



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Ilmasto ja konetekniikka

Miikka Huusko

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö

Maaliskuu 2023

TIIVISTELMÄ

Ilmasto ja konetekniikka

Miikka Huusko

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö, 2023, 27 s.

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: Yrjö Louhisalmi

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan ilmastonmuutoksen ja konetekniikan väliseen vuorovaikutukseen kirjallisuuskatsauksen keinoin. Työn tavoitteena on selvittää, mistä ilmastonmuutoksessa on kyse ja miten konetekniikan nopea kehitys on vaikuttanut ilmastonmuutokseen. Tämän lisäksi selvitetään konetekniikan alan kehitysaskelia sekä opetuksessa että työelämässä.

Työssä esitellään ilmastonmuutoksen teoriaa sekä keskeisiä käsitteitä ja tutustutaan ilmakehän merkitykseen maankuoren lämpötilan tasapainotuksessa. Keskeiset kasvihuonekaasut luetellaan ja avataan ihmisten merkitystä niiden tuottamisessa. Tämän jälkeen tutustutaan kirjallisuuteen, jossa esitellään ilmaston lämpenemisen mahdollisia seurauksia eri näkökulmista. Työssä käydään läpi konetekniikan merkittäviä lähihistorian vaiheita, ja tutustutaan niiden ilmastovaikutuksiin. Ensimmäisen ja toisen teollisen vallankumouksen innovaatioita esitellään ja tutustutaan kirjallisuuteen keinoista ja säännöksistä, joita yhteiskunnassa on päätetty tarkoituksenaan hidastaa ilmaston lämpenemistä. Tämän jälkeen esitellään kirjallisuutta konetekniikan nykyisestä kehityksestä, jossa korostetaan konetekniikan opiskelijoiden ja teollisuuden suunnittelijoiden merkitystä ympäristön resurssien riittävyyden takaamiseksi. Tämän lisäksi tutustutaan kirjallisuuteen uusiutuvien energiamuotojen yleistymisestä sekä niiden ajamista innovaatioista ja konetekniikan tulevaisuuden haasteista.

Asiasanat: ilmastonmuutokset, konetekniikka, teollistuminen

ABSTRACT

Climate and mechanical engineering

Miikka Huusko

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2023, 27 pp.

Supervisor at the university: Yrjö Louhisalmi

This bachelor's thesis is a literature review of relations between mechanical engineering and climate change. Aim of this thesis is to collect information about climate change and review the effects that rapid development of mechanical engineering has had to global warming in the recent history.

The thesis represents main theories and concepts around the climate change and study the role of the atmosphere in the Earth's thermal balance. Most important greenhouse gasses are then represented and humans' involvement in their production is reviewed. After that, literature of different possible scenarios caused by the climate change are reviewed.

Significant milestones of Industrial Revolutions are revised and literature about their climate effects is reviewed. Innovations of first and second Industrial Revolutions are represented. Then, literature of regulations and ways of slowing down the global warming that the world has taken into action is reviewed.

Finally, literature of modern trends of mechanical engineering is revised, where the role of mechanical engineering students and designers of the industry is highlighted to ensure the capacity of the nature's resources. Literature of renewable energy and innovations around them, as well as the modern challenges that mechanical engineers must endure is reviewed.

Keywords: climate changes, mechanical engineering, industrialization

ALKUSANAT

Tässä työssä käsitellään konetekniikan ympäristövaikutuksia. Työn tarkoituksena on perehtyä ilmastonmuutoksen ja ilmaston lämpenemisen ydinkohtiin, avata historiallisen konetekniikan osuutta ilmastonmuutoksen kiihdyttäjänä, sekä nykyisen ja tulevaisuuden konetekniikan alan osuutta ilmastonmuutoksen hidastajana. Työn tavoitteena on tutustuttaa lukija ilmastonmuutoksen ja ilmaston lämpenemisen osatekijöihin, sekä tutustua konetekniikan lähihistoriaan ympäristön näkökulmasta. Lisäksi työssä tutustutaan eri osa-alueiden kestäväen kehityksen innovaatioihin. Työ tehtiin vuoden 2022 aikana ja viimeisteltiin alkuvuonna 2023.

Oulu, 14.03.2023

Miikka Huusko

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 Johdanto	7
2 Kasvihuoneilmiö	8
2.1 Kasvihuonekaasut	9
3 Ilmaston lämpenemisen vaikutukset	11
4 Konetekniikka ja kasvihuonekaasut	14
5 Ilmastonmuutoksen hidastaminen	16
5.1 Kestävä kehitys	16
5.2 Säännöstelyt ja rajoitukset.....	17
6 Konetekniikka nyt ja tulevaisuudessa	19
6.1 Opetus	19
6.2 Suunnittelu	20
6.3 Valmistus.....	20
7 Yhteenveto	22

LÄHDELUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

E Energia [J]

h Planckin vakio ($6.625 \cdot 10^{-34}$) [Js]

v Taajuus [Hz]

CO₂ Hiilidioksidi

CH₄ Metaani

N₂O Dityppioksidi

H₂O Vesi

O₃ Otsoni

CDIO Conserve, Design, Implement, Operate – Ymmärrä, suunnittele, sisällytä, käytä

CFC Chlorofluorocarbon – Kloorifluorihiihivety

EU Euroopan Unioni

HFC Hydrofluorocarbon – Fluorihiihivety

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksesta puhutaan kaikkialla. Siitä keskustellaan niin kahvipöydissä, kuin ajankohtaisohjelmissakin. Uutisissa puhutaan ilmastonmuutoksesta lähes päivittäin. EU:n ja Suomen lainsäädäntöä kiristetään ilmansaasteiden tuottajien keskuudessa kiihtyvällä tahdilla. Mitä siis on ilmastonmuutos, ja miksi aihe on nyt ajankohtainen? Miten konetekniikka liittyy ilmastonmuutokseen? Tämä opinnäytetyö käsittelee ilmastonmuutosta ja sen vaikutusta konetekniikan alaan. Opinnäytetyö avaa ilmastonmuutoksen käsitettä sekä sen keskeisiä teorioita maapallon lämpimänä pysymiseen ja keskilämpötilan nousuun. Työ tutustuttaa lukijan kasvihuoneilmiön käsitteisiin, sekä esittelee keskeisiä ilmastonmuutosta kiihdyttäviä tekijöitä. Työssä käydään läpi konetekniikan lähihistorian merkittäviä edistysaskelia, sekä niiden vaikutusta ympäristöön. Lisäksi tarkastellaan konetekniikan roolia ilmastonmuutoksen kiihdyttäjänä sekä konetekniikan vastuuta ilmastonmuutoksen hillitsemisessä nykyhetkellä sekä tulevaisuudessa.

2 KASVIHUONEILMIÖ

Tässä kappaleessa avataan kasvihuoneilmiön teorian pääpiirteitä sekä keskeisiä käsitteitä ja ilmiöitä. Yleisimmät kasvihuonekaasut esitellään ja avataan ihmisen toiminnan merkitystä eri kasvihuonekaasujen määrään ilmakehässä.

Kasvihuoneilmiö on seurausta siitä, että maapallolla on ilmakehä. Kasvihuoneilmiö tapahtuu maan luonnollisen ilmastosysteemin ytimessä, jossa myös erilaiset sääolosuhteet ilmaantuvat. Kasvihuoneilmiön teorian kehitti ensimmäisenä ranskalainen matemaatikko Jean-Baptiste Joseph Fourier, joka esitteli tutkimuksissaan kasvihuoneilmiön käsitteen vuonna 1824 ja myöhemmin uudelleen vuonna 1827, jossa Fourier esitteli maan ilmakehän pitävän maapallon lämpimänä. (Cowie 2007, s. 2)

Cowie havainnollistaa kirjassaan *Climate change: biological and human aspects* kasvihuoneilmiön vaikutusta planeetan pintalämpötiloihin vertailemalla maapallon ja Kuun pintalämpötilan vaihtelua toisiinsa. Kuussa, jossa ilmakehän tiheys lähentelee tyhjiötä, pintalämpötila on Cowien mukaan yöaikaan 100 Kelviniä (-173°C) ja päiväsaikaan noin 390 Kelviniä (117°C), jolloin vuorokauden keskilämpötilaksi saadaan noin 245 Kelviniä (-28°C). Cowie kertoo, että päiväsaikaan auringon säteet joko heijastuvat pois kuun kivisestä pinnasta tai absorboituvat kuun pintaan lämmittäen sitä ja yöaikaan lämpö säteilee kuun pinnasta takasin avaruuteen. Cowien mukaan kuitenkin maan pintalämpötila on keskimäärin 43 Kelviniä (43°C) suurempi, kuin kuun pintalämpötila. Koska maan ja kuun etäisyys auringosta on suhteellisen sama, Cowien mukaan tämä lämpötilaero johtuu maan ilmakehän aiheuttamasta, täysin luonnollisesta kasvihuoneilmiöstä. Tämä ylimääräinen lämpeneminen johtuu Cowien mukaan maan ilmakehästä, joka päästää läpi yhden taajuusalueen säteilyä, mutta heijastaa takaisinpäin toisen taajuusalueen säteilyä verrattuna kuun kiviseen pintaan, joka heijastaa takaisin suurimman osan kaikesta siihen osuvasta säteilystä. (Cowie 2007, s. 2–3)

Koska ilmakehä läpäisee vain tietyn taajuusalueen säteilyä heijastaen muut säteilyt pois päin, eri taajuuden omaavat valonsäteet käyttäytyvät eri tavoin ilmakehään osuessaan. Cowie esittää tämän teorian tueksi Planckin lain, jonka on kehittänyt

saksalainen fyysikko Max Planck vuonna 1902. Planckin laki on esitetty kaavassa 1. (Cowie 2007, s. 4)

$$E = hv \tag{1}$$

jossa $E =$ Energia [J]
 $h =$ Planckin vakio ($6.625 \cdot 10^{-34}$) [Js]
 $v =$ taajuus [Hz]

Cowien mukaan, kun auringon valo tai muu valosäteily heijastuu ilmakehän hiukkasista tai maankuoren pinnasta, se menettää pienen osan energiastansa. Planckin lain mukaan energian ja taajuuden yhteyden vuoksi törmäyksen aiheuttama energian muutos aiheuttaa säteilyssä myös taajuuden muutoksen. Tämän takia Cowien mukaan aiemmin ilmakehän läpäissyt valonsäde ei enää läpäisekään ilmakehää, vaan ilmakehä ikään kuin vangitsee valonsäteen itseensä ja valonsäde jatkaa ilmakehän lämmittämistä. Cowie summaa ilmakehän toimivan tässä suhteessa kuten kasvihuoneen lasiseinät, jotka päästävät lävitseen korkeataajuuksista valonsäteilyä, mutta vangitsevat kasvihuoneeseen matalan taajuuden omaavat lämpösäteet, ja tästä myös ilmiötä kuvaava termi ”kasvihuoneilmiö” johtuu. (Cowie 2007, s. 4)

2.1 Kasvihuonekaasut

Maan ilmakehä koostuu pääosin hapesta ja typestä. Näiden kaasujen ominaisuuksiin ei kuulu merkittävä lämpösäteilyn absorbointi tai pois säteileminen, jossa kasvihuoneilmiöstä on kyse. Tietyt kemialliset yhdisteet tehostavat kasvihuoneilmiön lämmittävää vaikutusta niiden lämpöä varastoivien tai lämpösäteilyä heijastavien ominaisuuksiensa vuoksi. Näitä kemiallisia yhdisteitä kutsutaan kasvihuonekaasuiksi. Vesihöyry (H_2O) on kasvihuonekaasuista tärkein, luonnollisesti esiintyvä, energiaa sitova yhdiste. Ihmisen toiminta ei merkittävästi muuta vesihöyryn määrää ilmakehässä, sillä vesihöyryn määrä ilmakehässä johtuu suurimmilta osin meren pinnan lämpötilasta ja sen

muutoksista. Muita tärkeitä luonnollisesti esiintyviä kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), dityppioksidi (N_2O) ja otsoni (O_3). (Houghton 2004, s. 16,146; Cowie 2007, s. 4)

Näiden, erityisesti hiilidioksidin ja metaanin pitoisuuksiin ilmakehässä ihmisen toiminta vaikuttaa merkittävästi. Ihminen tuottaa hiilidioksidikaasua polttamalla fossiilisia polttoaineita energiaksi, ja metaanipäästöjen lähteenä ovat pääosin karjatalous ja jätteenkäsittelylaitokset. Metaanin on arvioitu sitovan lämpöenergiaa n. 80-kertaisesti hiilidioksidia enemmän, mutta metaani poistuu ilmakehästä nopeammin. Metaani poistuu ilmakehästä noin vuosikymmenen aikana, kun puolestaan hiilidioksidin poistuminen kestää useita vuosisatoja. (Mar ym. 2022)

Otsonikaasua sijaitsee kerrostuneena Maan stratosfäärissä noin 15–50 kilometrin korkeudella. Solomonin (1999) mukaan otsonin kyvyn absorboida ihmisen terveydelle haitallista ultraviolettisäteilyä löysivät Cornu 1879-luvulla ja Hartley 1880-luvulla. (Solomon 1999)

Loput kasvihuonekaasut eivät esiinny luonnostaan. Näitä ovat esimerkiksi CFC-yhdisteet eli freonit, jotka ovat ihmisen kehittämiä yhdisteitä. CFC tulee englannin kielen sanasta chlorofluorocarbon, joka tarkoittaa kloorifluorihilivetyjä sisältäviä yhdisteitä. Freonit kehitettiin alun perin kylmäaineiksi sekä vaahdotusaineiksi kemianteollisuuteen. (Houghton 2004, s. 16; Cowie 2007, s. 4)

Freonit ovat myös veteen liukenemattomia, joten ne eivät huuhtoudu maahan vesisateiden mukana ennen niiden päätymistä stratosfääriin. Freonit tuhoavat otsonia niiden sisältämän kloorin ja fluorin vuoksi, koska ne reagoivat otsonin kanssa muodostaen muita yhdisteitä useiden eri kemiallisten reaktioiden kautta. Reaktiossa muodostuneet hydrokloridimolekyylit palaavat ilmakehän alempiin kerroksiin, ja lopulta huuhtoutuvat vesisateiden mukana maaperään. (Solomon 1999)

3 ILMASTON LÄMPENEMISEN VAIKUTUKSET

Ilmaston lämpenemisellä sekä otsonikerroksen pientymisellä on maapallolle kauaskantoisia vaikutuksia. Tämä kappale esittelee tutkimuksia maapallon lämpenemisen vaikutuksista eri osa-alueilla.

Merenpinnan taso on vaihdellut suuresti maan historian aikana. Houghtonin (2004) mukaan n.120 tuhatta vuotta sitten, juuri ennen jääkauden alkua, maan keskilämpötila oli hieman lämpimämpi, kuin nykyäänä. Tällöin merenpinta oli noin 5–6 metriä korkeammalla kuin nykyään. Toisaalta, kun jääkauden lopulla maapallon jääpeite oli suurimmillaan, meren pinnan taso oli noin 100 metriä matalampi, kuin nykyään. Yleisesti ottaen merenpinnan nousu ja lasku on suoraan yhteydessä napajäätiköiden kasvuun ja vähentymiseen. (Houghton 2004, s. 147)

1900-luvulla tehtyjen mittauksen perusteella merenpinta on menneellä vuosisadalla noussut 10–20 cm. Tämä selittyy suurimmilta osin vesimassan lämpölaajenemisesta. Toinen merkittävä tekijä merenpinnan nousuun on edellisen jääkauden jälkeen alkanut suurten jäätiköiden sulaminen etenkin maapallon pohjoisosissa, joka jatkuu edelleen. Etelämantereen ja Grönlannin jäätiköiden osuus merenpinnan vaikutukseen uskotaan olevan pieni. (Houghton 2004, s. 147). Kasvihuoneilmaston aiheuttama maan keskilämpötilan nousu kiihdyttää tätä jäätiköiden sulamisprosessia.

Nyt 2000-luvulla merenpinnan nousun osatekijät voidaan osoittaa. Edelleen suuri osa merenpinnan noususta johtuu veden lämpölaajenemisesta. Jäätiköiden sulaminen on toinen merenpintaa nostava tekijä. Houghtonin (2004, s. 148) mukaan, jos kaikki Etelämantereen ja Grönlannin ulkopuoliset jäätiköt sulaisivat, merenpinta nousisi arviolta 40–60 cm. Viime vuosisadalla jäätiköiden sulaminen on aiheuttanut merenpinnan nousua arviolta 2–4 cm. (Houghton, 2004, s. 148) kuitenkin muistuttaa, että jäätiköiden muutoksien vaikutusten mallintaminen on monimutkainen prosessi, johon vaikuttaa talven aikainen jäätiköiden kasvu, talven aikana satanut lumimäärä, kesän keskilämpötila, sekä kesäaikainen jäätiköiden sulaminen.

Vaikka merenpinnan korkeus on tutkimusten mukaan historian aikana vaihdellut huomattavasti, on selvää, että nykyisen yhteiskunnan meren rannoilla tai jokien varsilla sijaitsevat kaupungit kärsisivät huomattavaa vahinkoa merenpinnan noususta ja sen aiheuttamasta jokien muutoksista.

Tämän lisäksi muutos ilmaston lämpötilassa näyttää vaikuttavan myös kasvillisuuteen. Taulavuoren (2013) mukaan ilmaston lämpeneminen voi vaikuttaa kasvillisuuteen eri tavoin maapallon pohjoisilla alueilla. Lämpimät talvet voivat aiheuttaa kasvillisuudelle vahinkoa talvikuukausien aikana muun muassa lumipeitteiden vähentymisen vuoksi. Talvehtivat monivuotiset kasvit voivat kärsiä vahinkoa esimerkiksi routimisen vähentymisen ja maankuoren hetkellisen sulamisen vuoksi. Taulavuori kertoo, että vaikka osa kasvillisuudesta voi hyötyä lämpimämmistä kasvukuukausista, lisääntyvät myös patogeenien ja hyönteisten aiheuttamat tuhot. Taulavuoren mukaan lämpötilan nousu edistää kasvillisuuden siirtymistä pohjoisemmaksi, mutta valon vähyys pohjoisilla alueilla voi rajoittaa tätä siirtymää, jonka vuoksi kasvillisuuden siirtymistä on vaikea mallintaa ilman käytännön kokeita. (Taulavuori 2013)

Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa myös huolta vesivarantojen riittämisestä. Seyhun ja Akintug tutkivat artikkelissaan *Trend Analysis of Rainfall in North Cyprus* ilmastonmuutoksen vaikutuksia Kyproksen vuotuiseseen sademäärään. Seyhun ja Akintug perustelevat tutkimuksensa motiivia ääriolosuhteiden lisääntymisellä sekä sademäärien lisääntymisellä Amerikkojen itäosiassa osissa sekä Pohjois-Euroopassa. Tämä on herättänyt kysymyksiä, vähenevätkö vuotuiset sademäärät alueilla, joissa vesisateet ovat elintärkeitä. Kypros valittiin tutkimuksen kohteeksi, koska vesisateet ovat Kyproksen tärkein makean veden lähde. Seyhun ja Akintug osoittavat tutkimuksellaan, että Kyproksen vuotuisesta sademäärästä ei voida havaita nousevaa eikä laskevaa trendiä. Toisaalta Pohjois-Kyproksen kuukausittaisessa sademäärässä on havaittavissa siirtymää: Maaliskuun sademäärät ovat laskussa ja syyskuun sademäärät nousussa. Tutkimuksessa ei kuitenkaan Seyhun:n ja Akintug:n mukaan voida osoittaa Pohjois-Kyproksen ilmaston kärsivän ilmaston lämpenemisestä. (Seyhun and Akintug 2013)

Sademäärien vaihtuvuudet eri alueilla voivat aiheuttaa myös kuivuutta ja pidemmän päälle aavikoitumista. Sen ja Öztopal (2013) kertovat artikkelissaan *Turkish Water*

Foundation Climate Change Downscaling Model Principles, että meteorologian matemaattisten mallien mukaan voidaan olettaa ilmakehän koostumuksen muuttumisen aiheuttavan muutoksia ilmastoon. Tästä seuraa Sen:n ja Ötopal:n mukaan esimerkiksi Turkin kuivien kausien esiintymisien yleistyvän sekä pidentyvän. He esittelevät artikkelissaan paikallisen mallin Turkin ilmastosta. Mallin mukaan seuraavien 50 vuoden aikana Turkin sateet muuttuvat lyhemmiksi ja rankemmiksi, kun puolestaan kuivien kausien esiintymistiheys kasvaa, ja niiden kesto pitenee. Tulosten mukaan kokonaissademäärä Turkissa pysyy jokseenkin samana. (Sen and Öztopal 2013)

4 KONETEKNIikka JA KASVIHUONEKAASUT

Kasvihuonekaasujen voimakas lisääntyminen ilmakehässä alkoi ensimmäisen teollisen vallankumouksen aikana 1700-luvulla höyrykoneen keksimisen ja yleistymisen myötä, sillä nämä koneet käyttivät hiiltä energianlähteenään. Pian höyrykoneen keksimisen jälkeen se valjastettiin erilaisten uusien teollisuuden laitteiden käyttöön, kuten esimerkiksi höyryjunan voimanlähteeksi. Höyrykoneet korvasivatkin pian lihasvoiman tekemän työn kaikessa missä pystyttiin uusien innovaatioiden avulla, esimerkiksi kudontakoneissa. Kun höyrykone yhdistettiin Gutenbergin 1400-luvulla kehittämään painokoneeseen, ideoiden ja piirustuksien kopiointi ja levittäminen nopeutui ja uuden innovointi helpottui ympäri Euroopan. (Woodrow and Cooke 2015, s. 13–16)

Sähkön tuottaminen kasvoi merkittävästi höyryturbiinin keksimisen myötä 1880-luvulla. Turbiinin avulla sähköä pystyi tuottamaan polttamalla hiiltä ja muita uusiutumattomia polttoaineita. Turbiinin keksimisen aikoihin kehitettiin myös toimiva hehkulamppu, joka edesauttoi sähkön käytön yleistymistä yhdessä sähkömoottorin kanssa, jonka ensimmäinen versio kehitettiin jo 1800-luvun puolivälissä. (Forrester 2016)

1800-luvun puolivälissä Samuel Kiersin suolakaivoksiin sotkeentui raakaöljyä öljylähteestä. Kiers kehitti prosessin raakaöljyn tislaukselle suolasta, sekä lampun, jolla tätä öljyä pystyi polttamaan. 1860-luvulla Jean J. Lenoir kehitti ensimmäisen kaupallisen version polttomoottorista, joka käytti öljyjohdannaisia polttoaineenaan. (Woodrow and Cooke 2015, s. 17)

Toisen teollisen vallankumouksen alkaessa 1900-luvun taitteessa polttomoottori yhdistettiin lukuisiin uusiin ja vanhoihin kuljetusalustoihin, kuten autoihin, juniin ja laivoihin, ja massatuotanto kehittyi luoden työpaikkoja ihmisille. Samaan aikaan yhteiskunnasta tuli edelleen riippuvaisempi öljyn käytöstä energianlähteenä höyrykoneiden käytön hiipuesssa. (Woodrow and Cooke 2015, s. 18)

Teollistumisen johtaessa kaupunkien muodostumiseen tuotantolaitosten ympärille, tehtaiden ja kulkuneuvojen tuottamat päästöt keskittyivät pienille alueille. Koska

tehtaiden ja ajoneuvojen päästöjä ei millään tavalla suodatettu, kaupunkien yllä havaittiin aika ajoin savusumua, joka oli myös ihmisten terveydelle haitallista. (Woodrow and Cooke 2015, s. 19)

Sähkön käytön kehitys toisen teollisen vallankumouksen aikana oli merkittävää. Sinä aikana keksittiin toimiva puhelin, joka edelleen nopeutti ihmisten välistä kommunikaatiota ideoiden ja ajatusten välittämisessä. (Woodrow and Cooke 2015, s. 18)

Ensimmäiset sähköiset liikkumisvälineet kehitettiin jo 1830 luvun lopulla sähköjunan muodossa, kun Robert Davidson esitteli sähköllä kulkevan junan, joka kykeni jopa neljän mailin tuntinopeuteen. Hitaudestaan huolimatta sähkön käyttö liikkumisvälineiden voimanlähteinä oli alkanut. (Nigel Burton 2013, Kappale 1)

Sähkö muodostui nopeasti tärkeäksi energian välittäjäksi. Kun polttomoottori korvasi höyrykoneen ajoneuvoissa, Forresterin (2016) mukaan sähkömoottorit korvasivat höyrykoneen teollisuuden laitteissa, ja sähkön tuotannon tarve lisääntyi. Sähköisen kehityksen seurauksena syntynyt digitalisaation aikakausi on mahdollistanut nopeamman tiedon käsittelyn ja välityksen. Tarpeyn (2020) mukaan digitalisaation voidaan katsoa alkaneen tietokoneiden yleistymisen aikaan 1950-luvulla, kun lentoyhtiöt alkoivat käyttämään varausjärjestelmissään digitaalista muistia. Hänen mukaansa ensimmäiset digitalisen muistin laitteet olivat kooltaan hyvin suuria ja pystyivät varastoimaan tietoa vain muutaman megatavun verran. Vuosien saatossa digitaaliset laitteet pienentyivät ja niiden tärkeät ominaisuudet, kuten laskentateho, muistikapasiteetti sekä tiedonsiirron nopeus ovat kasvaneet merkittävästi. Woodrow ym. (2015, p. 19) mukaan teknologian kehitys johti nopeasti sähkölaitteiden yleistymiseen kotitalouksissa tuomaan asumiseen mukavuutta. Tämä kasvatti edelleen energian tarvetta yhteiskunnassa.

5 ILMASTONMUUTOKSEN HIDASTAMINEN

Kasvihuoneilmiön aiheuttamien maan lämpötilan nousun ja siitä johtuvan kuivien alueiden lisääntyminen ja jäätiköiden sulaminen voi vaikeuttaa ihmisten elämää maapallolla. Tämän lisäksi nykyinen maan resurssien ylikuluttaminen kertoo yhteiskunnan tulevaisuuden olevan kestäättömällä pohjalla. Hacetoglu ym. (2013) mukaan kestävän yhteiskunnan malli pyrkii käyttämään talouden, energian ja ympäristön resursseja siten, ettei mikään osa-alue ylikuormitu.

5.1 Kestävä kehitys

Kestävän kehityksen konsepti julkaistiin 1987 Ympäristön- ja kehityksen maailmankomissiossa (World Commission on Environment and Development). Hacetoglu ym. kertovat komission julkaiseman raportin ”Meidän yhteinen tulevaisuutemme” määrittelevän kestävän kehityksen käsitteen siten, että nykyisen sukupolven tarpeiden täyttäminen ei vaaranna tulevien sukupolvien mahdollisuutta täyttää heidän omia tarpeitaan. 1997 laadittu Kioton pöytäkirja kirjoitettiin tukemaan kestävän kehityksen mallia ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuden lisääntymisen estämiseksi. (Hacetoglu et al. 2013)

Hacetoglu ym. (2013) esittelevät artikkelissaan *An Approach to Assessment of Sustainability of Energy Systems* tapoja mitata kestävyyttä. He kertovat kestävyuden olevan haastavaa talouden ja ekologisuuden tasapainottelua ja tämän hyvyden mittaamisen olevan vaikeaa. Hacetoglun kirjallisuusselvityksen mukaan resursseja mitataan usein polttoaineen, teräksen, kuparin ja alumiinin määrässä energiateollisuudessa. Yhteiskunnan mittarit seuraavat yleensä mm. työpaikkojen määrää ja elintasoa. Talouden mittarit puolestaan mittaavat esimerkiksi talouden tehokkuutta ja pääoman sijoittamista. Ympäristön mittarit arvioivat kasvihuonekaasujen määrää sekä jätteiden tuottamista. (Hacetoglu et al. 2013)

Artikkelissaan Hacetoglu ym. tarkastelevat kestävän kehityksen mallia esimerkkitapausten avulla. He vertailevat kaasuturbiinivoimalan sekä

maalämpövoimalan kestävyttä lukuisilla eri kestävyiden mittareilla. He kertovat, että kestävyttä tulee aina arvioida kokonaisuutena, eikä pelkästään esimerkiksi ympäristövaikutukset huomioimalla. Heidän mukaansa, jotta voimalasysteemi olisi kestävä kehityksen mallin mukainen, sen täytyy täyttää lukuisia ehtoja, joita ovat uusiutuvien energianlähteiden käyttö, minimaalinen kasvihuonekaasujen ja saasteiden tuotanto, luotettava energian tuotto, sosiaalinen hyväksyntä sekä maltillinen energiapalveluiden hintataso. (Hacatoglu et al. 2013)

Tässä tutkimuksessa todettiin, että kumpikaan voimalamalli ei täysin täyttänyt kestävä kehityksen ehtoja, sillä kokonaiskuvaa tarkastellessa, Kaasuvoimalan luotettavuus oli hyvä, mutta se käyttää uusiutumaton maakaasua energianlähteenään. Maalämpövoimala puolestaan saa paremmat pisteet ympäristömittareilta, sillä sen kasvihuonekaasujen tuotto on minimaalista kaasuvoimalaan verrattuna. Luotettavuuden mittareilla maalämpövoimala osoittautui kaasuturbiinivoimalaa huonommaksi, ja ilman luotettavaa varavirtalähdettä myöskään maalämpövoimala ei täytä kestävä energiantuotannon vaatimuksia. (Hacatoglu et al. 2013)

5.2 Säännöstelyt ja rajoitukset

Kun ympäristöä kuormittavia tekijöitä alkoi esiintyä ja saasteiden määrä ilmakehässä alkoi muodostua ongelmaksi, alettiin ilmansaasteiden tuottamista rajoittamaan. Uusia rajoituksia ja kieltoja kehitettiin sitä mukaa, kun löydettiin syy-yhteydet ympäristön kuormitukselle sekä kuormituksen aiheuttajalle.

Ajoneuvojen päästöjä alettiin rajoittamaan kaupunkien huonontuneen ilmanlaadun seurauksena 1950-luvulla. Aluksi rajoitukset koskivat vain moottoreissa syntyviä ohivirtauskaasuja, jotka johdettiin kampikammioista suoraan ulkoilmaan. Myöhemmin 1960- ja 1970-luvuilla rajoituksia laajennettiin koskemaan myös ajoneuvojen pakokaasupäästöjä. 80-luvulla rajoituksia laajennettiin edelleen koskemaan myös ajoneuvojen tuottamia, terveydelle haitallisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. 1990-luvulla alettiin kiinnittämään huomiota ajoneuvojen CO₂-päästöihin. (Nieuwenhuis and Wells 2003a, pp. 129–130)

1980-luvulla tutkijat todistivat CFC-yhdisteiden otsonikerrosta hajottavan vaikutuksen, ja freonien pitkäaikaisen säilymisen ilmakehässä. Tämä johti freonien valmistuskieltoon, ja CFC yhdisteiden korvaamisen HFC yhdisteillä, joilla ei ole otsonikerrosta tuhoavaa vaikutusta. Toisaalta HFC yhdisteet ovat tehokkaita kasvihuonekaasuja, joiden tahallista vapauttamista ilmakehään tulisi välttää. (Wilson 2021, pp. 3–4)

Osana ympäristön kuormittamisen rajoittamista 1960-luvulla syntyi idea päästökaupasta, jossa yrityksille myydään oikeuksia laskea päästöjä ympäristöön maksua vastaan. Kioton pöytäkirjassa otettiin käyttöön päästökaupamalli Euroopan unionin alueella vuonna 1997, jossa asetettiin myös päästörajoitukset vuosille 2008–2012. Aatolan ym. mukaan Euroopan unionin jäsenmaat pyrkivät tuona ajanjaksona laskemaan omia päästökaupan alaisia päästöjä vuoden 1990 tasolle. (Aatola et al. 2008)

EU on asettanut pitkälinjaiset päästötavoitteensa korkealle. 2030 vuoteen mennessä EU tavoittelee 43 % vähennystä päästökauppaan kuuluvien laitosten kokonaispäästöissä. 2050 vuoteen mennessä, EU tavoittelee kokonaiskasvihuonekaasupäästöjen nollassa. Nykymuodossaan hiilidioksidin päästökauppajärjestelmään kuuluvat teollisuuslaitokset ja energiantuotanto. Muun muassa rakentaminen sekä maatalous ovat toistaiseksi päästökauppajärjestelmän ulkopuolella, mutta EU komissio tähtää päästökaupan laajentamista uusille aloille sekä koskemaan uusia kasvihuonekaasuja. (Ympäristöministeriö 2023)

6 KONETEKNIikka NYT JA TULEVAISUUDESSA

Kestävän kehityksen malli tuo konetekniikalle haasteen, jossa uudet ja vanhat laitteet ja prosessit tulisi sopeuttaa talouden, ympäristön ja yhteiskunnan kannalta kestäviksi kokonaisuuksiksi, jotta ihmiskunnan tulevatkin sukupolvet voivat edelleen kehittää ja innovoida uusia koneteknisiä tuotteita yhteiskunnan ongelmien ratkaisemiseksi.

6.1 Opetus

Kun maailma kallistuu yhä enemmän kestävän kehityksen arvoihin, konetekniikan oppilaitosten ja opettajien on mukauduttava tähän muutokseen ja pysyttävä opetuksen aallonharjalla. Tällä varmistetaan opiskelijoiden menestys konetekniikan eri aloilla myös tulevaisuuden haasteissa.

CDIO aloite perustettiin 90-luvun loppupuolella tukemaan insinöörikoulutusta nopeasti muuttuvassa maailmassa. CDIO koostuu sanoista conceive, design, implement ja operate, eli ymmärrä, suunnittele, sisällytä ja käytä. Se on tällä hetkellä käytössä yli 30 eri korkeakoulussa. Suomessa CDIO -opetusrakenne on käytössä ainakin Lapin ammattikorkeakoulussa. Lapin ammattikorkeakoulun mukaan CDIO-opetusrakenne on kehitetty 12 periaatteen ympärille, joiden avulla opetuskokonaisuus määrittyy. Lapin amk nostaa esiin periaatteen, jossa opiskelijat pääsevät tutustumaan käytännönläheisiin projekteihin tai käytännön ongelmiin jo opintojen alkuvaiheessa. (CDIO 2023; Lapin amk 2023)

Enelund ym. (2013) esittelee artikkelissaan *Integration of education for sustainable development in a mechanical engineering programme* CDIO-opetuskehityksen implementointia ruotsalaiseen opetukseen, joka Enelund ym. mukaan kasvattaa oppilaiden tietoa, taitoa ja kompetenssia laitteiden sekä prosessien suunnitteluun kestävän kehityksen yhteiskunnassa. Enelund ym. esittelemässä opetuskokonaisuudessa painotetaan kestävän kehityksen merkitystä tuotekehityksessä ja uuden suunnittelussa sekä pyritään ottamaan huomioon tuotteen koko elinkaari ja sen ympäristövaikutukset jo suunnitteluvaiheessa, sekä antamaan oppilaille eväät menestymiseen työelämässä.

6.2 Suunnittelu

Nykyään yksi konetekniikan keskeisiä tavoitteita ovat vanhojen tuotantolaitteiden ja -järjestelmien turvallistaminen sekä uusien turvatuotteiden kehittäminen yleisen turvallisuuden parantamiseksi. Tämän lisäksi konetekniikan suunnittelijoilla on vastuu luonnon resurssien käytön riittävydestä, sekä uusiutumattomien raaka-aineiden ja energialähteiden käytön osittaisesta tai täydellisestä korvaamisesta uusiutuvilla.

Gaon ym. (2021) mukaan nykyinen konetekniikan kehityssuunta keskittyy yhä enemmän vihreään suunnitteluun ja valmistukseen, joihin kuuluu olennaisesti tuotteen elinkaaren arviointi sekä analysointi, kierrätys ja uusiokäyttö. Tätä Gao kutsuu ympäristötietoiseksi suunnitteluksi, ja sen tulisi olla keskeisessä asemassa, kun suunnitellaan uusia tuotteita.

6.3 Valmistus

Gaon ym. (2021) mukaan vihreän tuotannon keskeisiä tavoitteita ovat kulutuksen vähentäminen, energian säästäminen sekä saasteiden vähentäminen. Näihin tavoitteisiin pyritään keskittymällä eri valmistusmenetelmien optimointiin ja prosessien parantamiseen. Työkaluiksi tähän Gao ym. listaa koneoppimisen käytön työstökoneiden optimoimisessa, energiankulutuksen analysoinnin sekä neuroverkkojen käytön prosessien optimointiin.

Vihreään tuotantoon kuuluu myös tuotteen uudelleenvalmistus. Gaon ym. (2021) mukaan tuote voidaan valmistaa uudelleen vanhoista käytetyistä tuotteista, mikäli tämä on otettu huomioon tuotteen suunnitteluvaiheessa. Yleensä tämä tarkoittaa vanhan tuotteen osien uudelleenkäyttämistä uudessa tuotteessa, jolloin voidaan vähentää ympäristön kuormitusta pitkällä aikavälillä. Gao listaa uudelleenvalmistuksen vaihteet, joihin yleensä kuuluu vanhan tuotteen puhdistaminen, uudelleen käytettävien osien purkaminen ja puhdistaminen, osan testaaminen, uudelleen valmistettavien tuotteiden luokittelu, valmistusmenetelmän valitseminen, tuotteen valmistaminen ja lopulta tarkastaminen.

Myös uusiutuvien raaka-aineiden ja energian käyttöä koneteollisuuden eri aloilla tutkitaan aktiivisesti. Esimerkiksi Ghosh ja Karmakar (2014) totesivat artikkelissaan

Evaluation of sunflower oil as a multifunctional lubricating oil additive, että auringonkukan siemenistä puristettua öljyä voidaan käyttää biohajoavana lisäaineena teollisuuden voiteluöljyissä. Tämä on askel kohti täysin uusiutuvia voiteluöljyjä.

Energian käyttö teollisuudessa vaikuttaa suoraan kasvihuonekaasujen määrään ilmakehässä, kun käytetään uusiutumattomia energianlähteitä. Shahid ym. (2019) esittelivät artikkelissaan *Autoteollisuuden rooli ilmastonmuutoksessa* teräksen mikrorakenteen pienentämisen vaikutusta ajoneuvojen korien painoon ja lujuuteen. Artikkelissaan Shahid ym. esittävät Afnan ym. (2017) tutkimukseen vedoten, että ajoneuvoteollisuuden hiilidioksidipäästöjen osuus maailman kokonaispäästöistä on noin 17 prosenttia. He toteavat, että pienentämällä teräksen mikrorakennetta, voidaan ajoneuvojen kokonaismassaa pienentää lujuusominaisuuksia heikentämättä. Tämä puolestaan vähentäisi ajoneuvojen energiankulutusta ja näin ollen pienentäisi myös autoteollisuuden osuutta hiilidioksidipäästöissä.

Nieuwenhuis ym. (2003b, s. 142) on koostanut eri lähteistä kestävä kehityksen mukaiseen autoteollisuuden mallin, jonka mukaan auton valmistuksessa tulisi käyttää vain kierrätysmateriaaleja ja uusiutuvaa energiaa, eikä valmistuksesta aiheutuvat päästöt saisi ylikuormittaa ympäristöä. Ajoneuvon suunnittelun tulisi Niuwenhuisin mukaan painottaa tuotteiden kestävyyyden tarpeettoman tuotannon välttämiseksi. Tämän lisäksi hänen mukaansa kestävä kehityksen mukainen auto käyttää uusiutuvia energiamuotoja voimanlähteenään.

Akku- ja sähköteknologian kehitys mahdollistaa sähkön käytön ajoneuvoteollisuuden tuotteiden käyttövoimana joko osittain tai kokonaan. Itse sähköauto ei kuitenkaan ole uusi keksintö, sillä Burton (2013, kappale 2) kirjoittaa kirjassaan *History of electric cars* Rikerin esitellessä sähköisen auton jo 1800-luvun lopulla. Sähkö ajoneuvon käyttövoimana ei tuota paikallispäästöjä perinteisen polttomoottorin tapaan, ja se on mahdollista tuottaa uusiutuvan energian avulla, joten näiltä osin Niuwenhuisin esittelemä kestävä kehityksen malli toteutuu.

7 YHTEENVETO

Tässä työssä tarkasteltiin konetekniikan osuutta ilmastonmuutoksessa. Ilmastonmuutosta tutkiessa tuli ilmi, että sää ja ilmasto tulee erottaa toisistaan ilmastonmuutoksesta keskustellessa, vaikkakin ilmaston lämpeneminen voi johtaa lisääntyneisiin sään ääri-ilmiöihin. Maan lämpimänä pysyminen on monien tekijöiden summa, jossa kasvihuonekaasut näyttelevät suurta roolia. Ilmakehän kaasut suojaavat myös planeettamme elämää haitallisilta säteilyiltä, kuten UV-säteilyltä, joka on ihmisellekin haitallista suurina pitoisuuksina. Kasvihuonekaasut hajoavat ilmakehässä luonnollisten reaktioiden avulla, mutta hajoaminen on luonteeltaan hidasta – kaasusta riippuen kestoltaan vuosikymmenistä vuosisatoihin. Tämä johtaa kasvihuonekaasujen kerääntymiseen ilmakehässä, joka tehostaa kasvihuoneilmiön vaikutusta.

Työssä tutustuttiin maan keskilämpötilan nousun aiheuttamiin mahdollisiin muutoksiin ilmakehässä. Tutkimuksissa arvioitiin lämpötilan muutosten aiheuttavan muutoksia merenpinnan tasoon, kasvillisuusvyöhykkeisiin sekä sademääriin eri maanosissa. Koska maan ilmasto on hyvin monimutkainen systeemi mallinnettavaksi, tutkijat eivät ole voineet suoraan todentaa muutoksien kulkua suuntaan tai toiseen. Tästä huolimatta liialliset muutokset ovat suunnasta huolimatta usein negatiivisia, ja vaikuttavat ihmisen lisäksi maan kasvillisuuteen ja eläinkuntaan.

Tarkastellessa konetekniikan osuutta ilmastonmuutoksessa havaittiin, että ennen ilmaston aktiivista tutkimista uusien tuotteiden ja valmistusmenetelmien innovointi rajoittui pääosin tuotannon ongelmiin ja ideoiden välityksen hitauteen. Ensimmäisen teollisen vallankumouksen aikana kehitettiin höyryvoimakone, jolla tehostettiin tuotantokoneiden toimintaa. Tämän lisäksi höyryvoimalla toimivien painokoneiden avulla saatiin tietoa talletettua ja jaettua nopeasti ympäri Eurooppaa aiempaa nopeammin. Toisen teollisen vallankumouksen aikana keksittiin analoginen kommunikointi ja polttomoottori, joka edelleen kiihdytti polttoaineiden kulutusta ja ohjasi teollisuutta käyttämään juuri fossiilisia polttoaineita pääenergianlähteenään. Innovaatioiden määrä kasvoi ja tiedon välitys helpottui edelleen sähköisen analogisen kommunikaation avulla ja tuotannon kasvu lisäsi kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä. Digitalisaatio kiihdytti edelleen

innovaatioiden määrää. Digitalisaatio on seurausta digitaalisen viestinnän ja uusiutuvien energiamuotojen käytöstä. Digitaaliset laitteet ovat jatkaneet kehittymistään vuosikymmeniä, ja nykyaikaiset tiedonsiirtomenetelmät poistavat kommunikaation aiheuttamat innovaation rajoitukset.

Työssä tutustuttiin ilmastonmuutoksen hidastamiseen ja konetekniikan vastuuseen. Säädöksiä ja rajoituksia on asetettu hillitsemään teollisuuden päästöjä ja konetekniikan eri osa-alueet alkoivat innovoimaan ratkaisuja päästöjen rajoittamiseksi. Teollisuudessa kehitettiin vaihtoehtoisia menetelmiä energian tuotantoon fossiilisten polttoaineiden rinnalle edistämään kestävä kehityksen mallia. Uusiutuvien energiamuotojen käyttö mainittiin ilmastonmuutosta hidastavana tekijänä sen hiilidioksidipäästöjä vähentävän vaikutuksen vuoksi. Tuuli- ja vesivoiman tuottaman uusiutuvan sähkön osuus kasvaa vuosittain. Satunnaiset tyynet sääolot ja patojen rakentaminen heikentävät näiden sähköntuotantomallien pisteytystä kokonaisvaltaisessa kestävä kehityksen mallissa, jossa otetaan huomioon ympäristön kuormituksen lisäksi yhteiskunnan hyväksyntä sekä taloudelliset kestävyysmittarit.

Koska tutkijat eivät toistaiseksi ole pystyneet täsmällisesti todistamaan ilmastonmuutoksen vakavia seurauksia, nykyinen lainsäädäntö ja erityisesti eurooppalainen ilmastopolitiikka tähtää ennaltaehkäisemään ilmastonmuutoksen vaikutuksia vähentämällä hiilidioksidipäästöjen määrää ilmakehässä, sekä pyrkimällä kasvattamaan uusiutuvan energian käyttöä. Ilmastopolitiikka ja sen ympärille rakentuva lainsäädäntö kiristyy suunnitellusti EU tasolla vuosittain uusien säädöksiä ja rajoitusten muodossa asetettujen ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Teollisuuden on mukauduttava näihin muutoksiin yhteiskunnan elinvoimaisuuden varmistamiseksi. Konetekniikka on todistetusti keskeisessä roolissa kasvihuonekaasupitoisuuksien vaikuttajana, joten sillä on vastuu siirtyä käyttämään olemassa olevia vihreämpiä tekniikoita, kehittää uusia innovaatioita tukemaan EUn tavoitteita sekä tuoda ympäristöystävällinen suunnittelu osaksi opetusta. Tästä esimerkkinä on moderni CDIO opetuskehykseen perustuva opetusmalli, joka painottaa opiskelijalle suunnittelijan vastuuta tuotteiden ja prosessien suunnittelussa. Tämän lisäksi vanhoja tuotantolaitteita ja prosesseja tulee edelleen kehittää ja päivittää vastamaan nykyaikaisia ympäristövaatimuksia.

LÄHDELUETTELO

- Aatola, P., Ollikainen, M. and Ollikka, K., 2008. Kolme vuotta EU:n päästökauppaa: kokemuksia ja luotausta tulevaan. Kansantaloudellinen aikakauskirja [verkkodokumentti], 104 (1), S. 81–95. Saatavissa: <http://www.taloustieteellinenyhdistys.fi/images/stories/kak/kak12008/kak12008aatola.pdf> [viitattu 20.2.2023].
- CDIO, 2023. About CDIO [verkkodokumentti]. Gothenburg: Chalmers University of Technology. Saatavissa: <http://www.cdio.org/about> [viitattu 2.2.2023].
- Cowie, J., 2007. Climate change: biological and human aspects. Cambridge: Cambridge University Press, 487 s. ISBN 978-0-521-69619-7
- Enelund, M., Knutson Wedel, M., Lundqvist, U. and Malmqvist, J., 2013. Integration of Education for Sustainable Development in the Mechanical Engineering Curriculum. Australasian Journal of Engineering Education [verkkodokumentti], 19 (1), S. 51–62. Saatavissa: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.7158/22054952.2013.11464078> [viitattu 6.3.2023].
- Forrester, R., 2016. History of electricity [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ssrn.com/abstract=2876929> [viitattu 13.2.2023].
- Gao, M., Wang, Q., Wang, N., Ma, Z. and Li, L., 2021. Application of Green Design and Manufacturing in Mechanical Engineering: Education, Scientific Research, and Practice. Sustainability [verkkodokumentti], 14 (1), 237. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/1/237> [viitattu 1.1.2023]
- Ghosh, P. and Karmakar, G., 2014. Evaluation of sunflower oil as a multifunctional lubricating oil additive. International Journal of Industrial Chemistry [verkkodokumentti], 5 (1), 7. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s40090-014-0007-7> [viitattu 10.1.2023].

- Hacatoglu, K., Rosen, M. A. and Dincer, I., 2013. An Approach to Assessment of Sustainability of Energy Systems. Teoksessa: Causes, Impacts and Solutions to Global Warming [Verkkodokumentti]. New York: Springer. S.363–387. ISBN 978-1-46-147588-0 Saatavissa: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=657229&site=ehost-live&scope=site>.
- Houghton, J., 2004. Global warming: the complete briefing. 3rd. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 351 s. ISBN 978-0-521-52870-0
- Lapin amk, 2023. CDIO – CONCEIVE, DESIGN, IMPLEMENT, OPERATE [verkkodokumentti]. Rovaniemi: Lapin AMK. Saatavissa: <https://www.lapinamk.fi/fi/Opiskelijalle/Opintojen-suunnittelu/Oppimisymparistot/CDIO> [viitattu 2.2.2023].
- Mar, K. A., Unger, C., Walderdorff, L. and Butler, T., 2022. Beyond CO2 equivalence: The impacts of methane on climate, ecosystems, and health. Environmental Science & Policy [verkkodokumentti], 134 (1), S.127–136. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901122001204> [viitattu 2.2.2023].
- Nieuwenhuis, P. and Wells, P., 2003a. Sustainability. Teoksessa: Nieuwenhuis, P. and Wells, P., (toim.) The Automotive Industry and the Environment [verkkodokumentti]. Woodhead Publishing, S.129–140. ISBN 978-1-85573-713-6. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855737136500135>.
- Nieuwenhuis, P. and Wells, P., 2003b. Sustainable mobility. Teoksessa: Nieuwenhuis, P. and Wells, P., (toim.) The Automotive Industry and the Environment [verkkodokumentti]. Woodhead Publishing, 141–155. ISBN 978-1-85573-713-6. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855737136500147>.
- Nigel Burton, 2013. A History of Electric Cars [verkkodokumentti]. Ramsbury: The Crowood Press Ltd, 224 s. ISBN 978-1-847-97571-3. Saatavissa:

https://books.google.fi/books?id=mZV8AwAAQBAJ&dq=history+of+electric+cars&lr=&hl=fi&source=gbs_navlinks_s [viitattu 26.2.2023].

Sen, Z. and Öztopal, A., 2013. Turkish Water Foundation Climate Change Downscaling Model Principles. Teoksessa: Dincer, I., Colpan, C., and Ozgur Kadioglu, F., (toim.) Causes, Impacts and Solutions to Global Warming [verkkodokumentti]. New York, NY: Springer, 87–101. ISBN 978-1-461-47587-3. Saatavissa: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=657229&site=ehost-live&scope=site> [viitattu 27.1.2023].

Seyhun, R. and Akıntug, B., 2013. Trend Analysis of Rainfall in North Cyprus. Teoksessa: Dincer, I., Colpan, C., and Ozgur Kadioglu, F., (toim.) Causes, Impacts and Solutions to Global Warming [verkkodokumentti]. New York, NY: Springer, 169–181. ISBN 978-1-461-47587-3. Saatavissa: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=657229&site=ehost-live&scope=site> [viitattu 28.1.2023].

Shahid, hussain A., Aludad, C., Abdulaziz, S. A. and Iftikhar, A. C., 2019. Role of Automotive Industry in Global Warming. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series A: Physical Sciences [online], 62 (3) S.197-201. Saatavissa: <https://v3.pjsir.org/index.php/physical-sciences/article/view/337> [viitattu 28.1.2023].

Solomon, S., 1999. Stratospheric ozone depletion: A review of concepts and history. Reviews of Geophysics [verkkodokumentti], 37 (3), S.275–316. Saatavissa: <https://doi.org/10.1029/1999RG900008> [viitattu 1.2.2023]

Tarpey, M., 2020. Brief history of digitalisation [verkkodokumentti]. Irving, USA: Exela Technologies. Saatavissa: https://www.exelatech.com/blog/brief-history-digitalization?language_content_entity=en [vittattu 2.3.2023].

Taulavuori, K., 2013. Vegetation at Northern High Latitudes Under Global Warming. Teoksessa: Dincer, I., Colpan, C. O., and Kadioglu, F., (toim.) Causes, Impacts and

Solutions to Global Warming [verkkodokumentti]. New York: Springer, S. 3–16.
ISBN 978-1-46-147588-0 Saatavissa: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=657229&site=ehost-live&scope=site>.

Wilson, E. D., 2021. After cooling [verkkodokumentti]. New York: Simon & Schuster, S. 469. ISBN 978-1-9821-1132-8 Saatavissa: [viitattu]

Woodrow, C. and Cooke, G., 2015. The Green Industrial Revolution: Energy, Engineering and Economics [verkkodokumentti]. Oxford, England: Butterworth-Heinemann. S. 557. ISBN 978-0-12-802314-3 Saatavissa: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=944234&site=ehost-live&scope=site> [viitattu 10.2.2023]

Ympäristöministeriö, 2023. Euroopan unionin ilmastopoliitikka [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopoliitikka> [viitattu 26.2.2023].