen hieman erilaisessa tehtävässä ei

enää onnistukaan. Nämä havainnot korostavat fysiikan ymmärtämisen merkitystä. Oppilaiden tulisi huomata, ettei pelkkä osaaminen kannata pitkälle vaan tarvitaan myös asioiden tarkempaa tuntemusta.

Kyselyssä oli kaikkiaan viisi eri tehtävää ja näissä yhteensä 19 eri vastausvaihtoehtoa. Tällöin maksimipistemäärä koko testistä on 19. Oppilaita, jotka vastasivat kaikkiin kohtiin oikein ja jättivät valitsematta väärät vaihtoehdot eli saivat täydet 19 pistettä, oli kolme kappaletta. Alhaisin kyselyssä saavutettu pistemäärä oli kuusi pistettä, joka kyllä vaatii jo jonkinlaisia taitoja, koska esimerkiksi jo tehtävistä 5A ja 5B saa molemmista kaksi pistettä, vaikka valitsee väärän vaihtoehdon, kunhan ei päättää tehdä useampaa kuin yhden valinnan tehtävää kohden.

Kyselyyn osallistui seitsemän eri opetusryhmää, joiden oppilasmäärä vaihteli yhdeksästä oppilaasta 28 oppilaaseen. Koko testin maksimipistemäärään 19 verrattuna kaikkienryhmien keskiarvot olivat suhteellisen lähellä toisiaan keskiarvojen ollessa väliltä 12,18 – 15,22. Näistä kaksi selvästi suurinta keskiarvoa saavutettiin hieman pienempiä kouluja suuremmassa lukiossa, jolla on varaa valikoida millaisilla arvosanoilla kouluun pääsee opiskelemaan. Tällöin kouluun kohdistetut odotukset täyttyivät aivan oletetusti.

Useimmat koulussa ja oppikirjoissa olevat tehtävät voidaan ratkaista hyvinkin vaivattomasti osaamalla kirjassa ja oppitunnilla mainitut asiat. Kun vastaan tulee tehtäviä, joissa opittua asiaa pitää soveltaa tai edes edellytetään asian ymmärtämistä eikä vain ulkoa opettelua, ollaan näiden tulosten perusteella vaikeuksissa. Asioiden ymmärtäminen ja sitä kautta niiden soveltaminen uusiin, vastaantuleviin tilanteisiin ei onnistu, jos opittavia asioita ei ole tarpeeksi hyvin onnistuttu linkittämään aiemmin opittuun ja arkielämässä nähtäviin asioihin.

6.3 Oppikirjojen tarkastelua

Kyselyyn osallistuneista seitsemästä opetusryhmästä kolme käytti oppikirjanaan Tammen *Fysiikka 2 – Lämpö & aallot* [Lehto, Luoma, Havukainen & Leskinen, 2005] kirjaa ja loput neljä ryhmää WSOY:n *Physica 2 - Lämpö* [Hatakka, Saari, Sirviö, Viiri &

Yrjänäinen, 2005] oppikirjaa. Oppilasmäärittäin *Physicaa* käytti 79 ja *Fysiikkaa* 65 oppilasta. Molemmista kirjoista on jo julkaistu uudempia versioita, mutta kyselyyn vastanneet ryhmät ovat kaikki opiskelleet vuonna 2005 julkaistuista painoksista, joten myös nyt huomio kiinnittyy enemmän näiden vanhempien versioiden tarkastelemiseen.

Yksityiskohtaista oppikirja-analyysia ei ole tarkoitus esittää, vaan tässä yhteydessä tukeudutaan vuonna 2008 valmistuneeseen luonnontieteiden kandidaatin tutkielmaani [Jousmäki, 2008], jossa tarkastelin lähemmin kolmea hyvin yleisesti käytössä olevaa lukion termodynamiikan kurssin oppikirjaa. Kyseisessä analyysissä oli mukana edellä mainittujen kahden kustantajan kirjojen lisäksi myös Otavan kustantama *Fotoni 2 – Lämpö* [Eskola, Ketolainen & Stenman]. Kandidaatin tutkielmassani tarkastelin ensin oppikirjoista yleisemmin niiden olomuotoja käsitteleviä jaksoja ja lopuksi keskityin tarkemmin faasikaavioita käsitteleviin lukuihin. Seuraavassa keskityn tähän tutkimukseen suoraan kytkeytyviin oppikirja-analyysin havaintoihin.

Lukion oppikirjojen sisällön määrittelee melko pitkälle Opetushallituksen julkaisema Lukion opintosuunnitelman perusteet 2003, jossa kerrotaan opetuksen tavoitteet sekä kurssikohtaisesti asioita, joita oppilaiden tulisi osata kyseisen kurssin käytyään. Opintosuunnitelman perusteet sisältävät myös kullekin kurssille sen keskeiset sisällöt, jotka opettajan tulee käydä oppilaiden kanssa läpi kurssin aikana [Opetushallitus 2003]. Luonnollisesti oppikirjantekijät noudattavat tätä yleistä ohjetta opetuksen sisällöistä laatiessaan uusia painoksia kirjoista. Koska Opetushallituksen ohjeet ovat melko väljät, oppikirjantekijöille kuten myös opettajille jää kuitenkin suuri valta päättää mitä asioita he painottavat ja kuinka he asiat käsittelevät. Vaikka mikään ei sido opettajaa noudattamaan oppikirjan järjestystä ja tapaa käsitellä asioita, niin kuitenkin opettaja usein noudattaa kirjan sisältöä hyvin orjallisesti päästäkseen itse samalla melko vähäisellä suunnittelulla. Tällöin oppikirjantekijöille jää usein paljon valtaa päättää kuinka lukioissamme lämpöoppia opiskellaan.

Oppikirjoista *Fysiikka* on yleisilmeeltään hieman *Physicaa* tieteellisemmän oloinen ja asiat määritelmiseen kerrotaan lyhyesti, mutta usein lukiolaiselle hieman oudolla kielellä. Tämä ei tietenkään välttämättä ole huono asia, koska fysiikan kieli on tieteellistä ja sellaisena se tulee myös jatko-opinnoissa olemaan. Toisaalta fysiikan opintojensa alkuvaiheessa oppilaan olisi hyvä saada opetusta kielellä, jota hän on oppinut kuulemaan

ja jota hän ymmärtää. Vaikka *Physican* kieli onkin arkipäiväisempää, on esimerkiksi faasikaavio selitetty jonkin verran fysikaalisemmin kuin *Fysiikassa*. *Physicassa* faasikaavion kerrotaan muodostuvan kolmesta alueesta, joiden väliset rajat muodostuvat käyriksi alueiden väliin. Tämä on fysikaalisempi perusta kaaviolle kuin *Fysiikan* käyttämä käsitys siitä, että kaavio muodostuu faasirajoista joiden väliin jää olomuotojen alueet [Jousmäki, 2008].

Kummassakaan testiin osallistuneiden käyttämässä oppikirjassa ei ole sanallakaan mainittu mitään faasikaavioiden akseleiden epälineaarista asteikoista. Oppilaat ovat lukion ensimmäisen vuoden kuluessa ehkä törmänneet joihinkin epälineaarisiin kuvaajiin, mutta pääasiassa käytössä on vain perinteiset lineaarisen asteikon omaavat kuvat. Oppikirjoja laadittaessa tulisi myös ottaa huomioon, ettei tällaiset asiat ole itsestään selviä nuorelle opiskelijalle [Jousmäki, 2008]. Kyselyn vastausten perusteella voidaan havaita, että asteikkojen epälineaarisuus on aiheuttanut ongelmia useille oppilaille.

Molempien kirjojen tehtävissä ja esimerkeissä liikutaan lähes poikkeuksetta ainoastaan lämpötila-akselin suunnassa. Tämä on oppilaille helppoa, koska lämpötilan muutokset ovat heille arkinen ja ennalta hyvin tuttu asia. Paineakselin merkitys on faasikaavioissa kuitenkin aivan yhtä suuri kuin lämpötila-akselinkin, eikä sitä missään tapauksessa saisi jättää vähemmälle faasikaavioiden käsittelyssä. Paineen merkitystä tulisi kenties korostaa jopa lämpötilaa enemmän, koska lämpötila on asia, jonka oppilaat todennäköisesti osaavat peruskouluajoilta ja omasta arkielämästään [Jousmäki, 2008]. Kuten tehtävää 5B tarkasteltaessa voitiin havaita, faasikaavioita tarkasteltaessa oppilaiden ongelmat syntyvät usein juuri silloin, kun tarkastelussa on mukana paineen muutoksia.

Molempien kirjojen kuvitus on hyvää. Riittävän selkeitä ja yksinkertaisia kuvia on riittävästi ja väreillä on vielä onnistuttu korostamaan esimerkiksi eri olomuotojen alueita kaavioissa. Tehtävien osalta kumpikaan kirja ei yllätä. Pari pientä hyvin perusasioihin paneutuvaa tehtävää hoitaa hyvin pienen harjoittelun, jotta kirjasta luettu tai opettajalta kuultu asia voisi hieman syventyä. Paineen muutoksiin ei juuri kosketa edes tehtävien osalta. Yhtään haastavampaa tehtävää ei kirjoista löydy, vaan ratkaisut ovat aina hyvin yksiselitteisiä ja hetkessä havaittavia [Jousmäki, 2008].

KytKentää vanhoihin asioihin ei oppikirjoissa ole ainakaan faasikaavioiden osalta. Esimerkiksi latentin lämmön käsite on molemmissa kirjoissa käsitelty hyvin, mutta asia katkaistaan kun aletaan puhua uudesta asiasta, faasikaaviosta. Minkäänlaista kytKentää näiden kahden asian välille ei synny. Tehtävän 6 jäähtymiskäyrän kaltaisia kuvia on molemmissa kirjoissa ennen faasikaavioiden käsittelyä, mutta kokonaisuuksien yhdistäminen ei toimi. Oppilaiden on vaikea hallita asioita, kun niitä ei osata linkittää aiemmin opittuun.

Oppikirjojen laatiminen ei ainakaan faasikaavioiden osalta ole helppoa puuhaa. Asian vaikeudet on tiedetty jo pitkään ja kirjoissakin on tapahtunut jo runsaasti edistystä. Faasikaavioiden oppiminen ei tietenkään aina ole kirjasta kiinni. Opettaja on lopulta se henkilö, jolla on valta muuttaa opetusta parhaaksi katsomallaan tavalla. Se miten opettaja esittelee oppilaalle ensimmäisen faasikaavion, on varmasti hyvin ratkaisevassa roolissa myös oppilaiden mielikuvien kannalta. Näyttääkö opettaja välittömästi kalvolta valmiin kaavion, jossa kaikki on valmiiksi koottuna yhteen kuvaan vai kootaanko kaavio pala kerrallaan yhdessä keskustellen? On selvää, että vähän kerrallaan koottu faasikaavio on huomattavasti helpompi sisäistää. Vaikka opettaja osaisikin esittää asian hienosti ja oppilaat oppisivat hyvin, ongelmaksi muodostuvat tunnilta poissaolleet oppilaat. Nämä oppilaat ovat siis oman oppikirjansa varassa ja kokeisiin lukiessaan he opettelevat asian sieltä. Tästä syystä myös oppikirjojen tulee olla hyvin laadittuja ja pedagogisesti perusteltuja [Jousmäki, 2008].

6.4 Vastausten vertailua

Oppilaskyselyn vastausten perusteella voidaan vertailla useita asioita keskenään ja pyrkiä selvittämään onko esimerkiksi käytetyllä oppikirjalla tai vastaajan sukupuolella tilastollista merkitystä verrattaessa oppilaiden tuloksia keskenään. Tämä onnistuu hyvin käyttämällä hyväksi aiemmin esiteltyä t-testiä.

Kyselyyn vastanneita oppilaista 54,9 % on käyttänyt oppikirjanaan *Physicaa* ja loput 45,1 % *Fysiikkaa*. Seuraavassa vertaillaan jokaista eri tehtävien vaihtoehtoa keskenään siten, että tutkitaan onko oppikirjojen välillä tilastollista merkitsevyyttä ja jos on, niin millä riskitasolla kyseinen tulos on luotettava. Kirjavertailussa ensimmäiseen joukkoon

kuuluvat kaikki *Fysiikka*-kirjaa oppikirjana käyttäneet ja *Physicaa* käyttäneet muodostavat toisen joukon. Tällöin, jos t tunnusluku on positiivinen, on *Fysiikkaa* kirjanaan käyttäneet saavuttaneet suuremman keskiarvon kyseisessä tehtävässä ja vastaavasti t tunnusluvun ollessa negatiivinen on *Physican* lukijat vastanneet hieman paremmin. Tehtäväkohtaiset t tunnusluvut ja riskitasot on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Oppikirjojen välisen t-testin tunnusluvut ja riskitasot.

Tehtävä:	t tunnusluku:	Riskitaso:
5A a)	0,73	0,47
5A b)	0,06	0,95
5A c)	-0,25	0,81
5A d)	1,45	0,15
5B a)	-1,66	0,1
5B b)	0,12	0,91
5B c)	-0,25	0,81
5B d)	-1,06	0,29
6 a)	-3,04	0,01
6 b)	-1,66	0,1
6 c)	0,37	0,71
6 d)	-1,87	0,06
7 a)	-0,96	0,34
7 b)	-0,28	0,78
7 c)	-2,55	0,01
7 d)	-0,25	0,81
8 a)	0,01	0,99
8 b)	1,05	0,3
8 c)	1,46	0,15

Se kuinka suuri t tunnusluku on, kertoo kuinka kaukana kulloinkin ollaan t-jakauman keskeltä eli käytännössä kuinka suuri ero kahden ryhmien välisissä tuloksissa on. Riskitason arvo määrittelee kuinka suurella riskitasolla voimme olettaa kirjavalinnalla olleen merkitystä kyselyyn vastaamisessa. Lukuja tarkastelemalla voimme todeta kirjavalintojen olevan suurimmalta osia ei merkitseviä ja vain harvoissa tapauksissa melkein merkitseviä tai merkitseviä. Laskemalla keskiarvoja tunnusluvuista ja tarkastelemalla tehtäväkohtaisia keskiarvoja voidaan todeta, ettei oppikirjalla ole tässä otoksessa ollut merkitystä testimenestyksen suhteen.

Muutamien tehtävien osalta tunnuslukuja kannattaa tarkastella hieman lähemmin. Esimerkiksi tehtävän 7 kaikkien kohtien t tunnusluvut ovat negatiivisia, jolloin *Physicaa* käyttäneet oppilaat ovat vastanneet tehtävän jokaiseen alakohtaan hieman paremmin kuin *Fysiikan* käyttäjät. Vaihtoehdon 7 c) kohdalla voidaan puhua jopa merkitsevästä erosta.

Tämä havainto voidaan kenties selittää sillä, että *Physicassa* kolmoispistettä ja sen merkitystä tarkastellaan jonkin verran *Fysiikkaa* tarkemmin ja tulos näkyy oikeiden vastausten määrässä. Myös tehtävän 6 vaihtoehdon a) ero *Physican* eduksi on merkitsevä. Kokonaisuudessaan 19 vaihtoehdosta 11 on osattu paremmin *Physican* lukijoiden keskuudessa. Erot ovat tosin muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta varsin pieniä eivätkä siten merkityksellisiä.

Testin kokonaiskeskiarvojen perusteella *Physicaa* käyttäneet ovat pärjänneet hieman paremmin saavuttamalla kaikkien tehtävien keskiarvoksi 13,7 kun Fysiikan käyttäjien keskiarvo jää arvoon 13,0. Ero on hyvin pieni ja selittyy lähes kokonaan jo sillä, että kaksi lähtötasoltaan parempitasoisessa lukiossa olevaa ja suurimmat keskiarvot saavuttanutta opetusryhmää käytti *Physicaa* oppikirjanaan.

Mielenkiintoinen tutkimisen kohde on myös miesten ja naisten väliset erot tuloksissa. Kyselyyn vastanneista oppilaista 81 kappaletta eli 56,3 % osallistuneista oli miespuolisia ja vastaavasti naispuolisia oli 63 henkilöä eli 43,7 %. Myös sukupuolen merkitsevyyden eroja voidaan tutkia t-testin perusteella. Taulukossa 8 on esitetty kyseisen t-testin tunnuslukuja.

Taulukko 8. Sukupuolten välisen t-testin tunnusluvut ja riskitasot.

Tehtävä:	T tunnusluku:	Riskitaso:
5A a)	0,73	0,46
5A b)	0,14	0,89
5A c)	2,70	0,01
5A d)	3,22	0,00
5B a)	0,31	0,75
5B b)	-0,53	0,60
5B c)	1,34	0,18
5B d)	0,10	0,92
6 a)	0,75	0,46
6 b)	0,31	0,75
6 c)	0,00	1,00
6 d)	0,22	0,83
7 a)	-0,15	0,88
7 b)	0,36	0,72
7 c)	0,06	0,95
7 d)	1,34	0,18
8 a)	-0,46	0,65
8 b)	0,34	0,74
8 c)	0,77	0,44

Taulukon 8 lukuja tarkasteltaessa voidaan havaita t tunnuslukujen olevan hyvin pieniä. Tämä tarkoittaa sitä, että erot sukupuolten välisissä vastauksissa ovat myös hyvin pieniä. Miesten vastaukset ovat keskimääräisesti hieman naisia parempia. Kun maksimi kokonaispistemäärä on 19, miesten kaikkien tehtävien keskiarvo on 13,7 pistettä kun naisilla jäädyään 12,9 pisteeseen. Miehet näyttävätkin pärjänneen hieman paremmin suurimmassa osassa tehtäviä, mutta koska erot ovat pieniä, ei tästä juurikaan voida tehdä sen suurempia johtopäätöksiä.

Riskitasoa tarkasteltaessa voidaan paria pientä poikkeusta lukuun ottamatta todeta, että sukupuolten välinen ero tehtävien ratkaisuisissa ei ole merkitsevä. Tämän kyselyn osalta voidaan siis todeta, että miespuoliset näyttävät vastanneen hieman paremmin, mutta erolla ei ole tilastollista merkitsevyyttä.

Kyselyyn osallistuneiden seitsemän opetusryhmän väliset erot ovat melko pieniä. Kuten jo edellä onkin mainittu, hieman muita maineikkaampi lukio, jolla on mahdollisuus valita opiskelemaan pääsevät oppilaat peruskoulun menestyksen perusteella, saavutti keskiarvojen tarkastelussa hieman muita parempia tuloksia. Kyseisestä koulusta osallistui kaksi opetusryhmää ja molemmat pärjäsivät oleellisesti yhtä hyvin.

Tehtäväkohtaisia keskiarvoja tarkemmin analysoitaessa voidaan havaita, ettei tämä yksi maineikkaampi lukio ole loistanut taidoillaan kaikissa tehtävissä. Kyseisten opetusryhmien tehtäväkohtaiset keskiarvot ovat keskimääräistä luokkaa kaikissa tehtävissä lukuun ottamatta tehtäviä 5B ja 7. Näissä tehtävissä he ovat saavuttaneet muita ryhmiä korkeammat keskiarvot ja sitä kautta nousseet kokonaispisteityksessä muiden edelle. Jostain syystä tehtävän 5B tulokset ovat tällä koululla hämmästyttävän hyviä tehtävän keskiarvon noustessa jopa 3,6 pisteeseen kun maksimi on neljä pistettä. Kyseinen havainto saattaa kertoa siitä, millaisia harjoituksia ja opetusta kyseisellä koululla on faasidiagrammien opetuksen yhteydessä. Molemmat tehtävät 5B ja 7 käsittelivät aivan perusasioita, jotka tulisi olla kaikkien oppilaiden tiedossa. Näiden tehtävien onnistuminen kertoo siitä, että opettaja on opettanut perusasiat hyvin ja koululla on tehty runsaasti perusasioihin liittyviä tehtäviä. Oppikirjana kyseisellä koululla oli käytössä *Physica*, mutta suoraa kytkeä kirjan vaikutukseen ei voida osoittaa, koska samaa kirjaa käyttävistä opetusryhmistä muut eivät erottuneet joukosta *Fysiikkaa* kirjanaan käyttävien suhteen.

Kolmanneksi parhaan keskiarvon sai koko otoksen pienin lukio. Tämä osoittaa sen, että koulun koolla ei ole mitään merkitystä siihen, kuinka hyvin oppilaat pärjäävät testissä. Kyseinen koulu on saavuttanut koko otoksen suurimpia tai lähes suurimpia keskiarvoja tehtäviä 5B ja 8 lukuun ottamatta. Kyseiset tehtävät eivät nekään ole menneet huonosti vaan keskimääräisesti. Näiden havaintojen pohjalta voidaan sanoa, ettei mikään koulu noussut selkeästi muiden yläpuolelle. Mikään lukio ei ollut kaikissa tehtävissä paras eikä huonoin vaan tehtäväkohtaiset keskiarvot heittelivät kaikilla runsaasti. Koulukohtaiset erot eri tehtävien keskiarvoissa välillä olivat hyvin pienet ja niiden voidaankin katsoa olevat varsin merkityksettömiä.

7 Päätelmiä ja johtopäätöksiä

Faasikaavio saattaa näyttää yksinkertaiselta ja vaivattomalta sisäistää, mutta sitä se ei tutkimukseni valossa ole. Diagrammia tulkittaessa tulee osata olomuodon muutoksiin liittyviä asioita ja tietää kuinka paineen ja lämpötilan muutokset niihin vaikuttavat. Tämän lisäksi tieto tätä kaikkea varten tulee pystyä lukemaan yhdestä ainoasta kuvasta.

Oppimista sekoittavana seikkana voidaan pitää faasin käsitteen monitahoista luonnetta. Faasia voidaan käyttää niin konkreettisena kuin abstraktina käsitteenä. Konkreettisina faasit nähdään esimerkiksi, kun oppilaalla on suljetussa astiassa vettä, josta haihtuu vesihöyryä. Tällöin hän voi kertoa, että astiassa on kahta faasia yhtä aikaa. Faasikaavio tuo faaseille niiden abstraktimman merkityksen. Kaaviosta voidaan katsoa vastaavat olosuhteet ja nähdä siten mitä faaseja tällöin voi esiintyä. Näiden merkitysten yhteensovittaminen ei ole kovin yksinkertaista, koska toista emme voi suoraan havaita arkielämässä.

Kyselytutkimusta analysoitaessa havaittiin paljon mielenkiintoisia seikkoja, joilla saattaa olla merkitystä faasikaavioiden ymmärtämisessä ja opetuksessa. Itse kysely ei ollut oppilaille kovin helppo tai ainakaan he eivät olleet tottuneet vastaavan kaltaisiin kysymyksiin. Kyselyn vaikeus ehkä hieman yllätti, mutta analysoinnin kannalta on hyvä, etteivät kaikki ole oikeita vastauksia löytäneetkään.

Kolmoispiste ja kriittinen piste ovat jokaiselle varmasti opetettuja faasikaavion perusasioita, jotka jokaisen juuri lämpöopin kurssin käyneen tulisi hallita. Yleensä faasikaavioihin liittyvät tehtävät keskittyvät juuri näiden erikoispisteiden fysiikkaan. Kyselyssä kaksi tehtävää liittyi suoraan näihin erikoispisteisiin. Kyselyssä ensimmäisenä ollut tehtävä 5A olikin osattu melko hyvin ja oppilaat olivat suurimmaksi osaksi havainneet, että kyse on kriittisestä lämpötilasta. Huomion arvoiseksi asiaksi tehtävässä nousi oppilaiden ratkaisuyritykset, joissa ratkaisuna oli paineen pudottaminen negatiiviseksi. Paineen käsite tulee oppilailla vastaan ensimmäistä kertaa jo peruskoulun aikana, joten sen pitäisi olla heille tuttu. Peruskoulussa painetta käsitellään kuitenkin pääasiassa voiman käsitteen yhteydessä eikä juuri lainkaan olomuotojen muutosten yhteydessä. Jostain syystä oppilaat eivät tehtävää ratkaistessaan ole miettineet paineen

laskemisen rajoituksia kyseisessä tilanteessa, vaan ovat valinneet vaihtoehdon, joka noudattaa heille opetettua kaavaa, jonka mukaan olomuoto saadaan kaasusta nesteeksi laskemalla lämpötilaa tai painetta taikka molempia. Oppilailta on virheellinen ennakkokäsitys negatiivisesta paineesta, joka pitäisi korjata käsittelemällä tarkemmin painetta ja sen ominaisuuksia.

Suoraan kolmoispisteeseen liittyvä tehtävä 7 antoi varsin yllättäviä tuloksia. Oppikirjoissa ja opetuksessa yleensä kolmoispisteen kerrotaan olevan piste, jossa kaikki kolme olomuotoa ovat tasapainossa keskenään. Tehtävässä oppilaat ovat hyvin tienneet kiinteän ja nesteen olemassaolon kolmoispisteessä, mutta kaasu on osoittautunut haastavammaksi. Yli 40 % vastanneista ei ollut merkinnyt kaasua lainkaan. Nämä oppilaat eivät siis ole osanneet kolmoispisteen merkitystä, vaan ovat poimineet tehtävän olomuodoiksi vain alku- ja loppupisteiden olomuodot. Kahden erityispisteisiin liittyvän tehtävän perusteella oppilaat ovat osanneet kyseisten pisteiden merkitykset melko hyvin, mutta yllättävän paljon on myös vastauksia, joissa pisteitä ei ole tunnettu vaan vaihtoehdot on valittu vain kaaviota tuijottamalla. Tällöin melko suuri osa oppilaista on joko unohtanut oppimansa tai faasikaavioiden opetuksessa keskeisen kolmoispisteen käsittely on tunnilla ollut vähäistä.

Tehtävä 5B liittyi veden faasikaavioon ja sen erilaisuuteen. Melko tarkasti vain puolet vastaajista on osannut valita oikean järjestyksen olomuotojen muutoksille, vaikka käytettävissä oli myös kuva veden faasikaaviosta. Vesi on aine, jota on varmasti käsitelty opetuksen aikana ja sen erilaisuutta on pohdittu tunnilla. Tehtävän tilanteessa totuttu faasien muuttumisjärjestys järjestys rikkoutuu. Vesi on niitä harvoja aineita, joilla tämän järjestyksen rikkoutuminen on mahdollista kyseisessä tilanteessa. Faasikaavion tulkinta tuntuu olevan oppilaille todella hankalaa silloin kun paineessa tapahtuu muutoksia. Arkipäiväisemmän suureen eli lämpötilan muuttuessa tulokset olisivat todennäköisesti olleet huomattavasti parempia. Opetuksessa tulisi kenties korostaa enemmän paineen muutosta ja ratkoa yhdessä paineen muutoksiin liittyviä tehtäviä, jotta paine lämpötilaa huomattavasti abstraktimpana tulisi tutummaksi.

Tehtävä 8 sujui oppilailta varsin keskinkertaisesti ja konsentraatioanalyysi antaa ymmärtää oppilaiden vastanneen siihen melko sattumanvaraisesti. Aivan hukassa vastaajat eivät kuitenkaan olleet vaan oikea vaihtoehto keräsi hieman enemmän

vastauksia kuin muut vaihtoehdot. Satunnaisesti vastanneiden joukossa on siis niitä, jotka ovat oppimaansa soveltamalla löytäneet oikean ratkaisun. Kyseisen tehtävän ja muidenkin kyselyn pulmien perusteella voidaan kuitenkin sanoa, ettei faasikaavion soveltaminen muuhun fysikaaliseen ilmiöön ole oppilaille helppoa ja vaikeuksia voidaan havaita heti, kun tehtävä eroaa oppikirjoissa ja tunnilla käsitellyistä ongelmista.

Kyselyn tärkeimmäksi tehtäväksi nousi odotetusti tehtävä 6, joka kytkee olomuodon muutosten arkisemman puolen vaikeampaan ja abstraktimpaan faasikaavioon. Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu, että juuri jako abstraktin ja arkisen välillä tuottaa oppilaille paljon vaikeuksia fysiikassa. Lämpöoppi on se fysiikan ala, jolla tällaisia jakoja tulee vastaan useamman kerran ja asioiden syvempi ymmärtäminen on tällöin hyvin vaikeaa. Tehtävän tuloksista havaittiin, että aikaisemmin kurssilla opitun asia kytkeminen uuteen ei onnistu toivotulla tavalla. Oppilaat painavat asioita mieleensä erillisinä toisiinsa liittymättöminä kokonaisuuksina. Uuden asian liittäminen vanhaan ei toimi, jolloin tietorakenteiden muodostuminen oppilaan muistissa ei onnistu. Tällöin muistaminen kärsii eikä asioiden soveltaminen uusissa tilanteissa onnistu asioiden epäselvien yhteyksien vuoksi.

Tehtävässä käsitellyt kuvaajat ovat oppikirjoissa hyvin lähellä toisiaan, mutta minkäänlaista kytkeä niiden välillä ei ole. Myöskään jakoa abstraktiin ja konkreettiseen ei oppikirjoissa tule esille. Tämä on varsin suuri puute, koska monet oppimisen ongelmat johtuvat juuri tämän jaon hankaluudesta. Tällä kohtaa olisi kirjan tekijöillä vielä paljon tekemistä. Toisaalta, asia on hankala myös heille, jolloin asian selkeä kertominen ja välittäminen oppilaille on erityisen haastavaa. Oppilaan on erittäin vaikea sisäistä kahtiajakautunutta käsitettä, jos kirja käyttää sitä kuin olemassa olisi vain yksi ja ainoa.

Kirjojen teksti on nykyään tapana jakaa mahdollisimman pieniin lukuihin ja alalukuihin. Juuri tämä jakaminen pieniin osasiin aiheuttaa toisiinsa liittyvien asioiden pirstaloitumista. Lisäksi, jos näitä palasia ei kerätä yhteen ja kytkeä niitä toisiinsa, voidaan olla varmoja, ettei kokonaisuus hahmotu oppilaan mielessä toivotulla tavalla ja tehtävän 6 kaltaisia ongelmia syntyy. Tällöin oppilas voi sujuvasti osata asioita lämpöopista ja jopa selviytyä kurssin kokeesta mainiosti, mutta tulevaisuudessa tarvittava fysiikan todellinen ymmärtäminen ei luonnistu, jos asioiden välille ei ole muodostunut

oikeanlaisia yhteyksiä. Kirjojen asia tulisi siis koota laajemmiksi kokonaisuuksiksi, joissa välillä palattaisiin kytkemään asioita toisiinsa. Tämä tosin saattaa lopulta tehdä kirjasta vaikeasti luettavan ja oppiminen kärsii mahdollisen johdonmukaisuuden puutteen vuoksi. Kirjantekijöillä riittääkin töitä pohtiessaan kuinka lämpöopin kurssi saadaan tiivistettyä järkevään, mutta samalla oppilaan työtä helpottavaan muotoon.

Lämpötilan muutokset ovat oppilaille arkielämästä hyvin tuttu ilmiö. Kaikki ovat kokeneet lämpötilan muutoksia ja nähneet mitä se saa aikaan esimerkiksi vedelle. Huomattavasti vaikeampi asia näyttäisi olevan faasikaavion pysty akselin eli paineen muutokset. Paine on lukiolaiselle vain koulussa opittu käsite, jonka havaitseminen arjessa ei ole aivan niin helppoa. Paineen muutoksia oppilaat ovat voineet nähdä esimerkiksi tyhjän muovipullon muuttaessa muotoaan, mutta sen yhteys olomuotojen muutoksiin on vierasta. Tehtävän 5B tapauksessa havaittiin, että muutokset paineessa voivat aiheuttaa sen, että olomuodot eivät muutu totutussa järjestyksessä. Järjestyksenä voi olla esimerkiksi kaasu-kiinteä-neste, kun painetta kasvatetaan vakio lämpötilassa. Tällöin havaittu ilmiö sotii oppilaan ennakkokäsityksiä vastaan ja ilman asian tarkempaa läpikäyntiä voi tuloksena olla oppilas, jolle asiat jäävät epäselviksi ja uuden oppiminen vaikeutuu.

Lukion lämpöopin kurssi on tunnetusti vaikea ja abstrakteja ilmiöitä sisältävä jakso. Kurssin laajuutta tulisikin miettiä uudelleen. Olisiko parempi, että opiskeltavien asioiden määrää karsittaisiin, jotta voitaisiin tiiviimmin keskittyä lämpöopin keskeisimpiin ilmiöihin, vai käydä läpi paljon asioita hyvin pintapuolisesti, että oppilaille tulisi mahdollisimman laaja kokonaiskuva lämpöopista, mutta opitun ymmärtäminen jäisi mahdollisesti puolitiehen. Tämän tutkimuksen tulosten valossa olisi järkevämpää keskittyä vain tiettyihin keskeisiin asioihin.

Oppikirjojen laatijoilla on ikuinen tehtävä muokata kirjoja paremmiksi. Suuri osa oppikirjantekijöistä on itse opettajia ja he ovat vuosien opetuksen tuloksena tehneet muutoksia kirjoihin, jolloin ne ovat koko ajan kehittyneet. Samalla oppikirjojen tieto on laajentunut runsaasti ja niissä tarjotaan poikkeuksetta lisämateriaalia ja lisäosioita, vaikka kurssin laajuus on jo muutenkin turhan suuri. Tällöin opettajan rooli opetuksessa korostuu, kun hän joutuu valitsemaan, mitä niistä käytetään ja mitä jätetään pois. Valitettavan usein opettaja tyytyy myötäilemään oppikirjaa ja tällöin hän joutuu käymään

asiat läpi pintapuolisesti ajanpuutteen vuoksi. Mielestäni opettajien taakkaa voitaisiin käytettävän oppimateriaalin valinnan osalta helpottaa kirjantekijöiden puolelta laatimalla oppikirjoja, joissa opetussuunnitelman mukaiset perusasiat on otettu huomioon selkeästi yhtenäisenä jaksona ja kaikki lisämateriaali on kokonaan erillään. Lisämateriaali olisi kuitenkin järkevästi saatavilla ja kustantajat voisivat edelleen kilpailla sillä, kenen kirjasta löytyy eniten tietoa.

Muutamissa yksittäisissä tehtävissä voitiin havaita pieniä eroja eri kirjojen käyttäjien välillä. Näitä eroja tarkemmin tarkasteltaessa voidaan havaita kirjoissa olevan pieniä eroja asioiden esityksessä. Eroja oli kuitenkin molempiin suuntiin, joten on mahdotonta arvioida, kumpi oppikirjoista olisi paremmin laadittu.

Varsinaisia uusia virheellisiä ennakkokäsityksiä ei tutkimuksessa ilmennyt. Jo aikaisemmissa tutkimuksissa selvinneet käsitykset näyttäisivät kuitenkin vaikuttavan abstraktimpien asioiden hahmottamista ja paineen muutosten tulkintaa. Oppilaille pitäisi saada faasikaaviosta käsitys, jonka mukaan kaavio on malli, jonka avulla voimme ennustaa muutoksia aineessa, lämpötilan ja/tai paineen muuttuessa. Faasikaavio ei ole se mitä tapahtuu vaan malli, jonka avulla voimme jäsentää ja helpommin oppia ymmärtämään havaitsemiamme ilmiöitä. Kyselyn pohjalta voidaan havaita, että oppilaat osaavat lukea itse faasikaaviota varsin hyvin ja sen erikoispisteetkin tunnetaan, mutta niin faasikaavion kuin erikoispisteidenkään soveltaminen ei lukiolaisilta onnistu.

Lähteet

Ahtee, M. & Pehkonen, E. *Johdatus matemaattisten aineiden didaktikkaan* (Edita, Helsinki, 2000).

Bao, L. *Dynamics of student modeling: a theory, algorithms and application to quantum mechanics* (Ph.D. dissertation, University of Maryland, 1999).

Bao, L. & Redish, E. F. *Consentration analysis: a quantitative assessment of student states* (American Journal of Physics 69 (7), 45-53, 2001).

Eskola, S. M., Ketolainen, P. & Stenman, F. *Fotoni 2 - Lämpö* (Otava, Helsinki, 2005).

Fagerholm, N. *Termodynamiikka 479* (Otakustantamo, Jyväskylä, 1986).

Fisher, R. A. *Applications of "Student's" distribution* (*Metron* 5, 1925).

Hatakka, J., Saari, H., Sirviö, J., Viiri, J. & Yrjänäinen, S. *Physica 2 - Lämpö* (WSOY, Porvoo, 2005).

Hemilä, S. & Utriainen, J. *Lämpöoppi – Suomen fyysikkoseuran julkaisuja 3* (Suomen fyysikkoseura, Jyväskylä, 1989).

Janvier, C. *Use of situations in mathematics education*. (Educational studies in mathematics 12, 1981).

Jousmäki, I. *Faasikaaviot lukion termodynamiikan opetuksessa* (Ei julkaistu, 2008).

Kestin, J. *A course in thermodynamics* (Hemisphere publishing corporation, New York, 1979).

Knight, R. D. *Physics for scientists and engineers second edition, A strategic approach* (Pearson Education, Inc, San Francisco, 2008).

Koistinen, P. *Oppilaiden käsityksiä olomuodon muutoksista, tasapainotilasta ja faasidiagrammeista* (Pro gradu, Joensuun yliopisto, 2005).

Lakanen, J. *Mikrotason kuvailu lukion lämpöopin opetuksessa* (Pro gradu, Jyväskylän yliopisto, 2007).

Lehto, H., Luoma, T., Havukainen, R. & Leskinen, J. *Fysiikka 2 - Lämpö & aallot* (Tammi, Jyväskylä, 2005).

Lehto, H. & Luoma, T. *Fysiikka 3 - Mekaniikka lämpö ja energia* (Tammi, Helsinki, 2000).

Morse, P. *Thermal Physics* (W.A.Benjamin, inc., New York, 1965).

Opetushallitus. *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003* (Opetushallitus, Helsinki, 2003).

Opetushallitus. *Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet 2004* (Opetushallitus, Helsinki, 2004).

Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T. & Flannery, B. P. *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing* (Cambridge University Press, 1992).

Sabella, M. S. *Using the context of physics problem solving to evaluate the coherence of student knowledge*, (Ph. D. dissertation, University of Maryland, 1999).

Sperandeo-Mineo, R.M., Fazio, C. & Tarantino, G. *Pedagogical Content Knowledge Development and Pre-Service Physics Teacher Education: A Case Study* (Research in Science Education 36 (3), 235-268, 2006).

Viiri, J. *Voimakäsitteen opettaminen ja oppiminen insinöörikoulutuksen fysiikan kurssissa* (University of Joensuu, Department of Physics, Dissertations 7, 1995).

Young, H. & Freedman, R. *University Physics with Modern Physics 11th Edition*
(Pearson Education, Inc, San Francisco, 2004).

Oppilaskysely

Olen mies / nainen

Aion suorittaa fysiikan kursseja _____ kpl

Aion suorittaa kemian kursseja _____ kpl

Fysiikka 2 –kurssilla käyttämäni oppikirja _____

Fysiikka 2 –kurssi on mielestäni ollut: Rastita mieleisesi vaihtoehto.

___ vaikea

___ melko vaikea

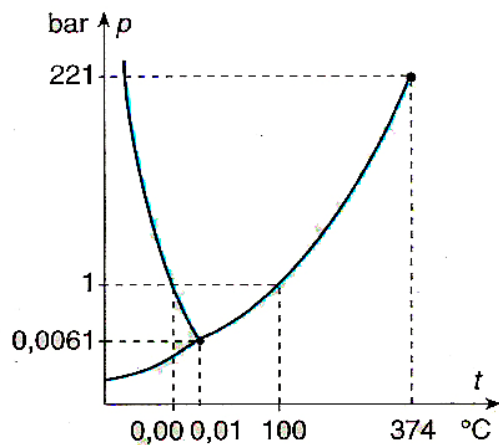
___ sopiva

___ melko helppo

___ helppo

Tehtävä 5.

Kuva esittää veden faasidiagrammia eli faasikaaviota. Tarkastele kuvaa ja valitse oikeat vastaukset kysymyksiin.



A) Miten saadaan aikaan kaasumaisen 380-asteisen (paine 1 bar) veden olomuodon muutos nesteeksi?

- a) Nostamalla lämpötilaa noin 100 °C ja laskemalla samalla painetta noin 100 bar.
- b) Nostamalla painetta yli 220 bar.
- c) Laskemalla lämpötilaa yli 280 °C.
- d) Laskemalla painetta noin 10 bar ja laskemalla lämpötilaa noin 280 °C.

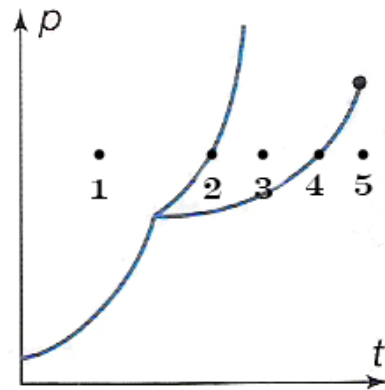
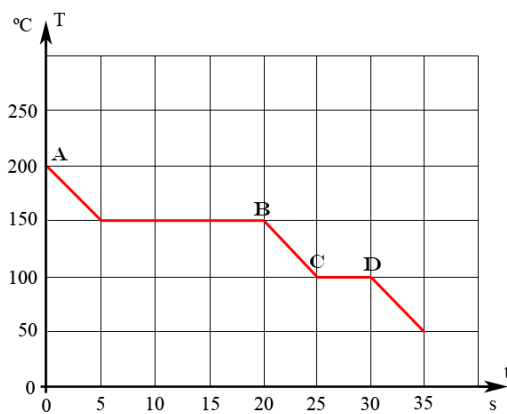
B) Kaasumaisen 0,00 -asteisen veden painetta nostetaan hitaasti 10 baarin verran pitäen lämpötila vakiona. Mitä aineelle tapahtuu?

- a) Aine muuttuu ensin kiinteäksi ja sitten nesteeksi.
- b) Aine muuttuu ensin nesteeksi ja sitten kiinteäksi.
- c) Aine muuttuu suoraan kaasusta kiinteäksi.
- d) Ei mitään edellisistä.

Tehtävä 6.

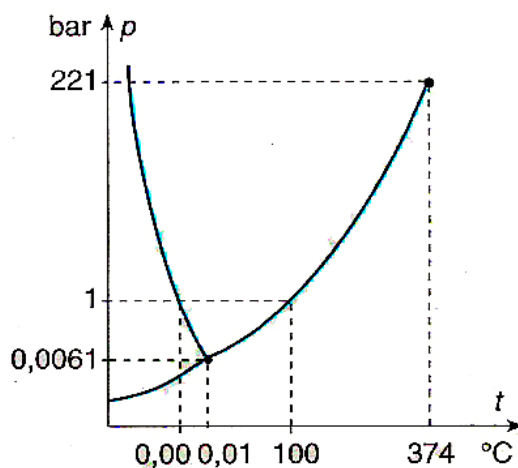
Vasemmanpuoleinen käyrä esittää erään aineen jäähtymistä vakioaineessa. Mitkä oikealla olevan faasikaavion pisteistä 1–5 vastaavat vasemmanpuoleisen käyrän pisteitä A–D?

- Käyrän piste A on faasikaaviossa piste numero ____
- Käyrän piste B on faasikaaviossa piste numero ____
- Käyrän piste C on faasikaaviossa piste numero ____
- Käyrän piste D on faasikaaviossa piste numero ____



Tehtävä 7.

Jään lämpötila on $0,00\text{ °C}$ ja paine $0,0061\text{ bar}$. Lämpötilaa nostetaan ensin $0,01\text{ °C}$ pitäen paine vakiona. Sen jälkeen painetta nostetaan vakio­lämpötilassa pysyen puoli baaria.

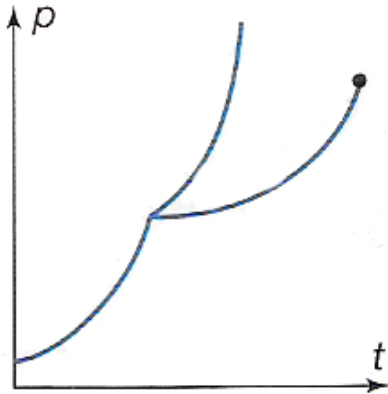


Mitä olomuotoja prosessin eri vaiheissa voidaan havaita? Voit valita useita vaihtoehtoja.

- Kiinteä
- Neste
- Kaasu
- Plasma

Tehtävä 8.

Kuvassa on erään aineen faasidiagrammi.



Kasvaako vai pieneneekö aineen tiheys kyseisen aineen sulaessa?

- a) Aineen tiheys kasvaa sen sulaessa.
- b) Aineen tiheys pienenee sen sulaessa.
- c) Aineen tiheys ei muutu sen sulaessa.

Kommentteja:

Kiitos vastauksistasi!