



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**PIIA ALHO**

YMPÄRISTÖKEMIA LUKION KEMIAN OPPIKIRJASARJOISSA  
Diplomityö

Tarkastaja: professori Helge Lem-  
metyinen  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Luonnontieteiden tiedekunnan tie-  
dekuntaneuvoston kokouksessa 4.  
joulukuuta 2013

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknis-luonnontieteellinen koulutusohjelma

**ALHO, PIIA:** Ympäristökemia lukion kemian oppikirjasarjoissa

Diplomityö, 51 sivua, 4 liitesivua

Heinäkuu 2015

Pääaine: Kemia

Tarkastaja: professori Helge Lemmetyinen

Avainsanat: Ympäristökemia, lukio, oppikirja, opetussuunnitelman perusteet

Työn tarkoituksena oli selvittää, miten ympäristökemiaa käsitellään lukion kemian oppikirjasarjoissa, miten oppikirjasarjat palvelevat ylioppilaskirjoituksiin valmistautumista ja miten oppikirjasarjoja tulisi kehittää.

Työssä perehdyttiin Lukion opetussuunnitelman perusteisiin 2003 ja luonnokseen Lukion opetussuunnitelman perusteista 2016. Opetussuunnitelman perusteista keskityttiin etsimään ympäristökemiaan liittyviä määräyksiä. Lukion opetussuunnitelman perusteiden antamien suuntaviivojen perusteella määriteltiin kuusi ympäristökemian aihepiiriä (kestävä kehitys, alkuaineiden kierto, energiantuotanto, veden kemia, ilmakehän kemia sekä ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu), joihin tutkimuksessa keskityttiin.

Tutkimus toteutettiin käymällä läpi neljä lukion kemian oppikirjasarjaa: Kemisti, Mooli, Neon ja Reaktio sekä lisäksi ylioppilastutkintokysymykset vuosilta 2008 – 2014. Valittujen ympäristökemian aihepiirien esiintymistä lukion kemian oppikirjasarjoissa tutkittiin selvittämällä oppikirjakohtaisesti kunkin ympäristökemian aihepiirin teoriaan käytetty rivimäärä, aihepiiriin liittyvien tehtävien lukumäärä, esimerkkien lukumäärä, demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä sekä aihepiiriin liittyvien kuvien ja taulukoiden lukumäärä. Ylioppilastutkintokysymysten osalta tutkittiin sitä, kuinka monta kysymystä vuosina 2008 - 2014 kuhunkin määriteltyn ympäristökemian aihepiiriin liittyi.

Oppikirjasarjojen sisältöä ja ylioppilastutkintokysymyksiä tarkastelemalla arvioitiin ympäristökemian esiintymistä oppikirjoissa ja oppikirjojen kehittämistarpeita. Saatujen tulosten perusteella laadittiin kehittämissuhteita, joita voidaan käyttää lukion kemian oppikirjasarjojen päivittämisessä.

Jotta lukion kemian oppikirjat vastaisivat mahdollisimman hyvin opetussuunnitelman perusteiden ja ylioppilastutkinnon vaatimuksiin, oppikirjoja päivitettäessä tulisi kiinnittää huomiota seuraavien aihepiirien esiintymiseen oppikirjoissa: fossiilisten polttoaineiden synty, kasvihuoneilmiö, ilmastonmuutos, kestävä kehitys, energian säästäminen, ympäristövaikutusten arviointi, rehevöityminen, vedenkäsittely (talousvesi ja jätevesi), veden hydrologinen kierto ja alkuaineiden kierto.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Science and Bioengineering

**ALHO, PIIA:** Environmental chemistry in high school textbooks

Master of Science Thesis, 51 pages, 4 Appendix pages

July 2015

Major: Chemistry

Examiner: Professor Helge Lemmetyinen

Keywords: Environmental chemistry, high school, textbook, national core curriculum

The purpose of this thesis was to find out how environmental chemistry is taken into account in high school textbooks, how the textbooks prepare students for matriculation examination and how the textbooks should be developed further.

In this thesis it was taken a look on the high school national core curriculum 2003 and the high school national core curriculum 2016 (draft). It was focused on to find the instructions concerned environmental chemistry in the national core curricula. Based on the guidelines given by the high school national core curricula it was specified six themes in environmental chemistry (sustainable development, elemental cycle, energy production, water chemistry, atmospheric chemistry and environmental contamination and protection), which were focused on in this study.

In this study, four series of textbooks were examined: Kemisti, Mooli, Neon and Reaktio. In addition to that the questions for matriculation examinations during the years from 2008 to 2014 were reviewed. The appearance of the specified environmental chemistry themes in high school textbooks was examined book by book by the number of lines used for theory, by the number of problems, by the number of examples, by the number of demonstrations and by the number of pictures and tables. For the questions for matriculation examination it was examined how many questions were made concerning the specified environmental chemistry themes during the years from 2008 to 2014.

By examining the contents of the textbooks and the questions for matriculation examination the appearance of the specified environmental chemistry themes and the need for improvement of the textbooks was evaluated. Based on the results, propositions for the improvement of the textbooks were made. These propositions can be taken advantage of in updating the high school chemistry textbook series.

In order to answer the demands made by the national core curricula and the matriculation examination, the following issues should be taken into account in updating the textbooks: the formation of fossil fuels, greenhouse effect, climate change, sustainable development, energy conservation, the assessment of environmental impacts, eutrophication, water treatment (drinking water and wastewater), the hydrological cycle of water and elemental cycles.

## ALKUSANAT

Lähtiessäni toteuttamaan pitkäaikaista haavettani matemaattisten aineiden opettajan pätevyydestä kuvittelin työn, opiskelun ja perheen yhdistämisen olevan ihan helppoa... Heikkoina hetkinä olen muistellut viisaan ystäväni sanoja: ”Omena kerrallaan.” Pienissä paloissa pitkäkin tie on ollut kevyempi kulkea. Tätä kirjoittaessa loppusuora jo häämöttää.

Raskainta haaveeni toteuttamisprojekti on varmasti ollut rakkaimmilleni: Eliakselle, Iidalle ja Vesalle. Liian monta kertaa olen joutunut sanomaan etten ehdi. Kiitos teille uhrautumisesta, jaksamisesta, tukemisesta ja ymmärtämisestä, rakkaudesta. Ilman teitä en olisi tästä selvinnyt eikä isojenkaan unelmien toteutumisella olisi mitään merkitystä.

Kiitokset kuuluvat myös mummulle ja vaarille lastenhoidollisten palveluiden tuottamisesta sekä muustakin avusta. Ilman teitä tämäkin projekti olisi ollut vaikeampi toteuttaa.

Lämpimät kiitokset kuuluvat myös työni ohjaajalle ja tarkastajalle professori Helge Lemmetyiselle. Mukavia eläkepäiviä sinulle!

Kiitän myös Sanoma Pro Oy:tä, WSOY:tä, Otavaa ja Editaa työni tukemisesta näyteopikirjojen muodossa.

Pirkkalassa, 14.7.2015



Piia Alho

## SISÄLLYS

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | JOHDANTO .....  | 1  |
| 2 | YMPÄRISTÖKEMIA LUKION OPETUSSUUNNITELMAN PERUSTEISSA ...                                  | 3  |
|   | 2.1 Lukiokoulutuksen tehtävä ja yleiset tavoitteet .....                                  | 4  |
|   | 2.2 Lukiokoulutuksen arvoperusta ja aihekokonaisuudet .....                               | 4  |
|   | 2.3 Kemian oppimistavoitteet ja opetuksen keskeiset sisällöt .....                        | 5  |
|   | 2.4 Lukion opetussuunnitelman perusteet 2016 luonnos .....                                | 8  |
|   | 2.4.1 Lukiokoulutuksen tehtävä ja yleiset tavoitteet .....                                | 8  |
|   | 2.4.2 Lukiokoulutuksen arvoperusta ja aihekokonaisuudet .....                             | 9  |
|   | 2.4.3 Kemian oppimistavoitteet ja opetuksen keskeiset sisällöt .....                      | 9  |
| 3 | YMPÄRISTÖKEMIA .....  | 11 |
|   | 3.1 Ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu .....                                   | 11 |
|   | 3.2 Ilmakehän kemia .....   | 12 |
|   | 3.2.1 Ilmakehän kerrokset .....   | 12 |
|   | 3.2.2 Ilmakehän kemiallinen koostumus .....   | 13 |
|   | 3.2.3 Ilmansaasteet .....   | 14 |
|   | 3.2.4 Otsonikato .....  | 14 |
|   | 3.2.5 Kasvihuoneilmiö .....   | 16 |
|   | 3.2.6 Ilmastonmuutos .....  | 18 |
|   | 3.3 Veden kemia .....   | 19 |
|   | 3.3.1 Veden hydrologinen kierto .....   | 20 |
|   | 3.3.2 Vedenlaatu .....  | 21 |
|   | 3.3.3 Rehevöityminen .....  | 22 |
|   | 3.3.4 Happamoituminen .....   | 23 |
|   | 3.3.5 Vedenkäsittely .....  | 24 |
|   | 3.4 Alkuaineiden kierto .....   | 26 |
|   | 3.4.1 Hiilen kierto .....   | 26 |
|   | 3.4.2 Typen kierto .....  | 27 |
|   | 3.5 Energiantuotanto .....  | 27 |
|   | 3.6 Kestävä kehitys .....   | 28 |
| 4 | KEHITTÄMISTUTKIMUS .....  | 30 |
|   | 4.1 Tutkimuskysymykset .....  | 30 |
|   | 4.2 Kehittämistutkimuksen toteuttaminen .....   | 30 |
| 5 | TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA .....   | 32 |
|   | 5.1 Oppikirjasarjat .....   | 32 |
|   | 5.1.1 Kemisti .....   | 32 |
|   | 5.1.2 Mooli .....   | 33 |
|   | 5.1.3 Neon .....  | 34 |
|   | 5.1.4 Reaktio .....   | 36 |
|   | 5.1.5 Oppikirjasarjojen sisältö suhteessa valittuihin ympäristökemian aihepiireihin ..... | 37 |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 5.1.6   | Oppikirjasarjojen sisältö suhteessa opetussuunnitelman perusteisiin                   | 38 |
| 5.2     | Kemian ylioppilastutkintokysymykset   | 38 |
| 5.2.1   | Oppikirjasarjojen sisältö suhteessa ylioppilastutkintokysymyksiin vuosina 2008 - 2014 | 40 |
| 5.3     | Tulosten luotettavuus ja virhelähteiden arviointi                                     | 40 |
| 6       | Kehittämisehdotukset  | 41 |
| 7       | YHTEENVETO  | 43 |
|         | LÄHTEET   | 45 |
| LIITE 1 | Ympäristökemian aihepiirien esiintyminen Kemisti –oppikirjasarjassa                   |    |
| LIITE 2 | Ympäristökemian aihepiirien esiintyminen Mooli –oppikirjasarjassa                     |    |
| LIITE 3 | Ympäristökemian aihepiirien esiintyminen Neon –oppikirjasarjassa                      |    |
| LIITE 4 | Ympäristökemian aihepiirien esiintyminen Reaktio –oppikirjasarjassa                   |    |

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

|          |  |
|----------|--|
| CFC      | Halogenoitu hiilivety-yhdiste (chlorofluorocarbon) |
| GWP      | Global warming potential                           |
| LOPS2003 | Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003           |
| LOPS2016 | Lukion opetussuunnitelman perusteet 2016           |
| ppb      | $10^{-9}$ (parts per billion)                      |
| ppm      | $10^{-6}$ (parts per million)                      |
| ppt      | $10^{-12}$ (parts per trillion)                    |
| UV       | Ultravioletti                                      |

# 1 JOHDANTO

Ympäristökemia on eräs kemian osa-alue. Ympäristökemia käsitteenä pitää sisällään laajan joukon erilaisia kemiaan liittyviä aihepiirejä. Tässä työssä on tutkittu ympäristökemian esiintymistä lukion kemian oppikirjasarjoissa.

Suomessa Opetushallitus antaa koulutusmuotoja, -aloja ja tutkintoja varten perusteet. Opetussuunnitelman perusteet on määräys, jolla kyseisen koulutuksen järjestäjä veloitetaan sisällyttämään koulu – tai järjestäjäkohtaiseen opetussuunnitelmaansa opetussuunnitelman perusteiden mukaiset tavoitteet ja keskeiset sisällöt. Määräyksellä varmistetaan muun muassa opetuksellisen yhtenäisyyden ja laadun toteutuminen. (Opetushallitus 2014 A)

Nuorten lukiokoulutuksesta määrätään Lukion opetussuunnitelman perusteissa 2003 (LOPS2003). Aikuisten lukiokoulutuksesta määrätään Aikuisten perusopetuksen ja lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteissa 2004. (Opetushallitus 2014 B) Opetushallitus on käynnistänyt nuorten ja aikuisten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteiden päivittämisen (LOPS2016). Tavoitteena on, että opetussuunnitelman perusteet olisivat valmiit syyskuussa 2015 nuorten lukiokoulutuksen osalta ja joulukuussa 2015 aikuisten lukiokoulutuksen osalta. Uusien opetussuunnitelman perusteiden mukaan laaditut opetussuunnitelmat otetaan käyttöön viimeistään 1.8.2016. (Opetushallitus 2015 B)

Tässä työssä on perehdytty Lukion opetussuunnitelman perusteisiin 2003 ja Lukion opetussuunnitelman perusteiden 2016 luonnokseen (14.4.2015). Opetussuunnitelman perusteista on keskitytty etsimään ympäristökemiaan liittyviä määräyksiä.

Työn edetessä todettiin, että ei LOPS2003 eikä LOPS2016 anna kovin yksityiskohtaisia määräyksiä oppikirjojen sisällöstä eikä myöskään ympäristökemian opettamisesta luki-ossa. Opetussuunnitelman perusteissa esiin nostetut asiat ovat pikemminkin suuntaviivoja. Annetut suuntaviivat huomioon ottaen tutkimuksessa käsitte ympäristökemia rajattiin käsittämään kuusi aihepiiriä: kestävä kehitys, alkuaineiden kierto, energiantuotanto, veden kemia, ilmakehän kemia sekä ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu.

Työn tarkoituksena oli kehittää lukion oppikirjasarjoja ympäristökemian sisällön osalta siten, että ne vastaisivat mahdollisimman hyvin LOPS2003:n ja LOPS2016:n vaatimuk-



siin ja palvelisivat parhaalla mahdollisella tavalla ylioppilaskirjoituksiin valmistautumista. Tutkimus pyrki vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten ympäristökemiaa käsitellään lukion oppikirjasarjoissa?
2. Miten lukion oppikirjasarjat palvelevat ylioppilaskirjoituksiin valmistautumista?
3. Miten lukion oppikirjasarjoja tulisi kehittää?

Työ toteutettiin käymällä läpi neljä lukion kemian oppikirjasarjaa: Kemisti, Mooli, Neon ja Reaktio. LOPS2003 mukaan opiskelleet opiskelijat ovat valmistuneet ylioppilaisiksi aikaisintaan vuonna 2008. Näin ollen kemian ylioppilastutkintokysymykset käytiin läpi vuosilta 2008 – 2014. Lukion oppikirjasarjoja ja ylioppilastutkintokysymyksiä tarkastelemalla pyrittiin löytämään vastauksia kahteen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen.

Valittujen ympäristökemian aihepiirien (kestävä kehitys, alkuaineiden kierto, energiantuotanto, veden kemia, ilmakehän kemia sekä ympäristön pilaantuminen ja ympäristön suojele) esiintymistä lukion kemian oppikirjasarjoissa tutkittiin selvittämällä oppikirjakohtaisesti kunkin ympäristökemian aihepiirin teoriaan käytetty rivimäärä, aihepiiriin liittyvien tehtävien lukumäärä, esimerkkien lukumäärä, demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä sekä aihepiiriin liittyvien kuvien ja taulukoiden lukumäärä.

Rivimäärä, tehtävien lukumäärä, esimerkkien lukumäärä, demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä sekä kuvien ja taulukoiden lukumäärä antoivat käsityksen siitä, kuinka laajasti oppikirjasarjoissa ympäristökemian aihepiirejä oli käsitelty. Tekstin sisällön osalta keskityttiin tutkimaan sitä, missä laajuudessa määritellyt ympäristökemian aihepiirit oli mainittu.

Ylioppilastutkintokysymysten osalta tutkittiin sitä, kuinka monta kysymystä vuosina 2008 - 2014 kuhunkin määriteltyn ympäristökemian aihepiiriin liittyi.

Vertaamalla oppikirjasisältöä ja ylioppilastutkintokysymyksiä keskenään sekä arvioimalla oppikirjojen ympäristökemiaan liittyvän sisällön laajuutta pyrittiin vastaamaan kolmanteen tutkimuskysymykseen. Työssä annettiin kehittämis ehdotuksia lukion kemian oppikirjojen sisällölle.

Työssä keskityttiin nuorten lukiokoulutukseen. Työn perustana oli työn kirjoitushetkellä käytössä oleva LOPS2003. Kehittämis ehdotuksissa otettiin huomioon myös LOPS2016 –luonnos.

## 2 YMPÄRISTÖKEMIA LUKION OPETUSSUUNNITELMAN PERUSTEISSA

Suomessa Opetushallitus antaa koulutusmuotoja, –aloja ja tutkintoja koskevat perusteet. Opetussuunnitelman perusteet on määräys, jolla kyseisen koulutuksen järjestäjä veloitetaan sisällyttämään koulu- tai järjestäjäkohtaiseen opetussuunnitelmaansa opetussuunnitelman perusteiden mukaiset tavoitteet ja keskeiset sisällöt. Määräyksellä varmistetaan koulutuksellisten perusoikeuksien, tasa-arvon, opetuksellisen yhtenäisyyden, laadun ja oikeusturvan toteutuminen. (Opetushallitus 2014 A)

Nuorten lukiokoulutuksesta määrätään Lukion opetussuunnitelman perusteissa 2003 (jatkossa LOPS2003). LOPS2003 mukaiset paikalliset opetussuunnitelmat on otettu käyttöön viimeistään 1.8.2005 lukion aloittavilla opiskelijoilla. Aikuisten lukiokoulutuksesta puolestaan määrätään Aikuisten perusopetuksen ja lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteissa 2004. (Opetushallitus 2014 B) Tässä työssä on keskitytty ainoastaan nuorten lukiokoulutukseen.

LOPS2003:iin on tehty muutamia muutoksia ja lisäyksiä LOPS2003:n hyväksymisen jälkeen. Nämä muutokset ja lisäykset eivät koske kemian opetusta. (Opetushallitus 2015 A)

LOPS2003 ei varsinaisesti anna määräyksiä oppikirjojen sisällöstä. LOPS2003:ssa mainitaan kuitenkin, että opetus- ja opiskelumuotojen tulee olla monipuolisia ja opiskelijoille tulee antaa välineitä tiedon hankkimiseen (Opetushallitus 2003). Oppikirjat voidaan nähdä yhtenä opetus- ja opiskelumuotona sekä tiedonhankkimisvälineenä. Näin ollen LOPS2003 antaa suuntaviivat myös oppikirjojen sisällölle ja oppikirjoja voidaan arvioida suhteessa LOPS2003:iin.

Luvuissa 2.1 - 2.3 on kerrottu, mitä LOPS2003 määrää ympäristökemiasta lukiokoulutuksessa ja tätä kautta myös ympäristökemiasta lukion oppikirjoissa.

Opetushallitus on käynnistänyt nuorten ja aikuisten lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteiden päivittämisen (LOPS2016). Tavoitteena on, että nuorille annettavan lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet olisivat valmiit syyskuun 2015 lopussa ja aikuisille annettavan lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet joulukuun 2015 lopussa. Uusien opetussuunnitelman perusteiden mukaan laaditut opetussuunnitelmat otetaan käyttöön viimeistään 1.8.2016. (Opetushallitus 2015 B) Tämän työn perustana

on työn kirjoitushetkellä käytössä oleva LOPS2003. Luvussa 2.4 on lyhyesti käsitelty lukion opetussuunnitelman perusteiden 2016 luonnoksen (14.4.2015) mukanaan tuomia muutoksia ympäristökemian opetukseen verrattuna käytössä olevaan LOPS2003:een.

## **2.1 Lukiokoulutuksen tehtävä ja yleiset tavoitteet**

LOPS2003 mukaan lukiokoulutuksen tulee antaa opiskelijoille muun muassa valmiuksia vastata yhteiskunnan ja ympäristön haasteisiin. Opiskelijaa tulee ohjata toimimaan vastuuntuntoisena ja velvollisuuksistaan huolehtivana kansalaisena. (Opetushallitus 2003)

Lukiokoulutuksen yleisinä tavoitteina LOPS2003 mukaan on muun muassa lisätä opiskelijan tietoisuutta ihmisen toiminnan vaikutuksesta maailman tilaan. Lukiossa tulee pyrkiä siihen, että opiskelijalle syntyy tahto ja opiskelija saa taitoja vastuulliseen toimintaan, oma ja muiden hyvinvointi huomioonottaen. (Opetushallitus 2003)

Jotta yllä mainittuihin tavoitteisiin päästäisiin, opiskelija tarvitsee tietoa monilta eri aloilta. Ympäristökemian osaaminen antaa opiskelijalle tarvittavaa tietoa ympäristön haasteiden ymmärtämiseen sekä niihin vastuuntuntoisesti oman toiminnan kautta vastaamiseen.

## **2.2 Lukiokoulutuksen arvoperusta ja aihekokonaisuudet**

Lukiokoulutuksen lähtökohtana on LOPS2003 mukaan elämän ja ihmisoikeuksien kunnioitus. Tavoitteena on, että opiskelija oppii tuntemaan oikeutensa ja velvollisuutensa sekä saa kokemuksia siitä, miten tulevaisuutta rakennetaan yhteisillä päätöksillä ja työllä. (Opetushallitus 2003) Lukiokoulutuksen arvoperustassa voidaan nähdä viittaus ympäristökemiaan. Nykyihmisten tulee kunnioittaa myös tulevien sukupolvien elämää. Jotta maapallomme pysyisi elinkelpoisena vielä tulevillekin sukupolville, ympäristökemian peruseriaatteiden ymmärtäminen on tärkeää ihan jokaiselle.

LOPS2003:ssa on esitetty kuusi aihekokonaisuutta: aktiivinen kansalaisuus ja yrittäjyys, hyvinvointi ja turvallisuus, kestävä kehitys, kulttuuri-identiteetti ja kulttuurien tuntemus, teknologia ja yhteiskunta sekä viestintä- ja mediaosaaminen. Aihekokonaisuudet ovat ajankohtaisia arvokannanottoja, oppiainerajat ylittäviä painotuksia. (Opetushallitus 2003)

Ympäristökemian kannalta merkityksellisiä aihekokonaisuuksia ovat erityisesti teknologia ja yhteiskunta sekä kestävä kehitys. Kestävän kehityksen aihekokonaisuuden tavoitteita ovat muun muassa, että opiskelija tuntee kestävä kehityksen perusasiat, tunnistaa ympäristössä tapahtuvia muutoksia ja osaa toimia kestävä kehityksen puolesta omassa arjessaan. Lukio-opetuksessa tulee käsitellä muun muassa aineiden ja energian kierto-

kulkuja ja säästämistä. Teknologia ja yhteiskunta –aihekokonaisuuden tavoitteisiin kuuluu muun muassa luonnon lainalaisuuksien tunteminen. Aihekokonaisuuden puitteissa tulee tutustua muun muassa ympäristönsuojeluun ja energiantuotantoon liittyviin teknologioihin. (Opetushallitus 2003)

### **2.3 Kemian oppimistavoitteet ja opetuksen keskeiset sisällöt**

LOPS2003 mukaan kemian opetuksen tarkoituksena on tukea opiskelijan luonnontieteellisen ajattelun ja nykyaikaisen maailmankuvan kehittymistä osana monipuolista yleissivistystä. Tavoitteena on kuvata kemia yhtenä keskeisenä perusluonnontieteenä, joka tutkii ja kehittää materiaaleja, tuotteita, menetelmiä ja prosesseja kestävän kehityksen edistämiseksi. Opetuksen tulee auttaa ymmärtämään jokapäiväistä elämää, luontoa ja teknologiaa sekä kemian merkitystä ihmisen ja luonnon hyvinvoinnille. (Opetushallitus 2003) Edellä esitetyssä kemian opetuksen tarkoituksessa ympäristökemia voidaan nähdä kautta linjan mukana kulkevana punaisena lankana.

LOPS2003 mukaisissa kemian opetuksen tavoitteissa ympäristökemiaan liittyviä ovat seuraavat:

”Opiskelija

- osaa kemian keskeisimmät peruskäsitteet ja tietää kemian yhteyksiä jokapäiväisen elämän ilmiöihin sekä ihmisen ja luonnon hyvinvointiin
- osaa kokeellisen työskentelyn ja muun aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsiä ja käsitellä tietoa elämän ja ympäristön kannalta tärkeistä kemiallisista ilmiöistä ja aineiden ominaisuuksista sekä arvioida tiedon luotettavuutta ja merkitystä
- perehtyy nykyaikaiseen teknologiaan teollisuudessa ja ympäristötekniikassa
- osaa käyttää kemiallista tietoa kuluttajana terveyden ja kestävän kehityksen edistämiseksi sekä osallistuttaessa luontoa, ympäristöä ja teknologiaa koskevaan keskusteluun ja päätöksentekoon.” (Opetushallitus 2003)

Yleisten kemian opetuksen tavoitteiden lisäksi LOPS2003:ssa annetaan kurssikohtaisia tavoitteita ja keskeisiä sisältöjä. Lukio-opinnot muodostuvat pakollisista, syventävistä ja soveltavista kursseista. Syventävät kurssit ovat opiskelijalle valinnaisia, pakollisiin kursseihin liittyviä kursseja. Pakollisten ja valtakunnallisesti määriteltyjen syventävien kurssien keskeiset tavoitteet ja sisällöt on määritelty LOPS2003:ssa. Valtakunnallisesti määriteltyjen syventävien kurssien vähimmäismäärän lisäksi lukiossa voi olla koulukohdaisia, lukion opetussuunnitelmassa määritettäviä syventäviä kursseja. Lisäksi oppiaineissa voi olla soveltavia kursseja, jotka voivat olla sisällöltään monenlaisia. Kaikki soveltavat kurssit tulee määritellä lukion opetussuunnitelmassa. (Opetushallitus 2003)

LOPS2003 mukaisesti kemian oppiaineessa pakollisia kursseja on yksi: ihmisen ja elinympäristön kemia (KE1). Valtakunnallisesti määriteltyjä syventäviä kursseja on neljä: kemian mikromaailma (KE2), reaktiot ja energia (KE3), metallit ja materiaalit (KE4) ja reaktiot ja tasapaino (KE5). (Opetushallitus 2003)

Seuraavassa on esitetty kemian pakollisen kurssin ja valtakunnallisesti määriteltyjen syventävien kurssien tavoitteet ja keskeiset sisällöt (Opetushallitus 2003). Viittaukset ympäristökemiaan on alleviivattu.

### **”1. Ihmisen ja elinympäristön kemia (KE1)**

Kurssin tavoitteena on, että opiskelija

- saa kuvan kemiasta, sen mahdollisuuksista ja merkityksestä
- syventää aiemmin opittujen kemian perusteiden ymmärtämistä kurssilla käsiteltävien asioiden yhteydessä
- osaa orgaanisten yhdisteiden rakenteita, niiden ominaisuuksia ja reaktioita sekä ymmärtää niiden merkityksen ihmiselle ja elinympäristölle
- tuntee erilaisia seoksia sekä niihin liittyviä käsitteitä
- kehittää tietojen esittämisessä ja keskustelussa tarvittavia valmiuksia
- oppii kokeellisen työskentelyn, kriittisen tiedonhankinnan ja -käsittelyn taitoja
- osaa tutkia kokeellisesti orgaanisten yhdisteiden ominaisuuksia ja reaktioita, tuntee erotus- ja tunnistamismenetelmiä sekä osaa valmistaa liuoksia.

Kurssin keskeiset sisällöt

- orgaanisia yhdisteryhmiä kuten hiilivetyjä, orgaanisia happiyhdisteitä, orgaanisia typpiyhdisteitä sekä niiden ominaisuuksia ja sovelluksia
- orgaanisissa yhdisteissä esiintyvät sidokset sekä poolisuus
- erilaiset seokset, ainemäärä, pitoisuus
- orgaanisten yhdisteiden hapettumis- ja pelkistymisreaktioita sekä protoninsiirto-reaktioita

### **2. Kemian mikromaailma (KE2)**

Kurssin tavoitteena on, että opiskelija

- tuntee aineen rakenteen ja ominaisuuksien välisiä yhteyksiä
- osaa käyttää aineen ominaisuuksien päättelyssä erilaisia kemian malleja, taulukoita ja järjestelmiä
- ymmärtää orgaanisten yhdisteiden rakenteita ja tuntee rakenteen määrittämisessä käytettäviä menetelmiä
- osaa tutkia kokeellisesti ja erilaisia malleja käyttäen aineiden rakenteeseen, ominaisuuksiin ja reaktioihin liittyviä ilmiöitä.

Kurssin keskeiset sisällöt

- alkuaineiden ominaisuudet ja jaksollinen järjestelmä
- elektroniverhon rakenne ja atomiorbitaalit
- hapetuslukujen määräytyminen ja yhdisteen kaava
- kemiallinen sidos, sidosenergia ja aineen ominaisuudet
- atomiorbitaalien hybridisoituminen ja orgaanisten yhdisteiden sidos- ja avaruus-rakenne
- isomeria

### 3. Reaktiot ja energia (KE3)

Kurssin tavoitteena on, että opiskelija

- ymmärtää kemiallisen reaktion tapahtumiseen vaikuttavia tekijöitä sekä niiden merkityksen elinympäristössä (teollisuus)
- ymmärtää energian sitoutumisen ja vapautumisen kemiallisissa reaktioissa sekä niiden merkityksen yhteiskunnassa
- osaa kirjoittaa reaktioyhtälöitä ja käsitellä reaktioita matemaattisesti
- osaa tutkia kokeellisesti ja erilaisia malleja käyttäen reaktioihin, reaktionopeuteen ja –mekanismeihin liittyviä ilmiöitä.

Kurssin keskeiset sisällöt

- kemiallisen reaktion symbolinen ilmaisu
- epäorgaanisia ja orgaanisia reaktiotyyppejä, mekanismeja sekä sovelluksia
- stoikiometrisia laskuja, kaasujen yleinen tilanyhtälö
- energianmuutokset kemiallisessa reaktiossa
- reaktionopeus ja siihen vaikuttavat tekijät

### 4. Metallit ja materiaalit (KE4)

Kurssin tavoitteena on, että opiskelija

- tuntee teollisesti merkittäviä raaka-aineita sekä niiden jalostusprosesseja
- tuntee hapettimia ja pelkistimiä ja niiden käyttöä sekä osaa kirjoittaa hapettumispelkistymisreaktioita
- osaa sähkökemiallisten ilmiöiden periaatteet sekä niihin liittyviä kvantitatiivisia sovelluksia
- tuntee erilaisia materiaaleja, niiden koostumusta, ominaisuuksia ja valmistusmenetelmiä sekä kulutustavaroiden ympäristövaikutusten arviointiin käytettäviä menetelmiä
- osaa tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen metalleihin ja sähkökemian liittyviä ilmiöitä.

Kurssin keskeiset sisällöt

- sähkökemiallinen jännitesarja, normaalipotentiali, kemiallinen pari ja elektrolyysi

- hapettumis-pelkistymisreaktiot
- metallit ja epämetallit sekä niiden happi- ja vety-yhdisteet
- bio- ja synteettiset polymeerit, komposiitit

## 5. Reaktiot ja tasapaino (KE5)

Kurssin tavoitteena on, että opiskelija

- ymmärtää reaktion tasapainotilan muodostumisen ja niihin liittyviä laskennallisia tasapainosovelluksia
- ymmärtää tasapainon merkityksen ja tutustuu tasapainoon teollisuuden prosesseissa ja luonnon ilmiöissä
- osaa tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen kemialliseen tasapainoon liittyviä ilmiöitä.

Kurssin keskeiset sisällöt

- reaktiotasapaino
- happo-emästatasapaino, vahvat ja heikot protolyytit, puskuriliuokset ja niiden merkitys
- liukoisuus ja liukoisuustasapaino
- tasapainoon liittyvät graafiset esitykset.” (Opetushallitus 2003)

Huomataan, että lähes kaikkien LOPS2003:ssa määriteltyjen kemian kurssien tavoitteissa ja keskeisissä sisällöissä on viittauksia ympäristökemiaan. Viittaukset eivät kuitenkaan ole kovin yksityiskohtaisia, pikemminkin suuntaviivoja asioista, joita tulee käsitellä lukion kemian opetuksessa.

## 2.4 Lukion opetussuunnitelman perusteet 2016 luonnos

Opetushallinto on lähettänyt lukion opetussuunnitelman perusteiden päivityksen luonnoksen (14.4.2015) lausunnolle (Opetushallitus 2015C). Tässä kappaleessa on lyhyesti käsitelty LOPS2016 luonnoksen muutoksia ympäristökemiaan liittyviin aihepiireihin verrattuna käytössä olevaan LOPS2003:een.

### 2.4.1 Lukiokoulutuksen tehtävä ja yleiset tavoitteet

Lukiokoulutuksen tehtäviin on lukion opetussuunnitelman perusteet 2016 – luonnoksessa lisätty LOPS2003 verrattuna maininta luontoa koskevan tiedon ja osaamisen hankkimisesta. Lisäksi on mainittu, että lukio-opetus auttaa opiskelijaa ymmärtämään monitahoisia keskinäisriippuvuuksia sekä jäsentämään laaja-alaisia ilmiöitä. (Opetushallitus 2015D) Ympäristökysymyksissä, jos missä, on kyse laaja-alaisista, monitahoisista asioista.

Lukiokoulutuksen yleisiin tavoitteisiin on vastuullisen toiminnan lisäksi lisätty muuttuvan toimintaympäristön edellyttämien tietojen ja taitojen hankkiminen sekä kestävän elämäntavan välttämättömyyden ymmärtäminen (Opetushallitus 2015D).

#### **2.4.2 Lukiokoulutuksen arvoperusta ja aihekokonaisuudet**

Lisäyksenä LOPS2003:een uudessa LOPS 2016 –luonnoksessa korostetaan ratkaisujen eettistä pohdintaa, oikeudenmukaisuutta ja sitoutumista toimimaan myönteisten muutosten puolesta. Arvoperustaan on kirjattu myös maininnat kestävän elämäntavan välttämättömyydestä, luonnonvarojen kestävästä käytöstä, luonnon monimuotoisuuden säilyttämisestä ja ilmastonmuutoksen hillitsemisestä. (Opetushallitus 2015D)

LOPS2016 –luonnoksessa esitetyt aihekokonaisuudet ovat hyvin samankaltaisia kuin LOPS2003:ssakin. Ympäristökemian kannalta merkityksellistä on aihekokonaisuuden ”*kestävä kehitys*” muutos aihekokonaisuudeksi ”*kestävä elämäntapa ja globaali vastuu*”. Kestävä elämäntapa ja globaali vastuu –aihekokonaisuudessa korostetaan LOPS2003 mukaisten painotusten lisäksi vastuullisuutta ja toimintaa myönteisten ratkaisujen puolesta. Lisäksi aihekokonaisuudessa on erikseen mainittu ilmastonmuutos. (Opetushallitus 2015D)

#### **2.4.3 Kemian oppimistavoitteet ja opetuksen keskeiset sisällöt**

LOPS2016 –luonnoksessa kemian opetuksen tarkoituksena on mainittu, LOPS2003 mukaisten aiheiden lisäksi, korostaa opiskelijoille vastuunottoa ympäristöstä. Tarkoituksena on myös välittää kuvaa kemian merkityksestä kestävässä tulevaisuudessa. (Opetushallitus 2015D)

LOPS2016 –luonnokseen on kirjattu ympäristökemiaan liittyviä yleisiä tavoitteita huomattavasti vähemmän kuin LOPS2003:ssa. Kurssikohtaisissa tavoitteissa LOPS2016 –luonnoksessa puolestaan on aiempaa enemmän mainintoja ympäristökemiasta. Maininnat ovat yksityiskohtaisempia, esimerkiksi kemian merkitys hyvinvoinnin ja terveyden, energiaratkaisujen ja ympäristön kannalta sekä kestävän tulevaisuuden rakentamisessa. (Opetushallitus 2015D)

LOPS2016 –luonnoksessa ympäristökemiaa on korostettu huomattavasti enemmän kuin LOPS2003:ssa. Ympäristökemian kannalta pääpaino on siinä, että ymmärretään kemian merkitys, hyödyllisyys ja sovellettavuus ympäristömme tapahtumissa. Kestävä kehitys on painotettu aiempaa enemmän. Uutena asiana on mainittu ilmastonmuutoksen hillitseminen. LOPS2016 korostaa ympäristöasioiden hoidossa kansalaisten aktiivista ja vastuullista toimintaa. (Opetushallitus 2015D)



Pakollisten ja valtakunnallisesti määriteltyjen syventävien kurssien lukumäärät pysyvät samoina (1+4). Kurssisisällöt ja kurssien nimet poikkeavat LOPS2003 ja LOPS2016 – luonnoksen välillä hieman toisistaan. (Opetushallitus 2015D)

## 3 YMPÄRISTÖKEMIA

LOPS2003 ei anna kovin yksityiskohtaisia määräyksiä ympäristökemian opettamisesta lukiossa, vaan esiin nostetut asiat ovat pikemminkin suuntaviivoja. Nämä annetut suuntaviivat huomioon ottaen tässä työssä käsite ympäristökemia on rajattu ympäristökemian varsin laajasta aihepiiristä seuraaviin kuuteen aihepiiriin: kestävä kehitys, alkuaineiden kierto, energiantuotanto, veden kemia, ilmakehän kemia sekä ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu.

Alkuaineiden kierto pitää sisällään hiilen ja typen kierrot. Energiantuotanto puolestaan käsittää energianlähteet, energian ympäristövaikutukset ja energian säästämisen. Veden kemia sisältää veden hydrologisen kierron, rehevöitymisen ja happamoitumisen sekä veden laadun ja vedenpuhdistuksen. Ilmakehän kemiaan kuuluvat ilmakehän kerrokset, ilmakehän kemiallinen koostumus, kasvihuoneilmiö, ilmastonmuutos, otsonikato ja ilmansaasteet. Kestävällä kehityksellä tarkoitetaan käyttäytymistä ja toimenpiteitä, joilla pidetään maapallo elinkelpoisena tuleville sukupolville. Viimeisenä, ympäristön pilaantumisella tarkoitetaan yleistä ihmisen toiminnan vaikutuksesta tapahtuvaa ympäristön tilan heikkenemistä ja ympäristönsuojelulla toimenpiteitä ja toimintaa, jolla pyritään ehkäisemään ympäristön pilaantumista.

Seuraavissa kappaleissa on lyhyesti kerrottu edellä mainituista ympäristökemian aihepiireistä.

### 3.1 Ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu

Ympäristön pilaantumisella tarkoitetaan sellaista päästöä, jonka seurauksena aiheutuu esimerkiksi terveyshaittaa, haittaa luonnolle, luonnonvarojen käyttämisen estymistä tai vaikeutumista, ympäristön viihtyisyyden ja virkistyskäyttöön soveltuvuuden vähentymistä tai vahinkoa tai haittaa omaisuudelle tai sen käytölle (Ympäristönsuojelulaki 2014). Ympäristön pilaantumisella tarkoitetaan maaperän, pohjaveden, pintaveden, sedimentin tai ilman pilaantumista.

Ympäristönsuojelulla tarkoitetaan toimia, joilla pyritään hoitamaan ympäristöä ja suojelemaan sitä ihmisten aiheuttamilta ympäristöhaitoilta. Ympäristönsuojelu pitää sisällään yhteiskunnan, yritysten ja kansalaisten toimia, joiden tavoitteena on säilyttää ihmisen elinympäristö ja luonto terveellisenä ja viihtyisenä. (Tilastokeskus 2015)

## 3.2 Ilmakehän kemia

Ilmakehä on ohut Maata suojaava ilmakerros. Ilman ilmakehää maapallo olisi Kuun kaltainen eloton taivaankappale. Ilmakehällä ei ole selvää ylärajaa. Ylöspäin mentäessä ilman tiheys ja paine vähenevät nopeasti ja noin 100 km korkeudessa on jo lähes täydellinen tyhjiö. (Karttunen et al. 2008)

Ilmakehä jaetaan kerroksiin eli sfääreihin ja niitä erottaviin pausseihin. Maan tavoin ilmakehä on navoilta hieman litistynyt: kerrosten paksuudet ovat suurimmillaan päiväntasaajalla ja pienenevät napoja kohti. Kerrosten paksuudet muuttuvat vuoden- ja vuorokaudenaikojen mukana. Meret ja mantereet aiheuttavat myös pituusasteesta johtuvaa vaihtelua. (Karttunen et al. 2008)

### 3.2.1 Ilmakehän kerrokset

Ilmakehän alin kerros on nimeltään troposfääri. Troposfäärin yläraja, tropopausi, sijaitsee päiväntasaajalla noin 12 - 15 km korkeudessa, napa-alueilla noin 5-8 kilometrisä. (Ilmatieteen laitos 2015A, Karttunen et al. 2008) Yleensä ilman ollessa lämmintä tropopausi on tavallista korkeammalla. Kylmällä ilmalla tropopausi on tavallista matalammalla. (Karttunen et al. 2008) Lämpötila laskee ylöspäin mentäessä noin 6,5 astetta kilometriä kohti. Tropopausin lämpötila on noin -50...-70 astetta. (Ilmatieteen laitos 2015A, Karttunen et al. 2008) Noin 90 % ilmakehän massasta sijaitsee troposfäärissä (Ilmatieteen laitos 2015A).

Sääilmiöt tapahtuvat troposfäärissä (Ilmatieteen laitos 2015A, Karttunen et al. 2008). Lentoliikenne tapahtuu joko troposfäärissä tai aivan sen yläpuolella (Karttunen et al. 2008).

Tropopausin yläpuolella sijaitsee stratosfääri. Stratosfäärin yläraja, stratopausi, ulottuu noin 50 kilometrin korkeudelle. Stratosfäärissä ilma on ohutta. Stratopausissa ilmanpaine on vain noin 0,1 % maanpinnalla vallitsevasta ilmanpaineesta. Stratosfäärissä lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. (Ilmatieteen laitos 2015A, Karttunen et al. 2008) Stratopausissa lämpötila on samaa luokkaa kuin maanpinnalla (Karttunen et al. 2008).

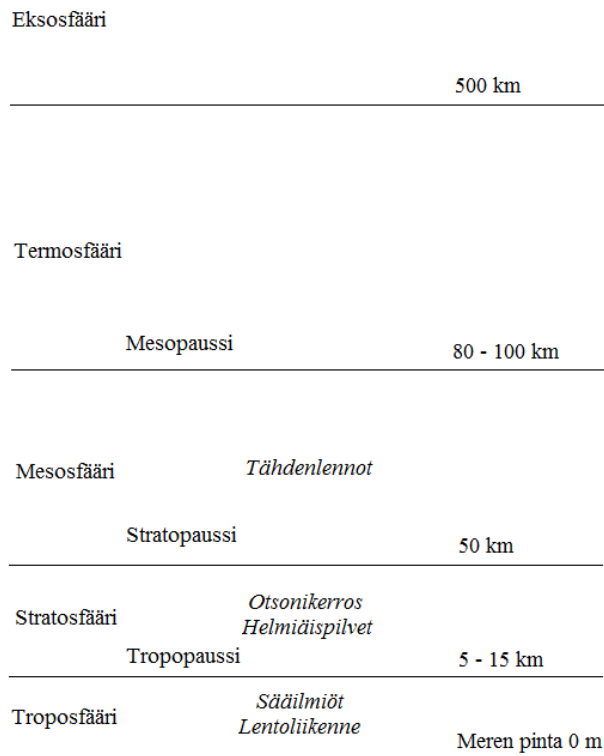
Pääosa ilmakehän otsonista sijaitsee otsonikerroksessa noin 15 - 40 kilometrin korkeudessa. Ainoa stratosfäärin sääilmiö on harvoin esiintyvät helmiäispilvet. (Ilmatieteen laitos 2015A, Karttunen et al. 2008)

Stratopausin yläpuolella oleva kerros on mesosfääri. Mesosfäärin yläraja, mesopausi, on noin 80 - 100 kilometrin korkeudella. Mesopausissa ilmanpaine on noin 0,001 % maanpinnan ilmanpaineesta. Mentäessä mesosfäärissä ylöspäin lämpötila laskee. Meso-

paussissa lämpötila on noin -100 astetta. (Ilmatieteen laitos 2015A, Karttunen et al. 2008) Tähtienlennot eli meteorit esiintyvät mesosfäärissä (Karttunen et al. 2008).

Mesosfäärin ulkopuolella vallitsee jo lähes täydellinen tyhjiö. Mesosfäärin yläpuolella on termosfääri. Noin 500 kilometrin korkeudessa termosfääri vaihtuu vähitellen ekso-sfääriksi. Eksosfäärillä ja ilmakehällä ei ole ylärajaa. Kaasu harvenee vähitellen ja ilma-kehä vaihtuu planeettojen väliseen avaruuteen. (Karttunen et al. 2008)

Ilmakehän kerrokset on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1. Ilmakehän kerrokset (Mukaillen Ilmatieteen laitos 2015A, Karttunen et al. 2008).

### 3.2.2 Ilmakehän kemiallinen koostumus

Ilma on eri kaasuja sisältävä seos. Ilmasta 78,1 % on typpeä, 21,0 % happea, 0,9 % argonia ja 0,04 % hiilidioksidia. Ilma sisältää 0,1 - 5 % vesihöyryä, normaali vaihteluväli on 1-3 %. Lisäksi ilma sisältää pieniä määriä (alle 0,002 %) lukuisia kaasuja, mm. neonia, heliumia, metaania, typpioksidia, vetyä, rikkidioksidia, otsonia, typpidioksidia, ammoniakkia ja hiilimonoksidia. Osa ilman sisältämistä kaasuista on peräisin luonnollisista lähteistä, osa ihmistoiminnasta. (Manahan 2010)

### 3.2.3 Ilmansaasteet

Ilmansaasteet ovat kemiallisia, fysikaalisia tai biologisia tekijöitä, jotka muuttavat ilmakehän luonnollisia ominaisuuksia (World Health Organization 2015). Ilmansaasteet voivat olla peräisin luonnosta tai ihmisen toiminnasta (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2015). Yleisimpiä ilmansaasteiden lähteitä ovat muun muassa puun pienpoltto, metsäpalo, maanviljely, tieliikenne sekä energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset (Manahan 2010, Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2015, World Health Organization 2015). Merkittäviä ilmansaasteita ovat esimerkiksi hiukkaspäästöt, hiilimonoksidi, otsoni, typpidioksidi, rikkidioksidi, hiilidioksidi ja metaani (Manahan 2010, World Health Organization 2015). Ilmakehän luonnollisten ominaisuuksien muuttumisesta voi aiheutua merkittäviä ympäristöongelmia, esimerkiksi kasvihuoneilmiön voimistumista, otsonikatoa ja ilmaston lämpenemistä (Manahan 2010).

### 3.2.4 Otsonikato

Pääosa ilmakehän otsonista ( $O_3$ ) sijaitsee 15 - 35 kilometrin korkeudella, stratosfäärissä. Tätä ilmakehän osaa kutsutaan otsonikerrokseksi. (Karttunen et al. 2008, Manahan 2010) Stratosfäärin otsonikerros on nykyisenkaltaisen elämän perusedellytys (Hakala & Välimäki 2003). Otsoni absorboi voimakkaasti haitallista UV-säteilyä aallonpituusalueella 220 - 330 nm. Otsonimolekyylien absorboima UV-säteily muuttuu lämmöksi. Tästä johtuu se, että stratosfäärissä lämpötila nousee ylöspäin mentäessä. Otsoni absorboi UV-säteilyä niin voimakkaasti, että suurin osa UV-säteilystä absorboituu jo stratosfäärin yläosassa. (Manahan 2010)

Otsonin muodostumiseen tarvitaan vapaita happiradikaaleja. Korkeaenergiset ( $\lambda < 240$  nm) fotonit pystyvät pilkkomaan happimolekyylin. Näin syntyy kaksi happiradikaalia, jotka voivat reagoida happimolekyylin kanssa muodostaen otsonia:



missä  $m$  on mikä tahansa ilmassa oleva inertti molekyyli, joka vastaanottaa ylimääräisen energian. (Karttunen et al. 2008, Manahan 2010)

UV-säteily ( $\lambda < 325$  nm) voi myös hajottaa otsonimolekyylin:



Reaktiossa syntyvä happiradikaali voi puolestaan reagoida happimolekyylin kanssa ja tuottaa uuden otsonimolekyylin. (Karttunen et al. 2008, Manahan 2010) Syntynyt happi-

radikaali voi myös reagoida otsonimolekyylin kanssa, jolloin syntyy kaksi happimolekyyliä (ja tuhoutuu kaksi otsonimolekyyliä):



Yhtälössä (4) esitetty reaktio on kuitenkin epätodennäköisempi kuin yhtälössä (2) esitetty reaktio, sillä ilmakehässä on paljon enemmän happimolekyyliä kuin otsonia. (Karttunen et al. 2008)

Yksi suurista ympäristöriskeistä on stratosfäärin otsonin tuhoutuminen (otsonikato). Stratosfäärin otsonia tuhoavat aineet, jotka ilmakehään päästettynä katalysoivat otsonin hajoamista happimolekyyliksi. (Manahan 2010) Otsonia katalyyttisesti hajottavista yhdisteistä merkittävimpiä ovat halogeeniyhdisteet (Karttunen et al. 2008, Manahan 2010). Halogeeniyhdisteiden pitoisuudet ilmakehässä kasvoivat voimakkaasti 1970-luvulta alkaen teollisesti tuotettujen halogenoitujen hiilivetyjen (CFC-yhdisteiden eli freonien ja halonien) myötä (Karttunen et al. 2008).

CFC-yhdisteitä käytettiin pääasiassa jääkaappien kylmäaineina sekä lisäksi myös aerosolien ponneaineina ja vaahtomuovien valmistuksessa (Karttunen et al. 2008, Manahan 2010). Halonit sisältävät kloorin ja fluorin lisäksi myös bromia. Haloniyhdisteitä käytettiin erityisesti palonsammuttimissa. (Karttunen et al. 2008)

CFC-yhdisteitä ja haloneita käytettiin, koska ne olivat kemiallisen pysyvyytensä ansiosta myrkyttömiä, turvallisia ja helppokäyttöisiä. Samasta syystä ko. yhdisteet ovat erittäin pysyviä myös päästessään ilmakehään. (Karttunen et al. 2008, Manahan 2010) Freonit ja halonit hajoavat UV-säteilyn vaikutuksesta, jolloin niiden sisältämät kloori ja bromi vapautuvat (Karttunen et al. 2008). Syntyneet kloori- ja bromiradikaalit aloittavat reaktioketjun, jonka lopputuloksena otsoni hajoaa (yhtälöt 5-11) (Manahan 2010)



joka esitettyä nettoreaktiona



Jokainen klooriradikaali ehtii elinaikanaan katalysoida tuhansien otsonimolekyylien hajoamisen (Manahan 2010). Maapallon kaikki valtiot pääsivät 1988 sopimuksen freoni- ja haloniyhdisteiden käytön lopettamisesta. Sopimuksella estettiin otsonituhon paheneminen, mutta otsonikerros palautunee entiselleen vasta tämän vuosisadan keskivaiheella. (Ilmatieteen laitos 2015B)

Stratosfäärin otsonipitoisuudet vaihtelevat luontaisesti sijainnin ja vuodenaikojen mukaan. Stratosfäärin otsonia syntyy eniten päiväntasaajalla ja vähiten napojen yllä. (Hakala & Välimäki 2003) Napa-alueiden tuulijärjestelmä, napapyörre, eristää talvisin napa-alueiden ilmassan muusta ilmakehästä (Hakala & Välimäki 2003, Karttunen et al. 2008). Kaamosaikaan otsonia syntyy navoilla tavallistakin vähemmän, sillä otsonin syntymiseen tarvittavan auringon säteilyn määrä on vähäinen (Hakala & Välimäki 2003).

Stratosfäärin otsonin on havaittu vähentyneen napojen ja kahdennenkymmenennen leveyspiirin väliltä sekä pohjoisella että eteläisellä pallonpuoliskolla (Hakala & Välimäki 2003). Pahimmillaan otsoniaukko on kevättalvisin etelänavan yllä (Hakala & Välimäki 2003, Karttunen et al. 2008).

Stratosfäärin otsonin vähenemisen lisäksi ihmisen aiheuttama otsonin määrän paikallinen lisääntyminen troposfäärin alaosassa on myös ympäristöongelma (Karttunen et al. 2008). Otsoni on voimakas hapetin, joka voi vaurioittaa luontoa ja materiaaleja (Hakala & Välimäki 2003).

### **3.2.5 Kasvihuoneilmiö**

Maapallon ilmakehä heijastaa noin 30 % saapuvasta auringon säteilystä takaisin avaruuteen. Jäljelle jäävä osuus auringon säteilyenergiasta läpäisee maapallon ilmakehän ja pääsee maapallon pinnalle. (Zumdahl & DeCoste 2012) Auringon säteily on suurelta osalta näkyvää valoa (aallonpituus 0,4 - 4  $\mu\text{m}$ ), jota ilmakehä läpäisee suhteellisen hyvin (Karttunen et al. 2008, Hartmann 2014, Zumdahl & DeCoste 2012).

Auringon säteilyenergiasta osa käytetään kasvien toimesta fotosynteesissä. Osalla höyrystetään vettä valtameristä. Osa auringon säteilyenergiasta absorboituu maaperään ja veteen, mikä nostaa maapallon pinnan lämpötilaa. (Zumdahl & DeCoste 2012) Maapallo puolestaan säteilee avaruuteen pintalämpötilaansa vastaavaa energiaa, joka on infrapuna-alueella (aallonpituus 4 - 200  $\mu\text{m}$ ) (Karttunen et al. 2008, Hartmann 2014, Zumdahl & DeCoste 2012).

Maapallon ilmakehä läpäisee vähemmän infrapunasäteilyä kuin auringon näkyvän valon alueen säteilyä. Näin ollen ilmakehä ei päästä kaikkea maasta takaisin säteilevää infrapunasäteilyä läpi avaruuteen. Eräät ilmakehän molekyylit absorboivat infrapunasäteilyä

voimakkaasti, jolloin osa maapallon säteilyenergiasta jää ilmakehään. Ilmakehä säilöo osan maahan tulleesta energiasta, jolloin maan lämpötila kasvaa suuremmaksi kuin se olisi ilman ilmakehää. Tätä ilmiötä kutsutaan kasvihuoneilmiöksi. (Karttunen et al. 2008, Hartmann 2014, Zumdahl & DeCoste 2012)

Kasvihuoneilmiön ansiosta maapallon keskilämpötila on noin 33 °C korkeampi kuin mitä se olisi ilman kasvihuoneilmiötä (Berner 2000, Houghton 2002, Karttunen et al. 2008, Laci 2014). Kasvihuoneilmiö sinällään ei ole huono asia, vaan pikemminkin välttämättömyys. Ilman kasvihuoneilmiötä maapallon keskilämpötila olisi pysyvästi pakkasen puolella (n. -18 °C), eikä elämä todennäköisesti olisi päässyt kehittymään. (Karttunen et al. 2008, Laci 2014)

Arkikielessä kasvihuoneilmiöllä tarkoitetaan ihmisen toiminnan johdosta tapahtuvaa kasvihuoneilmiön vahvistumista (Karttunen et al. 2008) ja siihen liitettyä ilmastonmuutosta ja -lämpenemistä (Laci 2014).

Kasvihuoneilmiöön voivat vaikuttaa kaikki sellaiset ilmakehän molekyylit, jotka absorboivat infrapunasäteilyä. Tällaisia molekyylejä kutsutaan kasvihuonekaasuiksi. (Karttunen et al. 2008)

Absorboidessaan infrapunasäteilyä molekyylit virittyvät korkeammille värähdysenergiatiloille. Koska absorptio on kvantittunut prosessi, tietty molekyyli absorboi vain tiettyjä aallonpituuksia infrapunasäteilystä. Jotta absorptio tapahtuisi, absorboituvan aallonpituuden (taajuuden) tulee vastata molekyylin värähtelytaajuutta. Absorboitu energia kasvattaa värähtelyn amplitudia. (Pavia et al. 2001) Molekyylin vibratoninen, eli värähdyksellinen viritystila purkautuu törmäyksissä muiden ilmakehän molekyylien kanssa. Absorboitunut energia vapautuu molekyylien törmätessä ympäristöön lämpönä. (Ramanathan & Feng 2009)

Vesihöyry (H<sub>2</sub>O) ja hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) ovat määrällisesti merkittävimmät kasvihuonekaasut. Vesihöyry ja hiilidioksidi absorboivat lähes kaikkia infrapuna-alueella olevia aallonpituuksia, lukuun ottamatta muutamia aallonpituuskaistoja. Laajin näistä aallonpituuskaistoista on alueella 8 - 12 μm, ja sitä kutsutaan infrapunaikkunaksi. Mikäli ilmakehään joutuu molekyylejä, jotka absorboivat juuri näitä aallonpituuksia, lämpösäätelyn ainoa pakotie tukkiutuu. (Karttunen et al. 2008)

Taulukossa 3.1 on esitetty kasvihuonekaasuja, niiden pitoisuuksia ilmakehässä, eliniät ja ominaislämmitysvaikutus (GWP, global warming potential). Ominaislämmitysvaikutus kuvaa molekyylin kykyä lämmittää ilmakehää verrattuna hiilidioksidimolekyyliin. Taulukossa pitoisuudet ovat vuodelta 2004, kursivoidut yhdisteet syntyvät ainoastaan ihmisen toiminnan tuloksena ja vesihöyryn pitoisuus kuvaa sen osuutta koko ilmakehän massasta (paikalliset ja ajalliset vaihtelut). (Karttunen et al. 2008)



Taulukko 3.1. Kasviuonekaasuja (Karttunen et al. 2008).

| Yhdiste                   | Kemiallinen kaava               | Pitoisuus | Elinikä (vuotta) | Ominaislämmitys-vaikutus (GWP) |
|---------------------------|---------------------------------|-----------|------------------|--------------------------------|
| Vesihöyry                 | H <sub>2</sub> O                | 0,2 %     | 0,03             |                                |
| Hiilidioksidi             | CO <sub>2</sub>                 | 377 ppm   | 5-200            | 1                              |
| Metaani                   | CH <sub>4</sub>                 | 1790 ppb  | 12               | 23                             |
| Dityppioksidi             | N <sub>2</sub> O                | 319 ppb   | 114              | 296                            |
| Otsoni                    | O <sub>3</sub>                  | 34 ppb    | 0,001            |                                |
| <i>CFC-11</i>             | CCl <sub>3</sub> F              | 253 ppt   | 45               | 4 600                          |
| <i>CFC-12</i>             | CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> | 544 ppt   | 10               | 10 600                         |
| <i>PFC</i>                | C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>   | 3 ppt     | 10 000           | 11 900                         |
| <i>HFC-23</i>             | CHF <sub>3</sub>                | 14 ppt    | 260              | 12 000                         |
| <i>Rikkiheksafluoridi</i> | SF <sub>6</sub>                 | 5,2 ppt   | 3 200            | 22 200                         |

### 3.2.6 Ilmastomuutos

Maapallon ilmastoon vaikuttavat ilmakehä, valtameret, lumipeite sekä merten ja maan jääpeite. Näiden lisäksi ilmastoon vaikuttavat maa-alueet ominaispiirteineen: kasvillisuus, ekosysteemit, biomassa ja albedo eli heijastuskyky. Lisäksi ilmastoon vaikuttaa veden hydrologinen kierto: pilvet, joet, järvet ja pohjavesi. (Houghton 2002)

Ilmastoon vaikuttavat edellä mainittujen tekijöiden lisäksi myös auringon säteily, maan pyöriminen akselinsa ympäri, maan rata auringon ympäri, maanpinnan muodot sekä ilmakehän koostumus ja massa. Lisäksi ilmastoon vaikuttavat vuorovaikutukset kaikkien edellä mainittujen tekijöiden välillä. (Houghton 2002)

Maapallon ilmasto muuttuu ja on aina muuttunut jatkuvasti. Maapallon elinaikana ilmastomuutokset ovat vaikuttaneet elämän kehittymiseen, luoneet edellytyksiä uusien lajien synnylle ja tuhonneet toisia lajeja sukupuuttoon. (Hakala & Välimäki 2003)

Luotettavaa maapallon lämpötilatietoa on saatavilla 1800-luvun loppupuolelta asti (Hakala & Välimäki 2003, McKinney et al. 2013). Tätä vanhempia lämpötiloja on arvioitu mm. hapen isotooppisuhteiden, sedimenttien indikaattoreiden ja pienten eläinten kuorten koostumuksen avulla. On saatu selville, että edellinen jääkausi oli noin 20 000 vuotta sitten. Tänä aikana noin 3 km paksu jääkuori peitti Pohjois-Amerikkaa ja Länsi-Eurooppaa. On myös saatu selvitettyä, että maapallon historiassa on ollut sarja jääkausia, joiden välissä on ollut suhteellisen lämpimät, jäästä vapaat, jaksot. (Hartmann 2014)

Aikasarjojen analysointi on paljastanut maapallon jäätילוuden yhteyden maapallon kiertoradan kanssa. Maan kiertorataa kuvaavat parametrit ovat eksentrisyys, kaltevuus ja perihelionin jakson pituus. Eksentrisyys kuvaa kiertoradan elliptisyyttä, kaltevuus maapallon akselin kaltevuuskulmaa ja perihelionin jakson pituus kuvaa aikaa, jonka maapallo on lähimpänä aurinkoa. (Houghton 2002, Hartmann 2014)

Edellä mainitut tekijät vaikuttavat auringon säteilyn jakautumiseen eri vuodenaikoina ja eri leveysasteille (Hartmann 2014). Maan kiertoradan aiheuttamat auringon säteilymäärän muutokset ovat huomattavia erityisesti napa-alueilla, missä vaikutuksen suuruus on  $\pm 5$  % (Houghton 2002). Koska jääpeite muodostuu pääasiassa maalle, ja suurin osa maasta on pohjoisella pallonpuoliskolla, jääpeite muodostuu helpoiten, kun auringonsäteilyn määrä pohjoisella pallonpuoliskolla kesäaikana on pieni. Tällöin kaikki talvella satanut lumi ei ehdi sulaa kesällä ja lumen määrä kasvaa vuosi vuodelta. Jää puolestaan heijastaa tehokkaasti auringon säteilyn takaisin avaruuteen, jolloin maan absorboiman lämmön määrä pienenee. Tämä puolestaan johtaa ilmaston viilenemiseen ja jääkerrosten kasvamiseen. (Hartmann 2014) Napa-alueiden auringon säteilymäärällä ja maapallon jäämassan tilavuudella on todettu olevan yhteys (Houghton 2002).

Ilmastonmuutoksella arkikielessä tarkoitetaan nykyisin käynnissä olevaa, ihmisen aiheuttamaa ilmastonmuutosta (Hakala & Välimäki 2003). Kasvihuoneilmaston voimistuminen saa aikaan ilmaston lämpenemistä (McKinney et al. 2013).

Keskustelua käydään siitä, aiheuttaako ihmisen toiminta todella ilmaston lämpenemistä vai onko kyseessä luonnollinen ilmaston muutosprosessi. Suurin osa asiaan perehtyneistä tutkijoista kuitenkin on sitä mieltä, että ilmaston lämpeneminen ihmisen toiminnan vaikutuksesta on todellista. (Pipkin et al. 2008, McKinney et al. 2013)

Ilmastonmuutoksen vuoksi maapallo lämpenee, mutta lämpö ei tule jakautumaan tasaisesti. Napa-alueet ja niiden lähialueet tulevat lämpenemään eniten, kun taas päiväntasaajan läheisyydessä muutokset tulevat olemaan pienimmät. (McKinney et al. 2013)

Ilmaston lämpenemisen seurauksista ja niiden vakavuudesta ei ole varmuutta. Tiedetään, että maapallon lämpötila nousee, mutta sitä, kuinka paljon lämpötila nousee, ei voida tarkkaan arvioida. Lämpötilan noustessa jäätiköt sulavat osittain ja merenpinta nousee. (McKinney et al. 2013) Ääri-ilmiöt, kuten lämpöaallot, myrskyt, tulvat ja kuivuus tulevat todennäköisesti lisääntymään. Edellä mainituilla muutoksilla on suuria vaikutuksia ihmisten elämään, esimerkiksi asuinpaikkaan, ruuan tuotantoon ja -laatuun, juomaveden laatuun ja tautien leviämiseen. (Hakala & Välimäki 2003, Manahan 2010, Virtanen & Rohweder 2011, McKinney et al. 2013). Haittoihin sopeutuminen voi onnistua vaurailta mailta, mutta voi aiheuttaa ongelmia köyhille valtioille (Hakala & Välimäki 2003).

### 3.3 Veden kemia

Vesi ( $H_2O$ ) on välttämätöntä elämälle. Vesi on solujen tärkein rakenneosana. (McKinney et al. 2013) Ihmisen elimistö sisältää noin 65 prosenttia vettä (Pipkin et al. 2008). Ihmiset ja eläimet tarvitsevat juomavettä ja vesi toimii myös kulkureittinä. Monet vapaa-ajan

aktiviteetit liittyvät jollakin tapaa veteen. Vedestä saadaan ravintoa ja energiaa. Teollisuus tarvitsee prosesseihinsa vettä. (Pipkin et al. 2008, Niemelä et al. 2011)

Veden ominaisuudet eroavat monella tapaa muiden yleisten nesteiden ominaisuuksista. Tämä tekee vedestä niin välttämätöntä elämälle. (McKinney et al. 2013)

Veden tiheys laskee sen jäätyessä. Tämän vuoksi jää kelluu. Jos vesi olisi kuten tyypilliset nesteet, jää olisi tiheämpää kuin vesi. Järvet jäätyisivät talvella pohjaa myöten tappaen kalat ja kasvit. Mikäli vesi käyttäytyisi kuten tyypilliset nesteet, se olisi maapallon normaalilämpötilassa kaasumaista ja siten hyödytöntä elämälle. (Manahan 2010, McKinney et al. 2013)

Veden ominaislämpö on suuri. Tämän vuoksi veden lämpiäminen kestää suhteellisen kauan, samoin veden viileneminen on hidasta. Suurilla vesimassoilla, kuten valtamerillä, on siten merkittävä vaikutus maapallon ilmastoon. (Manahan 2010, McKinney et al. 2013)

Vesi on myös hyvä liuotin. Tätä ominaisuutta tarvitaan muun muassa erilaisten aineiden kuljettamisessa, niin ympäristössä kuin soluissakin. Syystä, että vesi on hyvä liuotin, se myös pilaantuu helposti. (Manahan 2010, McKinney et al. 2013)

Vesimolekyylin rakenne selittää veden muista nesteistä poikkeavat ominaisuudet. Vesimolekyyli on polaarinen, ja se muodostaa vetysidoksia muiden vesimolekyylien kanssa. Tämä selittää veden korkeat sulamis- ja kiehumispisteet: vetysidosten katkaisemiseen tarvitaan energiaa. Veden liuotinominaisuudet liittyvät myös vesimolekyylin polarisuuteen. (McKinney et al. 2013)

### **3.3.1 Veden hydrologinen kierto**

Maapallon vedestä runsaat 97 % on merissä (Pipkin et al. 2008, Manahan 2010, McKinney et al. 2013). Merivesi sisältää noin 3,5 % liuenneita yhdisteitä, suurimmaksi osaksi ruokasuolaa NaCl. Merivesi ei sovellu juomavedeksi, kasteluun eikä teollisuuden käyttöön. (McKinney et al. 2013)

Vajaa 3 % maapallon vedestä on makeaa vettä. Tästä määrästä noin 75 % on jäätä. Näin ollen vain noin 0,6 % maapallon vesivarannoista on helposti saatavilla nestemäisessä muodossa, pinta- tai pohjavetenä. (Pipkin et al. 2008, McKinney et al. 2013) Vain noin 0,001 % maapallon vedestä sijaitsee ilmakehässä (Pipkin et al. 2008).

Vesi on uusiutuva luonnonvara, ja sen uusiutumista kuvaa veden hydrologinen kierto (Pipkin et al. 2008). Veden hydrologisessa kierrossa vesi kiertää ilmakehän, maan ja merten välillä. Energia kiertoön saadaan auringosta. (McKinney et al. 2013) Veden hyd-

rologinen kierto koostuu kahdesta pääprosessista: kokonaishaihdunnasta ja sadannasta. Kokonaishaihdunta tarkoittaa veden siirtymistä ilmakehään, joko haihdunnan tai transpiraation kautta. Haihtumista tapahtuu, kun aurinko lämmittää nestemäistä vettä. Transpiraatioissa kasvien vapauttama vesihöyry siirtyy ilmakehään. Ilmakehässä vesihöyry muodostaa pilviä. Vesi palaa ilmakehästä maanpinnalle sadannan kautta. Suuri osa vedestä sataa takaisin suoraan meriin, mutta osa sataa maalle. Tämä maalle satanut vesi palaa meriin järvien, jokien ja pohjavesivarantojen kautta. (Pipkin et al. 2008, McKinney et al. 2013)

### 3.3.2 Vedenlaatu

Vettä käytetään moniin eri tarkoituksiin, muun muassa juomavetenä, peseytymiseen, kasteluun, virkistäytymiseen, ruuan hankintaan, kulkuväylänä ja teollisuuden raaka-aineena. Sen lisäksi, että vettä on riittävästi, veden tulee olla käyttötarkoitukseensa sopivaa. Veden eri käyttökohteilla on toisistaan poikkeavat laatuvaatimukset.

Maapallon vesivarannot voidaan jakaa meriveteen ja makeaan veteen (Pipkin et al. 2008, McKinney et al. 2013). Makea vesi voidaan jakaa pintaveteen ja pohjaveteen. Pintavesiin kuuluvat esimerkiksi joet, lammet ja järvet. (McKinney et al. 2013) Pohjavesi on sateen ja lumen sulamisvesistä maa- ja kallioperään suotautuvaa ja varastoituvaa vettä (Geologian tutkimuskeskus 2015). Merivesi, pintavesi ja pohjavesi poikkeavat laadultaan toisistaan. Eroja vedenlaadussa on myös näiden osa-alueiden sisällä.

Merivesi sisältää noin 3,5 % liuenneita yhdisteitä, suurimmaksi osaksi ruokasuolaa. Merivesi sisältää myös muun muassa magnesiumia ja kalsiumia. (McKinney et al. 2013)

Suomessa pintavedet on jaettu maantieteellisten ja luonnontieteellisten ominaispiirteidensä mukaan eri tyyppeihin. Jokien ja järvien tyypittelyssä erottavia tekijöitä ovat mm. valuma-alueen maaperä, vesistön koko, syvyys ja viipymä. Vesistön ja veden laadun luontaiset ominaisuudet riippuvat vesistön tyypistä. (Ympäristöhallinto 2015A) Virtaavat vedet ovat vähemmän herkkiä pilaantumaan ihmisen toimesta kuin esimerkiksi järvet ja lammet (McKinney 2013). Suomessa pintavesien tilaa seurataan säännöllisesti. Vesien tilan seurannalla saadaan tietoa mm. vesien rehevöitymisestä, happitilanteesta ja haitallisten aineiden pitoisuuksista. (Ympäristöhallinto 2015B)

Pohjavettä muodostuu alueilla, joilla maalaji on karkearakeista ja huokoista, jolloin vesi pääsee imeytymään siihen. Kallioalueilla pohjavettä muodostuu veden suotautuessa kallion rakoihin. Maaperän pohjavesi on hieman hapanta ja vain vähän suoloja sisältävää, kun taas kallioperässä pohjavesi virtaa yleensä hitaasti, jolloin suolojen määrä lisääntyy ja happamuus vähenee. (Geologian tutkimuskeskus 2015) Ihmisen toiminta voi heikentää maaperän pohjaveden laatua. Pohjavedelle riskiä aiheuttavat mm. pilaantuneet

maa-alueet, teiden talvikunnossapito, torjunta-aineet, öljytuotteiden varastointi ja teollisuusalueet. (Ympäristöhallinto 2014B, Geologian tutkimuskeskus 2015) Kalliopohjaveden laatuongelmat aiheutuvat pääasiassa alueen kallioperästä itsestään (Geologian tutkimuskeskus 2015). Suomessa pohjaveden pinnankorkeutta ja vedenlaatua seurataan säännöllisesti eri puolilla Suomea. Seurantasarjojen perusteella voidaan arvioida pohjaveden määrän ja laadun paikallisia ja ajallisia vaihteluita. (Ympäristöhallinto 2013)

Suomessa talousveden valmistukseen käytetään sekä pinta- että pohjavettä (Vesilaitosyhdistys 2015). Talousvesi on tarkoitettu juomavedeksi, ruoan valmistukseen tai muihin kotitaloustarkoituksiin (Sosiaali- ja terveysministeriö 2015). Noin 39 % vesihuoltolaitosten asiakkaille toimittamasta vedestä on valmistettu pintavedestä ja noin 61 % on pohjavettä. Raakavettä käsitellään hieman eri tavoin raakaveden laadusta riippuen. Vedenkäsittelyssä raakavedestä poistetaan haitallisia aineita ja mikrobeja sekä vähennetään veden syövyttävyyttä. (Vesilaitosyhdistys 2015)

Suomessa talousveden laatuvaatimuksista määrätään Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (461/2000). Asetuksessa on annettu eri tekijöille laatuvaatimuksia ja laatusuosituksia. Mikrobiologisia laatuvaatimuksia on annettu *Escherichia colille* ja enterokokeille. Kemiallisia laatuvaatimuksia on annettu muun muassa lyijylle, nitraatille, torjunta-aineille ja arseenille. Laatusuosituksia on annettu esimerkiksi kloridille, mangaanille, raudalle, pH:lle, hajulle ja maulle sekä sähköjohtavuudelle. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2000) Vedenlaatua valvotaan ottamalla vesinäytteitä raakavedestä, puhdistusprosessista, laitokselta lähtevästä vedestä sekä myös vesijohtoverkostosta (HSY 2015).

Vedenlaatu riippuu siis veden alkuperästä ja laatuvaatimukset käyttökohteesta. Ihminen voi toiminnallaan monin tavoin vaikuttaa vedenlaatuun.

### 3.3.3 Rehevöityminen

Rehevöitymisellä tarkoitetaan sitä, että vesistön ulkopuolelta tulevat kasviravinteet lisäävät perustuotantoa eli yhteyttävien kasvien tuottavuutta. Ravinteita kulkeutuu vesistöihin luontaisestikin, mutta ihminen on toiminnallaan lisännyt valuma-alueelta tulevia ravinnemääriä. (Hakala & Välimäki 2003, Niemelä et al. 2011, Ympäristöhallinto 2014A)

Suomessa vesikasvien tuotannon tärkeimmät rajoittajat ovat valo ja kylmyys. Talvisin yhteyttäminen pysähtyy lähes täysin, kun jää ja lumi estävät valon saamisen. Lämmön lisääntyminen rehevöittää vesistöjä. Valon määrää ja lämpötilaa ihminen muuttaa voimistamalla ilmastonmuutosta. Ilmaston lämpeneminen kasvattaa tuotantoa ja myös lyhentää kasvien jään ja lumen peitossa olevaa aikaa. (Hakala & Välimäki 2003)

Mikäli valoa on riittävästi, ravinteet rajoittavat kasvukauden aikaista tuotantoa (Hakala & Välimäki 2003). Tärkeimmät kasviraivinteet rehevöitymisen kannalta ovat typpi ja fosfori, sillä niitä on suhteellisesti vähiten tarjolla (Pitkänen 2004, Ympäristöhallinto 2014A). Suomen järvissä tärkein rehevöittävä ravinne on fosfori, sillä järivedessä on kasvien vaatimuksiin nähden yleensä niukkimmin fosforia (Niemelä et al. 2011). Noin neljänneksessä Suomen järvistä typpi on minimitekijä (Hakala & Välimäki 2003). Itämeressä typpi on näistä kahdesta kriittisempi tekijä ts. rehevöittävä ravinne (Hakala & Välimäki 2003, Pitkänen 2004).

Vesistöjen rehevöityessä kasviplanktonin ja vesikasvien määrä kasvaa. Kun perustuotanto lisääntyy, biomassa lisääntyy yleensä ravintoketjun seuraavillakin tasoilla. (Hakala & Välimäki 2003)

Happi on niukkaliukoinen veteen. Lämpötilan kasvaessa liukoisuus pienenee. (Hakala & Välimäki 2003) Lisääntynyt kasvimassa kuluttaa hajotessaan vedestä aiempaa enemmän happea. Tästä voi aiheutua syvänteiden hapettomuutta, erityisesti talvisin. Pohjan hapettomuus voi laukaista pohjasedimenttiin sitoutuneiden ravinteiden vapautumisen veteen. Tällöin rehevöityminen ruokkii itse itseään. (Ympäristöhallinto 2014A)

Rehevöitymisen myötä vesilintujen määrä ja lajisto sekä kalasto muuttuvat (Ympäristöhallinto 2014A). Arvokalat (siika, taimen ja muut lohikalat) tarvitsevat runsaasti happea. Hapen vähetessä särkikalat runsastuvat. (Niemelä et al. 2001, Ympäristöhallinto 2014A) Rehevöityminen voi aiheuttaa myös kalakuolemia. Vesistöissä voi ilmetä hajuhaittoja ja veden käyttäjien terveyshaittoja. (Ympäristöhallinto 2014A)

Kullakin vesistöllä on tietynsuuruinen kuormituksen sietokyky. Suuret järvet voivat sietää ravinnekuormituksen lisääntymistä pitkäänkin. Pienissä järvissä kuormitustason suureneminen näkyy yleensä nopeasti. (Ympäristöhallinto 2014A)

Merkittävimpiä rehevöitymistä aiheuttavia tekijöitä ovat maa- ja metsätalouden ravinnevalumat sekä haja-asutuksen jätevedet. (Hakala & Välimäki 2003, Niemelä et al. 2011, WWF 2014) Keskitetty jätevesien käsittely on nykyisin Suomessa tehokasta. Tämän ansiosta rehevöityminen on vähentynyt teollisuuslaitosten ja kaupunkien läheisyydessä. (Niemelä et al. 2011, WWF 2014)

### **3.3.4 Happamoituminen**

Fossiilisten polttoaineiden palaessa ilmakehään pääsee rikin ja typen oksideja (Hakala & Välimäki 2003, Niemelä et al. 2011). Sadevesi on luontaisesti hieman hapanta, sillä ilmakehässä vesi reagoi hiilidioksidin kanssa. Sadevesi reagoi ilmakehässä myös typen ja rikin oksidien kanssa, jolloin sadeveden happamuus pienenee. (Hakala & Välimäki 2003)

Hapan sadevesi aiheuttaa maaperän ja vesistöjen happamoitumista. Happamoituminen lisää haitallisten yhdisteiden, kuten raskasmetallien, liukenemista pohjaveteen. (Hakala & Välimäki 2003) Maaperän happamoituminen voi vaikuttaa kasveihin ja muun muassa järvien eliölajistoon (Hakala & Välimäki 2003, Niemelä et al. 2011).

Happamoituminen oli suuri ongelma 1980-luvulla (Hakala & Välimäki 2003). Kansainvälisen ilmansuojelutyön ansiosta hapan laskeuma on vähentynyt (Niemelä et al. 2011).

### 3.3.5 Vedenkäsittely

Vedenkäsittelyllä voidaan tarkoittaa useita eri asioita. Raakavettä (pinta- tai pohjavesi) käsitellään, kun siitä valmistetaan talousvettä. Jätevettä käsitellään jätevedenpuhdistamolla ennen vesistöön päästämistä. Myös pilaantunutta pohjavettä voidaan käsitellä haitta-aineiden poistamiseksi.

Valmistettaessa talousvettä, raakavettä käsitellään eri tavoin riippuen raakaveden laadusta. Pohjavesi tarvitsee yleensä vähemmän käsittelyä kuin pintavesi. (US EPA 2015A) Usein pohjavedelle riittää käsittelymenetelmäksi pelkkä pH –arvon säätö.

Pohjavedet ovat lievästi happamia, jolloin vesi saattaa syövyttää vesijohtoverkoston ja lyhentää verkoston käyttöikää. Siksi veden pH –arvoa nostetaan usein ennen verkostoon pumppaamista. Yleensä talousveden pH pyritään säätämään välille 7,5–8,5. Säätökemikaaleina käytetään esimerkiksi kalkkia tai lipeää. (Pelto-Huikko & Vieno 2009)

Talousveden valmistus pintavedestä on monimutkaisempaa kuin jos talousvettä valmistetaan pohjavedestä. Pintavettä käytettäessä pH:ta tulee säätää. Tämän lisäksi pintavesilaitoksella käytettäviä vedenkäsittelymenetelmiä ovat muun muassa kemiallinen saostus, laskeutus, flotaatio, suodatus ja desinfiointi. (Pelto-Huikko & Vieno 2009)

Maaperästä huuhtoutuu pintavesiin muun muassa orgaanista ainesta eli humusta, mikrobeja ja rautaa. Kemiallisessa saostuksessa poistuu suuri osa näistä epäpuhtauksista. Humusaines on suurikokoista ja negatiivisesti varautunutta. Kemiallisessa saostuksessa veteen lisätään esimerkiksi rautasulfaattia  $FeSO_4$ , joka liukenee veteen yhtälön (12) mukaisesti. (Pelto-Huikko & Vieno 2009)



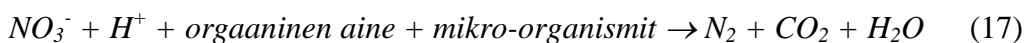
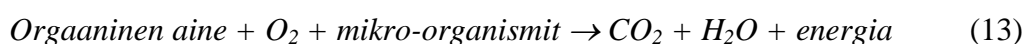
$Fe^{2+}$  hapettuu  $Fe^{3+}$ :ksi ja hydrolysoituu erilaisiksi positiivisesti varautuneiksi ioneiksi, kuten  $Fe(OH)^{2+}$ . Syntyneet hydroksidi-ionit neutraloivat epäpuhtauksien negatiivista pintavarausta. Tällöin epäpuhtaudet voivat kerääntyä yhteen muodostaen flokkeja. Flo-

kit erotetaan puhdistetusta vedestä joko laskeuttamalla tai flotaation avulla. Hiek-  
kasuodatuksen avulla puhdistetusta vedestä saadaan edelleen erotettua veteen jääneitä  
pieniä partikkeleita. (Pelto-Huikko & Vieno 2009)

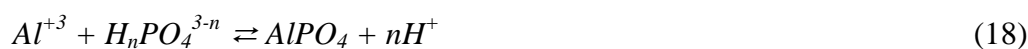
Talousvettä valmistettaessa vesi voidaan suodattaa myös aktiivihiihluodattimen läpi.  
Aktiivihiihluodatuksella voidaan poistaa esimerkiksi yhdisteitä, jotka aiheuttavat veteen  
pahaa hajua tai makua. Desinfiointi on vedenkäsittelyn viimeinen vaihe. Desinfiointi  
voidaan toteuttaa klooraamalla, otsonoinnilla tai UV-valolla. (Pelto-Huikko & Vieno  
2009)

Käsiteltäessä yhdyskuntajätevettä, jätevedenpuhdistamoilla jätevedestä poistetaan muun  
muassa kiintoainetta, orgaanista ainetta, mikro-organismeja, fosforia ja typpeä. Teolli-  
suusjäteveden koostumus riippuu teollisuudesta. (Tchobanoglous & Burton 1991)

Jätevedenpuhdistamot koostuvat biologisista, fysikaalisista ja kemiallisista yksikköope-  
raatioista. Välppäyksellä ja hiekanerotuksella poistetaan tulevasta jätevedestä hiekkaa ja  
suurikokoisempaa kiintoainetta. Polymeerejä käytetään hienojakoisemman orgaanisen  
ja kiintoaineen laskeutuvuusominaisuuksien parantamiseen (flokkin muodostus). Flokit  
poistetaan selkeyttämällä tai flotaatiolla. Liuenutta ja hienojakoista orgaanista ainetta,  
fosforia ja typpeä poistetaan biologisesti. (Tchobanoglous & Burton 1991) Orgaaninen  
aine hajoaa jätevedenkäsittelyssä mikrobien toimesta hiilidioksidiksi, vedeksi ja energi-  
aksi. Toisaalta orgaanista ainetta käytetään yhdessä typen, fosforin ja muiden pienem-  
missä määrissä tarvittavien alkuaineiden kanssa uusien mikrobisolujen muodostami-  
seen. Jäteveden sisältämät ammoniumionit pelkistyvät mikrobien toimesta typpikaasuk-  
si. (Manahan 2010) Reaktiot on esitetty yhtälöissä (13) - (17) (Madigan et al. 1997, Ma-  
nahan 2010).



Fosforin poisto tapahtuu pääasiallisesti saostamalla. Saostuskemikaaleina käytetään  
muun muassa alumiini- ja rautakemikaaleja. Fosforin saostusreaktiot alumiini- ja rau-  
tasuoloilla on esitetty yhtälöissä (18) ja (19). (Tchobanoglous & Burton 1991)





Happamuuden säätö on myös yksi tärkeä jätevedenkäsittelyn menetelmä. Monet yksiköoperaatiot vaativat tietyn pH –alueen tapahtuakseen. Joissakin maissa käsitelty jätevesi lisäksi desinfioidaan ennen kuin se lasketaan vesistöön. (Tchobanoglous & Burton 1991)

Pohjaveden pilaantumisella tarkoitetaan pohjaveden laadun muutosta, josta voi olla vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle tai yksityiselle tai yleiselle edulle. Pilaantuneen pohjaveden puhdistamisella tarkoitetaan haittojen ja riskien selvittämistä ja arviointia sekä niiden seuranta, poistamista tai merkittävää vähentämistä. (Ympäristöministeriö 2015B) Pilaantuneen pohjaveden puhdistamiseen on monia menetelmiä. Käytettävä menetelmä riippuu haitta-aineesta. (US EPA 2015B)

### **3.4 Alkuaineiden kierto**

#### **3.4.1 Hiilen kierto**

Ilmakehän hiilidioksidi on osa hiilen kiertoa. Kasvit sitovat ilmakehän hiilidioksidia yhteyttämisreaktioissa muodostaessaan hiilihyaatteja. Hiilidioksidia vapautuu ilmakehään, kun hiilihyaatteja käytetään solujen energianlähteenä. Hiilidioksidia vapautuu myös orgaanisen aineen hajotessa maaperässä hajottajabakteerien toimesta. (Karttunen et al. 2008)

Valtamerten pintaosa, noin 100 m, osallistuu hiilidioksidin vaihtoon ilmakehän kanssa. Ilmakehän hiilidioksidi liukenee veteen valtamerissä ja muodostaa bikarbonaatteja ( $\text{HCO}_3^-$ ). Valtamerten pintaosa sekoittuu hitaasti syvempien osien kanssa mahdollistaen pitempiaikaisen hiilen varastoimisen. (Berner 2000)

Hiilidioksidia vapautuu ilmakehään myös metsäpalojen ja tulivuorenpurkauksien yhteydessä sekä sitoutuu hiilidioksidin, veden ja mineraal kivien muodostaessa rapautumalla karbonaatteja (Karttunen et al. 2008).

Hiilen nopeaan kiertoon kuuluu hiilidioksidin vaihto ilmakehän ja biosfäärin sekä valtamerien kesken. Nopea kierto kestää kymmenistä vuosista tuhansiin vuosiin. (Karttunen et al. 2008) Hiilen hidas kierto sisältää karbonaattien muodostumisen, siirtymisen valtamerien pohjaan ja vapautumisen tulivuorenpurkauksien kautta takaisin ilmakehään ja fossiilisten polttoaineiden muodostumisen (Karttunen et al. 2008, Manahan 2010, Laci 2012). Hidas kierto kestää tuhansista miljooniin vuotta (Karttunen et al. 2008).

Ihminen on muuttanut hiilen nopeaa kiertoa muokkaamalla maaperää ja kasvillisuutta sekä ennen kaikkea fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyvillä päästöillä (Karttunen et al. 2008).

### 3.4.2 Typen kierto

Ilmakehästä noin 78 % on alkuainetyyppiä  $N_2$ . Typpimolekyyli on erittäin pysyvä, ja sidoksen katkaisemiseen tarvitaan paljon energiaa. Ilmakehän typpimolekyylit voivat hajota salamoinnin vaikutuksesta, jolloin syntyy typen oksideja. Typen oksidit kulkeutuvat ilmakehästä sateen mukana maan pinnalle. (Manahan 2010)

Alkuainetyyppiä sitoutuu ilmakehästä eliöiden proteiineihin aminotyyppinä. Biomassan hajotessa biologisesti sitoutunut typpi vapautuu. Vapautunut typpi toimii esimerkiksi ravinteena uuden biomassan kasvussa tai sitoutuu fossiilisiin polttoaineisiin. Fossiilisten polttoaineiden käytön myötä typen oksideja vapautuu takaisin ilmakehään. Typpimolekyyli palautuu ilmakehään denitrifikaatioprosessin kautta. (Manahan 2010)

## 3.5 Energiantuotanto

Ihmiskunta on riippuvainen energiasta. Energiaa tarvitaan muun muassa lämmitykseen, ruuanvalmistukseen ja –tuottamiseen, liikkumiseen paikasta toiseen ja teollisuuden käyttöön. (McKinney et al. 2013)

On arvioitu, että ihmiskunnan energiankulutus on nykyisin ainakin 100-kertainen verrattuna esi-isiemme energiankulutukseen. Vuodesta 1965 energiankulutus on noin seitsemänkymmentäkertaistunut. (McKinney et al. 2013)

Energianlähteet voidaan jakaa uusiutuviin ja uusiutumattomiin. Uusiutuvia energianlähteitä ovat esimerkiksi aurinkoenergia, vesivoima, vuorovesienergia, tuulivoima ja maalämpö. Uusiutumattomiksi energianlähteiksi määritellään sellaiset energianlähteet, jotka eivät uusiudu samaa vauhtia kuin mitä niitä käytetään. Esimerkiksi raakaöljy ja hiili ovat uusiutumattomia energianlähteitä. (Pipkin et al. 2008)

Kaikki keskeiset nykyiset energiantuotantotavat kuormittavat ympäristöä. Ympäristövaikutuksia syntyy niin polttoaineen hankinnasta, tuotantolaitoksen rakentamisesta, jätehuollosta kuin tuotantolaitosten purkamisestakin. Lähes kaikista energiamuodoista syntyy haitallisia päästöjä ilmaan, veteen tai maahan. (Hakala & Välimäki 2003)

Käytetyin energianlähde on fossiiliset polttoaineet (Hakala & Välimäki 2003, McKinney et al. 2013). Fossiilisten polttoaineiden esiintymät ovat keskittyneet tietyille alueille, joten niiden hyödyntäminen vaatii muun muassa öljytankkereita, hiilisatamia ja kaasuputkia (Hakala & Välimäki 2003). Fossiilisten polttoaineiden käyttö voimistaa kasvihuoneilmiötä ja happamoitumista. Öljyvahinkojen myötä öljyä pääsee myös vesistöihin ja maaperään. (McKinney et al. 2013)

Koska fossiiliset polttoaineet ovat uusiutumattomia, ne tulevat loppumaan jossakin vaiheessa. Jo ennen loppumista fossiilisten polttoaineiden arvo tulee todennäköisesti olemaan niin korkea, että niitä ei ole kannattavaa käyttää polttoaineena vaan ainoastaan raaka-ainelähteenä esimerkiksi muoviteollisuudessa. (McKinney et al. 2013)

Ydinvoimaloissa tuotettu sähkö ei tuota kasvihuonekaasuja eikä happamoittavia ilmaansaasteita (McKinney et al. 2013). Ydinvoimaloissa tuotettua sähköä pitää kuitenkin siirtää käyttäjille voimalinjoja pitkin (Hakala & Välimäki 2003). Lisäksi ydinvoimaloiden uusiutumattoman polttoaineen hankinta kuormittaa ympäristöä. Samoin radioaktiivisuus itsessään aiheuttaa merkittäviä riskejä ympäristölle, sekä voimalaitoksessa että jätteenkäsittelyssä (Pipkin et al. 2008, McKinney et al. 2013).

Myös uusiutuvien energianlähteiden käytöllä on ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi vesivoiman käyttöön liittyvien tekoaltaiden peittämien maa-alueiden alkuperäinen kasvi- ja eläinlajisto tuhoutuu. Tekoaltaiden alle jäänyt orgaaninen aines mätänee tuottaen metaania, joka voimistaa kasvihuoneilmiötä. Vesivoimalat voivat myös katkaista vaelluskalojen nousun kutujokiin. Tuulivoiman haitalliset ympäristövaikutukset puolestaan liittyvät maisemallisiin tekijöihin. (Hakala & Välimäki 2003)

Ratkaistavana ovat siis ongelmat energialähteiden loppumisesta ja ympäristövaikutuksista. Energiaa säästämällä, parantamalla energiatehokkuutta ja vaihtoehtoisten, uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämismahdollisuuksia kehittämällä voidaan vastata ensin mainittuun ongelmaan. Ympäristövaikutuksia voidaan vähentää päästöjen puhdistamisen lisäksi energiantuotantotekniikoita kehittämällä. (McKinney et al. 2013)

Energiantuotannon hajauttaminen voi myös olla yksi ratkaisusta tulevaisuuden energiaongelmiin. Hajautetussa energiantuotannossa käytettäviä energianlähteitä voisivat olla esimerkiksi puun pienpolto ja aurinkoenergia. Energiantuotannon hajauttaminen vähentää siirtohäviöitä ja siirtoverkkojen tarvetta. Lisäksi raaka-aineet saadaan useimmiten lähialueilta, jolloin kuljetusten ympäristöhaitat jäävät pieniksi. (Hakala & Välimäki 2003, McKinney et al. 2013)

### **3.6 Kestävä kehitys**

Kestävän kehityksen päämääränä on turvata nykyisille ja tuleville sukupolville hyvät elämisen mahdollisuudet. Päämäärään pyritään maailmanlaajuisesti, alueellisesti ja paikallisesti tapahtuvalla jatkuvalla ja ohjatulla yhteiskunnallisella muutoksella. (Ympäristöministeriö 2013)

Kestävä kehitys voidaan jakaa ekologiseen, taloudelliseen sekä sosiaaliseen ja kulttuuriseen kestävyYTEEN (Ympäristöministeriö 2013).

Ekologisella kestävyydellä tarkoitetaan biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien toimivuuden säilyttämistä sekä ihmisen toiminnan sopeuttamista pitkällä aikavälillä luonnon kestokykyyneen. Ekologiseen kestävyYTEEN liittyy varovaisuusperiaate: arvioidaan riskit, haitat ja kustannukset ennen toiminnan aloittamista. Ekologinen kestävyys pitää sisällään myös haittojen synnyn ennalta estämisen ja haittojen torjumisen synty lähteillä. Ekologiseen kestävyYTEEN liittyy myös aiheuttaja maksaa –periaate. (Ympäristöministeriö 2013)

Taloudellisella kestävyydellä tarkoitetaan kasvua, joka ei pitkällä aikavälillä perustu velkaantumiseen tai varantojen hävittämiseen (Ympäristöministeriö 2013).

Sosiaalisen ja kulttuurisen kestävyYden tavoitteena on taata hyvinvoinnin siirtyminen sukupolvelta toiselle. Sosiaalisen ja kulttuurisen kestävyYden haasteita ovat mm. väestönkasvu, köyhyys, ruoka- ja terveydenhuolto, sukupuolten välinen tasa-arvo sekä koulutuksen järjestäminen. Näillä haasteilla on myös vaikutuksia ekologiseen ja taloudelliseen kestävyYTEEN. (Ympäristöministeriö 2013)

Suomen kestäväen kehityksen tavoitteet on kirjattu yhteiskuntasitoumukseen ”Suomi, jonka haluamme 2050” (Ympäristöministeriö 2015A).

## 4 KEHITTÄMISTUTKIMUS

Tämän kehittämistutkimuksen tarkoituksena on kehittää lukion oppikirjasarjoja ympäristökemian sisällön osalta siten, että ne vastaisivat mahdollisimman hyvin LOPS2003:n vaatimuksiin ja palvelisivat opiskelijoita parhaalla mahdollisella tavalla ylioppilaskirjoituksiin valmistautumisessa. Lukio-opetuksen päivitettyjen opetussuunnitelman perusteiden on määrä valmistua syksyllä 2015, hieman tämän kehittämistutkimuksen valmistumisen jälkeen. Ympäristökemia on luonnoksen (14.4.2015) perusteella hyvin edustettuna myös päivitettyissä opetussuunnitelman perusteissa, joten kehittämistutkimuksen tuloksista on varmasti hyötyä myös päivitettyjen opetussuunnitelman perusteiden mukaisia oppikirjoja laadittaessa.

Seuraavissa luvuissa on esitetty kehittämistutkimuksen tutkimuskysymykset ja tutkimuksen toteuttaminen.

### 4.1 Tutkimuskysymykset

Tämä tutkimus pyrkii vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten ympäristökemiaa käsitellään lukion oppikirjasarjoissa?
2. Miten lukion oppikirjasarjat palvelevat ylioppilaskirjoituksiin valmistautumista?
3. Miten lukion oppikirjasarjoja tulisi kehittää?

### 4.2 Kehittämistutkimuksen toteuttaminen

Kehittämistutkimus toteutettiin käymällä läpi neljä lukion oppikirjasarjaa: Kemisti, Mooli, Neon ja Reaktio. LOPS2003 mukaan opiskelleet opiskelijat ovat valmistuneet ylioppilaksi aikaisintaan vuonna 2008. Näin ollen kemian ylioppilastutkintokysymykset käytiin läpi vuosilta 2008 - 2014. Lukion oppikirjasarjoja ja ylioppilastutkintokysymyksiä tarkastelemalla pyrittiin löytämään vastauksia kahteen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen.

Edellä luvussa 3 määriteltyjen ympäristökemian aihepiirien (alkuaineiden kierto, energiantuotanto, veden kemia, ilmakehän kemia, kestävä kehitys sekä ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu) esiintymistä oppikirjasarjoissa tutkittiin selvittämällä oppikirjakohtaisesti kunkin ympäristökemian aihepiirin teoriaan käytetty rivimäärä, aihepiiriin liittyvien tehtävien lukumäärä, esimerkkien lukumäärä, demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä sekä aihepiiriin liittyvien kuvien ja taulukoiden lukumäärä.

Koska rivien leveys oppikirjasarjojen välillä ja myös sisällä vaihteli, määritettiin standardirivinleveys 10 cm. Todelliset rivinleveydet muutettiin standardirivinleveyksiksi. Näin oppikirjasarjat saatiin tekstimäärältään vertailukelpoiseksi toistensa kanssa. Mahdolliset erot oppikirjasarjojen tekstin korkeudessa ja rivivälissä jätettiin ottamatta huomioon, sillä tekstin korkeus ja rivivälit näyttivät silmämääräisesti hyvin samanlaisilta ja standardointi olisi ollut erittäin vaikea ellei mahdoton toteuttaa.

Rivimäärä, tehtävien lukumäärä, esimerkkien lukumäärä, demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä sekä kuvien ja taulukoiden lukumäärä antoivat käsityksen siitä, kuinka laajasti oppikirjasarjoissa ympäristökemian aihepiirejä oli käsitelty, myös suhteessa toisiin oppikirjasarjoihin. Tekstin sisällön osalta keskityttiin tutkimaan sitä, missä laajuudessa luvussa 3 määritellyt ympäristökemian aihepiirit oli mainittu.

Ylioppilastutkintokysymysten osalta tutkittiin sitä, kuinka monta kysymystä vuosina 2008 - 2014 kuhunkin määriteltyyn ympäristökemian aihepiiriin liittyi.

Vertaamalla oppikirjasisältöä ja ylioppilastutkintokysymyksiä keskenään sekä arvioimalla oppikirjojen ympäristökemiaan liittyvän sisällön laajuutta pyrittiin vastaamaan kolmanteen tutkimuskysymykseen.

## 5 TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA

Tässä luvussa on esitetty kehittämistutkimuksen tulokset: miten ympäristökemiaa on käsitelty lukion oppikirjasarjoissa ja miten lukion oppikirjasarjat palvelevat ylioppilaskirjoituksiin valmistautumista. Lukion oppikirjasarjoille annetut kehittämissuositukset on esitetty luvussa 6.

### 5.1 Oppikirjasarjat

#### 5.1.1 Kemisti

Taulukossa 5.1. on esitetty luvussa 3 määriteltyjen ympäristökemian aihepiirien (alkuaineiden kierto, energiantuotanto, veden kemia, ilmakehän kemia, kestävä kehitys sekä ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu) esiintyminen Kemisti – oppikirjasarjassa.

Taulukossa teoriaan käytetty rivimäärä on standardoitu. Liitteessä 1 on esitetty taulukko, jossa jaottelu on esitetty oppikirjakohtaisesti.

Taulukko 5.1. Ympäristökemian esiintyminen Kemisti –oppikirjasarjassa.

| Aihepiiri                                     | Teoriaan käytetty rivimäärä (STD) | Tehtävien lukumäärä | Esimerkkien lukumäärä | Demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä | Kuvien ja Taulukoiden Lukumäärä |
|---|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|--|---------------------------------|
| Ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu | 186                               | 3                   | 0                     | 1  | 3                               |
| Ilmakehän kemia                               | 872                               | 158                 | 1                     | 15   | 118                             |
| Veden kemia                                   | 1495                              | 245                 | 1                     | 55   | 158                             |
| Alkuaineiden kierto                           | 109                               | 3                   | 0                     | 2  | 5                               |
| Energiantuotanto                              | 635                               | 57                  | 1                     | 15   | 50                              |
| Kestävä kehitys                               | 3                                 | 0                   | 0                     | 1  | 0                               |
| <b>Yhteensä</b>                               | <b>3300</b>                       | <b>466</b>          | <b>3</b>              | <b>89</b>  | <b>334</b>                      |

Kemisti –oppikirjasarjassa on yhteensä 751 sivua. Yksi sivu vastaa noin 40 riviä, joten viittauksia ympäristökemiaan on noin 80 sivun verran.

Kemisti –oppikirjasarja käsittelee veden kemian osalta perusteellisesti veden laatuun, talousveteen ja jätevedenkäsittelyyn sekä veden ominaisuuksiin ja –olomuotoihin liittyvät asiat. Veden hydrologinen kierto on selitetty tarkasti. Oppikirjasarja kuvaa aineiden vesiliukoisuutta, käsittelee erilaisia vesiliuoksia, happo-emäsreaktioita, neutraloitumista

sekä vettä lähtöaineena ja reaktiotuotteena erilaisissa kemiallisissa reaktioissa. Happamoitumista on käsitelty laajasti, rehevöitymisestä on kuvattu peruseriaatteet.

Ilmakehän kemian osalta Kemisti –oppikirjasarjassa on käsitelty muun muassa ilman koostumusta ja ilman komponenttien ominaisuuksia. Ilman koostumusta, erityisesti happea, typpeä ja hiilidioksidia on käsitelty myös reaktioiden lähtöaineina ja lopputuotteina. Oppikirjasarjassa on käsitelty perusteellisesti otsonia, otsonikerrosta ja sen heikkenemistä sekä halogenoituja hiilivetyjä. Kasvihuoneilmiön peruseriaate on kuvattu. Ilmastonmuutos ja hiilidioksidipäästöjen vaikutus siihen on käsitelty laajasti. Korroosioon liittyen on useita viittauksia. Ilmansuojelusta, muun muassa typen päästöistä ja katalyysaattoreista on useita mainintoja.

Energiantuotantoon liittyen oppikirjasarjassa on käsitelty erilaisia polttoaineita, sekä fossiilisia että uusiutuvia ja biopolttoaineita. Myös uusiin energiantuotantomenetelmiin ja ydinvoimaan liittyen on runsaasti mainintoja. Fossiilisten polttoaineiden synty tapa on kuvattu, kuin myös fossiilisten polttoaineiden vaikutus ilmastonmuutokseen. Myös palamisreaktioita ja bensiinin liuotinominaisuuksia on käsitelty.

Alkuaineiden kiertoa on käsitelty perusteellisesti, erityisesti hiilen ja typen osalta. Ympäristönsuojelun osalta kierrätys, erityisesti metallien ja muovien, on saanut huomattavan paljon mainintoja. Oppikirjasarjassa käytetään termiä ”vihreä kemia” ja oppikirjasarjassa on maininta elinkaarianalyysistä.

### 5.1.2 Mooli

Luvussa 3 määriteltyjen ympäristökemian aihepiirien esiintyminen Mooli –oppikirjasarjassa on esitetty taulukossa 5.2. Taulukossa teoriaan käytetty rivimäärä on standardoitu. Liitteenä 2 on taulukko, jossa jaottelu on esitetty oppikirjakohtaisesti.

Taulukko 5.2. Ympäristökemian esiintyminen Mooli –oppikirjasarjassa.

| Aihepiiri                                     | Teoriaan käytetty rivimäärä (STD) | Tehtävien lukumäärä | Esimerkkien lukumäärä | Demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä | Kuvien ja Taulukoiden Lukumäärä |
|---|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|--|---------------------------------|
| Ympäristön pilaantumisen ja ympäristönsuojelu | 180                               | 24                  | 1                     | 1  | 5                               |
| Ilmakehän kemia                               | 1006                              | 236                 | 36                    | 22   | 90                              |
| Veden kemia                                   | 1854                              | 368                 | 61                    | 77   | 140                             |
| Alkuaineiden kierto                           | 27                                | 3                   | 0                     | 1  | 2                               |
| Energiantuotanto                              | 831                               | 74                  | 10                    | 11   | 49                              |
| Kestävä kehitys                               | 43                                | 0                   | 0                     | 0  | 2                               |
| <b>Yhteensä</b>                               | <b>3941</b>                       | <b>705</b>          | <b>108</b>            | <b>112</b>                                       | <b>288</b>                      |



Mooli –oppikirjasarjassa on yhteensä 923 sivua. Yksi sivu vastaa noin 40 riviä, joten viittauksia ympäristökemiaan on noin 100 sivun verran.

Mooli –oppikirjasarjassa veden kemian osalta on käsitelty muun muassa veden olomuotoja ja –ominaisuuksia, aineiden liukoisuutta veteen ja erilaisia vesiliuoksia, happo-emäsreaktioita, neutraloitumista, vedenlaatua sekä vettä lähtöaineena ja reaktiotuotteena erilaisissa kemiallisissa reaktioissa. Oppikirjasarjassa on käsitelty laajasti happamoitumista. Rehevöitymisestä on kuvattu peruseriaatteen. Veden hydrologinen kierto jää oppikirjasarjassa melko vähälle huomiolle ja veden käsittelystä on vain muutamia mainintoja.

Ilmakehän kemian osalta Mooli –oppikirjasarjassa on käsitelty muun muassa ilman koostumusta ja ilman komponenttien ominaisuuksia. Erityisesti happea, typpeä ja hiilidioksidia on käsitelty myös reaktioiden lähtöaineina ja lopputuotteina. Oppikirjasarjassa on käsitelty halogenoituja hiilivetyjä, ilmansaasteita ja ilmakehän koostumusta. Korroosiota on käsitelty laajasti. Ilmansuojelusta, muun muassa typen päästöistä ja katalysaattoreista on useita mainintoja. Ilmastomuutos, otsonikato ja kasvihuoneilmiö on mainittu lyhyesti. Kasvihuoneilmiön mekanisme ei ole kuvattu.

Energiantuotantoon liittyen oppikirjasarjassa on käsitelty erilaisia polttoaineita, sekä fossiilisia että uusiutuvia ja biopolttoaineita. Myös palamisreaktioita on käsitelty.

Alkuaineiden kiertoon liittyen oppikirjasarjassa ei juuri ole mainintoja. Muun muassa fossiilisten polttoaineiden muodostuminen on jätetty huomiotta. Ympäristönsuojelulliset asiat ja kestävä kehitys ovat saaneet jonkin verran mainintoja.

### **5.1.3 Neon**

Taulukossa 5.3. on esitetty luvussa 3 määriteltyjen ympäristökemian aihepiirien esiintyminen Neon –oppikirjasarjassa.

Taulukossa teoriaan käytetty rivimäärä on standardoitu. Liitteenä 3 on taulukko, jossa jaottelu on esitetty oppikirjakohtaisesti.

Taulukko 5.3. Ympäristökemian esiintyminen Neon –oppikirjasarjassa.

| Aihepiiri                                     | Teoriaan käytetty rivimäärä (STD) | Tehtävien lukumäärä | Esimerkkien lukumäärä | Demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä | Kuvien ja taulukoiden lukumäärä |
|---|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|--|---------------------------------|
| Ympäristön pilaantumisen ja ympäristönsuojelu | 325                               | 9                   | 0                     | 0  | 8                               |
| Ilmakehän kemia                               | 949                               | 174                 | 35                    | 16   | 89                              |
| Veden kemia                                   | 1374                              | 264                 | 50                    | 63   | 113                             |
| Alkuaineiden kierto                           | 90                                | 3                   | 0                     | 0  | 5                               |
| Energiantuotanto                              | 891                               | 69                  | 5                     | 7  | 42                              |
| Kestävä kehitys                               | 54                                | 3                   | 0                     | 0  | 3                               |
| <b>Yhteensä</b>                               | <b>3683</b>                       | <b>522</b>          | <b>90</b>             | <b>86</b>  | <b>260</b>                      |

Neon –oppikirjasarjassa on yhteensä 955 sivua. Yksi sivu vastaa noin 40 riviä, joten ympäristökemiaan liittyviä mainintoja on reilun 90 sivun verran.

Neon –oppikirjasarjassa veden kemian osalta on käsitelty muun muassa veden ominaisuuksia ja –olomuotoja, aineiden liukoisuutta veteen ja erilaisia vesiliuoksia, happo-emäsreaktioita ja neutraloitumista. Vettä on kuvattu lähtöaineena ja reaktiotuotteena erilaisissa kemiallisissa reaktioissa. Talousveden laatuun, talousveden valmistukseen ja jätevedenkäsittelyyn samoin kuin happamoitumiseen on kiinnitetty runsaasti huomiota. Rehevöitymistä on sivuttu ohimennen. Veden hydrologinen kierto jää oppikirjasarjassa melko vähälle huomiolle.

Ilmakehän kemian osalta Neon –oppikirjasarjassa on käsitelty muun muassa ilman koostumusta ja ilman komponenttien ominaisuuksia. Ilman komponentteja, erityisesti happea, typpeä ja hiilidioksidia on käsitelty myös reaktioiden lähtöaineina ja lopputuotteina. Oppikirjasarjassa on kuvattu, mitä kasvihuoneilmiö ja kasvihuoneilmiön voimistuminen tarkoittaa. Kasvihuoneilmiöön liittyen on runsaasti tehtäviä. Myös ilmastonmuutosta on käsitelty jonkin verran. Otsonia ja siihen liittyviä ongelmia, samoin kuin korroosiota on käsitelty laajasti. Ilmansuojelusta, muun muassa typen päästöistä ja katalysaattoreista on useita mainintoja.

Energiantuotantoa on käsitelty laajasti. Fossiilisten polttoaineiden muodostuminen on kuvattu. Samoin fossiilisten polttoaineiden käyttöön liittyviä monenlaisia ympäristöongelmia on käsitelty. Myös uusiutuviin polttoaineisiin, biopolttoaineisiin, uusiin energiantuotantomenetelmiin ja ydinvoimaan liittyen on reilusti mainintoja. Myös erilaisia palamisreaktioita on käsitelty.

Ympäristön pilaantumiseen ja ympäristönsuojeluun liittyen oppikirjasarjassa on melko runsaasti tekstiä. Oppikirjasarjassa käytetään termiä ”vihreä kemia”, ja siihen liittyen on useita mainintoja. Myös biohajoavuuteen, jätteiden käsittelyyn ja kierrätykseen on keskitytty tässä oppikirjasarjassa.

Alkuaineiden, lähinnä hiilen ja typen, kiertoa on käsitelty perusteellisesti. Kestävä kehitys on jäänyt tutkituista aihepiireistä vähimmille maininnoille. Mainittavaa on, että oppikirjasarja esittelee käsitteen ”ekologinen selkäreppu”.

#### 5.1.4 Reaktio

Taulukossa 5.4. on esitetty luvussa 3 määriteltyjen ympäristökemian aihepiirien esiintyminen Reaktio –oppikirjasarjassa. Taulukossa teoriaan käytetty rivimäärä on standardoitu. Liitteenä 4 on taulukko, jossa jaottelu on esitetty oppikirjakohtaisesti.

Taulukko 5.4. Ympäristökemian esiintyminen Reaktio –oppikirjasarjassa.

| Aihepiiri                                     | Teoriaan käytetty rivimäärä (STD) | Tehtävien lukumäärä | Esimerkkien lukumäärä | Demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä | Kuvien ja taulukoiden lukumäärä |
|---|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|--|---------------------------------|
| Ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu | 72                                | 8                   | 2                     | 0  | 10                              |
| Ilmakehän kemia                               | 653                               | 151                 | 22                    | 8  | 64                              |
| Veden kemia                                   | 1205                              | 280                 | 37                    | 38   | 138                             |
| Alkuaineiden kierto                           | 108                               | 15                  | 1                     | 2  | 9                               |
| Energiantuotanto                              | 467                               | 58                  | 8                     | 5  | 39                              |
| Kestävä kehitys                               | 8                                 | 0                   | 0                     | 0  | 0                               |
| <b>Yhteensä</b>                               | <b>2513</b>                       | <b>512</b>          | <b>70</b>             | <b>53</b>  | <b>260</b>                      |

Reaktio –oppikirjasarjassa on yhteensä 908 sivua. Yksi sivu vastaa noin 40 riviä, joten viittauksia ympäristökemiaan on reilun 60 sivun verran.

Reaktio –oppikirjasarjassa veden kemian osalta on käsitelty muun muassa veden olemuotoja ja –ominaisuuksia, aineiden liukoisuutta veteen, erilaisia vesiliuoksia, happo-emäsreaktioita sekä neutraloitumista. On käsitelty luonnonvesiä, vedenlaatua sekä vettä lähtöaineena ja reaktiotuotteena erilaisissa kemiallisissa reaktioissa. Oppikirjasarjassa on kuvattu happamoitumisen ja rehevöitymisen peruseriaatteet. Veden hydrologinen kierto ja veden käsittely jää oppikirjasarjassa melko vähälle huomiolle.

Ilmakehän kemian osalta Reaktio –oppikirjasarjassa on käsitelty muun muassa ilman koostumusta ja ilman komponenttien ominaisuuksia. Ilman komponentteja, erityisesti happea ja hiilidioksidia on käsitelty myös reaktioiden lähtöaineina ja lopputuotteina. Oppikirjasarjassa on käsitelty halogenoituja hiilivetyjä, niiden vaikutusta otsonikerroksen ohenemiseen, ilmansaasteita ja ilmakehän koostumusta. Ilmastonmuutos ja kasvihuoneilmiö on mainittu lyhyesti. Kasvihuoneilmiön mekanismia ei ole kuvattu.

Energiantuotantoon liittyen oppikirjasarjassa on kuvattu erilaisia polttoaineita, sekä fossiilisia että uusiutuvia ja biopolttoaineita. Myös palamisreaktioita on käsitelty.

Alkuaineiden kiertoon liittyen oppikirjasarjassa on esitetty typen kierto maapallolla. Fotosynteesistä on useita mainintoja, mutta laajempi hiilenkierto, muun muassa fossiilisten polttoaineiden muodostuminen on jätetty huomiotta. Kestävään kehitykseen ja ympäristönsuojeluun liittyen kirjasarjassa on vain muutamia mainintoja.

### 5.1.5 Oppikirjasarjojen sisältö suhteessa valittuihin ympäristökemian aihepiireihin

Tarkasteltaessa taulukoita 5.1 – 5.4 huomataan, että ympäristökemiaan liittyen on kaikissa oppikirjasarjoissa huomioitu laajimmin veden ja ilmakehän kemia sekä energiantuotanto. Järjestys on sama sekä teoriaan käytetyissä rivimäärissä, tehtävien lukumäärissä, esimerkkien lukumäärissä, demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärissä että kuvien ja taulukoiden lukumäärissä. Veden kemiaan liittyvien mainintojen runsaus on odotettua, koska vesi on kemiassa osallisena niin monissa asioissa. Samoin ilmakehään ja energiantuotantoon liittyy monenlaisia kemiallisia reaktioita.

Alkuaineiden kiertoon, kestävään kehitykseen sekä ympäristön pilaantumiseen ja ympäristönsuojeluun on keskitytty oppikirjassa edellä mainittuja aihepiirejä huomattavasti vähäisemmin. Kestävä kehitys, samoin kuin ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu aihepiireinä ovat ilmakehän kemiaa, veden kemiaa ja energiantuotantoa huomattavasti vähemmän varsinaisesti kemiaan liittyviä, joten se selittää vähäisempiä mainintoja.

Taulukossa 5.5 on esitetty yhteenveto ympäristökemian esiintymisestä tutkituissa oppikirjasarjoissa.

Taulukko 5.5. Ympäristökemian esiintyminen tutkituissa oppikirjasarjoissa.

| Kirjasarja | Teoriaan käytetty rivimäärä (STD) | Tehtävien lukumäärä | Esimerkkien lukumäärä | Demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä | Kuvien ja taulukoiden lukumäärä |
|------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|--|---------------------------------|
| Kemisti    | 3300                              | 466                 | 3                     | 89   | 334                             |
| Mooli      | 3941                              | 705                 | 108                   | 112  | 288                             |
| Neon       | 3683                              | 522                 | 90                    | 86   | 260                             |
| Reaktio    | 2513                              | 512                 | 70                    | 53   | 260                             |

Ympäristökemian esiintyminen näyttää olevan tutkituissa oppikirjasarjoissa teoriaan käytettyjen rivimäärien, tehtävien, esimerkkien, demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärän sekä kuvien ja taulukoiden lukumäärän avulla mitattuna hyvin samalla tasolla. Reaktio –oppikirjasarjassa teoriaan käytetty rivimäärä on muita oppikirjasarjoja

huomattavasti suppeampi, samoin kuin demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä. Kemisti –oppikirjasarjassa ei juuri ole esimerkkejä, ei ympäristökemiaan eikä muihinkaan kemian osa-alueisiin liittyen.

Luvussa 3 määritellyt aihepiirit olivat suurimmalta osin jollakin tasolla edustettuna kaikissa oppikirjasarjoissa. Ympäristökemiaan liittyvässä sisällössä oli huomattavissa painotuseroja oppikirjasarjojen välillä. Suurimmat puutteet oppikirjasarjojen sisällössä, luvussa 3 määriteltyihin aihepiireihin nähden, olivat alkuaineiden kierron, veden hydrologisen kierron, rehevöitymisen, ilmastonmuutoksen, otsonikadon, kasvihuoneilmaston ja fossiilisten polttoaineiden muodostumisen käsittelyssä. Kestävä kehitys –termiä ei ollut määritelty yhdessäkään oppikirjasarjassa.

Kemisti –oppikirjasarjassa ympäristökemiaan liittyvät asiat on esitetty pääasiassa omina laajakhoina kokonaisuuksinaan, erillään muusta materiaalista. Kaikissa muissa tutkituissa oppikirjasarjoissa ympäristökemiaan liittyvät asiat on esitetty suurelta osin muun tekstin seassa, ikään kuin käytännön esimerkkeinä kyseisestä asiasta.

Ympäristökemiaan liittyviä tehtäviä on kaikissa oppikirjasarjoissa runsaasti. Lisäksi ympäristökemian asioita on käsitelty lisää ylikurssiaines –osioissa, erityisesti kirjasarjoissa Mooli, Neon ja Reaktio. Pohtimisen arvoista on, jääkö ylikurssiaines opiskelijoilta lukematta.

### **5.1.6 Oppikirjasarjojen sisältö suhteessa opetussuunnitelman perusteisiin**

Arvioitaessa tutkittuja oppikirjasarjoja suhteessa opetussuunnitelman perusteisiin (LOPS2003), voidaan todeta, että oppikirjasarjat vastaavat vaatimuksiin pääpiirteissään hyvin. Joitakin puutteita on kuitenkin löydettävissä. Kestävän kehityksen perusasiat on esitetty kevyesti kaikissa oppikirjasarjoissa. Samoin energian säästämiseen ei juuri ole keskitytty. Ympäristövaikutusten arviointiin käytettyjä menetelmiä ei ole kirjasarjoissa esitetty.

Jos ajatellaan LOPS2016 mukanaan tuomia uusia tai muuttuneita tavoitteita, oppikirjasarjoissa tulisi keskittyä nykyistä enemmän käsitteeseen kestävä kehitys, samoin kuin ilmastonmuutokseen,

## **5.2 Kemian ylioppilastutkintokysymykset**

Taulukossa 5.6 on esitetty luvussa 3 määriteltyjen ympäristökemian aihepiirien esiintyminen kemian ylioppilastutkintokysymyksissä vuosina 2008 - 2014. Kemian ylioppilastutkintokokeessa on 12 kysymystä. Taulukosta 5.6 huomataan, että joinakin vuosina ympäristökemiaan liittyviä kysymyksiä näyttäisi olleen enemmän kuin 12 kappaletta.

Tämä johtuu siitä, että yhdessä kysymyksessä voi olla viittauksia useampaan ympäristökemian aihepiiriin. Esimerkiksi kevään 2014 ylioppilastutkintokysymys numero 3, ”*Orgaaninen yhdiste sisältää vain hiiltä, vetyä ja happea. Kun 0,240 g yhdistettä poltettiin, syntyi täydellisessä palamisreaktiossa 0,352 g hiilidioksidia ja 0,144 g vettä...*”, liittyy sekä veden kemiaan, ilmakehä kemiaan että energiantuotantoon.

Taulukko 5.6. Ympäristökemia kemian ylioppilastutkintokysymyksissä vuosina 2008 - 2014.

| Aihepiiri                                     | K08       | S08       | K09       | S09       | K10       | S10       | K11       | S11       | K12       | S12       | K13       | S13       | K14       | S14       | Yht. |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| Ympäristön pilaantumisen ja ympäristönsuojelu | 0         | 1         | 1         | 0         | 1         | 0         | 0         | 2         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 6    |
| Ilmakehän kemia                               | 5         | 2         | 3         | 4         | 4         | 3         | 2         | 6         | 3         | 4         | 2         | 7         | 4         | 4         | 53   |
| Veden kemia                                   | 5         | 6         | 6         | 8         | 7         | 7         | 8         | 7         | 5         | 8         | 9         | 4         | 7         | 7         | 94   |
| Alkuaineiden kierto                           | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 1    |
| Energiantuotanto                              | 2         | 1         | 2         | 2         | 2         | 1         | 2         | 4         | 2         | 1         | 1         | 1         | 3         | 1         | 25   |
| Kestävä kehitys                               | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0    |
| <b>Yhteensä</b>                               | <b>12</b> | <b>10</b> | <b>12</b> | <b>14</b> | <b>14</b> | <b>11</b> | <b>12</b> | <b>19</b> | <b>10</b> | <b>13</b> | <b>12</b> | <b>12</b> | <b>15</b> | <b>13</b> |      |

Lyhenne KXX tarkoittaa kevättä 20XX ja SXX syksyä 20XX, esimerkiksi K10 tarkoittaa kevättä 2010.

Huomataan, että kemian ylioppilastutkintokokeissa vuosina 2008 - 2014 eniten kysymyksiä on esitetty veden kemiaan liittyen. Toiseksi eniten on kysytty ilmakehän kemiasta ja kolmanneksi eniten energiantuotannosta. Muista luvussa 3 määritellyistä aihepiireistä on ollut huomattavasti vähemmän kysymyksiä.

Lukumäärällisesti kaikkein eniten, useita kymmeniä, kysymyksiä oli vedestä reaktion lähtöaineena tai lopputuotteena sekä erilaisten aineiden liukoisuudesta veteen. Vesinäytteen analysoinnista oli kaksi kysymystä, rehevöitymisestä samoin kaksi kysymystä ja jäteveden käsittelystä neljä kysymystä. Edellä mainittujen lisäksi oli yksittäisiä kysymyksiä muun muassa talousveden valmistukseen, veden laatuun, veden olomuotoihin ja korroosioon liittyen. Lannoitteista oli kuusi kysymystä.

Ilmakehän kemia –aihepiiriin liittyviä kysymyksiä eniten oli typestä, hapestä ja hiilidioksidista reaktion lähtöaineina tai lopputuotteina. Näiden lisäksi CFC-yhdisteisiin liittyen oli viisi kysymystä ja typen ja rikin oksideihin liittyen kuusi kysymystä.

Energiantuotantoa käsittelevissä kysymyksissä kahdeksan koski palamisreaktioita. Galvaanista kennoa koskevia kysymyksiä oli neljä ja erilaisia polttoaineita koskevia kysymyksiä oli kahdeksan. Lisäksi aihepiiriin liittyviä yksittäisiä kysymyksiä oli muun muassa öljynjalostuksesta ja bensiinistä liuottimena.

Ympäristönsuojeluun liittyvät kysymykset koskivat pääasiassa kierrätystä ja muoveja. Alkuaineiden kierto liittyvä kysymys koski yhteyttämistä.

### **5.2.1 Oppikirjasarjojen sisältö suhteessa ylioppilastutkintokysymyksiin vuosina 2008 - 2014**

Oppikirjasarjoissa eniten mainintoja oli veden kemiaan, ilmakehän kemiaan ja energiantuotantoon liittyen. Ylioppilastutkintokysymyksissä järjestys oli sama: eniten kysymyksiä oli esitetty veden kemiasta, toiseksi eniten ilmakehän kemiasta ja kolmanneksi eniten energiantuotannosta.

Ylioppilastutkintokysymysten aiheet olivat suurimmaksi osaksi sellaisia, että niitä oli käsitelty myös oppikirjasarjoissa. Huomionarvoista oli, että talousveden valmistukseen ja jätevedenkäsittelyyn liittyen ylioppilastutkintokysymyksissä oli yllättävän monta kysymystä. Tämä osa-alue oli jäänyt joissakin oppikirjasarjoissa kuitenkin melko vähälle huomiolle.

## **5.3 Tulosten luotettavuus ja virhelähteiden arviointi**

Tulkittaessa kappaleissa 5.1 ja 5.2 esitettyjä ympäristökemian esiintymisiä lukion kemian oppikirjasarjoissa ja ylioppilastutkintokysymyksissä tulee huomata, että kyseessä on vain yksi tulkinta asiasta.

Ympäristökemia on laaja kokonaisuus, josta tässä tutkimuksessa on otettu huomioon luvussa 3 esitetyt aihepiirit. Luvuissa 5.1 ja 5.2 esitetty ympäristökemian esiintyminen lukion kemian oppikirjasarjoissa on edellä mainitun lisäksi kirjoittajan tulkinta siitä, mitkä asiat oppikirjoissa luokitellaan kuhunkin aihepiiriin. Koska tekstin tulkinta on subjektiivista, jonkun toisen tulkitsemana tulokset voisivat näyttää jonkin verran toiselta. Esimerkiksi, yksi tulkitsee palamista kuvaavan reaktioyhtälön kuuluvaksi aihepiiriin energiantuotanto, toinen energiantuotannon lisäksi aihepiiriin ilmakehän kemia ja kolmas näiden kahden lisäksi myös aihepiiriin veden kemia.

Tässä tutkimuksessa kaikki oppikirjat on käyty läpi saman henkilön toimesta, joten kaikkia oppikirjoja ja oppikirjasarjoja on käsitelty samalla tavalla. Näin ollen ympäristökemiaan kuulumista ja jaottelua sen eri aihepiirien välillä voidaan pitää tässä tutkimuksessa kaikkien oppikirjojen ja oppikirjasarjojen osalta yhdenmukaisena.

## 6 KEHITTÄMISEHDOTUKSET

Jotta lukion kemian oppikirjat vastaisivat mahdollisimman hyvin opetussuunnitelman perusteiden ja ylioppilastutkinnon vaatimuksiin, oppikirjoja päivitettäessä tulisi kiinnittää huomiota seuraavien aihepiirien esiintymiseen oppikirjoissa:

- Fossiilisten polttoaineiden synty
- Kasvihuoneilmiö
- Ilmastonmuutos
- Otsonikato
- Kestävä kehitys
- Energian säästäminen
- Ympäristövaikutusten arviointi
- Rehevöityminen
- Vedenkäsittely (talousvesi ja jätevesi)
- Veden hydrologinen kierto
- Alkuaineiden kierto

Fossiilisten polttoaineiden osalta tulisi esittää syntymekanismin lisäksi myös fossiilisten polttoaineiden liittyminen hiilen kiertoon sekä fossiilisten polttoaineiden käyttöön liittyviä ympäristöongelmia. Kasvihuoneilmioista tulisi kuvata ilmiön periaate, mainita kasvihuoneilmiön välttämättömyys elämälle sekä käsitellä kasvihuoneilmiötä voimistavia tekijöitä ja kasvihuoneilmiön voimistumiseen liittyviä ongelmia.

Ilmastonmuutoksesta tulisi kuvata ilmastonmuutoksen syitä ja seurauksia sekä yksittäisen ihmisen vaikutusmahdollisuuksia ilmastonmuutoksen lieventämiseen. Otsonikatoon liittyen tulisi esittää myös otsonikadon syitä ja seurauksia.

Kestävä kehitys –termi tulisi selittää perusteellisesti. Kestävän kehityksen mukaisesta elämäntavasta tulisi esittää esimerkkejä. Energian säästämiseen liittyen tulisi käsitellä sekä energiaa säästäviä tuotantomenetelmiä että kannustaa opiskelijoita energian säästämiseen omassa arjessaan. Ympäristövaikutusten arvioinnin osalta olisi hyvä kertoa lyhyesti YVA-menettelystä.

Rehevöitymisestä tulisi kuvata rehevöitymiseen vaikuttavia tekijöitä, rehevöitymisen aiheuttamia ympäristöongelmia sekä keinoja, joilla rehevöitymistä voidaan välttää tai



hoitaa. Talousveden valmistusprosessi ja jätevedenkäsittelyprosessi tulisi kuvata lyhyesti. Erityisesti kemiallisiin yksikköoperaatioihin tulisi kiinnittää huomiota.

Veden hydrologisesta kierrosta tulisi kertoa vähintään peruseriaate: haihdunta, sadanta, valunta ja pohjaveden muodostuminen. Alkuaineiden kierroista tulisi käsitellä hiilen ja typen kierrot. Sekä veden hydrologisesta kierrosta että alkuaineiden kierrosta olisi hyödyllistä esittää asiaa havainnollistavat kuvat.

Edellä mainitut asiat tulisi esittää perustekstissä, ei ylikurssiaineksessa.

## 7 YHTEENVETO

Tässä työssä perehdyttiin ympäristökemiaan lukion oppikirjasarjoissa. Tutkittavat oppikirjasarjat olivat Kemisti, Mooli, Neon ja Reaktio.

Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003 antaa määräyksiä lukio-opetuksen sisällöstä. Määräykset eivät ole kovin yksityiskohtaisia, pikemminkin suuntaa antavia. Esitettyjen suuntaviivojen perusteella tässä tutkimuksessa ympäristökemia rajattiin käsittämään seuraavat kuusi aihepiiriä: alkuaineiden kierto, ilmakehän kemia, veden kemia, energiantuotanto, kestävä kehitys sekä ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu.

Työssä tutkittiin edellä mainittujen aihepiirien esiintymistä lukion kemian oppikirjoissa: tekstissä, tehtävissä, esimerkeissä, kuvissa ja taulukoissa sekä demonstraatioissa ja laboratoriotöissä. Myös ko. aihepiirien esiintyminen vuosien 2008 - 2014 ylioppilastutkintokysymyksissä selvitettiin.

Oppikirjasisältöjä verrattiin sekä lukion opetussuunnitelman perusteiden 2003 antamiin suuntaviivoihin että ylioppilastutkintokysymyksiin. Oppikirjasisältöjä verrattiin myös lukion opetussuunnitelman perusteiden 2016 –luonnoksen antamiin suuntaviivoihin. Vertailun perusteella laadittiin lukion kemian oppikirjasarjoille kehittämisehdotuksia. LOPS2016 on tarkoitus ottaa käyttöön syksyllä 2016, minkä johdosta lukion kemian oppikirjasarjoja tulee päivittää.

Jotta lukion kemian oppikirjat vastaisivat mahdollisimman hyvin opetussuunnitelman perusteiden ja ylioppilastutkinnon vaatimuksiin, oppikirjoja päivitettäessä tulisi kiinnittää huomiota seuraavien aihepiirien esiintymiseen oppikirjoissa:

- fossiilisten polttoaineiden synty
- kasvihuoneilmiö
- ilmastonmuutos
- otsonikato
- kestävä kehitys
- energian säästäminen
- ympäristövaikutusten arviointi
- rehevöityminen
- vedenkäsittely (talousvesi ja jätevesi)
- veden hydrologinen kierto

- alkuaineiden kierto

Edellä mainitut asiat tulisi esittää perustekstissä, ei ylikurssiaineuksessa.

Edellä mainittua pitkähköä listaa lukiessa tulee ottaa huomioon, että oppikirjat eivät suinkaan ole ainoa tiedonlähde nykyaikaisessa opetuksessa. Todennäköisesti suurin osa opettajista täydentää oppikirjoissa esiintyviä tietoja muilla tiedonlähteillä ja opetusmenetelmillä. Ympäristökemia on osa-alue, josta löytyy paljon ajankohtaista tietoa oppikirjojen ulkopuoleltakin.

Oppikirjojen päivitystarvetta voitaisiin selvittää tarkemmin esimerkiksi tekemällä kyselytutkimus, jossa abiturienteilta kysyttäisiin, mistä ympäristökemian osa-alueesta he olisivat mielestään tarvinneet enemmän tietoa. Otoksen pitäisi olla melko suuri, sillä aiheessa on varmasti koulu- ja opettajakohtaisiaakin eroja. Koska päivitettyjen lukion opetus suunnitelman perusteiden mukaan laaditut opetussuunnitelmat ja uusien opetussuunnitelmien mukaiset oppikirjat on tarkoitus ottaa käyttöön jo viimeistään 1.8.2016, kyselytutkimuksen tekeminen, mikäli sellainen tehdään, mennee vasta seuraavalle oppikirjojen päivityskierrokselle.

## LÄHTEET

Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. & Vakkilainen, K.-M. 2012. Kemisti 1. Ihmisen ja elinympäristön kemia. 1.-3. painos. Helsinki. Sanoma Pro Oy. 156 s.

Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. & Vakkilainen, K.-M. 2009. Kemisti 2. Kemian mikromaailma. 1.-2. painos. Helsinki. WSOYpro Oy. 153 s.

Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. & Vakkilainen, K.-M. 2008A. Kemisti 3. Reaktiot ja energia. 1.-2. painos. Helsinki. WSOY. 156 s.

Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. & Vakkilainen, K.-M. 2008B. Kemisti 4. Metallit ja materiaalit. 1.-2. painos. Helsinki. WSOY Oppimateriaalit Oy. 156 s.

Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. & Vakkilainen, K.-M. 2007. Kemisti 5. Reaktiot ja tasapaino. 1. painos. Helsinki. WSOY Oppimateriaalit Oy. 130 s.

Berner, E.K. 2000. Global warming. AccessScience, McGraw Education, LLC. [WWW]. [Viitattu 17.5.2015]. Saatavissa: <http://www.accessscience.com.libproxy.tut.fi/content/global-warming/YB000740>.

Geologian tutkimuskeskus. 2015. Pohjavesi. [WWW]. [Viitattu 28.5.2015.] Saatavissa: <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/pohjavesi/>

Hakala, H. & Välimäki, J. 2003. Ympäristön tila ja suojele Suomessa. Suomen Ympäristökeskus. Gaudeamus Kirja. 446 s.

Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. 2008A. Lukion kemia. Neon 1. Ihmisen ja elinympäristön kemia. 1.-2. painos. Helsinki. Edita.192 s.

Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. 2005. Lukion kemia. Neon 2. Kemian mikromaailma. Helsinki. Edita.192 s.

Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. 2007. Lukion kemia. Neon 3. Reaktiot ja energia. 1.-2. painos. Helsinki. Edita.190 s.

Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. 2008B. Lukion kemia. Neon 4. Metallit ja materiaalit. 1.-2. painos. Helsinki. Edita.192 s.

Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. 2008C. Lukion kemia. Neon 5. Reaktiot ja tasapaino. 1.-2. painos. Helsinki. Edita.189 s.

Hartmann, D.L. 2014. Climatology. AccessScience, McGraw Education, LLC. [WWW]. [Viitattu 17.5.2015]. Saatavissa: <http://www.accessscience.com.libproxy.tut.fi/content/climatology/140700>.

Houghton, J. 2002. The Physics of Atmospheres. Third edition. Cambridge University Press. 320 p.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntayhtymä (HSY). 2015. Juomavesi ja vedenlaatu. [WWW]. [Viitattu 28.5.2015]. Saatavissa: <https://www.hsy.fi/fi/asukkaalle/kodinvesiasiat/juomavesi/Sivut/default.aspx>

Ilmatieteen laitos. 2015A. Ilmakehän kerrokset. [WWW]. [Viitattu 24.5.2015]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-ja-saailmiot>

Ilmatieteen laitos. 2015B. Otsoni. [WWW]. [Viitattu 24.5.2015]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/otsoni>

Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. 2012. Lukion kemia. Reaktio 1. Ihmisen ja elinympäristön kemia. 1.-6. painos. Helsinki. Sanoma Pro Oy. 168 s.

Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. 2012B. Lukion kemia. Reaktio 2. Kemian mikromaailma. 1.-3. painos. Helsinki. Sanoma Pro Oy. 176 s.

Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. 2012C. Lukion kemia. Reaktio 3. Reaktiot ja energia. 1.-2. painos. Helsinki. Sanoma Pro Oy. 192 s.

Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. 2012D. Lukion kemia. Reaktio 4. Metallit ja materiaalit. 4., uudistettu painos. Helsinki. Sanoma Pro Oy. 188 s.

Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. 2012E. Lukion kemia. Reaktio 5. Reaktiot ja tasapaino. 1.-3. painos. Helsinki. Sanoma Pro Oy. 184 s.

Karttunen, H., Koistinen, J., Saltikoff, E. & Manner, O. 2008. Ilmakehä, sää ja ilmasto. Helsinki. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry. 497 s.

Lacis, A.A. 2014. Greenhouse effect. AccessScience, McGraw Education, LLC. [WWW]. [Viitattu 17.5.2015]. Saatavissa: <http://www.accessscience.com.libproxy.tut.fi/content/greenhouse-effect/299800>.

Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. 2012A. Mooli 1. KE1. Ihmisen ja elinympäristön kemia. 1.-5. painos. Keuruu. Kustannusosakeyhtiö Otava. 189 s.

Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. 2012B. Mooli 2. KE2. Kemian mikromaailma. 2.-9. painos. Keuruu. Kustannusosakeyhtiö Otava. 191 s.

Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. 2013A. Mooli 3. KE3. Reaktiot ja energia. 1.-8. painos. Keuruu. Kustannusosakeyhtiö Otava. 175 s.

Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. 2013B. Mooli 4. KE4. Metallit ja materiaalit. 1.-7. painos. Keuruu. Kustannusosakeyhtiö Otava. 205 s.

Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. 2011. Mooli 5. KE5. Reaktiot ja tasapaino. 1.-5. painos. Keuruu. Kustannusosakeyhtiö Otava. 163 s.

Madigan, M.T., Martinko, J.M. & Parker, J. 1997. Brock. Biology of Microorganisms. Eight edition. Prentice Hall International, Inc. 986 p.

Manahan, S.E. 2010. Environmental Chemistry. 9<sup>th</sup> edition. CRC Press. 753 p.

McKinney, M.L., Schoch, R.M. & Yonavjak, L. 2013. Environmental Science. Systems and Solutions. Fifth edition. Jones & Bartlett Learning. 694 s.

Niemelä, J., Furman, E., Halkka, A., Hallanaro, E.-L. & Sorvari, S. (toim.). 2011. Ihminen ja Ympäristö. Gaudeamus Helsinki University Press. 462 s.

Opetushallitus. 2003. Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003. Nuorille tarkoitetun lukiokoulutuksen opetussuunnitelman perusteet. Määräys 33/011/2003. Vammala, Vammalan Kirjapaino Oy. 254 s.

Opetushallitus. 2014 A. Opetussuunnitelmien ja tutkintojen perusteet. [WWW]. [Viitattu 7.6.2014]. Saatavissa: [http://www.oph.fi/saadokset\\_ja\\_ohjeet/opetussuunnitelmien\\_ja\\_tutkintojen\\_perusteet](http://www.oph.fi/saadokset_ja_ohjeet/opetussuunnitelmien_ja_tutkintojen_perusteet)

Opetushallitus. 2014 B. Opetussuunnitelmien ja tutkintojen perusteet. [WWW]. [Viitattu 7.6.2014]. Saatavissa: [http://www.oph.fi/saadokset\\_ja\\_ohjeet/opetussuunnitelmien\\_ja\\_tutkintojen\\_perusteet/lukiokoulutus](http://www.oph.fi/saadokset_ja_ohjeet/opetussuunnitelmien_ja_tutkintojen_perusteet/lukiokoulutus)

Opetushallitus. 2015 A. Opetussuunnitelmien ja tutkintojen perusteet. [WWW]. [Viitattu 6.4.2015]. Saatavissa:

[http://www.oph.fi/saadokset\\_ja\\_ohjeet/opetussuunnitelmien\\_ja\\_tutkintojen\\_perusteet/lukiokoulutus](http://www.oph.fi/saadokset_ja_ohjeet/opetussuunnitelmien_ja_tutkintojen_perusteet/lukiokoulutus)

Opetushallitus. 2015 B. Opetussuunnitelmien ja tutkintojen perusteet. [WWW]. [Viitattu 6.4.2015]. Saatavissa:

[http://www.oph.fi/saadokset\\_ja\\_ohjeet/opetussuunnitelmien\\_ja\\_tutkintojen\\_perusteet/lukiokoulutus/lops2016/103/0/lukion\\_opetussuunnitelman\\_perusteiden\\_laatiminen](http://www.oph.fi/saadokset_ja_ohjeet/opetussuunnitelmien_ja_tutkintojen_perusteet/lukiokoulutus/lops2016/103/0/lukion_opetussuunnitelman_perusteiden_laatiminen)

Opetushallitus. 2015C. Lukion opetussuunnitelman perusteiden päivittäminen. [WWW]. [Viitattu 30.5.2015]. Saatavissa:

[http://opetushallitus.fi/saadokset\\_ja\\_ohjeet/opetussuunnitelmien\\_ja\\_tutkintojen\\_perusteet/lukiokoulutus/lops2016/103/0/lukion\\_opetussuunnitelman\\_perusteiden\\_luonnos\\_14\\_4\\_2015](http://opetushallitus.fi/saadokset_ja_ohjeet/opetussuunnitelmien_ja_tutkintojen_perusteet/lukiokoulutus/lops2016/103/0/lukion_opetussuunnitelman_perusteiden_luonnos_14_4_2015)

Opetushallitus. 2015D. Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015/ Luonnostekstiä 14.4.2015. [WWW]. [Viitattu 30.5.2015]. Saatavissa:

[http://opetushallitus.fi/saadokset\\_ja\\_ohjeet/opetussuunnitelmien\\_ja\\_tutkintojen\\_perusteet/lukiokoulutus/lops2016/103/0/lukion\\_opetussuunnitelman\\_perusteiden\\_luonnos\\_14\\_4\\_2015](http://opetushallitus.fi/saadokset_ja_ohjeet/opetussuunnitelmien_ja_tutkintojen_perusteet/lukiokoulutus/lops2016/103/0/lukion_opetussuunnitelman_perusteiden_luonnos_14_4_2015)

Pavia, D.L., Lampman, G.M. & Kriz, G.S. 2001. Introduction to Spectroscopy. A Guide for Students of Organic Chemistry. Third edition. Brooks/Cole, Thompson Learning. 649 p.

Pelto-Huikko, A. & Vieno, N. 2009. Tietopaketti juomavedestä ja sen valmistuksesta Suomessa. Vesi-Instituutti WANDER/Prizztech Oy. [WWW]. [Viitattu 29.5.2015]. Saatavissa: [www.vesikoulu.fi/assets/docs/vesikoulu\\_tietopaketti\\_juomavedesta.pdf](http://www.vesikoulu.fi/assets/docs/vesikoulu_tietopaketti_juomavedesta.pdf)

Pipkin, B.W., Trent, D.D., Hazlett, R. & Bierman, P. 2008. Geology and the Environment. Fifth Edition. Thomson Brooks/Cole. 505 p.

Pitkänen, H. (toim.). 2004. Rannikko- ja avomerialueiden tila vuosituhaten vaihteessa. Suomen Itämeren suojeleuohjelman taustaselvitykset. Suomen Ympäristö 669. 104 s.

Ramanathan, V. & Feng, Y. 2009. Air Pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. Atmospheric Environment 43, pp. 37-50.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2000. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista (461/2000). [WWW]. [Viitattu 28.5.2015]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000461>

Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö. 2015. Talousvesi. [WWW]. [Viitattu 28.5.2015]. Saatavissa: <http://www.stm.fi/talousvesi>

Tchobanoglous B. & Burton, F.L. 1991. Wastewater engineering. Treatment, Disposal, and Reuse. Third Edition. Metcalf & Eddy, Inc. McGraw-Hill, Inc. 1334 p.

Terveystieteiden tutkimuskeskus. 2015. Ilmansaasteet. [WWW]. [Viitattu 24.5.2015]. Saatavissa: <https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet>

Tilastokeskus. 2015. Käsitteet ja määritelmät. [WWW]. [Viitattu 17.5.2015]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/meta/kas/ymparistonsuojel.html>

United States Environmental Protection Agency US EPA. 2015A. Water Treatment Process. [WWW]. [Viitattu 29.5.2015]. Saatavissa: [http://water.epa.gov/learn/kids/drinkingwater/watertreatmentplant\\_index.cfm](http://water.epa.gov/learn/kids/drinkingwater/watertreatmentplant_index.cfm)

United States Environmental Protection Agency US EPA. 2015B. Groundwater Contamination. [WWW]. [Viitattu 29.5.2015]. Saatavissa: <http://www.epa.gov/superfund/students/wastewater/grndwater.htm>

Vesilaitosyhdistys. 2015. Talousvesi. [WWW]. [Viitattu 28.5.2015]. Saatavissa: [http://www.vvy.fi/vesihuolto\\_linkit\\_lainsaadanto/talousvesi](http://www.vvy.fi/vesihuolto_linkit_lainsaadanto/talousvesi)

Virtanen, A. & Rohweder, L. (toim.). 2011. Ilmastonmuutos käytännössä. Hillinnän ja sopeutumisen keinoja. Gaudeamus Helsinki University Press. 415 s.

World Health Organization. 2015. Air Pollution. [WWW]. [Viitattu 24.5.2015]. Saatavissa: [http://www.who.int/topics/air\\_pollution/en/](http://www.who.int/topics/air_pollution/en/)

WWF. 2014. Itämeren rehevöityminen. [WWW]. [Viitattu 25.5.2015]. Saatavissa: <http://wwf.fi/alueet/itameri/rehevoityminen/>

Ylioppilastutkintolautakunta. 2008A. Kemian koe 17.3.2008. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2008B. Kemian koe 15.9.2008. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2009A. Kemian koe 18.3.2009. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2009B. Kemian koe 23.9.2009. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2010A. Kemian koe 19.3.2010. 4s.



Ylioppilastutkintolautakunta. 2010B. Kemian koe 22.9.2010. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2011A. Kemian koe 25.3.2011. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2011B. Kemian koe 30.9.2011. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2012A. Kemian koe 14.3.2012. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2012B. Kemian koe 19.9.2012. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2013A. Kemian koe 22.3.2013. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2013B. Kemian koe 27.9.2013. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2014A. Kemian koe 12.3.2014. 4s.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2014B. Kemian koe 15.9.2014. 4s.

Ympäristöhallinto. 2013. Pohjavesien tilan seuranta. [WWW]. [Viitattu 28.5.2015].  
Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pohjavesien\\_tila/  
Pohjavesien\\_tilan\\_seuranta](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pohjavesien_tila/Pohjavesien_tilan_seuranta)

Ympäristöhallinto. 2014A. Järven rehevöityminen. [WWW]. [Viitattu 25.5.2015].  
Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistöjen\\_kunnostus/Jarvien\\_kunnostus/  
Kunnostustarvetta\\_aiheuttavia\\_tekijoita/Rehevoityminen](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistöjen_kunnostus/Jarvien_kunnostus/Kunnostustarvetta_aiheuttavia_tekijoita/Rehevoityminen)

Ympäristöhallinto. 2014B. Pohjavesien määrällinen ja kemiallinen tila. [WWW]. [Viitattu 28.5.2015].  
Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pohjavesien\\_tila](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pohjavesien_tila)

Ympäristöhallinto. 2015A. Pintavesien tyypittely. [WWW]. [Viitattu 28.5.2015].  
Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pintavesien\\_tila/Pintavesien\\_tyypittely](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pintavesien_tila/Pintavesien_tyypittely)

Ympäristöhallinto. 2015B. Pintavesien tilan seuranta. [WWW]. [Viitattu 28.5.2015].  
Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pintavesien\\_tila/Pintavesien\\_tilan\\_seuranta](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pintavesien_tila/Pintavesien_tilan_seuranta)

Ympäristöministeriö. 2013. Mitä on kestävä kehitys. [WWW]. [Viitattu 27.5.2015].  
Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Kestava\\_kehitys/Mita\\_on\\_kestava\\_kehitys](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Kestava_kehitys/Mita_on_kestava_kehitys)

Ympäristöministeriö. 2015A. Kestävä kehitys. [WWW]. [Viitattu 27.5.2015]. Saatavissa: [http://www.ymp.fi/fi-fi/Ymparisto/Kestava\\_kehitys](http://www.ymp.fi/fi-fi/Ymparisto/Kestava_kehitys)

Ympäristöministeriö. 2015B. Pilaantuneet alueet. [WWW]. [Viitattu 29.5.2015]. Saatavissa: [http://www.ymp.fi/fi-fi/Ymparisto/Pilaantuneet\\_alueet](http://www.ymp.fi/fi-fi/Ymparisto/Pilaantuneet_alueet)

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527. [WWW]. [Viitattu 17.5.2015]. Saatavissa: Finlex <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=ymp%C3%A4rist%C3%B6nsuojelulaki>

Zumdahl, S. S., & DeCoste, D. J. 2012. Chemical Principles. 7th edition. Brooks/Cole, Cengage Learning. 1077 p.

| Aihepiiri                                     | Teoriaan käytetty rivimäärä (STD) |    |     |     |     |      | Tehtävien lukumäärä |    |    |    |    |     | Esimerkkien lukumäärä |    |    |    |    |   | Demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä |    |    |    |    |    | Kuvien ja taulukoiden lukumäärä |    |    |    |    |     |
|---|-----------------------------------|----|-----|-----|-----|------|---------------------|----|----|----|----|-----|-----------------------|----|----|----|----|---|--|----|----|----|----|----|---------------------------------|----|----|----|----|-----|
|   | K1                                | K2 | K3  | K4  | K5  | K    | K1                  | K2 | K3 | K4 | K5 | K   | K1                    | K2 | K3 | K4 | K5 | K | K1   | K2 | K3 | K4 | K5 | K  | K1                              | K2 | K3 | K4 | K5 | K   |
| Ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu | 26                                | 0  | 20  | 132 | 8   | 186  | 0                   | 0  | 2  | 1  | 0  | 3   | 0                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0                               | 0  | 2  | 1  | 0  | 3   |
| Ilmakehän kemia                               | 165                               | 53 | 249 | 301 | 104 | 872  | 28                  | 27 | 57 | 27 | 19 | 158 | 0                     | 1  | 0  | 0  | 0  | 1 | 2  | 6  | 2  | 5  | 0  | 15 | 11                              | 26 | 31 | 39 | 11 | 118 |
| Veden kemia                                   | 247                               | 98 | 213 | 394 | 543 | 1495 | 63                  | 30 | 60 | 48 | 44 | 245 | 0                     | 1  | 0  | 0  | 0  | 1 | 10   | 7  | 11 | 14 | 13 | 55 | 28                              | 24 | 18 | 44 | 44 | 158 |
| Alkuaineiden kierto                           | 23                                | 2  | 5   | 79  | 0   | 109  | 0                   | 0  | 0  | 3  | 0  | 3   | 0                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 0                               | 1  | 0  | 4  | 0  | 5   |
| Energiantuotanto                              | 100                               | 22 | 202 | 311 | 0   | 635  | 18                  | 6  | 18 | 14 | 1  | 57  | 0                     | 1  | 0  | 0  | 0  | 1 | 4  | 5  | 0  | 5  | 1  | 15 | 5                               | 7  | 18 | 20 | 0  | 50  |
| Kestävä kehitys                               | 0                                 | 0  | 0   | 3   | 0   | 3    | 0                   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0                               | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   |

K1=Kemisti 1: Ihmisen ja elinympäristön kemia, K2=Kemisti 2: Kemian mikromaailma, K3=Kemisti 3: Reaktiot ja energia, K4=Kemisti 4: Metallit ja materiaalit, K5=Kemisti 5: Reaktiot ja tasapaino, K=K1-K5 yhteensä

| Aihepiiri                                     | Teoriaan käytetty rivimäärä (STD) |     |     |     |     |      |    | Tehtävien lukumäärä |    |     |    |     |    |    | Esimerkkien lukumäärä |    |    |    |    |    |    | Demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä |    |    |    |    |    |    | Kuvien ja taulukoiden lukumäärä |     |  |  |  |  |  |
|---|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|----|---------------------|----|-----|----|-----|----|----|-----------------------|----|----|----|----|----|----|--|----|----|----|----|----|----|---------------------------------|-----|--|--|--|--|--|
|   | M1                                | M2  | M3  | M4  | M5  | M    | M1 | M2                  | M3 | M4  | M5 | M   | M1 | M2 | M3                    | M4 | M5 | M  | M1 | M2 | M3 | M4   | M5 | M  | M1 | M2 | M3 | M4 | M5                              | M   |  |  |  |  |  |
| Ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu | 26                                | 15  | 25  | 104 | 11  | 180  | 1  | 1                   | 16 | 6   | 0  | 24  | 1  | 0  | 0                     | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 5  | 0                               | 5   |  |  |  |  |  |
| Ilmakehän kemia                               | 130                               | 74  | 246 | 307 | 249 | 1006 | 11 | 25                  | 95 | 71  | 34 | 236 | 0  | 2  | 19                    | 6  | 9  | 36 | 3  | 2  | 10 | 6  | 1  | 22 | 17 | 8  | 32 | 18 | 15                              | 90  |  |  |  |  |  |
| Veden kemia                                   | 345                               | 256 | 244 | 346 | 663 | 1854 | 39 | 43                  | 97 | 104 | 85 | 368 | 7  | 1  | 18                    | 11 | 24 | 61 | 14 | 11 | 18 | 19   | 15 | 77 | 50 | 19 | 24 | 25 | 22                              | 140 |  |  |  |  |  |
| Alkuaineiden kierto                           | 15                                | 0   | 0   | 8   | 4   | 27   | 0  | 0                   | 0  | 3   | 0  | 3   | 0  | 0  | 0                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0                               | 2   |  |  |  |  |  |
| Energiantuotanto                              | 125                               | 21  | 203 | 422 | 58  | 831  | 5  | 9                   | 34 | 23  | 3  | 74  | 1  | 0  | 7                     | 1  | 1  | 10 | 2  | 4  | 1  | 3  | 1  | 11 | 8  | 2  | 13 | 25 | 1                               | 49  |  |  |  |  |  |
| Kestävä kehitys                               | 8                                 | 0   | 6   | 29  | 0   | 43   | 0  | 0                   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0  | 0  | 0                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0                               | 2   |  |  |  |  |  |

M1 = Mooli 1: Ihmisen ja elinympäristön kemia, M2 = Mooli 2: Kemian mikromaailma, M3 = Mooli 3: Reaktiot ja energia, M4 = Mooli 4: Metallit ja materiaalit, M5 = Mooli 5: Reaktiot ja tasapaino, M = M1-M5 yhteensä

| Aihepiiri                                     | Teoriaan käytetty rivimäärä (STD) |     |     |     |     |      | Tehtävien lukumäärä |    |    |    |    |     | Esimerkkien lukumäärä |    |    |    |    |    | Demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä |    |    |    |    |    | Kuvien ja taulukoiden lukumäärä |    |    |    |    |     |
|---|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|---------------------|----|----|----|----|-----|-----------------------|----|----|----|----|----|--|----|----|----|----|----|---------------------------------|----|----|----|----|-----|
|   | N1                                | N2  | N3  | N4  | N5  | N    | N1                  | N2 | N3 | N4 | N5 | N   | N1                    | N2 | N3 | N4 | N5 | N  | N1   | N2 | N3 | N4 | N5 | N  | N1                              | N2 | N3 | N4 | N5 | N   |
| Ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu | 72                                | 72  | 64  | 106 | 11  | 325  | 3                   | 1  | 0  | 5  | 0  | 9   | 0                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3                               | 0  | 2  | 3  | 0  | 8   |
| Ilmakehän kemia                               | 135                               | 49  | 246 | 271 | 249 | 949  | 23                  | 16 | 68 | 26 | 41 | 174 | 1                     | 1  | 20 | 2  | 11 | 35 | 4  | 3  | 5  | 2  | 2  | 16 | 12                              | 8  | 27 | 17 | 25 | 89  |
| Veden kemia                                   | 239                               | 191 | 200 | 294 | 450 | 1374 | 46                  | 28 | 66 | 33 | 91 | 264 | 4                     | 1  | 19 | 2  | 24 | 50 | 16   | 11 | 11 | 12 | 13 | 63 | 21                              | 19 | 23 | 18 | 32 | 113 |
| Alkuaineiden kierto                           | 38                                | 8   | 37  | 7   | 0   | 90   | 2                   | 0  | 0  | 1  | 0  | 3   | 0                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3                               | 0  | 2  | 0  | 0  | 5   |
| Energiantuotanto                              | 160                               | 84  | 175 | 435 | 37  | 891  | 21                  | 4  | 15 | 26 | 3  | 69  | 0                     | 0  | 3  | 2  | 0  | 5  | 3  | 0  | 0  | 4  | 0  | 7  | 10                              | 2  | 12 | 14 | 4  | 42  |
| Kestävä kehitys                               | 17                                | 0   | 37  | 0   | 0   | 54   | 2                   | 0  | 0  | 1  | 0  | 3   | 0                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2                               | 0  | 1  | 0  | 0  | 3   |

N1 = Neon 1: Ihmisen ja elinympäristön kemia, N2 = Neon 2: Kemian mikromaailma, N3 = Neon 3: Reaktiot ja energia, N4 = Neon 4: Metallit ja materiaalit, N5 = Neon 5: Reaktiot ja tasapaino, N = N1-N5 yhteensä

| Aihepiiri                                     | Teoriaan käytetty rivimäärä (STD) |     |     |     |     |      | Tehtävien lukumäärä |    |    |    |    |     | Esimerkkien lukumäärä |    |    |    |    |    | Demonstraatioiden ja laboratoriotöiden lukumäärä |    |    |    |    |    | Kuvien ja taulukoiden lukumäärä |    |    |    |    |     |
|---|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|---------------------|----|----|----|----|-----|-----------------------|----|----|----|----|----|--|----|----|----|----|----|---------------------------------|----|----|----|----|-----|
|   | R1                                | R2  | R3  | R4  | R5  | R    | R1                  | R2 | R3 | R4 | R5 | R   | R1                    | R2 | R3 | R4 | R5 | R  | R1   | R2 | R3 | R4 | R5 | R  | R1                              | R2 | R3 | R4 | R5 | R   |
| Ympäristön pilaantuminen ja ympäristönsuojelu | 3                                 | 18  | 6   | 40  | 5   | 72   | 1                   | 0  | 4  | 1  | 2  | 8   | 1                     | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3                               | 0  | 2  | 5  | 0  | 10  |
| Ilmakehän kemia                               | 36                                | 69  | 232 | 240 | 76  | 653  | 8                   | 15 | 68 | 29 | 31 | 151 | 0                     | 1  | 12 | 4  | 5  | 22 | 0  | 1  | 3  | 2  | 2  | 8  | 8                               | 11 | 26 | 14 | 5  | 64  |
| Veden kemia                                   | 181                               | 287 | 176 | 261 | 300 | 1205 | 47                  | 43 | 63 | 37 | 90 | 280 | 2                     | 2  | 10 | 3  | 20 | 37 | 7  | 4  | 8  | 9  | 10 | 38 | 17                              | 28 | 41 | 22 | 30 | 138 |
| Alkuaineiden kierto                           | 14                                | 19  | 55  | 17  | 3   | 108  | 0                   | 8  | 7  | 0  | 0  | 15  | 0                     | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 2  | 1                               | 2  | 5  | 1  | 0  | 9   |
| Energiantuotanto                              | 22                                | 17  | 221 | 203 | 4   | 467  | 7                   | 9  | 30 | 12 | 0  | 58  | 0                     | 1  | 5  | 1  | 1  | 8  | 4  | 0  | 0  | 1  | 0  | 5  | 4                               | 1  | 12 | 21 | 1  | 39  |
| Kestävä kehitys                               | 8                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 8    | 0                   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0                               | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   |

R1=Reaktio 1: Ihmisen ja elinympäristön kemia, R2=Reaktio 2: Kemian mikromaailma, R3=Reaktio 3: Reaktiot ja energia, R4=Reaktio 4: Metallit ja materiaalit, R5=Reaktio 5: Reaktiot ja tasapaino, R=R1-R5 yhteensä