

# Robotisoidun 3D-tulostusympäristön hiilineutraalisuuden selvitys

Jussi-Pekka Moilanen

OPINNÄYTETYÖ  
Maaliskuu 2024

Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Tuotantotekniikka ja lentokonetekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Tuotantotekniikka ja lentokonetekniikka

MOILANEN, JUSSI-PEKKA:  
Robotisoidun 3D-tulostusympäristön hiilineutraalisuuden selvitystyö

Opinnäytetyö 65 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Maaliskuu 2024

---

Opinnäytetyön aiheena oli Tampereen ammattikorkeakoulun Fieldlabin robotisoidulle 3D-tulostusalueelle suoritettu hiilineutraalisuuden selvitystyö, jonka tarkoituksena oli tuoda ilmi huomioonotettavia kohteita hiilineutraalisuuden optimoinnissa. Työssä käsitellään useita eri aiheita sekä parannuskohteita, jotka auttavat hiilineutraalisuuteen pääsemisessä.

Opinnäytetyö on rajattu Fieldlabin suuren laitemäärän vuoksi käsittämään vain robotisoitua 3D-tulostusaluetta, jonka avulla juuri kyseisestä kokonaisuudesta saadaan hyvä käsitys. Työ sisältää useita kuvia laitekokonaisuudesta, mikä havainnollistaa käsiteltävää aihetta ja auttaa hahmottamaan kokonaiskuvaa.

Työn alussa aihetta on pohjustettu hiilineutraalisuuteen ja energiankäyttöön liittyvillä osa-alueilla, jotka antavat paremman ymmärryksen koko opinnäytetyöstä ja sen tärkeydestä. Lopussa käsitellään Fieldlabin 3D-tulostusalueen hiilineutraalisuuden optimointia energian käyttöön, materiaalin kulutukseen sekä suunnitteluvaiheeseen vahvasti pohjautuen. Työn teoriapohjana toimii kattava ja monipuolinen katsaus lähdekirjallisuuteen.

Opinnäytetyön tuloksina saatiin esille keinoja vähentää energian käyttöä ja materiaalihukkaa sekä lisäksi tuotua ilmi myös muita huomioonotettavia seikkoja hiilijalanjälkeen liittyen. Robotisoidun 3D-tulostusalueen hiilijalanjäljen optimointi toimii hyvänä lähtökohtana myös aiheen laajemmassa tutkimuksessa, sillä työssä käsiteltäviä keinoja voidaan myöhemmin hyödyntää käsittämään muitakin Tampereen ammattikorkeakoulun laitteita. Työn aikana ilmeni paljon kehitys- ja parannuskohteita esimerkiksi hukkaenergian talteenottoon liittyen.

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Production Engineering and Aircraft Engineering

MOILANEN, JUSSI-PEKKA:

Carbon Neutrality Investigation of the Robotic 3D-Printing Area

Bachelor's thesis 65 pages, appendices 2 pages  
March 2024

---

The subject of the thesis was to carry out research about carbon neutrality for Tampere University of Applied Sciences Fieldlab robotic 3D printing area which aimed to reveal points to be considered in the optimization of carbon neutrality. Several different topics and areas of improvement have been collected for the thesis which helped in reaching carbon neutrality.

Due to the large amount of devices in the Fieldlab, the thesis has been limited to include only the robotic 3D printing area which helps to get a good understanding of that particular aspect. The thesis contained several pictures of the whole device system, which helped get understanding of it and made it easier to follow the thesis.

At the beginning of the work, the subject has been primed with the important aspects related to it giving a better understanding of the entire thesis and its importance. It is strongly based on carbon neutrality, energy consumption and 3D-printing. At the end of the thesis, optimization of the carbon neutrality of Fieldlab's 3D printing area is being discussed utilizing different methods and areas of improvement. The target of the thesis was to get a comprehensive set of different improvement ideas which help in the process of being carbon neutral in the future.

---

Key words: carbon neutrality, fieldlab, 3d printing

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	HIILINEUTRAALISUUS .....	8
	2.1 Hiilineutraalisuus yleisesti .....	8
	2.2 Hiilineutraalisuustavoite .....	9
	2.3 Hiilineutraalisuus ja teknologia .....	12
	2.4 Ympäristösertifikaatti .....	14
3	ENERGIA.....	17
	3.1 Päästöttömät tuotantomuodot .....	17
	3.1.1 Vesivoima .....	17
	3.1.2 Tuulivoima .....	19
	3.1.3 Aurinkovoima.....	21
	3.1.4 Ydinvoima.....	23
	3.1.5 Bioenergia .....	25
	3.1.6 Geoterminen energia.....	25
	3.2 Uusiutuva energia .....	27
	3.3 Energiatehokkuus .....	29
4	3D-TULOSTUS .....	32
	4.1 Lisäävä valmistus.....	32
	4.2 Mahdollisuudet.....	34
	4.3 Haasteet.....	35
5	HIILIJALANJÄLJEN OPTIMOINTI .....	40
	5.1 Energian käyttö .....	40
	5.1.1 Tulostusaika .....	41
	5.1.2 Tulostusalusta .....	44
	5.2 Aurinkopaneelit .....	46
	5.3 Laitteen elinkaari ja kierrätys.....	48
	5.3.1 Tulostusmateriaalin kierrätys.....	49
	5.4 Suunnitteluvaiheen optimointi .....	51
	5.4.1 Topologian optimointi .....	52
	5.4.2 Tulostusasento ja tukimateriaali .....	53
	5.5 Käyttäjäkoulutukset.....	56
6	YHTEENVETO .....	57
7	POHDINTA .....	58
	LÄHTEET.....	60
	LIITTEET .....	64
	Liite 1. Tulostinekstruuderin tekniset tiedot. (CEAD n.d.).....	64

Liite 2. ABB teollisuusrobotin tekniset tiedot (ABB n.d.).....	65
--	----

**LYHENTEET JA TERMIT**

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
Fieldlab	Tampereen ammattikorkeakoulun infrastruktuuri- ja keilualusta nykyaikaisten suunnittelu- ja valmistusmenetelmien opiskelua varten

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää Tampereen ammattikorkeakoulun laboratoriossa sijaitsevan isojen kappaleiden 3D-tulostimen ja sen ympäristön hiilijalanjäljessä huomioon otettavia asioita ja etsiä parannuskohteita sekä löytää ratkaisuja hiilineutraalisuustavoitteeseen pääsemiseksi. TAMK on vahvasti mukana erilaisissa kehitysprojekteissa sekä kestävän kehityksen hankkeissa ja tämä opinnäytetyö toimii hyvänä lähtökohtana siirtymisessä täysin hiilineutraaliksi tulevaisuudessa.

Tampereen ammattikorkeakoulussa nähtiin tarpeelliseksi tutkia hiilineutraalisuutta myös laboratoriotilassa ja selvityksen kohteeksi on rajattu aihe suurelle robotisoidulle 3D-tulostimelle sekä siihen kuuluvalla ympäristöllä. Selvitys on rajattu suurimmilta osin laboratoriossa tapahtuvan käytön kannalta eikä siihen ole huomioitu tulostimen toimituksen alkupäässä tapahtuvia asioita. Huomioon ei ole otettu tulostimen valmistaneen yrityksen hiilijalanjälkeä esimerkiksi materiaalien ja kuljetuksen osalta, vaan pääpaino on laitteen käytössä sen laboratoriotilaan tuomisen ja asennuksen jälkeen. Selvitys on rajattu, jotta saadaan hyvä lähtökohta alkaa tutkia isompaa kuvaa myöhemmässä vaiheessa ja estettyä sen leviäminen liian laajalle toimitusketjun alkupäähän, jopa laitteen valmistuksessa käytettävien raaka-aineiden hankintaan asti.

Opinnäytetyö pitää sisällään hiilineutraalisuuden käsittelyä sekä siihen vahvasti liittyviä asioita yleisellä tasolla. Hiilineutraalisuutta robotisoidulle 3D-tulostimelle pohdittaessa on otettu huomioon useita hiilijalanjälkeen vaikuttavia asioita, jotka voivat yhdessä ja erikseen hyödynnettynä tuoda paljon positiivisia vaikutuksia.

## 2 HIILINEUTRAALISUUS

### 2.1 Hiilineutraalisuus yleisesti

Hiilineutraalisuuden käsite ja siihen liittyvät tavoitteet ovat yhteiskunnassa yhä enemmän ihmisten mukana arjessa tavalla tai toisella. Eri puolilla maapalloa on herätty siihen, että väkiluvun nopea kasvu ja ihmisten aiheuttamat päästöt alkavat vaikuttamaan jokaiseen yksilöön nyt tai vähintään tulevaisuudessa. Sään eri ääri-ilmiöt ravistelevat ihmisiä eri puolilla maapalloa ja niillä on alkanut olla yhä karumpia vaikutuksia yhteiskuntaamme. Jäätävät pakkaset, merien sekä vesistöjen pinnannousu ja jopa yli 50 asteeseen nousevat helteet koettelevat ihmisiä yhä useammin ja paikoissa, joissa siihen ei olla aiemmin totuttu. Ilmastonmuutoksen myötä useita erilaisia keinoja on alettu miettiä ja jakamaan pienempiin osiin. Useat valtiot ovatkin ottaneet ohjat omiin käsiinsä ja alkaneet ohjaamaan omaa kansaansa kohti ratkaisuja vähentää ilmaston kiihtyvää muuttuminen. Yksi näistä suurista ratkaisuista on hiilineutraalisuus.

Hiilineutraalisuudesta kuulee usein erilaisia näkemyksiä ja tavoitteita siihen pääsemiseksi. Yhden näkemyksen mukaan hiilineutraali valtio, kunta tai toiminto tarkoittaa sitä, että kasvihuonekaasuja tuotetaan vain sen verran kuin niitä saadaan sidottua. Valtioneuvoston tulevaisuusselonteon mukaan kasvihuonekaasupäästöjä syntyy hyvin vähän hiilineutraalissa yhteiskunnassa ja jäljelle jäävät päästöt voidaan hyvittää eri toiminnoissa muualla. Toisen näkemyksen perusteella on riittävää, kunhan vain saadaan päästöjä vähennettyä sen verran, että ilmastonmuutoksen kiihtyminen lakkaisi. Kansainvälinen ilmastopaneeli IPCC asettaa päästövähennystavoitteet siihen, että maapallon keskilämpötilan kasvu saadaan rajoitettua alle kahteen asteeseen (Berninger 2012, 18). Vaikka hiilineutraalisuudesta on olemassa useita eri näkemyksiä, on sen tavoite kuitenkin yksinkertainen: Tuottaa hiilidioksidipäästöjä enintään sen verran, kuin niitä voidaan sitoa hiilinieluihin ilmakehästä.

Hiilineutraaliksi pääseminen tarkoittaa, että kaikki ilmaan päässyt hiilidioksidi kyetään ottamaan talteen. Talteenottoa varten tarvitaan paljon hiilinieluja. Hiilinielujen tehtävä on sitoa hiilidioksidia ilmasta, ja ne pystyvät sitomaan sitä enemmän



kuin päästävät ilmakehään. Tärkeimpiä hiilinieluja ovat meret, metsät ja maaperä. Vuonna 2021 maailman yhteenlasketut hiilidioksidipäästöt olivat 37.8 gigatonnia ja hiilinielujen arvioidaan sitovan 9.5–11 gigatonnia hiilidioksidia. Maapallon hiilinielujen tämänhetkinen hiilidioksidinsitomiskyky on siis vain alle kolmasosan tarvittavasta määrästä. Tilanne vaatii huomattavaa parannusta ja hiilidioksidipäästöjen suurta vähennystä, mutta toistaiseksi mikään ihmisen luoma järjestelmä ei ole tarpeeksi tehokas sitomaan hiiltä ilmakehästä riittävällä mittakaavalla ja hillitsemään ilmaston lämpenemistä. Luonnon hiilinieluihin sitoutunut hiilidioksidi palautuu ilmakehään muun muassa metsähakkuiden ja yhä useammin tapahtuvien maastopalojen vuoksi. Hiilineutraalisuustavoitteeseen pääsemiseksi onkin siis erittäin tärkeää vähentää ensisijaisesti luontoon johdettavia päästöjä (Euroopan parlamentti 2023).

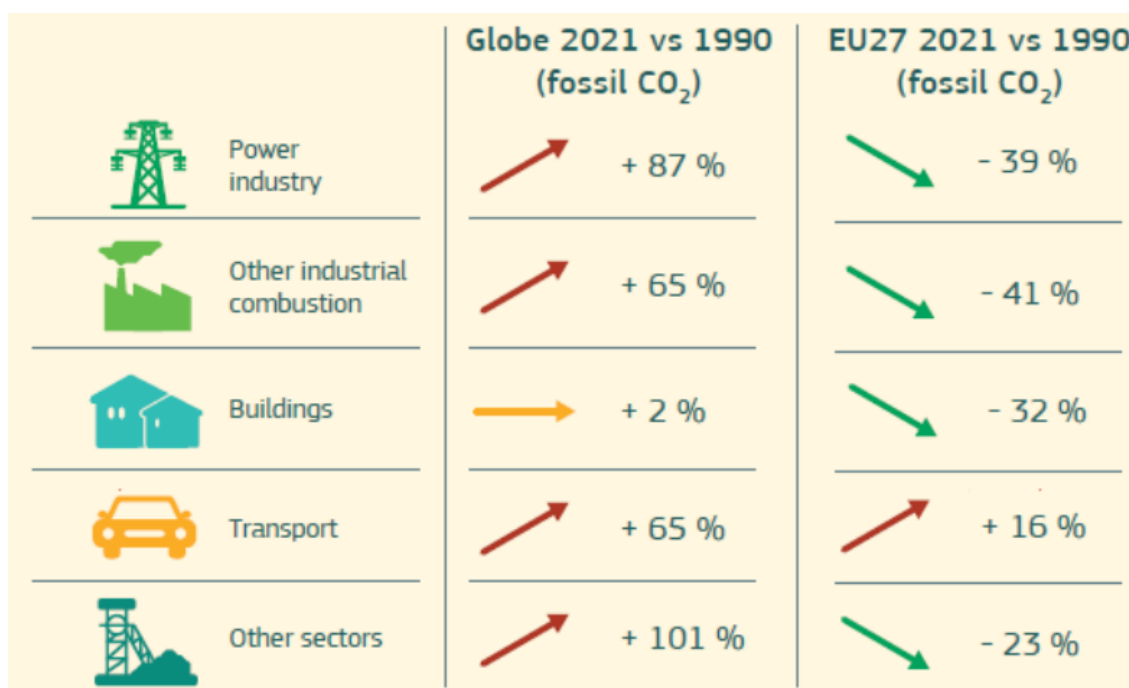
## 2.2 Hiilineutraalisuustavoite

Ilmastonmuutos sekä kasvihuonekaasujen suuri määrä maapallon ilmakehässä ovat yksi tämän hetken suurimmista kriiseistä ja haasteista yhteiskunnassamme. Ihmiskunta on alkanut heräämään maapallolla nopeasti tapahtuvaan muutokseen ja toimia muutoksen estämiseksi on lisätty valtavasti lähtien maanosista aina yksilöön asti.

Euroopan unioni on lähtenyt kohti ilmastonmuutoksen ehkäisyä hyväksymällä Euroopan ilmastolain, jonka tavoite on vähentää päästöjä 55 % tästä hetkestä vuoteen 2030 mennessä. Täysin ilmastoneutraali Euroopan unionin on tavoite olla vuonna 2050. EU on ottanut käyttöönsä erillisen vihreän kehityksen ohjelman, joka ohjaa sitä kohti ilmastoneutraaliutta. Työn alla on kunnianhimoisen lakipaketti, johon kuuluu lukuisia lakiesityksiä koskien ilmastoa ja energiaa ja lainsäädännön päivityksiä (Euroopan parlamentti 2018).

Euroopan unioni yhdessä Kiinan, Intian, Yhdysvaltojen, Venäjän ja Japanin kanssa muodostavat eniten hiilidioksidipäästöjä maailmassa. Näiden toimijoiden yhteenlaskettu fossiilinen hiilidioksidipäästö määrä on 67.8 % globaalisti. EU:n kunnianhimoisten ilmastotavoitteiden ohella on hyvä muistaa, että koko unionin tuottama hiilidioksidipäästö määrä suhteessa muuhun maailman on hyvin pieni.

Vuoteen 2021 mennessä Euroopan unionin hiilidioksidipäästö määrä on vain vähän yli 7 % kaikista maailman hiilidioksidipäästöistä. Kaikista suurin päästöjen tuottaja on Kiina, joka vastaa jopa kolmannesosa kaikesta ilmakehään laskeutuista päästöistä. Toimia päästöjen hillitsemiseksi tarvitaan siis erityisen paljon myös muualla maailmassa, mutta EU toimii hyvänä esimerkkinä oikean suunnan näyttämisessä. Kuvasta 1 voidaan nähdä hiilidioksidipäästöjen vertailua vuodesta 1990 vuoteen 2021 asti. Globaalisti huomataan päästöjen huima kasvu etenkin energia, teollisuus, liikenne ja muilla sektoreilla. Euroopan unionin kohdalla positiivisia tuloksia ja vihreitä nuolia on sen sijaan runsaasti enemmän. Jo kahden vuosikymmenen ajan jatkunut laskeva trendi päästöissä on johtanut muutosten myötä prosentuaalisesti paljon pienempiin määriin kuin ennen vuosituhanen vaihdetta. Vuonna 2021 hiilidioksidipäästöt EU:ssa olivat 2.78 Gt, joka on 27.4 % pienempi kuin vuonna 1990. Globaalisti EU:n päästöt olivat vuonna 1990 16.8 %, vuonna 2015 8.5 % ja vuonna 2021 enää 7.3 %. Muutos on siis ollut suurta ja päästöjä on saatu pienennettyä yli puolella (European Commission 2022). Tästä saamme kiittää osin uusia teknologioita ja niiden huimaa kehitystä.



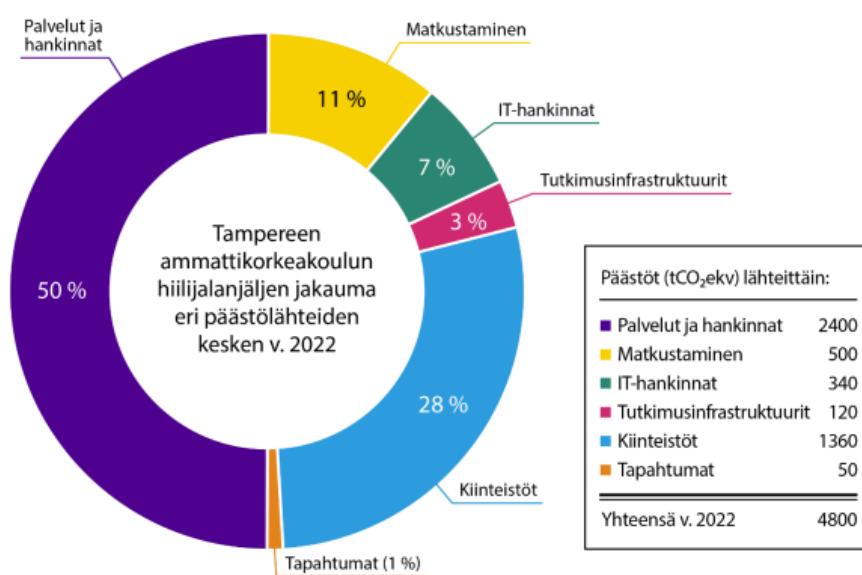
KUVA 1. Päästöjen muutos globaalisti ja Euroopassa vuodesta 1990 vuoteen 2021 (European Commission 2022)

Suomi on päättänyt olla yksi maailman edelläkävijöistä ilmastonmuutoksen torjunnassa ja asettanut EU:n kannustuksen alaisena itselleen tavoitteeksi olla täysin hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Hiilineutraaliustavoitteeseen pääsemiseksi Suomen täytyy saada hiilinielut sekä ilmastopäästöt tasapainoon. Päästöjä on saatu vähennettyä huomattavasti erilaisilla keinoilla, mutta se on yhä liian hidasta tavoitteeseen pääsemiseksi. Lisää keinoja tarvitaan, jotta tavoitteeseen päästään yhä nopeammin ja tehokkaammin.

Hiilineutraalin Suomen vanavedessä myös Pirkanmaa sekä Tampereen korkeakouluyhteisö osallistuu aktiivisesti kasvihuonekaasujen vähentämiseen asettamalla tavoitteekseen olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä. Työtä tehdään ja edistetään erilaisin projektein ja laskentatöin, jotka aktiivisesti ohjaavat päästöjen vähentämistä kohti määränpäättä. Tampereen ammattikorkeakoulu on yhdessä Tampereen yliopiston kanssa aloittanut aktiivisen pyrkimyksen ilmastotavoitteisiin pääsemisessä vuonna 2019, jolloin hiilijalanjäljen pienentämisen avuksi on aloitettu erillinen laskentatoimi. Korkeakouluyhteisön keskuudessa on laskentatyötä varten perustettu erillinen työryhmä eri toimijoista. Korkeakouluyhteisön hiilijalanjälkeä on aloitettu tutkimaan seurantatyökalulla, jonka ensimmäinen laskenta on vuodelta 2019 ja viimeisin vuodelta 2022. Seurantatyökalulla saadaan selkeä kuva korkeakouluyhteisön nykytilanteesta ja sen avulla seurataan hiilijalanjäljen aiheuttajia ja kehitystä (Tuni 2022).

Yhteiskunnassa vallitsee laaja paine kasvihuonekaasujen vähentämisestä ja hiilineutraaliustavoitteeseen pääsemisestä. Painetta luodaan yksilöille, mutta erityisesti yrityksille. Monet yritykset ovat lähteneet tähän vauhdilla mukaan ja vaativat tätä myös yhteiskumppaneiltaan. Tampereen ammattikorkeakoulussa on otettu aihe vakavasti ja toimet hiilineutraalisuuteen pääsemisestä ovat kovassa vauhdissa. Hiilijalanjäljen seurantatyökalun avulla on saatu yhteenveto TAMK:n synnyttämistä päästöistä ja niiden jakautumisesta eri alueisiin. Kuten kuvasta 2 nähdään, ovat palvelut ja hankinnat sekä kiinteistö suurimmat päästön tuottajat TAMK:n sisällä. Hiilineutraalisuustavoitteisiin pääsemiseksi näiden aihealueiden tarkastelu on siis erityisen tärkeää ja tämä korostaa entisestään myös opinnäytetyötä laboratoriotilojen laitteiden tuottamasta hiilijalanjäljestä. Ison 3D-tulostimen käyttöön kuluu paljon energiaa ja se vaatii kokonsa takia myös paljon kappaleiden valmistukseen tarvittavaa materiaalia. Yritysyhteisöjen sisällä vallitsevat

päästövaatimukset kiristyvät koko ajan ja hiilineutraalien laitteiden merkitys korostuu myös TAMK:ssa. Ulkopuolisten yhteistyökumppaneiden ja toimijoiden varalta on hyvä kehittää laitteita yhä enemmän kohti hiilineutraalisuutta. Suuri 3D-tulostin tuottaa paljon mahdollisuuksia nyt ja tulevaisuudessa, ja tämän takia mahdollisten yhteistyökumppanien merkitys korostuu entisestään. Yhteistyömahdollisuuksia ja potentiaalisia tilauksia syntyy huomattavasti vaivattomammin, mitä aikaisemmin päästövaatimustavoitteet ja hiilineutraalisuus ovat kunnossa.

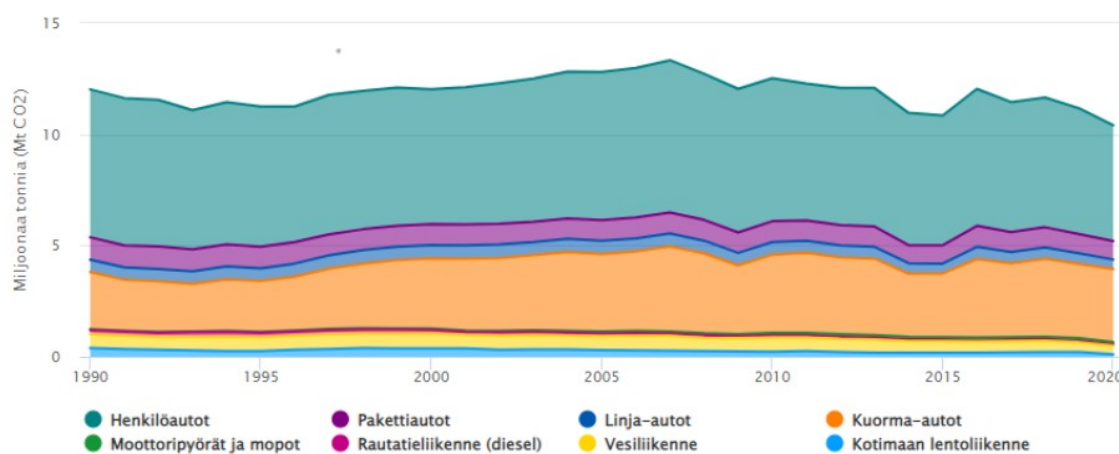


KUVA 2. Tampereen ammattikorkeakoulun vuoden 2022 hiilijalanjälki (Tampereen korkeakoulu yhteisö 2022)

### 2.3 Hiilineutraalisuus ja teknologia

Teknologialla ja sen kehityksellä on suuri rooli ilmastonmuutoksen torjunnassa. Vaikka yhteiskunnassa luodaan painetta päästövähennyksiin valtiovallan tasolta asti, ei ilmasto-ongelmaa ratkaista pelkästään sillä, että vain kiristetään ilmastotavoitteita ja rajoitetaan ihmisten tekemisiä. Ihmiskunnan täytyy myös itse olla mukana keksimässä ratkaisuja vähentää ilmastolle haitallisia päästöjä ja luoda uusia keinoja siihen pääsemiseksi. Suurten yritysten on luotava uusia innovaatioita ja kehitettävä vanhaa teknologiaa koko ajan pysyäkseen mukana yhä tiukemmassa ilmastokulttuurissa.

Ilmastotavoitteiden tiukentuminen on positiivinen asia, mutta asettaa myös samalla paljon rajoitteita ja haasteita yrityksille. Haasteet on otettu vastaan yritysmaailmassa osin positiivisena ja negatiivisena, mutta yhteistyön avulla niitä on saatu selätettyä paljon. Yhtenä erinomaisena esimerkkinä rajoitusten ja vaatimusten kasvaminen tuottamana tuloksena voidaan esittää autojen moottoreiden kehitys. Tasaisin väliajoin kiristyvien päästövaatimusten seurauksena, moottoreita täytyy kehittää koko ajan vähemmän päästöjä aiheuttavaksi. Biopolttoaineiden ja energiatehokkuuden parantumisen ansiosta päästöjen laskeminen on ollut suurta ja se on ottanut harppauksen erityisesti vuodesta 2007 eteenpäin. Kuten kuvasta 3 nähdään, ovat eri tieliikennevälineiden hiilidioksidipäästöt vähentyneet jopa miljoonilla tonneilla vuoteen 2020 mennessä (Ilmasto-opas 2022). Katukuvassa vähäpäästöisyyden trendin voi nähdä myös huimasti lisääntyneellä hybridi- sekä sähköautokannalla. Sähkömoottorien käyttäminen on seurausta akkuteknologian huimasta kehityksestä viime vuosien aikana ja se tulee paranemaan paljon vielä lähivuosina. Sähköteknologian odotetaan olevan yksi suurista ratkaisuista liikennepäästöille tulevaisuudessa.



KUVA 3. Hiilidioksidipäästöjen kehitys eri tieliikennevälineiden välillä vuodesta 1990 vuoteen 2020 (Ilmasto-opas 2022)

Jo satoja vuosia sitten aina teollisesta vallankumouksesta lähtien ihmiskunta on ratkaissut energiaan liittyvät tarpeensa polttamalla erilaisia raaka-aineita. Pääasiassa puun, hiilen, öljyn ja fossiilisten polttoaineiden polttamisprosessi on tuottanut ja tuottaa yhä ilmakehään runsaasti hiilidioksidipäästöjä. Polttamisen avulla tuotetaan energiaa sähkön ja lämmityksen tuotantoon, liikenteeseen, maatalouteen ja esimerkiksi sementin, öljyn ja kaasun tuottamiseen. Uusiutumattomien

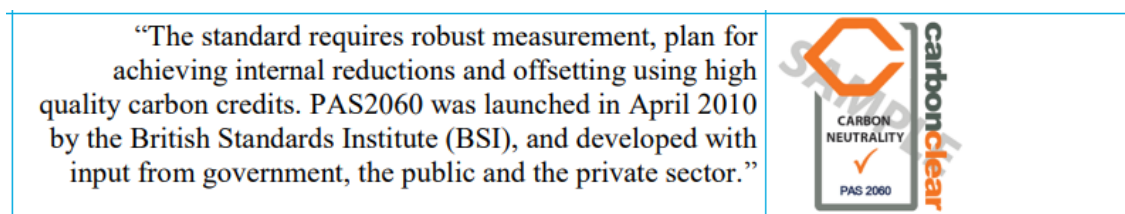
energiälähteiden myötä joudumme vastaamaan haasteisiin, jotka tuottavat suuren uhan ihmiskunnalle. Ilmastonmuutos, energiaturvallisuus, kasvihuonekaasut ja ympäristön tuhoutuminen ovat vaikuttaneet hiilineutraalisuuden tavoittelemiseen uusiutuvien energialähteiden avulla. Tämän lisäksi suurta huomiota ansaitsevat pyrkimykset hiilidioksidin käsittelylle ja prosessoinnille. Vaikka erilaisia ratkaisuja onkin jo keksitty, on hiilidioksidin talteenotto ja sen hyödyntäminen yhä suuri haaste, joka vaatii paljon panostusta lähitulevaisuudessa. Hiilineutraalisuus on tavoitteena erittäin kunnianhimoinen ja se vaatii mainituilta osa-alueilta paljon panostusta. Tutkijat uskovat, että teknologian kehittyessä uusiutuvat energialähteet voivat olla tulevaisuudessa jopa halvempia kuin fossiiliset polttoaineet ja tämä avustaisi yhteiskuntaa vahvasti kohti hiilineutraalisuustavoitetta (Environmental Research 2023. Volume 220).

## **2.4 Ympäristösertifikaatti**

Ilmastosuojelun ja päästöjen vähennystavoitteiden myötä suositaan ovat nosta- neet erilaiset ympäristö- ja hiilineutraaliussertifikaatit. Näiden sertifikaattien avulla yritysten on mahdollista viestiä omista tavoitteistaan ja toimenpiteistään ympäris- tönsuojelun edistämiseksi. Sertifikaatin saadakseen yrityksillä on oltava näyttöä erilaisista vaiheista, joita ne ovat edistäneet sertifikaatin ansaitakseen. Sertifikaatin suosio on noussut paljon erityisesti viime vuosina, sillä yhä useampi yhteis- työkumppani ja kuluttaja perustaa kulutuspäätöksensä ympäristöystävällisempiin vaihtoehtoihin. Sertifikaatin avulla yrityksellä on mustaa valkoisella tavoitteistaan sekä arvoistaan, jonka takia yritys voi saada etulyöntiaseman ja huomattavan edun kilpailijaa vastaan.

Hiilineutraaliussertifikaatteja voi hankkia useilta eri yrityksiltä, jotka käyttävät eri standardeja arvioidakseen ostajayrityksen hiilineutraalisuutta. Yhä useampi yritys tarjoaa nykypäivänä päästövähennyksiä, päästöjen todennuksia, standar- deja ja ohjelmia päästöjen vähentämiseen. Yhtenä yleisimmistä standardeista pi- detään PAS 2060- standardia, joka on British Standard Institutionin kehittämä ja kansainvälisesti tunnustettu määritelmä hiilineutraalisuudelle. Se määrittää vaa- timukset ja keinot päästöjen laskemiselle, vähentämiseksi ja hyvitykselle, joita tuotteilta ja yrityksiltä vaaditaan. PAS 2060 on kehitetty lisäämään läpinäkyvyyttä ja yhtenäisyyttä hiilineutraalisuuden käsitteelle. Yritysten ja eri toimijoiden välillä

hiilineutraalisuuden käsitteessä on voinut olla huimia eroja ja ne saattavat tuottaa paljon epäselvyyksiä. Standardin laskennassa on otettu huomioon kaikkien ilmaan päässeiden kasvihuonekaasujen nettopäästöt eikä ainoastaan hiilidioksidipäästöjen. Monessa tapauksessa kaupungit, yritykset ja organisaatiot eivät ole määritelleet päästöjä tarkemmin ja tämän takia päästöjen rajausta voi jäädä epäselväksi. PAS 2060 standardin mukaan hankittu sertifikaatti lisää avoimuutta ja sen avulla voidaan viestiä läpinäkyvistä ja yhtenäisistä päästötavoitteista (Sepälä 2014, 14–15, 29). Monet sertifikaatteja myyvät yritykset seuraavatkin juuri kyseistä standardia ja luovuttavat sertifikaatin sen erinomaisen noudattamisen mukaan. Sertifikaatteja on olemassa lukuisia määriä, mutta tavoitteet ja päämäärät ovat selkeitä. Yritys saa ulkopuolelle viestin toimenpiteistä ilmaston hyväksi yksinkertaisesti ja selkeästi. (KUVA 4).



KUVA 4. PAS 2060- standardin mukaan annettu hiilineutraalisuudesta kertova sertifikaatti (Ilmastopaneeli 2014)

Hiilineutraalisuudesta kertovan sertifikaatin hankkiminen voi olla pitkä ja haastava prosessi (KUVA 5). Eri standardeissa vaaditut toimenpiteet ja prosessit ovat tarkasti määriteltyjä ja ne rajaavat toimenpiteitä jonkin verran. Sertifikaatin ostavan yrityksen onkin suotavaa lähteä projektiin kunnolla mukaan, jotta tavoitteisiin päästäisi mahdollisimman mutkattomasti. PAS 2060- standardin mukaisesti toimittuna yrityksen hiilijalanjälki täytyy laskea ja siinä on huomioitava 100 % suorista kasvihuonekaasupäästöistä ja epäsuorasta energiankäytöstä syntyvistä kasvihuonekaasupäästöistä. Hiilijalanjäljen laskentaan otetaan mukaan myös kaikki muut epäsuorasti kokonaishiilijalanjälkeen vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöt, jotka ylittävät 1 % siitä. Standardin mukaan toimijan on laadittava hallintasuunnitelma hiilidioksidipäästöistä ja ilmoitettava julkinen sitoutuminen hiilineutraalisuuteen. Tämä edellyttää strategian asettamista aikatauluun, päästöjen vähennyksen kohteisiin sekä jäljelle jäävien päästöjen kompensointiin. Hiilineutraalisuuden saavuttamiseksi yrityksen ensisijainen tavoite on optimoida hiilijalanjälkensä nolnaan täysin omilla toimilla, mutta tähän tulokseen harvoin päästään.

Tämän vuoksi hiilineutraalisuuden saavuttamiseksi yritykset usein kompensoivat ylimääräisiä päästöjään osallistumalla esimerkiksi erilaisiin metsänkasvatusprojekteihin. PAS 2060 standardi asettaa rajoitteet mahdollisille kauppapaikoille, josta voidaan ostaa päästövähennyksiä. Vaatimuksia asetetaan myös hiilineutraalisuuden todentamiseen omalta osalta ja standardin hyväksymän ulkopuolisen todentajan toimesta (Ilmastopaneeli 2014, 14).



KUVA 5. PAS 2060- sertifikaatin asettamat vaatimukset hiilineutraalisuudelle (Carbon Trust n.d.)

Hiilineutraalisuuden osoittava sertifikaatti asettaa sen ostajalle paljon vaatimuksia, mutta voi osoittautua erittäin tärkeäksi näytöksi omasta osallistumisesta puhtaampaan ilmastoon. Sertifikaattia arvostetaan paljon tälläkin hetkellä, mutta sen merkitys tulee olemaan vielä suuremmassa ja näkyvämmässä osassa tulevaisuudessa. Eri toimijoilta vaaditaan yhä enemmän tekoja ilmaston puolesta ja sertifikaatti tulee suurella todennäköisyydellä vaikuttamaan yhteistyökumppaneiden valintaan tulevaisuudessa myönteisesti.



## 3 ENERGIA

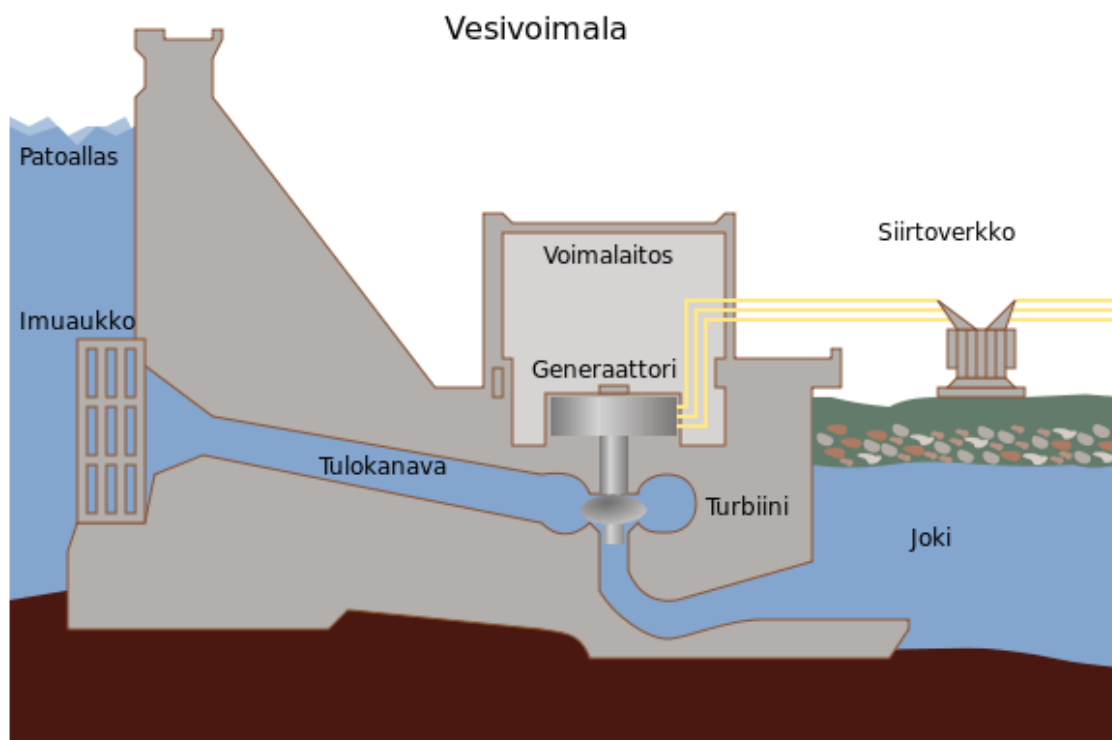
### 3.1 Päästöttömät tuotantomuodot

Energian tuotanto on yksi eniten ilmastoa saastuttavimmista päästölähteistä. Yhteiskunta tarvitsee paljon energian tuotantoa toimiakseen, eikä uusiutuvat energianlähteet pysty kattamaan tätä tarvetta toistaiseksi. Fossiilisten polttoaineiden vuoksi päästöjä syntyy ilmakehään huomattavia määriä, mutta ilman niitä tuotantoon syntyisi huomattava vaje. Teknologian kehittyessä ja ilmastonmuutoksen lisääntyessä huomiota on alettu kiinnittää yhä kasvavassa määrin uusiutuviin tuotantomuotoihin. Suomen osalta fossiilisista polttoaineista sekä turpeenkäytöstä johdettu energian tuotanto ja kulutus aiheuttivat hiilidioksidipäästöjä vuonna 2022 noin 33 miljoonaa tonnia. Vuoden 2022 yhteenlaskettu kasvihuonekaasujen kokonaispäästö määrä oli 45,8 miljoonaa hiilidioksiditonnia. Energian tuotanto sekä kulutus aiheutti siis jopa 72 % kaikista yhdistyneiden kansakuntien alaisen Kioton pöytäkirjan seuraamista päästöistä Suomessa. (Motiva 2023). Kyseinen vuonna 2005 voimaan astunut pöytäkirja on luotu täsmentämään YK:n ilmastosopimusta ja velvoittaa osallistuvia maita päästörajoituksiin ja -vähennyksiin. Päästöjen prosentuaalinen määrä Suomessa on siis erittäin korkea ja ohjaa maata vauhdilla kohti uusiutuvaa energiaa ja niiden tuotantomuotoja. Kehitystä on tapahtunut, mutta sitä tarvitaan huomattavia määriä lisää, että päästövähennystavoitteisiin ja hiilineutraalisuuteen lopulta päästään. Uusiutuvan energian teknologian tutkimiseen täytyy panostaa paljon ja sen rahoitusta kasvattaa reilusti. Näin varmistetaan Suomen omavaraisuus energiasta uusiutuvilla energianlähteillä ja irtaantuminen fossiilisista polttoaineista tulevaisuudessa.

#### 3.1.1 Vesivoima

Vesivoimalla tarkoitetaan vesimassojen liikkeestä aiheutuvan energian tuottamista turbiinin avulla. Energian tuotanto tapahtuu vesivoimalassa kahden eri vesitason välistä korkeuseroa hyödyntäen. Tämä korkeusero muodostaa virtauksen, joka pyörittää laitoksen turbiinia. Veden liike-energia muunnetaan turbiinin pyörittämässä generaattorissa puolestaan sähköksi (KUVA 6). Suurempi vesi-

määrä ja putoamiskorkeus vaikuttaa hyödynnettävän energian määrään. Vesivoimalassa ei tarvita muita polttoaineita veden lisäksi ja se on riippumatonta sään vaihtelusta ja hetkellisistä sääolosuhteista. Tämän takia vesivoimalla on hyvin tärkeä ja keskeinen rooli energiantuotannossa. Tällä hetkellä Suomen sähkön tuotannon osuus vesivoimasta on noin 20 % (Energiateollisuus n.d.).



KUVA 6. Vesivoimalan rakenne ja toimintaperiaate (Hydropower's nature n.d.)

Uusiutuvan sähköntuotannon näkökulmasta vesivoimalla on merkittävä rooli. Se on täysin puhdas ja päästötön energiamuoto ja näin ollen erittäin tärkeä osa Suomen energiakantaa ilmaston näkökulmasta. Vesivoimalaitosten investointiin liittyvät kustannukset ovat korkeita, mutta käyttökustannukset puolestaan erittäin alhaiset. Niillä on pitkä elinkaari, ne ovat turvallisia ja toimintavarmoja laitoksia, joiden tekniikka tunnetaan hyvin.

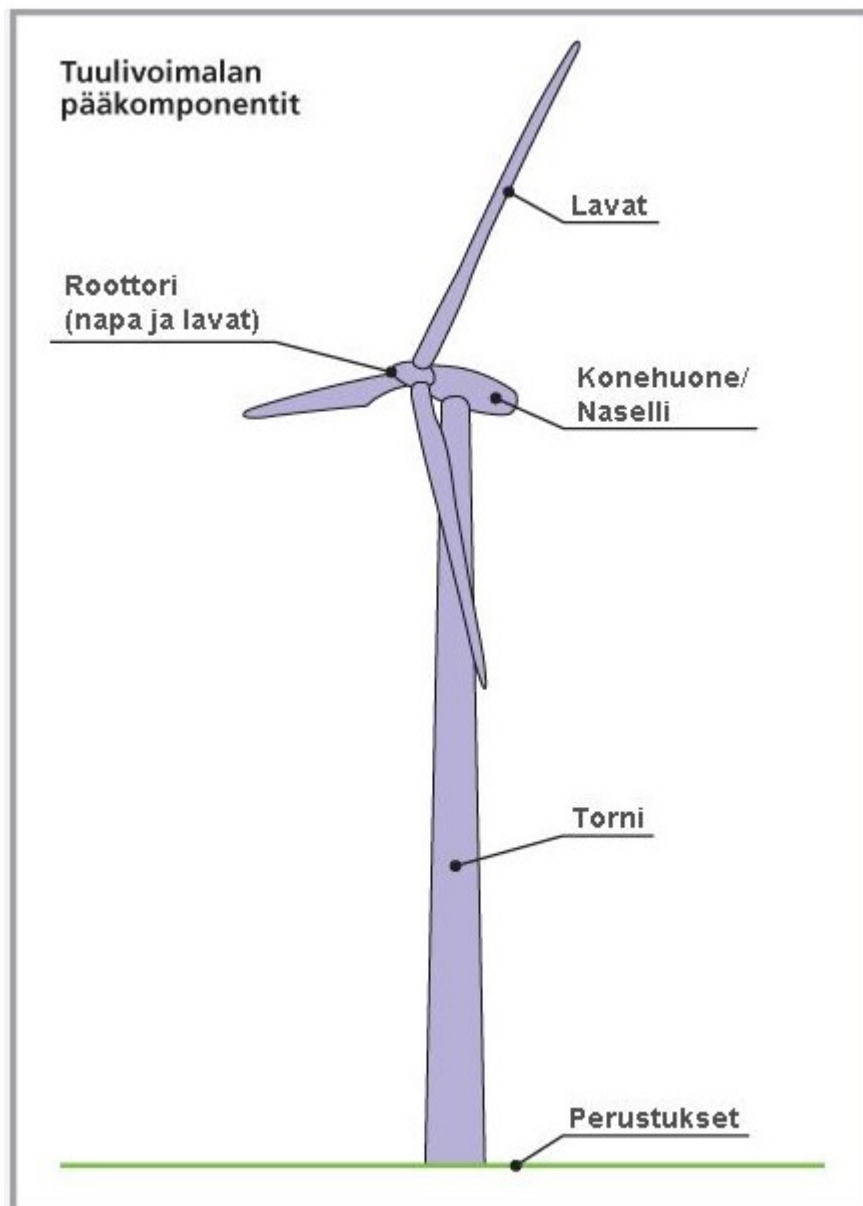
Vesivoimaan panostaminen ja sen kannan lisääminen kuulostaisi yleisesti erittäin järkevältä, mutta ei ole niin yksinkertaista kuin miltä kuulostaa. Voimalat hyödynnevät usein patoja ja suuria vesialtaita, jotka vaativat laajoja määriä maa-alaa. Uuden laitoksen tieltä saatetaan joutua raivaamaan todella suuri määrä maata, joka aiheuttaa omat ongelmansa eläinkunnalle ja myös ihmisille. Alueen ympäristön ja ekologian muutoksen lisäksi, suurta huolta on aiheuttanut vaikutukset

kalakantoihin ja niiden vaellusreitteihin kohti lisääntymisalueita. Isona haasteena on myös edellä mainitun uuden voimalan investointikustannukset sekä vanhan voimalaitoskannan päivittäminen, joka vaatii resursseiltaan suurilta osin uusinvestoinnin määrää vanhan teknologian vuoksi (Lähienergia n.d.).

Energiatehokkuutta sekä vanhojen laitosten tehoa lisäämällä, ja niitä kunnostamalla vesivoimaa voidaan lisätä jossakin määrin. Vedestä hyödynnettävä energia on kuitenkin elintärkeää käyttövarmuuden ja ilmaston kannalta, joten sen lisääminen ja ylläpitäminen on tärkeää. Vesivoimassa on vielä jonkin verran hyödynnettävää potentiaalia ja esimerkiksi aaltovoiman hyödyntäminen on suuren tutkimuksen alla tällä hetkellä. Teknologia sen parissa ei ole vielä tarpeeksi kehittynyt, jotta sen ennustettu korkea potentiaali saataisiin hyödynnettyä. Uusien innovaatioiden ja teknologioiden avulla vesivoimalla on siis mahdollisuus nousta vieläkin suurempaan rooliin tulevaisuuden energiantuotossa (Keravan energia n.d.).

### **3.1.2 Tuulivoima**

Tuulivoimalan tarkoitus on hyödyntää tuulen liike-energiaa muuttamalla se mekaaniseksi energiaksi voimalan akselissa. Voimalan lavat alkavat pyöriä ja ne taas pyörittävät akselia tuottaen pyörimisenergiaa. Vesivoiman tapaan prosessissa hyödynnetään generaattoria, jonka avulla sähköä tuotetaan. Nykyaikaisista kaupallisista tuulivoimaloista yleisimmin käytetty on vaaka-akselinen ja kolmelaipainen (KUVA 7). Se on taloudellisesti edullisin voimala ja sen pyyhkäisyypinta-ala voi olla suurimmillaan jopa 2 hehtaaria. Rakenteellisesti se on kevein ja luotettavin ja omaa erinomaisen hyötysuhteen (Suomen tuulivoimayhdistys n.d.).



KUVA 7. Tuulivoimalan pääkomponentit (Motiva 2023)

Suomessa on otettu viime vuosien aikana useita uusia tuulivoimaloita käyttöön. Kokonaisuudessaan tuulivoimalla katettiin Suomessa vuonna 2022 noin 17 % koko sähköntuotannosta. Tuulivoimaan on panostettu hurjasti ja prosentuaalisesti sen käyttö on kasvanut suuria määriä. Vuoden 2022 määrästä vuoteen 2023 tuulivoimalla tuotettiin jopa 41 % enemmän sähköä, johtuen pääosin juuri isosta määrästä uusia tuulivoimapuistoja (Tilastokeskus 2023). Vesivoiman ohella tuulivoimaloilla on tärkeä rooli hiilijalanjäljen kannalta. Se on täysin hiilineutraalia ja uusiutuvaa sekä suhteellisen edullista. Suurin osa tuulivoimalan kustannuksista koostuu suunnittelu- ja rakennusvaiheesta ja valmistumisen jälkeen enää ylläpidosta sekä huollosta. Tuulivoimateknologian nopean kehityksen vuoksi hinta on

saatu alaspäin ja sähkön tuotantoa lisättyä entisestään (Suomen Tuulivoimayhdistys n.d.).

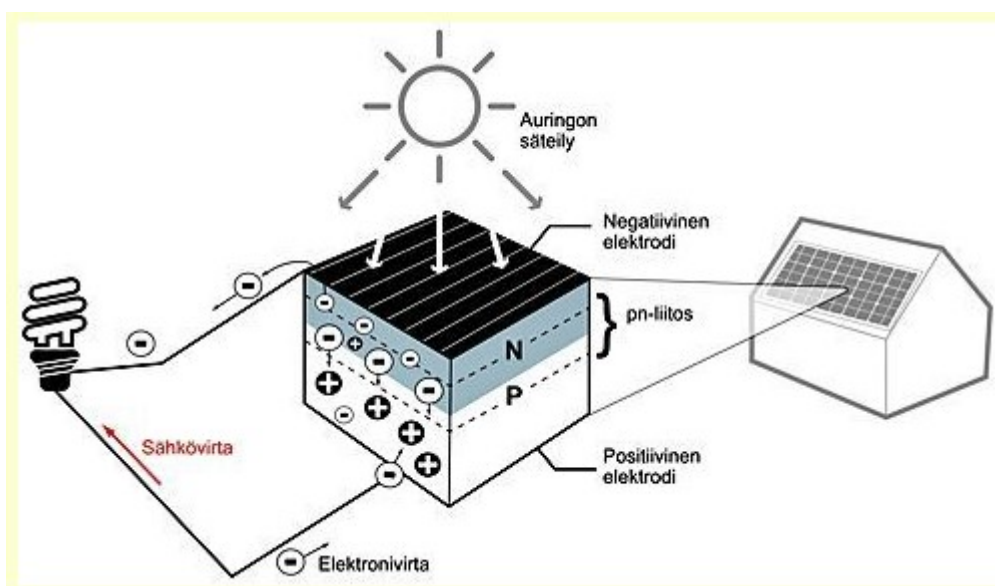
Tuulivoiman huonona puolena voidaan pitää riippuvuutta säästä. Voimala tarvitsee sähköä tuottaakseen luonnollisesti tuulta. Vähätuulisina aikoina tuulivoimalan tuottama energia voi olla hyvinkin minimaalista ja sitä usein käytetäänkin yhteistyössä vesivoiman kanssa. Tuulen ollessa pientä, on vesivoiman käyttö suurempaa ja päinvastoin. Tuulisina aikoina ja sopivien tuulennopeuksien avulla sähköä voidaan tällä menetelmällä taas saada suhteellisen paljonkin tuotettua. Tuulivoima vaatii kuitenkin 3,5–25 m/s tuulennopeuden sähköä tuottaakseen ja tämän alueen yli menevällä tuulella laitokset sammutetaan turbiinin rasituksen ja kulumisen estämiseksi. Säävaatimusten lisäksi huonona puolena tuulienergialle voidaan pitää voimaloiden ympäristövaikutukset, jotka liittyvät ympäristö-, ääni- ja näköhaittoihin. Voimalan sijoitukseen kiinnitetäänkin nykyään yhä enemmän huomiota, jotta negatiivisilta ympäristövaikutuksilta voidaan välttyä (Vattenfall n.d.).

Tuulienergialla on paljon potentiaalia ja siihen onkin panostettu paljon. Tuulivoiman avulla fossiilisten polttoaineiden käyttöä saadaan vähennettyä ja niillä tuotettua sähköä korvattua uusiutuvien keinoin. Sen edullisen ja yhä halpenevien kustannusten vuoksi uusia tuulivoimapuistoja rakennetaan kovaa vauhtia. Vallitsevan maailmantilanteen vuoksi Suomessakin on herätty tarpeeseen sähköntuotannon omavaraisuudesta, ja tuulivoiman potentiaalin hyödyntäminen on siihen yksi ratkaisuista. Tuulivoima on tällä hetkellä nopeimmin kasvava energiantuotantomuoto ja sillä on suuri rooli ilmastotavoitteiden saavuttamisessa.

### **3.1.3 Aurinkovoima**

Aurinkovoimalla tarkoitetaan auringon säteilyenergian muuttamista sähkövirraksi. Auringon säteilemän energian sisältämät fotonit imeytyvät aurinkopaneelien puolijohdemateriaaleihin, jotka irrottavat negatiivisen varauksen omaavat elektronit atomeistaan. Näin elektronit pääsevät virtaamaan vapaasti puolijohdemateriaalissa ja muodostamaan sähkövirtaa aurinkokennojen virtajohtimiin (KUVA 8). Aurinkoenergia on riippuvainen auringon säteilyn intensiteetistä eli va-

loisammalla ja aurinkoisemmalla kelillä energiaa saadaan huomattavasti enemmän kuin hämärämmällä. Suomessa aurinkoenergialla tuotetun sähkön määrä on vielä melko pientä ja se jää huomattavasti alle verrokkimaiden, esimerkiksi Tanskan ja Saksan, vaikka keskimäärin meillä on saman verran aurinkoa. Suomessa aurinkosähköjärjestelmien asennukselle on paljon vapaata tilaa, joten käyttämätöntä potentiaalia löytyy vihreän siirtymän edellytyksille (Vattenfall n.d.).



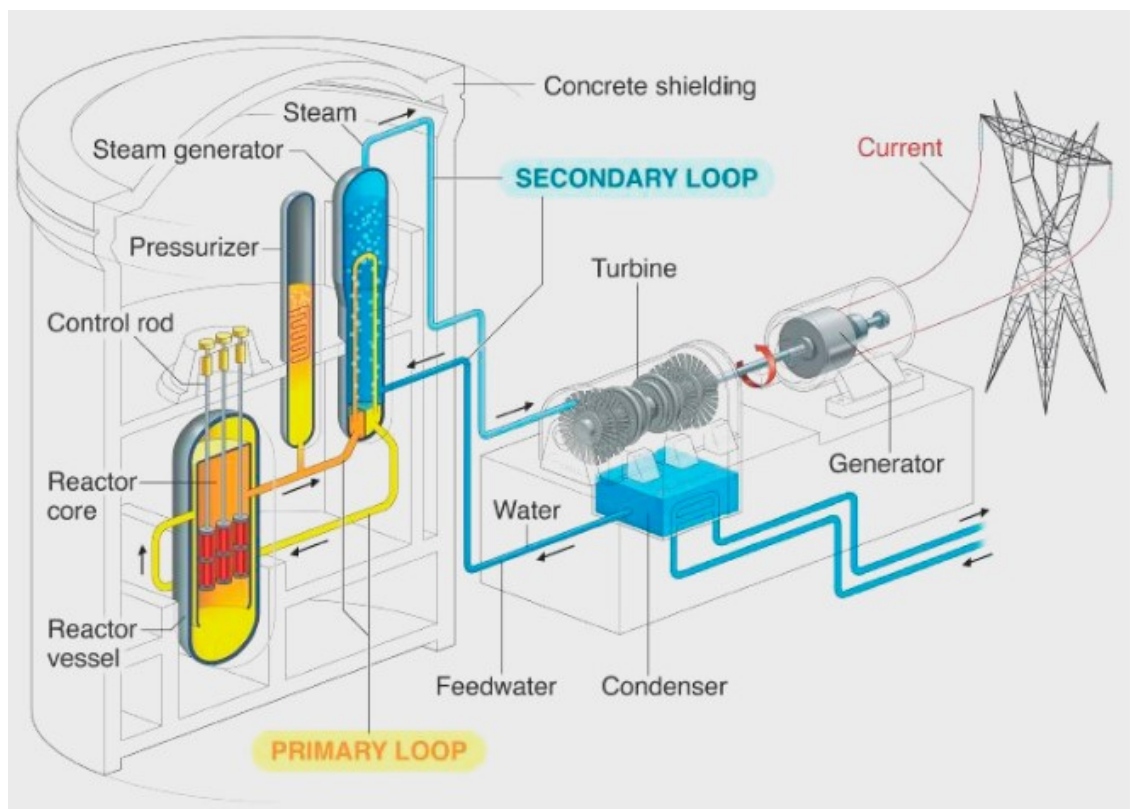
KUVA 8. Aurinkosähkökennojen toimintaperiaate (Motiva 2022)

Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti on ollut suuressa kasvussa viime vuosien aikana. Vuodesta 2016 vuoteen 2022 mennessä aurinkosähkökapasiteetti verkossa on kasvanut jo yli 20-kertaisesti. Tällä hetkellä aurinkosähkön osuus koko tuotannosta Suomessa on noin 0.6 %. Aurinkovoimateknologian huima kehitys ja sen lisääntyminen myös monissa yksityistalouksissa on johtanut osaltaan fossiilisten energianlähteiden pienenemiseen. Aurinkoenergian hyvänä puolena on sen rajattomuus. Aurinkoenergia ei voi loppua emmekä voi osallistua sen ylikulutukseen yhteiskunnassa. Vaikka sitä voidaan hyödyntää vaihtelevissa määrin riippuen sijainnista maapallolla, on sitä kuitenkin saatavilla kaikkialla maailmassa. Aurinkopaneeleilla on pitkä käyttöikä eivätkä ne edellytä aktiivista huoltoa pienentäen näin ylläpitokustannuksia (Vattenfall n.d.). Kuten tuulivoimateknologiassa, myös aurinkoteknologiassa sen hintaa ja sähköntuottokykyä on saatu huomasti optimoitua nopean kehityksen vuoksi.

Auringon avulla tuotettua sähköä ei ihmiskunnalla ole aiemmin ollut mahdollista ottaa talteen tarpeellisen teknologian puutteen vuoksi. Auringon eliniän on arvioitu olevan noin 5 miljardia vuotta ja maapallolle saapuu siitä yhtä paljon energiaa noin 15 sekunnissa kuin mitä koko yhteiskunta kuluttaa vuorokaudessa. Tästä yhtälöstä voidaan päätellä, kuinka paljon sen potentiaalista on vielä tällä teknologian harppauksen hetkelläkin hyödyntämättä. Teknologia ja sähkön varastointi on sen osalta kuitenkin vasta alkuvaiheissa, vaikka onkin kehittynyt huimasti viimeisten vuosien aikana. Tutkijoiden mukaan vuoden 2050 jälkeen on mahdollista, että aurinkoenergia voi olla jo pääasiallinen energiantuotantomuoto. Laskujen mukaan Suomessa asuinrakennusten, julkisten rakennusten ja teollisuuskiinteistöjen yhteenlaskettu kattojen pinta-ala ja niille asennetut aurinkopaneelit voisivat nostaa aurinkosähkötehon nykyisestä 635 megawatista jopa 34 000 megawattiin. Potentiaalia ja mahdollisuuksia aurinkosähköllä on siis paljon ja sitä meidän tulee hyödyntää tulevaisuudessa (LUT University 2023).

#### **3.1.4 Ydinvoima**

Ydinvoimaa tuotetaan halkaisemalla atomiytimiä, joka synnyttää ketjureaktion. Tämä ketjureaktio tuottaa paljon lämpöä, jolla lämmitetään useimmiten vettä. Lämmin vesi synnyttää vesihöyryä, joka puolestaan pyörittää laitoksen turbiinia. Lämpöenergia siis muutetaan mekaaniseksi liike-energiaksi ja edelleen generaattoreilla sähköenergiaksi (KUVA 9). Ydinvoima luokitellaan päästöttömäksi energiamuodoksi, mutta ei kuitenkaan uusiutuvaksi. Tämä johtuu voimalaitoksissa käytettävästä uraanista, joka on uusiutumaton luonnonvara. Tunnetut uraanivarannot riittävät tutkimusten mukaan vielä noin 85 vuodeksi, mutta maankuorella on mahdollisesti vielä moninkertainen määrä hyödyntämätöntä uraania. Ydinvoima on erittäin toimintavarmaa ja sen avulla tuotetaan suuri määrä sähköä maailmalla.



KUVA 9. Ydinvoimalan toimintaperiaate (Emirates Nuclear Energy Corporation n.d.)

Ydinvoimaa pidetään merkittävänä sähköntuotantomuotona ilmastonmuutosta vastaan. Se ei tuota tuotantoprosessissa kasvihuonekaasupäästöjä ja on hyvin tehokas keino tuottaa sähköä. Suomessa sijaitsee kaksi ydinvoimalaa, toinen Loviisassa ja toinen Olkiluodossa. Ydinvoiman yhteenlaskettu osuus Suomen sähköntuotannosta on ollut vuonna 2021 noin 33 prosenttia (Työ- ja elinkeinoministeriö). Kyseessä on siis merkittävä osuus sähköntuotannostamme ja se lisää sähkön toimitusvarmuutta huomattavasti.

Ydinvoima aiheuttaa myös jonkin verran vastustusta, vaikkakin laskevassa määrin. Usein vastustajina on toimineet erilaiset ympäristöjärjestykset, mutta ilmastonmuutoksen kiihtyessä on ydinvoima nähty yhtenä tärkeistä ratkaisuista ja pienentänyt näin ollen vastakkainasettelua. Ydinreaktiossa tarvittava luonnonuraani on jossakin määrin radioaktiivista ja myrkyllistä. Sen rikastuttaminen aiheuttaa jonkin verran saasteita jo kaivosalueella. Ydinvoimalat ovat hyvin toimintavarmoja, mutta onnettomuuden sattuessa niistä voi aiheutua erittäin pahaa jälkeä ympäristölle ja lähialueesta voi tulla elinkelvoton vuosikymmeniksi, jopa vuosi-



sadoiksi. Esimerkkinä voidaan ottaa Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuus Ukrainassa Vuonna 1986, jonka vaikutukset näkyvät alueella vieläkin vahvasti. Ydinvoimalan tuottama radioaktiivinen ydinjäte on myös suuri ongelma, joka pitää eristää ympäristöstä jopa 100 000 vuoden ajaksi (Vattenfall n.d.). Ydinvoima on kuitenkin toimintavarma ja tärkeä keino tuottaa sähköä yhteiskunnallemme ja sitä tarvitaan siirtyessämme kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa.

### **3.1.5 Bioenergia**

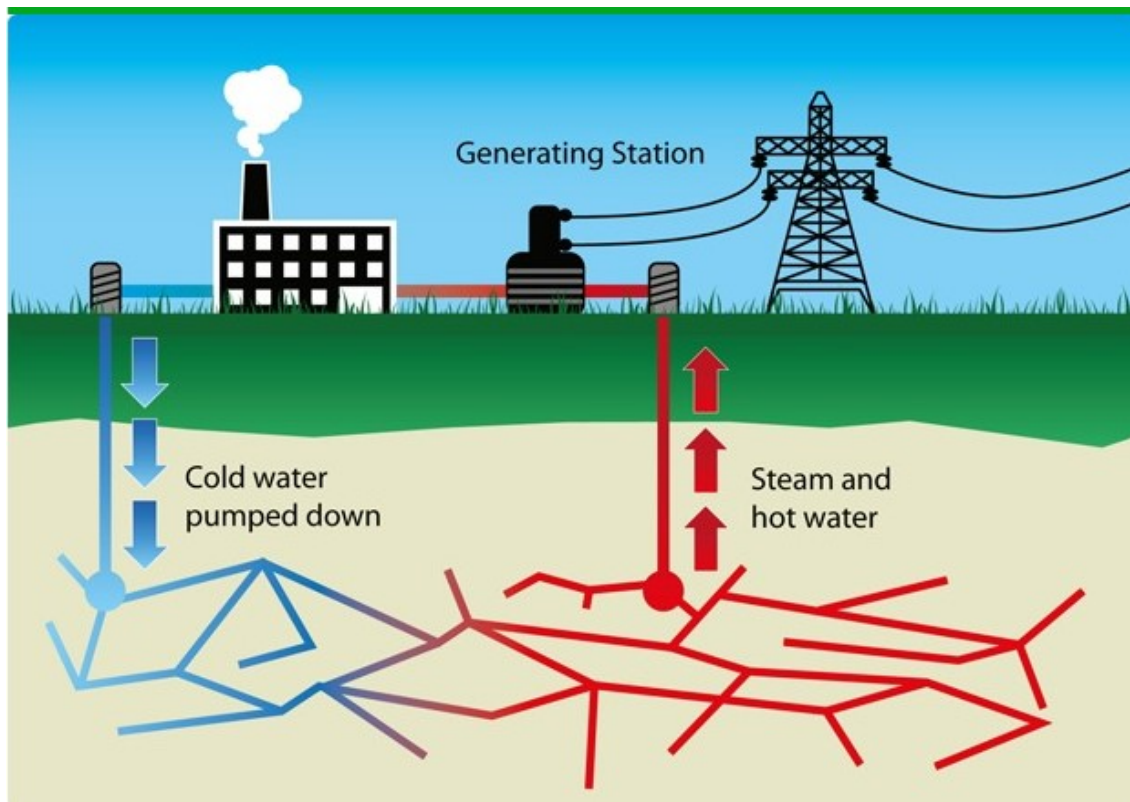
Bioenergialla tarkoitetaan erilaisista biomassoista polttamalla ja kaasuttamalla saatavaa energiaa. Niihin lukeutuu puuperäiset polttoaineet, peltobiomassat, kierrätys- ja jätepolttoaineiden biohajoava osa sekä biokaasu. Bioenergia luokitellaan hiilineutraaliksi siitä syystä, että sen polttamisprosessissa vapauttama hiili sitoutuu takaisin kasvavaan biomassaan pitkällä aikavälillä. Bioenergian avulla tuotetaan enemmistö Suomessa tuotettavasta energiasta ja sen osuus on 77 prosenttia koko uusiutuvasta energiakannasta sekä 30 % koko maan energiankulutuksesta (Bioenergia n.d.).

Biomassalla tuotetusta energiasta erityisesti puulla on suuri rooli. Puupohjaiset polttoaineet onkin asetettu yhdeksi lisäystavoitteeksi Suomen energia- ja ilmastotavoitteissa. Puuenergialla nähdään olevan hyvät kasvunäkymät ja se onkin lisääntynyt voimalaitoksissa huomattavasti. Uusia biovoimalaitoksia rakennetaan ympäri maailmaa ja hiilellä sekä öljyllä toimivia voimakattiloita korvataan kovaa vauhtia biokattiloilla. Yhtenä suurena mahdollisuutena bioenergiasektorilla nähdään myös biokaasu, jolla on suuri potentiaali tulevaisuudessa eritoten liikenne-polttoaineiden osalta.

### **3.1.6 Geoterminen energia**

Geotermisellä energialla tarkoitetaan maan sisällä olevan radioaktiivisten hajoamisten tuottamaa lämpöä. Sitä voidaan hyödyntää suoraan kuumista lähteistä tai maahan porattujen syvien kaivojen kautta. Näiden kaivojen avulla maahan voidaan itse pumpata kylmää vettä, joka maan lämpöä hyödyksi käyttäen palautuu takaisin lämpimänä (KUVA 10). Lämmön avulla saadaan tuotettua vesihöyryä, joka voidaan voimalan turbiinin avulla muuntaa sähköenergiaksi

(Peda.net. n.d.). Maankuori sisältää valtavan määrän energiaa, jota on teknologian kehityksen myötä pystytty hyödyntämään yhä laajemmin maailmassa.



KUVA 10. Geotermisen energian tuotantoperiaate (Peda.net n.d.)

Geotermisen energian haasteina on sijainnin vaikutus maapallolla. Esimerkiksi Islannissa geotermisen energian avulla saadaan lämmitettyä lähes jokainen talous, johtuen suuresta määrästä kuumia lähteitä. Suomessa erilaisen kallioperän vuoksi geotermisen energian hyödyntäminen vaatii todella paljon syvempiä porauksia kuten vaikkapa juuri Islannissa. Islannissa poraukset vaativat vain 1–2 kilometriä, kun taas Suomessa joudutaan poraamaan 6–10 kilometriin. Tämä aiheuttaa huomattavasti enemmän haasteita, mutta geotermisen energian mahdollisuuksiin uskotaan Suomessakin.

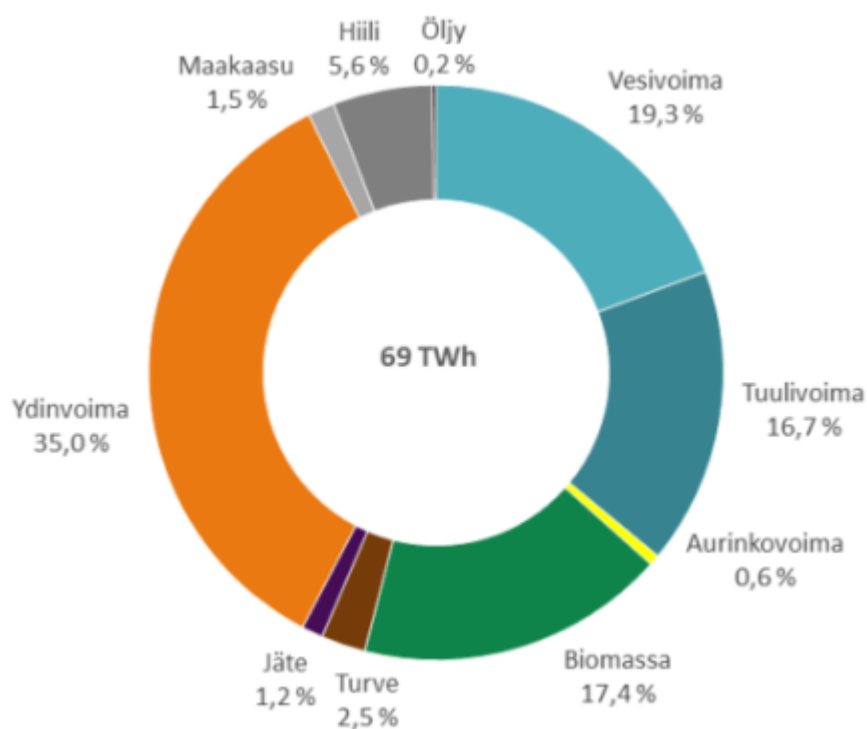
Geotermisellä energialla on suuri potentiaali sen tasaisen ja loputtaman lämpöenergian vuoksi. Maan ydin tuottaa lämpöä jatkuvasti, joka tarkoittaa siis ehtymätöntä energiaa ja sähkön lähdettä. Suomessa tälle olisi suuri tarve varsinkin kylmän ilmaston vuoksi. Geotermisen energian tuotanto on lisäksi päästötöntä ja se lukeutuu uusiutuviin energianlähteisiin. Suomessa tämä tuotantomuoto on

vielä haasteellinen ja uusi, mutta haasteiden selättämisen jälkeen geotermisellä energialla on suuri mahdollisuus lisääntyä tulevaisuudessa paljon.

### 3.2 Uusiutuva energia

Uusiutuvalla energialla tarkoitetaan pääasiassa tuuli-, vesi-, aurinko-, bio- ja geotermistä energiaa. Niiden käyttö ei kuluta maapallon resursseja niiden nopean uusiutumiskyvyn tai rajattoman saatavuuden ansiosta. Yleisesti ottaen käsitteellä määritellään siis muut, kuin fossiilisista lähteistä peräisin olevat energianlähteet. Sen edistämisen keskeinen tavoite onkin irrottautua fossiilisista polttoaineista ja edistää kasvihuonekaasupäästöjen vähentyminen ilmakehässä.

Uusiutuvalla energialla katetaan Suomessa tällä hetkellä energian loppukulutuksesta noin 40 prosenttia. Vuoteen 2030 mennessä tavoite on nostaa tämä määrä yli 50 prosenttiin kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaisesti (Työ- ja Elinkeinoministeriö n.d.). Sähköntuotannon osuudesta uusiutuvilla energialähteillä katetaan vieläkin enemmän, noin 54 prosenttia. Kuvasta 11 voimme havaita, että vesi- ja tuulivoiman sekä biomassan ohella aurinkovoimalla tuotetaan sähköä vielä erittäin vähän. Tämän osuuden kasvu ja potentiaalinen tehokas hyödyntäminen nostaisi uusiutuvien energianlähteiden osuutta entisestään, joka taas vastaavasti vähentäisi fossiilisten polttoaineiden ja ydinenergian tarvetta. Vuoden 2035 hiilineutraalisuustavoitteen myötä uusiutuvilla energianlähteillä on tärkeä rooli. Päästötöntä sähköä Suomessa on jo 90 prosenttia, mutta sitä ei pidä sekoittaa uusiutuvan energian kanssa. Tämä ero johtuu suurilta osin ydinenergian suuresta osuudesta tuotantoa, joka ei tuota päästöjä, mutta ei kuitenkaan ole uusiutuvaa siinä käytettävän uraanin vuoksi. Päästöttömyystavoite on siis mahdollista saavuttaa jo lähitulevaisuudessa tavoitteiden mukaisesti, mutta suurempia prosenttiosuuksia siitä tarvitaan uusiutuvien energianlähteiden osalta.



KUVA 11. Suomen sähköntuotanto energialähteittäin 2022 (Energiateollisuus 2022)

Uusiutuvan energian kehityksessä on omat haasteensa. Poliitikkojen, viranomaisten ja ympäristöjärjestöjen keskuudessa vallitsee usein käsitys, että koko energiajärjestelmä ja -talous on mahdollista uusaa täysin hyvin lyhyessäkin ajassa. Vetoaminen tapahtuu usein aikaisempaan teknologian nopeaan kehitykseen ja oletus onkin, että sama kasvutahti saavutetaan tietenkin myös tästä eteenpäin. Näinhän asia ei tietenkään ole, vaan kehitystä hidastavat väistämättä eri yhteiskunnalliset, luonnontieteelliset sekä myös fyysiset rajat. Jokainen uusi innovaatio ja energiateknikka joutuu käymään läpi pitkän prosessin, ennen kuin niiden on mahdollista edes yrittää ottaa asemaa vanhoilta tuotantotavoilta. Perustutkimusvaiheen sekä teoreettisen pohjan hallinta ei välttämättä riitä, vaan uusien teknologioiden kanssa vastaan tulee melkein väistämättä ongelmia. Uuden tekniikan käytännön soveltaminen johtaa vääjäämättä alussa ennalta arvaamattomiin haasteisiin. Esimerkiksi uuden koelaitoksen rakentaminen kestää muutaman vuoden, sen käynnistysvaihe vähintään vuoden ja teknisten ongelmien ja edes tyydyttävästi käyntiin saaminen jälleen muutamia vuosia. Nämä ynnämällä huomataan, että kuluu vuosia, jopa vuosikymmen ennen kuin saadaan kunnolla toimintaan ensimmäinen täysin toimiva laitos. Tämän päälle voidaan lisätä vuosia paljon lisää, että kaupallisia tuotantolaitoksia on käynnissä useita,

vielä kun huomioon otetaan tarvittavat resurssit ja infrastruktuuri (Keskitalo 2011, 176–177).

Jo olemassa olevat tekniikat voivat myös ottaa aikansa muutoksen osalta. Kasvu saattaa tapahtua eksponentiaalisesti, mutta taittua huomattavan nopeasti. Hyvänä esimerkkinä tästä on tuulienergian kehitys, jolloin tuuliturbiinit tuottivat vielä 1980-luvulla tehoa vain kilowateissa, kun taas nykyisin ylletään megawatteihin parantuneen turbiinitekniikan ja isompien voimaloiden ansiosta. Kasvua tapahtui muutamassa kymmenessä vuodessa siis monisatakertaisesti, mutta nykyään sitä on vaikea suurentaa moninkertaisesti teknisten innovaatioiden avulla. Tärkein keino onkin siis ahtaa vapaita alueita täyteen tuulivoimaloita, joka tuo taas omat lisähaasteensa mukanaan. Muutokset vaativat myös paljon rahaa, mutta aikaa tarvitaan silti vaikka sitä olisikin vapaana rajattomasti. Vanhat laitokset vaativat saneerauksia ja niitä täytyy myös välillä korvata uusilla. Resursseja menee siis jo tähän itsessään ja se kuluttaa myös osaltaan energiantuotantoa. Yksi suurimmista haasteista uusiutuvan energian osalta on, että ne ovat hajallaan ja vaativat laajoja keräysjärjestelmiä, jotka taas vievät tilaa ekosysteemeiltä ja joiden rakennuksessa tarvitaan runsaasti uusiutumattomia luonnonvaroja. Nämä ongelmat tulevat vaatimaan suurta huomiota ja osoittavat, että uusiutuvan energian lisääminen tuntuvasti ei ole vain tahdosta kiinni, vaan myös ajasta ja teknologian rajoista (Keskitalo 2011, 177–178).

### **3.3 Energiatehokkuus**

Energiatehokkuuden käsite voi vaihdella eri käyttöyhteyden ja tarkasteltavan näkökulman mukaan, mutta yleisesti ottaen sillä tarkoitetaan energian tuotannon ja käytön mahdollisimman optimaalista hyödyntämistä. Tavoitteena on yksinkertaisesti uuden teknologian tai käyttötottumuksen avulla saavutettava energiankulutuksen vähentäminen. Tämä johtaa saman tehtävän tai toimenpiteen suorittamiseen vähemmällä ja optimoidummalla energiankulutuksella. Energiasektori tuottaa enemmistön kasvihuonekaasupäästöjä, joten sillä on suuri vaikutus myös hiilidioksidin määrään ilmastossa. Tämän vuoksi energiatehokkuutta on tärkeä käsitellä ja optimoida hiilineutraalia tulevaisuutta mietittäessä.

Energiatehokkuutta pidetään yhtenä helpoimpana keinona vaikuttaa ilmastonmuutokseen, energian hintaan ja yritysten kilpailukykyyn. Se on tärkeä osa myös aiemmin mainittua hiilineutraalisuustavoitetta. Kotitalouksien sähkönkäyttö ja lämmittäminen vievät paljon energiaa, puhumattakaan teollisuuden yrityksistä. Vanhat laitteet sekä huono lämmöneristys voivat aiheuttaa paljon hukkaan menevää energiaa, joka lisää sen kulutusta huomattavasti. Usein ajatellaan, että näiden asioiden korjaus vie paljon rahaa, joka johtaa investointien siirtämisen pidemmälle tulevaisuuteen. On kuitenkin huomioitavaa, että isolla todennäköisyydellä investointi tulee maksamaan itsensä takaisin jo varsin nopealla aikataululla. Sähkön kulutuksen ja lämmityksen väheneminen voivat tuoda suuriakin säästöjä, ottaen huomioon nykyisen hintatason. Kulutuksen vähenemisen ja siitä seuraavien rahallisten säästöjen vuoksi yritys voi pienentää energiankulutustaan ja investoida energiatehokkaampiin laitteisiin. Hiilijalanjäljen pienenemisen ansiosta kilpailukyky voi parantaa yrityksen arvoa markkinoilla. Energiansäästö luo myös tilaa uusiutuvien ja päästöttömien energiamuotojen kasvulle ja niiden osuuden nostamiselle tuotantomuotojen keskuudessa. Pienikin vähennys kulutuksessa on etu päästöttömille energiamuodoille ja askel lähemmäs hiilineutraalimpaa ilmastoa.

Energiatehokkuuden arvioimiseksi ja kartoittamiseksi yritysten ja yhteisöjen olisi hyvä pysähtyä ja kartoittaa oma tämänhetkinen tilanne joko omatoimisesti tai ulkopuolisen toimijan toimesta. Kartoituksessa voi paljastua suhteellisen helposti parannettavia asioita, mutta sitä ei tule välttämättä ajatelleeksi ennen kuin pysähtyy hetkeksi miettimään omaa energiankulutustaan. Kartoituksen jälkeen saadaan hyvä kuva nykytilanteesta ja paikallistettua tehostamiskohteita, jolloin mahdollisia kustannuksia voidaan alkaa jo laskea. Kaikkein optimaalisimmassa tilanteessa energiatehokkuuteen vaikuttavia asioita voi löytyä ilman tarvetta investointeihin. Energiatehokkuutta käsiteltäessä saattaa mieleen tulla ensisijaisesti vain rahallinen ajatus, mutta on syytä huomioida, että sillä on vaikutusta myös moneen kansallista hyvinvointia lisäävään osa-alueeseen (KUVA 12). Mitä vanhemmasta teknologiasta ja esimerkiksi kiinteistöistä puhuttaessa, sitä enemmän mahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamiseen luultavasti löytyy.



KUVA 12. Energiätehokkuuden parantamisen vaikutukset (FinnEnergy n.d.)

## 4 3D-TULOSTUS

### 4.1 Lisäävä valmistus

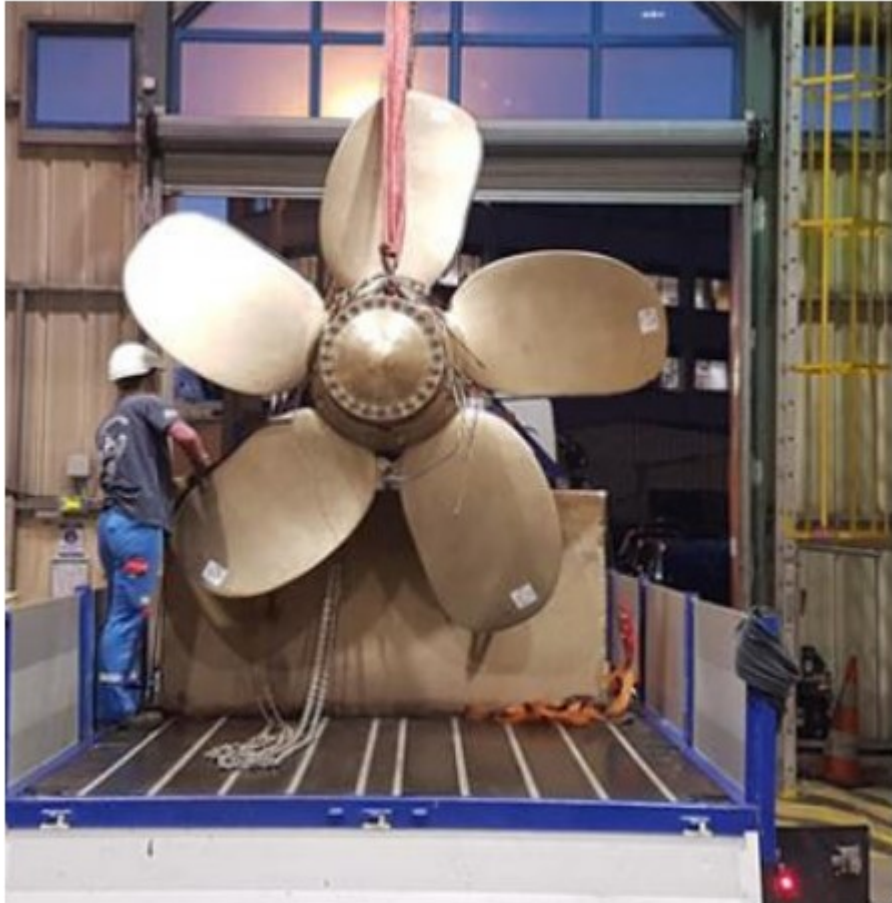
Lisäävä valmistus, eli puhekielessä tutummin 3D-tulostus, tarkoittaa nimensä mukaisesti tulostusprosessia, jossa haluttu kappale valmistetaan lisäämällä haluttua materiaalia kerros kerrokselta. Kappaletta varten valmistetaan tietokoneella digitaalinen malli, joka tulostetaan tulostinlaitteella. 3D-tulostuksen on povattu mullistavan maailmaa ja sitä se onkin jo osaltaan tehnyt. Tulostimia näkee yhä useammassa paikassa ja niitä on mahdollista hankkia suhteellisen halvalla myös kotikäyttöön. Tulostaminen on mahdollista nykyään myös monessa julkisessa tilassa, esimerkiksi kirjastossa, joka mahdollistaa omien innovaatioiden tulostamisen myös ilman tulostimeen investointia.

Lisäävä valmistus on päinvastainen valmistusmenetelmä verrattuna ainetta poistavaan valmistukseen. Esimerkiksi jyrsinnässä tai sorvauksessa ainetta on tarkoituksena poistaa valmiin kappaleen aikaansaamiseksi. Ainetta lisäävä valmistus luo paljon mahdollisuuksia useiden materiaalivalintojen, sekä erittäin monimutkaisten muotojen osalta vähemmän materiaalia käyttäen. Monessa tapauksessa perinteisillä valmistusmenetelmillä nämä muodot eivät ole mahdollisia tehdä. 3D-tulostimissa käytettävät materiaalit ovat ottaneet ison harppauksen viimeisen vuosikymmenen aikana. Nykyiset materiaalit ovat samantasoisia tai jopa parempia kuin esimerkiksi ruiskuvalumateriaalit. Tämä mahdollistaa 3D-tulostettujen osien hyödyntämisen useissa eri käyttötarkoituksissa, kuten esimerkiksi varaosissa ja loppukäyttöön tarkoitettujen osien käytössä. Materiaalin ja tulostusprosessin yhä kehittyessä näemmekin 3D-tulostuksen hyödyntämistä yhä enenevässä määrin tulevaisuudessa, erityisesti teollisuudessa.

3D-tulostimia löytyy nykyään markkinoilta suuri määrä ja niiden ominaisuudet eroavat toisistaan käyttötarkoituksen mukaisesti. Saatavilla on sekä pieniin, että myös hyvin suuriin konsepteihin tarkoitettuja laitteita. Pienten varaosien lisäksi tarvetta on myös isommille kappaleille ja niiden mahdollisuuksia tutkitaankin paljon. Vuonna 2021 ranskalainen sotalaivoja valmistava Naval group valmisti ai-



netta lisäävällä teknologialla siihen mennessä suurimman metallitulostetun potkurin, jonka halkaisija on 2.5 metriä ja paino jopa 200 kilogrammaa (KUVA 13). Potkuri kävi läpi ankarat testausmenetelmät ja selvisi niistä hyväksyttävästi. Tämä kertoo osaltaan, miten paljon käyttömahdollisuuksia tulostus tarjoaa jo nyt, mutta erityisesti tulevaisuudessa.



KUVA 13. Ainetta lisäävällä menetelmällä valmistettu potkuri (Navigatormagazine 2021)

Tulostusprosessien yleistyessä ja kappaleiden suurentuessa, on kuitenkin syytä ottaa huomioon tulostimien valmistus ja materiaalit. Tulostimien valmistuksessa kuluu paljon luonnonvaroja ja ne vievät paljon energiaa myös tulostusvaiheessa. Materiaalin valinnalla on paljon merkitystä hiilijalanjälkeen ja useimmiten niissä käytetäänkin muovia. Materiaalin kierrätys nousee erityisen tärkeään asemaan, mutta varsinkin yksityiselle kuluttajalle tämä asia voi tuottaa hankaluuksia. Onkin siis tärkeää rahallisen hyödyn ja tulostuksen hauskuuden lisäksi tutkia tulostimen hankinnan järkevyyttä myös luonnon näkökulmasta. Mikäli tulostinta ei oikeasti

tarvitse mihinkään ja suuren energiankulutuksen lisäksi pilalle menneet sekä tarpeettomat kappaleet lentävät suoraan roskakoriin, on ehkä tarpeellista pysähtyä hetkeksi ja harkita asiaa uudelleen. Suuret mahdollisuudet tuovat mukanaan aina sivuvaikutuksia, joita on hyvä pohtia varsinkin näinä hetkinä, kun hiilineutraalisuus on suurena puheenaiheena maailmalla.

## 4.2 Mahdollisuudet

Lisäävä valmistus nostanut suosiotaan erityisesti yritysmaailman keskuudessa. Se luo paljon erilaisia mahdollisuuksia räätälöidä yksilöllisiä kappaleita omaan tarpeeseen ja tuottaa myös todella monimutkaisia kokonaisuuksia. Valmistuksen hinta voi olla myös huomattavasti halvempi, kuin muilla menetelmillä. Tässä kappaleessa on tarkoitus käydä läpi 3D-tulostuksen hyötyjä ja mahdollisuuksia ja miettiä asiaa myös hieman ilmaston näkökulmasta.

Yhtenä suurimpana hyötynä 3D-tulostuksessa nähdään sen kyky tulostaa erittäin monimutkaisiakin kappaleita, jotka eivät olisi mahdollisia perinteisillä työstömenetelmillä. Haastavien muotojen lisäksi se kykenee jättämään materiaalin sisään tyhjää ja onttoa tilaa, jonka avulla säästetään kustannuksista sekä vähennetään energiankulutusta. Tämä säästää materiaalia ja vähentää sen turhaa käyttöä unohtamatta pienempiä läpimenoaikoja verrattuna umpimateriaalikappaleisiin. Valmistusajassa voidaan näin saada säästöä, joka vähentää turhaa energiankulutusta. Tulostusprosessi mahdollistaa täysin yksilöllisten kappaleiden valmistamisen omaan tarpeeseen. Esimerkiksi koneesta rikki mennyt varaosa on helppo suunnitella ja valmistaa itse sen sijaan, että osan joutuisi tilaamaan valmistajalta erikseen ja odottaa sen saapumista viikkoja tai jopa kuukausia. 3D-tulostus on tehokas keino myös tuotekehityksen osalta, kun prototyyppijä voi tulostaa mielen mukaan ja muokata omia ideoita sekä rakenteita helposti. Osan omatoiminen suunnittelu tietokoneella vaatii tietysti osaamista, mutta internet on nykyään täynnä erilaisia valmiita malleja, joita kannattaa hyödyntää mahdollisuuksien mukaan. Tämä saattaa säästää turhalta vaivalta ja ajankäytöltä, jos tarvittavan olion kappale löytyykin valmiiksi ladattavana verkosta. Tulostus tarjoaa paljon mahdollisuuksia pienten erien valmistamiseen ja ehkäisee myös tarvetta tilata tuotteita varastoon odottamaan, mikäli sitä joskus tarvitsisi. Teollisuusyrityksillä

voi olla jopa miljoonia euroja kiinni varaosavarastossa ja koko varastosaldon hallinta on usein joiltain osin puutteellista. 3D-tulostuksen avulla varastosta voidaan tehdä digitaalinen, jolloin varastosaldon ja tilanhallinnallisista ongelmista päästään osin eroon. Mahdollisuus tehdä kappale tarpeen vaatiessa ja pienissä erissä ilman tarvetta varastoinnille tuottaa suuren hyödyn myös ilmaston näkökulmasta. Miksi tehdä osia turhaan, kun niitä voi nyt ja tulevaisuudessa tehdä vain tarpeen vaatiessa.

3D-tulostuksen yleistyessä ja teknologian kehittyessä on sitä alettu hyödyntämään yhä useammalla alalla. Tulostusta hyödynnetään jo esimerkiksi lääketieteessä, avaruusteknologiassa sekä elintarviketeollisuudessa, jossa on keksitty hyödyllisiä käyttökohteita tulostuksille. Tulostimilla tuotetaan nykyään esimerkiksi proteeseja, jotka voivat olla hyvinkin kestäviä optimaalisen rakenteen ja keveyden vuoksi. Positiivisia tuloksia maailmalta on saatu esimerkiksi Sveitsistä, jossa tutkijat ovat tulostaneet uudentyyppistä kierrätysmuovista valmistettua betonia, jonka sanotaan olevan jopa kestävämpää ja paljon vähemmän ilmastoa saastuttavampaa kuin perinteisellä tavalla valmistettu betoni. Kiinassa 3D-tulostimella on saatu aikaiseksi jopa kokonaisia taloja (TheCable 2022). Kyseisten aikaansaannosten perusteella voidaan sanoa, että 3D-tulostus tulee ottamaan ison roolin tulevaisuudessa sen laajan käyttömahdollisuuden takia. Energiansäästön ja ilmastoystävällisemmän materiaalin rooli vain korostuu ajan kuluessa, kun teknologia tulostuksen ympärillä kehittyy.

### **4.3 Haasteet**

3D-tulostusteknologia on vielä suhteellisen vaiheessa, vaikka hyviä tuloksia ja parannusta onkin viime vuosina tullut paljon. Haasteita on siis selätettävänä ja yritysten tuleekin miettiä kuinka niistä päästään yli. Kustannukset, materiaaliongelmat ja työvoiman osaamattomuus ovat hyviä esimerkkejä yritysten huolenaiheista 3D-tulostuksen suhteen. Jatkuvan teknologisen kehityksen myötä on odotettavissa, että tulostuksen haasteet tulevat muuttumaan ja muotoutumaan uudelleen ajan kuluessa ja uusien innovaatioiden tulee ratkaista näitä haasteita.

Yhtenä haasteena 3D-tulostuksessa on sen ennustettavuus ja toistotarkkuus. Tällä valmistustekniikalla tehdyt kappaleet joutuvat usein käydä läpi jälkikäsitteilyn, joka altistaa inhimillisille virheille ja on riskinä kappaleen tarkoille toleranssi-vaatimuksille. Tämä korostuu entisestään yrityksissä, jotka vaativat erityistä tarkkuutta kappaleilta. Näitä voivat olla esimerkiksi lentokone- ja avaruustekniikka sekä liikenneteollisuus. Yritysten pitää siis suurella todennäköisyydellä tulostustekniikan ohella investoida laaduntarkistukseen, josta aiheutuu lisää kuluja (Sybridge 2022).

3D-tulostuksen osalta osaava työvoima nähdään myös hienoisena ongelmana. Tähän on osasyynä vielä todella pieni koulutusmäärä ja esimerkiksi opiskeluvaihtoehdot verrattuna tavallisiin valmistusmenetelmiin. Nykyään voi löytää paljon opetusvideoita tai tulostukseen tutustuttavia kursseja, mutta varsinaista aiheeseen opiskeltavaa ja työelämään valmistavaa kokonaista opintopolkua on vaikeampi löytää. Ammattilaiseksi opiskeleminen on siis pitkälti omalla vastuulla ja työelämän kautta saatavan kokemuksen varassa. Tämäkin voi olla hieman haastavaa, sillä 3D-tulostukseen liittyviä työtehtäviä ei aivan päätä huimaavaa määrää ole tarjolla. Yrityksille ei siis välttämättä ole tarjolla kovin osaavaa työvoimaa liittyen tulostukseen, joka heikentää tietotaitoa teknologiaan ja prosesseihin. Vaikutukset näkyvät varsinkin yrityksessä, jotka haluaisivat hyödyntää tulostusta mutta eivät pääasiallisesti fokusoidu kyseiseen menetelmään. Nämä yritykset eivät siis välttämättä kykene hyödyntämään tulostusta tarpeellisesti ja lisäarvoa tuovasti. Tämä vähentää uskallusta käyttää 3D-tulostusta yrityksessä ja helpommaksi nähdään välttää sitä kokonaan (Sybridge 2022). Näin päästään kierroksen alkuun uudelleen: Osaavaa työvoimaa ei ole valmiina ja sitä ei synny työpaikaltaan.

Kasvavan osuuden ja lisääntyvän teknologian takia suurena huolenaiheena pidetään työpaikkojen vähenemistä. Ihmisten korvaamista koneilla pelätään varsinkin perinteisten valmistustekniikoiden aloilla. 3D-tulostustekniikan automatisoidut valmistusprosessit voivat olla osaltaan vähentämässä työpaikkoja ja ainakin muuttamassa työkenttää. Suurella todennäköisyydellä varsinkin tuotteita massatuottavat maat tulevat vähentämään työpaikkoja tulostuksen takia huomattavasti (Barnatt 2016, 24). Työpaikkojen vähenemisen lisäksi ongelmana 3D-tu-

lostuksessa on toistaiseksi standardisoinnin ja suunnitteluohjeistuksen puute. Tulostukseen ei ole olemassa yhtä ohjelmaa, jota kaikki tulostimet voisivat käyttää, joka vaikeuttaa tiedostojen ja mallien jakamista eri laitteilla. Tämä voi vaikeuttaa myös oikean filamentin sekä tulostinosan hankintaa, mikäli koneeseen tulee jokin ongelma (TheCable 2022).

Ilmaston näkökulmasta huomioon otettavina seikkoina 3D-tulostuksessa pidetään varsinkin sen energiankulutusta, sekä ilmaan kulkeutuvia nanohiukkasia. Energiankäyttölinen aspekti korostuu entisestään, mikäli tulostamiseen käytettävä energia on peräisin fossiilisista polttoaineista. Tästä aiheutuu kasvihuonekaasujen leviämistä ilmastoon, joka kiihdyttää ilmastomuutosta. Tulostusprosessi vaatii yleensä melko pitkän ajan, joka kasvaa mitä isompia kappaleita halutaan tuottaa. Energiankäytön näkökulmasta on suuri merkitys, kuinka usein kappaleita tulostetaan. Pitkät valmiusajat ja tulostusvälit suurentavat energiankulutusta huomattavasti, sillä laite täytyy lämmitellä joka kerta uudelleen. Kappalekohtaisesti energiankulutus siis kasvaa, mitä vähemmän tulostimen kapasiteettia hyödynnetään. Huomioon on kuitenkin otettava erilaiset 3D-tulostuksen tekniikat, jotka voivat vaihdella toisistaan huomattavasti energiankäytön näkökulmasta. Tulostusprosessista ilmaan joutuvat päästöt ja nanopartikkelit vaativat vielä laajempaa tutkimusta ja niiden määrään vaikuttaa käytettävä tulostusmenetelmä, kuten taulukosta 1 nähdään. Tutkijoiden mukaan ilmaan saattaa menetelmästä riippuen joutua päästöjä jokaisessa tulostusprosessin vaiheessa. Pölyä, savukaasuja, höyryjä ja nanopartikkeleita syntyy tulostusprosessissa, mutta valmiista kappaleesta voi myös mahdollisesti irrota jäännöshiukkasia ja liuottimia (Focus on the future 2022).

3D-tulostuksessa käytettävä materiaali on useimmiten muovia ja se on yleensä peräisin raakaöljystä. Öljyn tuotto ja jalostus tuottavat paljon ilmastolle haitallisia kasvihuonekaasuja. Vaikka nykyään käytetään paljon myös biohajoavia muovimateriaaleja, kuten PCL ja PLA, on hyvä ottaa huomioon myös niiden synnyttämät päästöt kasvien viljelyn ja käsittelyn aikana (Focus on the future 2022). Tulostuksessa syntyy yleensä jonkin verran myös hukkamateriaalia, erityisesti tukimateriaalin takia. Kappaleiden tuentaa varten tarvitaan välillä paljon materiaalia

ja toisinaan kappaleiden tulostus epäonnistuu, joka aiheuttaa lisää hukkaa. Valmistusmateriaalia on mahdollista kierrättää, mutta sen toteutuminen vaihtelee huomattavasti ympäri maailmaa.

TAULUKKO 1. Eri tulostusmenetelmien päästöt eri vaiheissa.

<b>Technology</b>	<b>Feedstock preparation</b>	<b>Building process</b>	<b>Parts release</b>	<b>Post processing</b>	<b>Use until end of life</b>
<b>Binder jetting (BJ)</b>	Dust formation (during powder filling)	Flue gases	Dust (formed during parts release and depowdering)	Flue gases (sintering); infiltration; dust formation (polishing); surface treatment	Depending on the post-processing (e.g. infiltration), residual monomers; residual particles
<b>Powder bed fusion processes</b>	Dust formation (during powder filling)	Release of vapours and dusts (pyrolysis)	Dust (formed during parts release and depowdering)	Dust formation (polishing); surface treatment	Residual particles, residual solvent
<b>Photopolymerization processes or stereolithography*</b>	Gaseous emissions (from highly reactive monomers, curing/cross-linking agents and activators)	Gaseous emissions (from monomers) → possible formation of aerosols and particles, UV radiation (UV soaking)	Gaseous emissions (from monomers)	Dust formation due to surface treatment, pyrolysis of polymeric materials due to thermal treatment	Residual monomers
<b>Extrusion-based processes*</b>	–	Release of vapours and dusts (from heated polymers)	–	Surface treatment (rarely), e.g. evaporation	–

				from im- mersion in acetone	
<b>Directed energy deposi- tion proces- ses</b>	Dust for- mation (during powder filling)	Release of vapours and dusts (py- rolysis)	–	–	–
<b>Material jetting</b>	Gaseous emissions (from highly reac- tive monomers, cur- ing/cross- linking agents and activa- tors)	Gaseous emis- sions (from monomers) → possible forma-tion of aerosols and parti- cles	Gaseous emissions (from mo- nomers)	Removal of support material (wax)	Residual monomers

Näiden sekä muiden haasteiden ratkaiseminen vaatii kokonaisvaltaista lähestymistapaa, jossa huomioidaan teknologiset, että organisaatiokohtaiset näkökulmat. Onkin olennaista, että 3D-tulostuksen mahdollisuuksia ja rajoituksia mietitään yrityskohtaisesti oman liiketoiminnan näkökulmasta ja pyritään aktiivisesti kehittämään strategioita näiden haasteiden ratkaisemiseksi.

## 5 HIILIJALANJÄLJEN OPTIMOINTI

### 5.1 Energian käyttö

Energian kulutus ja sen alkuperäinen lähde on yksi suurimmista hiilijalanjälkeen vaikuttavista tekijöistä. Laitteiden turha käyttäminen ja niiden päällä pitäminen kuluttavat paljon sähköä, erityisesti isompien laitteiden osalta. Tämän takia Tampereen ammattikorkeakoulun ison 3D-tulostimen energian käyttöä ja sen optimointia on syytä tutkia tarkemmin. Pienillä muutoksilla ja energiansäästöllä on iso merkitys isommassa kaavassa. Monen TAMKin laitteen yhteenlaskettu pienikin säästö pitkällä aikavälillä pienentää hiilijalanjälkeä huomattavasti.

Tampereen ammattikorkeakoulun FieldLabin robotisoitu 3D-tulostin on suuri ja paljon tekniikkaa sisältävä kokonaisuus, joka vaatii paljon energiaa toimiakseen. Kokonaisuus sisältää 6m x 2m x 1.5m alueelle ulottuvan ABB:n IRB4600 teollisuusrobotin, joka on varustettu CEAD:n granulaattiekstruuderilla, sekä IRBT2005 radan robotille. CEAD on yritys, joka tarjoaa 3D-tulostusteknologiaa suuren mittakaavan laitteistojen muodossa. Näiden lisäksi tulostusmateriaalia varten kokonaisuuteen kuuluu kosteudenpoistaja sekä materiaalin säilytyspöytä. Tulostusekstruuderin teknisissä tiedoissa mainitaan, että laite toimii 3-vaihejärjestelmässä 400 voltin jännitteellä ja 16 ampeerin sähkövirralla, joten laitteen teho on siis useita kilowatteja. ABB listaa sivuillaan robotin energiankulutuksen vastaavan noin 1.5 kWh täydellä nopeudella. Kuvasta 14 nähdään, että laitteisto on erittäin suuri ja erilainen verrattuna tavanomaiseen kaupalliseen 3D-tulostimeen, johon termi yleensä liitetään. Nämä kaupalliset ja kotikäytössäkin yleistyneet laitteet tulostavat useimmiten vain pieniä, maksimissaan kymmenien senttien pituisia kappaleita. TAMKin robotisoitu tulostin mahdollistaa laitteen edestakaisen liikkeen kiskolla jopa 6 metrin matkalla ja useiden nivelien ansiosta monen eri tulostusasennon hyödyntämisen. Kappaleista voidaan siis tehdä todella suuria, joten energiaa ja materiaalia kuluu huomattavia määriä. Kuvasta 14 voidaan ilman teknisten tietojenkin tietämystä päätellä, että laite vie huomattavan määrän energiaa. Suuren robotin liikuttaminen yhdessä tulostusalustan sekä materiaalin lämmityksen ja kappaleen jäähtymisen kanssa sekä esimerkiksi granulaattimateriaalin siirto siilosta putkia pitkin laitteelle, eivät tapahdu kovin kevyesti. Energiaa



kuluu paljon ja sitä päätyy suuria määriä myös hukkaan. Tämän takia on tärkeää tutkia ja selvittää, kuinka laitteen energiatehokkuutta ja hiilijalanjälkeä saadaan parannettua.



KUVA 14. TAMK FieldLabin robotisoitu 3D-tulostin (Moilanen 2024)

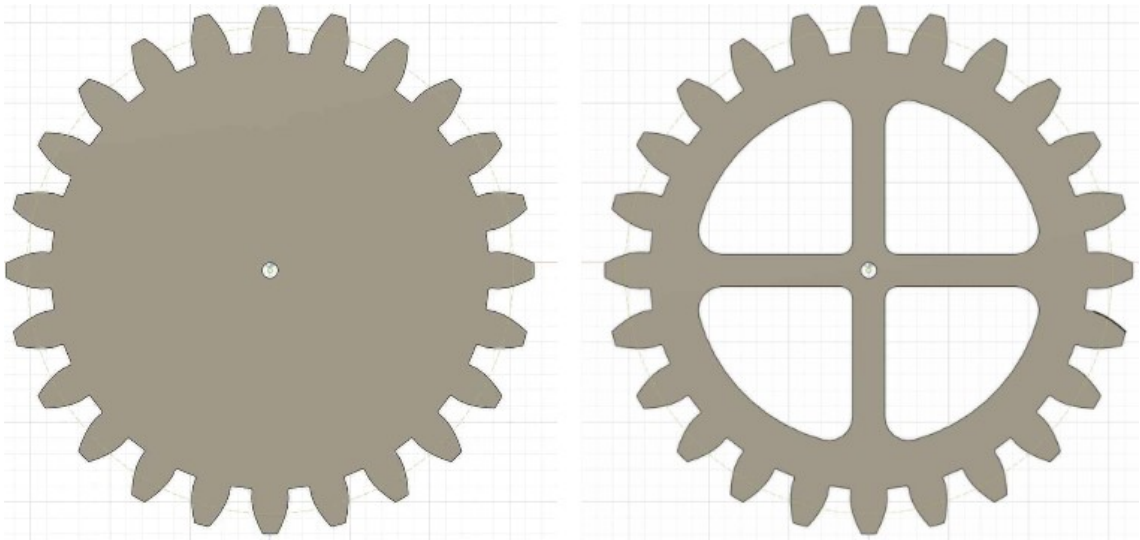
### 5.1.1 Tulostusaika

3D-tulostuksen energiankulutuksen tarkastelu on syytä aloittaa käytetyistä parametreista. Eri tulostimet reagoivat eri tavalla erilaisiin parametreihin ja laajempi tutkimus juuri TAMK FieldLabin tulostimesta on tarpeen hiilineutraalisuutta tutkitessa. Tulostusnopeus määrittelee tulostimen liikkeeseen käytettyä aikaa. Mitä

nopeammin laite liikuttaa tulostuspäätä tai alustaa, sitä nopeammin kappale valmistuu. Nopeampi liike siis nopeuttaa yhden kierroksen valmistusaikaa ja vähentää siten energiankulutusta. Parametrien asetuksissa on kuitenkin syytä ottaa huomioon nopeammasta liikkeestä mahdollisesti aiheutuva suuttimen ja alustan hankaus, joka voi lisätä energiankulutusta. Suuttimen ja tulostusalustan välistä etäisyyttä voi siis joutua muuttamaan tulostusnopeuden vaikutuksesta.

Tulostusaikaan voidaan vaikuttaa ottamalla huomioon useita asioita kappaleen asettelussa ja muodoissa. Esimerkiksi kulmikkaassa kappaleessa voi mennä monia minutteja kauemmin tulostaa, kuin kappaleessa, jossa ei ole teräviä kulmia. Kulmien vähentäminen optimoi ajankäyttöä ja siihen on hyvä kiinnittää huomiota. Turhien kulmien ja nurkkien poistaminen ja niiden mahdollisuus korvata pyöreämmillä muodoilla kannattaa siis huomioida. Näin tulostuspään ei tarvitse hidastaa vauhtia tai pysähtyä ja kiihdyttää aina uudelleen nurkan kohdatessaan.

Kappaleen asennolla tulostuspöydällä on myös suuri merkitys ja sillä voidaan huomaamatta tehdä vahingossa huomattavia pidennyksiä tulostusaikaan. Kappaleet tarvitsevat usein tukimateriaalia ja huonolla asennon valinnalla tukimateriaalia voi kulua paljon enemmän kuin mitä optimaalisella asennolla vaadittaisiin. Turha ja tarpeeton tukimateriaali vaatii tulostimelta lisää kierroksia, joka tietenkin lisää taas kokonaisaikaa. Materiaalihukkaan ja tulostusaikaan voidaan vaikuttaa myös kiinnittämällä huomiota turhaan materiaaliin itse kappaleessa. Usein varsinkin 3D-tulostuksen opettelun alkuvaiheissa huomiota ei välttämättä kiinnitetä tarpeeksi järkevään materiaalmäärään, vaan siihen, että kappale vain saadaan suunniteltua ja tulostettua. Kuvassa 15 hahmotellaan hyvin idea siitä, kuinka paljon turhaa materiaalia kappaleessa voi mahdollisesti olla. Kappaleen käyttötarkoitusta on tärkeä miettiä ennen tulostamista ja tutkia kestäkö se käyttöä myös vähemmällä materiaalilla. Tähän tarkoitukseen on tietyissä tilanteissa hyödyllistä käyttää topologian optimointia (AB3D n.d.).



KUVA 15. Havainnollistus turhasta materiaalista kappaleessa (AB3D n.d.)

Ajallisesti säästöä saadaan myös vaikuttamalla tulostuskerroksen paksuuteen. Jos kappale sen mahdollistaa, on hyvä tutkia mahdollisuutta kerroksen suurentamiseen. Esimerkkinä mietittäessä mitoiltaan 20x20x20 mm kokoista kuutiota, joka valmistetaan 0.1 millimetrin kerrospaksuudella, tarvitaan sen valmistamiseen 199 kerrosta. Kerrospaksuuden tuplaaminen 0.2 millimetriin puolittaa kerrostarpeen ja vähentää tulostusaikaa samalla huomattavasti. Täten on tärkeää miettiä valmistettavan kappaleen mahdollisuutta paksumpaan kerrosvahvuuteen. Ajan käytöllisesti optimointia voidaan tarkastella myös valittavalla suuttimella. Kappaleen sen mahdollistaessa, valitsemalla suuremman halkaisijan omaavan suuttimen, aikaa on mahdollista säästää paljon. Tämä on hyvä huomioida juuri TAMKin laboratoriossa ison 3D-tulostimen kanssa, sillä tarkkuutta vaativia pieniä muotoja on luultavasti vähemmän kuin pienemmissä tulosteissa. Pienempien kappaleiden kanssa pieniä yksityiskohtia voi olla enemmän ja siten suurempi halkaisija ei niitä pystyisi tuottamaan. Suuremman suuttimen avulla materiaalia pystytään tulostamaan kerralla enemmän nopeammin. Taulukossa 2 on havainnollistettu aikaisemmin esimerkkinä olleen 20x20x20 mm kuution tulostuksen ajankäyttöä suhteessa suuttimen halkaisijaan. Taulukosta voidaan nähdä, että 0.2 millimetrin kasvulla tulostusaika pienenee 4 minuutilla. Säästö ei välttämättä ensisilmäyksellä vaikuta suurelta, mutta kun mietitään suurempia kappaleita ja pidemmällä aikavälillä, on ero jo huomattava. Esimerkkikuution suurenus 50x50x50 mm kokoiseksi ja samoilla suutinmuutoksilla vaikuttaa tulostusaikaan jo yli tunnilla. Vuoden aikajänteellä tuntisäästöjä kertyisi jo valtava määrä ja suuren 3D-tulostimen energiankäytöllä säästöä saadaan kiitettävästi (AB3D n.d.).

TAULUKKO 2. Havainnollistus suuttimen halkaisijan vaikutuksesta tulostusajkaan.

Nozzle diameter	Layer height	filling level	Print duration
0.4mm	0.2mm	20 %	36 minutes
0.6mm	0.2mm	20 %	32 minutes

### 5.1.2 Tulostusalusta

Tulostusajan optimoinnin lisäksi tärkeä tutkimisen kohde on tulostusalustan energiankulutus. Alustan lämmittämiseen kuluu paljon sähköenergiaa, kun peti lämmitetään useiden kymmenien asteiden lämpöiseksi. Lämpötila riippuu käytettävästä materiaalista ja se voi yltää jopa sataan asteeseen. Usein lämmitys on välttämätöntä 3D-tulostuksessa, jotta käytettävä materiaali saadaan käyttäytymään halutulla tavalla alustalla. Sen avulla tulostukseen saadaan tarkkuutta ja vakautta. Lämpimämpi tulostusalusta auttaa vähentämään tulosteiden vääntymistä ja parantamaan tarttuvuutta, joka voi vähentää hylättyjen tulosteiden määrää.

Tulostusalustan lämmitys ja korkeat lämpötilat syövät energiaa paljon ja voivat myös vaikuttaa osaltaan negatiivisesti tulosteiden laatuun. Liian korkean tulostuslämpötilan takia osa kappaleista voi sulattaa tulosteen reunoja liikaa ja aiheuttaa epätarkkuuksia yksityiskohdissa. Jos kuitenkin sivuutetaan vaikutukset tulostuskappaleen yksityiskohtiin, voidaan tarkastella alustan ongelmia energiankäytön näkökulmasta. TAMKin FieldLabin suuri tulostin tarvitsee suuren tulostusalustan, joka tarkoittaa suurta lämmitettävää pinta-alaa. Tulostus on mahdollista suorittaa robotin vaikutusalueen mukaisesti myös vanerin päälle lattialle, mutta tämä vaatii todella suuren vaneripalan ja heikentää usein tulostuksen ominaisuuksia huomattavasti. Nykyinen lämmitettävä tulostuspöytä on kooltaan 2m x 1m, mutta tilaan on suunnitteilla vielä suurempi matala pöytä. Alustan alkulämmitys vaadittavaan lämpötilaan ja sen pitäminen optimaalisena tulostusprosessin ajan vie ison osan laitteen sähkökulutuksesta. Jos mietitään etenkin pieniä ja avoimia kappaleita, on tulostusalustalla oleva materiaali vain marginaalinen osa koko alustan pinta-

alasta. Kuvasta 16 hahmotetaan hyvin, kuinka paljon isoa alustaa lämmitetään turhaan pienen kappaleen takia. Tulostimella tehdään paljon varsinkin prototyyppejä ja täten myös pieleen menneitä kappaleita syntyy väistämättä. Tämä luo vuositasoilla useita kilowatteja hukkaenergiaa ja etenkin hiilijalanjäljen pienentämiseen tämän hyötykäytöllä olisi iso rooli. Tulostusalustan lämmitykseen käytetävästä energiamäärästä menee siis valtaosa hukkaan ja päätyy FieldLabin ympäristöön lämpöenergiaksi. Tämä asia johtaa kysymykseen, olisiko tuo lämpöenergia mahdollista hyötykäyttää muualla ottamalla se talteen tai johtamalla esimerkiksi johonkin toiseen lämpöä vaativaan prosessiin. Energian talteenoton merkitys korostuu entisestään, kun FieldLabiin suunnitteilla oleva suurempi tulospuytä otetaan käyttöön.



KUVA 16. TAMK FieldLabin 3D-tulostimen lämmitettävä tulostusalusta (Moilanen 2024)

Suuret tulostusalustat mahdollistavat samanaikaisesti isojen sekä pienten kappaleiden tulostuksen, mutta varsinkin pienempien tulosteiden kohdalla moninkertaisesti suuremman alustan käyttö on turhaa ja epäekologista. Fieldlabissa tulostetaan usein huomattavasti nykyistä pöytää pienempiä kappaleita, kuten olemme

tämän opinnäytetyön kuvista nähneet. Suunnitteilla olevan vielä suuremman pöydän lisäksi hiilineutraalisuutta ajatellen TAMKin olisi tärkeää miettiä mahdollista pienempää pöytää tiloihin. Esimerkiksi 0.5m x 0.5m pöytä riittäisi nykyisin paljon tulostettujen neliön muotoisten kappaleiden tulostamiseen kätevästi, mutta mahdollistaisi samalla myös pienempien eri muotoisten kappaleiden tulostamisen. Kyseinen pieni pöytä ajaa saman asian, mutta on monta kertaa pienempi pinta-alaltaan, kuin nykyinen pöytä sekä myöhemmin hankittava vielä suurempi malli. Huomattavasti pienemmän lämmitettävän pinta-alan avulla säästetään paljon energiaa, kun lämmitettävää aluetta on jopa 8-kertaa vähemmän kuin nykyisessä pöydässä. Samalla saadaan minimoitua ilmaan joutuvan hukkalämmön määrä. Pienempi pöytä voi tuntua turhalta panostukselta, kun laitteet ovat kalliita, mutta hiilineutraalisuuden tavoittelemisessa se ajaisi tärkeää roolia. 0.5m x 0.5m pöydän sijasta hyvänä vaihtoehtona toimii myös 1m x 1m pöytä, joka sallii jo huomattavasti enemmän tulosteita, mutta olisi kuitenkin puolet nykyistä pienempi. Tämä ratkaisu mahdollistaa paljon suuremman variaation kappaleita tuoden samalla kuitenkin paljon parannusta energiatehokkuuteen nykyiseen verrattuna.

Tulostuspedin lämpöenergian hyötykäyttäminen olisi hyvä keino parantaa energiankäyttöä ja pienentää osaltaan FieldLabin hiilijalanjälkeä. Tilassa on myös monia muita lämpöenergiaa tuottavia laitteita, joita olisi mahdollista miettiä liitettävän 3D-tulostimeen tuottamaan lämpöenergiaa tulostusalustalle. Huomioon tulee tietenkin ottaa ilmaan joutuvan lämpöenergian pieni myönteinen vaikutus alustan lämpötilaan jo valmiiksi, mutta suora ratkaisu lämpöenergian siirtämiseen on huomattavasti tehokkaampi vaihtoehto. Ratkaisun jälkeen tärkeää olisi optimoida FieldLabin usean koneen samanaikaisen käytön hyödyntäminen, jotta hukkaenergiaa saataisiin siirrettyä koneesta toiseen reaaliajassa, kuin että laitteita käytetään silloin tällöin ja eri aikaan. Koneiden eriaikainen käyttö vaatii lämmön talteenottoa, jotta sitä voidaan hyödyntää tarvittaessa myöhemmin 3D-tulostimen käyttöön.

## **5.2 Aurinkopaneelit**

Tampereen ammattikorkeakoulun hiilineutraalisuustavoitteessa yksi hyvä askel olisi aurinkopaneelisiin investointi. Täysin uusiutuva ja päästötön energiamuoto

olisi pitkällä aikavälillä loistava keino tuottaa energiaa FieldLabin laitteisiin. Etenkin suurella robotisoidulla 3D-tulostimella tuotetaan paljon testausta ja prototyyppejä, jolloin syntyy paljon hukkaenergiaa myös pieleen menneiden kappaleiden muodossa. Itse tuotettu sähköenergia aurinkovoimalla toisi säästöä niin rahallisesti, kuin sähkönkulutuksen näkökulmasta. Testaus ja pieleen menneet kappaleet eivät näin ollen olisi niin haitallisia, koska sähköä on tuotettu itse juuri sitä varten. Vaikutus näkyy myös sähkölaskuissa, joka voi nykyisillä sähkön hinnoilla tuoda merkittävän säästön pitkällä aikavälillä. Positiivinen seuraus tällä on myös sähköverkon kuormituksen vähenemiseen.

Aurinkopaneeleihin investoiminen voi olla vaikea päätös sen aiheuttamien alkukustannuksien vuoksi, mutta pidemmällä aikavälillä se maksaa usein itsensä takaisin. Tampereen ammattikorkeakoulun kokoisessa konsernissa paneeleihin investointi voisi tuottaa suuren määrän energiaa erilaisten laitteiden käyttöön ja testaukseen. Suurien kiinteistöjen ja pinta-alan vuoksi TAMK voisi mahdollisesti hankkia suhteellisen ison määrän paneeleita, joilla tuottaa energiaa omiin tarpeisiin. Jos otetaan esimerkiksi 6 kWp:n kokoinen aurinkopaneelijärjestelmä, on sen keskimääräinen tuottoarvio Suomessa noin 5400 kWh vuositasolla (EnergiaEki n.d.). Kyseinen esimerkki on otettu kotitalouksiin suunnitellusta järjestelmästä, joten TAMKin omistamaan kiinteistöön näitä on mahdollista asentaa huomattavasti enemmän. Jos asetetaan tämä määrä TAMKin kohdalla esimerkiksi kymmenkertaiseksi, saadaan energiaa tuotettua FieldLabiin jo 54 000 kilowattia. Robotisoidun 3D-tulostimen yhteiskulutus voidaan olettaa olevan noin hieman yli 10 kWh täydellä energiankulutuksella, joten käytetään tässä esimerkinomaisesti kyseistä lukua. Jos siis ajatellaan robotisoidun 3D-tulostuksen olevan kokoaikaisesti ajossa 10 kWh:n energiankulutuksella, saataisiin sille käyttöaikaa aurinkopaneeleilla jopa 5400 tuntia. Näillä paneeleilla saataisiin siis katettua tulostuksen yhtäjaksoinen käyttö jopa yli puoleksi vuodeksi. Huomioon tulee kuitenkin ottaa se, että laitetta ei tietenkään käytetä yhtäjaksoisesti putkeen eikä usein edes tunteja kerralla. Energiankulutuksen vaikutus on myös riippuvainen tulostettavasta kappaleesta ja käytettävästä materiaalista. Näin suuren tuotetun energiamäärän avulla saadaan tuotettua energiaa myös muille FieldLabin laitteille, sekä esimerkiksi 3D-tulostimen materiaalin käsittelylaitteille, kuten kuivaimelle. Omavaraisen energiantuotannon avulla robotisoidun tulostimen valmistamat prototyypit sekä

esimerkiksi pieleen menneet kappaleet eivät olisi haitallisia energiankäytön näkökulmasta ja tämä olisi iso askel kohti hiilineutraalisuutta.

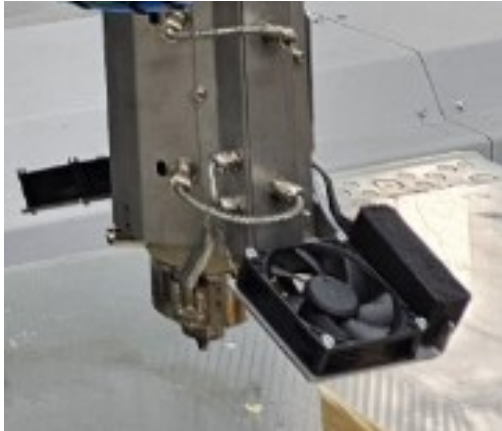
Hiilijalanjäljen lisäksi on hyvä huomioida myös rahallinen säästö, joka aurinkopaneeleilla voidaan saavuttaa pidemmällä aikavälillä. Edellä mainitun esimerkkinä olleen aurinkopaneelijärjestelmän hinnaksi voidaan asettaa esimerkin vuoksi aurinkopaneeliasentajan sivuilta löytyvä hinta, joka on 6kWp:n järjestelmälle noin 6500 euroa (Aurinkomaailma n.d.). Kymmenkertaisena tämä määrä nousee jo 65 000 euroon. Tammikuun 2024 keskiarvollinen sähkön hinta oli noin 13.2 snt/kWh, joten 54 000 kWh aurinkopaneelijärjestelmä toisi säästöä vuodessa noin 7128 euroa verrattuna siihen, että sähkön ostaisi sähköyhtiöltä (Omavoima n.d.). Jos aurinkopaneelien asennuksen kokonaishinta jaetaan vuosittaisella säästetyllä keskiarvohinnalla 7128 euroa, maksaa järjestelmä itsensä takaisin noin reilussa 9 vuodessa. Tähän on kuitenkin otettava huomioon sähkönhinnan keskiarvollinen muutos, sillä sähkön keskiarvohinta on laskettu talven aikana, jolloin sähkö on useasti kalliimpaa kuin kesäaikana. Vastapainona tälle huomioon tulee ottaa myös säästö sähkön siirron hinnassa, joka on Tampereen seudulla useita senttejä kilowattitunnilta. Todellisuudessa aurinkopaneelit voivat maksaa siis itsensä takaisin jopa nopeammin kuin on laskettu, koska sähköyhtiölle ei tarvitse maksaa siirrosta aurinkopaneelien tuottaman energian osalta.

### **5.3 Laitteen elinkaari ja kierrätys**

Hiilijalanjäljen optimoimisessa on hyvä miettiä ennakkoon jo laitekokonaisuuden elinkaarta ja osien käsittelyä elinkaaren eri vaiheissa. Kokonaisuus sisältää satoja, jopa tuhansia kiloja eri materiaaleja, pääosin kuitenkin metalleja. Osia joudutaan suurella todennäköisyydellä vaihtamaan ja huoltamaan jo elinkaaren keskivaiheissa, joten varaosien tarvetta on hyvä miettiä. Turhaan osia ei kuitenkaan kannata varastoihin hankkia muutoin kuin tilanteissa, joissa jokin osa vaatii säännöllistä vaihtamista. Varaosien osalta olisi hyvä miettiä mahdollisuutta niiden omatoimiseen valmistamiseen juuri esimerkiksi robotisoidulla 3D-tulostimella. Varaosien tilaus ja valmistus kuljetuksineen muualta vaikuttaa aina hiilijalanjälkeen ja sen takia on hyvä tutkia mahdollisuutta valmistaa laitteen tarvitsema kappale mahdollisuuksien mukaan itse. Hyvänä esimerkkinä tähän voidaan ajatella esimerkiksi kuvassa 17 oleva jäähdyttimen propelliossa, joka varmasti pystytään



itse valmistamaan TAMKissa. Tämä osa ei välttämättä tarvitse kovin paljon huoltoa tai vaihtamista yleisesti, mutta periaatteena sitä voidaan käyttää hyvänä esimerkkinä.



KUVA 17. Tulostusekstruuderin päässä oleva jäähdytyspropelli (Moilanen 2024)

Suuren robotisoidun 3D-tulostuskokonaisuuden huolto sekä kierrättäminen voi edistää merkittävästi hiilineutraalisuutta FieldLabissa. Kierrätysprosessin hyvällä suunnittelulla voidaan vähentää materiaalien tarvetta, energiankulutusta sekä päästöjä, joka vaikuttaa myönteisesti laitteen elinkaaren hiilijalanjälkeen. Suuren materiaalmäärän kierrättäminen mahdollistaa niiden uudelleenkäytön, joka vähentää uusien materiaalien tuottamisen tarvetta ja vähentää siten energiankulutusta sekä päästöjä. Muovimateriaalit ovat yksi nykypäivän eniten haasteita aiheuttava asia maapallolla ja niiden kierrätykseen onkin kiinnitettävä erityistä huomiota jo hyvissä ajoin ennen laitteen elinkaaren loppua.

FieldLabin laitteet ovat kalliita ja ne ovat suunniteltu kestämään pidempiäkin aikoja, joten kestävyyttä on hyvä edistää huolellisilla huoltotoimenpiteillä. Hyvillä huoltosuunnitelmilla sekä laadukkailla varaosilla laitteen elinkaarta voidaan saada pidennettyä huomattavasti. Tämä vaikuttaa positiivisesti hiilijalanjälkeen, sillä laitteita ei tarvitse uusia niin usein, joka säästää huomattavia määriä materiaalia sekä energiaa, joka uuden laitteen valmistamiseen jo sen raaka-aineista lähtien kuluisi.

### 5.3.1 Tulostusmateriaalin kierrätys

Itse tulostettavan materiaalin kierrätykseen on kiinnitettävä syvää huomiota. Eniten kierrätystä vaativaa materiaalia syntyy tietenkin itse tulostusprosessista, kun kappaleita tulostetaan huomattavia kilomääriä laitteen elinkaaren aikana. Suuren robotisoidun 3D-tulostimen avulla on mahdollista tulostaa todella isoja kappaleita, jotka painavat useita kiloja. Pääasiallisena materiaalina TAMKIn FieldLabissa käytetään UPM Formia, joka on selluloosakuidullinen biokomposiitti. Kyseisellä materiaalilla on erittäin hyvät kierrätettävyyshahdollisuudet, joten sen hyödyntäminen on välttämätöntä hiilineutraalisuuteen pääsemisessä. Kuvasta 18 voidaan havaita, että tulostettuja testikappaleita sekä pieleen menneitä versioita on kertynyt tulostusalueelle usein huomattavia määriä, joista saataisiin hyödynnettyä uudestaan useita kiloja materiaalia. Suhteellisen uusi tulostin sekä uusien materiaalien käyttäytyminen ei ole vielä täysin tunnettua, joten kappaleita menee pieleen paljon testauksien vuoksi.

Suuren hukkamateriaalimäärän kierrätys on erittäin tärkeää, jotta hiilijalanjälkeä saadaan pienennettyä. Kierrätyksen lisäksi tärkeää on kuitenkin miettiä myös sen juurisyitä. Miksi hukkamateriaalia syntyy niin paljon ja miten siihen voisi vaikuttaa? Pienemmän hukkaan menevän materiaalin avulla säästetään paljon energiaa, kun kappaleita ei tarvitse tulostaa niin paljon. Fieldlabin hukan määrään voitaisiin vaikuttaa esimerkiksi useiden eri materiaalien testauksella. Nykyisin käytettävän tulostusmateriaalin ohella useiden uusien materiaalien testaus samoilla tulostusparametreillä ja tulosten tutkiminen voisi mahdollisesti tuoda parempia materiaalivaihtoehtoja nykyisiin olosuhteisiin. Sopivamman materiaalivaihtoehdon avulla tulostusprosessissa ei syntyisi nykymäärän mukaisia hukkamääriä, joka pienentää kierrätystarvetta ja energiankulutusta. Syntyvän hukan ehkäisemiseksi on siis erittäin tärkeää tutkia optimaalisia tulostusparametrejä ja niiden kanssa parhaiten sopivia materiaaleja.

FieldLabissa käytettävien tulostusmateriaalien jälkikäsittely voi olla hiilijalanjälkeen positiivisesti vaikuttava asia. Jo ennestään käytettyjen sekä uusien testaukseen tulevien materiaalien osalta tutkimista vaatii parhaan jälkikäsittelyn löytäminen kyseiselle materiaalille. Parhaassa tapauksessa jälkikäsittelyprosessit, kuten esimerkiksi hionta, viimeistely sekä maalaus voivat parantaa kappaleen kestävyyttä, mikä pidentää niiden käyttöikä ja vähentää tarvetta uusien kappaleiden

tulostamiselle. Tämä johtaa materiaalin sekä kokonaisenergiankulutuksen vähenemiseen ja näin ollen optimaalisempaan hiilijalanjälkeen.



KUVA 18. FieldLabin robotisoidun 3D-tulostimen tulostamia kappaleita tulostusalueella (Moilanen 2024)

#### 5.4 Suunnitteluvaiheen optimointi

Suunnitteluvaiheella on suuri rooli kappaleen valmistamiseen liittyviin asioihin. Kappaleita on mahdollista valmistaa täysin erilaisilla arvoilla ja metodeilla, joka luo mahdollisuuden tehdä sama asia huomattavasti epäekologisemmin ja tehot-

tomammin sekä päinvastoin. Tulostusalustan lämpötila, tulostusnopeudet, tulostuksen reititys, tukimateriaali, kappaleen asento sekä esimerkiksi itse kappaleessa oleva turha materiaali vaikuttavat paljon tulostusprosessiin ja siitä aiheutuvaan hiilijalanjälkeen. Näihin asioihin onkin syytä kiinnittää erityistä huomiota parhaan lopputuloksen saamiseksi. Tulostusprosessiin on tärkeä saada yhteneväinen ja optimaalinen tapa, jotta vältetään esimerkiksi käyttäjästä riippuvaisesta hiilijalanjäljen muutoksesta. Esimerkiksi samanlaisen kappaleen täysin erilaiset tulostusasetukset aiheuttavat paljon heiluntaa hiilijalanjälkeen ja yhtenäisillä prosesseilla tätä saadaan ehkäistyä. Tämä johtaa tasaisuuteen ja käyttäjästä riippumattomaan hiilijalanjälkeen.

#### **5.4.1 Topologian optimointi**

Topologian optimoinnilla tarkoitetaan suunnitellun 3D-kappaleen rakenteen muuttamista mahdollisimman optimaaliseen muotoon käyttäjän asettamien sääntöjen mukaisesti. Tarkoituksena on maksimoida osan suorituskyky ja tehdä kappaleesta kevyempi huonontamatta kuitenkaan sen lujuutta. Menetelmää käyttämällä on mahdollista saada huomattavia materiaalisäästöjä. Kuvassa 19 nähdään topologisen optimoinnin avulla suunniteltu lentokoneen kannakeosa, josta on saatu vähennettyä materiaalia jopa 70 %. Suunnittelutyökalun avulla alkupe raisestä kappaleesta on siis saatu vähintään yhtä kestävä, mutta paljon pienemmällä materiaalimäärällä. Tämä johtaa suoraan pienempään materiaalihukkaan sekä energiansäästöön, kun kappaleet tarvitsevat vähemmän materiaalia ja tulostuvat näin ollen nopeammin. Tampereen ammattikorkeakoulun kokoisessa oppilaitoksessa topologian optimointi tulisi asettaa tärkeään rooliin opetuksessa, kun tulostimia käytetään suuri määrä joka vuosi. Vähäisen opetuksen riskinä on etenkin uusien opiskelijoiden tulostukset, kun ekologisuuskysymyksiä ei osata vielä ottaa 3D-tulostuksessa heti huomioon. Kappaleita tulostetaan paljon ja ne ovat suunniteltu pienellä taitotasolla sekä suhteellisen nopealla aikataululla. Tämä johtaa suurella todennäköisyydellä isoon materiaali- ja energiahukkaan, joka moninkertaistuu vuositasolla. Syvempi opetus ja huomioonotettavien asioiden painotus kestäväen kehityksen näkökulmasta on edullinen ja helppo tapa parantaa TAMKIn hiilineutraalisuustavoitteita ja näyttää mallia myös ulkopuolelle. Signaali vahvasta ja syvällisestä suunnitteluvaiheen sekä hiilijalanjäljen optimoin-

nin painotuksesta opiskelijoille ja henkilöstölle antaa hyvän kuvan myös yritysvierailijoille sekä -kumppaneille. Näitä asioita arvostetaan nykyään suuresti ja sen takia on tärkeää, että niihin kiinnitetään huomiota.



KUVA 19. Topologian optimointia hyödyntäen suunniteltu lentokoneen kannakeosa (All3DP 2023)

#### **5.4.2 Tulostusasento ja tukimateriaali**

Materiaalin kulutusta ja tulostuksen kokonaiskestoja määrittelee paljon, missä suunnassa kappaletta on tarkoitus tulostaa sekä mikä sen orientaatio tulostusalustalla on. Tukimateriaali on yksi suurimmista hukkaa aiheuttavista osista 3D-tulostusprosessissa ja sen vähentäminen ja minimointi tulee asettaa tärkeään rooliin hiilijalanjäljen vähentämisessä. Vuonna 2023 LinkedIn-sivustolla teetetyssä kyselyssä, jossa selvitettiin ihmisten mielipidettä ensisijaiseen hukkamateriaalia aiheuttavaan 3D-tulostuksen osuuteen, eniten ääniä (41 %) keräsi juuri tukimateriaalin vaikutus. Muina vaihtoehtoina olleet prototyypit sekä epäonnistuneet tulostukset saivat huomattavasti vähemmän ääniä, joten tukimateriaalia pidetään ongelmallisempänä äänestäneiden keskuudessa (Toor 2023).

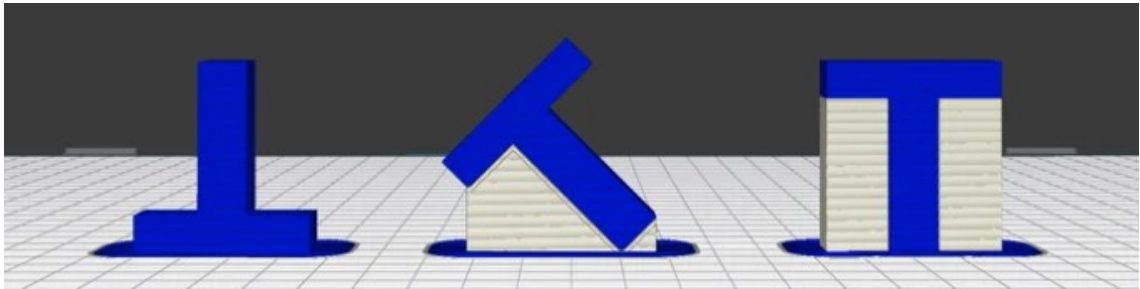
Kappaleen tulostusasento sekä -suunta ovat tärkeitä huomioonotettavia asioita, kun halutaan minimoida materiaalihukkaa. Asento vaikuttaa tulostuspään liikkeeseen sekä suuntaan kappaletta tulostettaessa. Tulostuskerrosten muotoon sekä ominaisuuksiin voi tulla isojaikin muutoksia riippuen tulosteen suunnasta pedillä. Kuvassa 20 on hahmoteltuna tulostussuunnan vaikutus kappaleeseen. Vasemalla oleva sylinteri on tulostettu pystysuoran akseliston mukaan, kun taas oikeanpuoleinen on vaakasuoran akseliston mukaan tulostettu. Vasemman sylinterin voidaan huomata olevan huomata olevan paljon sileämmän ja tarkemman pinnan omaava, kun taas oikeanpuoleisessa kerrokset näkyvät selvästi ja pinta näyttää karhealta. Tämä johtuu suoraan tulostussuunnasta, jossa vasemman kohdalla on hyödynnetty ylöspäin menevää pyöreää liikettä ja oikean kohdalla vaakatasossa liikkuvaa suorakulmion suuntaista liikettä. Kappaleen pinnan ominaisuuksien lisäksi suunnalla on suora vaikutus tulostusaikaan sekä materiaalin kulutukseen. Vasemmalla oleva sylinteri on koottu kolme kertaa pienemmällä kerrosmäärällä kuin oikeanpuoleinen (Additive X n.d.). Suurempi kerrosmäärä vaikuttaa tulostusajan pitenemiseen, joka kuluttaa enemmän energiaa. Suuremman energiankulutuksen lisäksi materiaalia menee samaan kappaleeseen monin kerroin enemmän. Saman kappaleen tulostaminen on siis mahdollista optimoida huomattavasti paremmaksi vain kiinnittämällä tarpeeksi huomiota sen tulostussuuntaan. Pienemmällä ajalla sekä energiankulutuksella on mahdollista saada paljon laadukkaampi kappale tulostettua. Kuvan 20 esimerkkipappale on hyvin yksinkertainen ja voi olla helppo valita optimaalinen tulostussuunta ilman pidempää pohtimista, mutta kappaleiden koon kasvaessa sekä monimutkaistuessa se ei välttämättä ole enää niin vaivatonta. TAMKIn FieldLabin suuri tulostin tulostaa huomattavasti suurempia kappaleita isommalla materiaalmäärällä, joten vaikutukset ovat paljon suurempia kuin pienillä sylinterikappaleilla.



KUVA 20. Pysty- sekä vaakatasossa tulostettu sylinterikappale (Additive X n.d.)

Tukimateriaalin tarkoitus on tukea kappaleen valmistamista tulostusalustalla, jotta se on mahdollista tulostaa valitulla tavalla. Tukimateriaalia on mahdollista käyttää paljon, vähän tai ei ollenkaan riippuen sen orientaatiosta, tulostussuunnasta sekä kappaleen monimutkaisuudesta. Useimmiten tukimateriaalia tarvitaan, kun tulostimen täytyisi tulostaa materiaalia yli 45 asteen kulmassa. Tulostusmallia ja suunnitelmaa pyöriteltäessä voikin olla mahdollista, että alkuperäisen suunnitelman tukimateriaalit saadaan eliminoitua kokonaan. Optimaaliseen tilanteeseen päästään, kun kappale saadaan suunniteltua tulostettavaksi ilman ollenkaan tukimateriaalia. Se aiheuttaa aina hukkamateriaalia sekä pidempää tulostusaikaa, jotka vaikuttavat hiilijalanjälkeen. Kuvassa 21 on hahmoteltu yksinkertaisen T-muotoisen kappaleen asennon vaikutus tukimateriaalin tarpeeseen. Kuvasta voi hyvin nähdä, kuinka kappaleen kääntäminen ylösalaisin eliminoi tukimateriaalin tarpeen kokonaan. Huonon suunnittelun sekä asennon valinnan vaikutuksesta kappaleeseen voi syntyä tukimateriaalia jopa enemmän, kuin itse tulostettavaan kappaleeseen kuluva materiaalia. Siksi TAMKIn FieldLabissa on tärkeää panostaa huolellisuuteen suunnittelussa, sillä tukimateriaalin vähentäminen on suhteellisen helppo tapa vähentää erittäin suuriakin määriä hukkamateri-

aalia. FieldLabin robotisoidun granulaattiekstruderitulostimen valmistamat kappaleet painavat useita kiloja, joten huolellinen orientaation suunnittelu on vielä moninkertaisesti tärkeämpää kuin pienempien pöytätulostimien kanssa.



KUVA 21. T-muotoisen kappaleen tulostusasennon vaikutus tukimateriaaliin (BCN3D n.d.)

## 5.5 Käyttäjäkoulutukset

Hiilineutraalisuuden lähtötekijä Tampereen ammattikorkeakoulun Fieldlabissa on käyttäjien kouluttaminen ja laitteiston tutuksi tekeminen. Vahvalla osaamisella ja tietämyksellä saadaan suunnitteluvaihetta ja tulostusprosessia optimoitua huomattavia määriä. Paremmiin suoritetulla optimoinnilla saadaan useita virheitä poissuljettua ja vähennettyä hukkamateriaalin määrää. Ohjeisiin ja kursseihin on syytä panostaa paljon, jotta tulostusohjelmiston käyttö, oikeat materiaalivalinnat sekä esimerkiksi tulostuskappaleiden suunnittelu tulee huomioitua tarpeeksi kattavasti käyttäjien keskuudessa. Nykyisin TAMKilla on etenkin opiskelijoille hyvin vähän kurssi- sekä koulutustarjontaa liittyen 3D-tulostukseen, joten hiilijalanjälkeä on yksinkertaista optimoida panostamalla ja resursoimalla tulostuskursseihin nykyistä enemmän. Henkilöstön ja yhteistyö- sekä yrityskumppaneiden kouluttamista on myös tärkeää ylläpitää ja kehittää jatkuvasti.

Koulutuksen ja ohjauksen merkitys on yksi keskeisimmistä osista hiilineutraalisuuden edistämässä 3D-tulostimen osalta. Niiden avulla käyttäjien ja muiden osapuolien on mahdollista oppia parhaat käytännöt ja tekniset taidot, jotka ovat tarpeellisia tulostusprosessin optimoimisessa sekä hukkamateriaalin vähentämisessä. Lisäksi koulutuksien avulla on mahdollista lisätä tietoisuutta ympäristövaikutuksista sekä antaa ideoita tulostusprosessin parantamiseen.



## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ja pohtia mahdollisia keinoja Tampereen ammattikorkeakoulun Fieldlabin robotisoidun 3D-tulostimen tulostusalueen hiilineutraalisuuteen pääsemisessä. Työssä on hyödynnetty useita eri lähteitä ja poimittu tärkeitä huomioon otettavia asioita, jotka vaikuttavat hiilijalanjälkeen. Usean pienemmän osa-alueen parantaminen sekä huomioon ottaminen johtavat hiilijalanjäljen laskuun ja lopulta kohti hiilineutraalisuutta. Opinnäytetyön alussa pohjustetaan aihetta siihen vahvasti liittyvällä teorialla, joka antaa ymmärryksen hiilineutraalisuudesta ja siihen liittyvistä keinoista. Hyvä pohjustus vahvistaa selvitetävän aiheen tutkimista ja sen ymmärtämistä.

Työn aiheen taustalla oli Tampereen ammattikorkeakoulun hiilineutraalisuustavoite ja sen tutkiminen Fieldlabin suurelle 3D-tulostimelle. Opinnäytetyö antaa hyvät lähtökohdat hiilijalanjäljen pienentämiselle ja huomioonotettavien asioiden tarkastelulle. Tavoitteena oli löytää näkökulmia, jotka yhdessä voivat parantaa hiilijalanjälkeä huomattavasti ja antaa uusia ideoita mahdollisille ratkaisuille.

Opinnäytetyötä tehdessä ja prosessin edetessä vastaan tuli useita erilaisia jatkojalostuskohteita liittyen robotisoidun 3D-tulostimen hiilineutraalisuuteen. Useasta työn osasta on mahdollista tehdä uusia opinnäytetöitä ja tutkia aihetta perusteellisemmin, juuri kyseiseen aihealueeseen liittyen.

Kokonaisuutena Fieldlabin robotisoidun 3D-tulostimen hiilineutraalisuuden edistäminen edellyttää kokonaisvaltaista lähestymistapaa, johon kuuluu teknisiä ratkaisuja, mutta lisäksi koulutusta sekä ohjausta laitteen käyttöön. Näiden avulla varmistetaan tulostusprosessin tehokkuus, luotettavuus sekä ympäristöystävällisyys, joka edistää Tampereen ammattikorkeakoulun hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamista.

## 7 POHDINTA

Tämä opinnäytetyö toimi hyvänä selvityksenä Tampereen ammattikorkeakoulun Fieldlabin robotisoidun 3D-tulostimen ja sen alueen hiilijalanjäljen parantamiselle ja näkökulmien huomioonottamiselle. Selvityksessä esiin tulleita aiheita on suositeltava ottaa käyttöön ja kehittää sekä lisätä resursseja koulutukseen. Tulostin on suhteellisen uusi ja siihen sovelletaan paljon tekniikkaa sekä uusia materiaaleja, jotka vaativat jatkotutkimista. Panostamalla ja perehtymällä parhaisiin asetuksiin sekä materiaaleihin voidaan löytää huomattavasti tehokkaampia ratkaisuja, jotka tuovat paremman lopputuloksen tulostusprosessiin. Koulutuksien avulla luodaan paljon paremmat lähtökohdat koko prosessille jo alusta lähtien.

Opinnäytetyön tekeminen antoi valtavasti tietoa ja erilaisia näkökulmia liittyen uusiutuvaan energiaan ja hiilineutraalisuuteen sekä näiden kriittisyyteen tulevaisuuden suhteen. Päästöttömät energianlähteet ovat Suomen mittakaavassa jo isossa osassa, mutta täysin uusiutuvia energianlähteitä tarvitaan huomattavasti lisää. Aurinkokennoteknologian kehittäminen on yksi esimerkki erittäin potentiaalisesta ratkaisusta, mutta joka tarvitsee huomattavasti lisäresursseja kehitykseen.

Tämä opinnäytetyö toi ilmi hyviä jatkokehityskohteita, joita on suositeltavaa tutkia hiilineutraalisuuteen pääsemiseksi. Lämmitettävän tulostusalustan, tulostusparametrien sekä esimerkiksi jälkikäsitteilyn perusteellisella tutkimisella voidaan parantaa hiilijalanjälkeä huomattavasti, ja tämän takia näihin liittyvät opinnäytetyöt ovat hyvä jatkokehityskohde. Opinnäytetyössä kävi myös ilmi, että kappaleita menee paljon hukkaan pieleen menneen tulostusprosessin takia ja juuri siksi esimerkiksi oikeiden parametrien löytäminen juuri tälle tulostimelle on tärkeää hukan välttämiseksi. Suurimpana jatkokehityskohteena toimii ehdottomasti tulostinalustan hukkaenergian talteenotto ja sen energiatehokkuuden parantaminen. Tämä olisi todella hyvä aihe esimerkiksi energiatekniikan opiskelijalle.

Työtä tehdessä yksi huomiota herättävä asia oli suomenkielisten lähteiden niukkuus liittyen 3D-tulostukseen ja sen hiilineutraalisuuteen liittyvissä kysymyksissä. Ulkomaankielisiä artikkeleita sekä lähteitä löytyi huomattavasti enemmän ja asi-

aan tulisikin kiinnittää huomiota enemmän myös Suomessa. Tietoisuuden lisääminen liittyen 3D-tulostukseen ja sen ilmastovaikutuksiin myös kotimaan kielellä olisi tärkeä osa informaation lisäämisessä yhteiskunnassa. 3D-tulostaminen tulee kuitenkin olemaan yhä suuremmassa roolissa tulevaisuudessa kyseisen valmistusmenetelmän saavuttaessa yhä enemmän suosiota.

## LÄHTEET

AB3D. Druckdauer 3D Druck: Wie kann die Druckzeit optimiert werden? Verkkosivu. Viitattu 5.2.2024. <https://www.ab3d.at/druckdauer-3d-druck-wie-kann-die-druckzeit-optimiert-werden/>

Additive X. n.d. 6 Effects of Part Orientation on 3D Printed Parts. Verkkosivu. Viitattu 19.2.2024. <https://additive-x.com/blog/6-effects-of-part-orientation-on-3d-printed-parts/>

All3DP. Topology optimization in 3D Printing – The ultimate guide. Verkkosivu. Viitattu 13.2.2024. <https://all3dp.com/2/topology-optimization-simply-explained/>

AurinkoEki. n.d. Kuinka paljon aurinkosähköjärjestelmä tuottaa? Verkkosivu. Viitattu 20.2.2024. <https://www.energiaeki.fi/aurinkopaneelit/aurinkosahkojarjestelman-tuotto/>

Aurinkomaailma. n.d. Aurinkowatt 6.0 kWp asennettuna 14 paneelin järjestelmä. Verkkosivu. Viitattu 20.2.2024. <https://aurinkomaailma.fi/product/aurinkowatt-6-0-kwp-aurinkoenergiajarjestelma/>

Barnatt, C. 2016. 3D printing. 3. uud. painos. Yhdysvallat: CreateSpace Independent Publishing Platform

BCN3D. n.d. Orientation Matters. Verkkosivu. Viitattu 19.2.2024. <https://support.bcn3d.com/knowledge/orientation-matters>

Berninger, K. 2012. Hiilineutraali Suomi. Miten luodaan ilmastoystävällinen yhteiskunta. Helsinki: Gaudeamus Oy

Bioenergia. n.d. Tietopankki. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://www.bioenergia.fi/tietopankki/>

Carbon Trust. n.d. Carbon neutral verification. Verkkosivu. Viitattu 22.1.2024 <https://www.carbontrust.com/what-we-do/assurance-and-labelling/carbon-neutral-verification>

Emirates Nuclear Energy Corporation. n.d. How does a nuclear energy plant generate electricity? Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024 <https://www.enec.gov.ae/discover/how-nuclear-energy-works/how-does-a-nuclear-energy-plant-generate-electricity-/>

Energiateollisuus. 2022. Sähköntuotanto ja -käyttö. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot/sahkontuotanto-ja-kaytto/>

Energiateollisuus. n.d. Vesivoima. Verkkosivu. Viitattu 24.1.2024. <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima>

Euroopan parlamentti. 2018. Hiilidioksidipäästöjä vähentämässä: EU:n tavoitteet ja toimet. Verkkosivu. Viitattu 18.1.2024. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20180305STO99003/hiilidioksidipaastoja-va-hentamassa-eu-n-tavoitteet-ja-toimet>

Euroopan parlamentti. 2023. Mitä hiilineutraalius tarkoittaa ja miten se saavutetaan 2050 mennessä? Verkkosivu. Viitattu 18.1.2024. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20190926STO62270/mita-hiilineutraalius-tar-koittaa-ja-miten-se-saavutetaan-2050-mennessa>

European Commission. 2022. CO2 emissions of all world countries. Verkkosivu. Viitattu 18.1.2024. [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\\_2022](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2022)

FinnEnergia. n.d. Aktiivinen energiatehokkuus. Verkkosivu. Viitattu 29.1.2024 <https://www.finnenergia.fi/energiatehokkuus/>

Focus on the future: 3D printing. Trend report for assessing the environmental impacts. 2018. Pdf-dokumentti. Viitattu 31.1.2024. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fach-broschuere\\_3d\\_en\\_2018-07-04.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fach-broschuere_3d_en_2018-07-04.pdf)

Hydropower's nature. n.d. Vesivoimalan toimintaperiaate. Verkkosivu. Viitattu 24.1.2024 <https://www.vesivoimanluonto.org/fi/vesivoima-suomessa/vesivoimalan-toimintaperiaate/>

Ilmasto-opas. 2022. Liikenne on merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen tuottaja. Verkkosivu. Viitattu 20.1.2024 <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/liikenne-on-merkittava-kasvihuonekaasupaastojen-tuottaja>

Keravan energia. n.d. Vesi energian lähteenä. Verkkosivu. Viitattu 24.1.2024. <https://www.keravanenergia.fi/sahko/energialahteet/vesivoima/>

Keskitalo, J. 2011. Ihmiskunnan Energiakriisi. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press

LUT University. 2023. Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024 <https://www.lut.fi/fi/artikkelit/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa>

Lähienergia. n.d. Vesienenergia. Verkkosivu. Viitattu 24.1.2024. <https://lahienergia.org/lahienergia/vesienenergia/>

Motiva 2022. Aurinkosähköteknologiat. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024 [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahko-jarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahko-jarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat)

Motiva. 2023. Hiilidioksidipäästöt. Verkkosivu. Viitattu 24.1.2024. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/hiilidioksidipaastot](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/hiilidioksidipaastot)

Motiva. 2023. Tuulivoimateknologia. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024 [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoima-suomessa/tuulivoimateknologia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima-suomessa/tuulivoimateknologia)

Navigatormagazine. 2021. Maailman suurin 3D-tulostuksella valmistettu potkuri. Verkkosivu. Viitattu 30.1.2024. <https://navigatormagazine.fi/uutiset/maailman-suurin-3d-tulostuksella-valmistettu-potkuri/>

Omavoima. n.d. Spot-sähkö kuukausikeskihinnat tammikuu 2018 alkaen. Verkkosivu. Viitattu 20.2.2024. <https://omavoima.fi/spot-sahkon-hintahistoria/>

Peda.net. n.d. Geoterminen energia. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024 <https://peda.net/hankkeet/kam/ljl/earv/gerv>

Raza, S., Ghasali, E., Raza, M., Chen, C., Li, B., Orooji, Y., Lin, H., Karaman, C., Maleh, H., Erk, N. 2023. Advances in technology and utilization of natural resources for achieving carbon neutrality and a sustainable solution to neutral environment. Environmental Research. Volume 220. Viitattu 20.1.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0013935122024628#sec5>

Seppälä, J. 2014. Ilmastopaneeli. Kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa. Pdf-dokumentti. Viitattu 22.1.2014. [https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/Hiilineutraalisuus\\_taustaraportit\\_2014.pdf](https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/Hiilineutraalisuus_taustaraportit_2014.pdf)

Suomen Tuulivoimayhdistys. n.d. Tietoa tuulivoimasta. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2>

Sybridge technologies. 2022. The top challenges in additive manufacturing and how to overcome them. Verkkosivu. Viitattu 31.1.2024. <https://sybridge.com/top-challenges-additive-manufacturing-how-to-overcome-them/>

TheCable. 2022. The opportunities and challenges of 3D printing. Verkkosivu. Viitattu 30.1.2024. <https://www.thecable.ng/the-opportunities-and-challenges-of-3d-printing>

Tilastokeskus. 2023. Sähkön tuotanto tuulivoimalla ja ydinvoimalla nousivat vuonna 2022. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://www.stat.fi/julkaisu/cl8mo29omxf8t0dukkyy5aa8i1>

Toor, R. 2023. The 3D Printing Waste Problem: Causes and Solutions. Verkkosivu. Viitattu 19.2.2024. <https://www.linkedin.com/pulse/3d-printing-waste-problem-causes-solutions-ravi-toor-cbgee/>

Tuni. 2022. Ekologinen vastuu. Verkkojulkaisu. Viitattu 11.1.2024 <https://www.tuni.fi/fi/tutustu-meihin/kestava-kehitys-korkeakouluyhteisossa/ekologinen-vastuu>.

Työ- ja elinkeinoministeriö. n.d. Uusiutuva energia Suomessa. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://tem.fi/uusiutuva-energia>

Työ- ja elinkeinoministeriö. n.d. Ydinvoimalaitoksilta tulee kolmannes Suomen sähköntuotannosta. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://tem.fi/ydinenergia>

Vattenfall. n.d. Aurinkovoima. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/aurinkovoima/>

Vattenfall. n.d. Tuulivoima. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/tuulivoima/>

Vattenfall. n.d. Ydinvoima. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/ydinvoima/>

**LIITTEET**

Liite 1. Tulostinekstruuderin tekniset tiedot. (CEAD n.d.)

# General information

## Specifications

Robot Extruder Version:	2.0
Serial Number:	RE-A-XX
Serial plate position:	On the side of the base-unit, above the electrical cabinet

---

Power:	3 Phase 400V 50-60Hz
Connector type:	3P+N+PE CEE 16A plug
Incoming air pressure:	6-10 Bar (87-145 Psi)

---

Extruder dimensions:	860 x 230 x 340 mm
Extruder weight:	29kg

---

Base-unit dimensions:	1150 x 1220 x 800 mm
Base-unit weight:	150kg

## Contact information

### CEAD BV

Turbineweg 18  
2627BP Delft

T: +31 (0)15 - 737 01 83

E: info@ceadgroup.com



Always refer to the serial number of your Robot Extruder when contacting CEAD. The serial number starts with 'RE' and can be found on the CE-nameplate on the left side of the base-unit.



## Liite 2. ABB teollisuusrobotin tekniset tiedot (ABB n.d.)

**1 Description**

## 1.1.2 Different robot versions

**1.1.2 Different robot versions****General**

The IRB 4600 is available in four versions and all versions can be floor mounted, inverted or tilted (up to 15 degrees around the Y-axis or X-axis).

Robot variants	Handling capacity (kg)	Reach (m)
IRB 4600-60/2.05	60	2.05
IRB 4600-45/2.05	45	2.05
IRB 4600-40/2.55	40	2.55
IRB 4600-20/2.50	20	2.50

**Manipulator weight**

Robot variants	Weight
IRB 4600-60/2.05	445 kg
IRB 4600-45/2.05	445 kg
IRB 4600-40/2.55	465 kg
IRB 4600-20/2.50	430 kg

**Other technical data**

Data	Description	Note
Airborne noise level	The sound pressure level outside the working space	<72 dB (A) Leq (acc. to Machinery directive 2006/42/EG)

**Power consumption at max speed (vmax)**

Type of movement	IRB 4600			
	-60/2.05	-45/2.05	-40/2.55	-20/2.50
ISO Cube Max. velocity	1.53 kW	1.43 kW	1.62 kW	1.50 kW

Robot in calibration position	IRB 4600			
	-60/2.05	-45/2.05	-40/2.55	-20/2.50
Brakes engaged	0.24 kW	0.24 kW	0.24 kW	0.24 kW
Brakes disengaged	0.66 kW	0.60 kW	0.65 kW	0.52 kW

*Continues on next page*