

Johanna Honka

# UUSIUTUVAAN ENERGIAAN LIITTYVÄ OPETUS SUOMEN YLIOPISTOISSA

Kandidaatin työ  
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta  
Tarkastaja: Seppo Valkealahti  
Toukokuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Johanna Honka: Uusiutuvaan energiaan liittyvä opetus Suomen yliopistoissa  
Engl: Renewable Energy Education in Finnish Universities  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma  
Toukokuu 2022

---

Energiasektorilla on valtava vaikutus kasvihuonepäästöihin. Puhtaammat energian tuotantomuodot ovat välttämättömiä ilmastonmuutoksen torjumisessa. Energiasektori tulee kokemaan ison muutoksen EU:n asettaman hiilineutraaliustavoitteen myötä. Uusiutuvan energian tuotanto kasvaa nopeasti, minkä vuoksi siihen liittyvän opetuksen tutkiminen on ajankohtaista.

Tässä työssä kartoitettiin Suomen yliopistojen uusiutuvaan energiaan liittyvän opetuksen tämän hetkinen tila. Tarkoituksena oli tarkastella uusiutuvaan energiaan liittyviä kursseja ja tuoda esille niiden ydinsisältö ja osaamistavoitteet. Työ tehtiin kirjallisuuskatsauksena. Suurin osa työssä käytetystä datasta kerättiin kaikille avoimesta SISU-opintojärjestelmästä. Uusiutuvaan energiaan liittyvät tutkinto-ohjelmat sekä osa kurssien tiedoista saatiin yliopistojen verkkosivuilta. Lisäksi työn alussa uusiutuvan energian tuotantomuodot esiteltiin.

Tutkimuksessa käy ilmi, että uusiutuvan energian tuotantomuodot ovat kovassa kasvussa niiden taloudellisuuden ja ympäristöystävällisyyden vuoksi. Aurinko- ja tuulivoima ovat kaikista kasvavimmat uusiutuvan energian tuotantomuodot. Suomessa on yhteensä neljä yliopistoa, joissa voi erikoistua uusiutuvaan energiaan. Opetus painottuu sähkö- ja energiatekniikan maisteriohjelmiin. Kurssit käsittelevät muun muassa uusiutuvan energian tuotantomuotoja sekä niiden kapasiteettivaatimuksia, taloudellisuutta ja tulevaisuudennäkymiä. Lisäksi kursseilla puhutaan hajautetusta energiantuotannosta, energiatehokkuudesta ja energiasektorin muutoksesta. Aurinko- ja tuulivoimaa painotetaan opetuksessa paljon ja molemmille tuotantomuodoille löytyy useita syventäviä kursseja yliopistoista.

Työ osoittaa, että LUT-yliopistosta löytyy eniten uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta. LUT-yliopisto on myös ainut Suomen yliopisto, jossa voi suorittaa täysin bioenergiaa käsittelevän maisteriohjelman. Vaasan yliopistosta löytyy vähiten aiheeseen liittyvää opetusta. Työn lopputulemana päästään siihen, että Suomen yliopistoissa on kattava valikoima uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta. Pääpaino opetuksessa on tuuli-, aurinko- ja bioenergiassa sekä hajautetussa energiantuotannossa. On todennäköistä, että opetus lisääntyy tulevaisuudessa uusiutuvan energiantuotannon kasvaessa.

Avainsanat: Uusiutuva energia. Uusiutuvat energianlähteet. Hajautettu energiantuotanto. Koulutus. Suomen yliopistot.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. UUSIUTUVA ENERGIA .....	3
2.1 Aurinko- ja tuulivoima .....	4
2.2 Vesivoima .....	6
2.3 Bio- ja geoterminen energia .....	7
3. OPETUS TAMPEREEN YLIOPISTOSSA .....	9
3.1 Kandidaattitason kurssit .....	9
3.2 Maisteritason kurssit .....	10
4. OPETUS LUT-YLIOPISTOSSA .....	12
4.1 Kandidaattitason kurssit .....	12
4.2 Maisteritason kurssit .....	13
5. OPETUS AALTO-YLIOPISTOSSA .....	16
5.1 Maisteritason kurssit .....	16
6. OPETUS VAASAN YLIOPISTOSSA .....	19
6.1 Maisteritason kurssit .....	19
7. YHTEENVETO .....	21
LÄHTEET .....	23

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

EU	Euroopan unioni
DI	Diplomi-insinööri
$\rho$	Tiheys
$P$	Teho
$A$	Pinta-ala
$v$	Nopeus

# 1. JOHDANTO

Ihmisten energianmäärän tarve kasvaa maapallon väkiluvun kasvaessa. Energiasektori tuottaa jopa kaksi kolmasosaa kaikista kasvihuonepäästöistä. Puhtaammilla energiantuotantomuodoilla pyritään hidastamaan ilmastonmuutosta ja hillitsemään haitallisia kasvihuonepäästöjä. Edelleen lämmityksen, teollisuuden ja liikenteen sähköistyessä sähkön kulutus tulee kasvamaan. Jotta ilmaston lämpeneminen saataisiin hallintaan ja suurimmilta haitoilta välttyttäisiin, tulisi maailman sähköntuotannosta 85 % tuottaa uusiutuvilla energianlähteillä vuoteen 2050 mennessä. Arviolta lähes 40 miljoonaa ihmistä työllistyisi uusiutuvan energian ja energiatehokkuuden parissa, jos tavoite toteutuu. [1]

Euroopan unionin vaatima uusi ilmastolaki astui voimaan kesällä 2021. Laki linjaa EU:n olevan maailman ensimmäinen hiilineutraali maanosa vuoteen 2050 mennessä. Lisäksi laki velvoittaa, että vuoteen 2030 mennessä tulee kasvihuonekaasupäästöjä vähentää 55,5 % vuoden 1990 tasosta. Laki edellyttää näin kaikkia EU-maita investoimaan uusiutuviin energiateknologioihin. [2]

Irtautuminen fossiilisista polttoaineista pakottaa yliopistot lisäämään uusiutuvan energian, energiatehokkuuden ja hajautetun energiantuotannon opetuksen määrää, jotta osaaminen alalla olisi taattua tulevaisuudessa. Tässä työssä tutustutaan uusiutuvan energian opetukseen Suomen yliopistoissa. Tarkoituksena on kartoittaa, paljonko uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta annetaan ja mihin opetus keskittyy Suomessa. Tavoitteena on esitellä opiskelumahdollisuudet ja luoda kuva siitä, mitä eri yliopistot painottavat uusiutuvaan energiaan liittyvässä opetuksessaan.

Uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta annetaan Suomen yliopistoissa monesta eri näkökulmasta riippuen yliopistosta, tiedekunnasta ja tutkinto-ohjelmasta. Tässä työssä tarkastelun kohteena on tekniikan aloilla annettava opetus, joten yliopistoista tarkasteltavaksi valikoituivat Tampereen yliopisto, LUT-yliopisto, Aalto-yliopisto sekä Vaasan yliopisto. Työn sisältö painottuu näin uusiutuvan energian tekniikan opetuksen tutkimiseen.

Aluksi uusiutuvan energiaan liittyvät käsitteet määritellään, minkä jälkeen analysoidaan lyhyesti kunkin uusiutuvan energiateknologian toimintaperiaatteita, kapasiteettia, sähköntuotantomääriä ja tulevaisuuden näkymiä. Tämän jälkeen tarkastellaan kaikkia

Suomen neljää yliopistoa, jotka tarjoavat uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta. Uusiutuvan energian opetusta sisältävät koulutusohjelmat ja kurssien ydinsisällöt esitellään yliopistoittain. Lopuksi työssä käsitellyt aiheet kootaan yhteen ja vertaillaan opetusta yliopistojen kesken. Lisäksi luodaan johtopäätös siitä, mitä Suomen yliopistot painottavat uusiutuvaan energiaan liittyvässä opetuksessaan.

## 2. UUSIUTUVA ENERGIA

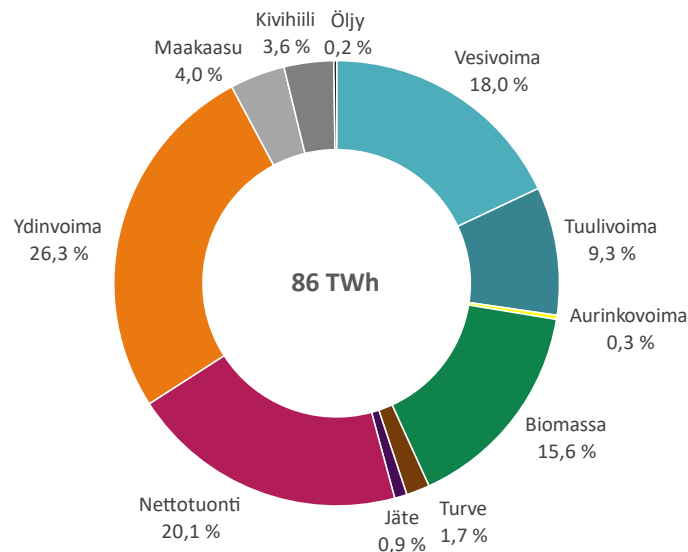
Energianlähteet voidaan jakaa uusiutuviin ja uusiutumattomiin. Uusiutuvalla energialla tarkoitetaan sellaista energiaa, joka on loppumatonta pitkällä aikavälillä käytettäessä kestäväällä tavalla. Uusiutuvien energialähteiden käyttö kestävästi tarkoittaa, että kulutuksen tahti on yhtä nopeaa tai hitaampaa, kuin energialähteen uudelleensyntymiseen tarvitaan. Uusiutuvien energialähteiden käyttö ja kerääminen eivät myöskään aiheuta merkittävässä määrin haitallisia vaikutuksia ympäristölle. Näin ollen niiden käyttö ei lisää hiilidioksidin määrää ilmakehässä pitkällä aikavälillä. Uusiutumattomat energianlähteet ovat puolestaan ehtyviä. Tällaisia ovat esimerkiksi öljy, hiili ja kaasu, jotka ovat toimineet ihmiskunnan pääenergialähteenä jo yli 100 vuoden ajan. Uusiutumattomien energianlähteiden käyttö aiheuttaa ympäristöön haitallisia päästöjä. Ilmastonmuutos on ajanut ihmiskuntaa etsimään vaihtoehtoisia energiamuotoja ja tästä syystä uusiutuvien energialähteiden käyttö tulee lisääntymään merkittävästi tulevien vuosien aikana. [3, s. 2]

Uusiutuvan energian tuotantomuodoiksi määritellään aurinko-, tuuli-, vesi-, aalto-, bio- ja geoterminen energia. Uusiutuvan energian lähteet ovat peräisin maapallon luonnollisista energiavirroista, ja useimpien päälähde on auringon säteilyenergia suorasti tai epäsuorasti. Maan pinnalle tuleva auringonsäteily on noin 1 500 000 000 TWh vuodessa, josta noin 30 % heijastuu takaisin avaruuteen. Maapallolle jääneen aurinkoenergian määrä vuodessa on noin 10 000 kertaa enemmän kuin fossiilisten ja ydinpolttoaineiden kulutus oli vuonna 2015. [3, s. 13-15]

Uusiutuviin energiajärjestelmiin liittyy läheisesti hajautettu energiantuotanto. Yleisesti hajautettu energiantuotanto määritellään sellaiseksi tuotannoksi, joka on lähellä kulutusta. Sitä ei myöskään ole kytketty korkeajännitteiseen siirtoverkkoon eli se on kooltaan pienimuotoista. Merkittävä osa hajautetusta energiantuotannosta on peräisin uusiutuvista energialähteistä, koska niiden tuotanto on usein hyvin paikallista. Uusiutuvat energianlähteet ovat myös hyvin aikariippuvaisia, minkä vuoksi sähköenergian varastoinnin tärkeys korostuu tulevaisuuden energiajärjestelmissä. [4, s. 725-726]

Uusiutuvan energian tuotantokapasiteetti maailmanlaajuisesti oli 2888 GW vuoden 2020 loppuun mennessä ja kapasiteetti kasvoi edeltävään vuoteen verrattuna 198 GW.

Samana vuonna sähköenergiaa tuotettiin uusiutuvilla energianlähteillä 7486 TWh, joka oli 27 % koko sähköntuotannosta. [5]



**Kuva 1.** Suomen sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2021. [6]

Kuvasta 1. nähdään Suomen sähköntuotannon rakenne energialähteittäin. Vesivoima ja biomassa ovat tällä hetkellä suurimmat uusiutuvan energian lähteet Suomessa. Aurinko- ja tuulivoima ovat kuitenkin kasvavimmat sähköenergian tuotantomuodot.

## 2.1 Aurinko- ja tuulivoima

Aurinkoenergialla tarkoitetaan auringon säteilyenergian hyödyntämistä energiantuotannossa. Aurinkoenergian tuotanto voidaan jakaa kahteen osaan: aurinkosähkö ja aurinkolämpö. Aurinkolämpöjärjestelmissä aurinkokeräin muuntaa auringon säteilyn lämmöksi, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi veden lämmittämiseen. Suurin osa maailman aurinkoenergiasta tuotetaan kuitenkin aurinkosähkön avulla. [3, s.13] Aurinkoenergian asennettu kapasiteetti globaalisti oli 716 GW vuonna 2020. Samana vuonna sähköenergiaa tuotettiin 693 063 GWh aurinkovoimalla. [7]

Aurinkosähköä tuotetaan käyttämällä aurinkokennoja. Aurinkokennot ovat puolijohdelaitteita, jotka muuntavat auringonsäteilyn suoraan sähköksi. Fotoni, eli auringon säteilyenergiaa kuljettava hiukkanen luovuttaa energiansa aurinkokennolle



osuessaan siihen. Aurinkokennojen materiaalien elektronit saavat näin energiansa fotoneilta, jolloin syntyy sähkövirtaa. Kennojen materiaalina toimii tyypillisesti yksi- tai monikiteinen pii. Aurinkopaneelit ovat yksittäisten aurinkokennojen sarjaan tai rinnan kytkettyjä kokonaisuuksia, jotka tuottavat tasavirtaa. Paneelit mahdollistavat halutun jännitteen ja virran saavuttamisen. [8]

Aurinkoenergia on halpaa, äänetöntä ja sitä on saatavilla suurimmassa osassa maapalloa. Sillä ei myöskään ole liikkuvia komponentteja, jotka vaatisivat jatkuvaa huoltoa. Se on kuitenkin hyvin aika- ja paikkariippuvainen uusiutuvan energian lähde. Suomessa aurinkosähkön tuotantopotentiaali rajoittuu kesäaikaan, kun taas sähkönkulutus on huipussaan talvisin. Aurinkosähkön varastointimenetelmien kehittyminen voisi mahdollistaa aurinkosähköstä hyötymisen isommassa mittakaavassa.

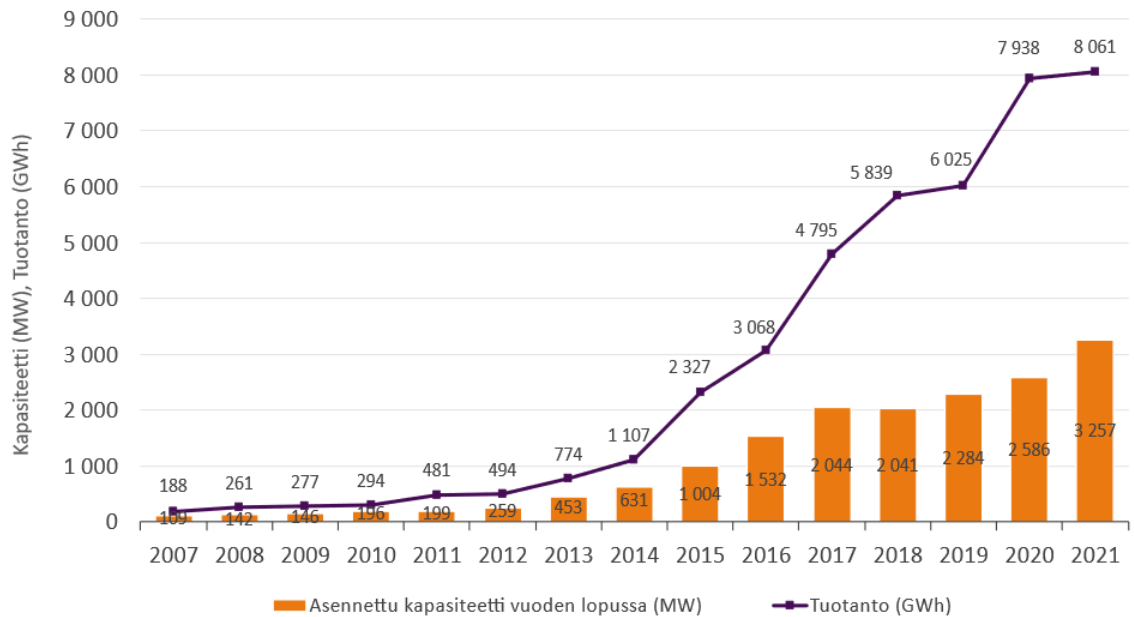
Tuulivoimaa tuotetaan muuttamalla tuulen eli ilman virtauksen liike-energia ensin mekaaniseksi energiaksi ja sitten sähkögeneraattorin avulla sähköenergiaksi. Tuulivoima on aurinkoenergian ilmentymä, sillä auringon säteily aiheuttaa ilmaan paineeroja, joista tuulet syntyvät.

Ilmavirtauksen teho voidaan laskea kaavalla

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A v_0^3 \quad (2.1)$$

missä  $\rho$  on ilmantiheys,  $A$  tuulivoimalan lapojen pyyhkäisyypinta-ala ja  $v_0$  tuulen nopeus. Tuulivoimasta saatava energia riippuu siis merkittävästi ilmavirtauksen nopeudesta, joten voimalan paikka tulee huomioida tarkasti suunnitteluvaiheessa. Tuulivoimalan hyötysuhteen teoreettinen yläraja on 59 % Benzin lain mukaan. Todellisuudessa hyötysuhteet ovat kuitenkin tätä vähemmän. [9, s. 267] Kapasiteettikerroin kertoo, paljonko voimala tuottaa vuodessa sähköä suhteessa teoreettiseen maksimiin. Suomessa tuulivoimaloiden keskimääräinen kapasiteettikerroin tänä päivänä on 33 %. [10]

Tällä hetkellä tuulivoima on kaikista edullisin tapa saada lisää sähköntuotantokapasiteettia. Voimaloiden sähköntuotanto on kasvanut viimeisen 25 vuoden ajan lähes satakertaiseksi [11]. Tuulivoimala tuottaa 5-8 kuukaudessa sen verran sähköä, mitä sen valmistamiseen, rakentamiseen ja purkuun kuluu. Tekniseltä käyttöikältään ne ovat noin 25-30 vuotta. [12]



**Kuva 2.** Tuulivoiman asennettu kapasiteetti ja tuotanto Suomessa. [13]

Vuonna 2021 tuulivoimalla tuotettiin sähköenergiaa globaalisti 1818 TWh ja sen kapasiteetti oli tuolloin 825 GW. Samana vuonna rakennettiin uutta kapasiteettia 89 GW. [5] Myös Suomessa kasvu on ollut nopeaa, kuten kuvasta 2. nähdään. Tuulivoiman huima teknologinen kehitys, kustannusten lasku sekä päästöttömyys ovat syitä sen nopeaan kasvuun ja suosioon.

## 2.2 Vesivoima

Vesivoima on peräisin veden liike-energiasta. Liike-energia saadaan muutettua sähköenergiaksi, kun kahden eri korkeustason läpi putoava vesi pyörittää turbiinia, joka edelleen saa sähkögeneraattorin pyörimään. Vesivoimaloiden teho on sidonnainen virtaavan veden voimakkuuteen sekä korkeuden muutokseen. [3, s.128]

Vesivoimalat ovat päästöttömiä ja niiden sijainti määräytyy veden saatavuuden mukaan. Esimerkiksi Norjassa, jossa olosuhteet vesivoimalle ovat otolliset, tuotetaan 99 % sähköenergiasta vesivoimalla [14]. Vesivoima on uusiutuva energian lähde, koska veden kiertokulku on jatkuvaa. Veden kiertokulku on peräisin auringosta, joka lämmittää jokia, meriä ja järviä. Näiden vesi höyrystyy ilmakehään, josta se lopulta sataa takaisin vesistöihin ja maahan. [15]

Energialähteenä vesivoima on jatkuva-aikainen, ennustettava ja helposti säädettävä. Veden potentiaalienergiaa voidaan varastoida isoihin patoaltaisiin, joista sitä voidaan hyödyntää kysynnän mukaan [3, s. 128]. Näin pystytään nopeasti reagoimaan sähkön kulutuspiikkeihin, mikä tekee siitä luotettavan energialähteen. Vesivoimaa on myös mahdollista tuottaa ilman altaita esimerkiksi joissa, jolloin tuotanto on paljon pienempää. Lisäksi sitä pystytään käyttämään myös tulvien estossa, kastelujärjestelmissä sekä veden jakelussa. [16]

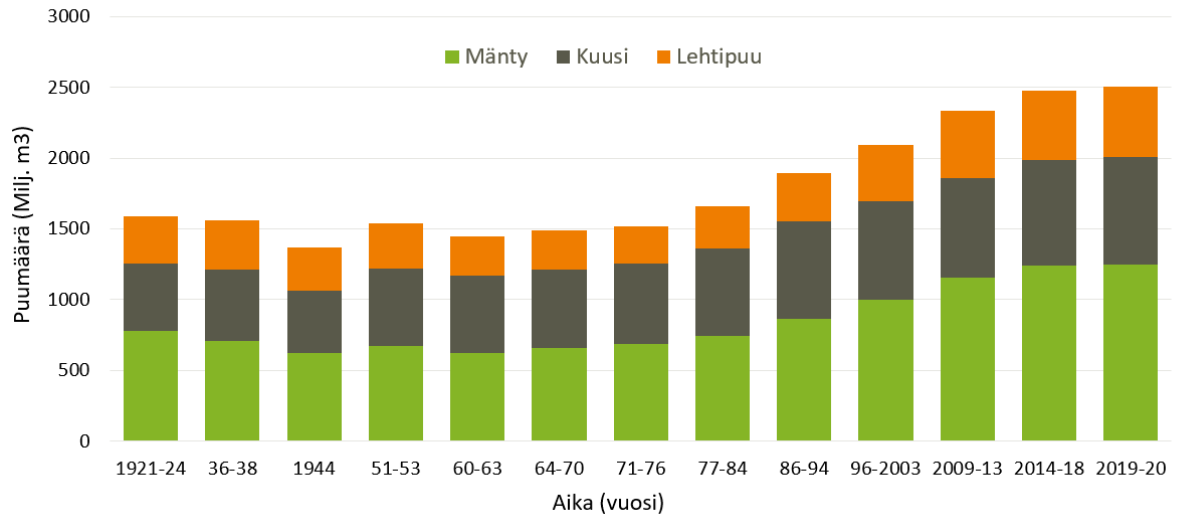
Tällä hetkellä vesivoima on kaikista hallitsevin uusiutuvan energian muoto maailmassa. Vesivoiman sähköntuotanto globaalisti oli 4330 TWh vuonna 2020, jolloin sen osuus kaikesta tuotetusta sähköenergiasta oli 17 % [17]. Samana vuonna vesivoimaa asennettiin 21 GW:ia lisää, jolloin maailmanlaajuinen kapasiteetti saavutti 1 330 GW arvon. Kiinassa on vesivoimaa asennettuna 370 GW, joka on eniten maailmassa. [18]

Vesivoima on halpa tapa tuottaa sähköä verrattuna muihin sähköntuotantomuotoihin. Merkittävä osa kustannuksista kuluu voimalan rakentamiseen sekä sähkömekaanisten laitteiden kustannuksiin. Vesivoimalaitokset ovat kuitenkin pitkiä käyttöiältään, joten voimalan rakentaminen kannattaa taloudellisesti. Myös käyttökustannukset ovat pieniä, sillä laitteistot pysyvät yleensä pitkään hyvinä ilman korjauksia tai osien vaihtamista. [17] Vesivoima on kuitenkin hyvin paikkariippuvaista, eikä uusia voimaloita voida rakentaa rajattomasti lisää.

## 2.3 Bio- ja geoterminen energia

Bioenergialla tarkoitetaan biopolttoaineista saatua energiaa. Sillä voidaan tuottaa sekä lämpöä että sähköä. Bioenergian osuus kokonaisenergiankulutuksesta on Suomessa suuri verrattuna muihin teollisuusmaihin. Vuonna 2021 biopolttoaineiden kysyntä globaalisti oli 157 biljoonaa litraa. Koko maailman energiantuotannosta se vastaa noin kymmenesosaa. [19]

Biomassa eli biopolttoaineet ovat peräisin esimerkiksi puusta, bioperäisistä jätteistä ja peltokasveista. Bioenergia ei lisää hiilidioksidipäästöjä, sillä biomassan poltossa vapautuva hiili sitoutuu takaisin uuteen biomassaan pitkällä aikavälillä. Sen käytöllä voidaan myös vähentää muita haitallisia päästöjä, kuten rikki- ja raskasmetallipäästöjä. [20]



**Kuva 2.** Suomen metsien puumäärä. [21]

Suomi on bioenergian kärkimaita EU:ssa. Syy piilee metsäteollisuudessa, joka on suurin bioenergian tuottaja ja kuluttaja Suomessa. Metsävarat kasvavat vuodessa yli 100 miljoonaa kuutiometriä Suomessa. [21] Kasvu nähdään kuvasta 2.

Geoterminen energia tarkoittaa lämpöenergiaa, joka on varastoitunut maan kuoren pinnan alle. Toisin kuin monet muut uusiutuvat energian lähteet, se ei ole peräisin auringon säteilyenergiasta vaan epävakaiden atomien radioaktiivisesta hajoamisesta. Ihmiskunnan käytön näkökulmasta sitä on varastoitunut maapallon kuoren alle ehtymätön määrä, mikä tekee siitä uusiutuvan energianlähteenä. Kestävä käyttö edellyttää kuitenkin kulutuksen rajoittamista tuotantonopeuteen. [22, s.34]

Geotermistä energiaa saadaan maanalaisista kuumista vesivarastoista. Sitä voidaan myös varastoida suoraan kuumien lähteiden lämpöenergiasta ja tästä syystä Islanti on merkittävä geotermisen energian tuottajamaa. [23] Lämpöenergiaa voidaan hyödyntää lämmityksessä tai sähköntuotannossa. Sähköntuotanto edellyttää kuitenkin yli 100 celsiusasteen geotermisiä lämpötiloja. [24, s.1]

Geotermisen energian kapasiteetti maailmanlaajuisesti vuonna 2021 oli 16 GW, jolloin kapasiteettia lisättiin 0,6 GW. [5] Sen haasteita ovat syvien reikien korkeat poraamiskustannukset. Syvällä maan pinnan sisällä olevaa vettä ei myöskään voida suoranaisesti käyttää kaukolämmössä, sillä se sisältää rikkioksidia, typpioksidia, metaania ja muita kaukolämmölle haitallisia pitoisuuksia. [23]

### 3. OPETUS TAMPEREEN YLIOPISTOSSA

Uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta tarjotaan Tampereen yliopiston Hervannan kampuksella. Uusiutuvasta sähköenergiatekniikasta muodostuva opintokokonaisuus on mahdollista valita pääaineeksi maisterivaiheessa sähkötekniikan DI -koulutusohjelmassa. Tekniikan alan opiskelijat voivat suorittaa sen myös sivuainekokonaisuutena, jolloin sen laajuus on 20 opintopistettä [25]. Sähkötekniikan kandidaatin tutkinnon pääaineista puolestaan sähköenergiatekniikka ja tehoelektronikka sisältävät uusiutuvaan energiaan liittyviä opintoja. Uusiutuvaan energiaan liittyviä kursseja on myös mahdollista valita vapaasti valittavina opintoina täydentämään tutkintoa. Lisäksi sähkötekniikan opintoihin kuuluu sähköenergian varastointiin liittyviä kursseja, jotka liittyvät läheisesti uusiutuvan energian opetukseen. [26]

Tampereen yliopistossa on myös mahdollista valmistua energiatekniikan diplomi-insinööriksi. Kyseinen koulutusohjelma keskittyy enemmän polttotekniikkaan, biojalostukseen sekä voimalaitostekniikkaan, joten uusiutuvaan energiaan liittyvä opetus on näin suuntautunut sähkötekniikan opintoihin [27].

#### 3.1 Kandidaattitason kurssit

Sähköenergiatekniikan pääaineeseen sisältyy kolme uusiutuvan energian johdatuskurssia. Nämä ovat *Johdatus uusiutuviin energialähteisiin*, *Aurinkosähkön perusteet* ja *Tuulivoiman perusteet*, joista kaksi jälkimmäistä on mahdollista valita myös tehoelektronikan pääaineessa. Kurssit luovat pohjan maisterivaiheen *Uusiutuvat sähköenergiateknologiat* – pääaineeseen. [28, 29]

*Johdatus uusiutuviin energialähteisiin* – kurssi esittelee eri uusiutuvat energialähteet ja antaa valmiudet selittää niiden fysikaaliset ilmiöt energiantuotannon taustalla. Kurssilla opitaan eri energiamuotojen etuja ja haasteita, sekä niiden merkitystä ilmastonmuutoksen torjumisessa. Kurssilla vertaillaan energianvarastointitekologioita ja esitellään niiden pääperiaatteita. Myös vetytalous, polttokennotyypit ja niiden toimintaperiaate ovat osa kurssia. Kurssi antaa yleiskäsityksen Suomen energiantuotannon ja -kulutuksen rakenteesta. Tavoitteena on auttaa vertailemaan ja suhteuttamaan eri uusiutuvan energian muotoja ilmastonmuutoksen torjumisen kannalta. [30]

*Aurinkosähkön perusteet* -kurssi antaa yleiskuvan aurinkosähköstä ja sen toimintaperiaatteista sekä roolista energiantuotannossa ja ilmastonmuutoksen hillinnässä. Kurssilla opetetaan fysikaaliset ilmiöt, joihin aurinkosähkö perustuu. Lisäksi yleisimmät aurinkokennotyypit sekä niiden ominaisuudet esitellään. Kurssin ydinsisältöön kuuluu myös tietämys aurinkosähkön taloudellisesta kilpailukyvyistä, markkina-asemasta sekä kehityspotentiaalista. [31]

Kolmannen johdattelukurssin, *Tuulivoiman perusteet*, tavoitteena on antaa kuva tuulivoiman monialaisuudesta. Tarkoituksena on luoda käsitys erilaisista meteorologisista, mekaanisista, sähköteknisistä ja virtausopillisista haasteista, joita tuulivoimahankkeet pitävät sisällään. Kurssin ydinsisältöön kuuluu esimerkiksi tuulivoimalan roottorin fysiikan tunteminen sekä eri voimalatyyppien erottaminen. Kurssilla perehdytään myös alan tärkeimpiin käsitteisiin, kuten voimalan huipunkäyttöaikaan, kokonaishyötysuhteeseen sekä kapasiteettikertoimeen. Osaamistavoitteena on oppia arvioimaan tuulivoimalan energiantuotantoa. Lisäksi kurssilla tutustutaan tuulivoimahankkeisiin liittyviin suunnitteluprosesseihin. [32]

## 3.2 Maisteritason kurssit

*Uusiutuvat sähköenergiajärjestelmät* - pääaineeseen sisältyy kolme uusiutuvaan energiaan liittyvää pakollista kurssia: *Solar Power Systems*, *Wind Power Systems* ja *Polttokennot ja vety*, joista kaksi ensimmäistä ovat englanninkielisiä kursseja. Nämä kurssit syvenyvät tarkemmin aiheisiin johdatuskursseihin verrattuna. [33]

*Solar Power Systems* syvenyy aurinkosähkön tuotantotekniikoihin. Kurssin ydinsisältöön kuuluvat erilaiset aurinkokennomateriaalit, sähköverkkoliitännät ja järjestelmien asennukset. Kurssilla tutustutaan eri ympäristöolosuhteissa toimiviin aurinkosähköjärjestelmiin ja opitaan, miten ympäristö ja ilmasto-olosuhteet vaikuttavat niiden toimintaan. [34]

*Wind Power Systems* käsittelee tuulivoiman laajamittaista vaikutusta sähköenergiajärjestelmissä ja sähkömarkkinoilla. Kurssilla opitaan mallintamaan ja analysoimaan tuulipuiston suorituskykyä. Lisäksi kurssilla tarkastellaan, mikä on tehoelektronikan komponenttien rooli tuulivoiman tuotannossa ja miten tuulivoimala hyödyntää tuulienergiaa optimaalisesti. Kurssi valmistaa opiskelijaa argumentoimaan tuulivoimaa eri näkökulmista. [35]

Polttokennoja käsittelevä kurssi, *Polttokennot ja vetyteknologia*, esittelee polttokennojen rakenteen ja niiden toimintamekanismin sekä vedyn eri valmistus – ja

varastointimenetelmät. Lisäksi kurssi antaa käsityksen kennojen häviöistä ja miten niihin voidaan vaikuttaa. Osaamistavoitteena on pystyä arvioimaan polttokennojen potentiaalia sähkön ja lämmön tuotannossa sekä keskustelemaan vetytalouden tulevaisuuden tilasta. [36]

Lisäksi toinen sähkötekniikan maisteritason pääaineista, *Smart Grid*, käsittelee uusiutuvaan energiaa jossain määrin. Kyseiseen pääaineeseen kuuluva *Introduction to Smart Grids and Renewable Energy* on toinen Tampereen yliopiston tarjoama uusiutuvan energian johdatuskurssi. Kurssi on mahdollista sisällyttää myös tehoelektronikan kandidaattivaiheen opintoihin. [29] Kurssilla luodaan yleiskatsaus älykkäiden verkkojen rakenteeseen, toimintoihin, tavoitteisiin ja niiden rooliin sähköverkoissa, joten sen sisältö eroaa kurssista *Johdatus uusiutuviin energialähteisiin*. Älykkäiden verkkojen lisäksi kurssilla esitellään uusiutuvat ja uusiutumattomat energianlähteet sekä luodaan käsitys niiden riittävydestä ja kapasiteetista globaalisti. [37] Kurssi luo hyvän pohjan *Distributed Energy Resources in Electricity Networks* – kurssille, joka käsittelee hajautetun energiantuotannon lähteitä sekä ominaisuuksia. [38] Lisäksi *Smart Grids* – pääaine sisältää edellä mainitut *Solar Power Systems*- ja *Wind Power Systems* – kurssit.

Uusiutuvaan energiaa käsittelevien kurssien lisäksi Tampereen yliopistossa on mahdollista valita kursseja, joiden sisältö sivuaa osin uusiutuvaa energiaa. Esimerkiksi *Sähkömarkkinat* - kurssi antaa yleiskuvan sähkömarkkinoista ja niiden tulevaisuuden näkymistä ilmaston ja energiastrategioiden kannalta, johon uusiutuva energia on vahvasti kytköksissä. [39] Sähkötekniikan opintoihin kuuluu myös paljon sähkön varastointiin liittyviä kursseja, joita on mahdollista valita myös uusiutuvan energian pääaineeseen.

## 4. OPETUS LUT-YLIOPISTOSSA

LUT-yliopisto (Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT) on tekniikkaan ja kauppatieteisiin erikoistunut yliopisto, joka kuvailee puhtaasti energian olevan yksi pääpainopisteistään tekniikan alojen opetuksessa. Yliopistossa työskentelee oma hiilinegatiivisuustiimi ja LUT on asettanut tavoitteekseen olla hiilinegatiivinen kampus vuoden 2024 loppuun mennessä. [40]

Uusiutuvaan energiaan liittyviä opintoja on mahdollista suorittaa kandidaatti-, maisteri- ja tohtorihjelmissä. Kurssit käsittelevät muun muassa bioenergiaa, energiataloutta sekä aurinko- ja tuulivoimaa. Toisin kuin Tampereen yliopistossa, LUTin uusiutuvaan energiaan liittyvä opetus ei ole keskittynyt sähkötekniikan opetukseen. Bioenergialle löytyy kokonaan oma maisteriohjelmansa *Bioenergy Systems*. Maisteriohjelmista suomenkielinen energiatekniikan koulutusohjelma sekä sitä vastaava englanninkielinen *Energy Conversion* sisältävät uusiutuvaan energiaan liittyviä opintoja. Osa kursseista sisältyy myös *Nuclear Engineering* -maisteriohjelmaan. Kokonaan uusiutuvasta energiasta muodostuva sivuaineopintokokonaisuus *Renewable Energy and Energy Efficiency* on mahdollista valita *Energy Conversion* sekä ympäristötekniikan *Sustainability Science and Solutions* - maisteriohjelmissä. Lisäksi sähkötekniikan tutkinto-ohjelmaan kuuluva pääainekokonaisuus *Solar Economy* sisältää uusiutuvaan energiaan liittyviä opintoja. [41]

LUT suosittelee energia-, ympäristö- ja sähkötekniikan kandidaatin tutkintoa suorittaville uusiutuvaa energiaa käsitteleviä opintoja sisällytettäväksi kandidaatin tutkintoon. Nämä kurssit ovat johdatuskurseja, joten uusiutuvaa energiaa liittyvät syventävät kurssit sijoittuvat maisterivaiheiden opintoihin. [41]

### 4.1 Kandidaattitason kurssit

*Basics of Renewable Energy Engineering* on uusiutuvan energian johdattelukurssi. Kurssin sisältö painottuu uusiutuvaa energiaa käyttäviin voimalaitoksiin, mikä eroaa Tampereen yliopiston johdatuskurssista. Uusiutuvien energialähteiden esittelyn lisäksi kurssin tavoitteena on antaa käsitys eri voimalaitostyyppien toimintaperiaatteista ja ominaisuuksista. Kurssilla vertaillaan esimerkiksi uusiutuvaa energiaa käyttäviä voimalaitoksia perinteisiin voimalaitoksiin ja pohditaan molempien etuja ja haittoja.



Kurssilla opetetaan myös laskemaan voimalaitosten hyötysuhteita sekä valitsemaan paras voimalatyyppejä erilaisissa tilanteissa. [42]

Aurinko- ja tuulivoiman perusteisiin johdatteleva *Wind Power and Solar Energy Technology and Business* käsittelee kyseisiä energiamuotoja myös taloudellisista näkökulmista. Kurssilla opitaan esimerkiksi mallintamaan tuulienergian muuntumista yrityksen liikevaihdoksi yleisellä tasolla sekä arvioimaan energiamuotojen kannattavuutta ja liiketoimintaa. Näiden lisäksi kurssi antaa yleiskuvan tuuli – ja aurinkovoiman toimintaperiaatteista. Kurssilla käsitellään myös energiapolitiikkaa ja sen tulevaisuuden näkymiä. [43]

Lisäksi kandidaatin opintoihin on mahdollista sisällyttää kursseja, joiden sisältö liittyy uusiutuvaan energiaan jossain määrin. Esimerkiksi *Introduction to Electrochemical Energy Storage and Conversion Technologies* käsittelee sähkökemiallisia energian muunnosmenetelmiä, joita hyödynnetään uusiutuviissa sähköenergiajärjestelmissä. [44] Myös *Energiatekniikan peruskurssi* käsittelee maailman energiavaroja sekä energiatekniikan ympäristövaikutuksia yleisellä tasolla. [45] *Energiatalouden johdantokurssi* esittelee puolestaan lyhyesti eri energian tuotantomenetelmät. [46]

## 4.2 Maisteritason kurssit

LUTissa on mahdollista suorittaa bioenergiaan erikoistuva maisteritutkinto, *Bioenergy Systems*. Bioenergiaa käsitteleviä kursseja ovat *Bioenergy*, *Bioenergy Technology Solutions*, *Bioenergy and Energy Use in the Forest Industry* sekä *Bioeconomy*, jotka kaikki kuuluvat kyseiseen maisteriohjelmaan. [47]

*Bioenergy* on bioenergian johdatuskurssi, joka antaa yleiskuvan bioenergiasta, biomassaresursseista ja niiden hankinta- ja jalostusmenetelmistä. Kurssilla esitellään myös biopolttoaineet sekä niiden laatuominaisuudet ja standardit. Bioenergiaa tarkastellaan myös energiapolitiikan näkökulmista. Osaamistavoitteena on luoda käsitys bioenergian roolista niin Suomessa kuin Euroopan unionissa. [48]

*Bioenergy Technology Solutions* käsittelee Euroopan unionin bioenergiapolitiikkaa syvemmin. Kurssilla perehdytään hiilikauppaan ja uusiutuvien energialähteiden vaikutuksiin energiapolitiikassa. Osaamistavoitteena on ymmärtää bioenergian käytön rajoitteita ja mikä sen rooli on energiantuotannossa. Kurssilla opitaan esimerkiksi

luomaan strateginen suunnitelma bioenergian käytöstä erilaisissa olosuhteissa. Näiden lisäksi kurssilla perehdytään biotekniikan ja - polttoaineiden tuotantoteknologioihin. [49]

Bioenergiaa ja metsätaloutta käsittelevä *Bioenergy and Energy Use in the Forest Industry* tarkastelee bioenergian ja biomassan roolia metsätaloudessa [50]. *Bioeconomy* puolestaan keskittyy biotalouden eri näkökulmiin, kuten sen toteutukseen ja vaikutukseen Euroopassa. Kurssi käsittelee nykyaikaisia biojalostamoita ja kestävän liiketoiminnan piirteitä. [51]

Toinen LUTin uusiutuvaa energiaa käsittelevä opintokokonaisuus on nimeltään *Renewable Energy and Efficiency*. Se on sivuainekokonaisuus, joka sisältää yhteensä kuusi kurssia: *Renewable Energy Technology*, *Energy Resources*, *Energy Efficiency*, *Energy Scenarios*, *Electricity Market* sekä edellä mainittu *Bioenergy*. Opintokokonaisuuden *Electricity Market* käsittelee sähkömarkkinoita, eikä sisällä uusiutuvaan energiaan läheisesti liittyvää opetusta. Osa sivuainekokonaisuuden kursseista sisältyy muihinkin energiatekniikan sivuainekokonaisuuksiin. [52]

*Renewable Energy Technology* kurssi esittelee merkittävimmät uusiutuvan energian teknologiat. Osaamistavoitteena on kuvata tuulivoiman, vesivoiman ja aurinkoenergian ominaisuuksia, kuten kunkin teknologian sovellutuksia, tehokkuutta, taloudellisuutta ja tulevaisuuden näkymiä. Kurssilla tarkastellaan sähköenergian eri varastointitekniikoita kuten akkuvarastoja ja Power-to-X- teknologioita. [53]

Energialähteitä käsittelevä *Energy Resources* antaa yleiskuvan nykyisistä sekä tulevaisuuden kannalta tärkeimmistä energialähteistä. Osaamistavoitteena on arvioida energialähteiden teoreettisia, taloudellisia ja teknisiä mahdollisuuksia energiantuotannossa. Kurssilla analysoidaan energiajärjestelmien päärakennetta ja sen tulevaisuutta. Etenkin aurinko- ja tuulivoimaa tarkastellaan ilmastonmuutoksen torjumisen kannalta. [54]

*Energy Efficiency* on energiatehokkuutta käsittelevä kurssi, joka keskittyy tarkastelemaan aihetta sähköenergiajärjestelmien näkökulmasta. Kurssilla puhutaan muassa energiatehokkuuden merkityksestä energiantuotannossa, -siirrossa ja -käytössä. Tavoitteena on luoda kuva toimenpiteistä, joita energiatehokkuuden parantaminen edellyttää. [55]

*Energy Scenarios* antaa kuvan tulevaisuuden energiajärjestelmistä sekä niiden vaatimuksista kestävän kehityksen kannalta. Kurssilla analysoidaan energiajärjestelmien tulevia muutoksia ja opitaan tunnistamaan tärkeimmät teknologiat tulevaisuuden energiajärjestelmissä. Lisäksi kurssilla opitaan, miten energiarakenteen muutos näkyy eri sektoreilla ja miten energian kysyntä ja tarjonta saadaan kohtaamaan

rajoitteista huolimatta. Tavoitteena on antaa käsitys, paljonko energiarakenteenmuutos tulee viemään aikaa ja miten sen kustannuksiin pystytään vaikuttamaan. [56] LUTista löytyy myös toinen samaa aihepiiriä käsittelevä kurssi, *Energy Economics*. Kyseinen kurssi kuuluu energiatekniikan maisteriohjelman perusopintoihin. Kurssilla tarkastellaan 2050-vuoden energiavisiota sekä energiantuotannon ympäristövaikutuksia. [57]

Lisäksi LUT tarjoaa sähkötekniikan maisteriohjelmaan kuuluvan *Solar Economy* -pääainekokonaisuuden. Kokonaisuus kattaa edellä mainitut *Rewable Energy Technology*-, *Energy Resources*-, *Energy Scenario*- ja *Electricity Market*-kurssit. Näiden lisäksi kokonaisuus sisältää aurinko- ja tuulivoimaa käsittelevän *Electrical Engineering in Wind and Solar Systems* – kurssin sekä älykkäitä verkkoja ja hajutettua energiantuotantoa käsittelevän *Smart Grids* -kurssin. [58]

*Electrical Engineering in Wind and Solar Systems* on siis toinen LUT:in aurinko- ja tuulivoimaa käsittelevä kurssi. Johdattelukurssista poiketen, kurssi perehtyy tuuli- ja aurinkovoimaan täysin sähkötekniikan kannalta. Kurssilla opitaan esimerkiksi verkkoliitännöiden teknisistä vaatimuksista sekä aurinko – ja tuulivoimaloiden jännitteen ja loistehon säädöstä. Lisäksi kurssin ydinsisältöön kuuluvat erilaisten sähkögeneraattorien voimansiirto ja voimaloiden tehoelektroniikka, minkä vuoksi kurssi edellyttää sähkötekniikan aikaisempia opintoja. Osaamistavoitteena on tunnistaa ja mitoittaa voimaloiden sähkötekniisiä komponentteja sekä kuvailla voimaloiden ohjausjärjestelmiä ja niiden vaikutusta sähköverkoissa. [59]

## 5. OPETUS AALTO-YLIOPISTOSSA

Kolmas uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta tarjoava yliopisto on Espoossa sijaitseva Aalto-yliopisto. Myös Aalto-yliopistossa uusiutuvaan energiaan liittyvä opetus on keskittynyt sähkö- ja energiatekniikan maisteriohjelmiin. Energiatekniikan englanninkielinen maisteriohjelma *Advanced Energy Solutions* sisältää neljä eri opintosuuntausvaihtoehtoa: *Energy in Buildings and Built Environment*, *Energy Conversion Processes*, *Energy Systems and Markets* sekä *Industrial Energy Processes and Sustainability*. Kaikki pääainevaihtoehdot sisältävät uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta. [60] Sähkötekniikan maisteriohjelmaan kuuluva opintosuuntaus *Electrical Power and Energy Engineering* on toinen uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta tarjoava opintosuuntaus. [61]

Vaikka opetus on keskittynyt maisteritason kursseihin, löytyy energiatekniikan kandidaatin opinnoista kaksi kurssia, joiden sisältö käsittelee uusiutuvaa energiaa. *Energia ja ympäristö* ja *Energiasysteemit* -kursseilla puhutaan uusiutuvien energialähteiden merkityksestä ilmastonmuutoksen torjumisessa. [62]

### 5.1 Maisteritason kurssit

*Advanced Energy Solutions* – maisteriohjelmaan sisältyy kolme pakollista kurssia, joista kukin käsittelee uusiutuvaa energiaa osittain. Nämä ovat *An Introduction to Electric Energy*, *Introduction to Advanced Energy Solutions* ja *Energy and Environmental Economics*. [60] *An Introduction to Electric Energy* -kurssi keskittyy sähkövoimajärjestelmiin. Osaamistavoitteena on sähköjärjestelmien ja niiden komponenttien mallintaminen. Sähkövoimajärjestelmien ominaisuuksien lisäksi se esittelee energialähteiden ympäristövaikutukset, uusiutuvan energian lähteet sekä tulevaisuuden energijärjestelmien rakenteen. [63] *Introduction to Advanced Energy Solutions* käsittelee energian varastointia sekä sen merkitystä tulevaisuuden energijärjestelmissä. [64] *Energy and Environmental* -kurssin ydinsisältöön kuuluu puolestaan energiatalouden suurimpien haasteiden ymmärtäminen etenkin ilmastonmuutoksen näkökulmasta. [65]

Pakollisten kurssien lisäksi *Advanced Energy Solutions* - ohjelmaan kuuluu muita kursseja, jotka käsittelevät uusiutuvaa energiaa syvemmin. Kurssit vaihtelevat

pääainesuuntauksesta riippuen. Lisäksi osa kursseista sisältyy sähkötekniikan *Electrical Power and Energy Engineering* -pääainesuuntaukseen.

*Renewable Energy Engineering* – kussi tarkastelee uusiutuvaa energiaa monista eri näkökulmista. Kurssilla opitaan syyt, miksi uusiutuvaan energiaan tulee siirtyä ja mikä tekee siitä haastavaa. Aurinko- ja tuulivoima ovat vahvasti tarkastelun kohteena ja tavoitteena on oppia ymmärtämään kyseisten teknologioiden kapasiteettivaatimuksia sekä toimintaperiaatteita. Näiden lisäksi lämpöpumppujen toiminta esitellään. Kurssilla arvioidaan myös aurinko- ja tuulivoiman maankäyttöä sekä niiden muita ympäristövaikutuksia. [66]

Toinen samankaltainen uusiutuvaa energiaa käsittelevä kurssi on *Advances in New Energy Technologies*, joka sisältyy myös sähkötekniikan pääainesuuntaukseen. Kurssi antaa käsityksen siitä, miten uusiutuvat sähköenergiateknologiat saataisiin osaksi olemassa oleviin sähköenergiajärjestelmiin. Kurssilla käsitellään esimerkiksi uusiutuvan energian rajoitteita ja ominaisuuksia sähköjärjestelmien kannalta. Lisäksi kurssilla opitaan, miten uudenlainen uusiutuvaan energiaan nojautuva energiajärjestelmä tulisi suunnitella. [67]

Lämpöprosesseihin perustuvaa energiantuotantoa käsittelevä *Power Plants and Processes* esittelee aurinkolämmön sekä bio- ja geotermisen energian toimintaperiaatteita. Kurssi tarkastelee höyry- ja kaasuturbiinivoimaloita sekä termodynamiikkaa niiden toiminnan taustalla. Kurssilla luodaan katsaus kyseisten energianlähteiden teoreettisesta maksimikyvystä sekä tulevaisuuden odotuksista. [68] Lisäksi *Sustainable Building Energy Systems*-kurssin osaamistavoitteisiin kuuluu uusiutuvien energiateknologioiden pääpiirteiden hallitseminen, vaikka kurssi käsitteleeekin enimmäkseen rakennuksien energiajärjestelmiä [69].

Myös Aalto-yliopisto tarjoaa omat syventävät kurssinsa sekä aurinko- että tuulienergialle. Kurssit sisältyvät energia- että sähkötekniikan maisteriohjelmaan. *Solar Energy Engineering* käsittelee aurinkosähköä ja -lämpöä sekä fysiikkaa niiden taustalla. Osaamistavoitteisiin kuuluu eri vuodenaikojen ja sijainnin vaikutus aurinkoenergian tuotantoon, aurinkokennojen toimintaperiaate sekä kennoissa käytetyt materiaalit. Kurssilla opitaan myös arvioimaan aurinkokennojen suorituskykyä ja tunnistamaan sitä haittaavat rakenteelliset ja materiaaliriippuvaiset tekijät. Kurssin sisältö muistuttaa läheisesti Tampereen yliopiston ja LUTin tarjoamia aurinkoenergiaa käsitteleviä kursseja. [70] Tuulivoimasta tarjolla oleva kurssi on nimeltään *Advanced Wind Power Technology*.

Se käsittelee tuulivoiman tekniikkaa, tuotantoa ja hankkeiden elinkaarta. Kurssilla opitaan tarkastelemaan tuulivoiman kannattavuutta ja ymmärtämään, mikä on tuulivoiman rooli energijärjestelmissä ja -markkinoilla. Tuulivoiman mittaaminen, ympäristövaikutukset ja sen tuotantoa rajoittavat tekijät esitellään. Lisäksi kurssilla opitaan käyttämään tuulivoiman WAsP – mallinnusohjelmaa. [71]

Lisäksi Aalto-yliopistosta löytyy hajautettua energiantuotantoa ja älykkäitä verkkoja käsitteleviä kursseja. *Electricity Distribution and Markets* tarkastelee hajautettua energiantuotantoa sähkömarkkinoiden näkökulmasta [72]. *Distributed Generation Technologies* – kurssi puolestaan keskittyy aiheeseen enemmän sähkötekniikan kannalta [73]. Sähkötekniikan maisteriohjelmaan sisältyvällä *Smart Grid* – kurssilla puhutaan älykkäiden verkkojen rakenteesta sekä uusiutuvista energianlähteistä. [74]

## 6. OPETUS VAASAN YLIOPISTOSSA

Vaasan yliopisto tarjoaa kolme maisteriohjelmää, joiden opetussuunnitelmiin kuuluu uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta. Kyseiset koulutusohjelmat ovat englanninkielinen *Smart Energy* – maisteriohjelma sekä suomenkieliset energia- ja sähkötekniikan opintosuunnat, jotka kuuluvat energia- ja informaatiotekniikan diplomi-insinöörin koulutusohjelmaan. Tutkinto-ohjelmien osaamistavoitteeksi kuvaillaan tulevaisuuden kestävien energiajärjestelmien analysointi ja suunnittelu. [75]

### 6.1 Maisteritason kurssit

*Smart Energy* – koulutusohjelma käsittelee hajautettua energiantuotantoa, energian varastointia ja muuntamista, älykkäitä verkkoja sekä energia-alan muutosta eri näkökulmista. Uusiutuvaa energiaa käsitteleviä kurseja on yhteensä neljä: *Distributed Energy Generation Systems, Present and Future Prospects in Energy Technology, Seasonal Energy Storage and Conversion Technologies* ja *Modeling and Simulation of Energy Systems*. [76]

*Distributed Energy Generation Systems* käsittelee hajautettua energiantuotantoa. Kurssilla esitellään hajautetun energiantuotannon yleisimmät generaattoryypit ja harjoitellaan niiden mallintamista. Lisäksi uusiutuvan energian varastointia ja verkkoon liittämistä käsitellään. Kurssi antaa yleiskuvan hajautetun energiantuotannon haasteista sekä merkityksestä energiamarkkinoilla. [77] Toinen hajautettua energiantuotantoa käsittelevä kurssi on *Present and Future Prospects in Energy Technology*. Kurssilla esitellään eri uusiutuvat energianlähteet, minkä lisäksi energiantuotantoa tarkastellaan myös eettisistä näkökulmista. [78]

*Seasonal Energy Storage and Conversion Technologies* keskittyy energian muuntamiseen ja varastointiin. Kurssilla esitellään energian varastointi- ja muuntoteknologioita. Erityisesti tuuli- ja aurinkovoima ovat nostettu tarkastelun kohteeksi. Tavoitteena on oppia arvioimaan energian varastoinnin ja muuntamisen teknisiä ominaisuuksia ja vaatimuksia sekä soveltamaan niitä energiajärjestelmiin. [79]

*Modeling and Simulation of Energy Systems* -kurssilla opitaan energiajärjestelmien matemaattisen mallintamisen ja simuloinnin perusteita. Erityisesti aurinko-, tuuli- ja geotermisen energian mallintamistekniikoita käsitellään. Myös energiamarkkinoista puhutaan kurssilla.

Kurssi antaa hyvät taidot MATLAB-ohjelman käyttöön energiasuunnittelun mallintamisessa. Kurssi kuuluu myös energiatekniikan opintosuunnitelman kurssivalikoimaan. [76]

Lisäksi *Smart Energy* -ohjelmaan kuuluu useita älykkäitä verkkoja käsitteleviä kursseja. Ohjelmaan tulee sisällyttää myös kaupan alan opintoja, joiden ydinsisältö on energiamarkkinoissa. Kyseiset kurssit käsittelevät muun muassa energiamurrosta talouden kannalta, liiketoimintamalleja energiasuunnitelmissa sekä Euroopan unionin energiapolitiikkaa. [80]

Energiatekniikan opintosuunta keskittyy termodynamiikkaan, lämmönsiirtoon sekä virtausmekaniikkaan. Opintosuuntaan kuuluu lisäksi neljä uusiutuvaa energiaa käsittelevää kurssia, jotka ovat *Energy Production*, *Hajautettu energiantuotanto*, *Voimalaitokset ja energiatalous* sekä edellä mainittu *Modeling and Simulation of Energy Systems*. *Hajautettu energiantuotanto* on suomenkielinen versio kurssista *Distributed Energy Generation Systems*. Lisäksi *Energy Production* kuuluu sähkötekniikan opintosuunnitelmaan. [81]

*Energy Production* käsittelee energiasektorin nykytilaa ja tulevaisuutta. Kurssilla tutkitaan energian tuotantoa, varastointia, jakelua ja käyttöä sekä puhutaan energiasektorin haasteista ja tulevaisuuden skenaarioista. [82] *Voimalaitokset ja energiatalous* käsittelee puolestaan eri voimalaitoksia ja kurssin ydinsisältöön kuuluu vesi-, tuuli- ja aurinkovoimaloiden perusrakenteiden esittely. Kurssilla opitaan muun muassa eri voimalaitosten ominaisuuksista sekä niiden ympäristövaikutuksista. Tavoitteena on tarkastella energiantuotantoa kestävästä kehityksen kannalta. [83]

Sähkötekniikan opintosuuntaan sisältyy samoja älykkäitä verkkoja käsitteleviä kursseja kuin *Smart Energy* -ohjelmassa. Lisäksi opintosuuntaan kuuluu *Uusiutuvat energialähteet* -kurssi, joka on Vaasan yliopiston ainut täysin uusiutuvaa energiaa käsittelevä kurssi. Kurssilla luodaan käsitys uusiutuvien energialähteiden potentiaalista ja tulevaisuuden näkymistä. Aurinko-, tuuli- ja bioenergian keskeiset ominaisuudet käsitellään ja samalla vertaillaan niiden teknisiä, taloudellisia ja ympäristöllisiä tekijöitä. Kurssin osaamistavoitteena on pystyä tunnistamaan alan toimijoita ja keskeisiä tietolähteitä sekä oppia etsimään aiheesta uutta tietoa ja raportoimaan sitä. [84]



## 7. YHTEENVETO

Aurinko- ja tuulivoima ovat tällä hetkellä kasvavimmat sähköenergian tuotantomuodot. Ympäristöystävällisyytensä lisäksi ne ovat hyvin edullinen tapa tuottaa sähköenergiaa. EU:n tiukentuneen ilmastopolitiikan vuoksi uusiutuvaan energiaan liittyvän opetuksen tutkiminen on ajankohtaista. Tässä työssä tarkasteltiin neljää Suomen tekniikan alan yliopistoa, jotka tarjoavat uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta.

Kaikkien yliopistojen uusiutuvaan energiaan liittyvät opintosuuntaukset ovat pääosin maisterivaiheeseen kuuluvia, mutta osassa yliopistoista muutamia aiheeseen liittyviä johdatuskursseja voi sisällyttää myös kandidaatin tutkintoon. Kurssien sisällöt ovat pääpiirteiltään hyvin samankaltaisia kaikissa yliopistoissa. Kurssit käsittelevät uusiutuvan energian lähteitä, energiatehokkuutta, hajautettua energiantuotantoa sekä energiasektorin muutosta. Lisäksi kursseilla käsitellään uusiutuvan energian tuotantomuotojen toimintaperiaatteita, kapasiteettivaatimuksia, taloudellisuutta ja haasteita. Työssä huomataan aurinko- ja tuulivoiman painotus yliopistojen opetuksessa. Vaasan yliopistoa lukuunottamatta jokaisesta yliopistosta löytyy tuuli- ja aurinkovoimalle omat syventävät kurssinsa. Erityisesti LUT ja Tampereen yliopisto tarjoavat paljon tuuli- ja aurinkovoimaan liittyvää opetusta muihin yliopistoihin verrattuna.

Työ osoittaa LUT-yliopiston tarjoavan kattavimman valikoiman uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta tarkasteltavista yliopistoista. LUT-yliopistossa sekä sähkö- että energiatekniikan maisteriohjelmassa on mahdollista erikoistua uusiutuvaan energiaan. Kokonaan uusiutuvaa energiaa käsittelevää sivuainekokonaisuutta *Renewable Energy Technology* suositellaan myös ympäristötekniikan tutkinto-ohjelmaa suorittaville. Lisäksi LUTissa on mahdollista suorittaa kokonaan bioenergiaan erikoistuva maisteriohjelma, *Bioenergy Systems*.

Aalto- ja Vaasan yliopistossa sekä sähkö- että energiatekniikan opintosuuntaukset sisältävät uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta. Muihin yliopistoihin verrattuna Vaasan yliopistosta löytyy kuitenkin vähiten aiheeseen liittyviä kursseja. Muista yliopistoista poiketen Tampereen yliopiston uusiutuvaan energiaan liittyvä opetus on keskittynyt sähkötekniikkaan. *Uusiutuvat sähköenergiateknologiat* – opintosuuntaus on mahdollista valita sähkötekniikan DI-ohjelmassa. Lisäksi osa sähkötekniikan maisterivaiheen *Smart Grids* -opintosuuntauksen kursseista käsittelee uusiutuvia sähköenergiateknologioita sekä hajautettua energiantuotantoa.

Suomessa uusiutuvaan energiaan voi siis erikoistua sähkö- ja energiatekniikan koulutusohjelmissa neljässä eri yliopistossa. Työ osoittaa, että Suomessa on hyvät mahdollisuudet erikoistua tuuli-, aurinko- ja bioenergiaan sekä hajautettuun energiantuotantoon. Opetus tulee todennäköisesti lisääntymään tulevina vuosina. Tutkimuksessa on koottu tämänhetkinen opetuksen tila, ja se antaa lähtökohdat tutkia uusiutuvaan energiaan liittyvän opetuksen riittävyttä EU:n ilmastotavoitteisiin nähden.

# LÄHTEET

- [1] IRENA. artikkeli (viitattu 30.3.2022) Saatavilla: <https://www.irena.org/newsroom/articles/2018/Nov/Renewables-are-the-key-to-a-climate-safe-world>
- [2] Euroopan komissio. Ilmastolaki. (viitattu 30.3.2022) Saatavilla: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law\\_fi](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_fi)
- [3] Anani N. Renewable energy technologies and resources. Boston: Artech House, 2019, pp. 1-13.
- [4] Jenkins, N, Ekanayake, J. B. ja Strbac, G. Distributed Generation, London, Institution of Engineering and Technology, 2010, pp. 725-726
- [5] IEA. Renewables 2020 Data explorer. (viitattu 30.3.2022) Saatavilla: <https://www.iea.org/articles/renewables-2020-data-explorer?mode=market&region=World&product=Total>
- [6] Suomen sähköntuotanto (viitattu 20.4.2022) Saatavilla: [https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energiavuosi\\_2021\\_-\\_sahko.html#material-view](https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energiavuosi_2021_-_sahko.html#material-view)
- [7] IRENA. Solar energy. (viitattu 30.3.2022) Saatavilla: <https://www.irena.org/solar>
- [8] Motiva. Auringosta sähköä. (viitattu 5.4.2022) Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringosta\\_sahkoa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa)
- [9] King GC. Physics of energy sources, ensipainos, Hoboken, New Jersey: Wiley, 2018, pp. 267 Saatavilla: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?pq-origsite=primo&docID=4827456>
- [10] Suomen tuulivoimayhdistys. Talvella tuulee eniten. (viitattu 4.4.2022) Saatavilla: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatuotanto/talvella-tuulee-eniten>
- [11] Tuulivoimala ja -puisto. Hyötytuuli (viitattu 7.2.2022) Saatavilla: <https://hyotytuuli.fi/tuulivoima/tuulivoimala-ja-puisto/>
- [12] Suomen tuulivoimayhdistys. Miksi tuulivoimaa. (viitattu 4.4.2022) Saatavilla: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/miksi-tuulivoimaa>
- [13] Tuulivoiman asennettu kapasiteetti Suomessa (viitattu 20.4.2022) Saatavilla: <https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot>
- [14] IRENA. Hydropower. (viitattu 9.2.2022) Saatavilla: <https://www.irena.org/hydropower>
- [15] Breeze P, Hydropower. San Diego, Elsevier Science & Technology, 2018, pp. 13

- [16] Energy.gov. Hydropower Basics. (viitattu 9.2.2022) Saatavilla: <https://www.energy.gov/eere/water/hydropower-basics>
- [17] Our World in Data. Electricity Mix. (viitattu 4.4.2022) Saatavilla: <https://our-worldindata.org/electricity-mix>
- [18] Iha. Hydropower status report (viitattu 9.2.2022). Saatavilla: <https://www.hydropower.org/status-report>
- [19] IEA. Bioenergian tuotantomäärä. (viitattu 20.4.2022) Saatavilla <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/bioenergy>
- [20] Motiva. Bioenergia (viitattu 20.4.2022) Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia)
- [21] Metsäteollisuus. Suomen metsävarat. (viitattu 20.4.2022) Saatavilla: <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/metsavarat>
- [22] Stober I, Bucher K. Geothermal energy: from theoretical models to exploration and development. toinen painos. Cham, Sveitsi, Springer, 2021, pp. 34
- [23] Energiateollisuus. Geoterminen energia. (viitattu 8.2.2022) Saatavilla: [https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/geoterminen\\_voima](https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/geoterminen_voima)
- [24] Manzella A, Allansdottir A, Pellizzone A. Geothermal Energy and Society. ensimmäinen painos. 2019. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 1
- [25] Tampereen yliopisto. Vapaasti valittavat aineet. (viitattu 22.4.2022) Saatavilla: <https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/kasikirja/uni/opiskelu-0/opintojen-suunnittelu-ja-ohjaus/vapaasti-valittavien-opintojen-tarjonta>
- [26] Tampereen yliopisto, sähköenergiatekniikka. Saatavilla (viitattu 13.3.2022): <https://www.tuni.fi/opiskelijanopas/opintotiedot/opintokokonaisuudet/tut-sm-g-6428?year=2020&activeTab=1>
- [27] Tampereen yliopisto, ympäristö-, energia- ja biotekniikka. Saatavilla (viitattu 7.3.2022): <https://www.tuni.fi/fi/tule-opiskelemaan/ymparisto-energia-ja-biotekniikka-tekniikan-ja-luonnontieteiden-koulutus#expander-trigger--field-degree-choosing-spec>
- [28] Tampereen yliopisto, sähköenergiatekniikka. Saatavilla (viitattu 13.3.2022): <https://www.tuni.fi/opiskelijanopas/opintotiedot/opintokokonaisuudet/tut-sm-g-6428?year=2020&activeTab=1>
- [29] Tampereen yliopisto, tehoelektroniikka. Saatavilla (viitattu 13.3.2022): <https://www.tuni.fi/opiskelijanopas/opintotiedot/opintokokonaisuudet/tut-sm-g-6449?year=2020>
- [30] Sisu TAU. Johdatus uusiutuviin energialähteisiin. Saatavilla (viitattu 9.3.2022): <https://sis-tuni.funidata.fi/student/courseunit/otm-92c2b38c-b7b2-43c9-8872-0f098b592702/brochure>
- [31] Sisu TAU. Aurinkosähkön perusteet. Saatavilla: (viitattu 9.3.2022) <https://sis-tuni.funidata.fi/student/courseunit/otm-7f6399ed-d52c-43eb-bf5f-20c08b009682/brochure>

- [32] Sisu TAU. Tuulivoiman perusteet. Saatavilla (viitattu 9.3.2022): <https://sis-tuni.funidata.fi/student/courseunit/otm-11fda039-3f1b-4723-9617-8430e83c0319/brochure>
- [33] Tampereen Yliopisto. Uusiutuvat sähköenergiateknologiat. (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://www.tuni.fi/opiskelijanopas/opintotiedot/opintokokonaisuudet/tut-sm-g-3326?year=2020&activeTab=1>
- [34] Sisu TAU. Solar Power Systems (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sis-tuni.funidata.fi/student/courseunit/otm-16bdc5c0-f1ed-4c9a-acb5-65cea0ca1c30/brochure>
- [35] Sisu TAU. Wind Power Systems. (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sis-tuni.funidata.fi/student/courseunit/otm-ea718136-35ef-4a7d-b621-fb663ef9397e/brochure>
- [36] Sisu TAU. Polttokennot ja vetyteknologia (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sis-tuni.funidata.fi/student/courseunit/otm-6d54fd9a-be5d-417d-9b76-0a9b7c69ee99/brochure>
- [37] Sisu TAU. Introduction to Smart Grids and Renewable Energy. (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sis-tuni.funidata.fi/student/courseunit/otm-f32d7df3-e912-47b3-a40f-0a79227c4b53/brochure>
- [38] Sisu TAU. Distributed Energy Resources in Electricity Networks (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sis-tuni.funidata.fi/student/courseunit/otm-602e27e9-3235-4da1-8aaf-037af3534268/brochure>
- [39] Sisu TAU. Sähkömarkkinat (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sis-tuni.funidata.fi/student/courseunit/otm-bb17ae35-8beb-4150-8dd5-e1cf8ac11bf2/brochure>
- [40] LUT. Hiilinegatiivisuustavoit.e (viitattu 19.3.2022) Saatavilla: [https://www.lut.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/h33vOeufOQWn/content/7-kysymysta-ja-vastausta-lut-yliopiston-hiilinegatiivisuustavoitteesta](https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/7-kysymysta-ja-vastausta-lut-yliopiston-hiilinegatiivisuustavoitteesta)
- [41] LUT. Opinto-opas (viitattu 22.4.2022) Saatavilla: <https://forms.lut.fi/Opinto-opas/Default.aspx>
- [42] Sisu LUT. Basics of Renewable Energy Engineering (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-ebd8459b-c46e-48b4-83c8-b56ceb93c985/brochure>
- [43] Sisu LUT. Wind Power and Solar Energy Technology and Business (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-08817fc8-cbe9-4dd4-98f3-b4f3795004f3/brochure>
- [44] Sisu LUT. Introduction to Electrochemical Energy Storage and Conversion Technologies (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-42126ac4-1438-4bb7-b785-69f76baf9e61/brochure>
- [45] Sisu LUT. Energiatekniikan peruskurssi (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-c3c644e4-8fac-4bd9-a109-829adcf9bd3f/brochure>

- [46] Sisu LUT. Energiatalouden johdantokurssi (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-0afaa9ba-6594-467a-9db3-84ac2391c436/brochure>
- [47] Sisu LUT. Biotenergian maisteriohjelman opintopas (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://forms.lut.fi/Opinto-opas/Default.aspx>
- [48] Sisu LUT. Bioenergy (viitattu 18.3.2022) Saatavilla <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-110fde33-9d78-4b1b-977a-3018b32377fb/brochure>
- [49] Sisu LUT. Bioenergy Technology Solutions (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-d3cb3174-fb62-4ae9-82c6-4c4aa4595162/brochure>
- [50] Sisu LUT. Bioenergy and Energy Use in the Forest Industry (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-1d9441ed-953a-4661-b1b0-7319f8076de6/brochure>
- [51] Sisu LUT. Bioeconomy (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-1bdebe66-18b0-455c-a7fa-4fe3158e4e87/brochure>
- [52] LUT. Energiatekniikan opinto-opas (viitattu 18.3.2022) Saatavilla:
- [53] Sisu LUT. Renewable Energy Technology (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-18ca58df-e161-456f-8daf-e82fe750ffb1/brochure>
- [54] Sisu LUT. Energy Resources (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-e0eec55b-dd02-49ac-acf3-36d764a5c36c/brochure>
- [55] Sisu LUT. Energy Efficiency (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-eb67f160-6250-40ef-99d0-0fe9fd31f581/brochure>
- [56] Sisu LUT. Energy Scenarios (viitattu 21.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-fd0ef68a-5feb-498c-aab9-bf2d8f9112f6/brochure>
- [57] Sisu LUT. Energy Economics (viitattu 21.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-d04a6571-a056-4e8a-83a4-1e32d2afc6c1/brochure>
- [58] LUT. sähkötekniikan opinto-opas (viitattu 21.3.2022) Saatavilla: <https://forms.lut.fi/opinto-opas/Tutkinto.aspx?id=otm-a08c3891-2b65-43f7-94bc-d795d8219134&period=lut-curriculum-period-2021-2022&lang=en-US>
- [59] Sisu LUT. Electrical Engineering in Wind and Solar Systems (viitattu 18.3.2022) Saatavilla: <https://sis-lut.funidata.fi/student/courseunit/otm-424be941-8e8a-47c3-b88b-304d618289b5/brochure>
- [60] Aalto-yliopisto. Advanced Energy Solutions (viitattu 24.3.2022) Saatavilla: <https://into.aalto.fi/display/enaee>

- [61] Aalto-yliopisto. Electrical Power and Energy Engineering (viitattu 1.3.2022) Saatavilla: <https://into.aalto.fi/display/enaee/Electrical+Power+and+Energy+Engineering>
- [62] Aalto-yliopisto. Energiatekniikan opinto-opas (viitattu) Saatavilla: <https://into.aalto.fi/display/fikandeng/Energia-+ja+konetekniikka+2022-2024>
- [63] Sisu Aalto. An Introduction to Electric Energy (viitattu 23.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1129365711-20210801/brochure>
- [64] Sisu Aalto. Introduction to An Advanced Energy Solutions (viitattu 23.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1129465629-20210801/brochure>
- [65] Sisu Aalto. Energy and Environmental Economics (viitattu 23.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1017728499-20210801/brochure>
- [66] Sisu Aalto. Renewable Energy Engineering (viitattu 24.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1142146194-20210801/brochure>
- [67] Sisu Aalto. Advances in New Energy Technologies D (viitattu 24.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1118106078-20210801/brochure>
- [68] Sisu Aalto. Power Plants and Processes (viitattu 24.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1125461237-20210801/brochure>
- [69] Sisu Aalto. Sustainable Building Energy Systems (viitattu 24.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1125473361-20210801/brochure>
- [70] Sisu Aalto. Solar Energy Engineering D (viitattu 24.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1113009369-20210801/brochure>
- [71] Sisu Aalto. Advanced Wind Power Technology D (viitattu 24.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1113009593-20210801/brochure>
- [72] Sisu Aalto. Electricity Distribution and Markets (viitattu 24.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1121470038-20210801/brochure>
- [73] Sisu Aalto. Distributed generation technologies (viitattu 24.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1132694023-20210801/brochure>
- [74] Sisu Aalto. Smart Grid D (viitattu 24.3.2022) Saatavilla: <https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-OPINKOHD-1129366515-20210801/brochure>

- [75] Vaasan yliopisto. Maisteriohjelmat (viitattu 28.3.2022) Saatavilla:  
<https://opas.peppi.uwasa.fi/maisteriohjelmat/76>
- [76] Vaasan yliopisto. Smart Energy -opinto-opas (viitattu 6.4.2022) Saatavilla:  
<https://opas.peppi.uwasa.fi/ohjelma/4483>
- [77] Vaasan yliopisto. Distributed Energy Generation Systems (viitattu 6.4.2022) Saatavilla: <https://opas.peppi.uwasa.fi/opintojakso/ENER3120/2027>
- [78] Vaasan yliopisto. Present and Future Prospects in Energy Technology (viitattu 6.4.2022) Saatavilla:  
<https://opas.peppi.uwasa.fi/opintojakso/FYSIFT3100/1830>
- [79] Vaasan yliopisto. Seasonal Energy Storage and Conversion Technologies (viitattu 6.4.2022) Saatavilla:  
<https://opas.peppi.uwasa.fi/opintojakso/ENER3110/1932>
- [80] Vaasan yliopisto. Modeling and Simulation (viitattu 6.4.2022) Saatavilla:  
<https://opas.peppi.uwasa.fi/opintojakso/ENER3130/2042>
- [81] Vaasan yliopisto. Energiatekniikan opintosuuntaus (viitattu 6.4.2022) Saatavilla:  
<https://opas.peppi.uwasa.fi/ohjelma/4516>
- [82] Vaasan yliopisto. Energy Production (viitattu 6.4.2022) Saatavilla:  
<https://opas.peppi.uwasa.fi/opintojakso/SATE2020/28>
- [83] Vaasan yliopisto. Voimalaitokset ja energiatalous (viitattu 6.4.2022) Saatavilla:  
<https://opas.peppi.uwasa.fi/opintojakso/ENER3080/1162>
- [84] Vaasan yliopisto. Sähkötekniikan opintosuunta (viitattu 20.4.2022) Saatavilla:  
<https://opas.peppi.uwasa.fi/en/programme/4500>