



**TURUN
YLIOPISTO**

Ilmastonmuutos lukion kemian ja fysiikan oppikirjoissa

Kemia, Kemian opettaja (FM)
pro gradu -tutkielma

Laatija:
Lyydia Ojamo

12.5.2026
Turku

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

Pro gradu -tutkielma

Tutkinto-ohjelma, oppiaine: Kemia, Kemian opettaja (FM)

Tekijä: Lyydia Ojamo

Otsikko: Ilmastonmuutos lukion kemian ja fysiikan oppikirjoissa

Ohjaaja: Yliopistonlehtori Veli-Matti Vesterinen

Sivumäärä: 37 sivua

Päivämäärä: 12.5.2026

Tässä tutkielmassa tarkastellaan, miten ilmastonmuutosta käsitellään lukion kemian ja fysiikan oppikirjoissa sekä millä tavoin ilmiö liitetään oppiaineisiin. Ilmastonmuutos on keskeinen globaali haaste, jonka ymmärtäminen edellyttää luonnontieteellistä tietoa, minkä vuoksi se kuuluu vahvasti sekä kemian että fysiikan opetukseen. Lukion opetussuunnitelman perusteissa (LOPS 2019) korostetaan ilmasto-osaamisen merkitystä osana kestäväen tulevaisuuden rakentamista. Oppikirjat ovat keskeinen osa opetusta, ja ne vaikuttavat siihen, millainen kuva ilmastonmuutoksesta opiskelijoille muodostuu.

Tutkimus toteutettiin laadullisena ja määrällisenä sisällönanalyysinä, jossa analysoitiin kolmen eri kustantajan lukion kemian ja fysiikan oppikirjasarjoja. Aineistosta tunnistettiin ilmastonmuutokseen liittyviä merkitysyksiköitä, jotka luokiteltiin teemoihin induktiivisen sisällönanalyysin avulla. Analyysin perusteella muodostui neljä pääteemaa: ilmastonmuutoksen luonnontieteellinen tausta, syyt, seuraukset ja ratkaisut. Fysiikan oppikirjoista tunnistettiin lisäksi oma teema ilmastonmuutoksen tutkimiselle.

Tulosten perusteella ilmastonmuutos esiintyy kaikissa tarkastelluissa oppikirjoissa, mutta sen käsittelyn laajuus ja teemojen painotukset vaihtelevat merkittävästi sekä oppiaineiden että kirjasarjojen välillä. Fysiikan oppikirjoissa ilmastonmuutosta käsitellään monipuolisesti luonnontieteellisenä ilmiönä. Ilmiö liitetään keskeisiin fysikaalisiin käsitteisiin, kuten säteilytasapainoon, energian siirtymiseen ja kasvihuoneilmiön mekanismiin. Lisäksi fysiikan kirjoissa tarkastellaan ilmastonmuutoksen tutkimista, kuten ilmastomalleja ja mittauksia.

Kemian oppikirjoissa ilmastonmuutoksen käsittely on puolestaan selvästi ratkaisukeskeisempää. Vaikka kasvihuoneilmiö ja kasvihuonekaasut mainitaan joissakin kirjoissa, ilmastonmuutoksen luonnontieteellinen tausta jää usein vähäiseksi. Sen sijaan kemian merkitystä korostetaan ilmastonmuutoksen ratkaisemisessa esimerkiksi uusien materiaalien, kiertotalouden ja uusiutuvan energian kautta. Ilmastonmuutoksen seurauksia käsitellään molemmissa oppiaineissa vähemmän kuin syitä ja ratkaisuja. Lisäksi kirjasarjojen välillä havaittiin selviä eroja ilmastonmuutoksen käsittelyn laajuudessa.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että fysiikka ja kemia tarjoavat ilmastonmuutokseen erilaisia mutta toisiaan täydentäviä näkökulmia. Fysiikka painottaa ilmiön selittämistä ja ymmärtämistä, kun taas kemia korostaa ratkaisuja ja soveltamista. Opiskelijan saama käsitys ilmiöstä voi riippua merkittävästi siitä, mitä kirjasarjaa opetuksessa käytetään.

Avainsanat: ilmastonmuutos, ilmastokasvatus, oppikirjat

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Teoreettinen viitekehys	7
2.1	Ilmastonmuutos	7
2.2	Kasvihuoneilmiö ja kasvihuonekaasut	8
2.3	Ilmastokasvatus	10
2.4	Aiempaa tutkimusta	12
2.5	Ilmastonmuutokseen liittyvät tavoitteet LOPSissa	13
2.5.1	Ilmastonmuutokseen liittyvät tavoitteet kemiassa	13
2.5.2	Ilmastonmuutokseen liittyvät tavoitteet fysiikassa	14
3	Tutkimuskysymykset	16
4	Tutkimusaineisto ja -menetelmä	17
4.1	Oppikirja-aineisto	17
4.2	Laadullinen ja määrällinen sisällönanalyysi	17
4.3	Analyysin eteneminen	18
4.4	Tutkimuksen luotettavuus ja eettiset näkökohdat	19
5	Ilmastonmuutos kemian oppikirjoissa	20
5.1	Ilmastonmuutoksen käsittelyn laajuus	20
5.2	Ilmastonmuutoksen teemat ja kemiallinen konteksti oppikirjoissa	21
5.2.1	Luonnontieteellinen tausta	22
5.2.2	Ilmastonmuutoksen syyt	22
5.2.3	Ilmastonmuutoksen ratkaisut	23
6	Ilmastonmuutos fysiikan oppikirjoissa	26
6.1	Ilmastonmuutoksen käsittelyn laajuus	26
6.2	Ilmastonmuutoksen teemat ja fysikaalinen konteksti oppikirjoissa	27
6.2.1	Luonnontieteellinen tausta	29
6.2.2	Ilmastonmuutoksen syyt	31
6.2.3	Ilmastonmuutoksen seuraukset	32
6.2.4	Ilmastonmuutoksen ratkaisut	33
6.2.5	Ilmastonmuutoksen tutkiminen	35
7	Johtopäätökset	37

7.1	Keskeiset tulokset ja vertailu	37
7.2	LOPSin tavoitteiden toteutuminen	38
7.3	Oppikirjat ja ilmastokasvatus	39
7.4	Yhteenveto ja kehittämissuhteet	39
	Lähteet	41

1 Johdanto

Ilmastonmuutos on yksi 2000-luvun merkittävimmistä globaaleista haasteista, jonka taustalla on erityisesti ihmisen toiminnasta aiheutunut kasvihuonekaasupäästöjen kasvu.

Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) kuudes arviointiraportti (AR6) toteaa, että ihmisen toiminta on yksiselitteisesti lämmittänyt maapalloa, ja että maapallon pintalämpötila on noussut jo 1,1 °C verrattuna esiteolliseen aikaan (1850–1900) (IPCC 2023). Raportin mukaan hiilidioksidin (CO₂), metaanin (CH₄) ja dityppioksidin (N₂O) pitoisuudet olivat vuonna 2019 korkeammat kuin kertaakaan vähintään 800 000 vuoteen. Suurin osa päästöistä on seurausta erityisesti fossiilisten polttoaineiden poltosta ja teollisista prosesseista peräisin olevasta hiilidioksidista. Päästöjä aiheutuu myös maataloudesta, metsätaloudesta ja muusta maankäytöstä. (IPCC 2023)

Ilmastonmuutoksen seurauksena ilmakehässä, merissä, kryosfäärissä ja biosfäärissä on tapahtunut laajoja ja nopeita muutoksia, mikä vaikuttaa jo nyt sään ja ilmaston ääri-ilmiöihin eri puolilla maapalloa. Muutokset ovat johtaneet merkittäviin haitallisiin vaikutuksiin luonnolle ja ihmisille, sekä aiheuttaneet osin peruuttamattomia menetyksiä esimerkiksi ekosysteemeissä, elinkeinoissa ja terveyteen liittyvissä olosuhteissa. Haavoittuvimmassa asemassa ovat väestöryhmät, jotka ovat historiallisesti vaikuttaneet ilmastonmuutokseen vähiten, mutta kärsivät sen seurauksista suhteettoman paljon. (IPCC 2023)

Ilmastonmuutoksen ymmärtäminen edellyttää luonnontieteellistä tietoa, jonka vuoksi ilmiö kytkeytyy keskeisesti sekä fysiikan että kemian opetukseen. Lukion opetussuunnitelman perusteiden (LOPS 2019) mukaan ilmasto-osaaminen on tärkeä osa kestävänsä tulevaisuuden rakentamista ja yleissivistystä. Opetussuunnitelmassa korostetaan, että opetuksen tulee vahvistaa opiskelijoiden ymmärrystä ihmisen toiminnan vaikutuksista ympäristöön sekä ohjata tietoperustaisesti kestävänsä kehityksen mukaiseen toimintaan. Kemian opetuksen osalta painotetaan erityisesti kemian merkitystä ympäristöhaasteiden ratkaisemisessa yhdessä muiden luonnontieteiden kanssa (Opetushallitus 2019).

Opetussuunnitelma siis määrittelee opetuksen tavoitteet ja sisällöt, jonka pohjalta oppikirjat laaditaan. Oppikirjat taas ovat mukana käytännön opetuksessa. Tämän tutkielman tavoitteena on tarkastella, miten ja kuinka paljon ilmastonmuutosta käsitellään lukion kemian ja fysiikan oppikirjoissa ja millä tavoin se liitetään oppiaineisiin. Fysiikan ja kemian oppikirjojen rinnakkainen tarkastelu tarjoaa mahdollisuuden ymmärtää, miten sama ilmiö jäsentyy eri

oppiaineissa ja millaisia painotuksia oppimateriaaleissa esiintyy. Tutkimus on laadullinen ja määrällinen oppikirja-analyysi, jossa analysoidaan ja vertaillaan kolmen eri kustantajan lukion kemian ja fysiikan kirjasarjoja. Tutkimuksen avulla pyritään selvittämään, miten oppimateriaalit tukevat tai mahdollisesti rajoittavat ilmastonmuutoksen ymmärtämistä. Tuloksia voidaan hyödyntää sekä kemian opetuksen, että oppimateriaalien kehittämisessä.

2 Teorettinen viitekehys

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen keskeinen teorettinen tausta ja käsitteet. Tarkastelu keskittyy ilmastonmuutoksen syihin ja seurauksiin sekä luonnontieteelliseen taustaan. Luvussa tarkastellaan myös ilmastokasvatuksen näkökulmaa ja aiempia tutkimuksia ilmastonmuutoksesta oppikirjoissa sekä kuinka aihe ilmenee lukion opetussuunnitelman perusteissa (LOPS 2019) ja millaisia tavoitteita siihen liittyy.

2.1 Ilmastonmuutos

Viimeaikainen ilmastotutkimus osoittaa, että ihmisen toiminta on lämmittänyt maapalloa, niin ilmakehää, meriä kuin maanpintaa (IPCC, 2021; IPCC, 2023). Teollistumisen jälkeen kasvihuonekaasujen pitoisuudet ovat kasvaneet nopeasti, ja tutkimusten perusteella tämä kasvu johtuu pääasiassa ihmisen toiminnasta (IPCC, 2021). Ilmastonmuutoksen taustalla on kasvihuoneilmiön voimistuminen, jossa ilmakehään kertyvät kasvihuonekaasut, kuten vesihöyry, hiilidioksidi ja metaani sitovat lämpöä ja nostavat maapallon lämpötilaa (IPCC, 2021; NASA, 2024). Nykyiset kasvihuonekaasupitoisuudet ovat suuremmat kuin koskaan satoihin tuhansiin tai jopa miljooniin vuosiin. Samalla maapallon keskilämpötila on noussut noin 1,1 °C esiteolliseen aikaan verrattuna, ja jokainen viime vuosikymmen on ollut edellistä lämpimämpi. (IPCC, 2021; IPCC, 2023).

Kasvihuonekaasupäästöjen lisääntyminen johtuu ennen kaikkea fossiilisten polttoaineiden käytöstä, maankäytön muutoksista sekä kulutuksen kasvusta (IPCC, 2023; IPCC, 2022). Merkittävin yksittäinen tekijä on fossiilisten polttoaineiden, kuten kivihiilen, öljyn ja maakaasun polttaminen energiantuotannossa, liikenteessä ja teollisuudessa, mikä vapauttaa ilmakehään suuria määriä hiilidioksidia (CO₂). Hiilidioksidi on merkittävin pitkäikäinen kasvihuonekaasu, ja sen pitoisuuden kasvu selittää suurimman osan ihmisen aiheuttamasta lämpenemisestä (IPCC, 2023; IPCC, 2021). Toinen merkittävä päästölähde on muutokset maankäytössä, erityisesti metsäkato. Metsät toimivat hiilinieluinä sitomalla hiilidioksidia ilmakehästä, mutta metsien hakkuut ja maatalouskäyttöön raivaaminen vapauttavat hiiltä takaisin ilmakehään ja siten heikentävät luonnon kykyä sitoa päästöjä. (IPCC, 2022; IPCC, 2023) Myös maatalous on päästöjen lähde erityisesti metaanin (CH₄) ja dityppioksidin (N₂O) osalta. Metaania syntyy esimerkiksi karjataloudesta ja riisinviljelystä, kun taas dityppioksidia vapautuu lannoitteiden käytöstä. Lisäksi teollisuus ja kulutukseen perustuva talousjärjestelmä lisäävät päästöjä. (IPCC, 2021; IPCC, 2022)

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ulottuvat laajalle ja koskettavat sekä luonnon ekosysteemejä että ihmisten elinolosuhteita. Muutokset näkyvät muun muassa sään ääri-ilmiöiden, kuten helleaaltojen, kuivuuden ja rankkasateiden lisääntymisenä, merenpinnan nousun sekä biodiversiteetin heikkenemisenä (IPCC, 2022; European Environment Agency, 2023). Ilmastonmuutos vaikuttaa suoraan ekosysteemeihin, mikä voi johtaa lajien katoamiseen. Joissakin tapauksissa muutokset ovat peruuttamattomia, kuten jäätiköiden ja ikiroudan sulaminen, jotka muuttavat ympäristöä ja luonnon järjestelmiä pysyvästi (IPCC, 2022).

Vaikutukset kohdistuvat myös ihmisten terveyteen. Ilmastonmuutos lisää terveystriskejä, kuten kuumuuteen liittyvää kuolleisuutta ja tartuntatauteja, ja se myös vaikuttaa mielenterveyteen ja elinolosuhteisiin. Lisäksi se aiheuttaa taloudellisia menetyksiä ja pakottaa ihmisiä muuttamaan alueilta, joilla elinolosuhteet heikkenevät. (IPCC, 2022; IPCC, 2023)

Ilmastonmuutoksen vaikutukset eivät jakaudu tasaisesti, vaan erityisen haavoittuvassa asemassa ovat kehittyvät maat ja alueet, joilla sopeutumiskyky on rajallinen (IPCC, 2022). Myös Suomessa ilmastonmuutos näkyy esimerkiksi lämpötilojen nousuna, talvien leudontumisena ja sademäärien kasvuna (Ilmatieteen laitos, 2023).

Ilmastonmuutoksen hillitseminen edellyttää nopeita ja laaja-alaisia toimia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Keskeisiä keinoja ovat siirtyminen uusiutuviin energialähteisiin, energiatehokkuuden parantaminen sekä maankäytön muutokset, kuten metsien suojelu ja hiilinielujen vahvistaminen. Tarvitaan myös yhteiskunnallisia ja taloudellisia muutoksia ja toimia, kuten tehokasta ilmastopolitiikkaa ja kansainvälistä yhteistyötä, jotta päästöt saadaan mahdollisimman nopeasti laskuun ja ilmaston lämpenemistä rajoitettua (IPCC, 2022; IPCC, 2023). Lisäksi on tärkeää sopeutua jo väistämättömiin muutoksiin, esimerkiksi kehittämällä infrastruktuuria ja varautumalla sään ääri-ilmiöihin (IPCC, 2022).

2.2 Kasvihuoneilmiö ja kasvihuonekaasut

Kasvihuoneilmiö on luonnollinen prosessi, joka pitää maapallon lämpimänä ja elinkelpoisena (Kweku et al., 2018). Kasvihuoneilmiössä kasvihuonekaasut absorboivat maanpinnan lähettämää pitkäaaltoista infrapunasäteilyä ja säteilevät eli emittoivat sitä takaisin eri suuntiin, mikä ylläpitää maapallon lämpötilaa. Auringosta saapuva säteily on suurimmaksi osaksi näkyvää valoa ja ultraviolettisäteilyä. Tämä auringon lähettämä lyhytaaltoisempi säteily

läpäisee ilmakehän lähes täysin ja absorboituu maanpintaan, kun taas osa energiasta heijastuu takaisin avaruuteen. Tasapainotilassa maapallo säteilee takaisin avaruuteen yhtä paljon energiaa pitkäaaltoisena säteilynä kuin se vastaanottaa, mutta kasvihuonekaasut absorboivat osan tästä energiasta ja näin hidastavat sen poistusta ilmakehästä takaisin avaruuteen. Tämän vuoksi maanpinnan lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin se olisi ilman ilmakehää. Ihmisen toiminnan seurauksena kasvihuoneilmiö on voimistunut, mikä on johtanut ja johtaa edelleen ilmaston lämpenemiseen. (Berger & Tricot, 1992)

Tärkeimpiä kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry (H_2O), hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4) ja dityppioksidi (N_2O) (IPCC, 2021). Ilmakehän vuorovaikutus maapallon lähettämän lämpösäteilyn kanssa riippuu voimakkaasti säteilyn aallonpituudesta ja kaasujen molekyyliarakenteesta. Vain ilmakehän kasvihuonekaasut pystyvät absorboimaan ja emittoimaan infrapunasäteilyä. Molekyylien energian absorptio ja emissio ovat kvantittuneita ilmiöitä, eli energiaa voidaan absorboida vain tietyn kokoisina annoksina, kvantteina. Energia kulkee molekyyliin ja niistä pois fotoneina, joilla on tietty energia. Vain sellaiset fotonit voivat osallistua tähän vuorovaikutukseen, joiden energia vastaa molekyylin sallittuja energiasiirtymiä. Infrapunasäteily aiheuttaa näiden siirtymien kautta molekyylien pyörimis- ja värähtelyliikkeiden muutoksia. Esimerkiksi ilmakehän happi ja typpi eivät siis käytännössä absorboi infrapunasäteilyä, koska niiden rakenne on symmetrinen eikä niille synny sähköistä dipolimomenttia, jota tarvitaan säteilyn kanssa vuorovaikuttamiseen. Sen sijaan hiilidioksidi pystyy vuorovaikuttamaan infrapunasäteilyn kanssa, koska sen molekyyli muuttuu epäsymmetriseksi värähdellessään, jolloin siihen muodostuu dipolimomentti. Metaani käyttäytyy samankaltaisesti. Vesihöyry on vieläkin tehokkaampi, koska sillä on jo valmiiksi pysyvä dipolimomentti rakenteensa vuoksi, ja siksi se pystyy absorboimaan säteilyä laajalla infrapuna-alueella. (Kirk-Davidoff, 2018)

Kasvihuoneilmiön muutoksia voidaan tarkastella jakamalla ne ulkoisiin pakotteisiin ja ilmastojärjestelmän sisäisiin palautemekanismeihin. Pakotteilla tarkoitetaan tekijöitä, jotka vaikuttavat ilmastoon ulkopuolelta, kuten kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kasvu tai muutokset Auringon säteilyssä. Esimerkiksi hiilidioksidin lisääntyminen vähentää Maasta avaruuteen poistuvaa säteilyä, mikä johtaa lämpenemiseen. Palautemekanismit puolestaan kuvaavat sitä, miten ilmastojärjestelmä reagoi näihin muutoksiin. Ne voivat joko voimistaa tai vaimentaa alkuperäistä vaikutusta. Esimerkiksi lämpeneminen lisää veden haihtumista, mikä kasvattaa ilmakehän vesihöyryn määrää ja voimistaa kasvihuoneilmiötä. Myös pilvet, jääpeite

ja valtameret osallistuvat näihin palautteisiin. Näiden prosessien tarkka vaikutus ei kuitenkaan ole täysin selvä, mikä tekee ilmaston muutosten ennustamisesta haastavaa. (Harries, 2000)

2.3 Ilmastokasvatus

Ilmastokasvatus on tärkeä osa kestäväen kehityksen kasvatusta, ja sen tavoitteena on auttaa ihmisiä ymmärtämään ilmastonmuutosta sekä toimimaan sen hillitsemiseksi ja siihen sopeutumiseksi. Nykyään ilmastokasvatusta pidetään keskeisenä keinona edistää kestävää tulevaisuutta, ja se liittyy vahvasti kestäväen kehityksen koulutukseen. UNESCO korostaa, että pelkkä tiedon lisääminen ei riitä, vaan koulutuksen tulisi kehittää myös taitoja, arvoja ja asenteita, jotka tukevat aktiivista kansalaisuutta ja vastuullista toimintaa (UNESCO, 2020). Lisäksi on huomattu, että koulutusta ei usein pidetä kovin tärkeänä osana ilmastopolitiikkaa, vaikka sillä on iso merkitys kestäväen kehityksen kannalta tarvittavien taitojen ja valmiuksien oppimisessa. (UNESCO, 2024).

Ilmastokasvatus ei siis ole vain tiedon välittämistä ja opettelua, vaan tarkoitus on, että oppijat omaksuvat arvoja, asenteita ja toimintatapoja, jotka tukevat kestäviä valintoja ja aktiivista osallistumista yhteiskuntaan (UNESCO, 2020; Cantell ym., 2019). Tästä syystä ilmastokasvatus nähdään usein osana laajempaa kestäväen kehityksen kasvatusta, jonka tavoitteena on kehittää tietoja, taitoja, arvoja ja asenteita sekä edistää vastuullista toimintaa kestäväen tulevaisuuden rakentamiseksi. (UNESCO, 2017). Cantellin ym., (2019) kehittämä niin sanottu polkupyörämalli kuvaa tätä hyvin. Siinä ilmastokasvatus nähdään kokonaisuutena, jossa keskeisiä tekijöitä ovat tiedon lisäksi ajattelutaidot, arvot, identiteetti, motivaatio, osallistuminen sekä tunteet ja tulevaisuuteen suuntautuminen. Malli havainnollistaa, että oppiminen ei tapahdu irrallisena, vaan eri osa-alueet vaikuttavat toisiinsa. Esimerkiksi tieto ei ole hyödyllistä, jos sitä ei osata soveltaa tai arvioida kriittisesti.

Tutkimuksissa on havaittu, että pelkkä tiedon lisääminen ei yleensä edes riitä muuttamaan ihmisten käyttäytymistä (Monroe ym., 2019). Tehokas ilmastokasvatus perustuu pitkälti siihen, miten asioita opetetaan. Tutkimus korostaa, että oppiminen on vaikuttavinta silloin, kun käsiteltävät asiat ovat oppijoille merkityksellisiä ja liittyvät heidän omaan elämäänsä tai paikalliseen ympäristöön. Lisäksi aktiiviset ja osallistavat opetusmenetelmät, kuten keskustelut, projektityöskentely ja ongelmanratkaisu, tukevat oppimista paremmin kuin pelkkä luennointi. (Monroe ym., 2019) Toiminnallinen, kokemuksellinen ja

yhteistoiminnallinen oppiminen on keskeistä ilmastotoimien edistämässä (UNESCO, 2024). Ilmastokasvatuksessa on myös tärkeää käsitellä virheellisiä käsityksiä ja liittää oppiminen aitoon toimintaan esimerkiksi koulun projekteissa.

Tämän lisäksi tunteilla on merkitystä oppimisessa. Ilmastonmuutokseen liittyvät tunteet, kuten huoli tai epävarmuus, voivat vaikuttaa siihen, miten ihmiset suhtautuvat aiheeseen. Tutkimusten mukaan pelkkä tiedon lisääminen voi jopa lisätä ahdistusta, ellei samalla tarjota keinoja toimia ja käsitellä tunteita (UNESCO, 2024). Toisaalta tutkimukset osoittavat, että erityisesti toivon perustuva lähestymistapa voi vahvistaa motivaatiota toimia ja lisätä uskoa omiin vaikutusmahdollisuuksiin (Ojala, 2012).

Ilmastokasvatus on luonteeltaan monitieteistä, sillä ilmastonmuutos liittyy luonnontieteiden lisäksi myös poliittisiin, eettisiin ja taloudellisiin kysymyksiin (Yli-Panula ym., 2020). Tämän vuoksi opetuksessa on tärkeää tarkastella ilmiötä useista eri näkökulmista ja laajempina kokonaisuuksina eikä vain yksittäisinä asioina. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen syiden ymmärtäminen perustuu pitkälti luonnontieteelliseen tietoon, kun taas ratkaisujen tarkastelu liittyy usein politiikkaan, talouteen ja ihmisten arjen valintoihin (Cantell ym., 2019). Tällainen kokonaisvaltainen lähestymistapa auttaa hahmottamaan ilmastonmuutoksen laajuutta ja monimutkaisuutta sekä tukee kykyä arvioida siihen liittyviä ratkaisuja kriittisesti (Yli-Panula ym., 2020).

Ilmastokasvatuksen toteuttamiseen liittyy kuitenkin myös haasteita. Ilmastonmuutos on monimutkainen ja osittain vaikeasti hahmotettava ilmiö, mikä tekee sen opettamisestakin haastavaa. Lisäksi opettajien osaamisessa ja varmuudessa käsitellä aihetta ja opetussuunnitelmissa painottuu usein tiedollinen oppiminen muiden tärkeiden näkökulmien kustannuksella (UNESCO, 2024). Tästä huolimatta tutkimukset osoittavat, että hyvin suunniteltu ilmastokasvatus voi lisätä sekä tietoa että valmiuksia toimia ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. (Monroe ym., 2019)

Ilmastokasvatuksen merkitys korostuu erityisesti nykyisessä tilanteessa, jossa ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat jo nähtävissä ja tulevat voimistumaan tulevaisuudessa. Samalla ilmastonmuutos vaikuttaa suoraan myös koulunkäyntiin, esimerkiksi aiheuttamalla enemmän keskeytyksiä ja heikentämällä oppimistuloksia, mikä osoittaa, että koulutus ja ilmastonmuutos vaikuttavat toisiinsa molempiin suuntiin. (UNESCO, 2024). Koulutuksella on suuri merkitys siihen, miten ihmiset ymmärtävät ilmastonmuutosta ja millaisia ratkaisuja he pitävät mahdollisina (UNESCO, 2024). Ilmastokasvatus voi lisätä ymmärrystä

ilmastonmuutoksesta, vahvistaa yksilön kokemusta omista vaikutusmahdollisuuksista sekä tukea kestävien elämäntapojen omaksumista, minkä vuoksi sitä voidaan pitää tärkeänä osana ilmastonmuutoksen kokonaisvaltaista ratkaisemista (UNESCO, 2020; Monroe ym., 2019).

2.4 Aiempaa tutkimusta

Aiemmat tutkimukset osoittavat, että ilmastonmuutoksen käsittely luonnontieteellisten oppiaineiden oppikirjoissa on usein määrällisesti melko vähäistä ja vaihtelevaa. Esimerkiksi Yoho ja Rittmann (2018) havaitsivat, että ilmastonmuutokseen ja energiateknologioihin liittyvät sisällöt kattavat keskimäärin vain alle 4 % yliopistotason biologian, kemian ja fysiikan kirjojen sivuista. Lisäksi nämä aiheet sijoittuvat usein oppikirjojen loppuun, mikä voi tarkoittaa sitä, että niitä ei välttämättä ehditä käsitellä opetuksessa. Tutkimuksessa nousi esiin myös se, että oppikirjojen välillä on suuria eroja sekä sisällön määrässä että siinä, miten ilmastonmuutosta käsitellään.

Myös terminologiaan liittyy ongelmia. Yohon ja Rittmannin (2018) mukaan käsitteitä “ilmastonmuutos” ja “ilmaston lämpeneminen” käytetään oppikirjoissa joskus synonyymeina ja joskus eri merkityksissä. Tämä voi tehdä aiheesta vaikeammin ymmärrettävän opiskelijoille ja aiheuttaa virhekäsityksiä. Lisäksi oppikirjojen tapa kuvata ilmastonmuutosta vaihtelee.

Kemian oppikirjoihin keskittyvä tutkimus tukee myös näitä havaintoja. Yliopiston kemian oppikirjoja koskevassa tutkimuksessa (Wilson ym., 2024) havaittiin, että ilmastonmuutokseen liittyvä sisältö on epätasaisesti jakautunutta ja joissakin oppikirjoissa sitä ei ole lainkaan. Lisäksi suuri osa ilmastonmuutokseen liittyvistä maininnoista löytyy esimerkiksi oppikirjojen kuvista tai tehtävistä, eikä varsinaisesta tekstistä. Tämä voi vaikuttaa siihen, kuinka keskeisenä aihe opiskelijoille näyttäytyy. Sisällöllisesti ilmastonmuutos yhdistetään useimmiten kasvihuonekaasuihin ja kaasujen ominaisuuksiin, kun taas moniin muihin kemian keskeisiin käsitteisiin sitä ei juurikaan liitetä.

Italialaisia lukion oppikirjoja tarkasteleva tutkimus (Toffaletti ym., 2024) tuo esiin myös esitystapoihin liittyviä ongelmia. Ilmastonmuutoksen ymmärtämisen kannalta keskeisiä käsitteitä käsitellään usein puutteellisesti tai melko pinnallisesti. Lisäksi oppikirjoissa esiintyy virhekäsityksiä, kuten ajatus siitä, että kasvihuonekaasut muodostaisivat selkeän kerroksen ilmakehässä tai säteilytasapaino virheellisesti kuvattuna. Erityisesti kuvat voivat vahvistaa virhekäsityksiä, jos niiden esitystapa ei ole tarkka. (Toffaletti ym., 2024) Tutkimuksessa todetaan myös, että tällaiset väärinkäsitykset voivat säilyä oppilaille pitkään, jopa

korkeakouluopintoihin asti. Vaikka joissakin uudemmissa oppikirjoissa on nähtävissä parannusta, kokonaisuudessaan ilmastonmuutoksen käsittely ei ole vielä täysin kattavaa tai johdonmukaista.

2.5 Ilmastonmuutokseen liittyvät tavoitteet LOPSissa

Lukion opetussuunnitelman perusteissa ilmastonmuutos sisältyy eri oppiaineiden tavoitteiden lisäksi lukiokoulutuksen arvoperustaan: ”Opiskelija ymmärtää oman toimintansa ja globaalien vastuun merkityksen luonnonvarojen kestävässä käytössä, ilmastonmuutoksen hillinnässä ja luonnon monimuotoisuuden säilyttämisessä” (Opetushallitus 2019, s.6) Ilmastonmuutos on osana myös laaja-alaisia osaamistavoitteita, jonka osa-alueet muodostavat oppiaineiden yhteiset tavoitteet. Osa-alueita ovat hyvinvointiosaaminen, vuorovaikutusosaaminen, monitieteinen ja luova osaaminen, yhteiskunnallinen osaaminen, eettisyys ja ympäristöosaaminen sekä globaali- ja kulttuuriosaaminen. Näistä osa-alueista ilmastonmuutostavoitteet voidaan kytkeä eettisyys ja ympäristöosaamiseen, jossa mainitaan luonnon monimuotoisuuden arvostaminen ja tutkimustietoon perustuva ilmasto-osaaminen. Osa-alueen tavoitteena on, että

Opiskelija tutustuu tutkimustietoon ja käytäntöihin, jotka liittyvät ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja luonnon monimuotoisuuden turvaamiseen. Hän saa mahdollisuuksia havainnoida, suunnitella, tutkia ja arvioida toimintaa, jolla näitä ilmiöitä voidaan muuttaa kestäväan suuntaan. Opiskelija reflektoi havaintojaan yhteiskunnallisen vaikuttamisen näkökulmasta pyrkien tunnistamaan rakenteita, jotka mahdollistavat eri yhteisöjen kestäväan toiminnan tai ovat sen esteenä. (Opetushallitus 2019, s.42)

2.5.1 Ilmastonmuutokseen liittyvät tavoitteet kemiassa

Laaja-alaisissa tavoitteissa kemian opetuksen tehtävänä on syventää opiskelijan ymmärrystä ympäristöongelmista ja niiden taustalla olevista syistä sekä ohjata tarkastelemaan omaa toimintaansa osana näitä kokonaisuuksia (Opetushallitus 2019). Ilmastonmuutos mainitaan tässä kontekstissa yhtenä keskeisenä ympäristöhaasteena.

Yleisissä kemian tavoitteissa mainitaan, että sen tulisi ohjata ymmärtämään kemian ja sen sovellusten merkitystä ympäristöhaasteiden ratkaisemisessa. Ilmastonmuutoksen kemiallisen tiedon lisäksi kemian opetuksessa voidaan harjoitella kemian merkityksen pohtimista

kestävän kehityksen näkökulmasta, mikä on kytköksissä myös ilmastonmuutokseen. Tavoitteiden mukaan ilmastonmuutoksen voidaan siis katsoa sisältyvän moduuleihin Kemia ja kestävä tulevaisuus (KE2), Kemiallinen energia ja kiertotalous (KE5) ja Kemiallinen tasapaino (KE6).

Moduuli Kemia ja kestävä tulevaisuus on kaikille opiskelijoille pakollinen.

Opetussuunnitelman mukaan sen yhtenä tavoitteena on tutustua kemian merkitykseen kestävän elämäntavan edistämässä ja ymmärtämään kemian merkitys ympäristölle tarjoten ratkaisuja muiden luonnontieteiden kanssa. (Opetushallitus 2019)

Moduuli Kemiallinen energia ja kiertotalous on valinnainen. Tämän moduulin tavoitteina on ymmärtää kemiallisen energian varastoinnin ja hyödyntämisen periaatteita ja osata perustella mielipiteitä energiaratkaisukeskusteluissa. Tavoitteena on ymmärtää metallien valmistuksen ja jalostuksen ympäristövaikutuksia sekä kierrätyksen ja kiertotalouden merkitystä niiden vähentämisessä. (Opetushallitus 2019) Moduuli syventää ilmastonmuutoksen käsittelyä erityisesti energiaratkaisujen ja materiaalien käytön näkökulmasta. Viimeisessä valinnaisessa moduulissa, Kemiallinen tasapaino (KE6), tavoitteena on, että opiskelija ymmärtää, miten kemiaa voidaan hyödyntää terveyteen ja ympäristöön liittyvien ongelmien ratkaisemisessa. (Opetushallitus, 2019)

2.5.2 Ilmastonmuutokseen liittyvät tavoitteet fysiikassa

Laaja-alaisissa tavoitteissa fysiikan tehtävänä on erityisesti kestävän kehityksen ja ympäristöosaamisen vahvistaminen. Fysiikan opetuksen tavoitteena on auttaa opiskelijaa ymmärtämään, että fysiikkaa tarvitaan kestävän tulevaisuuden rakentamisessa sekä erilaisten ympäristöongelmien, kuten ilmastonmuutoksen, ratkaisemisessa. (Opetushallitus, 2019)

Fysiikan moduuleissa ilmastonmuutos näkyy sekä tavoitteissa, että keskeisissä sisällöissä. Se mainitaan suoraan pakollisessa moduulissa Fysiikka, ympäristö ja yhteiskunta (FY2), sekä valinnaisessa moduulissa Energia ja lämpö (FY3). (Opetushallitus, 2019)

FY2-moduulissa painotetaan eri energiantuotantomuotojen tarkastelua ja niiden ympäristövaikutusten ymmärtämistä. Lisäksi tavoitteena on antaa opiskelijalle valmiuksia osallistua ympäristöön ja teknologiaan liittyvään keskusteluun ja päätöksentekoon

energiatalouden näkökulmasta. Moduulin keskeisissä sisällöissä korostetaan energiantuotannon vaikutuksia ilmastonmuutokseen. (Opetushallitus, 2019)

FY3-moduulissa puolestaan tavoitteena on, että opiskelija osaa soveltaa termodynamiikan tietojaan pohiessaan, mitkä energiantuotannon ratkaisut ovat ympäristön kannalta kestäviä. Lisäksi opiskelijan tulee ymmärtää energiatasapainon ja lämmönsiirtymisen rooli ilmastonmuutoksen taustalla. (Opetushallitus, 2019)

3 Tutkimuskysymykset

Tutkielman tavoitteena on tarkastella, miten ilmastonmuutosta käsitellään lukion kemian ja fysiikan oppikirjoissa. Tutkimuksen kohteena on kolmen eri kustantajan oppikirjasarjat ja niiden vertailu. Tarkoituksena on tutkia, millainen kokonaiskuva ilmastonmuutoksesta oppikirjojen kautta rakentuu ja miten ilmastonmuutos kytetään oppiaineeseen.

Tutkimusta ohjaavat seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Millä tavoin ja kuinka laajasti ilmastonmuutosta käsitellään lukion kemian ja fysiikan oppikirjoissa?
2. Millaisia ilmastonmuutoksen syitä, seurauksia ja ratkaisuja oppikirjoissa esitetään?
3. Millaisia eroja ja yhtäläisyyksiä ilmastonmuutoksen käsittelyssä on eri oppikirjasarjojen sekä kemian ja fysiikan välillä?

Ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen vastataan luvuissa 5 ja 6, joissa tarkastellaan ilmastonmuutoksen käsittelyä kemian ja fysiikan oppikirjoissa. Kolmanteen tutkimuskysymykseen vastataan luvussa 7, jossa tuloksia vertaillaan ja tarkastellaan kokonaisuutena.

4 Tutkimusaineisto ja -menetelmä

Tässä luvussa kuvataan tutkimuksessa käytetty aineisto sekä tutkimusmenetelmä. Lisäksi esitellään aineiston rajaus, analyysimenetelmän periaatteet ja analyysin eteneminen. Lisäksi tarkastellaan tutkimuksen luotettavuutta.

4.1 Oppikirja-aineisto

Tutkimuksen aineistona on kolmen eri oppimateriaalikustantajan lukion kemian ja fysiikan oppikirjat sähköisessä muodossa. Analysoitavana olivat kemian kirjoista Otavan Mooli-sarja, SanomaPron Sidos- ja Ioni-sarja sekä e-Opin Orbitaali-sarja. Fysiikan kirjoista analysoitiin SanomaPron Fysiikka- ja Kvarkki -sarjat, Otavan Vipu -sarja sekä e-Opin Resonanssi -sarja. Oppikirjat pohjautuvat opetushallituksen vuonna 2019 laatimaan Lukion opetussuunnitelman perusteisiin. Analyysiin otettiin kustakin oppikirjasarjasta ne moduulien osat, jotka käsittelevät ilmastonmuutokseen liittyviä sisältöjä. Analyysissa otettiin huomioon ainoastaan kirjojen leipäteksti.

Tässä analyysissä kaikkia kestävästä kehitystä koskevia sisältöjä ei tulkittu ilmastonmuutossisällöiksi. Analyysiin sisällytettiin vain sellaiset kohdat, jotka liittyivät suoraan tai perustellusti epäsuorasti ilmastonmuutokseen. Epäsuorasti liittyviksi sisällöiksi luokiteltiin sellaiset kohdat, joissa käsiteltiin esimerkiksi energian tuotantoa ja käyttöä, materiaalien valmistusta, kiertotaloutta tai päästöjen vähentämistä ilman, että ilmastonmuutosta mainittiin suoraan, mutta yhteys ilmastonmuutokseen oli selkeästi perusteltavissa.

4.2 Laadullinen ja määrällinen sisällönanalyysi

Tämä tutkimus on laadullinen ja määrällinen oppikirja-analyysi, jossa tarkastellaan lukion kemian ja fysiikan oppikirjojen ilmastonmuutosta käsittelevää sisältöä. Tutkimus perustuu laadulliseen sisällönanalyysiin, jonka avulla pyritään jäsentämään oppikirjojen teksteissä esiintyviä ilmastonmuutokseen liittyviä merkityksiä ja teemoja. Sisällönanalyysin tavoitteena on järjestää aineisto tiiviiseen ja selkeään muotoon säilyttäen sen sisältämä informaatio. Menetelmä soveltuu erityisesti tekstiaineistojen, kuten oppikirjojen, analysointiin, kun tavoitteena on tarkastella, miten tietty ilmiö esitetään ja millaisia merkityksiä siihen liitetään. (Tuomi & Sarajarvi, 2018) Analyysi toteutettiin induktiivisena sisällönanalyysinä, jolloin

analyysi eteni aineistolähtöisesti ilman valmiita luokittelurunkoja. Menetelmän tavoitteena oli tunnistaa tekstistä keskeisiä ilmastonmuutokseen liittyviä merkityksiä. Analyysissa tarkasteltiin oppikirjojen tekstiä ja niistä poimittiin tutkimuksen kannalta olennaiset ilmastonmuutokseen liittyvät kohdat. Analyysissä hyödynnettiin myös määrällisiä piirteitä laskemalla merkitysyksiköiden määriä teemoittain ja alaluokittain. Tämän avulla voitiin tarkastella eri sisältöjen esiintyvyyttä ja painottumista oppikirjoissa.

4.3 Analyysin eteneminen

Analyysin ensimmäisessä vaiheessa oppikirjojen tekstit luettiin huolellisesti läpi, minkä jälkeen aineistosta tunnistettiin ilmastonmuutokseen liittyvät tekstikohdat. Seuraavassa vaiheessa valituista kohdista muodostettiin merkitysyksiköitä. Merkitysyksiköksi määriteltiin tekstin osa, joka sisälsi yhden selkeästi rajattavan ilmastonmuutokseen liittyvän ajatuksen tai väittämän. Merkitysyksiköt vaihtelivat laajuudeltaan yksittäisistä lauseista muutaman lauseen kokonaisuuksiin riippuen siitä, miten sisältö muodosti yhtenäisen merkityskokonaisuuden. Merkitysyksiköt pelkistettiin tiiviiksi kuvauksiksi niiden keskeisestä sisällöstä ja merkitysyksiköille annettiin koodit, jotka kuvasivat mahdollisimman tiiviisti sen keskeistä sisältöä. Koodausvaiheen jälkeen koodit ryhmiteltiin ja samankaltaiset koodit yhdistettiin alaluokiksi ja alaluokat jaettiin teemoihin. Alaluokkia muodostettiin yhteensä 15 ja ne jaettiin neljään teemaan. Taulukko 1 havainnollistaa merkitysyksikön tunnistamista ja muodostamista aineistosta. Analyysin perusteella muodostui neljä pääteemaa: ilmastonmuutoksen luonnontieteellinen tausta, ilmastonmuutoksen syyt, ilmastonmuutoksen seuraukset sekä ilmastonmuutoksen ratkaisut.

Taulukko 1. Esimerkki merkitysyksiköiden ja koodien muodostumisesta analyysissä

Alkuperäinen teksti	Merkitysyksikkö	Koodi	Alaluokka	Teema
Suomen tavoitteena on hiilineutraalisuus vuoteen 2035 mennessä.	Kansallinen hiilineutraaliustavoite	Hiilineutraaliustavoite	Ilmastopolitiikka ja yhteiskunnalliset tavoitteet	Ratkaisut
Hiilidioksidia muodostuu fossiilisten	Fossiilisten polttoaineiden	Fossiiliset polttoaineet päästölähteenä	Fossiiliset polttoaineet ja energiankulutus	Syyt

polttoaineiden polttamisessa.	polttaminen tuottaa hiilidioksidia.			
-------------------------------	-------------------------------------	--	--	--

4.4 Tutkimuksen luotettavuus ja eettiset näkökohdat

Tämän tutkimuksen luotettavuutta voidaan tarkastella aineiston, analyysimenetelmän ja tulkinnan näkökulmista. Aineistona käytetyt lukion kemian ja fysiikan oppikirjat ovat Suomessa laajasti käytössä olevia oppimateriaaleja. Aineisto sisältää useamman kustantajan kirjasarjoja, mikä antaa monipuolisemman kuvan ilmastonmuutoksen käsittelystä.

Tutkimus on toteutettu laadullisena ja määrällisenä sisällönanalyysinä, jossa oppikirjoista on tunnistettu ilmastonmuutokseen liittyviä merkitysyksiköitä ja luokiteltu ne teemoihin. Analyysiprosessi on pyritty kuvaamaan mahdollisimman selkeästi, jotta tutkimuksen eteneminen on ymmärrettävää ja arvioitavissa. Luokittelu sisältää kuitenkin väistämättä myös tulkintaa, mikä voi vaikuttaa tuloksiin. Tätä on pyritty vähentämään käyttämällä samoja luokitteluperusteita koko aineistossa.

Luotettavuutta lisää myös se, että tutkimuksessa on yhdistetty määrällinen ja laadullinen tarkastelu. Määrällinen tarkastelu antaa yleiskuvan siitä, kuinka paljon eri teemoja esiintyy, kun taas laadullinen analyysi auttaa ymmärtämään, miten ilmastonmuutosta käsitellään ja millaisiin sisältöihin se liitetään.

Tutkimuksella on kuitenkin myös rajoituksia. Analyysi kohdistuu oppikirjojen sisältöihin, eikä se kerro siitä, miten opettajat käsittelevät sisältöjä opetuksessa tai miten opiskelijat niitä ymmärtävät. Lisäksi ilmastonmuutokseen liittyvien merkitysyksiköiden valinta ja luokittelu perustuvat tulkintoihin, mikä voi vaikuttaa lopputulokseen.

Tulokset on pyritty esittämään mahdollisimman rehellisesti ja objektiivisesti ilman aineiston valikoivaa käyttöä. Tutkimuksen tarkoituksena ei ole arvioida yksittäisiä oppikirjoja paremmuusjärjestykseen, vaan tarkastella ilmastonmuutoksen käsittelyä yleisellä tasolla.

5 Ilmastonmuutos kemian oppikirjoissa

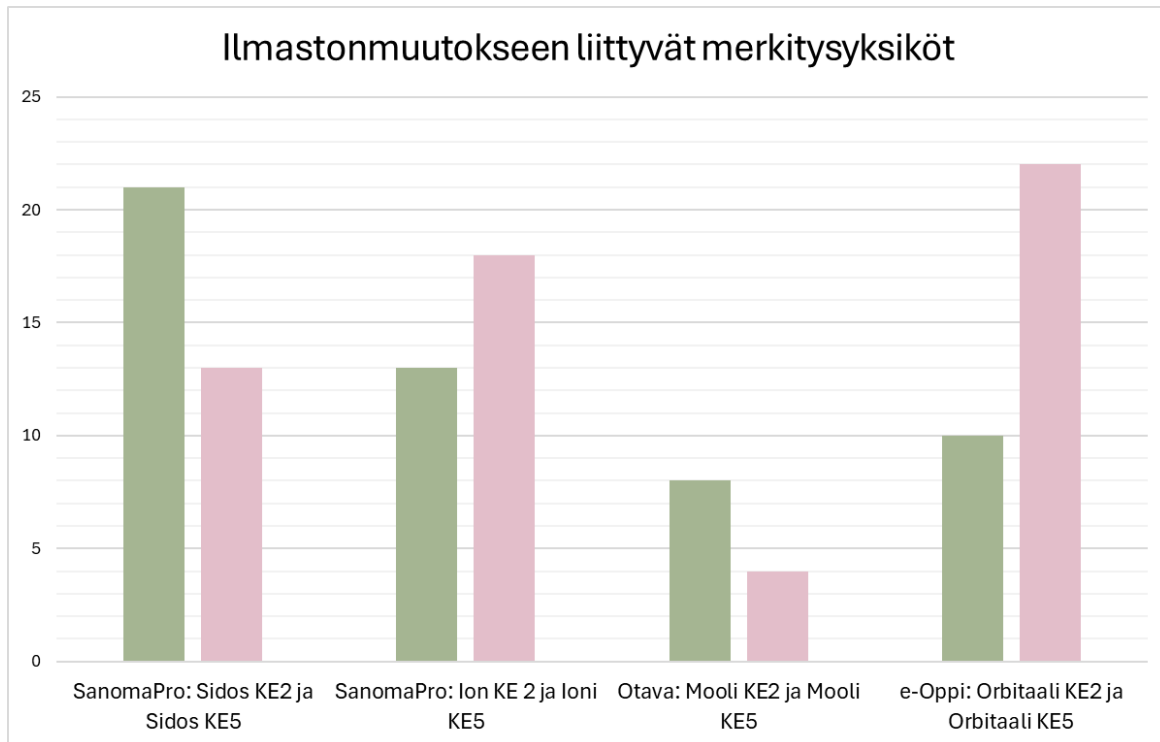
Tässä luvussa tarkastellaan, miten ilmastonmuutosta käsitellään kemian oppikirjoissa. Tulokset keskittyvät aiheen laajuuteen, teemoihin sekä siihen, miten ilmastonmuutos liitetään kemian käsitteisiin ja ilmiöihin. Luvussa vastataan ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen.

5.1 Ilmastonmuutoksen käsittelyn laajuus

Ilmastonmuutoksen käsittelyn laajuutta tarkasteltiin analysoimalla oppikirjoista tunnistettujen ilmastonmuutokseen liittyvien merkitysyksiköiden määrää. Kuvassa 1 esitetään eri oppikirjoista tunnistettujen merkitysyksiköiden lukumäärät. Ilmastonmuutosta käsitellään kaikissa tarkastelluissa oppikirjoissa, mutta käsittelyn laajuus vaihtelee huomattavasti kirjasarjojen ja moduulien välillä. LOPSissa ilmastonmuutos liitettiin moduuleihin KE2 ja KE5.

Eniten ilmastonmuutokseen liittyviä merkitysyksiköitä tunnistettiin e-Opin Orbitaali KE5 -oppikirjasta (22 merkitysyksikköä) ja SanomaPron Sidos KE2 -oppikirjassa (21 merkitysyksikköä). SanomaPron Ioni KE5 -oppikirjassa ilmastonmuutokseen liittyviä merkitysyksiköitä havaittiin 18. Sen sijaan Sidos KE5- ja Ioni KE2 -oppikirjoissa merkitysyksiköitä tunnistettiin vähemmän (13 kummassakin).

Otavan Mooli-sarjan oppikirjoissa ilmastonmuutosta käsiteltiin selvästi vähemmän kuin muissa sarjoissa. Mooli KE2 -oppikirjassa ilmastonmuutokseen liittyviä merkitysyksiköitä havaittiin kahdeksan ja Mooli KE5 -oppikirjassa neljä. Myös Orbitaali KE2 -oppikirjassa ilmastonmuutokseen liittyviä merkitysyksiköitä esiintyi vähemmän kuin saman sarjan KE5-kirjassa (10 merkitysyksikköä).



Kuva 1. Ilmastomuutokseen liittyvien merkitysyksiköiden määrä eri oppikirjoissa

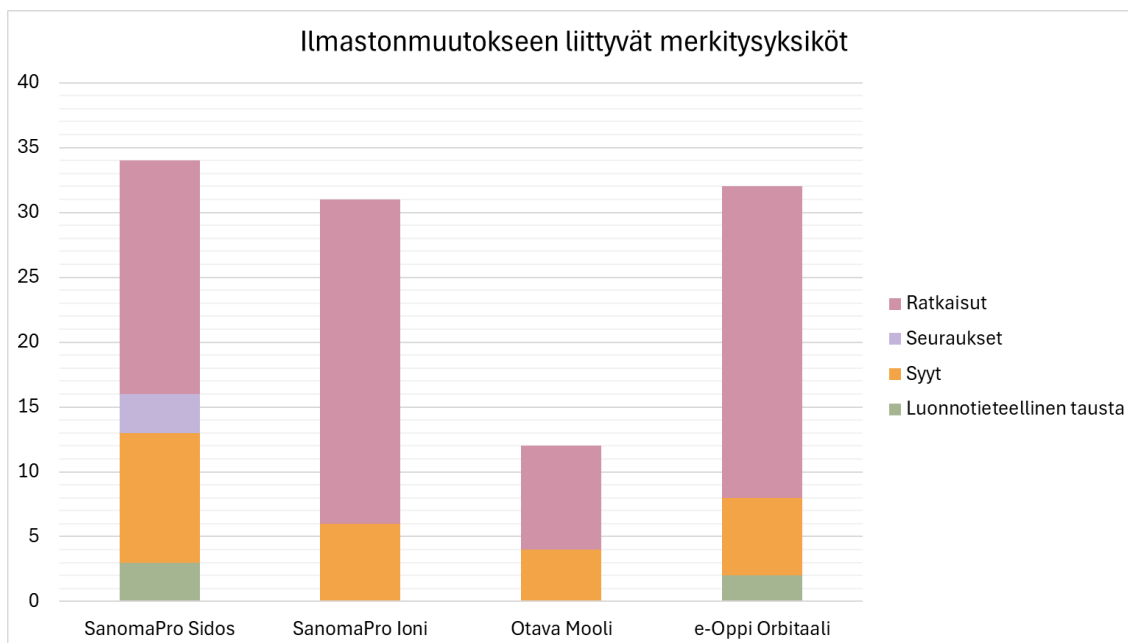
5.2 Ilmastomuutoksen teemat ja kemiallinen konteksti oppikirjoissa

Ilmastomuutoksen käsittelyn on hyvin samankaltaista kirjasarjojen välillä, ja käsittelyn pääpaino on ratkaisuissa (Kuva 2). Ratkaisuja käsiteltiin kaikista teemoista eniten jokaisessa kirjasarjassa.

Toiseksi eniten käsiteltiin syitä jokaisessa kirjassa, mutta vähemmän kuin ratkaisuja. Eniten syihin liittyviä merkitysyksiköitä tunnistettiin SanomaPron Sidos-sarjasta (10 merkitysyksikköä) ja vähiten Otava Mooli-sarjasta (4 merkitysyksikköä). Seurauksista mainittiin vain SanomaPron Sidos-sarjassa (3 merkitysyksikköä).

Ilmastomuutoksen luonnontieteellistä taustaa käsitellään aineistossa hyvin vähän.

Luonnontieteellistä taustaa käsittelevään teemaan liittyy kasvihuoneilmiö ja kasvihuonekaasut. SanomaPron Sidos KE2 -oppikirjassa teema esiintyi kolme kertaa ja e-Opin Orbitaali KE5 -oppikirjassa kaksi kertaa, kun taas muissa oppikirjoissa kasvihuoneilmiötä ja kasvihuonekaasuja ei selitetty lainkaan.



Kuva 2. Ilmastonmuutokseen liittyvien merkitysyksiköiden määrä teemoittain

5.2.1 Luonnotieteellinen tausta

Luonnotieteellistä taustaa käsiteltiin vain kahdessa kirjasarjassa (SanomaPron Sidos ja e-Opin Orbitaali). Molemmissa kirjasarjoissa käsiteltiin hyvin lyhyesti kasvihuoneilmiön mekanismia selittäen, miten kasvihuonekaasut absorboivat lämpösäteilyä. Näissä kirjasarjoissa ilmastonmuutos liitetään kemiaan molekyylitasolla ilmakehän kaasujen kautta.

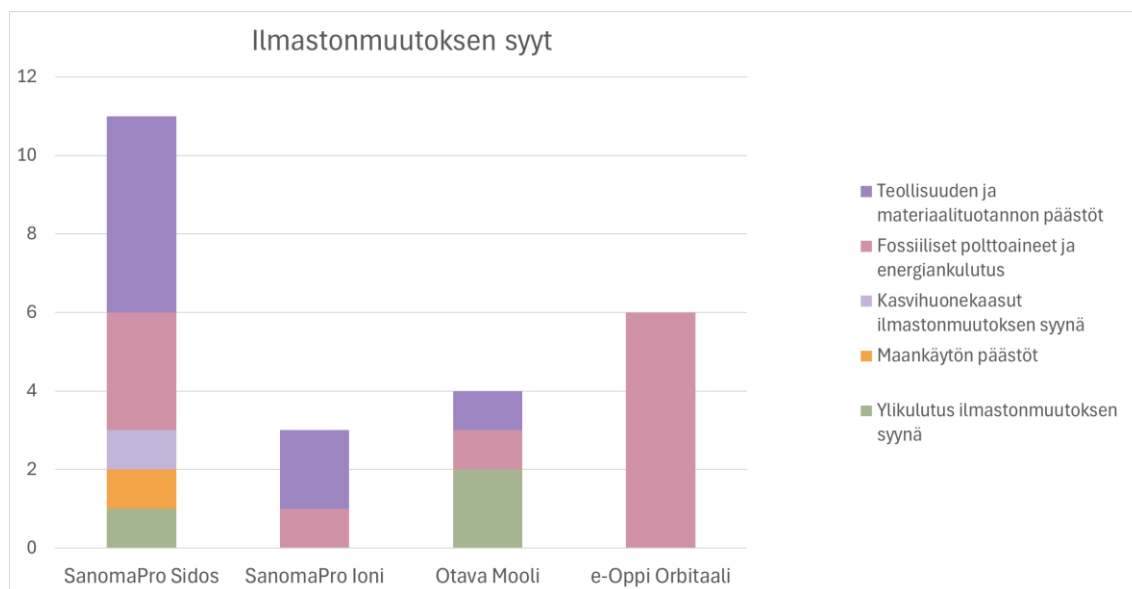
Orbitaali-sarjassa mainittiin myös merkittävimpinä kasvihuonekaasuina vesihöyry ja hiilidioksidi. Sidos-sarjassa ei tässä yhteydessä mainittu, mitkä kaasut ovat kasvihuonekaasuja.

5.2.2 Ilmastonmuutoksen syyt

Oppikirjoissa esitetyt ilmastonmuutoksen syyt liittyvät ihmisen toiminnan aiheuttamiin päästöihin (Kuva 3). Kaikissa kirjasarjoissa mainittu syy on fossiilisten polttoaineiden käyttö sekä energiankulutus. Tätä alaluokkaa käsiteltiin eniten Orbitaali-sarjassa (6 merkitysyksikköä). Muista kirjasarjoista tunnistettiin 1–3 merkitysyksikköä. Kirjoissa mainitaan esimerkiksi, että hiilidioksidia muodostuu fossiilisten polttoaineiden polttamisessa, jolloin se kertyy ilmakehään ja voimistaa ilmastonmuutosta.

Toinen ilmastonmuutoksen syy, joka esiintyy lähes kaikissa oppikirjoissa, on teollisuuden ja materiaalityönteollisuuden päästöt. Tähän alaluokkaan liittyi muun muassa metallien ja muiden materiaalien valmistukseen liittyvät päästöt. Alaluokka esiintyi SanomaPron Sidos-sarjassa (5 merkitysyksikköä), Ioni-sarjassa (2 merkitysyksikköä) ja Otavan Mooli-sarjassa (1 merkitysyksikkö). Eli syitä tarkastellaan myös kemiallisten prosessien kautta. Kirjoissa kuvataan esimerkiksi sementin tuotannosta syntyviä hiilidioksidipäästöjä.

Sidos-sarjassa kasvihuonekaasuja käsiteltiin myös erikseen ja niiden pitoisuuden kasvu ilmakehässä mainittiin ilmastonmuutoksen syyksi. Muissa kirjasarjoissa kasvihuonekaasuja ei erikseen mainittu ilmastonmuutoksen syyksi. Muita syitä ilmastonmuutokselle kirjasarjoissa oli maankäytön päästöt sekä ylikulutus, mutta näitä esiintyi vähemmän.



Kuva 3. Kirjoissa esiintyvät merkitysyksiköt ilmastonmuutoksen syistä alaluokittain

5.2.3 Ilmastonmuutoksen ratkaisut

Ilmastonmuutoksen ratkaisuja käsiteltiin aineistossa laajimmin ja ratkaisut olivat selvästi keskiössä kaikissa tarkastelluissa oppikirjoissa. Kuvassa 4 esitetään ratkaisuihin liittyvien merkitysyksiköiden jakautuminen alaluokittain eri oppikirjasarjoissa. Tulokset osoittavat, että ratkaisuja käsitellään oppikirjoissa monipuolisesti, mutta niiden painotukset vaihtelevat selvästi kirjasarjojen välillä.

Yleisin ratkaisutyyppejä lähes kaikissa oppikirjoissa on energiaan liittyvät ratkaisut, jotka korostuivat erityisesti Orbitaali- ja Sidos-sarjoissa. Orbitaali-sarjassa energiaan liittyviä

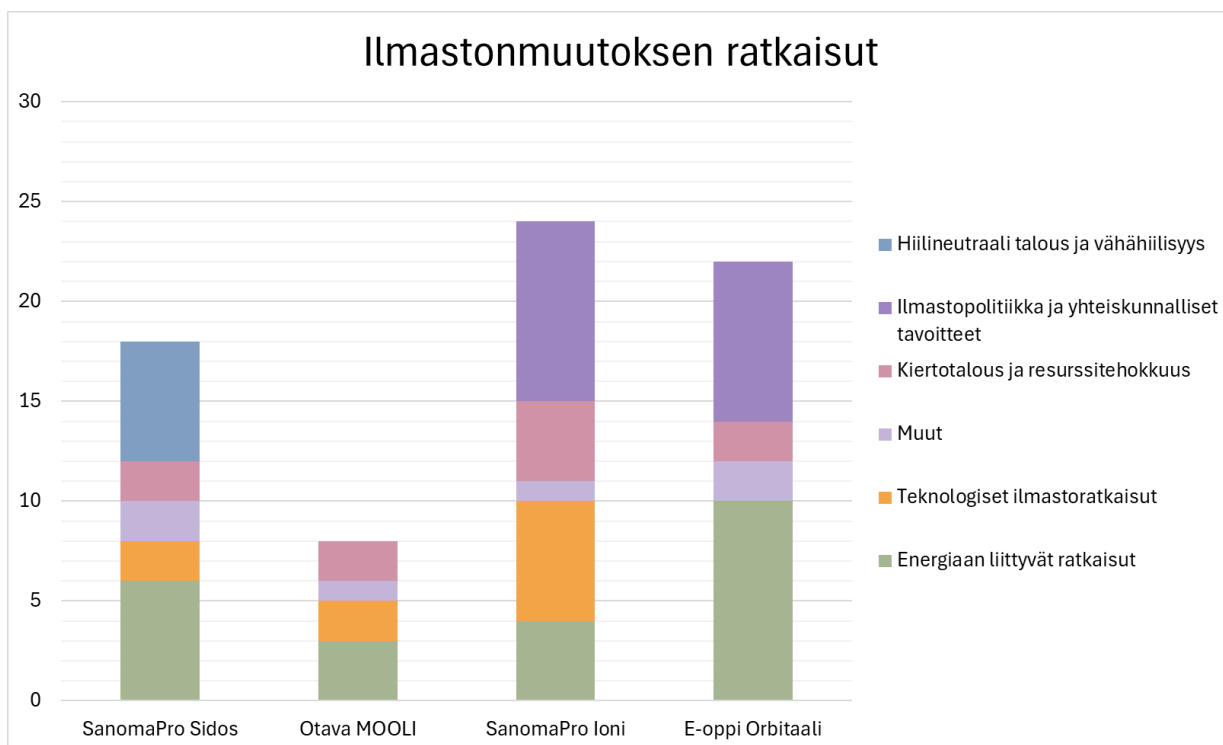
ratkaisuja käsitellään kaikkein eniten (10 merkitysyksikköä). Energiaan liittyvät ratkaisut liittyivät erityisesti uusiutuvan energian hyödyntämiseen sekä fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen vaihtoehtoisilla energialähteillä. Ratkaisuksi esitetään siirtyminen uusiutuviin energialähteisiin, kuten aurinko- ja tuulivoimaan, sekä biopolttoaineisiin, kuten biodieseliin, bioetanolin ja biokaasuun, joita voidaan valmistaa uusiutuvista raaka-aineista. Energiaan liittyvät ratkaisut liitetään kemiaan polttoaineiden koostumuksen, valmistuksen ja kemiallisten reaktioiden kautta. Esimerkiksi biopolttoaineiden tuotanto perustuu kemiallisiin prosesseihin, joissa biomassaa muunnetaan käyttökelpoiksi energianlähteiksi. Lisäksi kirjoissa tuodaan esiin, että uusiutuvat polttoaineet eivät lisää ilmakehän hiilidioksidimäärää samalla tavalla kuin fossiiliset polttoaineet, koska biomassassa sitoo kasvaessaan hiilidioksidia.

Ilmastopolitiikkaan ja yhteiskunnallisiin tavoitteisiin liittyvät ratkaisut olivat suurin alaluokka Ioni sarjassa (9 merkitysyksikköä). Orbitaali-sarjassa, alaluokkaa käsiteltiin toiseksi eniten (8 merkitysyksikköä). Näissä kirjasarjoissa ilmastonmuutosta tarkasteltiin yhteiskunnallisena kysymyksenä, joka liittyi kansainvälisiin ilmastotavoitteisiin, poliittisiin päätöksiin sekä yhteiskunnallisiin muutoksiin. Esimerkiksi Euroopan unionin ilmastopolitiikkaa kuvataan konkreettisten päästövähennystavoitteiden avulla. Lisäksi tuodaan esiin ohjaukeinoja, kuten sääntely ja lainsäädäntö, esimerkiksi tuotteiden ekologista suunnittelua koskevat vaatimukset. Sidos- ja Mooli-sarjoissa tämä näkökulma jäi puuttumaan. Kemian näkökulmasta ilmastopolitiikka ja yhteiskunnalliset tavoitteet liitetään erityisesti siihen, miten kemianteollisuus, materiaalit ja tuotantoprosessit voivat vastata näihin vaatimuksiin. Esimerkiksi yritysten pyrkimykset vähentää omaa hiilijalanjälkeään, kehittää vähäpäästöisemmin tuotteita sekä saavuttaa hiilineutraalius esitetään konkreettisina keinoina.

Kiertotalouteen ja resurssitehokkuuteen liittyviä ratkaisuja käsiteltiin kaikissa oppikirjoissa. Kiertotalous oli näkyvillä kirjoissa laajemminkin, mutta kaikkea siihen liittyvää ei luokiteltu ilmastonmuutossisällöksi. Kuitenkin kiertotalous ilmastonmuutoksen ratkaisuna esiintyi kaikissa kirjoissa. Kirjoissa kuvataan siirtymää lineaaritaloudesta, jossa tuotteet valmistetaan, käytetään ja hävitetään, kohti kiertotaloutta, jossa materiaalit pyritään pitämään kierrossa mahdollisimman pitkään. Oppikirjoissa korostetaan, että kierrätys säästää sekä materiaalia että energiaa. Esimerkiksi metallien, kuten alumiinin, kierrätys vaatii huomattavasti vähemmän energiaa kuin valmistus malmista.

Ratkaisuja tarkastellaan myös teknologisten innovaatioiden kautta. Teknologiset ilmastoratkaisut liittyivät esimerkiksi uusiin materiaaleihin sekä teknologisiin keinoihin,

joiden avulla pyritään vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä tai parantamaan resurssitehokkuutta. Yksi teknologinen ratkaisu liittyy hiilidioksidin talteenottoon, eli hiilidioksidia pyritään sitomaan ilmakehästä, vaikka niiden tehokkuus on vielä rajallinen. Ioni-sarjassa teknologisia ratkaisuja käsiteltiin huomattavasti enemmän kuin muissa sarjoissa (6 merkitysyksikköä). Muissa sarjoissa teknologiset ratkaisut esiintyivät harvemmin.



Kuva 4. Ilmastomuutoksen ratkaisuihin liittyvien merkitysyksikköiden määrä yleisimmissä alaluokissa

6 Ilmastonmuutos fysiikan oppikirjoissa

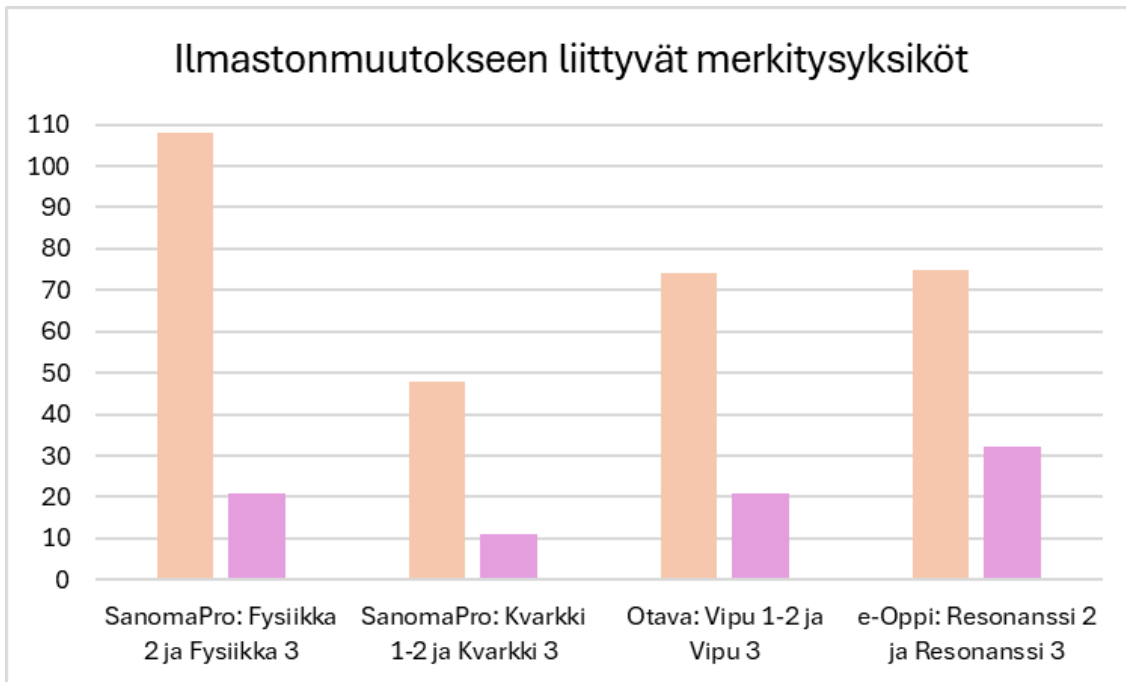
Tässä luvussa tarkastellaan ilmastonmuutoksen käsittelyä fysiikan oppikirjoissa. Tulokset keskittyvät aiheen laajuuteen, teemoihin sekä siihen, miten ilmastonmuutos liitetään fysiikan käsitteisiin ja ilmiöihin. Tässä luvussa vastataan ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen fysiikan oppikirjojen osalta.

6.1 Ilmastonmuutoksen käsittelyn laajuus

Ilmastonmuutoksen käsittelyn laajuutta tarkasteltiin analysoimalla fysiikan oppikirjoista tunnistettujen ilmastonmuutokseen liittyvien merkitysyksiköiden määrää. Kuvassa 5 esitetään oppikirjoista tunnistettujen merkitysyksiköiden lukumäärät.

Ilmastonmuutosta käsitellään lukion fysiikan oppikirjoissa hyvin laajasti, mutta löytyy myös selviä eroja oppikirjasarjojen ja moduulien välillä (Kuva 5). Ilmastonmuutosta käsitellään jokaisessa kirjasarjassa enemmän moduulin 2 kuin moduulin 3 kirjoissa. Eniten ilmastonmuutokseen liittyviä merkitysyksiköitä esiintyy SanomaPron Fysiikka 2 -kirjassa (108 merkitysyksikköä), joissa niitä on selvästi enemmän kuin muissa kirjoissa. Vähiten merkitysyksiköitä moduulin 2 kirjoista löytyi SanomaPron Kvarkki -sarjasta (48 merkitysyksikköä).

Moduulin 3 kirjoista merkitysyksiköitä tunnistettiin vähemmän kuin moduulin 2 kirjoista. Eniten niitä löytyi e-Opin Resonanssi -sarjasta (31 merkitysyksikköä) ja vähiten SanomaPron Kvarkki-sarjasta (11 merkitysyksikköä). Selvästi SanomaPron Kvarkki-sarjassa merkitysyksiköitä oli vähiten kummankin moduulin kirjoissa.



Kuva 5. Ilmastonmuutokseen liittyvien merkitysyksiköiden määrä eri oppikirjoissa

6.2 Ilmastonmuutoksen teemat ja fysikaalinen konteksti oppikirjoissa

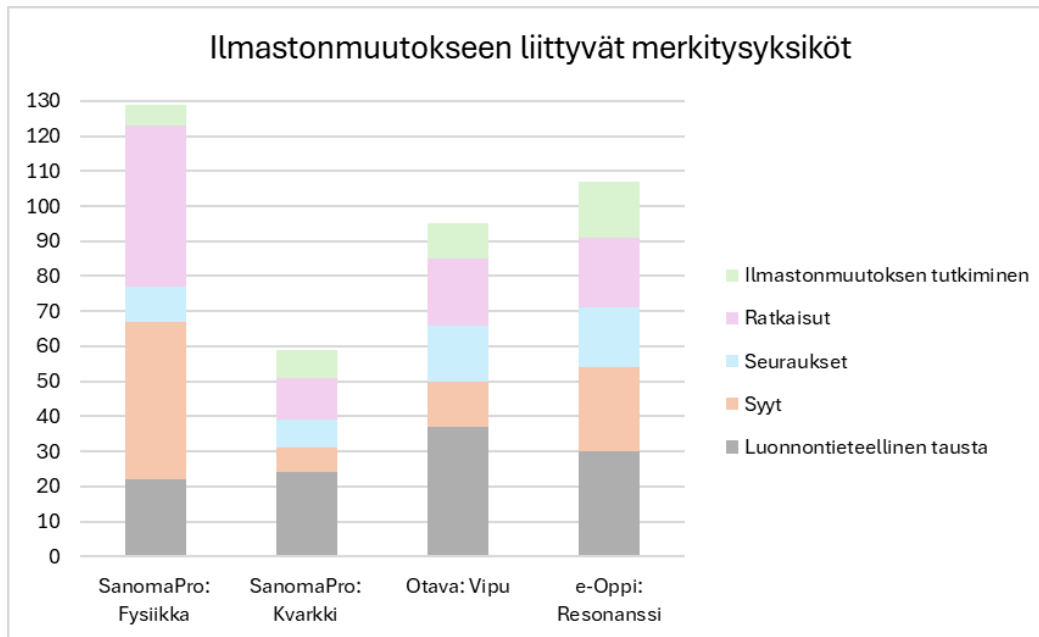
Tulosten perusteella ilmastonmuutosta käsitellään fysiikan oppikirjoissa monipuolisesti eri teemojen kautta (Kuva 6). Teemojen painotus hieman vaihtelee eri kirjasarjojen välillä, mutta kokonaisuutena ilmastonmuutos fysiikan oppikirjoissa rakentuu luonnontieteelliselle perustalle, johon liitetään selkeitä syitä, seurauksia ja ratkaisuja.

Kaikissa sarjoissa käsiteltiin ilmastonmuutoksen luonnontieteellistä taustaa, joka muodosti yhden laajimmista teemoista ilmastonmuutoksen käsittelyssä oppikirjoissa. Eniten merkitysyksiköitä tunnistettiin Otavan Vipu-sarjasta (37 merkitysyksikköä) ja e-Opin Resonanssi-sarjasta (30 merkitysyksikköä), joissa ilmastonmuutoksen luonnontieteellistä taustaa käsiteltiin eniten kaikista teemoista. SanomaPron Kvarkki-sarjasta tunnistettiin 24 merkitysyksikköä ja Fysiikka-sarjasta 22 merkitysyksikköä. Keskeistä ilmastonmuutoksen luonnontieteellisessä taustassa oli kasvihuoneilmiön mekanismi, jota selitettiin maapallon säteilytasapainon ja ilmakehän koostumuksen muutosten kautta. Samalla korostettiin kyseessä olevan luonnollinen ja elämän kannalta välttämätön ilmiö, mutta sen voimistuminen ihmisen toiminnan seurauksena johtaa ilmaston lämpenemiseen ja sitä kautta muihin seurauksiin. Kasvihuonekaasuja ja niiden ominaisuuksia käsiteltiin myös lähes kaikissa kirjoissa ja

erityisesti eri kaasujen kykyä absorboida infrapunasäteilyä sekä sitä, miksi juuri tietyt molekyylit toimivat kasvihuonekaasuina.

Toisena kirjasarjoissa korostuvat ilmastonmuutoksen syyt ja ratkaisut. Seurauksia käsitellään myös kaikissa kirjasarjoissa jonkin verran. Syyt muodostavat keskeisimmän teeman SanomaPron Fysiikka-sarjassa, jossa syihin liittyviä merkitysyksiköitä on selvästi eniten (46 merkitysyksikköä). Myös e-Opin Resonanssi-sarjassa syitä käsitellään runsaasti (24 merkitysyksikköä), kun taas Otavan Vipu-sarjassa (13 merkitysyksikköä) ja SanomaPron Kvantti-sarjassa (7 merkitysyksikköä) niiden osuus on pienempi. Seurauksia käsitellään kaikissa kirjasarjoissa tasaisemmin, mutta niiden määrä jää selvästi syitä ja ratkaisuja vähäisemmäksi. Merkitysyksiköiden määrät vaihtelevat kahdeksasta kuuteentoista. SanomaPron Fysiikka-sarjassa ratkaisuja käsitellään yhtä paljon kuin syitä (46 merkitysyksikköä). Myös muissa sarjoissa ratkaisut korostuvat suhteellisen paljon: e-Opin Resonanssi-sarjasta tunnistettiin 20 merkitysyksikköä ja Otavan Vipu-sarjasta 19 merkitysyksikköä. SanomaPron Kvantti-sarjassa syihin liittyviä merkitysyksiköitä on vähemmän (12 merkitysyksikköä).

Uusi teema, joka nousi esiin fysiikan kirjoista, on ilmastonmuutoksen tutkiminen. Siihen liittyvät sisällöt käsittelevät esimerkiksi ilmastotutkimusta, ilmastomalleja ja päästöjen mittausta. Teema oli esillä kaikissa kirjasarjoissa, mutta usein vähemmän kuin muut teemat. Ilmastonmuutoksen tutkimista käsitellään eniten e-Opin Resonanssi-sarjassa (16 merkitysyksikköä). Otavan Vipu-sarjassa esiintyi 10 merkitysyksikköä, SanomaPron Kvarkki-sarjassa 8 merkitysyksikköä ja Fysiikka-sarjassa 6 merkitysyksikköä.



Kuva 6. Ilmastomuutokseen liittyvien merkitysyksiköiden määrä teemoittain

6.2.1 Luonnontieteellinen tausta

Kuvassa 7 on esitetty yleisimpiä oppikirjoissa käsiteltyjä ilmastomuutoksen luonnontieteelliseen taustaan liittyviä alaluokkia. Keskeisin yhdistävä käsite kaikissa kirjasarjoissa on säteilytasapaino, jota käsitellään runsaasti jokaisessa kirjasarjassa.

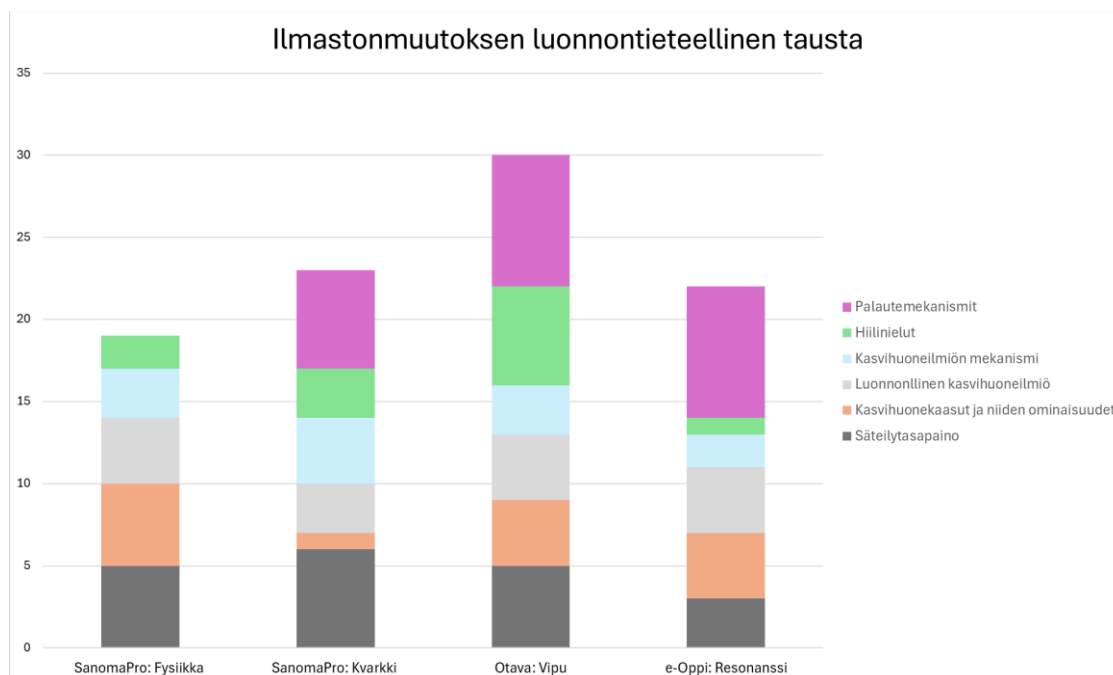
Oppikirjoissa kuvataan esimerkiksi, että maapallo on tasapainossa, kun se vastaanottaa yhtä paljon säteilyenergiaa auringosta kuin säteilee sitä takaisin avaruuteen, ja että ilmastomuutos liittyy tämän tasapainon häiriintymiseen kasvihuonekaasujen lisääntyessä.

Toinen keskeinen fysiikkaan liittävä näkökulma on kasvihuonekaasujen ja niiden ominaisuuksien tarkastelu. Oppikirjoissa selitetään, miksi tietyt kaasut, kuten hiilidioksidi ja metaani, toimivat kasvihuonekaasuina. Tämä liitetään molekyylien rakenteeseen ja niiden kykyyn absorboida infrapunasäteilyä. Oppikirjoissa esimerkiksi todetaan, että Auringon säteily on lyhytaaltoista ja pääosin näkyvän valon aluetta, minkä vuoksi se läpäisee ilmakehän melko hyvin. Maan lähettämä säteily taas on pitkäaaltoista infrapunasäteilyä, joka vuorovaikuttaa kasvihuonekaasujen kanssa. Oppikirjoissa kuvataan, että kasvihuonekaasujen molekyylit absorboivat tätä pitkäaaltoista säteilyä, koska sen energia vastaa molekyylien värähtelyyn liittyviä energioita. Tämän seurauksena osa säteilystä jää ilmakehään. Näin ilmastomuutosta kytketään suoraa fysiikan ilmiöihin ja käsitteisiin.

Kasvihuoneilmiö ja sen mekanismi toimii keskeisenä linkkinä fysiikan ja ilmastonmuutoksen välillä. Oppikirjoissa selitetään sekä luonnollinen kasvihuoneilmiö että sen voimistuminen. Mekanismi esitetään usein niin, että ilmakehän kaasut absorboivat maanpinnasta avaruuteen lähtevää pitkäaaltoista säteilyä ja lähettävät sitä eri suuntiin takaisin, mikä nostaa lämpötilaa ja on edellytys elämälle. Voimistuneen kasvihuoneilmiön yhteydessä tuodaan esiin, että kasvihuonekaasujen lisääntyminen vähentää avaruuteen poistuvan säteilyn määrää ja lämpeneminen voimistuu.

Kvarkki-, Vipu- ja Resonanssi -sarjoissa käsitellään useaan kertaan myös ilmastojärjestelmän palautemekanismeja. Esimerkiksi kuvataan, että lumen ja jään väheneminen pienentää säteilyn heijastumista, jolloin maapallon pinta absorboi enemmän säteilyä ja lämpenee edelleen.

Hiilinielujen toimintaa käsitellään myös jokaisessa kirjasarjassa. Kirjoissa tuodaan esiin, että hiilinielujen kykyyn sitoa hiiltä vaikuttavat sekä ihmisen toiminta että ilmastonmuutos. Esimerkiksi metsähakkuut voivat vapauttaa aiemmin sitoutunutta hiiltä ja pienentää hiilivarastoja, jolloin metsä voi muuttua hiilinielusta hiilen lähteeksi. Vastaavasti meriä tarkastellaan hiilidioksidin sitoijina, mutta meren kyky sitoa hiiltä voi heikentyä lämpenemisen seurauksena. Muutokset hiilinielujen kyvyssä sitoa hiiltä voivat vaikuttaa siihen, kuinka paljon hiilidioksidia jää ilmakehään.



Kuva 7. Luonnontieteellisen taustan merkityksiöiden määrä yleisimmässä alaluokissa

6.2.2 Ilmastonmuutoksen syyt

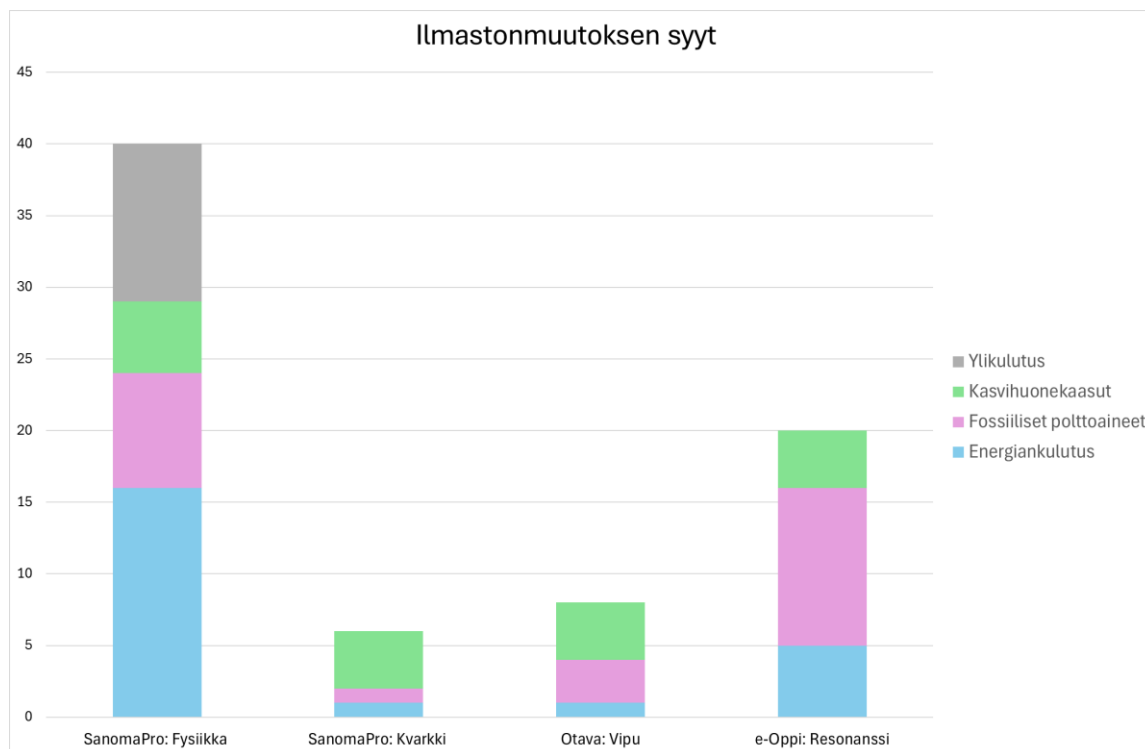
Keskeisimpänä ilmastonmuutoksen syynä korostuu selvästi energiankulutus/energiantuotanto ja fossiiliset polttoaineet (Kuva 8), erityisesti SanomaPron Fysiikka-sarjassa, jossa näihin liittyviä merkitysyksiköitä on selvästi eniten (16 ja 8 merkitysyksikköä). Myös e-Opin Resonanssi-sarjassa nämä syyt tulevat suhteellisen usein esille (11 ja 5 merkitysyksikköä). Oppikirjoissa tuodaan esiin, että suuri osa kasvihuonekaasupäästöistä liittyy energiantuotantoon, ja esimerkiksi todetaan, että “fossiilisten polttoaineiden poltolla tuotetaan noin 80 % maailman energiasta”. Energiankulutus liitetään myös arjen toimintoihin sekä asumiseen, liikenteeseen ja teollisuuteen. Kirjojen teksteissä kuvataan, että fossiilisten polttoaineiden käyttö vapauttaa hiilidioksidia ilmakehään ja lisää siten kasvihuonekaasujen pitoisuutta. Tätä täydennetään tarkastelemalla eri päästölähteitä sektoreittain. Oppikirjoissa todetaan esimerkiksi, että kasvihuonekaasupäästöjä syntyy teollisuudessa, asuntojen lämmittämisestä, sähköntuotannosta, liikenteestä sekä maataloudesta ja ruuan tuotannosta.

Kasvihuonekaasut itsessään esitetään syiden ytimessä jokaisessa kirjasarjassa, mutta käsittely liittyy usein luonnontieteelliseen taustaan. Oppikirjoissa selitetään, että juuri kasvihuonekaasujen määrän lisääntyminen voimistaa kasvihuoneilmiötä.

Kasvihuonekaasupäästöjen lähteitä selitetään sitten erilaisissa asiayhteyksissä.

Joissakin sarjoissa tuodaan esiin myös hiilinielujen heikkeneminen ja maankäytön muutokset ilmastonmuutoksen syinä. Esimerkiksi kuvataan, että metsien hakkuut voivat pienentää hiilivarastoja ja vähentää hiilen sitoutumista ilmakehästä. Lisäksi SanomaPron Fysiikka-sarjassa korostetaan kulutuksen ja ylikulutuksen merkitystä, mikä liittyy ilmastonmuutoksen syyt myös yksilön ja yhteiskunnan toimintaan.

Fysiikan näkökulmasta ilmastonmuutoksen syyt kytetään oppikirjoissa kasvihuoneilmiön mekanismiin ja säteilytasapainoon. Vaikka kaikki syyt eivät ole suoraan fysikaalisia (esimerkiksi kulutustottumukset tai väestönkasvu), ne liitetään fysiikkaan vaikutusten kautta. Lisääntynyt energiankulutus ja fossiilisten polttoaineiden käyttö johtavat kasvihuonekaasupitoisuuksien kasvuun, mikä taas vaikuttaa säteilytasapainoon. Eli yhteiskunnalliset toiminnot johtavat fysikaalisiin muutoksiin.



Kuva 8. Ilmastonmuutoksen syihin liittyvien merkitysyksiköiden määrä yleisimmissä alaluokissa

6.2.3 Ilmastonmuutoksen seuraukset

Kaikissa oppikirjoissa ilmastonmuutoksen seurauksena esiin nousee ilmaston lämpeneminen, joka toimii ikään kuin perustana muille seurauksille. Oppikirjoissa todetaan esimerkiksi, että kasvihuonekaasujen lisääntyminen johtaa siihen, että maapallon keskilämpötila nousee, ja tätä kuvataan usein säteilytasapainon muutoksen seurauksena. Lämpeneminen esitetään siis suoraan fysikaalisten prosessien lopputuloksena.

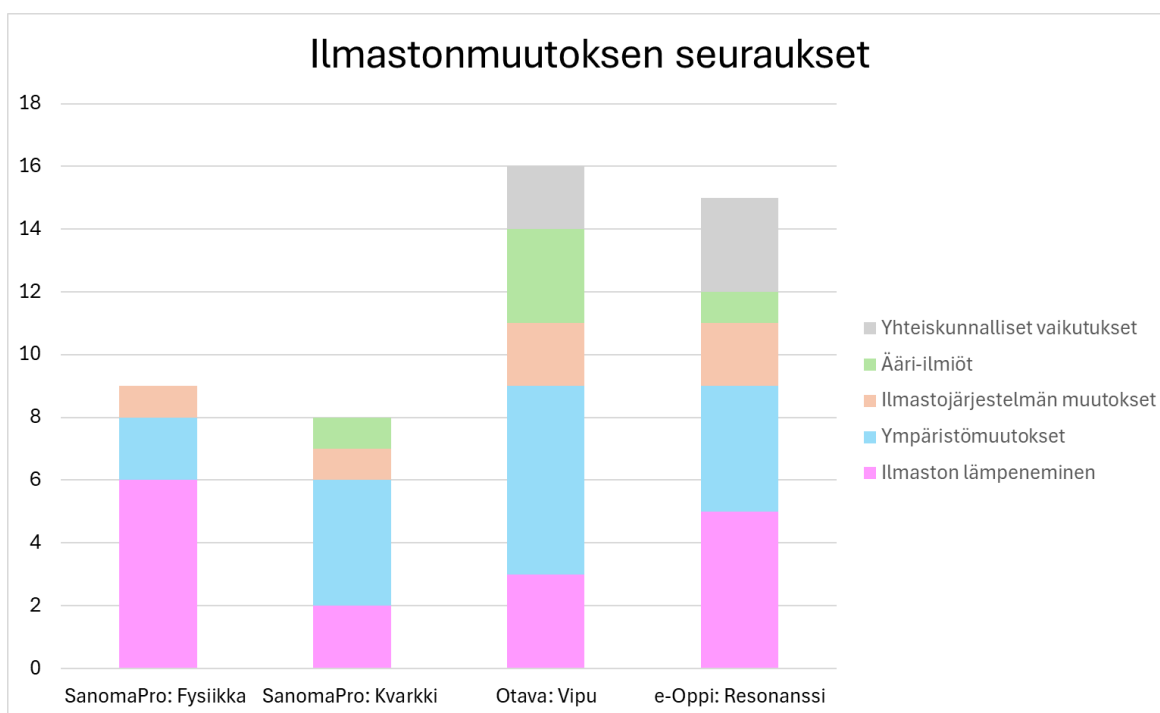
Ympäristömuutokset muodostavat toisen keskeisen seurausluokan, erityisesti Otavan Vipusarjassa (6 merkitysyksikköä). Ympäristömuutoksina mainittiin esimerkiksi jäätiköiden sulaminen, merenpinnan nousu ja muutokset säteilyn heijastumisessa. Oppikirjoissa kuvataan esimerkiksi, että jäätiköiden sulaminen ja veden lämpölaajeneminen nostavat merenpintaa, ja jään väheneminen pienentää maanpinnan heijastavuutta, jolloin paljastuva maa ja meri absorboivat enemmän säteilyä. Seuraukset kytkeytyvät takaisin fysiikkaan, kuten säteilyn heijastumiseen ja energian sitoutumiseen.

Kaikissa oppikirjasarjoissa tarkastellaan myös muutoksia koko ilmastojärjestelmässä muun muassa merien ja ilmakehän toiminnan kautta. Kirjoissa mainitaan esimerkiksi, että meret

lämpenevät ja varastoivat energiaa, ja että merivirrat voivat muuttua. Lisäksi kuvataan palautemekanismeja, kuten ikiroudan sulamista, joka vapauttaa metaania ilmakehään.

Ääri-ilmiöiden lisääntymisestä, kuten hirmumyrskyjen voimistumisesta ja sademäärien vaihtelusta mainitaan myös melkein kaikissa kirjasarjoissa. Oppikirjoissa todetaan, että ilmastonmuutos lisää sään ääri-ilmiöitä ja voi johtaa sekä lisääntyneisiin sateisiin että kuivuuteen eri alueilla.

Ilmastonmuutoksen yhteiskunnalliset vaikutukset jäävät vähemmälle huomiolle, mutta e-Opin Resonanssi-sarjassa (3 merkitysyksikköä) ja Otavan Vipu-sarjassa (2 merkitysyksikköä) niistä mainitaan muutaman kerran. Näitä olivat esimerkiksi vaikutukset ruoantuotantoon, muuttoliikkeeseen ja talouteen.



Kuva 9. Ilmastonmuutoksen seurauksiin liittyvien merkitysyksiköiden määrät alaluokittain

6.2.4 Ilmastonmuutoksen ratkaisut

Ilmastonmuutoksen ratkaisuisa selvästi keskeisimmäksi nousevat energiaan liittyvät ratkaisut (Kuva 10). Erityisesti SanomaPron Fysiikka-sarjassa, jossa ratkaisuja käsitellään eniten, energiaratkaisut korostuvat voimakkaasti (22 merkitysyksikköä). Vähiten energiaan liittyviä ratkaisuja käsitellään SanomaPron Kvarkki-sarjassa (3 merkitysyksikköä). Oppikirjoissa todetaan esimerkiksi, että ilmastonmuutoksen hillitseminen edellyttää siirtymistä fossiilisista

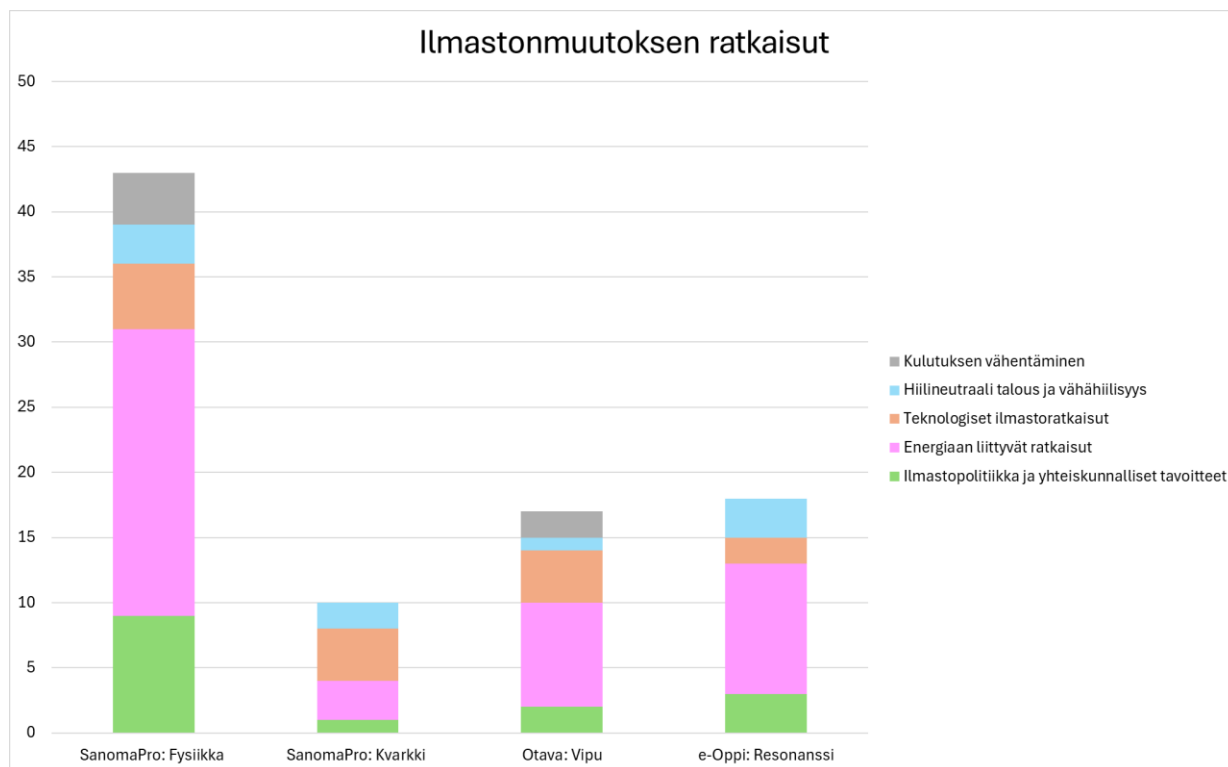
polttoaineista vähäpäästöisiin ja uusiutuviin energialähteisiin. Teksteissä kuvataan, että uusiutuvat energialähteet, kuten aurinko-, tuuli- ja vesivoima, eivät tuota käytön aikana hiilidioksidipäästöjä, vaikka niiden elinkaaren aikana syntyykin jonkin verran päästöjä. Lisäksi tuodaan esiin energiatehokkuuden parantaminen ja hajautettu energiantuotanto keinoina vähentää päästöjä.

Teknologiset ilmastoratkaisut muodostavat toisen keskeisen alaluokan. Oppikirjoissa esitellään esimerkiksi hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin liittyviä teknologioita (CCS), joiden avulla voidaan vähentää ilmakehään päätyvän hiilidioksidin määrää. Samoin liikenteen sähköistyminen ja energiatehokkaammat ratkaisut kuvataan tärkeinä keinoina päästöjen vähentämisessä. Näissä yhteyksissä fysiikka näkyy erityisesti energian tuotannon, siirron ja muuntamisen tarkastelussa sekä erilaisten teknologioiden toiminnan selittämisessä.

Ilmastopolitiikka ja yhteiskunnalliset tavoitteet esiintyvät ratkaisuisissa erityisesti SanomaPron Fysiikka- ja e-Opin Resonanssi-sarjoissa. Oppikirjoissa viitataan esimerkiksi Pariisin ilmastopöytäkirjaan ja päästövähennystavoitteisiin sekä päästökauppaan keinona ohjata yrityksiä vähentämään päästöjään. Näin ilmastonmuutoksen hillintä liitetään myös poliittisiin päätöksiin ja kansainväliseen yhteistyöhön.

Kulutuksen vähentäminen ja kiertotalous nousevat esiin yksilön vaikutusmahdollisuuksina SanomaPron Fysiikka- ja Otavan Vipu-sarjoissa. Oppikirjoissa mainitaan esimerkiksi, että paras tapa suojella ympäristöä on vähentää kulutusta ja että kierrätys sekä energiansäästö pienentävät päästöjä. Lisäksi käsitellään hiilijalanjälkeä ja miten yksilön valinnat vaikuttavat päästöihin.

Hiilineutraali talous ja vähähiilisyys esitetään oppikirjoissa tavoitteina, joissa kasvihuonekaasupäästöt ja hiilinielut ovat tasapainossa. Joissakin sarjoissa käsitellään myös hiilinielujen vahvistamista ratkaisuna, esimerkiksi metsittäminen kautta.



Kuva 10. Ilmastonmuutoksen ratkaisuihin liittyvien merkitysyksiköiden määrä yleisimmissä alaluokissa

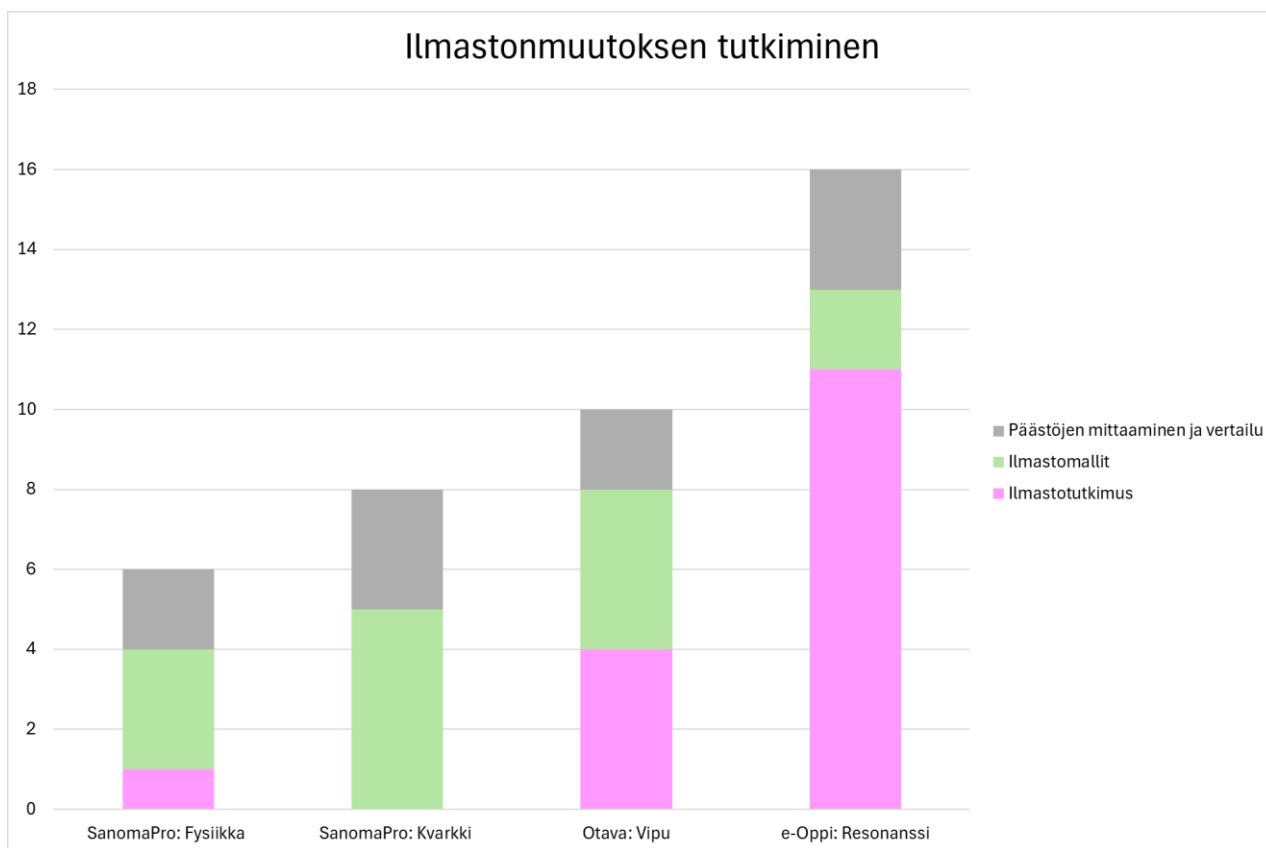
6.2.5 Ilmastonmuutoksen tutkiminen

Ilmastonmuutoksen tutkiminen jakautuu oppikirjoissa kolmeen alaluokkaan: ilmastotutkimukseen yleisesti, ilmastomalleihin sekä päästöjen mittaamiseen ja vertailuun (Kuva 11). Ilmastotutkimus nousee esiin erityisesti e-Opin Resonanssi-sarjassa (11 merkitysyksikköä), mutta myös Otavan Vipu-sarjassa (4 merkitysyksikköä). Muissa sarjoissa sitä käsitellään suppeammin tai ei ollenkaan. Ilmastotutkimusta kuvataan oppikirjoissa alana, joka perustuu havaintoihin ja mallintamiseen. Kirjoissa todetaan esimerkiksi, että ilmastotutkimuksessa keskeisiä ovat havainnot historiasta ja nykytilasta sekä tulevaisuutta ennustavat matemaattiset mallit ja fysiikka tarjoaa välineitä mittaamiseen ja selvittää lainalaisuuksia mallinnusta varten. Ilmastonmuutoksen tutkiminen liitetään selkeästi fysiikan tarjoamiin mittaus- ja mallinnusmenetelmiin.

Ilmastomallit muodostavat siis keskeisen osan teemaa kaikissa kirjasarjoissa. Oppikirjoissa kuvataan, että ilmastomallit ovat monimutkaisia tietokonesimulaatioita, jotka perustuvat fysiikan lakeihin ja joiden avulla voidaan ennustaa ilmaston kehittymistä pitkällä aikavälillä. Kirjoissa esimerkiksi tuodaan esiin, että mallit sisältävät useita osajärjestelmiä, kuten

ilmakehän, meret ja maanpinnan, ja että niiden avulla voidaan tarkastella esimerkiksi kasvihuonekaasujen pitoisuuksien ja lämpötilan välistä riippuvuutta. Samalla korostetaan mallien epävarmuuksia ja sitä, että tulevaisuutta kuvataan usein erilaisten skenaarioiden avulla.

Päästöjen mittaaminen ja vertailu esitetään oppikirjoissa keinona seurata ilmastonmuutokseen vaikuttavia päästöjä. Kirjoissa kuvataan esimerkiksi, että ilmakehän lämpötilaa ja kasvihuonekaasupitoisuuksia mitataan havaintoasemien ja satelliittien avulla, ja että historiallista tietoa saadaan epäsuorista lähteistä, kuten jääkairanäytteistä ja vuosirenkaista. Lisäksi kaikissa kirjasarjoissa käsitellään hiilidioksidiekvivalentin käsitettä, jonka avulla eri kasvihuonekaasujen vaikutuksia voidaan vertailla keskenään.



Kuva 11. Ilmastonmuutoksen tutkimiseen liittyvien merkitysyksiköiden määrä alaluokittain

7 Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella, miten ja kuinka laajasti ilmastonmuutosta käsitellään lukion kemian ja fysiikan oppikirjoissa sekä millä tavoin ilmiö liitetään oppiaineisiin. Tässä luvussa vastataan erityisesti kolmanteen tutkimuskysymykseen vertailemalla kemian ja fysiikan oppikirjojen tuloksia sekä tarkastelemalla niiden välisiä eroja ja yhtäläisyyksiä. Lisäksi kootaan yhteen keskeiset tulokset ja arvioidaan niiden merkitystä suhteessa aiempaan tutkimukseen, lukion opetussuunnitelman perusteisiin sekä ilmastokasvatuksen tavoitteisiin.

7.1 Keskeiset tulokset ja vertailu

Tulokset osoittavat, että ilmastonmuutos on mukana kaikissa tarkastelluissa oppikirjoissa, mutta sen käsittelyn laajuudessa, painotuksissa ja oppiaineeseen kytkeytymisessä on eroja sekä oppiaineiden että kirjasarjojen sisällä. Fysiikan ja kemian oppikirjat lähestyvät ilmastonmuutosta selvästi eri näkökulmista. Fysiikan oppikirjoissa ilmastonmuutos esitetään luonnontieteellisenä ilmiönä, jonka ymmärtäminen perustuu fysikaalisiin käsitteisiin, kuten säteilytasapainoon, energian siirtymiseen ja kasvihuoneilmiön mekanismiin. Ilmastonmuutos liitetään johdonmukaisesti fysiikan teorioihin ja malleihin, ja sitä tarkastellaan monipuolisesti sekä syiden, seurausten että ratkaisujen kautta jokaisessa kirjasarjassa. Lisäksi fysiikan kirjoissa käsitellään ilmastonmuutoksen tutkimista, kuten ilmastomalleja ja mittauksia, mikä tukee ymmärrystä ilmastonmuutoksesta tieteellisen tutkimuksen kohteena.

Kemian oppikirjoissa ilmastonmuutoksen käsittely on selvästi ratkaisukeskeisempää. Ilmiö liitetään kemiaan erityisesti materiaalien valmistuksen, energiantuotannon, kiertotalouden ja teknologisten innovaatioiden kautta. Vaikka kasvihuoneilmiö ja kasvihuonekaasut mainitaan joissakin kirjoissa, ilmastonmuutoksen luonnontieteellinen käsittely jää lyhyeksi. Sen sijaan kirjoissa korostetaan kemian merkitystä ilmastonmuutoksen ratkaisemisessa, esimerkiksi uusien materiaalien ja energian tuotantotapojen kehittämisessä, energiatehokkuuden parantamisessa ja päästöjen vähentämisessä. Tulosten perusteella voidaan todeta, että fysiikka painottaa ilmastonmuutoksen selittämistä ja ymmärtämistä, kun taas kemia painottaa ratkaisuja ja soveltamista. Nämä näkökulmat täydentävät toisiaan, mutta oppikirjojen perusteella kokonaisuus ei aina muodostu tasapainoiseksi. Samansuuntaisia tuloksia on saatu

myös aiemmassa tutkimuksessa, jossa ilmastonmuutoksen käsittelyn on todettu olevan oppikirjoissa usein epätasaista ja painottuvan tiettyihin näkökulmiin.

Tulokset osoittavat, että myös kirjasarjojen välillä on merkittäviä eroja molemmissa oppiaineissa. Kemian oppikirjoissa ilmastonmuutoksen käsittelyn laajuus vaihtelee huomattavasti. Laajimmin aihetta käsitellään e-Opin Orbitaali- ja SanomaPron Sidos- ja Ioni-sarjoissa. Sen sijaan Otavan Mooli-sarjassa ilmastonmuutosta käsitellään selvästi vähemmän, mikä voi johtaa suppeampaan kokonaiskuvaan ilmiöstä.

Myös fysiikan oppikirjoissa eroja on käsittelyn laajuudessa. SanomaPron Fysiikka-sarja erottuu selvästi laajimpana ja monipuolisimpana, sillä siinä ilmastonmuutosta käsitellään runsaasti kaikissa teemoissa. Myös Otavan Vipu- ja e-Opin Resonanssi-sarjat käsittelevät ilmastonmuutosta monipuolisesti, erityisesti luonnontieteellisen taustan osalta. Sen sijaan SanomaPron Kvarkki-sarjassa ilmastonmuutoksen käsittely on vähäisempää muihin verrattuna.

Teemojen käsittelyn tarkastelu osoittaa, että ne jakautuvat epätasaisesti. Ratkaisut ovat vahvasti esillä kaikissa kemian oppikirjoissa, mutta myös fysiikassa. Syitä käsitellään molemmissa oppiaineissa, mutta fysiikassa yleisesti enemmän. Seuraukset jäävät sen sijaan selvästi vähemmälle huomiolle, erityisesti kemian oppikirjoissa, joissa niitä käsitellään vain lyhyesti tai ei lainkaan. Tämä voi heikentää kokonaiskuvaa ilmastonmuutoksesta.

Luonnontieteellinen tausta oli keskiössä fysiikan kirjoissa. Samoin ilmastonmuutoksen tutkiminen, jota ei käsitelty kemian kirjoissa.

7.2 LOPSin tavoitteiden toteutuminen

Oppikirjat tukevat LOPSin tavoitteiden toteutumista osittain, mutta eivät täysin kattavasti. Fysiikan oppikirjat vastaavat melko hyvin LOPSin tavoitteisiin erityisesti luonnontieteellisen ymmärryksen osalta. Niissä ilmastonmuutos liitetään selkeästi keskeisiin fysikaalisiin käsitteisiin, mikä tukee opiskelijan kykyä ymmärtää ilmiön taustalla olevia mekanismeja. Lisäksi fysiikan oppikirjoissa käsitellään ilmastonmuutoksen tutkimista, mikä tukee opetussuunnitelman tavoitetta tutustua tutkimustietoon ja sen tuottamiseen. Sen sijaan fysiikan oppikirjoissa yhteiskunnalliset ja eettiset näkökulmat ovat vähemmän esillä, vaikka ne ovat osa laaja-alaista osaamista.

Kemian oppikirjojen osalta LOPSin tavoitteiden toteutuminen liittyy erityisesti kestävästä kehityksen ja ratkaisukeskeisyyden näkökulmaan. Oppikirjat tuovat esiin kemian merkityksen ilmastonmuutoksen hillitsemisessä, mikä vastaa opetussuunnitelman tavoitteita tarkastella kemian roolia ympäristöhaasteiden ratkaisemisessa. Ilmastonmuutoksen seurauksia käsitellään kemian oppikirjoissa melko vähän, vaikka niiden ymmärtäminen on keskeistä kokonaiskuvan kannalta.

7.3 Oppikirjat ja ilmastokasvatus

Ilmastokasvatuksen näkökulmasta tulokset viittaavat siihen, että oppikirjat tukevat ilmastokasvatuksen eri osa-alueita, mutta eivät yhdistä niitä riittävästi. Ilmastokasvatuksessa keskeistä on tiedon lisäksi ajattelutaitojen, arvojen, tunteiden ja toiminnan yhdistyminen.

Tämän tutkimuksen perusteella oppikirjat painottuvat kuitenkin pääasiassa tiedolliseen sisältöön ja ratkaisujen esittämiseen. Erityisesti fysiikan oppikirjat tukevat luonnontieteellisen ymmärryksen kehittymistä, mutta yhteys opiskelijan omaan toimintaan, arvoihin ja vaikuttamiseen jää vähäiseksi. Kemian oppikirjat taas esittävät ratkaisuja ja toiminnan mahdollisuuksia, mutta ratkaisut eivät välttämättä kytkeydy kuitenkaan opiskelijan omaan elämään tai kokemuksiin. Tämän vuoksi niiden merkityksellisyys opiskelijalle voi jäädä heikoksi, vaikka ilmastokasvatuksessa juuri henkilökohtaisen yhteyden ja merkityksellisyys on todettu olevan keskeistä oppimisen kannalta.

On kuitenkin huomioitava, että ilmastonmuutosta käsitellään myös muissa oppiaineissa, kuten maantieteessä ja yhteiskuntaopissa, joissa voivat korostua enemmän ilmiön yhteiskunnalliset, taloudelliset ja eettiset ulottuvuudet. Ilmastokasvatus edellyttää oppiaineiden välistä yhteistyötä ja kokonaisuuksien rakentamista opetuksessa.

7.4 Yhteenveto ja kehittämissuhteet

Kokonaisuutena ilmastonmuutoksen käsittely lukion fysiikan oppikirjoissa on monipuolista, mutta epätasapainoista. Kemian oppikirjoissa kokonaiskuva jää heikommaksi, koska luonnontieteellinen tausta ja seuraukset jäävät vähemmälle huomiolle. Oppiaineet kuitenkin täydentävät toisiaan, mutta yksittäinen oppikirja tai oppiaine ei välttämättä tarjoa riittävän

kokonaisvaltaista kuvaa ilmastonmuutoksesta. Lisäksi kirjasarjojen väliset erot voivat vaikuttaa merkittävästi siihen, millainen ymmärrys opiskelijalle muodostuu. Opiskelijan saama käsitys ilmiöstä voi siis riippua siitä, mitä kirjasarjaa opetuksessa käytetään. Tasapainoisempi lähestymistapa tukisi paremmin ilmastokasvatuksen tavoitteita ja auttaisi opiskelijoita muodostamaan kokonaisvaltaisemman ymmärryksen ilmastonmuutoksesta sekä sen syistä, seurauksista ja ratkaisuista.

Tulosten perusteella ilmastonmuutoksen käsittelyä oppikirjoissa voisi kehittää niin, että eri näkökulmat yhdistyvät nykyistä selkeämmin. Sekä kemian että fysiikan oppikirjoissa voitaisiin tuoda tasapainoisemmin esiin luonnontieteellinen tausta, syyt, seuraukset ja ratkaisut sekä korostaa näiden välisiä yhteyksiä. Lisäksi oppikirjoissa voitaisiin vahvemmin tuoda esiin myös ilmastonmuutoksen yhteiskunnallisia ulottuvuuksia ja yksilön vaikutusmahdollisuuksia. Myös oppiaineiden välistä yhteyttä voisi tehdä näkyvämmäksi, jotta opiskelija hahmottaa ilmiön kokonaisuutena eikä erillisinä sisältöinä. Näin oppikirjat tukisivat paremmin opetussuunnitelman tavoitteita ja ilmastokasvatuksen päämääriä.

Tutkimuksella on kuitenkin myös rajoituksia. Analyysi kohdistui ainoastaan oppikirjojen leipätekstiin, eikä esimerkiksi kuvia, tehtäviä tai opetuksen käytännön toteutusta tarkasteltu, vaikka niillä voi olla merkittävä vaikutus oppimiseen. Jatkotutkimuksessa olisi hyödyllistä tarkastella esimerkiksi oppikirjojen kuvia ja tehtäviä sekä niiden vaikutusta ilmastonmuutoksen ymmärtämiseen. Lisäksi olisi tärkeää tutkia, miten opettajat käsittelevät ilmastonmuutosta opetuksessa ja millainen käsitys opiskelijoille muodostuu eri oppiaineiden pohjalta. Myös oppiaineiden välisen integraation tutkiminen voisi tarjota arvokasta tietoa ilmastokasvatuksen kehittämiseksi.

Lähteet

- Berger, A., & Tricot, Ch. (1992). The greenhouse effect. *Surveys in Geophysics*, 13(6), 523–549. <https://doi.org/10.1007/BF01904998>
- Cantell, H., Tolppanen, S., Aarnio-Linnanvuori, E., & Lehtonen, A. (2019). Bicycle model on climate change education: presenting and evaluating a model. *Environmental Education Research*, 25(5), 717–731. <https://doi.org/10.1080/13504622.2019.1570487>
- European Environment Agency. (2023). *Climate change impacts and adaptation in Europe*. <https://www.eea.europa.eu>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Ilmatieteen laitos. (25.5.2023). *Näin ilmastonmuutos näkyy Suomessa*. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/uutinen/5KaRzesbqBjKp1MocorJly>
- Harries, J. E. (2000). Physics of the Earth's radiative energy balance. *Contemporary Physics*, 41(5), 309–322. <https://doi.org/10.1080/001075100750012803>
- Kirk-Davidoff, D. (2018). Chapter 3.4 - The Greenhouse Effect, Aerosols, and Climate Change. In B. Török & T. Dransfield (Eds.), *Green Chemistry* (pp. 211–234). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00009-1>
- Kweku, D., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K., Danso, K., Oti-Mensah, E., Quachie, A., & Adormaa, B. (2018). Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming. *Journal of Scientific Research and Reports*, 17(6), 1–9. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2017/39630>
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A., & Chaves, W. A. (2019). Identifying effective climate change education strategies: a systematic review of

- the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791–812.
<https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1360842>
- NASA. (2024). Climate change: How do we know? National Aeronautics and Space Administration. <https://climate.nasa.gov>
- Ojala, M. (2012). Hope and climate change: the importance of hope for environmental engagement among young people. *Environmental Education Research*, 18(5), 625–642. <https://doi.org/10.1080/13504622.2011.637157>
- Tuomi, J., & Sarajärvi, A. (2018). Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi (uudistettu laitos). Tammi.
- UNESCO. (2017). *Education for Sustainable Development Goals: Learning objectives*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/CGBA9153>
- UNESCO. (2024). *Education and climate change: Learning to act for people and planet*. UNESCO. https://mecce.ca/wp-content/uploads/2024/06/9823-UNESCO-Climate-Change-and-Education-Paper-First-Edition_WEB.pdf
- UNESCO. (2020). *Education for Sustainable Development: A roadmap*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/YFRE1448>
- Yli-Panula, E., Jeronen, E., & Lemmetty, P. (2020). Teaching and Learning Methods in Geography Promoting Sustainability. *Education Sciences*, 10(1), 5. <https://doi.org/10.3390/educsci10010005>
- Toffaletti, S., Di Mauro, M., & Onorato, P. (2024). A review of the Greenhouse Effect and Climate Change in High School Textbooks. *Journal of Physics: Conference Series*, 2750(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2750/1/012011>
- Wilson, P., Duarte, N., Harris, T., Sayers, T., & Weinrich, M. (2024). Analysis of Climate Change in General Chemistry Textbooks. *Journal of Chemical Education*, 101(4), 1435–1441. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01257>
- Yoho, R. A., & Rittmann, B. E. (2018). Climate Change and Energy Technologies in Undergraduate Introductory Science Textbooks. *Environmental Communication*, 12(6), 731–743. <https://doi.org/10.1080/17524032.2018.1454337>