Tampereen yliopisto

Mikko Nieminen

UUSIUTUVA ENERGIA JA SEN OPETUS SUOMEN YLIOPISTOISSA

Kandidaatintyö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: Heidi Kalliojärvi
Lokakuu 2025

TIIVISTELMÄ

Mikko Nieminen: Uusiutuva energia ja sen opetus Suomen yliopistoissa
Renewable Energy and Its Education in Finnish Universities
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaattiohjelma
Lokakuu 2025

Tämän työn tarkoituksena on selvittää ja analysoida uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta Suomen yliopistoissa lukukaudella 2024–2025. Tutkimuksen taustalla on globaali energiamurros, ilmastonmuutoksen hillinnän tarve sekä vaatimukset kestävästä kehityksestä, joiden myötä uusiutuvien energialähteiden merkitys on kasvanut voimakkaasti. Työn keskeisenä tavoitteena on tuoda esiin Suomen yliopistojen uusiutuvan energian opetuksen nykytila, kurssitarjonnan määrä ja niiden sisältö.

Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, joka jakautui kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa kuvattiin uusiutuvia energialähteitä ja niiden perusperiaatteita kansainvälisiin tieteellisiin lähteisiin perustuen. Toisessa osassa analysoitiin uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta Suomen yliopistoissa. Opintotarjontaa ja kursseja analysoitiin yliopistojen verkkosivuilla ja SISU-opintotietojärjestelmässä julkaistujen kurssikuvauksien perusteella. Tarkastelu kohdistui sekä kandidaatti- että diplomi-insinöörivaiheen opetukseen.

Työ osoittaa, että uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta on eniten energiatekniikan ja sähkötekniikan tutkinto-ohjelmissa, mutta sitä löytyy myös ympäristötekniikan ohjelmista. Kurssitarjonnassa on havaittavissa eroja yliopistojen välillä niin kurssien määrässä kuin sisällöllisissä painotuksissa. Myös tutkintovaiheiden välillä on selkeä sisällöllinen ero. Kandidaattivaiheessa opetuksen painopiste on uusiutuvan energian perusteiden ja eri energialähteiden toimintaperiaatteiden ymmärtämisessä, kun taas DI-vaiheessa opetus syvenee teknologisiin ratkaisuihin, energiajärjestelmien hallintaan sekä taloudellisiin ja ympäristöllisiin näkökulmiin. Opetuksen merkitys kasvaa energiasektorin muutoksen myötä, ja sen voidaan odottaa lisääntyvän tulevaisuudessa.

Avainsanat: Uusiutuva energia, energiamurros, Suomen yliopistot, yliopistojen opintotarjonta

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☒ Ei
☐ Kyllä

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
2. UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET 2
2.1 Aurinkovoima 2
2.2 Geoterminen energia 4
2.3 Tuulivoima 5
2.4 Vesivoima 6
2.5 Muut uusiutuvat energialähteet 8
3. KANDIDAATTIVAIHEEN KURSSIT UUSIUTUVASTA ENERGIASTA 9
3.1 Aalto-yliopisto 9
3.2 LUT-yliopisto 9
3.3 Tampereen yliopisto 10
3.4 Vaasan yliopisto 11
4. DI-VAIHEEN KURSSIT UUSIUTUVASTA ENERGIASTA 13
4.1 Aalto-yliopisto 13
4.2 LUT-yliopisto 14
4.3 Oulun yliopisto 16
4.4 Tampereen yliopisto 17
4.5 Vaasan yliopisto 19
5. YHTEENVETO 21
LÄHTEET 22

LYHENTEET JA MERKINNÄT

DI	diplomi-insinööri
GW	gigawatti
ITER	International Thermonuclear Experimental Reactor
m/s	metriä sekunnissa
TW	terawatti
A	pinta-ala
g	putoamiskiihtyvyys
h	korkeus
P	teho
Q	virtaama
v	nopeus
η	hyötysuhde
ρ	tiheys

1. JOHDANTO

Uusiutuvien energialähteiden merkitys on kasvanut voimakkaasti sekä Suomessa että globaalisti energiamurroksen, ilmastonmuutoksen hillitsemisen ja kestävän kehityksen vaatimusten myötä. Fossiilisiin polttoaineisiin perustuva energiantuotanto nähdään aiempaa ongelmallisempana niin ympäristön kuin huoltovarmuuden kannalta, minkä seurauksena uusiutuvat vaihtoehdot, kuten aurinko-, tuuli- ja vesivoima, ovat nousseet keskeisiksi ratkaisuiksi.

Yliopistot muodostavat tärkeän osaamispohjan, koska ne yhdistävät tutkimuksen ja opetuksen sekä tarjoavat opiskelijoille mahdollisuuden syventyä uusiutuvan energian eri osa-alueisiin. Suomessa uusiutuvan energian opetus sisältyy useimmiten energiatekniikan tai sähkötekniikan tutkintoihin, mutta opetuksen määrässä on selkeitä eroja yliopistojen välillä. Myös opetuksen sisältö ja painotukset vaihtelevat yliopistosta riippuen, ja kurssien tarkempi sisältö voi vaihdella aina yksittäisten energialähteiden perusteista laajempiin energiajärjestelmiä käsitteleviin kokonaisuuksiin.

Tässä työssä tarkastellaan, kuinka paljon uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta Suomen yliopistoissa oli lukukaudella 2024–2025 ja millainen oli uusiutuvaa energiaa käsittelevien kurssien sisältö. Tarkastelu kohdistuu sekä kandidaatti- että diplomi-insinöörivaiheen opetukseen. Opintotarjontaa on analysoitu yliopistojen verkkosivuilla ja SISU-opintotietojärjestelmässä julkaistujen kurssikuvauksien perusteella. Keskeisenä tavoitteena on tuoda Suomen yliopistojen uusiutuvan energian opetuksen nykytila esiin.

Tutkimusmenetelmänä toimii tässä työssä kirjallisuuskatsaus. Luvun 2 lähteiden hakuun on pääosin käytetty Andor-sivustoa, josta on löydetty kansainvälisiä tieteellisiä lähteitä. Muut luvun 2 lähteet on saatu internethauilla. Luvun 3 ja 4 lähteet on löydetty Suomen yliopistojen verkkosivuilta ja SISU-opintotietojärjestelmästä.

Työ rakentuu siten, että luvussa 2 kuvataan tärkeimmät uusiutuvat energialähteet ja niiden perusperiaatteet. Luvussa 3 tarkastellaan uusiutuvaa energiaa käsitteleviä kandidaattivaiheen kursseja Suomen yliopistoissa ja luvussa 4 analysoidaan diplomi-insinöörivaiheen kursseja. Lopuksi luvussa 5 esitetään työn yhteenveto ja keskeiset johtopäätökset.

2. UUSIUTUVAT ENERGIALÄHTEET

2.1 Aurinkovoima

Aurinkovoimalla voidaan tuottaa sähköä joko aurinkokennojen tai keskitetyn aurinkovoiman avulla. Aurinkokennot hyödyntävät valosähköistä ilmiötä, jossa auringonsäteen fotonit absorboituvat aurinkokennon materiaalin atomiin ja irrottavat siitä elektroneja. Nämä elektronit synnyttävät sähkövirran. [1] Aurinkokennoja voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan halutun jännitteen ja virran mukaan, jolloin aurinkokennot muodostavat aurinkopaneelin [2, s. 19]. Aurinkopaneeleita voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan muodostaen aurinkosähköjärjestelmän. Aurinkosähköjärjestelmä tarvitsee invertterin, joka muuttaa järjestelmän tuottaman tasavirran vaihtovirraksi. [3, s. 49–51] Aurinkovoimaa pidetään muihin uusiutuviin energialähteisiin verrattuna siirrettävänä ja helppokäyttöisenä. Tämän vuoksi sitä hyödynnetään monissa käyttökohteissa, kuten asuinrakennuksissa, ajoneuvoissa, satelliiteissa, sensoreissa ja sulautetuissa järjestelmissä. [2, s. 19–20]

Aurinkokennoja valmistetaan eri puolijohdemateriaaleista, joista yleisimmin käytetty on kiteinen pii, jonka hyötysuhde on noin 25 %. Aurinkokennoja voidaan myös valmistaa ohutkalvotekniikalla, jossa joko yksi tai useampi hyvin ohut kerros valoherkkää materiaalia kerrostetaan alustamateriaaliin, kuten lasiin tai muoviin. Ohutkalvokennojen etuna on niiden halvempi valmistuskustannus verrattuna kiteiseen piihin. Kuitenkin ohutkalvokennojen hyötysuhde on heikompi riippuen valmistusmateriaaleista. [1]

Kolmannen sukupolven aurinkokennoihin kuuluvat kehitteillä olevat teknologiat, kuten kvanttipistekennot, perovskiittikennot, tandem-kennot, orgaaniset kennot ja väriaineherkistetyt kennot [4]. Kvanttipistekennot hyödyntävät kvanttipisteitä eli puolijohdemateriaaleista valmistettuja nanokiteitä, joita voidaan sekoittaa liuoksiin ja levittää kalvoille [1]. Perovskiittikennoissa puolijohteena käytetään piin sijasta materiaalia, jolla on perovskiittirakenne. Tandem-kennot rakentuvat päällekkäin asetetuista eri materiaaleista valmistetuista kennoista. Orgaanisissa kennoissa puolijohdemateriaalina käytetään orgaanisia, hiilipohjaisia materiaaleja, kuten polymeerejä. Väriaineherkistetyissä kennoissa hyödynnetään valoa absorboivaa väriainetta. [4] Kehitteillä olevien teknologioiden tavoitteena on saavuttaa parempi hyötysuhde ja ympäristöystävällisyys sekä alhaisemmat kustannukset verrattuna muihin kennoihin [1].

Keskitetyssä aurinkovoimassa auringonsäteet keskitetään tuottamaan kuumaa ilmaa tai höyryä, jota käytetään sähköntuotantoon perinteisessä voimalaitosprosessissa. Paraboliset kourut ovat taloudellisin ja eniten käytetty tekniikka keskitetyssä aurinkovoimassa (kuva 1).

Kuva 1. *Parabolinen kouru, perustuu lähteeseen [5, s. 134]*

Paraboliset kourut keskittävät auringonsäteet peilien avulla vastaanottoputkeen, joka kuumentaa nesteen höyryksi, jota käytetään höyryvoimalan pyörittämiseen. [1] Vastaanottoputken nesteenä käytetään usein vettä tai synteettistä öljyä ja lämpötilat nousevat 150–500 °C välille [5, s. 129].

Aurinkotornit puolestaan käyttävät peilejä keskittämään auringonsäteet vastaanottotorniin. Vastaanottotornissa on nestettä, joka absorboi lämpöenergian ja siirtää sen voimalaitokseen, jossa lämpöenergia muutetaan sähköksi. Perinteisissä aurinkotorneissa nesteenä käytetään vettä, kun taas uudemmissa torneissa on kokeiltu sulasuoloja. Lämpötilat voivat nousta aurinkotorneissa jopa yli 1 000 °C. [1] Keskitetyssä aurinkovoimassa aurinkotorneja pidetään potentiaalisimpana tuotantotapana, koska niiden kapasiteettikerroin eli todellisen tuotannon suhde tuotantopotentiaaliin on korkeampi kuin muilla tuotantotavoilla [5, s. 63]. Aurinkotorneja voidaan kuitenkin rakentaa vain alueille, joissa on runsaasti suoraa auringonsäteilyä, kuten aavikoille [5, s. 68].

Aurinkovoiman kasvu on ollut todella suurta ja vuonna 2023 uutta aurinkovoimaa asennettiinkin globaalisti yhteensä 447 GW, mikä nosti aurinkovoiman globaalin kokonaiskapasiteetin 1,6 TW. Vuonna 2023 aurinkovoimaa asennettiin eniten Kiinaan, noin 253 GW. [6] Keskitetyn aurinkovoiman osuus kokonaiskapasiteetista oli alle 10 GW, eli lähes kaikki aurinkovoimaan liittyvä kapasiteetti tulee aurinkokennoista [7].

2.2 Geoterminen energia

Geoterminen energia on maansisäistä lämpöenergiaa, joka syntyy lämmön virratessa ulospäin maan ytimestä sekä radioaktiivisesta hajoamisesta [8]. Geotermisen energian hyödyntäminen perustuu geologisiin olosuhteisiin, jotka voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan. Ensimmäisessä luokassa ovat korkean lämpötilan geotermiset järjestelmät, joiden lämpötila on yli 180 °C. Nämä järjestelmät liittyvät usein maan vaipan kuumiin kohtiin ja tulivuoritoimintaan, ja ne sijaitsevat yleensä yli 3,5 kilometrin syvyydessä. Toisessa luokassa ovat keskilämpötilan järjestelmät, joiden lämpötila on 100–180 °C. Kolmannessa luokassa ovat matalan lämpötilan geotermiset järjestelmät, joiden lämpötila on alle 100 °C. Keskilämpötilan ja matalan lämpötilan geotermiset järjestelmät syntyvät radioaktiivisten isotooppien hajoamisen seurauksena. [9, s. 7–8]

Geotermistä energiaa pystytään hyödyntämään sähköntuotantoon kolmessa erityyppisessä voimalaitoksessa, joita ovat kuivahöyryvoimalaitokset, flash-höyryvoimalaitokset ja binäärisykliset voimalaitokset. Kuivahöyryvoimalaitokset ottavat höyryä maan alta ja höyry johdetaan maanalaisista kaivoista voimalaitokselle pyörittämään turbiinia, joka pyörittää generaattoria, jonka avulla voidaan tuottaa sähköä. Yleisimpiä ovat flash-höyryvoimalaitokset, jotka hyödyntävät syvällä maan sisällä olevia geotermisiä vesivarantoja, joiden lämpötila on yli 182 °C. Tämä kuuma vesi nousee kaivoja pitkin oman paineensa avulla. Paine laskee veden virratessa ylöspäin, jolloin kuuma vesi kiehuu höyryksi, ja sitä voidaan käyttää generaattorin turbiinin pyörittämiseen. Jäljelle jäänyt vesi ja tiivistynyt höyry johdetaan takaisin vesivarantoon. Binäärisyklisiä voimalaitoksia käytetään, kun kuuman varannon veden lämpötila ei ole tarpeeksi korkea höyrystymiseen. Binäärisyklisissä voimalaitoksissa käytetään orgaanisia yhdisteitä, jotka muuttuvat höyryksi matalissa lämpötiloissa ja tätä höyryä käytetään generaattorin turbiinin pyörittämiseen. [8]

Geotermistä energiaa voidaan käyttää sekä sähköntuotantoon että suoraan lämmitykseen. Yleisesti alle 150 °C olevia geotermisiä resursseja käytetään lämmitykseen, kun taas yli 150 °C resursseja hyödynnetään sähkön tuottamiseen. Geotermisen energian suurin etu suhteessa muihin uusiutuviin energialähteisiin on sen korkea kapasiteettikerroin. [9, s. 8] Geotermisen energian muita etuja ovat sen tasainen saatavuus ympäri vuoden sääolosuhteista riippumatta sekä sen luontainen varastointipotentiaali [9, s. 1]. Maailmanlaajuisesti tämä energialähde on ollut kustannuskilpailukykyinen, koska se ei ole riippuvainen kansainvälisistä markkinoista [8].

Geotermisen energian globaali kokonaiskapasiteetti vuonna 2023 oli 16,4 GW [10]. Perinteisen geotermisen energian kehitys on ollut tasaista ja melko vähäistä, ja sen odotetaan jatkuvan samanlaisena, ellei uutta teknologiaa kehitetä mahdollistamaan eksponentiaalista kasvua [11, s. 176]. Geotermiseen sähköntuotantoon käytetään korkean lämpötilan järjestelmiä yli 3,5 kilometrin syvyydessä, joten järjestelmien kustannukset ovat korkeat, ja niitä voidaan hyödyntää vain tietyillä alueilla. Erityisesti syvien kaivojen suuret poraamiskustannukset ja oikeanlaisten olosuhteiden löytäminen ovat geotermisen energian haasteita.

2.3 Tuulivoima

Tuulivoimaloiden teknologia on kehittynyt suuresti viime vuosikymmenien aikana ja siitä on tullut lupaavin ja luotettavin uusiutuva energialähde [12, s. 145]. Tuulivoimaloiden kapasiteetti on noussut 1900-luvun lopun parinsadan kilowatin tuulivoimaloista nykyisiin jopa parinkymmenen megawatin tuulivoimaloihin.

Tuuli syntyy ilmakehän paineen vaihtelusta, jossa ilma liikkuu korkeapaineisilta alueilta matalapaineisille alueille [13, s. 5]. Tuulivoimala muuttaa tuulen kineettisen energian sähköenergiaksi sähkögeneraattorin avulla [12, s. 161]. Standardimaisessa tuulivoimalassa on roottori, jossa on kolme lapaa. Tällaista standardimaista tekniikkaa käytetään niin sisämaassa kuin merellä sijaitsevissa voimaloissa. [14, s. 24] Merellä sijaitsevat tuulivoimalat tuottavat enemmän sähköä, koska tuulen nopeudet ovat siellä korkeammat kuin sisämaassa. Kuitenkin tuulivoimalan rakentaminen merelle on kalliimpaa ja vaikeampaa verrattuna sisämaahan. [14, s. 75]

Ilmavirtauksesta saatava teho voidaan määritellä kaavalla:

$$P = \frac{1}{2} A \rho v^3, \tag{1}$$

jossa P on teho, A on roottorin pyyhkäisypinta-ala, ρ on ilmantiheys ja v on tuulen nopeus [14, s. 13]. Kaavasta voidaan huomata, että tuulivoimalan lavan pituutta kasvattamalla saadaan enemmän tehoa, mutta suurin vaikutus on tuulen nopeudella. Siksi tuulivoimaloiden sijainnilla on suuri vaikutus sähkön tuotantoon.

Teoreettinen yläraja, jonka tuulivoimala voi hyödyntää tuulen energiasta, on Betzin lain mukaan 59,3 %. Käytännössä tämä on mahdotonta, mutta modernit tuulivoimalat voivat yltää yli 50 % hyötysuhteeseen. [14, s. 13] Tyypillisesti tuulivoimala tarvitsee noin 3 m/s

tuulen nopeuden käynnistyäkseen ja aloittaakseen tehon tuotannon. Tehon tuotanto kasvaa tuulen nopeuden kasvaessa, kunnes saavutetaan tuulivoimalan nimellisteho, eli tehon arvo, jonka voimala pystyy enimmillään tuottamaan. Teho pidetään nimellisarvossa kunnes saavutetaan maksimi tuulen nopeus, tyypillisesti noin 25 m/s, jolloin tuulivoimala pysäytetään, jotta se ei vaurioittuisi liian voimakkaassa tuulessa. [15, s. 79]

Tuulivoiman ja aurinkovoiman keskeisimpänä haasteena on tuotannon vaihtelevuus sääolosuhteista riippuen. Vaihtelevien uusiutuvien energiamuotojen osuuden kasvaessa haasteita nousee myös sähköjärjestelmän tasaisuuden pitämisessä, jonka suojaamiseksi tarvitaan esimerkiksi energian varastointiratkaisuja, kuten akkuvarastoja. [16] Tuulivoiman etuja ovat puolestaan sen alhaiset käyttökustannukset, jatkuva teknologinen kehitys ja sen sovellettavuus niin suurempiin kuin pienempiin sähköjärjestelmiin.

Tuulivoimaa asennettiin globaalisti vuonna 2023 yhteensä 116 GW, nostaen tuulivoiman globaalin kokonaiskapasiteetin 1,05 TW. Vuonna 2023 Kiinaan asennettiin eniten tuulivoimaa, yhteensä noin 75 GW. Tuulivoiman uskotaan jatkavan kasvuaan tulevien vuosien aikana, koska monien valtioiden suunnitelmissa on rakentaa tuulivoimaloita laajassa mittakaavassa niin sisämaalle kuin merelle. [17]

2.4 Vesivoima

Vesivoimalaitoksen toiminta perustuu veden potentiaalienergiaan, joka johtuu kahden eri vesitason välisestä korkeuserosta. Kun vesi päästetään putoamaan, potentiaalienergia muuttuu veden liike-energiaksi. Liike-energia voidaan muuntaa sähköenergiaksi turbiinin avulla, joka pyörittää generaattoria tuottaen sähköenergiaa. [18]

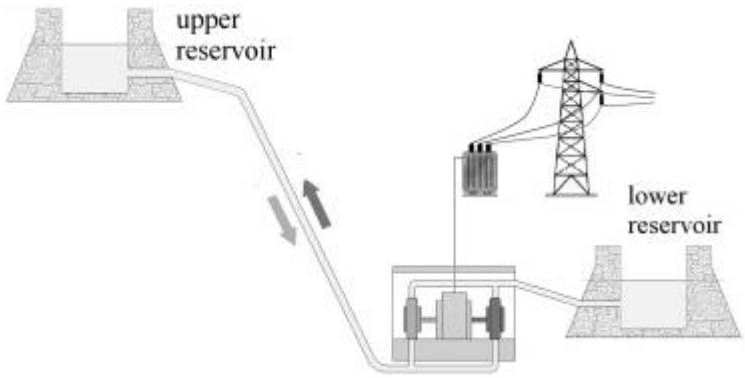
Vesivoimalaitoksen tuottama teho riippuu hyötysuhteesta, veden pudotuskorkeudesta ja turbiinin läpi kulkevan veden virtaamasta, eli tilavuusvirrasta. Voimalaitoksen teho voidaan määritellä kaavalla:

$$P = \eta \rho g Q h, \tag{2}$$

jossa P on teho, η on hyötysuhde, ρ on veden tiheys, g on putoamiskiihtyvyys, Q on virtaama ja h on pudotuskorkeus. [18]

Vesivoima on hyvin joustava uusiutuvan energian muoto, koska sitä voidaan hyödyntää sekä varastoida energian tarpeen mukaisesti. Joustavalla energian varastoinnilla on tärkeä rooli lisääntyvään sähköistymiseen ja kestävään energiantuotantoon siirtymisessä. Vesivoimaa pidetään monissa osissa maailmaa tärkeänä perustana sähköiseen siirtymään. Vesivoima on lisäksi ainoa uusiutuvan energian muoto, joka tarjoaa järjestelmän joustavuutta sekunnin murto-osista useiksi tunneiksi ja mahdollisuuden varastoida energiaa kustannustehokkaasti päivistä kuukausiin. Vaihtelevien uusiutuvien energialähteiden, kuten aurinko- ja tuulivoiman energian tuotannon tasapainottamiseen vesivoima on todella tehokas ratkaisu. [19]

Vesivoimalaitoksia on useita eri tyyppejä riippuen vesivaraston koosta tai varastointikapasiteetista. Patorakenteiset vesivoimalat ovat suuria voimalaitoksia, joissa pato varastoi vettä altaaseen. Ne ovat varustettu suurilla altailla, mikä mahdollistaa suuren varastointikapasiteetin. Vesipumppuvoimalat varastoivat energiaa pumppaamalla vettä ylempään altaaseen alemmasta altaasta (kuva 2).



Kuva 2. *Vesipumppuvoimala, perustuu lähteeseen [20]*

Vesipumppuvoimaloilla voi olla joko positiivista tai negatiivista tuotantoa riippuen siitä, ovatko ne tuotanto- vai pumppaustilassa. Lisäksi vesivoimaa voidaan tuottaa esimerkiksi joissa, jolloin varastointimahdollisuutta ei ole ja tuotanto on pientä. [21]

Vesivoimaa asennettiin globaalisti vuonna 2023 yhteensä 13,7 GW, nostaen vesivoiman globaalin kokonaiskapasiteetin 1,4 TW. Vuonna 2023 vesivoimaa asennettiin eniten Kiinaan, yhteensä noin 6,7 GW. [22] Euroopan suurin vesivoiman tuottajamaa on Norja, jossa noin 90 % sähköntuotannosta on peräisin vesivoimasta [19].

2.5 Muut uusiutuvat energialähteet

Yllä mainittujen energialähteiden lisäksi bioenergia on laajasti käytössä oleva uusiutuvan energian lähde. Bioenergian raaka-aineena käytettävää orgaanista materiaalia eli biomassaa saadaan esimerkiksi maataloudesta, metsistä ja orgaanisista jätteistä [23]. Bioenergiaa käytetään esimerkiksi sähkön, lämmön ja biopolttoaineiden tuotantoon. Bioenergialla on myös mahdollista päästä negatiivisiin päästöihin hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin avulla. Siinä biomassaa poltetaan tai muunnetaan energiaksi, ja prosessissa vapautuva hiilidioksidi erotetaan ja varastoidaan esimerkiksi geologisiin muodostumiin. [24] Bioenergiassa tulee ottaa huomioon riskit, kuten biodiversiteetin väheneminen, vesivarojen liiallinen käyttö ja raaka-ainelogistiikan hallinta [25].

Valtamerienergia on hyvin potentiaalinen uusiutuvan energian lähde, mutta sen teknologiat ovat vielä alkutekijöissä. Tapoja, joilla energiaa saadaan tuotettua valtameristä, ovat aaltovoima, vuorovesienergia, osmoosivoima, merilämpövoimala ja merivirtaenergia. Aaltovoimassa hyödynnetään aaltojen liikettä, joka muutetaan sähköksi. Vuorovesienergiassa hyödynnetään meriveden korkeuden vaihtelua vuorovesien aikaan. Osmoosivoimassa puolestaan hyödynnetään suolapitoisuuserojen aiheuttamaa painepotentiaalia. Merilämpövoimalat hyödyntävät meriveden lämpötilaeroa syvän viileän veden ja lämpimän pintaveden välillä. [26] Merivirtaenergiassa hyödynnetään merivirtojen liike-energiaa vedenpinnan alapuolella olevien turbiinien avulla. Valtamerienergian haasteina ovat korkeat kustannukset, teknologioiden kestävyys haastavissa meriolosuhteissa ja standardoitujen laitesuunnitelmien puute. [27]

Toinen erittäin potentiaalinen, mutta ei vielä kaupallinen uusiutuvan energian lähde on fuusioenergia. Fuusioenergiassa kaksi kevyempää atomiydintä yhdistyy muodostaen yhden raskaamman ytimen, jolloin vapautuu merkittävästi energiaa. Fuusiopolttoaineena käytetään deuteriumia ja tritiumia, jotka ovat kevyitä vedyn isotooppeja. Fuusiossa vaaditaan polttoaineiden lämmittämistä äärimmäisen korkeisiin lämpötiloihin, tyypillisesti noin 100 miljoonan celsiusasteeseen. Tällaisissa olosuhteissa vety muuttuu kaasuksi, jossa negatiivisesti varautuneet elektronit erottuvat positiivisesti varautuneista ytimistä, muodostaen plasman. Fuusioreaktorissa tavoitteena on saavuttaa tila, jossa fuusiosta vapautuva energia ylittää plasman ylläpitämiseen tarvittavan energian. [28] Tällä hetkellä suurin käynnissä oleva fuusiotutkimushanke on Ranskassa oleva ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). ITERin tavoitteena on todistaa, että fuusio pystyy toimimaan suurimittaisena energiantuotannon lähteenä. [29] Fuusioenergian haasteina ovat plasman vakauden hallinta, materiaalien kestävyys äärimmäisissä olosuhteissa ja positiivisen energiatuoton saavuttaminen [30].

3. KANDIDAATTIVAIHEEN KURSSIT UUSIUTUVASTA ENERGIASTA

3.1 Aalto-yliopisto

Uusiutuvaan energiaan liittyviä kandidaattivaiheen kursseja löytyy Aalto-yliopistosta kaksi ja ne kuuluvat energia- ja konetekniikan kandidaattiohjelmaan. Energiatekniikan pääaineopinnoissa tulee käydä uusiutuvaan energiaan liittyvät kurssit Energia ja ympäristö sekä Termiset voimalaitokset ja uusiutuva energia. [31]

Energia ja ympäristö -kurssilla käsitellään energian tuotannon ja käytön perusteita sekä energiajärjestelmän globaalia tilannetta. Tarkastelussa ovat uusiutuvien energialähteiden potentiaali, kestävä käyttö ja vaikutukset sekä fossiilisten polttoaineiden varannot ja markkinat. Lisäksi perehdytään eri energiantuotantomuotojen ominaisuuksiin, voimalaitosten hyötysuhteisiin ja ympäristövaikutuksiin. Kurssi kattaa myös ilmastonmuutoksen hillinnän, ympäristövaikutusten vähentämisen mekanismit sekä energiapolitiikan. [32]

Termiset voimalaitokset ja uusiutuva energia -kurssilla käydään läpi höyry- ja kaasuturbiinivoimaloiden toimintaa sekä niiden keskeisiä komponentteja. Tarkastelun kohteena ovat termodynamiikan perusteoriat, energian ja massan tasapainolaskelmat sekä niiden soveltaminen voimalaitosprosesseihin. Kurssilla tuodaan esiin aurinkolämpö- ja geotermisten voimaloiden toimintaperiaatteet sekä niiden merkitys energiantuotannossa. [33]

3.2 LUT-yliopisto

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT tarjoaa kolmea kandidaattivaiheen kurssia uusiutuvaan energiaan liittyen: Basics of Renewable Energy Engineering, Introduction to Electrochemical Energy Storage and Conversion Technologies ja Wind Power and Solar Energy Technology and Business. [34, 35, 36]

Sähkötekniikan kandidaattiohjelmassa voi suorittaa valinnaisina aineopintoina kurssit Introduction to Electrochemical Energy Storage and Conversion Technologies ja Wind Power and Solar Energy Technology and Business [34]. Introduction to Electrochemical

Energy Storage and Conversion Technologies kuuluu lisäksi pakollisena perusopintokurssina energiatekniikan kandidaattiohjelmaan [35]. Ympäristötekniikan kandidaattiohjelman perusopintoihin kuuluu pakollinen Basics of Renewable Energy Engineering -kurssi [36].

Uusiutuvan energian peruskurssilla Basics of Renewable Energy Engineering käsitellään uusiutuvia energialähteitä hyödyntävien voimalaitostyyppien toimintaperiaatteita, niiden etuja ja haittoja sekä tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Kurssi kattaa esimerkiksi tuuli-, vesi-, aalto-, bio- ja aurinkoenergian sekä vety- ja geotermisen energian perusteet. [37]

Introduction to Electrochemical Energy Storage and Conversion Technologies -kurssi antaa johdannon akkuihin, polttokennoihin, veden elektrolyysiin ja superkondensaattoreihin sekä niiden merkitykseen ja kehityspotentiaaliin. Kurssilla perehdytään sähkökemiallisiin energianmuuntomenetelmiin ja niiden merkitykseen uusiutuvissa sähköenergiajärjestelmissä. Kurssilla käydään läpi myös sähkökemiallisten energianvarastointien tarpeita ja mahdollisuuksia, sähkökemian perusteita sekä energiakonversioprosessien tehokkuuksia. [38]

Wind Power and Solar Energy Technology and Business -kurssilla käsitellään tuuli- ja aurinkoenergiaan liittyviä teknologioita ja niiden taloudellisia näkökulmia. Kurssilla käydään läpi tuuli- ja aurinkoenergian prosesseja, tuulivoimaloiden keskeisiä komponentteja, ympäristövaikutuksia ja sähköverkkovaikutuksia sekä aurinkosähkövoimaloiden suorituskykyä ja kannattavuutta. Lisäksi käsitellään tuuliolosuhteita Suomessa, energiapolitiikkaa ja uusiutuvan energian kehityssuuntia. [39]

3.3 Tampereen yliopisto

Tampereen yliopistosta löytyy energiamurroksen kandidaattiohjelma, johon sisältyy uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta. Uusiutuvaan energiaan liittyviä kandidaattivaiheen kursseja löytyy neljä: Energiatekniikan perusteet, Polttokennot ja vetyteknologia, Sektori-integraatio ja Älykkäät sähköenergiajärjestelmät. Näistä ainoa valinnainen kurssi energiamurroksen kandidaattiohjelmassa on Polttokennot ja vetyteknologia, kun taas muut kurssit ovat pakollisia. Lisäksi Energiatekniikan perusteet -kurssi on mahdollista käydä ympäristö- ja energiatekniikan kandidaattiohjelmassa ja Älykkäät sähköenergiajärjestelmät -kurssi on mahdollista käydä sähkötekniikan kandidaattiohjelmassa. [40, 41, 42]

Kurssilla Energiatekniikan perusteet käydään läpi muun muassa uusiutuvia energialähteitä, ydinvoimaa, polttotekniikan perusteita, rakennusten energiankulutusta, lämpövoimakoneiden kiertoprosesseja ja kaukolämmön tuotantoa ja siirtoa. Kurssilla opitaan Suomessa käytettävistä energiantuotantomuodoista ja uusiutuvan energian roolista Suomen energiajärjestelmässä. Lisäksi opitaan laskemaan systeemien tuotantoa ja kulutusta, jotka toimivat uusiutuvalla energialla sekä rakennusten lämmitysenergian kulutusta. [43]

Polttokennot ja vetyteknologia -kurssilla käsitellään polttokennojen toimintaa ja häviöitä, eri polttokennotyyppejä ja niiden rakenteita sekä polttokennojen käyttöä ajoneuvoissa. Kurssilla perehdytään myös vedyn valmistusmenetelmiin ja varastointiteknologioihin. Lisäksi käsitellään, miten polttokennoja voidaan hyödyntää niin sähköntuotannossa kuin lämmöntuotannossa. [44]

Sektori-integraatio-kurssilla käydään läpi uusiutuviin energialähteisiin perustuvaa energiajärjestelmää ja sähköistymistä. Kurssilla käsitellään sektori-integraation eli energiasektoreiden yhdistämisen roolia energiamurroksen mahdollistajana. Kurssilla opitaan myös analysoimaan energiajärjestelmän sektoreiden, kuten sähköjärjestelmän, teollisuuden, liikenteen, kiinteistöjen, kaukolämmön ja vetytalouden, välisiä vuorovaikutuksia ja hallintamekanismeja. [45]

Älykkäät sähköenergiajärjestelmät -kurssiin sisältyy uusiutuvan sähköenergian tuotantomuotojen ja sähköenergian varastoinnin perusperiaatteet. Kurssilla opitaan yhteiskunnan sähköistymisestä ja energiatoimialan kehitysnäkymistä. Kurssilla käydään myös läpi vetytaloutta, sähköenergiamarkkinoita ja hajautettujen energiaresurssien hallintaa sähköenergiajärjestelmässä. [46]

3.4 Vaasan yliopisto

Vaasan yliopisto tarjoaa uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta sähkö- ja energiatekniikan kandidaattiohjelmassa. Uusiutuvaan energiaan liittyviä kandidaattivaiheen kursseja on kolme: Energiatekniikan fysikaaliset perusteet, Energy Production ja Sustainable Smart Cities. Ainoana pakollisena kurssina on Sustainable Smart Cities, mutta opintosuunnan aineopintoihin voi halutessaan sisällyttää kurssit Energiatekniikan fysikaaliset perusteet ja Energy Production. [47]

Energiatekniikan fysikaaliset perusteet -kurssi antaa perustiedot muuan muassa aurinkoenergiasta, tuulienergiasta, geotermisestä energiasta, vesivoimasta ja maalämmöstä. Lisäksi käsitellään energian eri esiintymismuotoja ja niiden fysikaalisia perusteita sekä eri energiamuotojen tuottamiseen ja varastointiin liittyviä erityispiirteitä. [48]

Energy Production -kurssilla käydään läpi energian tuotannon, varastoinnin, käytön ja jakelun teknologioita. Kurssilla nostetaan esiin globaalin energiasektorin vaikutukset ja haasteet sekä tulevaisuuden näkymät. [49]

Sustainable Smart Cities -kurssilla käsitellään, miten kestävän kehityksen ja uusiutuvan energian periaatteet otetaan huomioon älykaupunkien suunnittelussa. Kurssilla käsitellään myös energian varastointijärjestelmiä, energiatehokkaita rakennuksia, jätteiden hallintaa ja kestäviä liikennejärjestelmiä. [50]

4. DI-VAIHEEN KURSSIT UUSIUTUVASTA ENERGIASTA

4.1 Aalto-yliopisto

Aalto-yliopistossa uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta löytyy sähkötekniikan ja energiatekniikan DI-ohjelmista. Sähkötekniikan Electrical Power and Energy Engineering DI-ohjelmasta löytyy kuusi uusiutuvaa energiaa käsittelevää kurssia: Elements of Hydrogen System and Storages, Fuel Cells and Hydrogen Technology, Renewable Energy Engineering, Smart Grid, Solar Energy Engineering ja Wind Power Engineering and Development. Näistä kursseista Elements of Hydrogen System and Storages, Fuel Cells and Hydrogen Technology ja Smart Grid kuuluvat myös sähkötekniikan Hydrogen and Electric Systems DI-ohjelmaan. [51, 52]

Energiatekniikan Advanced Energy Solutions DI-ohjelmasta löytyy kaikki Electrical Power Energy Engineering DI-ohjelman uusiutuvaan energiaan liittyvät kurssit paitsi Fuel Cells and Hydrogen. Kokonaisuudessaan Aalto-yliopisto tarjoaa siis kuutta uusiutuvaan energiaan liittyvää DI-vaiheen kurssia. [53]

Polttokennoihin ja vetyteknologiaan perustuvalla Fuel Cells and Hydrogen Technology -kurssilla perehdytään polttokennojen toimintaperiaatteisiin, niiden taustalla oleviin fysikaalisiin ilmiöihin sekä käytännön sovelluksiin energiantuotannossa. Keskeisiin aiheisiin kuuluvat eri polttokennojen rakenteet ja suorituskykyyn vaikuttavat häviöt. Lisäksi vedyn ominaisuuksia polttoaineena tarkastellaan yhdessä sen varastointiteknologioihin ja turvallisuuteen liittyvien näkökulmien kanssa. [54]

Toinen vetyä käsittelevä kurssi on Elements of Hydrogen System and Storages, jossa käsitellään vetyteknologioita ja miten vetyä voidaan hyödyntää hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Kurssilla tarkastellaan, miten uusiutuvalla energialla tuotettu vihreä vety syntyy elektrolyysin avulla ja miten se integroidaan osaksi energiasektoria. Lisäksi analysoidaan vetyteknologioiden toiminnallisuutta ja yhteiskunnallisia vaikutuksia sekä vedyn tuotannon, kuljetuksen, varastoinnin ja käytön komponentteja ja niiden yhteyksiä energiasektoriin. [55]

Renewable Energy Engineering -kurssilla käsitellään uusiutuvien energialähteiden roolia tulevaisuuden energiajärjestelmissä. Erityisesti syvennytään tuuli- ja aurinkovoiman toimintaperiaatteisiin, suunnitteluun ja taloudelliseen kannattavuuteen. Myös lämpöpumppujen toiminta nostetaan esille. Lisäksi kurssilla analysoidaan uusiutuvan energian integrointiin liittyviä haasteita ja ratkaisuja, kuten raaka-aineiden ja maan käytön saatavuus sekä ympäristövaikutukset. [56]

Smart Grid -kurssilla käsitellään modernien sähköjärjestelmien toimintaa ja vaihtelevan uusiutuvan energian, kuten aurinko- ja tuulivoiman, laajamittaiseen integrointiin liittyviä haasteita ja ratkaisuja. Kurssilla tarkastellaan vaihtelevien energialähteiden vaikutusta sähköverkkoon, energian varastoinnin roolia, tulevaisuuden sähkömarkkinoiden toimintaa ja sähköajoneuvojen merkitystä. Lisäksi nostetaan esiin pientuotannon ja paikallisen energianhallinnan vaikutukset sähköverkkoihin. [57]

Solar Energy Engineering -kurssilla käsitellään aurinkoenergian hyödyntämistä sekä lämpö- että sähköenergian tuotannossa. Sisältöön kuuluu aurinkokennojen ja aurinkolämpöjärjestelmien toiminta sekä niiden suorituskykyyn vaikuttavat ilmiöt ja menetelmät. Lisäksi tarkastellaan auringon säteilyä ja sen vaihtelua eri tekijöiden mukaan sekä materiaalien vuorovaikutusta säteilyn kanssa. [58]

Wind Power Engineering and Development -kurssilla käydään läpi tuulivoiman toimintaa, käytännön sovelluksia ja teknologioita sekä sen roolia energiantuotannossa ja markkinoilla. Lisäksi tarkastellaan tuulivoiman rajoitteita, kehittämispotentiaalia ja ympäristövaikutuksia. [59]

4.2 LUT-yliopisto

LUT-yliopistosta löytyy uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta sähkötekniikan ja energiatekniikan DI-ohjelmista [60, 61, 62]. Sähkötekniikan DI-ohjelman syventymisopintoihin voi valita Renewable Power-to-X Economy kokonaisuuden, joka sisältää viisi uusiutuvaa energiaa käsittelevää kurssia: Energy Resources, Renewable Energy Technology, Electrical Engineering in Wind and Solar Systems, Technologies for Electrochemical Energy Conversion and Storage of Electricity ja Energy Scenarios [60].

Energy Resources -kurssilla käsitellään keskeisiä globaaleja energiaresursseja, niiden saatavuutta, päästövaikutuksia sekä niihin liittyvien energiantuotantoteknologioiden teknistaloudellista kehitysastetta. Tarkastelun kohteena ovat nykyisen ja tulevan energiajärjestelmän kannalta merkittävät resurssit, kuten maakaasu, kivihiili, öljy, bioenergia, aurinkoenergia, vesivoima, tuulivoima, geoterminen energia ja merienergia. Kurssilla perehdytään erityisesti aurinko- ja tuulienergian rooliin energiasiirtymässä ja käsitellään, miten niiden ominaisuudet vaikuttavat tulevaisuuden energiajärjestelmiin. [63]

Uusiutuvaan energiaan perustuvalla kurssilla Renewable Energy Technology käsitellään tuulivoimaa, aurinkovoimaa ja aurinkolämpöön perustuvaa sähköntuotantoa. Lisäksi energiavarastointiteknologioita, kuten pumppuvoimaloita ja akkuihin perustuvaa varastointia tuodaan kurssilla esiin. Kurssi esittelee myös uusiutuvaan energiaan perustuvia hiilidioksidinpoistomenetelmiä. Käsiteltäviä teknologioita tarkastellaan taloudellisuuden, tehokkuuden, kehitysasteen ja tulevaisuuden merkityksen näkökulmista. [64]

Toisessa aurinko- ja tuulivoimaa käsittelevässä kurssissa Electrical Engineering in Wind and Solar Systems perehdytään tuuli- ja aurinkovoimaloiden toimintaan, rakenteisiin ja sähköteknisiin komponentteihin. Käsiteltäviä aiheita ovat muun muassa tuulivoiman käyttövoimateknologiat, kuten pysyvämagneettigeneraattorit ja induktiogeneraattorit, sekä aurinkovoiman tehoelektroniikka pienissä ja suurissa aurinkovoimaloissa. Lisäksi tarkastellaan voimaloiden ohjausta, sähköistä suojausta, verkkoliitynnän teknisiä vaatimuksia sekä kansainvälisiä standardeja. [65]

Technologies for Electrochemical Energy Conversion and Storage of Electricity -kurssilla käsitellään sähkökemiallisia ja mekaanisia sähköenergian varastointi- ja muuntamisjärjestelmiä. Kurssilla opitaan tunnistamaan järjestelmien pääkomponentit, mitoittamaan niitä sekä analysoimaan ohjausjärjestelmiä. Lisäksi perehdytään vesielektrolyysin ja polttokennojärjestelmien toimintaan sekä niiden energiatehokkuuteen. [66]

Energy Scenarios -kurssilla käydään läpi kestävän energiajärjestelmän vaatimuksia ja energia-alan siirtymän keskeisiä teknologioita eri sektoreilla, kuten sähköntuotannossa, lämmityksessä, teollisuudessa ja liikenteessä. Tarkastelun kohteena ovat energian kysyntä, tarjonta, rajoitteet ja kustannukset. Erityishuomio kohdistuu tuuli- ja aurinkoenergiaan, sähköteknologioiden rooliin sekä energian varastointiin. Lisäksi kurssilla opitaan käyttämään EnergyPLAN-ohjelmistoa kestävien energiajärjestelmien tarkasteluun. [67]

Energiatekniikan Energy Conversion DI-ohjelmaan kuuluvat uusiutuvaa energiaa käsittelevät kurssit Bioenergy ja Bioenergy and Energy Use in the Forest Industry [61]. Energiatekniikan normaaliin DI-ohjelmaan kuuluu myös kaksi uusiutuvaan energiaan liittyvää kurssia: Bioenergy for EnTeDI ja Introduction to Energy Technology for EnTeDI Students

[62]. Lisäksi molemmissa DI-ohjelmissa voi valita sivuopintokokonaisuuden Biobased Chemical Engineering, jossa on vielä kaksi uusiutuvaan energiaan liittyvää kurssia: Advanced Biorefineries ja Chemical and Biochemical Conversion of Biomaterials [61, 62]. LUT-yliopistossa on uusiutuvaan energiaan liittyviä DI-vaiheen kursseja yhteensä kymmenen, koska Bioenergy ja Bioenergy for EnTeDI eivät eroa sisällöllisesti toisistaan.

Bioenergy ja Bioenergy for EnTeDI -kurssit ovat siis sisällöltään identtiset. Kursseilla tarkastellaan bioenergian merkitystä osana nykyaikaista energiajärjestelmää, erityisesti Suomessa ja Euroopan unionissa. Opintojaksoilla syvennytään biomassan hankintaan ja logistiikkaan, biopolttoaineiden jalostusmenetelmiin sekä kiinteiden biopolttoaineiden standardeihin ja laadunhallintaan. Lisäksi käsitellään kestävän kehityksen näkökulmia, jotka ohjaavat bioenergian tuotantoa ja käyttöä nyt ja tulevaisuudessa. [68, 69]

Energiateknologian johdantokurssilla Introduction to Energy Technology for EnTeDI Students perehdytään voimalaitostekniikan perusteisiin ja eri voimalaitostyyppien toimintaan, kuten tuuli-, aurinko-, vesi-, höyry- ja kaasuturbiinivoimaloihin. Kurssilla käsitellään energian tuotantoa ja kulutusta niin Suomessa kuin muualla maailmassa, energiavarastoja sekä tulevaisuuden energiaskenaarioita. Kurssilla opitaan myös Suomen sähköjärjestelmästä ja erilaisten energiaratkaisujen arvioimisesta teknisestä ja yhteiskunnallisesta näkökulmasta. [70]

Kurssilla Advanced Biorefineries tarkastellaan biomassan biojalostusprosesseja, kuten kuitujen, materiaalituotteiden, biopolttoaineiden ja kemikaalien tuotantoa. Kurssi antaa valmiuden ymmärtää eri raaka-aineiden soveltuvuutta erilaisten tuotteiden valmistukseen sekä biojalostamojen kytkentöjä muihin teollisiin prosesseihin, kuten öljynjalostukseen ja energiantuotantoon. Lisäksi perehdytään biopohjaisten tuotteiden käyttökohteisiin ja arvoketjuihin. [71]

Chemical and Biochemical Conversion of Biomaterials -kurssilla käsitellään yleisimpiä biomassan kemiallisia ja biokemiallisia muuntoprosesseja [72]. Bioenergy and Energy Use in the Forest Industry kurssi käsittelee biomassan, bioenergian ja kierrätyksen merkitystä metsätaloudessa [73].

4.3 Oulun yliopisto

Oulun yliopisto tarjoaa uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta ympäristötekniikan Kestävät energiajärjestelmät DI-ohjelmassa. Uusiutuvaan energiaan liittyviä DI-vaiheen

kursseja on yhteensä neljä: Renewable Energy, Energy Systems Engineering, Biojalostamot ja Smart Grid I: Integrating renewable energy sources. Näistä ainoa valinnainen kurssi on Biojalostamot, kun taas muut kurssit ovat pakollisia. Kurssit Renewable Energy ja Biojalostamot kuuluvat myös ympäristötekniikan Teollisuuden ympäristötekniikka DI-ohjelmaan. [74]

Uusiutuviin energialähteisiin perustuva Renewable Energy -kurssi käsittelee uusiutuvan energian tuotantomenetelmiä, kuten aurinkoenergiaa, biopolttoaineita, tuulivoimaa ja vesivoimaa. Kurssilla käydään läpi uusiutuvan energian etuja ja haasteita sekä niiden ympäristövaikutuksia. [75]

Sähköenergiajärjestelmiin liittyvällä Energy Systems Engineering -kurssilla käsitellään eri voimalaitostyyppejä, sähköjärjestelmän rakennetta ja sähkön siirto- ja jakeluverkkoja. Kurssilla nostetaan esille uusiutuvien energialähteiden energiantuotannon kausivaihtelu ja niiden katkonaisuus. Lisäksi esitetään, miten sähköntuotanto saadaan vastaamaan sähkönkysyntää eri sähköntuotantomenetelmien avulla. [76]

Biojalostamot -kurssi esittelee teknologian, miten biomassasta saadaan tuotettua biopolttoainetta ja biokemikaaleja. Kurssilla käsitellään biojalostamoiden kehityksen teknisiä ja taloudellisia haasteita. Kurssilla nostetaan esiin biojalostamoiden ympäristövaikutukset sekä uusien biojalostamoiden kaupallistamistila. [77]

Älykkäisiin sähköverkkoihin liittyvällä Smart Grid I: Integrating renewable energy sources -kurssilla käsitellään energiajärjestelmien perusteita, hiilidioksidipäästöjen vähentämistä, ilmastotavoitteita sekä älykkäiden sähköverkkojen kestävää kehitystä. Kurssilla perehdytään Suomen ja muiden pohjoismaiden energiamarkkinoiden perustoimintaan sekä sähkönhinnoitteluun. Lisäksi käsitellään, miten vaihtelevat uusiutuvat energialähteet, kuten aurinko- ja tuulivoima, pystyttäisiin laajamittaisesti yhdistämään sähköverkkoihin ja miten sen kustannuksia voitaisiin pienentää. [78]

4.4 Tampereen yliopisto

Tampereen yliopistossa tarjotaan uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta energiamurroksen, ympäristö- ja energiatekniikan ja sähkötekniikan DI-ohjelmissa. Uusiutuvaan energiaan liittyviä DI-vaiheen kursseja on yhteensä kuusi: Introduction to Smart Grids

and Renewable Energy, Renewable electrical energy technologies, Solar-Driven Chemistry, Solar Power Systems, Voimalaitokset ja kytketyt energiajärjestelmät ja Wind Power Systems. [79, 80, 81]

Energiamurroksen Sektori-integraatio DI-ohjelmaan on valittavissa kaikki muut uusiutuvaan energiaan liittyvät DI-vaiheen kurssit paitsi Voimalaitokset ja kytketyt energiajärjestelmät [79]. Sähkötekniikan ja energiamurroksen yhteisessä Sähköenergiajärjestelmät DI-ohjelmassa tarjolla ovat kurssit Renewable electrical energy technologies, Solar Power Systems ja Wind Power Systems [79, 81]. Ympäristö- ja energiatekniikan ja energiamurroksen yhteisessä Energia- ja prosessitekniikka DI-ohjelmassa puolestaan voi valita kurssit Introduction to Smart Grids and Renewable Energy, Solar Power Systems, Voimalaitokset ja kytketyt energiajärjestelmät ja Wind Power Systems [79, 80].

Uusiutuvan energian ja älykkään sähköverkon johdatuskurssilla Introduction to Smart Grids and Renewable Energy käsitellään uusiutuvien energiamuotojen, kuten aurinkovoiman, bioenergian, tuulivoiman ja vesivoiman perusteita ja kehityspotentiaalia. Kurssilla käydään läpi älykkään sähköverkon perusteita, toiminnallisuutta ja tavoitteita. Lisäksi käsitellään sähköjärjestelmien tuotantoa, kulutusta, siirto- ja jakeluverkkoja, hajautettua energiantuotantoa sekä sähkömarkkinoiden toimintaa ja sääntelyä. [82]

Aurinkovoimaan ja tuulivoimaan liittyvä Renewable electrical energy technologies -kurssi käsittelee aurinkosäteilyn ja tuulen nopeuden ominaisuuksia, tuulivoiman tuotannon ja turbiinien hallinnan perusteita sekä puolijohdemateriaalipohjaisten aurinkokennojen toimintaa. Kurssilla tutustutaan erilaisten aurinkokenno- ja tuuliturbiiniteknologioiden toimintaan, aurinkovoimaloiden rakenteeseen sekä tuuliturbiinien ja -puistojen suunnitteluun ja kehitykseen. Lisäksi tarkastellaan aurinko- ja tuulivoimamarkkinoiden nykytilaa ja kehityssuuntia. [83]

Solar-Driven Chemistry -kurssilla käydään läpi aurinkoenergian merkitystä globaalilla energiantuotannon tasolla, aurinkoenergian muuntamisen ja varastoinnin perusteita sekä erilaisia aurinkoenergiateknologioita, kuten aurinkosähköä, aurinkopolttoaineita ja akkuja. Kurssilla perehdytään myös aurinkoenergian muuntamiseen ja varastointiin käytettyjen materiaalien kemiaan sekä aurinkoteknologioiden ympäristövaikutuksiin. [84]

Aurinkovoimaan perustuvalla kurssilla Solar Power Systems perehdytään aurinkosähköjärjestelmien teknologioihin ja niiden hyödyntämiseen sähköntuotannossa. Kurssilla opitaan aurinkokennojen valmistustekniikoista ja -materiaaleista sekä aurinkosähköjärjestelmän toiminnasta ja järjestelmän sähköturvallisuudesta. Lisäksi kurssilla käydään läpi aurinkosähköjärjestelmien toimintaa eri ympäristöolosuhteissa sekä keskitettyä aurinkovoimaa. [85]

Kurssilla Voimalaitokset ja kytketyt energiajärjestelmät opitaan nykyisten ja tulevaisuuden voimalaitosten toiminnasta ja erityispiirteistä. Kurssilla käsitellään tuulivoimaloiden, geoenergialaitosten, kaasuturbiinien ja polttomoottorien toimintaperiaatteita. Lisäksi käydään läpi suuren mittakaavan energianvarastointimenetelmiä. [86]

Tuulivoimaan liittyvällä Wind Power Systems -kurssilla käsitellään tuulienergiateollisuutta ja -teknologiaa, mukaan lukien tuuliturbiinien toiminta ja energian muuntaminen tuulesta sähköksi. Kurssilla perehdytään tuulivoimaloiden generaattoreihin ja tuulivoimapuistojen suunnitteluperiaatteisiin. Kurssin keskeisiin aiheisiin kuuluvat myös suurimittaisen tuulivoiman vaikutukset sähköjärjestelmän suorituskykyyn ja vakauteen sekä sähkömarkkinoihin. [87]

4.5 Vaasan yliopisto

Vaasan yliopistossa uusiutuvaan energiaan liittyviä kursseja löytyy sähkö- ja energiatekniikan DI-ohjelmista [88]. Englanninkieliseen Smart Energy, Smart Grids DI-ohjelmaan sisältyy neljä uusiutuvaan energiaan liittyvää kurssia: Distributed Energy Generation Systems, Energy Storage for Sustainable Buildings and Districts, Modeling and Simulation of Energy Systems ja Future Energy Storage and Conversion Solutions [89]. Energiatekniikan opintosuunnan DI-ohjelmaan kuuluu kaksi uusiutuvaan energiaan liittyvää kurssia: Modeling and Simulation of Energy Systems ja Voimalaitokset ja energiatalous. Lisäksi on mahdollista suorittaa kurssit Energiatekniikan fysikaaliset perusteet ja Energy Production, mikäli niitä ei ole tehnyt kandidaattivaiheen opinnoissa. [90] Sähkötekniikan opintosuunnan DI-ohjelmaan kuuluu Uusiutuvat energialähteet -kurssi. Lisäksi Energy Production -kurssi tulee käydä, jos sitä ei ole suorittanut kandidaattivaiheen opinnoissa. [91] Yhteensä uusiutuvaan energiaan liittyviä DI-vaiheen kursseja on Vaasan yliopistossa siis kuusi.

Distributed Energy Generation Systems -kurssilla syvennytään hajautettuihin energiantuotantoteknologioihin ja niiden toimintaperiaatteisiin. Kurssilla käsitellään uusiutuvan energian tuotantoa ja sen liittämistä sähköverkkoon. Kurssilla tarkastellaan sektori-integraatiota ja kysynnän joustoa ratkaisuina uusiutuvan energian tuotannon vaihtelevuuden hallintaan. Lisäksi käydään läpi sähkömarkkinoiden toimintaa ja energiamarkkinoihin vaikuttavia tekijöitä. [92]

Energy Storage for Sustainable Buildings and Districts -kurssilla käsitellään energian välittäjiä, kuten biokaasua, lämpöä ja vetyä ja niiden merkitystä energian muunnos- ja varastointijärjestelmissä. Kurssilla käydään läpi energian varastointiteknologioita, geotermistä energiaa ja tulevaisuuden energiajärjestelmiä. Lisäksi käsitellään älyrakennusten mallintamista paikallisissa energiayhteisöissä sekä energiatehokkuuden ja kestävyyden huomioimista. [93]

Modeling and Simulation of Energy Systems -kurssilla perehdytään energiajärjestelmien mallinnusmenetelmiin yhdistäen teoreettiset käsitteet käytännön laskentaharjoituksiin. Mallinnustekniikoita sovelletaan erityisesti aurinko-, tuuli- ja rakennusenergiajärjestelmien suunnittelussa ja toiminnassa. Kurssi kattaa dynaamisen mallinnuksen, aikasarja-analyysin ja koneoppimismenetelmät energiajärjestelmien optimointiin ja hallintaan. Kurssilla opitaan energiamarkkinoiden toimintaperiaatteita ja MATLAB-ohjelman käyttöä mallinnukseen. [94]

Future Energy Storage and Conversion Solutions -kurssilla perehdytään erilaisiin energian varastointiteknologioihin ja niiden tulevaisuuden mahdollisuuksiin. Kurssilla opitaan erityisesti akkuteknologioista sekä niiden toimintaperiaatteista, rakenteista ja käytännön sovelluksista. Lisäksi käsitellään vedyn roolia energian varastoinnissa ja sen hyödyntämistä eri markkinoilla. Kurssilla tutustutaan myös polttokennoihin, elektrolyysilaitteisiin sekä vetykäyttöisiin autoihin. [95]

Voimalaitokset ja energiatalous -kurssilla käsitellään eri voimaloita, kuten turbiini- ja ydinvoimaloita sekä aurinko-, tuuli- ja vesivoimaloita. Kurssilla opitaan voimaloiden käynnistykseen, käyttöön ja huoltoon liittyviä prosesseja. Lisäksi perehdytään voimaloiden ympäristövaikutuksiin, energiantuotannon kestävyyteen ja taloudellisiin laskelmiin. [96]

Uusiutuvat energialähteet -kurssi käsittelee uusiutuvien energialähteiden, kuten tuuli-, aurinko- ja bioenergian, ominaisuuksia, teknologioita ja kehitysnäkymiä. Lisäksi tarkastellaan eri energiamuotoja teknisten, taloudellisten ja ympäristövaikutusten näkökulmasta. Kurssin käytyään opiskelijat tuntevat alan keskeiset tietolähteet ja toimijat sekä osaavat etsiä tietoa aiheesta ja raportoida siitä. [97]

5. YHTEENVETO

Työ käsitteli uusiutuvia energialähteitä ja analysoi niihin liittyvää opetusta Suomen yliopistoissa lukukaudella 2024–2025. Työssä käytiin läpi uusiutuvaan energiaan liittyvä kurssitarjonta kandidaatti- ja diplomi-insinöörivaiheessa sekä kurssien sisältö. Uusiutuvien energialähteiden tarkastelu puolestaan osoitti niiden monipuoliset mahdollisuudet mutta myös haasteet, kuten kustannukset, varastoinnin tarpeen ja vaihtelevan tuotannon. Teknologioiden kehitys ja laajeneva käyttöönotto kuitenkin luovat perustaa hiilineutraalin energiajärjestelmän toteutumiselle.

Työssä havaittiin, että yliopistojen tutkinto-ohjelmista uusiutuvaan energiaan liittyvää opetusta on eniten energiatekniikan ja sähkötekniikan ohjelmissa. Osassa yliopistoista myös ympäristötekniikan ohjelmista löytyy uusiutuvan energian kursseja. Tampereen yliopisto erottuu muista energiamurroksen tutkinto-ohjelmallaan.

Yliopistojen kurssitarjonta uusiutuvaan energiaan liittyen on monipuolista erityisesti diplomi-insinöörivaiheessa, mutta useita kandidaattivaiheen kursseja löytyy myös. Kurssitarjonnassa on kuitenkin havaittavissa eroja yliopistojen välillä niin kurssien määrässä kuin painotuksissakin. Kandidaattivaiheen kursseissa painopiste on uusiutuvan energian perusteiden ja eri energialähteiden toimintaperiaatteiden ymmärtämisessä. DI-vaiheessa kurssit syventyvät teknologisiin ratkaisuihin, energiajärjestelmien hallintaan sekä taloudellisiin ja ympäristöllisiin näkökulmiin. Kokonaisuudessaan uusiutuvista energialähteistä aurinko- ja tuulivoimaan liittyviä kursseja on tarjolla eniten.

Tulevaisuudessa opetuksen merkitys korostuu entisestään, sillä energiasektorin nopea muutos edellyttää osaajia, jotka kykenevät hallitsemaan sekä yksittäisten teknologioiden että koko energiajärjestelmän muutoksen. Näin yliopistoilla on keskeinen rooli kestävän ja hiilineutraalin tulevaisuuden rakentamisessa. On myös perusteltua olettaa, että uusiutuvaan energiaan liittyvän opetuksen määrä ja tarjonta tulevat edelleen kasvamaan.

LÄHTEET

[1] M.B. Hayat, D. Ali, K.C. Monyake, L. Alagha, N. Ahmed, Solar energy-A look into power generation, challenges, and a solar-powered future, International Journal of Energy Research, Vol.43, No.3, Nov 2018, pp. 1049-1067

[2] A.M. Elseman, Solar Cells: Theory, Materials and Recent Advances, IntechOpen, London, 2021, 492 s.

[3] G. Stapleton, S. Neill, Grid-connected Solar Electric Systems: The Earthscan Expert Handbook for Planning, Design and Installation, Earthscan, Oxford, 2012, 235 s.

[4] N. Shah, A.A. Shah, P.K. Leung, S. Khan, K. Sun, X. Zhu, Q. Liao, A Review of Third Generation Solar Cells, Processes, Vol.11, No.6, June 2023, Article 1852

[5] C. Richter, D. Lincot, C.A. Gueymard, Solar Energy, Springer, New York, 2013, 744 s.

[6] SolarPower Europe, New report: Global solar installations almost double in 2023 but leaves emerging economies in the dark, 18.6.2024. Saatavissa (viitattu 7.10.2024): https://www.solarpowereurope.org/press-releases/new-report-global-solar-installations-almost-double-in-2023-but-leaves-emerging-economies-in-the-dark

[7] REN21, Renewables 2024 Global Status Report collection, Renewables in Energy Supply, Concentrated Solar Thermal Power (CSP), 2024. Saatavissa (viitattu 31.8.2025): https://www.ren21.net/gsr-2024/modules/energy_supply/02_market_and_industry_trends/02_csp/

[8] A. Dhar, M.A. Naeth, P.D. Jennings, M.G. El-Din, Geothermal energy resources: potential environmental impact and land reclamation, Environmental Reviews, Vol.28, No.4, Dec 2020, pp. 415-427

[9] I. Basel, Geothermal Energy, IntechOpen, London, 2022, 118 s.

[10] C. Cariaga, ThinkGeoEnergy's Top 10 Geothermal Countries 2023, ThinkGeoEnergy, 8.1.2024. Saatavissa (viitattu 12.10.2024): https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2023-power-generation-capacity/

[11] P.L. Younger, Geothermal Energy: Delivering on the Global Potential, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Basel, 2015, 430 s.

[12] T. Letcher, Wind Energy Engineering: A Handbook of Onshore and Offshore Wind Turbines, Academic Press, London, 2017, 600 s.

[13] P.A. Lynn, Onshore and offshore wind energy: an introduction, Wiley, Chichester, 2012, 240 s.

[14] P.A. Breeze, Wind power generation, Elsevier Science & Technology, San Diego, 2016, 105 s.

[15] R.P. Walker, A.H.P. Swift, Wind Energy Essentials: Societal, Economic, and Environmental Impacts, Wiley, New Jersey, 2015, 513 s.

[16] S.R. Sinsel, R.L. Riemke, V.H. Hoffmann, Challenges and solution technologies for the integration of variable renewable energy sources—a review, Renewable Energy, Vol.145, Jan 2020, pp. 2271-2285

[17] World Wind Energy Association, WWEA Annual Report 2023: Record Year for Windpower, 27.3.2024. Saatavissa (viitattu 14.10.2024): https://wwindea.org/AnnualReport2023

[18] Y. Liu, D.J. Packey, Combined-cycle hydropower systems – The potential of applying hydrokinetic turbines in the tailwaters of existing conventional hydropower stations, Renewable Energy, Vol.66, June 2014, pp. 228-231

[19] J.H. Halleraker, M.S. Kenawi, J.H. L'Abée-Lund, T.H. Bakken, K. Alfredsen, Assessment of flow ramping in water bodies impacted by hydropower operation in Norway – Is hydropower with environmental restrictions more sustainable?, The Science of the total environment, Vol.832, Aug 2022, Article 154776

[20] G. Ardizzon, G. Gavazzini, G. Pavesi, A new generation of small hydro and pumped-hydro power plants: Advances and future challenges, Renewable & sustainable energy reviews, Vol.31, Mar 2014, pp. 746-761

[21] D. Huertas-Hernando, H. Farahmand, H. Holttinen, J. Kiviluoma, E. Rinne, L. Söder, M. Milligan, E. Ibanez, S.M. Martínez, E. Gomez-Lazaro, A. Estanqueiro, L. Rodrigues, L. Carr, S. van Roon, A.G. Orths, P.B. Eriksen, A. Forcione, N. Menemenlis, Hydro power flexibility for power systems with variable renewable energy sources: an IEA Task 25 collaboration, WIREs Energy and Environment, Vol.6, No.1, June 2016, e220

[22] International Hydropower Association, 2024 World Hydropower Outlook, 2024. Saatavissa (viitattu 1.11.2024): https://www.hydropower.org/publications/2024-world-hydropower-outlook

[23] A. Dahiya, Bioenergy: Biomass to Biofuels, Academic Press, London, 2020, 873 s.

[24] A.J. Welfle, A. Almena, M.N. Arshad, S.W. Banks, I. Butnar, K.J. Chong, S.J.G. Cooper, H. Daly, S. Garcia Freites, F. Güleç, C. Hardacre, R. Holland, L. Lan, C.S. Lee, P. Robertson, R. Rowe, A. Shepherd, N. Skillen, S. Tedesco, P. Thornley, P.V. Barbará, I. Watson, O.S.A. Williams, M. Röder, Sustainability of bioenergy – Mapping the risks & benefits to inform future bioenergy systems, Biomass & bioenergy, Vol.177, Oct 2023, Article 106919

[25] P. Chowdhury, N.A. Mahi, R. Yeassin, N. Chowdhury, O. Farrok, Biomass to biofuel: Impacts and mitigation of environmental, health, and socioeconomic challenges, Energy conversion and management: X, Vol.25, Jan 2025, Article 100889

[26] T. Thennakoon, H. Hewage, D. Sandunika, L. Panagoda, W. Senarathna, L. Sulaksha, D. Weerarathna, W. Jayathma, D. Gamage, M. Perera, Harnessing the Power of Ocean Energy: A Comprehensive Review of Power Generation Technologies and Future Perspectives, Journal of Research Technology & Engineering, Vol.4, No.3, July 2023, pp. 73-102

[27] E.B. Agyekum, T. Khan, J. Dankwa Ampah, N.C. Giri, W. Fendzi Mbasso, S. Kamel, Review of the marine energy environment-a combination of traditional, bibliometric and PESTEL analysis, Heliyon, Vol.10, No.6, Mar 2024, Article e27771

[28] A.E. White, E. Baglietto, M. Bucci, N.T. Howard, P. Rodriguez-Fernandez, Fusion plasma turbulence research beyond the burning plasma era: perspectives on transport model validation in fusion and fission, Frontiers in nuclear engineering, Vol.3, May 2024, Article 1380108

[29] ITER, ITER In a Few Lines, 2025. Saatavissa (viitattu 27.9.2025): https://www.iter.org/few-lines

[30] H.J. Chang, S.W. Wang, Advancements in Tokamak Technology for Fusion Energy: A Bibliometric and Patent Trend Analysis (2014–2024), Energies, Vol.18, No.16, Aug 2025, Article 4450

[31] Aalto, Opiskelijan opas, Ohjelmat, Insinööritieteiden kandidaattiohjelma, Opetussuunnitelma 2024–2026, Energia- ja konetekniikka. Saatavissa (viitattu 19.3.2025): https://www.aalto.fi/fi/ohjelmat/insinooritieteiden-kandidaattiohjelma/opetussuunnitelma-2024-2026

[32] Sisu Aalto, Energia ja ympäristö 2024–2025. Saatavissa (viitattu 19.3.2025): https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-CU-1150972374-20240801/brochure

[33] Sisu Aalto, Termiset voimalaitokset ja uusiutuva energia 2024–2025. Saatavissa (viitattu 19.3.2025): https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-CU-1150972699-20240801/brochure

[34] LUT-yliopisto, Sähkötekniikka - opinto-opas, Sähkötekniikan kandidaatti 2024–2025. Saatavissa (viitattu 18.3.2025): https://forms.lut.fi/opinto-opas/Tutkinto.aspx?id=otm-9e468c99-ff58-4b21-8f1b-03b992c7435c&period=lut-curriculum-period-2024-2025

[35] LUT-yliopisto, Energiatekniikka - opinto-opas, Energiatekniikan kandidaatti 2024–2025. Saatavissa (viitattu 18.3.2025): https://forms.lut.fi/opinto-opas/Tutkinto.aspx?id=otm-28655642-1c20-4f09-af5c-3f6729b07fab&period=lut-curriculum-period-2024-2025

[36] LUT-yliopisto, Ympäristötekniikka - opinto-opas, Ympäristötekniikan kandidaatti 2024–2025. Saatavissa (viitattu 18.3.2025): https://forms.lut.fi/opinto-opas/Tutkinto.aspx?id=otm-1b87cc1c-9c31-4537-a33c-11bcfddf47f9&period=lut-curriculum-period-2024-2025

[37] Sisu LUT, Basics of Renewable Energy Engineering 2024–2025. Saatavissa (viitattu 18.3.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-7527d889-c712-436a-b08e-0de463ee23cb/brochure

[38] Sisu LUT, Introduction to Electrochemical Energy Storage and Conversion Technologies 2024–2025. Saatavissa (viitattu 18.3.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-77ec2f00-6fa7-4718-8221-083cb3adc87d/brochure

[39] Sisu LUT, In Wind Power and Solar Energy Technology and Business 2024–2025. Saatavissa (viitattu 18.3.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-ccf7dc16-659b-4ed3-943e-a1d144bcd868/brochure

[40] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, tutkinto-ohjelmat 2024–2025, Energiamurroksen kandidaattiohjelma. Saatavissa (viitattu 20.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/tutkinto-ohjelmat/otm-838c3dbc-d610-451e-9483-617df07b1d24?year=2024

[41] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, tutkinto-ohjelmat 2024–2025, Tekniikan ja luonnontieteiden kandidaattiohjelma, Ympäristö- ja energiatekniikka. Saatavissa (viitattu 20.11.2024): https://www.tuni.fi/opiskelijanopas/opintotiedot/tutkinto-ohjelmat/otm-16bba6b3-0557-4ac8-b33a-6acdcf7d6e23?year=2024&activeTab=1

[42] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, tutkinto-ohjelmat 2024–2025, Tieto- ja sähkötekniikan kandidaattiohjelma, Sähkötekniikka. Saatavissa (viitattu 20.11.2024): https://www.tuni.fi/opiskelijanopas/opintotiedot/tutkinto-ohjelmat/otm-fa02a1e7-4fe1-43e3-818b-810d8e723531?year=2024&activeTab=1

[43] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, opintojaksot 2024–2025, Energiatekniikan perusteet. Saatavissa (viitattu 20.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/opintojaksot/tut-cu-g-41957?year=2024

[44] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, opintojaksot 2024–2025, Polttokennot ja vetyteknologia. Saatavissa (viitattu 20.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/opintojaksot/tut-cu-g-35317?year=2024

[45] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, opintojaksot 2024–2025, Sektori-integraatio. Saatavissa (viitattu 20.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/opintojaksot/otm-54b9363f-5ef8-4896-9753-d5284dc156b4?year=2024

[46] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, opintojaksot 2024–2025, Älykkäät sähköenergiajärjestelmät. Saatavissa (viitattu 20.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/opintojaksot/otm-2ea8afbd-2c41-47aa-89a7-39b124a54d3e?year=2024

[47] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Sähkö- ja energiatekniikka. Saatavissa (viitattu 30.9.2024): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/ohjelma/9995?period=2024-2025

[48] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Energiatekniikan fysikaaliset perusteet. Saatavissa (viitattu 30.9.2024): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/opintojakso/ENER1020/4017?period=2024-2025

[49] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Energy Production. Saatavissa (viitattu 30.9.2024): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/opintojakso/SATE2020/28?period=2024-2025

[50] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Sustainable Smart Cities. Saatavissa (viitattu 30.9.2024): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/opintojakso/ISAN2050/3467?period=2024-2025

[51] Aalto, Opiskelijan opas, Ohjelmat, Master's Programme in Automation and Electrical Engineering, Opetussuunnitelma 2024–2026, Electrical Power and Energy Engineering. Saatavissa (viitattu 26.3.2025): https://www.aalto.fi/en/programmes/masters-programme-in-automation-and-electrical-engineering/curriculum-2024-2026

[52] Aalto, Opiskelijan opas, Ohjelmat, Master's Programme in Hydrogen and Electric Systems, Opetussuunnitelma 2024–2026. Saatavissa (viitattu 26.3.2025): https://www.aalto.fi/en/programmes/masters-programme-in-hydrogen-and-electric-systems/curriculum-2024-2026

[53] Aalto, Opiskelijan opas, Ohjelmat, Master's Programme in Advanced Energy Solutions, Opetussuunnitelma 2024–2026. Saatavissa (viitattu 26.3.2025): https://www.aalto.fi/en/programmes/masters-programme-in-advanced-energy-solutions/curriculum-2024-2026

[54] Sisu Aalto, Fuel Cells and Hydrogen Technology 2024–2025. Saatavissa (viitattu 26.3.2025): https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-CU-1150972964-20240801/brochure

[55] Sisu Aalto, Elements of Hydrogen System and Storages 2024–2025. Saatavissa (viitattu 26.3.2025): https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-CU-1150972338-20240801/brochure

[56] Sisu Aalto, Renewable Energy Engineering 2024–2025. Saatavissa (viitattu 26.3.2025): https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-CU-1150972468-20240801/brochure

[57] Sisu Aalto, Smart Grid 2024–2025. Saatavissa (viitattu 26.3.2025): https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-CU-1150971926-20240801/brochure

[58] Sisu Aalto, Solar Energy Engineering 2024–2025. Saatavissa (viitattu 6.4.2025): https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-CU-1150972874-20240801/brochure

[59] Sisu Aalto, Wind Power Engineering and Development 2024–2025. Saatavissa (viitattu 6.4.2025): https://sisu.aalto.fi/student/courseunit/aalto-CU-1150972697-20240801/brochure

[60] LUT-yliopisto, Sähkötekniikka - opinto-opas, Sähkötekniikan DI 2024–2025. Saatavissa (viitattu 3.7.2025): https://forms.lut.fi/Opinto-opas/Tutkinto.aspx?id=otm-e280d10b-4d85-4986-81af-4db20149d700&period=lut-curriculum-period-2024-2025

[61] LUT-yliopisto, Energiatekniikka - opinto-opas, Energy Conversion DI 2024–2025. Saatavissa (viitattu 3.7.2025): https://forms.lut.fi/Opinto-opas/Tutkinto.aspx?id=otm-dcb47b96-753c-4587-baae-9158b64a0b8a&period=lut-curriculum-period-2024-2025

[62] LUT-yliopisto, Energiatekniikka - opinto-opas, Energiatekniikka DI 2024–2025. Saatavissa (viitattu 3.7.2025): https://forms.lut.fi/Opinto-opas/Tutkinto.aspx?id=otm-e4539d8a-4289-4d84-8568-c4b3a6ba8731&period=lut-curriculum-period-2024-2025

[63] Sisu LUT, Energy Resources. Saatavissa (viitattu 5.7.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-f33e7e96-1849-4673-b7b4-86018bfbbf65/brochure

[64] Sisu LUT, Renewable Energy Technology. Saatavissa (viitattu 5.7.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-26732fdf-ecaa-4a56-bbbf-2d39d451c3b7/brochure

[65] Sisu LUT, Electrical Engineering in Wind and Solar Systems. Saatavissa (viitattu 7.7.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-a8110ed4-cdc4-4d0d-b20b-5c77dfe5af13/brochure

[66] Sisu LUT, Technologies for Electrochemical Energy Conversion and Storage of Electricity. Saatavissa (viitattu 7.7.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-cae66ff9-d9bb-4057-9f87-84f2d6543880/brochure

[67] Sisu LUT, Energy Scenarios. Saatavissa (viitattu 8.7.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-dc6275ef-e9b8-40ae-a5d7-91f9915feeb8/brochure

[68] Sisu LUT, Bioenergy. Saatavissa (viitattu 11.7.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-69238bfe-264f-4378-b6a0-c798488a08cc/brochure

[69] Sisu LUT, Bioenergy for EnTeDI. Saatavissa (viitattu 11.7.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-079358f4-8c16-4420-ba20-52f5dad58996/brochure

[70] Sisu LUT, Introduction to Energy Technology for EnTeDI Students. Saatavissa (viitattu 11.7.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-2e5dae66-6b07-43c6-b491-2855014b587f/brochure

[71] Sisu LUT, Advanced Biorefineries. Saatavissa (viitattu 14.7.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-0acbacd3-dc3f-4838-a987-bd323ef965b8/brochure

[72] Sisu LUT, Chemical and Biochemical Conversion of Biomaterials. Saatavissa (viitattu 15.7.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-a83845a0-c128-401b-8e6a-f9db11d917fc/brochure

[73] Sisu LUT, Bioenergy and Energy Use in the Forest Industry. Saatavissa (viitattu 15.7.2025): https://sisu.lut.fi/student/courseunit/otm-88c8a46d-c770-4699-b429-b19cf7acb02e/brochure

[74] Oulun yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Ympäristötekniikka (DI), Saatavissa (viitattu 10.11.2024): https://opas.peppi.oulu.fi/fi/ohjelma/41667?period=2024-2025

[75] Oulun yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Renewable Energy, Saatavissa (viitattu 10.11.2024): https://opas.peppi.oulu.fi/fi/opintojakso/488209S/10628?period=2024-2025

[76] Oulun yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Energy Systems Engineering, Saatavissa (viitattu 10.11.2024): https://opas.peppi.oulu.fi/fi/opintojakso/488507S/10963?period=2024-2025

[77] Oulun yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Biojalostamot, Saatavissa (viitattu 10.11.2024): https://opas.peppi.oulu.fi/fi/opintojakso/477224S/5616?period=2024-2025

[78] Oulun yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Smart Grid I: Integrating renewable energy sources, Saatavissa (viitattu 10.11.2024): https://opas.peppi.oulu.fi/fi/opintojakso/488501S/7711?period=2024-2025

[79] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, tutkinto-ohjelmat 2024–2025, Energiamurroksen DI-ohjelma. Saatavissa (viitattu 28.11.2024): https://www.tuni.fi/opiskelijanopas/opintotiedot/tutkinto-ohjelmat/otm-612efac0-cfe3-44d6-93da-239da9af2293?year=2024&activeTab=1

[80] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, tutkinto-ohjelmat 2024–2025, Ympäristö- ja energiatekniikan DI-ohjelma. Saatavissa (viitattu 28.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/tutkinto-ohjelmat/tut-dp-g-1162?year=2024

[81] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, tutkinto-ohjelmat 2024–2025, Sähkötekniikan DI-ohjelma. Saatavissa (viitattu 28.11.2024): https://www.tuni.fi/opiskelijanopas/opintotiedot/tutkinto-ohjelmat/tut-dp-g-1165?year=2024&activeTab=1

[82] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, opintojaksot 2024–2025, Introduction to Smart Grids and Renewable Energy. Saatavissa (viitattu 28.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/opintojaksot/tut-cu-g-42872?year=2024

[83] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, opintojaksot 2024–2025, Renewable electrical energy technologies. Saatavissa (viitattu 28.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/opintojaksot/otm-902e777b-7864-45a4-92ef-890f6d4f3332?year=2024

[84] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, opintojaksot 2024–2025, Solar-Driven Chemistry. Saatavissa (viitattu 28.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/opintojaksot/otm-649b1767-84ff-429e-bc5e-41b3bad53fed?year=2024

[85] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, opintojaksot 2024–2025, Solar Power Systems. Saatavissa (viitattu 28.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/opintojaksot/tut-cu-g-38911?year=2024

[86] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, opintojaksot 2024–2025, Voimalaitokset ja kytketyt energiajärjestelmät. Saatavissa (viitattu 28.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/opintojaksot/tut-cu-g-35380?year=2024

[87] Tampereen yliopisto, opiskelijan opas, opintotiedot, opintojaksot 2024–2025, Wind Power Systems. Saatavissa (viitattu 28.11.2024): https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/opintotiedot/opintojaksot/tut-cu-g-38931?year=2024

[88] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025. Saatavissa (viitattu 16.3.2025): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/perustutkintokoulutus/75?period=2024-2025

[89] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Smart Energy, Smart Grids. Saatavissa (viitattu 16.3.2025): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/ohjelma/9931?period=2024-2025

[90] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Energiatekniikan opintosuunta. Saatavissa (viitattu 16.3.2025): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/ohjelma/10290?period=2024-2025

[91] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Sähkötekniikan opintosuunta. Saatavissa (viitattu 16.3.2025): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/ohjelma/10275?period=2024-2025

[92] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Distributed Energy Generation Systems. Saatavissa (viitattu 16.3.2025): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/opintojakso/ENER3120/2027?period=2024-2025

[93] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Energy Storage for Sustainable Buildings and Districts. Saatavissa (viitattu 16.3.2025): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/opintojakso/ENER3210/9319?period=2024-2025

[94] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Modeling and Simulation of Energy Systems. Saatavissa (viitattu 16.3.2025): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/opintojakso/ENER3130/2042?period=2024-2025

[95] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Future Energy Storage and Conversion Solutions. Saatavissa (viitattu 16.3.2025): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/opintojakso/SATE3280/9315?period=2024-2025

[96] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Voimalaitokset ja energiatalous. Saatavissa (viitattu 16.3.2025): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/opintojakso/ENER3080/1162?period=2024-2025

[97] Vaasan yliopisto, opinto-opas 2024–2025, Uusiutuvat energialähteet. Saatavissa (viitattu 16.3.2025): https://opas.peppi.uwasa.fi/fi/opintojakso/SATE3090/106?period=2024-2025