

Tuomas Lammassaari

SELVITYS ENERGIATEKNIIKAN LABORATORIOLAITTEISTA

SELVITYS ENERGIATEKNIIKAN LABORATORIOLAITTEISTA

Tuomas Lammassaari
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, energiatekniikka

Tekijä: Tuomas Lammassaari
Opinnäytetyön nimi: Selvitys energiatekniikan laboratoriolaitteista
Työn ohjaaja: Jukka Ylikunnari
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015 Sivumäärä: 32 + 0 liitettä

Opinnäytetyö tehtiin, koska Oulun ammattikorkeakoulu rakentaa uudet laboratoriotilat tekniikan insinöörien koulutusohjelmille. Opinnäytetyössä mietittiin, mitä laitteita koulussa on ja mitä pitäisi olla, jotta laboratorio kattaisi insinööriopiskelijoille tarvittavat opetusvälineet.

Laitteistoa valittaessa kiinnitettiin huomiota laitteiden käyttötarkoituksiin ja niiden monipuolisuuteen. Uusia laitteita etsittiin Internetistä ja olemassa oleville laitteille mietittiin uusia käyttömahdollisuuksia. Vanhoja laitteita tai laboratoriotöitä ei kuitenkaan ole tarkoituksena poistaa, vaan tässä työssä esitetyt laitteet tulisivat täydentämään opetuslaitteistoa vastamaan nykyisiä vaatimuksia.

Sopiviksi laitteiksi laboratorioharjoituksiin löytyivät turbiini, pumppu, turbiinikiertojärjestelmä, putkiston painehäviölaite, mikrohöyryturbiinilaitos, pumppulaitteisto, lämmönvaihdinmoduuli ja mikro-CHP-laitos. Lisäksi ehdotettiin dieselmoottorin muuttamista biopolttoaineelle sopivaksi.

Asiasanat: energiatekniikka, mikro-CHP, laboratoriolaite

ALKULAUSE

Opinnäytetyö tehtiin Oulun ammattikorkeakoululle. Työtilaajana ja työn ohjaajana toimi lehtori Jukka Ylikunnari. Tahdon kiittää Jukka Ylikunnaria opinnäytetyön aikana saamasta ohjauksesta ja kannustuksesta. Lisäksi haluan kiittää avopuolisoani Camilla Ollitervoa tuesta ja kannustamisesta opinnäytetyön tekemisen vaikeina hetkinä.

27.4.2015

Tuomas Lammassaari

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 ENERGIA TEKNIIKAN LABORATORIO	8
3 MUUT ENERGIA TEKNIIKAN LAITTEISTOT	9
3.1 Dieselmoottori	9
3.2 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotannon (CHP) -kontti	9
3.3 Aurinkopaneelit	10
3.4 Polttokenno ja tuuligeneraattori	10
4 MIKRO-CHP	12
4.1 Stirlingmoottori	12
4.2 Mikroturbiini	14
4.3 Polttomoottori	15
4.4 Polttokennot	16
4.5 Höyryturbiinit ja -koneet	17
5 VALMIIT MIKRO-CHP-RATKAISUT	18
6 MAHDOLLISET LABORATORIO LAITTEET	20
6.1 Vesivoimalaitos	20
6.1.1 Lingenhölle Technologie KT100	20
6.1.2 Pumppu	21
6.2 Eternal Engineering Equipment pvt. Ltd.	22
6.3 RankineCycler	24
6.4 PumpLab	25
6.5 Lämmönvaihdin moduuli HT30XC	25
6.6 Dieselpolttomoottorin käyttäminen biopolttomoottorina	26
6.7 Varasähköntuottojärjestelmä	28
7 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	30

SANASTO

CHP	sähkön ja lämmön yhteistuotanto
ORC	orgaaninen rankine-kiertoprosessi
RME	rypsimetyyliesteri

1 JOHDANTO

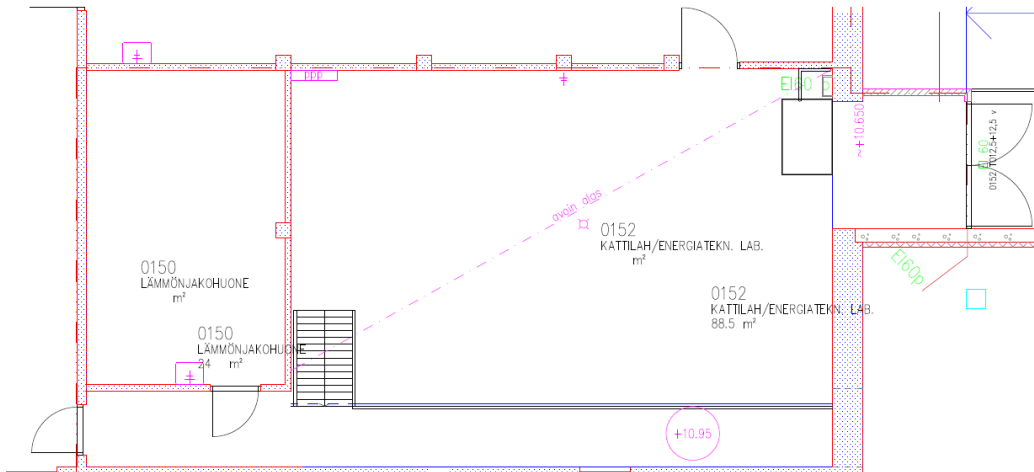
Tämä opinnäytetyö on tehty Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) tarpeisiin. Työ on tehty, koska Oulun ammattikorkealaitos suunnittelee uusia laboratoriotiloja Kaukovainion osastolle, jolloin on mahdollista lisätä laboratoriolaitteiden määrää. Opinnäytetyössä käsitellään energiatekniikan opetuksessa käytettäviä laboratoriolaitteistoja.

Työssä esitellään mikro- ja pien-CHP-tekniikassa käytettäviä laitteistoja, koska hajautettu energian tuotanto on nouseva teknologia-alue. Useat toimenpiteet sekä Euroopan unionin että Suomen tasolla kannustavat hajautettuun ja kestävään energiantuotantoon. Lisäksi uusiutuvien energialähteiden että yhteistuotannon osuutta energiantuotannossa halutaan nostaa.

Työn tavoitteena on pohtia nykyisiä ja uusia mahdollisuuksia käyttää energiatekniikan laitteistoja ja miettiä, mitä uusia laboratoriolaitteistoja tarvitaan, jotta ne täydentävät ja kattavat energiatekniikan ja sitä sivuavien opintojaksojen opetussisältöä. Työssä esitetään mahdollisia laitteistoja, joita voidaan käyttää opetuksessa ja energiantuotossa. Laitteita valittaessa on kiinnitetty huomiota, että niitä voidaan käyttää mahdollisimman monipuolisesti opetuskäytössä.

2 ENERGIATEKNIIKAN LABORATORIO

Tällä hetkellä Oamkin energiatekniikan laboratoriotilat koostuvat kolmesta tilasta, joissa on erilaisia laitteistoja, kuten puukattila, pellettikattila, maalämpöpumppu sekä kaukolämmön lämmönsiirtimet. Näiden laitteiden tilantarve on tällä hetkellä 88,5 m². Kylmälaitteistot, lämpöpumput, kylmiö ja vedenjäähdytyskone ovat myös omassa tilassaan sekä dieselmoottori myös omassa tilassaan. Laitteiden tilantarve ei ole riittävä, jos laitteita hankitaan lisää tai laitteet sijoitetaan yhteiseen tilaan. Kuvassa 1 on esitetty kattilahuone.



KUVA 1. Kattilahuone ja energiatekniikan laboratorio

Puu- ja pellettikattilaa käytetään opetuskäytössä energiatekniikan laboratoriotöissä. Puukattilaan on kytketty varaaja, joka mahdollistaa tuotetun energian varastoinnin. Tehtävänä on mitata laboratoriossa kattiloiden hyötysuhde epäsuoralla ja suoralla menetelmällä sekä laskea savukaasuhäviö ja johtumishäviö.

Maalämpöpumpulla laboratorioharjoituksessa tehtävänä on mitata laboratorion maalämpöpumpun lämpökerroin, laskea lämpöpumpun luovuttama teho ja energia sekä tutkia lämpöpumpun toimintaa log-pH-piirroksen avulla. Ilmalämpöpumpulla tehtävänä on mitata laboratorion Sanyon ulkoilmalämpöpumpun lämpökerroin, kun ulkolämpötila vaihtelee. Vedenjäähdyttimellä suoritetaan laboratorio harjoitus, jossa määritetään laboratorion lämpöpumpun teho ja lämpökerroin. Mittaustulokset luetaan laitteeseen kytkettävällä energiamittarilla.

3 MUUT ENERGIATEKNIIKAN LAITTEISTOT

3.1 Dieselmoottori

Laboratoriossa on Lister-petter-merkkinen turbotettu 21,1 kW:n dieselmoottori järjestelmä, joka on generaattorilla varustettu. Generaattorin maksimiteho on 25 kW (50 Hz). Dieselgeneraattori on suunniteltu opinnäytetyönä, mutta sitä ei ole otettu minkäänlaiseen hyötykäyttöön. Sitä voitaisiin käyttää esimerkiksi varavoimälähteenä sähkökatkosten aikana liittämällä se koulun sähköverkkoon. Kuvassa 2 on esitetty generaattorilla varustettu dieselmoottori.



KUVA 2. Lister-petter-dieselmoottori, jossa on Linz-generaattori

3.2 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotannon (CHP)-kontti

Liikuteltava sähkön- ja lämmöntuotannon (CHP) -kontti (kuva 3) on järjestelmä, joka koostuu polttomoottorista, generaattorista sekä sähköenergian verkkosyöttöyksiköstä. Kontti voidaan kuljettaa tuottamaan sähkö- ja lämpöenergiaa kohteisiin, joissa on puu- tai biokaasun tuotantoa. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi maatilat ja asuinkorttelit. Kontin sähköteho on 30 kW ja kokonaislämpöteho noin 80 kW. (1.)



KUVA 3. Sähkön- ja lämmöntuotannon (CHP) -kontti (1)

Kontissa on kehittyneet mittaus- ja analysointijärjestelmät, joilla voidaan määrittää energiantuottoprosessin kokonaishyötysuhde ja kaasumaiset päästöt. Mittaustietoja käytetään säätöparametreina ohjausjärjestelmässä, jolla optimoidaan päästöjä ja laitoksen hyötysuhdetta kulloinkin käytettävissä oleville polttoainevaihtoehdoille. (1.)

Kontissa olevaa polttomoottoria voidaan käyttää myös säiliöön varastoidulla, puhdistetulla ja paineistetulla maa- tai biokaasulla. Näin ollen konttia voidaan hyödyntää esimerkiksi erilaisissa koulutuksissa ja messutapahtumissa. (1.)

3.3 Aurinkopaneelit

Oamkin aurinkosähköjärjestelmään kuuluu 20 aurinkopaneelia, asennustelineet ja sähköverkkoon virtaa syöttävä invertteri. Paneelit on sijoitettu Tekniikan ja luonnonvara-alan yksikön katolle ja niiden nimellisteho on noin 5 000 W. Paneelien tuottama sähköenergia syötetään Tekniikan ja luonnonvara-alan yksikön sähköverkkoon. (1.)

3.4 Polttokenno ja tuuligeneraattori

Oamkin polttokennolaitteiston polttoaineena toimii metanoli. Sekä polttokennosta että tuulivoimasta saatava sähköenergia voidaan ladata akkuihin ja muuttaa invertterillä 230 V vaihtovirraksi. Tuuligeneraattorin ja tuulianturien avulla

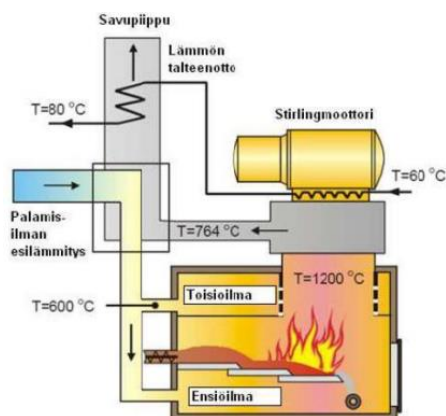
voidaan selvittää pientuulivoiman käyttömahdollisuuksia. Tuulianturin mittaustietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi myöhemmin rakennettavan tuulivoimasimulaattorin käytössä. (1.)

4 MIKRO-CHP

Mikro-CHP on olennainen osa sähkön pientuotantoa, jolle on useita määritelmiä. Ne pohjautuvat usein voimalan nimellis- tai maksimitehoon. Pienimuotoiselle sähköntuotannolle tyypillinen teho on muutamista kymmenistä satoihin kilowatteihin tai korkeintaan muutamia megawatteja. Mikrotuotannolla tarkoitetaan pienjänniteverkkoon kulutuskohteen yhteyteen kytkettyä sähköntuotantolaitosta, joka voi olla yhdistettynä sähköjakeluverkkoon. Mikrotuotantolaitteiston tehorajana pidetään 50 kVA:a. (2.)

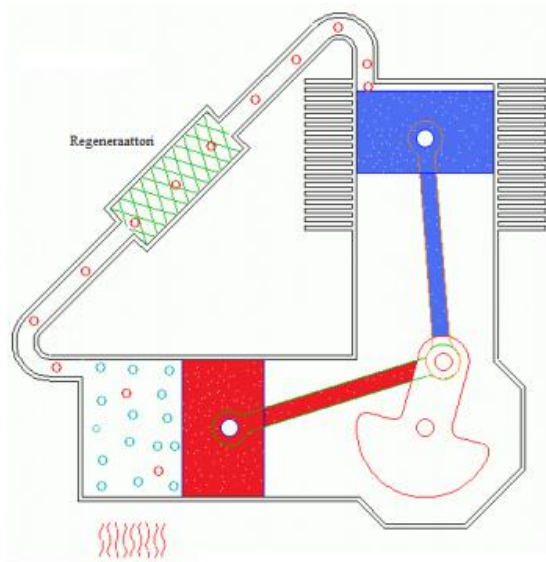
4.1 Stirlingmoottori

Stirlingmoottori on lämpömoottori, jonka työkaasuna toimii yleensä ilma, helium tai vety. Työkaasujen lämpötilaerosta aiheutuu syklinen puristus ja laajennus, eli lämpöenergia muuttuu mekaaniseksi työksi. Stirlingmoottori toimii suljetussa systeemissä, mikä tarkoittaa tässä tapauksessa termodynaamista systeemiä, jossa ainetta ei vaihdu ympäristön kanssa ja lämmön varaaja varastoi lämmön regeneraattorille. Kaasun virratessa kylmältä puolelta kuumalle puolelle regeneraattoriin varautunut lämpö esilämmittää työkaasua ennen lämmönvaihtimessa tapahtuvaa kuumennusta. Sisäinen lämmönvaraaja erottaa stirlingmoottorin muista suljetuista kuumailmamootoreista. Stirlingmoottori (kuva 4) on tunnettu korkeasta hyötysuhteesta verrattuna höyrykoneisiin, hiljaisesta käyntiäänestä ja mahdollisuudesta käyttää melkein mitä tahansa polttoainetta lämpölähteenä. (3.)



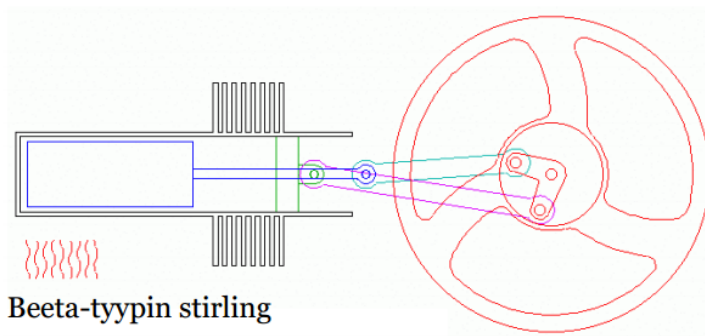
KUVA 4. Stirling perusteinen CHP-laitteiston periaatepiirros (4)

Stirlingmoottorit voidaan jakaa kolmeen tyyppiin: alfa-, beta- ja gamma-tyypin moottoreihin. Alfa-tyypin moottori (kuva 5) koostuu kahdesta sylinteristä ja männästä, joista toinen on kuuma ja toinen kylmä, joilla on omat lämmönsiirtimensä. (5.) Alfa-tyypin moottori on tehokas suhteessa kokoonsa, mutta sisältää ongelmia kuumen päänsylinterin tiivisteiden kestävyuden vuoksi.



KUVA 5. Alfa-tyypin stirlingmoottori (6)

Beta-tyypin moottorissa (kuva 6) on yksi työtä tekevä tehomännä. Samassa sylinterissä on syrjäyttämännä, jonka halkaisija on pienempi kuin sylinterin eikä se tuota tehoa. Syrjäyttämännän tehtävä on siirtää jäähtynyt ilma takaisin kuumaan päähän.

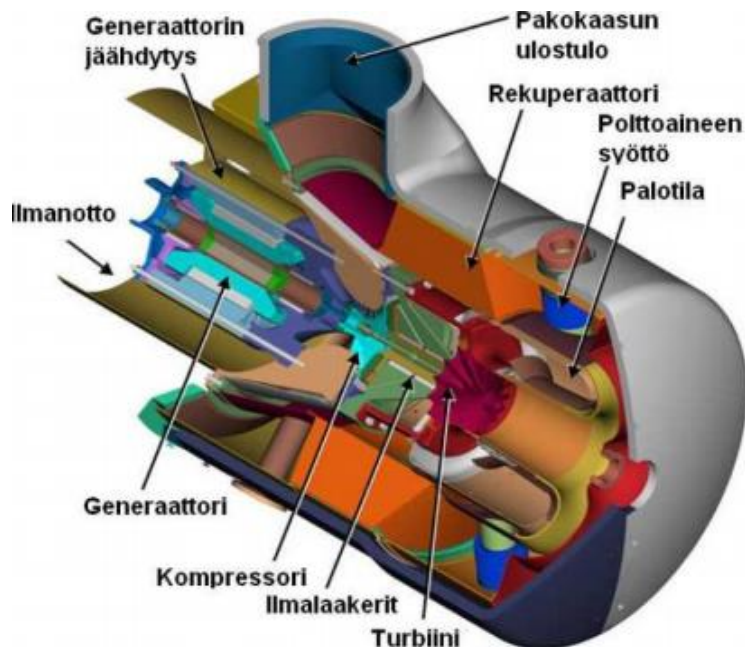


KUVA 6. Beta-tyypin stirlingmoottori (6)

4.2 Mikroturbiini

Mikroturbiinit ovat noin 25–250 kW:n kaasuturbiineja, joissa voidaan käyttää useita nestemäisiä polttoaineita, kuten maakaasua, biokaasua, vetyä tai kaasutettua kierrätyspolttoainetta tai biomassaa. Myös nestemäisiä polttoaineita, kuten dieselöljyä, bensiiniä tai bioöljyä, voidaan käyttää. Polttoaine palaa polttokammiossa, josta kaasu johdetaan kaasuturbiiniin. Syöttöilma paineistetaan kompressorissa. Mikroturbiinissa on tavallisesti yksi akseli, johon generaattori, kompressorin ja turbiinin akseli on laakeroitu. Mikroturbiinin pyörimisnopeudet ovat suuria generaattorien vaihtovirran korkeataajuuden vuoksi. Mikroturbiinilaitoksen tuottama virta muutetaan verkkotaajuiseksi taajuusmuuntajalla. Pelkällä sähköntuotannolla mikroturbiinilla hyötysuhde jää 15–35 %:iin, mutta CHP-käytössä hyötysuhde kasvaa 75–85 %:iin. (7.)

Mikroturbiinin etuja ovat yksinkertaisuus ja hyvä sähkön tuoton hyötysuhde, mutta siihen pohjautuvat pien-CHP-järjestelmät ovat noin kaksi kertaa kalliimpia kuin polttomoottoritekniikan järjestelmät. Mikroturbiinilla saavutetaan hiljainen toiminta verrattuna polttomoottoritekniikkaan. (8.) Kuvassa 7 on esitetty mikroturbiinin rakenne.



KUVA 7. Mikroturbiinin rakenne (7)

4.3 Polttomoottori

Moottorivoimala koostuu mäntämoottorista ja siihen liitetystä generaattorista. CHP-käytössä sähkön lisäksi hyödynnetään prosessissa syntyvä lämpö. Polttomoottorille on tyypillistä korkea sähköhyötysuhde, laaja tehoalue sekä monipuolinen polttoainevalikoima. Etuja ovat lisäksi lyhyt rakennusaika ja modulaarisuus, jolloin tehotaso voidaan muuttaa halutulle tasolle kytkemällä standardoituja moduuleita yhteen. (9, s. 17.)

Pienet, alle 200 kW:n moottorit perustuvat tavallisesti autojen dieselmootteihin, joihin on lisätty kipinäsytytys. Suuremmissa moottoreissa käytetään joko kipinä- tai puristusytytystä. Pienimpiä moottoreita lukuun ottamatta alle 1 MW:n sähkötehon tuottavat moottorit ovat turboahdettuja, mikä nostaa tehoa noin 40 % verrattuna vapaasti hengittäviin moottoreihin ja mahdollistaa laihaseoskäytön, mikä alentaa typenoksidien muodostumista. (9, s.17.)

Kaasu- ja dieselmoottorien sähköhyötysuhde on koosta riippuen 30–45 % ja kokonaishyötysuhde 75–90 %. Sähköhyötysuhteeseen vaikuttaa laitteen koko ja yleensä tehon kasvaessa päästään parempaan hyötysuhteeseen. (9, s.17.) Polttomoottorin teknisiä ominaisuuksia on esitetty tarkemmin taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Polttomoottoreiden tyypilliset tekniset ominaisuudet (9, s. 17)

	<200 kW	200 – 2 000 kW	2 - 10 MW
Sähköhyötysuhde (%)	30–38	35–40	40–45
Lämpöhyötysuhde (%)	45–50	45–50	45–50
Kokonaishyötysuhde (%)	75–85	80–90	85–90
Lämmöntuotto (°C)	85–100	85–100, höyry	85–100, höyry
Peruskorjausväli (h)	15 000–20 000	20 000–30 000	30 000–40 000
Käytettävyys (%)	96	94	96
Kierrosnopeus (1/min)	1000–3 000	1000–1 800	600–1 000

Kaasu- ja dieselmoottorit soveltuvat parhaiten kohteisiin, joissa on tasainen sähkön ja lämmön tarve sekä joissa edellytetään hyvää sähköntuotannon hyöty-

suhdetta. Pienimmissä kohteissa kuten pientalossa, ongelmana on moottoreiden huoltotarve ja melu. Kokoluokan kasvaessa moottorivoimalaitosten edut tulevat paremmin esille. (9, s. 17.)

4.4 Polttokennot

Polttokenno on laite, jossa kemiallinen energia muunnetaan suoraan sähköksi. Polttoaineena käytetään yleisesti vetyä. Polttokennossa toiselle elektrodille syötetään polttoainetta ja toiselle elektrodille hapetinta. Kennossa oleva elektrolyytti toimii varauksen kuljettajana. Ulkoisessa virtapiirissä kulkevat elektronit synnyttävät sähkövirran. Polttokennon reaktio riippuu käytetystä polttoaineesta ja elektrolyytistä. Polttokennot jaetaan viiteen tyyppiin käytetyn elektrolyytin perusteella. Nämä ovat alkali- (AFC), polymeeri- (PEMFC), fosforihappo- (PAFC), sulakarbonaatti- (MCFC), ja kiinteäoksidipolttokenno (SOFC). Näistä kolme ensimmäistä toimii matalissa lämpötiloissa. Karkeasti jaettuna polttokennot voidaan jakaa elektrolyytin mukaan happamiin ja alkalisiin. (9, s. 22.)

Polttokennon merkittävin etu on sen korkea sähköhyötysuhde, vaikka pienimmissä matalalämpötilaisissa kennoissa polttoaineen reformointi heikentää sähköhyötysuhdetta. Matalalämpöisissä kennoissa saavutetaan noin 40 % hyötysuhde. Korkealämpöisissä kennoissa sähköhyötysuhde on noin 50 %. Ne tuottavat lämpöä korkeassa lämpötilassa, jota voidaan käyttää monin tavoin hyväksi. Polttokennojen teknisiä ominaisuuksia on esitetty tarkemmin taulukossa 2. (9, s. 22.)

TAULUKKO 2. Polttokennon tekniset ominaisuudet (9, s. 23)

	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Tehoalue	1-250 kW	1-1 500	0,1-10 MW	0,1-50 MW
Sähköhyötysuhde (%)	38-43	38-85	50-55	48-52
Kokonaishyötysuhde (%)	70-80	75-85	85-95	85-95
Toimintalämpötila (°C)	60-80	150-200	500-600	800-1 000
Polttoaine	vety, kaasua, metanoli	vety, maakaasu	vety, maakaasu	vety, maakaasu, hiilimonoksidi

Kennon elinikä (h)	-	40 000–6000		
Käytettävyys		95–97		

Polttokennot soveltuvat teknisesti useimpiin käyttökohteisiin, koska ne pystyvät toimimaan osatehoillakin hyvällä hyötysuhteella. Asuintaloihin ja liikerakennuksiin soveltuvat parhaiten matalalämpöiset kennotyypit PEMFC ja PAFC. Teollisuussovelluksiin, joissa tarvitaan korkeampaa lämpötilaa, soveltuvat sekä MCFC että SOFC, jotka soveltuvat myös kauko- ja aluelämpökäyttöön. (9, s. 22.)

4.5 Höyryturbiinit ja -koneet

Lämpökattilan ja höyrykoneen yhdistelmään perustuvassa CHP-voimalassa polttoaineesta vapautuvalla lämpöenergialla tuotetaan höyrykattilassa höyryä, joka johdetaan sähkögeneraattoria pyörittävään höyrykoneeseen. Höyrykoneessa korkeapaineista höyryä käytetään liikuttamaan sylinterissä mäntää, joka voidaan kampiakselin avulla yhdistää generaattoriin tuottamaan sähköä. Höyryn paine alenee sylinterissä, ja matalapaineinen höyry voidaan käyttää edelleen lämmön tuottamiseksi.

Polttoaineena voidaan käyttää esimerkiksi hiiltä, öljyä, turvetta, maakaasua tai biomassaa, jotka palavat erillisessä kattilassa. Höyryturbiineissa paineistettu höyry kulkee turbiinin siipien läpi, jotka pyörittävät generaattoria. Höyrykone on höyryturbiinia taloudellisempi vaihtoehto alle 1 MW:n laitoksissa, koska höyryturbiinin hyötysuhde on alhaisempi etenkin osakuormilla. (9, s. 24.)

5 VALMIIT MIKRO-CHP-RATKAISUT

Kotitalouksiin ja muutaman asunnon kiinteistöihin soveltuvaa mikro-CHP-tekniikkaa myyviä yrityksiä löytyy lähinnä Euroopasta. Laitteistot pohjautuvat pääsääntöisesti stirling-tekniikkaan. Taulukossa 3 on eritelty eurooppalaisia laitteistovalmistajia kokoluokassa 1–10 kW.

TAULUKKO 3. Laitteistovalmistajat 1–10 kW kokoluokassa (8)

Micro-CHP	Polttoaineet	Tekniikka	Valmistusmaa
KWB	Pelletti	Stirling	Itävalta
Disenco	kaasu, puu, öljy, biopolttoaineet	Striling	Englanti
Sunmachine	Pelletti	Stirling	Saksa
Ekogen Oy	Hake, pelletti, turve	Stirling	Suomi
Cleanergy AG	Hake, biomassa	Stirling	Ruotsi

Valmiita kaupallisia CHP-järjestelmiä kokoluokassa 10–1 000 kW on tarjolla eniten Euroopassa. Niissä yleisimmät tekniikat ovat kaasutukseen perustuvat tekniikat sekä ORC. Taulukossa 4 on eritelty laitteistovalmistajia kokoluokassa 10–1 000 kW.

TAULUKKO 4. Laitteistovalmistajat 10–1 000 kW kokoluokassa (8)

Pien-CHP	Polttoaineet	Tekniikka	Valmistusmaa
Gasek Oy	Puu, hake, pelletti, biojätteet	Kaasutus → Polttomoottori	Suomi
Talbotts Biomass Energy	Hake, biomassa	Mikroturbiini	Englanti
Stirling.dk	Hake, biomassa, biokaasu	Stirling	Tanska

(jatkuu)

TAULUKKO 4 (jatkuu)

Tri-O-Gen	Hake, yms, (lämpö)	ORC	Hollanti
Fortel Components Oy	Hake, biomassa	Kaasutus → Poltto- moottori	Suomi
Energiprojekt AB	Hake, biomassa	Höyryturbiini	Ruotsi
Ekogen Oy	Hake, pelletti, turve	Mikroturbiini	Suomi
Ormat	Hake, yms, (lämpö)	ORC	USA
Alfagy Ltd	Hake, biomassa	Kaasutus → Poltto- moottori	Englanti
Schmitt Enertec	Hake, sahausjäte, kaasut	Kaasutus → Poltto- moottori	Saksa
Polytechnik Group	Hake, yms, (lämpö)	Höyryturbiini / ORC	Itävalta
Maxxtec AG	Hake, yms, (lämpö)	ORC	Saksa
Entimos Oy	Biomassa, hake yms.	Kaasutus → Poltto- moottori	Suomi
Turboden	Hake, yms, (lämpö)	ORC	Italia
Kohlbach Group	Hake, yms, (lämpö)	ORC	Itävalta
GET	Hake, yms, (lämpö)	ORC	Saksa
Savonia Power Oy	Hake, sahausjäte, turve	Höyryturbiini	Suomi

6 MAHDOLLISET LABORATORIO LAITTEET

Uusittavaan energiatekniikanlaboratorioon kehitetään laitteita, joilla voidaan suorittaa erilaisia harjoituksia eri opintojaksojen aikana. Laitteita valittaessa on mietitty, mitä laitteita ja ominaisuuksia tarvitaan, jotta energiantuotannossa käytettävät tekniikat olisi mahdollista opettaa käytännönläheisesti ja kattavasti.

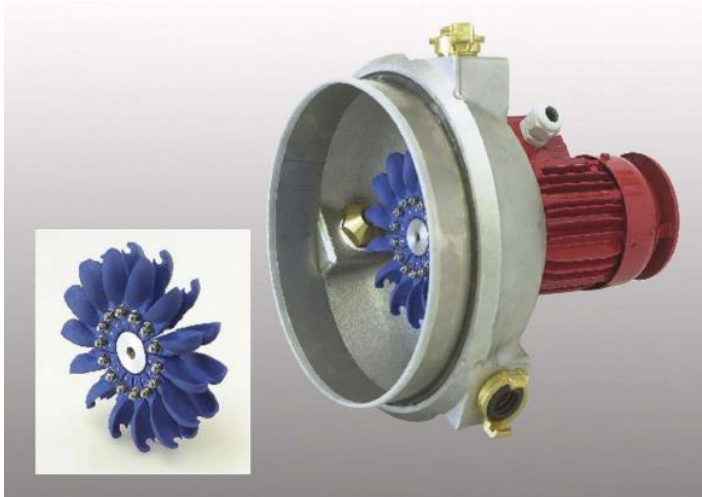
6.1 Vesivoimalaitos

Pienoisvesivoimalaitos voitaisiin rakentaa noin 3 metrin putouskorkeudella erilliselle telineelle, jonka päälle sijoitetaan vesisäiliö. Säiliöstä vesi laskisi putkea pitkin turbiinille, joka on kytkettynä generaattoriin. Turbiinin jälkeen vesi pumpattaisiin takaisin säiliöön.

Vesivoimalaitoksella voitaisiin mitata turbiinin tehoa sekä yhteistyössä eri kursien kanssa suunnitella vesiturbiineja erilaisilla juoksusiivillä. Näin voitaisiin tehdä tutkimuksia siipien kulmien ja muotojen vaikutuksista tehoon. Vesivoimalaitosta suunnitellessa on tärkeintä ottaa huomioon veden virtausmäärä ja putouskorkeus. Jos putouskorkeus ja virtaus eivät vastaa turbiinille suunniteltuja arvoja, ei päästä turbiinin tuottamaan maksimitehoon. 3 metrin putouskorkeus riittää helposti useamman kilowatin turbiineille, mutta tehon kasvun myötä vesimäärän ja putouskorkeuden tarve kasvaa.

6.1.1 Lingenhölle Technologie KT100

Lingenhölle Technogien valmistama 100 watin KT100 Pelton -turbiini (kuva 8) sopii tehtävälle vesivoimalaitokselle sopivan putouskorkeuden ja vähäisen virtaus-tarpeensa vuoksi. Turbiinin suositeltu käyttöjännite on 24 V, mutta turbiinia voidaan käyttää myös 12 V akkujärjestelmissä. (10.) Taulukossa 5 on esitetty turbiinin tekniset ominaisuudet.



KUVA 8. Lingenhölle Pelton -turbiini KT100 (11)

TAULUKKO 5. Lingenhölle KT100 -turbiinin tekniset tiedot (11)

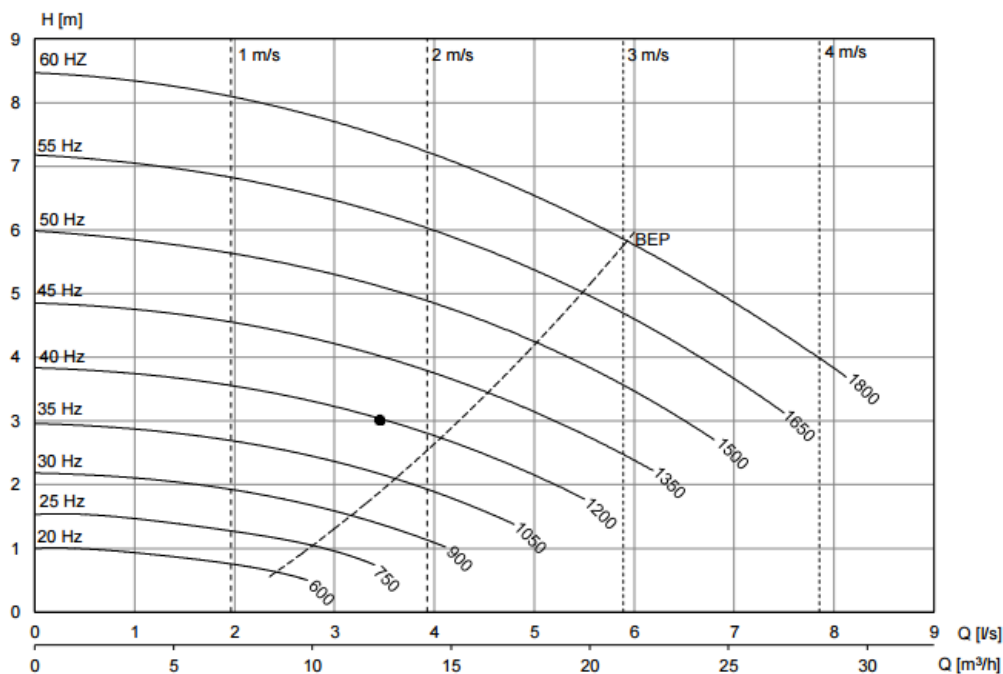
Lingenhölle KT100	
Paino	10 Kg
H_{\max}	35 m
H_{\min}	3 m
Q_{\max}	3,5 l/s
Q_{\min}	0,5 l/s
P_{\max}	100 W

6.1.2 Pumppu

Turbiinin läpi kulkeneen veden palauttamiseen ylös käytettävään pumpun valintaan vaikuttavat nostokorkeus ja pumpun tuottama tilavuusvirta. Jos turbiinille syötetään erilaisia tilavuusvirtoja, pitää pumppua pystyä säätämään. Käyttämällä taajuusmuuntajaa pystytään pumpun moottorin kierrosnopeutta säätämään. Jos pumppu on kytkettynä suoraan sähköverkkoon, pyörii pumppu sähköverkon määrittämällä nopeudella 50 Hz.

Toinen vaihtoehto tilavuusvirran säätämiseksi on asettaa samanlaisia, mutta pienempiä pumppuja rinnan. Kun pumput ovat samanlaisissa haaroissa rinnan, toimivat ne samalla nostokorkeudella, jolloin pumppujen tilavuusvirrat laske-
malla yhteen saadaan todellinen tilavuusvirta. (12.)

Jos turbiinina käytetään Ligenhölén valmistamaa KT100 Pelton -turbiinia, pum-
puksi sopisi esimerkiksi taajuusmuuntajalla varustettu Kolmeksin valmistama L-
50A/4 SC. Pumppu pystyisi tuottamaan 3,5 l/s tilavuusvirran 3 metrin korkeu-
delle ja pumpulla pystyttäisiin myös suurempiin tilavuusvirtoihin ja nostokorkeu-
teen tarpeen vaatiessa. Pumpun ominaiskäyrä on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Kolmeksin L-50A/4 SC:n ominaiskäyrä (13)

6.2 Eternal Engineering Equipment pvt. Ltd.

EEE on yritys, joka on erikoistunut valmistamaan tekniikan opetuslaitteistoja ja erikoislaitteistoja. Yritykseltä on muun muassa valmiita Pelton- (kuva 10), Kap-
lan- ja Francis -turbiinikiertojärjestelmiä, joita voitaisiin hyödyntää energiatekni-
kan laboratoriossa. Laitteistolla voidaan demonstroida turbiinin toimintaa ja tut-
kia turbiinin tehontuottoon vaikuttavia tekijöitä. (14.)



KUVA 10. HMC-04 Pelton -turbiini kiertojärjestelmä (15)

Turbiini kiertojärjestelmien lisäksi yrityksellä on putkistonpainehäviölaitteisto (kuva 11), jolla voitaisiin tehdä putkistoissa olevista kuristuksista, laajennuksista ja mutkista aiheutuvia painehäviömittauksia. Tämä laite sopisi erinomaisesti virtaustekniikan kurssille, jolloin voitaisiin tehdä käytännön mittauksia putkihäviöistä.



KUVA 11. FM - 08 Putkiston painehäviölaitteisto (16)

Valmiin laitteiston ostamisella saataisiin varmasti toimiva laitteisto, mutta se saattaisi rajoittaa mahdollisuuksia muokata laitteistoa erilaiseksi ja näin rajoittaa suoritettavia harjoituksia. Laboratoriolaitteiston rakentaminen omatoimisesti tulisi todennäköisesti halvemmaksi.

6.3 RankineCycler

Turbine Technologies Ltd valmistaa tekniikan koulutuskäyttöön suunniteltuja laitteistoja. Yksi niistä on RankineCycler (kuva 12). Se on työpöydän kokoinen höyryturbiinilaitos, joka toimitetaan valmiiksi rakennettuna. Laite koostuu aksiaalivirtaus höyryturbiinista, AC/DC-generaattorista ja lauhdutintornista. (17.)



KUVA 12. RankineCycler (17)

Laitoksen kattila on avattavissa, jolloin nähdään helposti tuliputket, polttoainesuuttimet, pyörteenkehitinputket ja sytyttimet. Säädettävä palamispuhallin mahdollistaa nestekaasun ja maakaasun käytön polttoaineena. Laitoksen toimintaa voidaan ohjata multi-pass-ohjelmistolla, josta nähdään tärkeimmät suuret reaaliajassa, kuten lämpötilat, paineet, polttoaineen virtaus ja höyryturbiinin antama teho. (17.)

Laitteistolla pystyttäisiin koulutuskäytössä opettamaan käytännönläheisesti (17)

- energiatase
- termodynamiikan 1. ja 2. laki
- entropia
- isentrooppinen analyysi ja turbiinin hyötysuhde
- lämmönsiirto ja kattilan hyötysuhde
- palamisprosessi
- höyryvoiman perusrakenne
- sähkövoiman tuotanto
- käytännön tekniikka ja tiedon keruu.

6.4 PumpLab

PumpLab (kuva 13) on myös Turbine Technologies Ltd:n valmistama laboratoriolaitte. Pumppujärjestelmässä on läpinäkyvä virtauspiiri. Laitteisto sisältää kolme erilaista juoksupyörää keskipakopumpulle. Laitteisto olisi hyödyllinen pumppaustekniikan opetusvälineeksi. Sillä oppilaat voisivat laitteiston sisältämällä ohjelmistolla kehittää pumpun ominaiskäyriä prosessin ohjaukseen paineen ja virtauksen mukaan. Laitteistolla voidaan myös demonstroida pumpulle haitallinen kavitaatio ja sen vaikutuksia järjestelmän tehokkuuteen. Laitteistossa oleva valaistus näyttää kavitaation ja sen vaikutuksen juoksupyörän rajakerrokseen. (18.)



KUVA 13. PumpLab (18)

6.5 Lämmönvaihdin moduuli HT30XC

Armfieldin valmistama lämmönvaihdin moduuli (kuva 14) on suunniteltu kuvaamaan lämmönsiirron periaatteita ja tekniikoita nestevirtojen välillä. Laitteistoon voidaan liittää erilaisia pienoiversiota teollisuudessa käytettävistä lämmönvaihtimista, kuten levy-, putki- ja vastavirta lämmönvaihtimia. (19.)



KUVA 14. HT30XC (19)

Tietokoneeseen asennettavalla ohjelmistolla voidaan kontrolloida laitteiston toimintaa, tallentaa dataa ja käyttää opetuksessa. Laitteiston järjestelmään on asennettu suojaohjelmisto, joka takaa laitteiston turvallisen käytön ja estää laitteiston rikkoutumisen. (19.)

Laitteisto sopisi loistavasti lämmönsiirtotekniikka kurssille. Sillä voitaisiin opettaa käytännössä lämmönsiirron teoriaa, tekniikkaa ja toimintaa käytännössä erilaisilla lämmönvaih dintekniikoilla.

6.6 Dieselpolttomootorin käyttäminen biopolttomootorina

Oulun ammattikorkeakoululla oleva Lister-petter-merkkinen turbotettu dieselmoottori muutetaan yhteensopivaksi biopolttoaineelle. RME-biodieselä voi käyttää uusimmissa dieselmootoreissa normaalisti. Vanhimmissa dieselmootoreissa polttoaineputkien imupuolet saattavat haurastua vähitellen biodieselin käytöstä. Tämä aiheutuu luonnonkumista valmistetuista tiivisteistä. Vaihtamalla luonnonkumitiivisteet esimerkiksi muovisiin ongelma poistuu. (20.)

Biopolttoaineella ja dieselillä toimivalla moottorilla voisi tehdä laboratoriossa vertailuajoja biodieselillä ja dieselillä, jolloin verrattaisiin esimerkiksi polttoaineen kulutusta, tuotettua tehoa, CO₂- ja CO-pitoisuutta, savukaasuja, ja O₂-pitoisuutta.

Rypsi- tai rapsiöljyn käyttö polttoaineena

Puhtaan rypsi- tai rapsiöljyn ongelma polttoainekäytössä on glyseroli, jonka viskositeetti on huomattavasti muita kasviöljyn aineosia alhaisempi ja jolla on korkeampi syttymislämpötila. Kylmänä moottorin palotilaan ruiskutettu jähmeä kasviöljy ei sumutu kunnolla, minkä takia glyseroli ja osa öljystä jäävät palamatta. Osa palamattomasta öljystä huuhtoutuu mäntien ohi kampikammioon, osa takeruu sylinterikanteen, suuttimiin, männänrenkasiin sekä venttiilinvarsiin ja venttiilinlautasiin, joiden seurauksena moottori alkaa karstoittua. Tilanteeseen ei tuo korjausta kasviöljyn sekoittaminen polttoöljyyn, koska kasviöljy on edelleen kylmää jolloin se ei sumutu kunnolla. Polttoöljy syttyy, mutta osa kasviöljystä jää palamatta. Kylmän moottorin käynnistyksessä on myös ongelmia käytettäessä kasviöljyä, koska öljyllä on korkeampi leimahduspiste. (21.)

Ongelmat voidaan korjata rypsiöljyn fysikaalisten ominaisuuksien muuttamisella mahdollisimman lähelle dieselpolttoainetta. Tämä saavutetaan rypsiöljyn lämpötilan nostolla. Tutkimusten mukaan rypsiöljyn viskositeetti ja syttymisherkkyys vastaa täydellisesti dieselpolttoainetta vasta 130 celsiusasteen lämpötilassa, mutta käytännössä moottorille vaaraton taso saavutetaan jo 70–80-celsiusasteinen. Tässä lämpötilassa rypsiöljy syttyy ja palaa ongelmia aiheuttamatta, ilman havaittavaa tehohävikkiä tai kulutuksen kasvua. (21.)

Yksinkertaisin ja laitevalmistajien suosittama tapa moottorin käynnistysongelmien poistamiseksi on varustaa ajoneuvo 2-tankkijärjestelmällä. Käynnistys tehdään normaalisti dieselpolttoaineella ja moottorin annetaan lämmitä normaaliin käyntilämpötilaansa. Kun jäähdytysneste on noin 80 celsiusasteista, voidaan polttoaineeksi vaihtaa esilämmitetty rypsiöljy. Lämmittämiseen käytetään yleensä jäähdytysnesteen lämmöllä toimivaa lämmönvaihdinta ja suodattimeen tai polttoaineletkuun liitettävää sähkölämmitintä. Jos polttoainejärjestelmään ei kuulu erillistä vedenerotinta, sellainen on syytä hankkia. Kuuma moottori käynnistyy helposti rypsiöljyllä. (21.)

6.7 Varasähköntuottojärjestelmä

Opetuslaitteistoa olisi mahdollista käyttää tarpeen tullen sähkön ja lämmön tuotoon. Nykyisin jo pelkällä aurinkopaneeleilla ja polttokennolla pystyttäisiin turvaamaan vähäinen sähköntuotto yllättävän sähkökatkoksen aikana. Jos energian saatavuudessa olisi ongelmia, voitaisiin sähkön ja lämmön saantia turvata kytkemällä dieselmoottori koulun sähköverkkoon. Tällöin voitaisiin esimerkiksi turvata maalämpöpumpun toiminta. Rakentamalla mikro-CHP-laitos koulun tiloihin päästäisiin varmempaan omavaraiseen energiantuotantoon. Laitteita voitaisiin myös käyttää muun muassa kunnossapidon ja energiatekniikan kurssilla harjoitusten tekemiseen.

CHP-ratkaisuista vaihtoehtona tuottaa lämpöä ja sähköä olisi bio- tai puukaasun polttaminen polttomoottorissa. Lämmöntalteenotolla varustetulla polttomoottorilaitoksella päästäisiin jopa 85 % kokonaishyötysuhteeseen.

Ratkaisuna olisi ostaa kaasuntuotantoyksikkö Gasekilta ja liittää jo koululla olevaan sähkön- ja lämmöntuotannon konttiin. GASEK GPU -kaasuntuottoyksikkö on modulaarinen kokonaisuus, joka koostuu kaasuttimesta ja kaasun suodattimesta. GPU voidaan toimittaa eri optioilla asennettavaksi. Kaasutin ja suodatin osiot voidaan myös irrottaa toisistaan ja asentaa erilleen. (22.) Liittämällä kaasuttimeen säiliö voitaisiin kaasua varastoida tarpeen vaatiessa.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tutkittiin, millaisilla laitteilla voidaan käyttää apuna opetuksessa insinööriopetuksessa, erityisesti energiatekniikassa ja sitä sivuavissa opintojaksoissa. Opiskelijana minulla on kokemusta energiatekniikan ja kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa käytävistä opintojaksoista. Kokemuksieni perusteella alettiin miettimään, mitä ja minkälaisia laitteistoja tarvitaan lisää, jotta opiskelijat pystyvät tekemään harjoituksia ja saavat mahdollisimman monipuoliset opetusvälineet.

Laitteistoa valittaessa kiinnitettiin huomiota laitteiden käyttötarkoituksiin ja niiden monipuolisuuteen. Laitteita etsittiin internetistä ja jo olemassa oleville laitteille mietittiin uusia käyttömahdollisuuksia. Vanhoja laitteita tai laboratoriotöitä ei kuitenkaan ole tarkoituksena poistaa, vaan tässä työssä esitetyt laitteet tulisivat täydentämään opetuslaitteistoa vastamaan paremmin tarvetta.

Työssä ehdotetaan hankittaviksi laitteiksi turbiinia, pumppua, turbiinikiertojärjestelmää, putkiston painehäviölaitetta, mikrohöyryturbiinilaitosta, pumppulaitteistoa, lämmönvaihdinmoduulia ja mikro-CHP-laitosta kaasutinyksiköllä varustettuna. Lisäksi ehdotetaan dieselmootorin muuttamista biopolttoaineelle sopivaksi. Laitteita kuitenkin on internetissä paljon, joten saatavilla on paljon enemmän ja mahdollisesti parempia laitteita kuin valitut.

Uudet energiatekniikan laitteistot veisivät laboratoriossa tilaa noin 90 m²:n verran, jos laitteistot sijoitetaan väljästi. Lisäksi laitteiston sijoittamisessa pitää ottaa huomioon, että vesivoimalan tarvitsee tilaa korkeussuuntaan noin 6 metriä.

Vaikeuksia opinnäytetyötä tehdessä aiheutti se, ettei minulla ollut mahdollisuutta suorittaa energiatekniikan laboratorioharjoituksia. Tästä syystä en voi täysin arvioida, ovatko nykyiset laboratoriotyöt tarpeeksi kattavia ja vastaavatko ne opetuksen laajuutta.

LÄHTEET

1. Kääriäinen, J. 2015. Uusiutuvan energiantuotannon kehitys- ja koulutusympäristö kontissa. ePooki. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 7. Saatavissa: <http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe201503121881>. Hakupäivä 3.5.2015.
2. Sähkön pientuotanto. 2014. Motiva. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimi-alueet/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto. Hakupäivä 20.1.2015.
3. Stirling engine. 2015. Wikipedia. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine. Hakupäivä 21.1.2015.
4. Karjalainen, Timo 2012. Pienimuotoisen lämmön ja sähkön yhteistuotannon tilanne katsaus – laitteet ja käyttöönotto. Small scale cogeneration – equipments and implementation. Motiva. Oulun yliopisto. Kajaanin yliopistokeskus. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/7436/Pienimuotoisen_lammon_ja_sahkon_yhteistuotannon_tilannekatsaus_laitteet_ja_niiden_kayttoonotto.pdf. Hakupäivä 26.1.2015.
5. Urieli, Israel 2011. Stirling Engines - Mechanical Configurations. Dept of Mechanical Engineering. Ohio University. Saatavissa: <http://www.ohio.edu/mechanical/stirling/engines/engines.html>. Hakupäivä 24.1.2015.
6. Savolainen, Markku. Stirlingmoottori. Savonia. Saatavissa: http://www.oamk.fi/cdn/fileuploads/stirlingmarkku_savolainen.pdf. Hakupäivä: 26.1.2015.
7. Sähkötuotannon liittäminen verkkoon 2006. Pöyry Energy Oy. Helsinki: Motiva. Saatavissa: http://www.elenia.fi/sites/default/files/Sahkon_pientuotannon_liittaminen_verkkoon.pdf. Hakupäivä 27.1.2015.

8. Haavisto, Tommi 2010. Puupolttoaineisiin perustuva pien- CHP tekniikat. Wattson tech O. Saatavissa: http://www.karelia.fi/biostuli/materiaalit/Pien-CHP-katsaus_raportti_v11.pdf. Hakupäivä 27.1.2015.
9. Vartiainen, Eero – Luoma, Päivi – Hiltunen, Jari – Vanhanen, Juha 2002. Hajautettu energiantuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO₂-päästöt. Helsinki: Oy Edita Ab.
10. Ligenhöle technologie. 2009. Technical documentation V1.0/2009. Portable Micro Hydro Power Plants. Saatavissa: http://www.lingenhoele.at/5_files/Lingenhoele-pico-technical-documentation.pdf. Hakupäivä: 14.4.2015.
11. Ligenhöle technologie. Type overview - portable water turbines. KT100/KT340/KT1100 (100-1100Watt). KT100/KT340/KT1100 (100 - 1100Watt). Saatavissa: http://www.lingenhoele.at/5_files/Lingenhoele-pico-type-overview.pdf. Hakupäivä 29.3.2015.
12. Männikkö, Antti 2008. T350403 Koneoppi 1 3 op. Opintojakson luennot syksyllä 2012. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
13. Uimahalli- ja kylpylä- sekä merivesipumput. Turenki: Kolmeks. Saatavissa: <http://www.kolmeks.fi/tuotteet/pumput-ja-paineenkorotusasemat/uimahalli-kylpyla-seka-merivesi>. Hakupäivä: 14.4.2015.
14. Eternal Engineering Equipment PVT Ltd. Kotisivu. Saatavissa: <http://eeepune.tradeindia.com/>. Hakupäivä 30.3.2015.
15. Eternal Engineering Equipment PVT Ltd. HMC-04 Pelton turbine. Saatavissa: <http://eeepune.tradeindia.com/pelton-wheel-turbine-test-rig-5-hp-1210169.html>. Hakupäivä 30.3.2015.

16. Eternal Engineering Equipment PVT Ltd. FM-08 Losses in pipes apparatus. Saatavissa: <http://eeepune.tradeindia.com/losses-in-pipes-apparatus-1220962.html>. Hakupäivä 18.4.2015.
17. RankineCycler Steam Turbine Lab. Turbine Technologies Ltd. Saatavissa: <http://www.turbine technologies.com/educationallabproducts/steamturbinelab.aspx#44913-overview>. Hakupäivä 6.4.2015.
18. PumpLab. Turbine Technologies Ltd. Saatavissa: <http://www.turbine technologies.com/educational-lab-products/pump-process-control-lab.aspx#45219-overview>. Hakupäivä 16.4.2015.
19. Computer controlled heat exchanger service module – HT30XC 2012. Armfield. Saatavissa: <http://discoverarmfield.com/media/transfer/doc/ht30xc.pdf>. Hakupäivä 18.4.2015.
20. Biopolttoaine. 2015. Wikipedia. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Biopolttoaine>. Hakupäivä: 6.4.2015.
21. Rypsiöljy dieselmoottorin polttoaineena. Rypsienergia.fi. Manelius Management Oy Ab. Saatavissa: <http://www.rypsienergia.fi/dieselmoottoriin.php>. Hakupäivä 6.4.2015.
22. Powered by Gasek. Wood gasifying solutions. Esite. Gasek Oy.