

SÄHKÖKATTILA-LABORATORIOTYÖN SUUNNITTELU

Akseli Jurvakainen
Opinnäytetyö AMK
Kevät 2025
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Akseli Jurvakainen

Opinnäytetyön otsikko: Sähkökattila-laboratoriotyön suunnittelu

Työn ohjaajat: Niko Peltokangas & Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2025

Sivumäärä: 28 + 2 liitettä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia laboratoriotyö sähkökattilan käytöstä Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratoriolle. Työ suunniteltiin osaksi energiatekniikan opiskelijoiden energiatekniikan mittaukset -kurssia.

Laboratoriotyön suunnittelussa hyödynnettiin aiemmin opinnoissa tehtyjä laboratoriotöitä ja niiden ohjeita sekä ohjaajien haastatteluja siitä, millainen laboratoriotyön kuuluisi olla. Osana työtä suomennettiin ruotsinkielinen käyttömanuaali.

Laboratoriotyön oli tarkoitus perehdyttää työn tekevät opiskelijat sähkömarkkinoihin ja sähköturvallisuuteen. Laboratoriotyö koettiin tarpeelliseksi lämmön ja energiantuotannon sähköistymisestä.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi laboratoriotyöohje ja mittauspöytäkirja, joiden avulla opiskelijat saavat käytännön ymmärrystä sähkökattilan toiminnasta.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Program in Energy technology

Author: Akseli Jurvakainen

Title of thesis: Designing Electric Boiler Laboratory Exercise

Supervisors: Niko Peltokangas & Jukka Ylikunnari

Term and year when the was submitted: Spring 2025

Number of pages: 28 + 2 appendices

The aim of this thesis was to design a laboratory exercise for using an electric boiler at the Hybrid Laboratory of Oulu University of Applied Sciences. The laboratory exercise was developed for energy engineering students as part of the Energy Technology Measurements course.

Previous laboratory assignments and their instructions were utilized in the planning process as well as interviews with instructors to determine essential elements of a well-founded laboratory exercise. Electric boiler user manual was translated from Swedish to Finnish as part of the project.

The purpose of the laboratory exercise was to familiarize students to electricity markets and electrical safety. The relevance of this topic comes from the electrification of heat and energy production.

The results of this thesis contain a lab manual and a measurement report template. These materials provide students hands-on practice and insight for operating an electric boiler.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 SÄHKÖKATTILAT	6
2.1 Sähkövastuskattilat	6
2.2 Elektrodikattilat	6
2.3 Pientalon sähkölämmitys	8
2.4 Parca 36.....	9
3 SÄHKÖKATTILAT TEOLLISUUDESSA.....	11
4 LÄMPÖAKUT	13
5 OULUN AMMATTIKORKEAKOULUN ENERGIALABORATORIO	14
6 SÄHKÖMARKKINA.....	16
6.1 Sähkön hinnan muodostuminen	16
6.2 Sähkönsiirtomaksut ja verot.....	17
6.3 Sähkön energiahinta 2024	17
6.4 Tuulivoiman vaikutus sähkönhintaan	20
6.5 Sähkökattiloiden vaikutus energijärjestelmään	22
7 LABORATORIOTYÖ.....	23
8 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	26
LIITTEET.....	29

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella laboratoriotyö sähkökattilan käyttöön Oulun ammattikorkeakoulun energiatekniikan opiskelijoille. Laboratoriotyö on tarkoitettu suoritettavaksi osana ”Energiatekniikan mittaukset”-kurssia. Tavoitteena on tutustuttaa opiskelijat sähkökattilan toimintaan sekä sähköturvallisuuteen. Laboratoriotyön laatimisessa hyödynnettiin opinnoissa aiemmin tehtyjä laboratoriotöitä. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Oulun ammattikorkeakoulu.

Opinnäytetyössä tutustutaan Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratorioon ja energialaboratorion lämmöntuotantotapoihin. Opinnäytetyön ja laboratoriotyön teoreettisena viitekehyksenä on energiantuotannon sähköistyminen sekä sähkön hinnan muodostuminen ja vaihtelevuus.

Opinnäytetyöstä rajataan sähkökattiloiden tarkempi sähkötekniinen toiminta ja laitteistovaatimukset, ympäristötavoitteet ja sähkön siirtojärjestelmä. Ympäristötavoitteet ajavat yhtenä syynä energiantuotantoa sähköistymään, ja sähkönsiirto kapasiteetti määrittää mahdollisuuksia investoida sähkökattiloihin.

2 SÄHKÖKATTILAT

Sähkökattila tuottaa kuumaa vettä tai höyryä sähköllä. Sähkökattiloita on kahdenlaisia, vastuksella toimivia sähkökattiloita ja elektrodikattiloita. Vastuskattiloiden teho on yleensä korkeintaan 10 MW ja elektrodikattilalla 5–10 MW:sta ylöspäin. (1, s. 10.) Sähkökattilat ovat nopeasti säädettäviä ja matalahäviöisiä. Sähkökattilan tyypillinen hyötysuhde on 99 % (2, s. 17).

2.1 Sähkövastuskattilat

Lämpöelementit käyttävät sähkövastuksia muuttaakseen sähköenergian lämpöenergiaksi. Sähkövirta kulkee lämmityselementin läpi ja vastusmateriaali vastustaa virran läpikulkua muodostaen lämpöä. Elektronit virtaavat vastusmateriaalin läpi törmäillen toistuvasti vastusmateriaalin atomeihin ja ioneihin. Törmäykset muuttavat sähköenergian lämpöenergiaksi. Lämmityselementin tuottama lämpö johtuu vastuksen ympäröimään veteen. (3.)

Vastuskattilan teho riippuu sähkövastusten määrästä. Yksittäisten vastusten teho vaihtelee muutamasta kymmenestä muutamaan sataan kilowattiin. Vastuskattiloiden jänniteluokka on 400 V tai 690 V. Suurilla tehoilla sähkökeskuksen ja virran koko kasvaa niin suureksi, että elektrodikattila on vastuskattilaa edullisempi vaihtoehto. Vastuskattila ei vaadi lämmitettävältä vedeltä suolanpoistoa. (1, s. 11.)

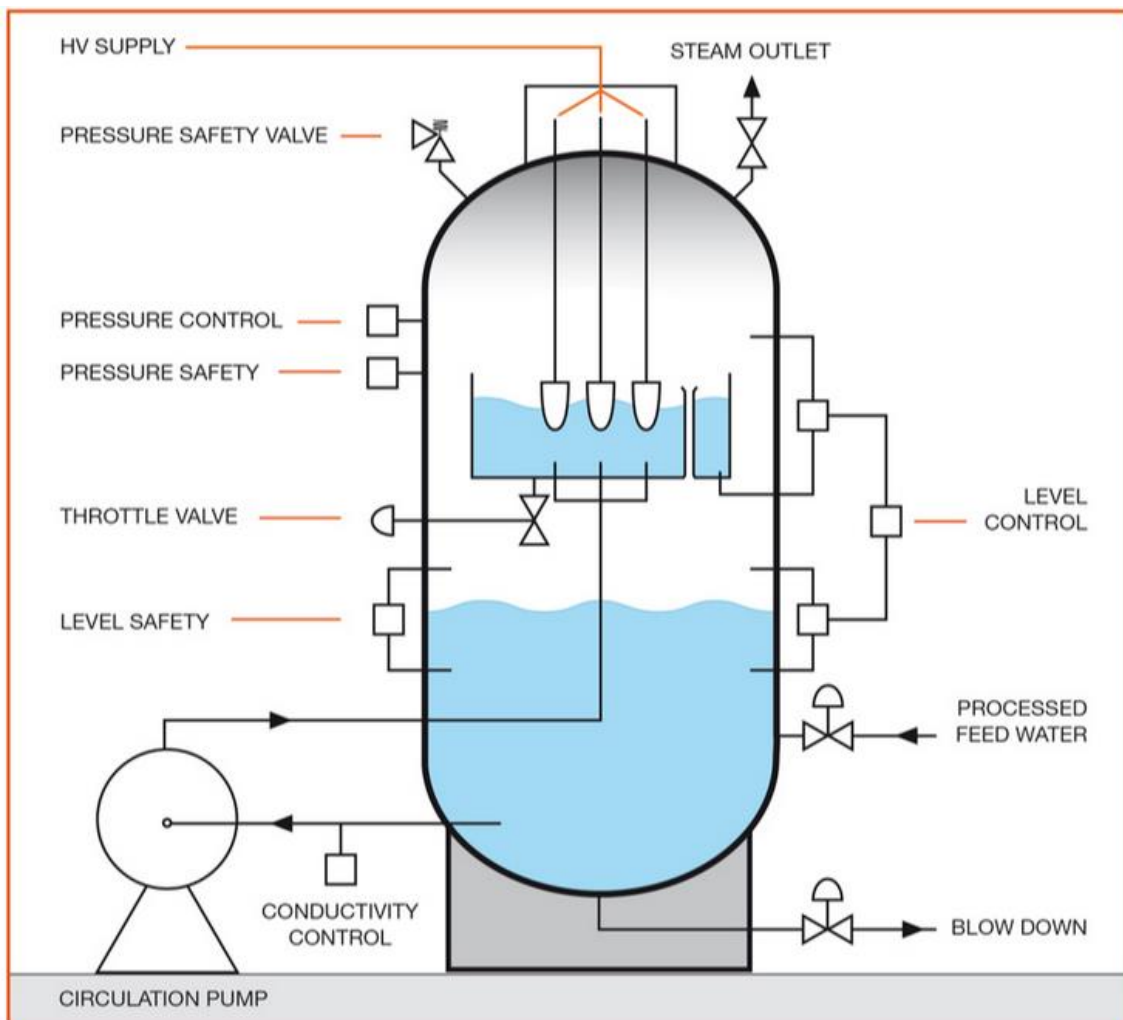
Kattila voidaan varmentaa polttimella, jolloin puhutaan hybridikattilasta. Lämmön lähteenä voi silloin olla maakaasu, biokaasu, nestekaasu tai polttoöljy. (1, s. 11.)

2.2 Elektrodikattilat

Elektrodikattilassa vesi toimii vastusaineena. Sähkövirta johdetaan elektrodista vastaelektrodiin veden läpi. Veden resistiiviset ominaisuudet vastustavat virran kulkua ja vesi lämpenee. Elektrodikattilassa käytettävän veden on oltava oikean laatuista ja se tyypillisesti käsitellään ennen kattilaan syöttämistä. Veden käsitelyssä säädetään sähkönjohtavuutta, happipitoisuutta, alkalisuustasoa ja

vaahoavuutta. (4, s. 17.) Elektrodikattila soveltuu sekä höyryn, että kuuman veden tuotantoon (1, s. 11).

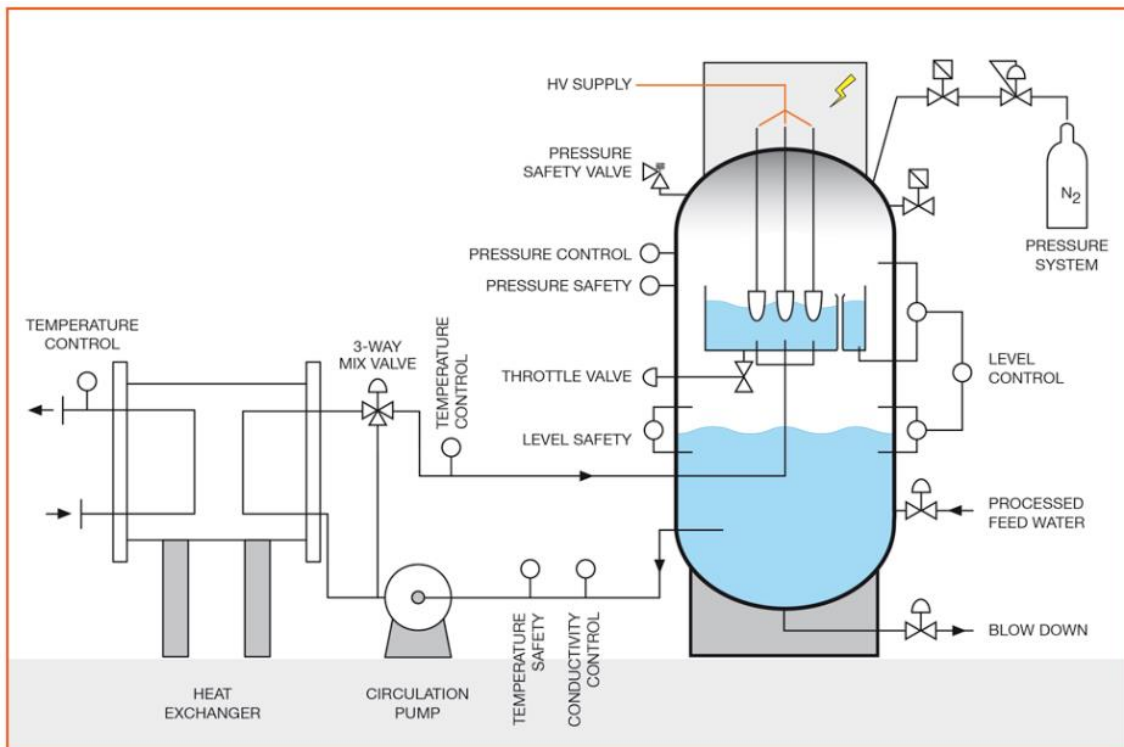
Höyryä tuottavan elektrodikattilan toiminta on esitetty kuvassa 1. Kiertopumppu syöttää vettä yläaltaaseen elektrodeille. Kuristusventtiili säätelee yläaltaan vedenpinnan korkeutta ja altaassa olevien elektrodien syvyys vedessä säätelee kattilan tehoa. Höyry muodostuu paineastian yläosaan ja poistetaan venttiilin läpi. (1, s.11–12; 5.)



KUVA 1. Höyryä tuottava elektrodikattila, periaatekuva (5)

Kuvassa 2 näkyy kuumaa vettä tuottavan elektrodikattilan toimintaperiaate. Kattilassa tuotettu lämpö siirretään käyttökohteeseen lämmönsiirtimen avulla. Kattilatyypin vaatii typpikäyttöisen paineistusjärjestelmän estääkseen vetyä ja happea kertymästä kattilaan. Vety ja happi voivat sopivissa olosuhteissa muodostaa

räjähävän seoksen. Vedyn muodostumiselta ei voida välttyä, kun sähkö kulkee veden läpi. (1, s. 11–12; 5.)



KUVA 2. Kuumaa vettä tuottava elektrodikattila (5)

2.3 Pientalon sähkölämmitys

Vesikeskuslämmityksen lämmön lähteenä voidaan käyttää sähköä. Lämmöntuotolaite on silloin vastuksella varustettu lämminvesivaraaja tai sähkökattila. (6.)

Lämminvesivaraajan koko pientalossa on tyypillisesti 1–2 m³, ja sillä katetaan tilojen lämmitysenergian- ja käyttövedentarve. Varaajan tavoitteena on kattaa energiasta 90 % yösähköllä. Näin voidaan valita pienempi varaaja ja säästää hankintakustannuksissa. Sähkövaraajaa voidaan myös käyttää puukattilan ja aurinkopaneelien yhteydessä. (6.)

Sähkökattila sopii parhaiten pienehköihin, noin 100 m²:n kokoisiin, kiinteistöihin, joilla on pieni lämmitystarve, eikä varaavuudesta saada suurta hyötyä. Tarvittava lämmitysenergia tuotetaan joka hetki, eikä lämpöä tyypillisesti varata yösähköllä.

Käyttöveden valmistukseen käytetään erillistä käyttövesivaraajaa. Sähkökattilat ja -varaajat ovat käytöltään helppoja lämmitysjärjestelmiä. (6.)

2.4 Parca 36

Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratorion sähkökattila on Parca 36 (kuva 3). Kattilan teho on 36 kW, ja se voidaan asentaa 230 V:n tai 400 V:n jännitteeseen. Sähkökattila ohjaa itse tehontuotantoaan kontaktorien avulla. Kattilaan voidaan lisätä ulkolämpötilan mittaus, joka säättää lähtevän veden lämpötilaa. (7.) Hybridilaboratoriossa sähkökattila lämmittää pienkokoista kaukolämpöverkkoa ja varaajaa. Uusissa Eco-sarjan sähkökattiloissa on edistyksellinen ohjausjärjestelmä, jonka avulla kattila voidaan yhdistää lämpöpumppuun tai aurinkopaneeleihin lisäten kannattavuutta (8).



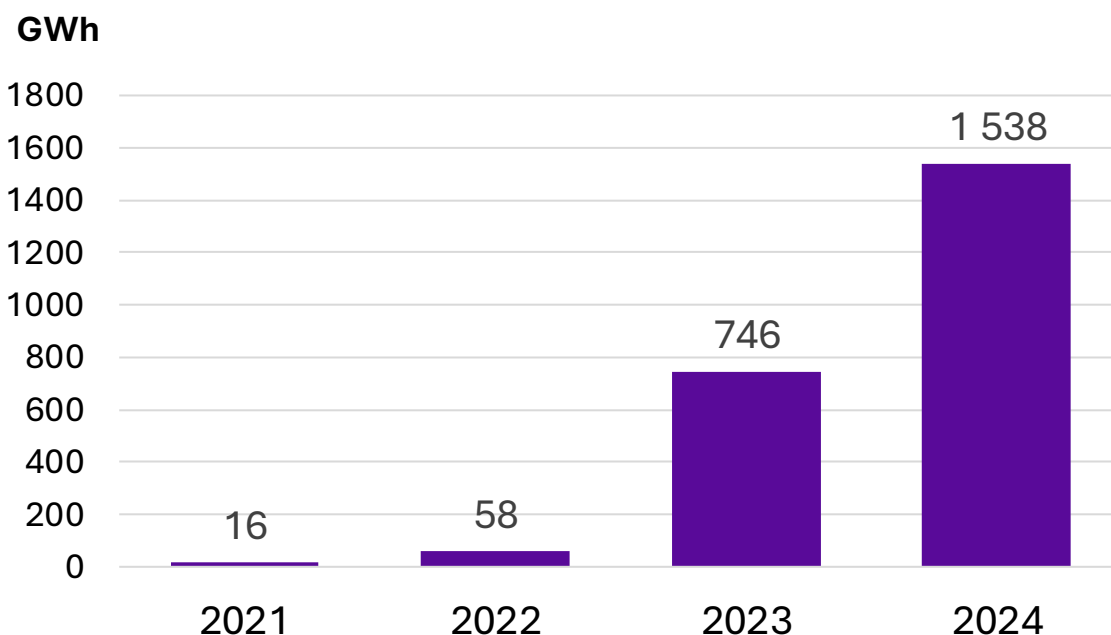
KUVA 3. Parca 36 (vasemmalla)

Delta T on lämpötilan välialue, jonka verran kattilalta lähtevä lämpötila saa erota asetusravosta. Kattila säätää itse tehoporrasta, kun lähtevälämpötila eroaa asetusravosta yli delta T:n verran. Tehdasasetuksena delta T on 4 °C. (8, s. 30.) Laboratoriotyössä kattilatehoihin halutaan eroavaisuuksia mittausten välille, joten työn aluksi delta T säädetään 2 °C:seen.

FIL-SPL-sähkökattiloissa toimintaperiaate on sama. Tyypillinen käyttökohde tämän ja suuremman kokoluokan kattiloille on teollisuus, kerrostalot ja rivitalot. Kattilaa voidaan hyödyntää suoraan tilan lämmitykseen tai epäsuorasti käyttöveden tekoon. Kattilat kytketään putkiverkkoon aina siten, että pumppu kierrättää lämmitettävää vettä. (9.)

3 SÄHKÖKATTILAT TEOLLISUUDESSA

Tammikuussa 2025 päätettyjä sähkökattilainvestointeja Suomen kaukolämpöverkkoihin oli yhteensä 1460 MW:n edestä (10, s. 3). Sähkökattiloiden käyttö on yleistynyt roimasti viime vuosina kaukolämmön tuotannossa. Kehitystä kuvaa kuva 4. Sähkökattiloiden tuottama energia vastasi vuonna 2024 kuitenkin vain 4 % koko Suomen kaukolämmöstä eli 35,5 TWh:sta. (11, s. 2.)



KUVA 4. Sähkökattiloilla tuotetun lämmön määrä (11)

Oulun Energian sähkökattilakapasiteetti on 100 MW. Toppilan 60 MW:n kattila tuottaa puhtaasti kaukolämpöä. Kattilalla voidaan myös varata voimalaitosaluella sijaitsevaa kaukolämpöakkuja. (12.) Laanilan 40 MW:n kattila tuottaa höyryä teollisuuden prosessien tarpeisiin ja tarvittaessa kaukolämpöä lämmönvaihtimen kautta kaukolämpöverkkoon (13).

Tampereen Energian Lielahden sähkökattilan teho on 45 MW. Vesi kiertää kattilassa kahdessa tasossa. Kattilan yläosassa vesi lämmitetään 125 °C:seen, mistä kiehuva vesi johdetaan kattilan alaosaan, mistä energia luovutetaan lämmönvaihtimen kautta kaukolämpöverkkoon. Sähkökattilan säätö on nopeaa ja täysi teho saavutetaan 15 minuutissa. (2, s.18.)

Helen Oy investoi Euroopan suurimman sähkökattilalaitoksen. Kokonaisuus sisältää neljä 50 MW:n sähkökattilaa ja 1000 MWh:n lämpöakun. Laitoskokonaisuus sijaitsee käytöstä poistetun kivihiiuvoimalaitoksen edustalla. Laitoksen käyttöönoton on määrä tapahtua lämmityskaudella 2026–2027. (14.)

Vantaan rakentaa Kuusikonmäen peruskallioon maailman suurimman kaukolämpöakun. Lämpöakun tilavuus prosessitiloineen on 1,1 miljoonaa kuutiometriä ja kapasiteetti on 90 GWh. 200 MW:n purkutehollaan akkua voidaan tyhjentää tauotta 450 tuntia eli yli 18 päivää. Lämpöakun yhteyteen liitetään kaksi 60 MW sähkökattilaa, joilla akkua varataan halvan sähkön aikaan. Projektin on määrä olla valmis 2028. (15.)

Metsäteollisuudessa on myös investoitu sähkökattiloihin. UPM:n Tervasaaren tehtaalla otettiin syksyllä 2023 käyttöön 60 MW:n sähkökattila. Vuonna 2023 UPM investoi sähkökattiloihin myös Raumalla ja Jämsänkoskella. Stora Enso investoi vuonna 2023 Anjalankosken paperitehtaalle uuteen 60 MW:n kattilaan. (1, s. 10.)

Monet vanhat yhteistuotantolaitokset on suljettu polttoaineiden kallistumisen, Suomen ilmastotavoitteiden ja vaihtoehtoisten tuotantotapojen takia. Korvaavaa sähköntuotantokapasiteettia ei ole kuitenkaan rakennettu tilalle. Kaukolämpöjärjestelmät muuttuvat täten sähköntuottajista sähkön kuluttajiksi. (10, s. 13.)

4 LÄMPÖAKUT

Kaukolämpöakkuja investoidaan sähkökattiloiden yhteyteen. Näin edullisesta sähköstä saadaan mahdollisimman suuri hyöty.

Lyhytaikaiseen lämmön varastointiin käytettävä kaukolämpöakku on tyypillisesti vedellä täytettävä lämpöeristetty säiliö. Vettä käytetään tällöin sekä varastoivana massana että energian siirron väliaineena. Lämmön varastointi perustuu lämpötilaeroihin. Tekniikasta käytetään nimeä tuntuvan lämmönvarastointi. (16, s. 7–8.)

KL-akku voidaan kytkeä joko suoralla tai epäsuoralla kytkennällä kaukolämpöjärjestelmään. Suorassa kytkennässä KL-akussa käytetään kaukolämpöjärjestelmän vettä. KL-akku kytketään siten, että menopuoli kytketään akun lämpimämpään yläosaan ja paluupuoli akun viileämpään alaosaan. Epäsuorassa kytkennässä KL-akussa on oma erillinen vesikierto ja lämmönsiirrin. (16, s. 7–8.)

KL-akussa kuuma vesi on akun yläosassa ja kylmempi vesi alaosassa. Tämä johtuu veden tiheyden lämpötilariippuvuudesta. KL-akun toiminta pohjautuu siihen, että vesi säilötään samaan tilaan erilämpötiloissa sekoittamatta vettä. (16, s. 7–8.)

Kun lämpöä varastoidaan, kaukolämmön menovettä pumpataan akun yläosaan. Sama määrä kylmempää vettä puretaan akun alaosasta kaukolämmön paluupuolelle. Akun latausta purettaessa virtaus on päinvastainen. Lämmintä vettä syötetään kaukolämmön menopuolelle ja paluupuolen vettä syötetään saman verran akkuun. (16, s. 7–8.)

5 OULUN AMMATTIKORKEAKOULUN ENERGIALABORATORIO

Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratoriossa kehitetään ja tutkitaan rakennettujen sähkö- ja kaukolämpöverkkojen avulla energia- ja automaatio-, talo- ja sähkötekniikan järjestelmiä. Laboratorioita käytetään tekniikan alojen koulutuksessa, tutkimus- ja kehittämistyössä sekä yritysysteistyössä. (17.)

Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratorioon rakennetun kaukolämpöverkon avulla voidaan tutkia ja kehittää energia- ja talotekniikan järjestelmiä. Pienen koon kaukolämpöjärjestelmässä on 1500 l:n varaaja (kuva 5.), 60 kW:n pellettikattila, 20 kW:n bioöljykattila ja 36 kW:n sähkökattila. Hybridilaboratorion lämpöenergiaverkko jaetaan energiatuotantoon ja kaukolämpöverkkoon. Varaaja on sijoitettu energiantuotannon puolelle, jotta kaukolämpöverkkoon menevä vesi olisi tasalaatuista (18, s. 7).



KUVA 5. Oulun ammattikorkeakoulun energialaboratorion varaaja (oikealla)

Hybridilaboratoriossa on kaksi aurinkokeräintä. Aurinkokeräinten tuottama lämpö otetaan varaajaan talteen varaajassa olevilla lämmönsiirtimillä. Tyhjiöputkiaurinkokeräin- ja tasokeräin järjestelmät ovat molemmat noin 4 m²:n kokoisia. Tasokeräimiä on kaksi ja ne ovat sarjaan kytkettyjä. (18, s.13–14.)

Hybridilaboratorion kaukolämpöjärjestelmää voidaan viilentää ilmajäähdytinjärjestelmällä. Järjestelmän toisiopuolella kiertää 50 % etyleeniglykoli ja ensiöpuolella kaukolämpövesi. Ensiöpuolella kaukolämpövesi luovuttaa lämpöä lämmönvaihtimella toisiopuolelle jossa 80 kW:n ilmajäähdytin jäähdyttää etyleeniglykolia. Automatiikka ohjaa ilmajäähdyttimen päälle, kun varaajan lämpötila nousee 90 °C:seen. Hybridilaboratorion lämmön käyttökohteet ovat LVI-laboratoriossa sijaitsevat ilmanvaihtokoneet, patteriverkosto sekä käyttövesi. (18, s. 15)

Sähkökattilan tähänastinen tehtävä on ollut ylläpitää peruslämpöä laboratorion lämpöverkossa. Sähkökattila on aiemmin hankittu tehokuormaksi generaattorille. Työn kovaäänisyyden vuoksi sitä ei ole kytketty laboratorioon. (19.)

6 SÄHKÖMARKKINA

Sähkön halpuus on osakseen ajanut energiantuotantoa sähköistymään. Sähkö on Suomessa edullista, mutta sen hinta vaihtelee paljon. Sähkökattiloiden nopea säädettävyys antaa hyvän mahdollisuuden hyödyntää halpoja sähkönhintoja energiantuotantoon.

6.1 Sähkön hinnan muodostuminen

Sähköä ei voi varastoida kannattavasti isossa mittakaavassa eikä pitkiksi ajoiksi. Siksi sähköä on tuotettava saman verran kuin sitä kulutetaan. Sähkön kulutukseen vaikuttaa moni tekijä, esimerkiksi Suomessa sää ja viikonpäivä. (20.)

Sähkön pörssihinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan perusteella. Suomen sähkön myyntiyhtiöt ja isot teollisuusyritykset ilmoittavat arvionsa seuraavan päivän sähköntarpeestansa ja hintansa Pohjoismaissa toimiviin sähköpörssiin Nord Pool Spot ja Epex. Sähkön tuottajat ilmoittavat pörssiin, miten paljon voivat myydä sähköä ja millä hinnalla. Eurooppalaiset sähköpörssit yhdistävät tarjoukset, minkä tuloksena saadaan yksi pörssihinta vuorokauden jokaiselle tunnille, jokaiselle tarjousalueelle. Sähkön pörssihinta määräytyy, kun kysyntä ja tarjonta ovat tasapainossa. Tämä toteutuu pisteessä, jossa kysynnän halvin toteutuva tarjous ja tarpeen kallein toteutuva tarjous kohtaavat. (20.)

Sähkön hinta jää matalaksi, kun kulutus on pientä ja tuotanto saadaan katettua käyttökustannuksiltaan halvoilla peruskuormalaitoksilla. Sähkönhinta nousee korkean kulutuksen aikaan, kun kysynnän tyydyttämiseksi rinnalle otetaan kalliimpia voimalaitoksia. Sähkön siirto naapurimaihin vaikuttaa myös sähkön pörssihintaan. Viime vuosina on ollut tyypillistä, että sähköä siirretään Ruotsista Suomeen ja Suomesta Viroon. Voimalaitosten tai rajasiirtoyhteyksien huolto tai tyyni sää voi aiheuttaa sähkönhinnan nousua myös matalan kulutuksen aikaan. (20.)

6.2 Sähkönsiirtomaksut ja verot

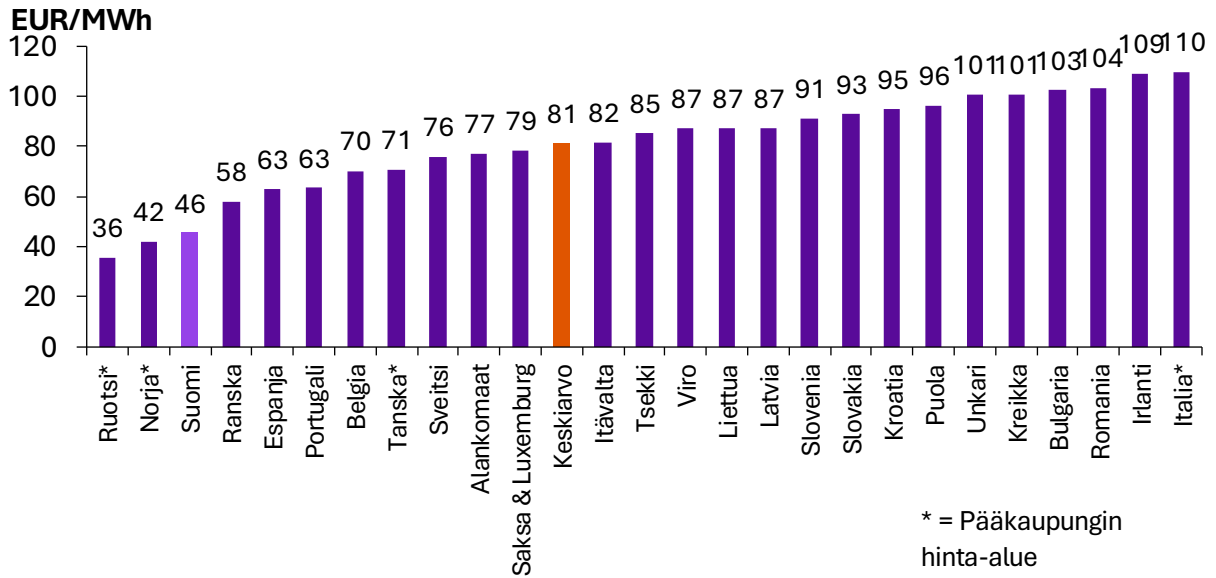
Sähköhinta koostuu energianhinnasta, siirrosta ja veroista (21). Energianhinta on sopimuskohtaisesti kiinteä määräaikainen tai toistaiseksi voimassa oleva pörssihinta. Pörssisähkösopimuksissa maksetaan sähkönmyyjälle pörssihinnan lisäksi marginaali ja perusmaksu.

Sähkönsiirtomaksu koostuu perusmaksusta ja energiamaksusta. Vuonna 2024 Suomessa siirtoverkkoyhtiön mukaan perusmaksu vaihteli välillä 4,70 € – 40,66 €/kk ja energiamaksu oli 1,60–6,75 snt/kWh. (22.) Sähkönsiirrosta vastaa sähköverkkoyhtiö, joka määräytyy sähkön käyttöpaikan mukaan. Sähkön siirtohintaa ei siis voi kilpailuttaa tai vaihtaa. (21.)

Sähkön vero on jaettu kahteen ryhmään. Luokan I sähkövero on 2,253 snt/kWh. Luokkaan kuuluvat muun muassa kotitaloudet, maataloussektori ja julkinen sektori. Kaukolämpöä tuottavat sähkökattilat ja lämpöpumput kuuluvat veroluokkaan II. II luokan sähkövero on 0,05 snt/kWh, jonka lisäksi maksetaan 0,013 snt/kWh huoltovarmuusmaksua. Veroluokkaan kuuluvat myös muun muassa kaivostointi, teollisuus sekä hukkalämpöä hyödyntävät ja energiatehokkaat yli 500 kW konesalit. (23.) 25,5 % arvonlisäveroa peritään sähköenergiasta, sähkönsiirrosta ja valtion huoltovarmuusmaksusta (21).

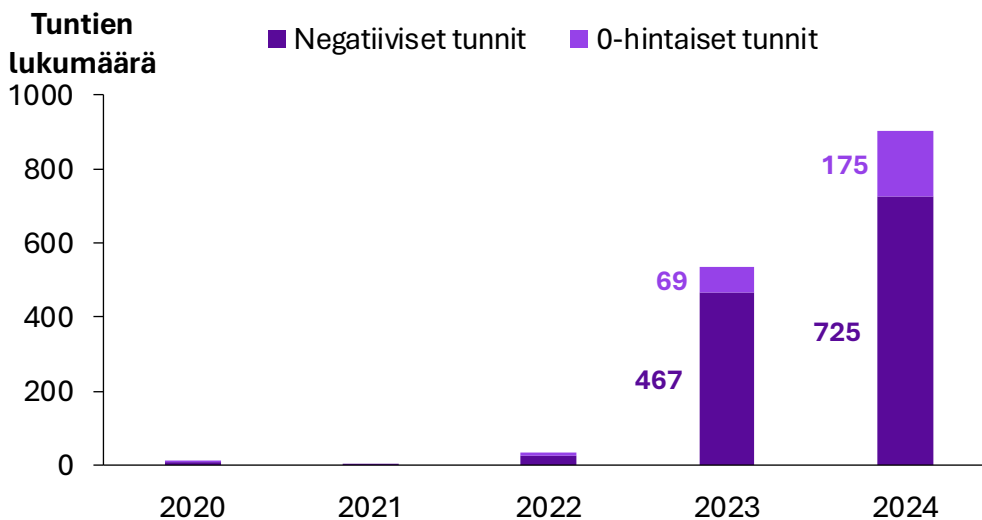
6.3 Sähkön energiahinta 2024

Sähkön tukkuhinta Suomessa vuonna 2024 oli 46 €/MWh. Sähkö oli halvempaa vain Ruotsissa ja Norjassa. Euroopan Unionin, Norjan ja Sveitsin alueen tukkuhinnan keskiarvo oli 81 €/MWh. (24.)



KUVA 6. Sähkön keskihinnat Euroopan Unionin, Norjan ja Sveitsin alueella (24)

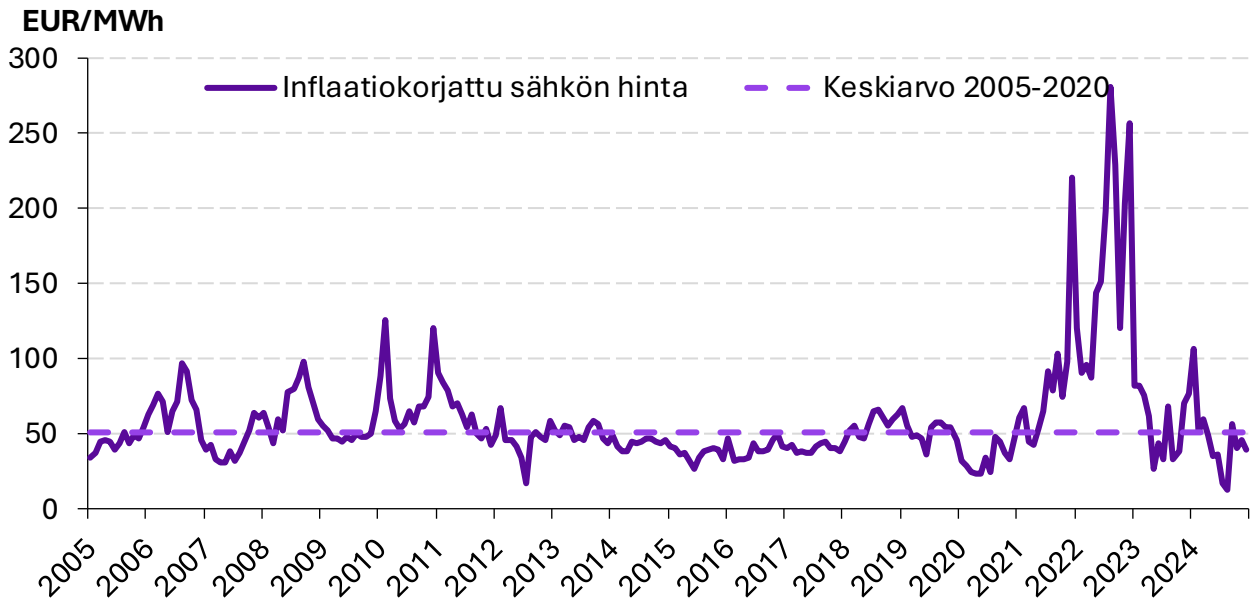
Sähkön hinta oli Suomessa negatiivista tai nollahintaista 900 tuntina vuonna 2024. Negatiivisten ja nollahintaisten tuntien määrä on lisääntynyt roimasti viime vuosina. Ensimmäiset negatiiviset sähkön hinnat olivat vuonna 2020. (24.)



KUVA 7. Negatiivisten sähkön hintojen tuntien määrä vuosittain (24)

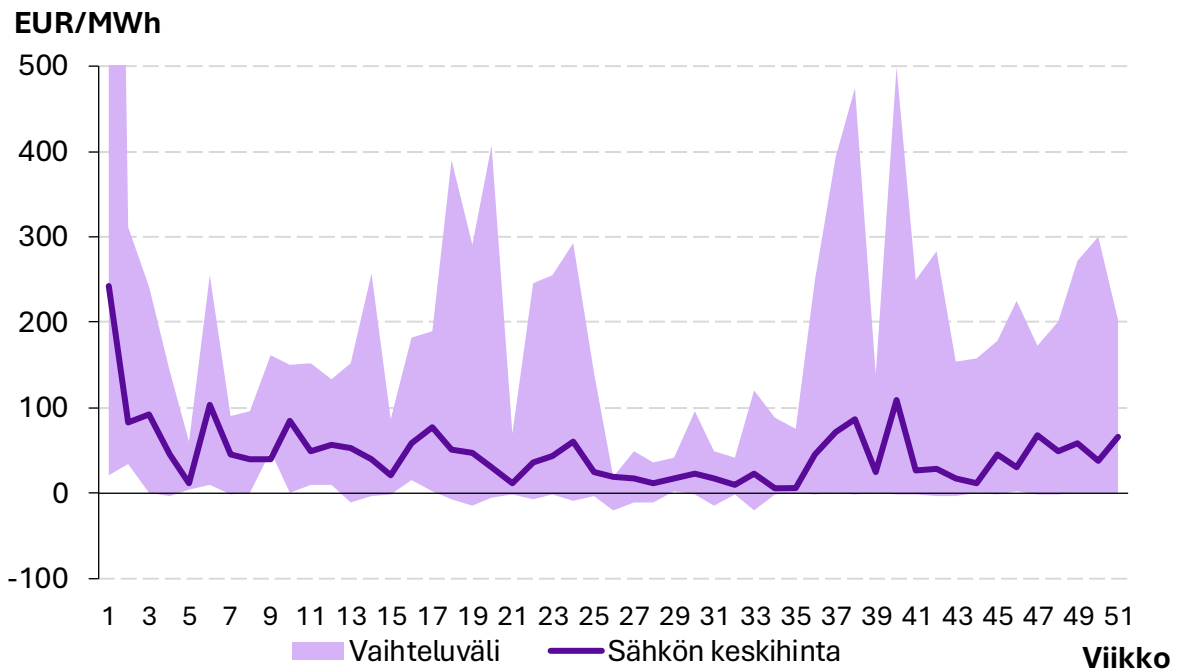
Energian hinnat nousivat vuonna 2022 Venäjän hyökkäyksen seurauksena ja siitä, että Venäjä käyttää kaasutoimituksia sota-aseena. EU:n sisämarkkinoilla sähkön tukkuhinta on sidottu kaasun hintaan. Valtaosa käytetystä kaasusta tuodaan EU:n ulkopuolelta. (25.)

2021 syksyllä alkanut energiakriisi rauhoittui vuonna 2023. Lisääntynyt tuulivoimakapasiteetti ja Olkiluoto 3-ydinvoimalaitoksen käynnistys ovat lisänneet sähkön omavaraisuusastetta Suomessa, ja Suomi oli sähkön nettoviejä viikkotasolla ensimmäistä kertaa 2023. (26.)



KUVA 8. Inflaatiokorjattu sähkön tukkuhinta kuukausittain (24)

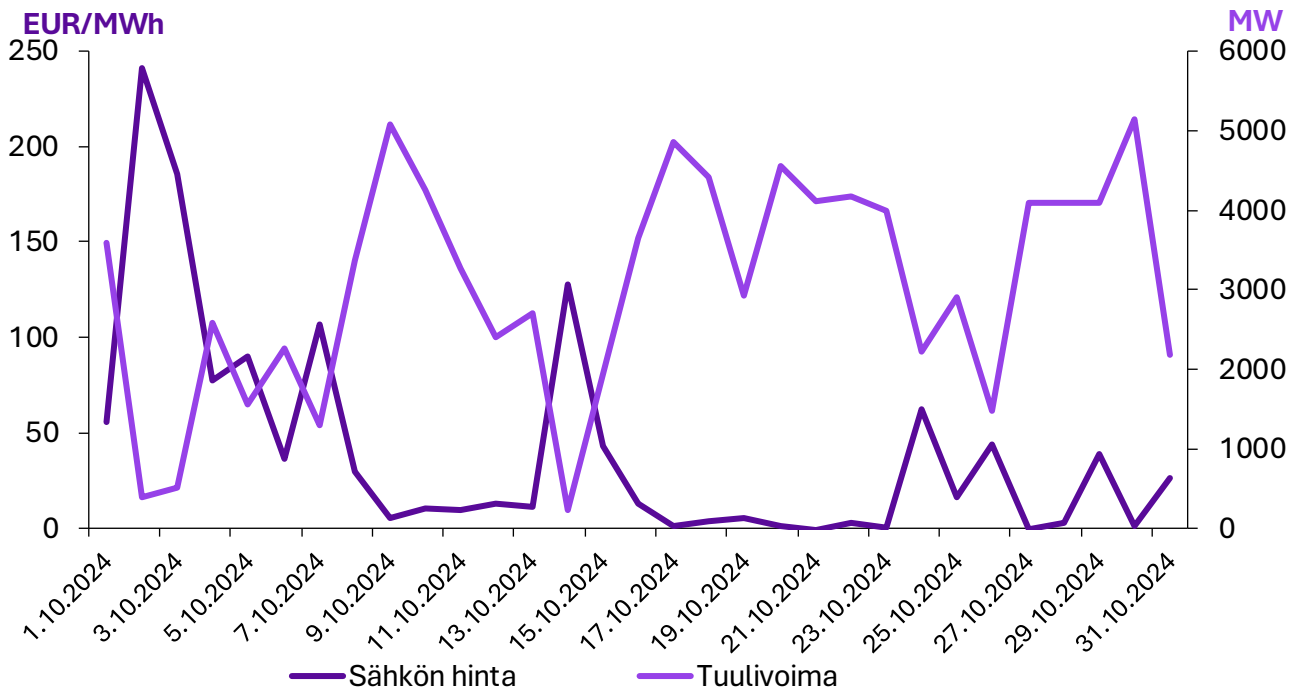
Sähkön hinta vaihtelee paljon kysynnän ja tarjonnan mukaan sekä viikko-, että tuntitasolla. Kuvassa 9 on kuvattu vuoden 2024 sähkön viikon keskihinta ja vaihteluväli. Vuonna 2024 sähkön hinta kävi nollassa 43 viikkona. Toisaalta myös yli 200 €/MWh:n hintoja nähtiin 20 viikkona. (24.)



KUVA 9. Sähkön viikon keskihinta ja viikon maksimi ja minimihinnan vaihteluväli (24)

6.4 Tuulivoiman vaikutus sähkönhintaan

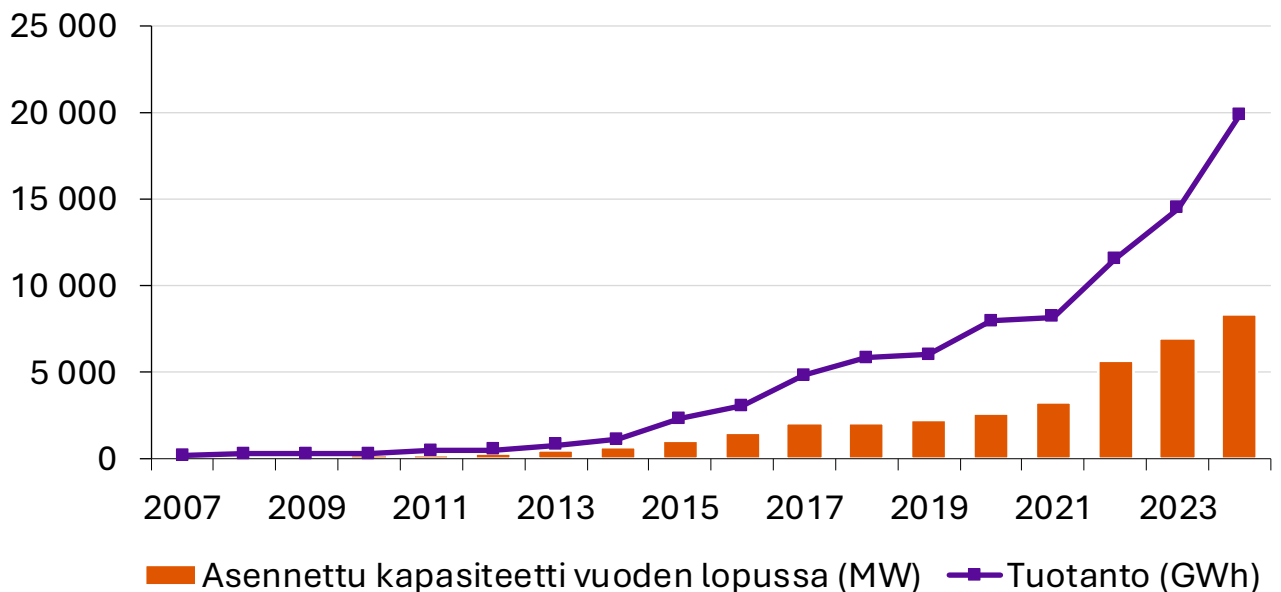
Tuulivoimatuotannon määrä on suurin yksittäinen hintoihin vaikuttava tekijä. Sään ollessa tuulinen sähkön hinta lähenee nolaa ja vähätuulisina päivinä hinta on korkeampi. (24.) Kuva 10 kuvaa lokakuun aikana sähkön hinnan vaihtelua tuulivoimatuotantoon nähden.



KUVA 10. Lokakuun tuulivoimatuotanto ja sähkön tukkuhinnan päiväkeskiarvot (24.)

Tuulivoiman osuus tuotetusta sähköstä on noussut jyrkästi. 2024 tuulivoiman tuotanto oli 19 854 TWh kattaen 25 % Suomen sähkön tuotannosta.

MW ja GWh



KUVA 11. Tuulivoiman tuotanto Suomessa 2024 (24)

Tuotantokapasiteetti on myös noussut jyrkästi. 2024 tuulivoimaloita asennettiin 235 kappaletta kattaen 1414 MW nostaen kumulatiivisen lukumäärän 1835 ja kapasiteetin 8358 MW:iin. (27.)

Tuulivoimalat voidaan pysäyttää kysynnän ja tarjonnan tasapainottamiseksi. Sähkökattilat sekä muu joustavakulutus takaavat tuulivoimatuotannon tuulisella säällä. (28.)

6.5 Sähkökattiloiden vaikutus energijärjestelmään

VTT:n kehittämä Pohjois-Euroopan energijärjestelmän mallinnustyökalu Backbone mahdollistaa energijärjestelmän mallintamisen sekä energijärjestelmien käytössä että investointien suunnittelussa ja aikataulutuksessa. Työkalun ominaisuuksia on muun muassa stokastiset parametrit, useat varatuotteet, energiavarastoyksiköt, ohjatut ja hallitsemattomat energiansiirrot. (29.)

Mallia ajettiin vuoden ajan ilman sähkökattiloita ja sijoittamalla 1,5 GW sähkökattiloita Suomen kaukolämpöverkkoihin. Sähkökattiloiden lisääminen mallinnustyökaluun nosti sähkön keskihintaa n. 7 % ja vähensi Suomessa maakaasun kulutusta -26 % ja biomassan kulutusta -6 %. Sähkön keskihinta nousi myös naapurimaissa, Ruotsissa 3–5 %, Tanskassa n. 1 % ja Norjassa alle 1 %. (10.)

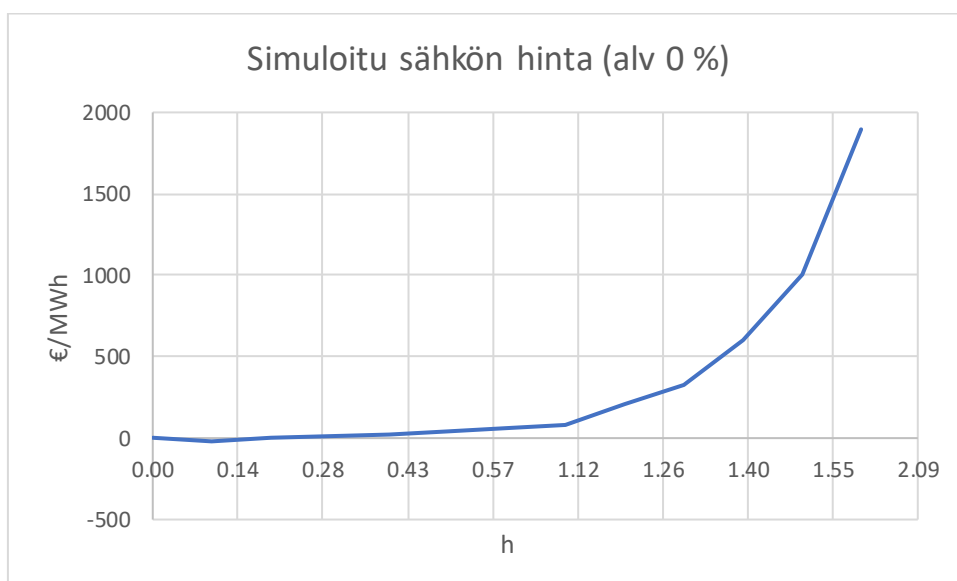
Sähkökattiloilla oli myös huomattava vaikutus sähkönsiirtoihin, vienti pieneni ja tuonti lisääntyi. Muutokset sähkönsiirrossa maiden yli lisäsivät fossiilisten polttoaineiden ja biomassan kulutusta naapurimaissa johtaen siihen, etteivät kokonaispäästöt vähentyneet. (10.)

7 LABORATORIOTYÖ

Laboratoriotyöohjeen laatimisessa käytettiin mallina aiemmin tehtyjä laboratoriotöitä sekä niiden ohjeita. Työn tavoitteena on perehdyttää opiskelijat sähkökattilan toimintaan, sähköturvallisuuteen ja energiamarkkinoihin.

Ohjeen tavoitteena on kertoa tarpeeksi, jotta työn suorittaminen onnistuu turvallisesti ja lähes itsenäisesti. Laboratoriotyöohjeessa kaiken tiedon ei tulisi olla heti selvillä, vaan opiskelijoiden pitäisi ryhmässä perehtyä ja miettiä laitteen toimintaa. Sähkökattila on yksinkertainen laite, ja työhön haluttiin lisätä sisältöä lisäämällä menolämpötilan säätö sekä siihen liittyvät turvatoimet. Kattilassa säädetään myös delta T -asetus tehdasasetusta pienemmäksi. Tällöin kattila vaihtaa tehoas- kelta herkemmin ja mittaustuloksiin saadaan enemmän eroavaisuuksia.

Laboratoriotyössä tarkastellaan sähkökattilan energiantuotannon kustannuksia sähkönhinnan vaihdellessa. Tämä tehtiin simuloimalla korostetusti sähkön hin- nan vaihtelevuutta 10 minuutin välein. Sähkön hinta nousee työn aikana alkaen negatiivisesta ja päättyen 1896 €/ MWh:iin (Kuva 12). Sähkön siirtohinnan vaih- telu maakuntien välillä on myös huomioitu laboratoriotyössä.



KUVA 12. Laboratoriotyön simuloitu sähkönhinta

Sähkön hintaa vertaillaan kahden kohteen välillä. Toinen kohteista on omakotitalo Posiolla ja toinen Oulussa kaukolämpöä tuottava sähkökattila. Eroavaisuutta hintaan tulee täten sähkön siirtohinnasta ja veroluokasta. Laboratoriotyöhön kuuluvat työohje ja mittauspöytäkirja löytyvät liitteistä 1 ja 2.

Laboratoriotyö teetettiin vapaaehtoisella neljän hengen ryhmällä toisen vuoden energiatekniikan opiskelijoilla 2.4.2025. Työtä edelsi sähkökattilan manuaalin käänös ruotsista suomeksi sekä ohjeiden laatiminen ja jako. Työn suoritus alkoi kello 8.15 työohjeen kertaamisella ja nopealla perehdytyksellä laboratorion sähkökattilaan. Työhön tehtiin muutos aamun aikana ja päätettiin, että kattilan tuottama energia otetaan talteen lämminvesivaraajaan. Tätä varten varaajan lämpötila tuli jäähdyttää 30 °C:n lämpötilaan. Mittaukset aloitettiin kello 9.30 ja päättyivät kello 11.30, jonka jälkeen ryhmä teki lopetustoimenpiteet ohjeen mukaisesti. Opiskelijat ehtivät etsimään laskuihin tarvittavaa tietoa mittausten aikana.

Työn valmisteleva osuus sujui moitteettomasti. Kaikki asiat eivät olleet välittömästi selkeitä, ja ryhmä pääsi itsenäisesti miettimään asioita. Mittausvaihe sujui myös hyvin, vaikka varaajan lämpötilamittaus otettiin mukaan työhön spontaanisti. Fidelix-järjestelmästä saadaan trendikäyrä varaajan mittauspisteiden lämpötiloille, ja sitä verrataan oppilaiden tekemään kuvaajaan varaajanlämpötiloista. Tuotettu energiamäärä on myös otettava osaksi labratyötä.

Kattilan ”1 h SPÄRR”-lukitustoiminto rajoittaa tuotetun tehon 25 %:iin täydestä tehosta tunniksi sähkökatkon jälkeen. Aikaa voidaan lyhentää painamalla SNABB-painike pohjaan. Kattila luulee sähkökatkoksen tapahtuvan, koska kattilasta tehdään jännitteetön menolämpötilan säädön ajaksi.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää sähkökattilan käyttöön laboratoriotyö, joka perehdyttää opiskelijat laitteen toimintaan ja käyttöön sekä energiamarkkinoihin ja sähköturvallisuuteen. Työohjeen tuli olla looginen ja sellainen, että opiskelijat voivat suorittaa työn lähes itsenäisesti.

Laboratoriotyön kokeilussa huomatu parannuskohteet paransivat työohjeen ja laboratoriotyön sujuvuutta ja mittauspöytäkirjaa. Työn aluksi tehtävät kattilan säädöt ja lämmön talteen ottaminen varajaan tuo työhön merkittävää lisäarvoa.

Sähkömarkkinoita ja niiden tulevaisuutta on mahdotonta ennustaa – sekä tuuli-voimatuotantokapasiteetti että nopeasti säädettävät sähkönkulutuskohteet lisääntyvät. Esimerkiksi vedyntuotannossa on useita hankkeita eri vaiheissa ympäri Suomea, jotka käyttäisivät suuria määriä sähköä. Sähkön vuorokausimarkkinoiden siirtyminen 15 minuutin kaupankäyntijaksoiksi parantaa sähkökattiloiden kannattavuutta nopean säädettävyytensä ansiosta. Myös muut kehityssuunnat, kuten sähkönvarastointi ja datakeskukset, vaikuttavat sähköverkkoon ja markkinaan.

LÄHTEET

1. Motiva Oy. 2024. Selvitysraportti: Sähköistämällä energiatehokkuutta teollisuudessa. Luettavissa: [https://www.motiva.fi/files/22949/Selvitysraportti - Sahkoistamalla energiatehokkuutta teollisuudessa.pdf](https://www.motiva.fi/files/22949/Selvitysraportti_-_Sahkoistamalla_energiatehokkuutta_teollisuudessa.pdf). Luettu: 18.5.2025.
2. Rautiainen T. 2024. Sähköistämällä energiatehokkuutta teollisuudessa. Kirjallisuus selvitys. Motiva Oy. Luettavissa: [https://www.motiva.fi/files/22074/Sahkoistamalla energiatehokkuutta teollisuudessa kirjallisuus selvitys_2024.pdf](https://www.motiva.fi/files/22074/Sahkoistamalla_energiatehokkuutta_teollisuudessa_kirjallisuus selvitys_2024.pdf) . Luettu: 7.4.2025.
3. Carlton Technologies 23.6.2023. How Do Heating elements work? Luettavissa: <https://www.carlontech.co.uk/how-heating-elements-work/>. Luettu: 7.4.2025
4. Tiainen L. 2024. Elektrodikattilan ja kaukolämpöakun kannattavuus vastapainetuotannossa. Luettavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2024090969910>. Luettu 18.5.2025.
5. Parat. High Voltage Electrode boiler for Steam and Hot water. Luettavissa: <https://www.parat.no/en/products/industry/parat-ieh-high-voltage-electrode-boiler/>. Luettu: 14.4.2025
6. Motiva Oy 26.7.2024. Sähkövaraajat ja -kattilat. Luettavissa: https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/energiatehokas_pientalo/pientalon_lammitys/sahkovaraajat_ ja_ -kattilat. Luettu: 7.4.2025.
7. Osby Parca AB, 25.1.2005. EL-36-0X2001 Installations och skötselansvisning.
8. Osby parca AB 30.3.2021. Osby Parca EL 36 & 50 Eco – Uuden sukupolven sähkökattilat kosketusnäytöllä ja uudella muotoilulla. Luettavissa: <https://osbyparca.se/product/osby-parca-electric-boilers-el-36-50-eco/?lang=en>. Luettu: 10.4.2025.
9. Kaukora Oy 1.10.2012. Käyttöohja FIL-SPL sähkökattiloille. Luettavissa: <https://jaspi.fi/tuote/fil-sahkokattila/#oppaat>. Luettu: 10.4.2025.
10. Hiltunen P. 28.1.2025. Energia-alan tutkimusseminaari: Sähköistyvän lämmöntuotannon vaikutukset pohjoismaiseen energiajärjestelmään. Luettavissa: <https://energia.fi/wp-content/uploads/2025/01/Pauli->

- [Hiltunen_Sahkoistyvän-lammontuotannon-vaikutukset-pohjoismaiseen-energiajarjestelmaan.pdf](#). Luettu 18.5.2025.
11. Energiateollisuus ry 28.1.2025. Energiavuosi 2024 Kaukolämpö, Kaukolämmön ennakkotiedot. Luettavissa: https://energia.fi/wp-content/uploads/2025/01/Kaukolampovuosi-2024_ennakkograafit_paivitetty-20250205.pptx. Luettu 18.5.2025.
 12. Oulun energia 7.8.2024. Sähköllä tuotetun kaukolämmön osuus tuplaantuu Toppilan voimalaitoksen uuden sähkökattilan myötä. Luettavissa: <https://www.ouluenergia.fi/uutiset/08--2024/sahkolla-tuotetun-kaukolammon-osuus-tuplaantuu-toppilan-voimalaitoksen-uuden-sahkokattilan-myota/>. Luettu: 7.4.2025.
 13. Oulun Energia 31.1.2024. Sähkökattila lämmittää oululaisia kaukolämpökiinteistöjä – ja huoltovarmuus paranee. Luettavissa: <https://www.ouluenergia.fi/uutiset/01--2024/sahkokattila-lammittaa-oululaisia-kaukolampokiinteistoja/>. Luettu: 7.4.2025.
 14. Helen oy 6.9.2024. Helen rakentaa Hanasaareen Euroopan suurimman sähkökattilalaitoksen. Luettavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2024/helen-rakentaa-hanasaareen-euroopan-suurimman-sahkokattilalaitoksen>. Luettu: 18.5.2025.
 15. Vantaan Energia. Varanto eli lämmön kausivarasto. Luettavissa: <https://www.vantaanenergia.fi/tietoa-meista/hankkeet/varanto/>. Luettu 18.5.2025
 16. Turunen J. 2019. Joel Turunen, Kaukolämpöakun käytön optimointi ja lyhyen aikavälin suunnittelu. Luettavissa: <https://core.ac.uk/reader/250161550>. Luettu: 18.5.2025.
 17. Oulun ammattikorkeakoulu. Hybridilaboratorio. Luettavissa: <https://oamk.fi/kehitysalustat/hybridilaboratorio/>. Luettu: 18.5.2025.
 18. Niskakangas T. 2021. Hybridilaboratorion lämpöverkon MagiCAD-mallinnus ja -simulointi. Luettavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202103163443>. Luettu: 18.5.2025.
 19. Pakonen, E. 21.1.2025. Lehtori. Oulun ammattikorkeakoulu. Sähköposti.
 20. Fingrid. Miten sähkön hinta muodostuu. Luettavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/yleistietoa-sahkomarkkinoista/miten-sahkon-hinta-muodostuu/>. Luettu: 18.5.2025.

21. Oomi. Sähkön hinnan muodostuminen. Luettavissa: <https://oomi.fi/sahko/sahkon-hinnan-muodostuminen/>. Luettu: 18.5.2025.
22. Mäkinen M. 1.5.2025. Sähkön siirtohinta Suomessa. Luettavissa: <https://sahkokuningas.fi/sahkon-siirtohinta/>. Luettu: 18.5.2025.
23. Valtiovarainministeriö. Energiaverotus. Luettavissa: <https://vm.fi/energia-verotus>. Luettu: 18.5.2025.
24. Energiateollisuus ry. Energiavuosi 2024 Sähkö, Sähkön ennakkotiedot 2024. Luettavissa: <https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot/sahkon-hintatilasto/>. Luettu: 18.5.2025.
25. Eurooppa-neuvosto. Energiakriisi: kolme EU:n koordinoimaa toimea laskujen pienentämiseksi. Luettavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/in-fographics/eu-measures-to-cut-down-energy-bills/>. Luettu: 18.5.2025.
26. Energiavirasto 11.7.2024. Kansallinen raportti sähkö- ja maakaasumarkkinoista vuonna 2023 julkaistu. Luettavissa: <https://energiavirasto.fi/-/kansallinen-raportti-sahko-ja-maakaasumarkkinoista-vuonna-2023-julkaistu>. Luettu 18.5.2025.
27. Suomen uusiutuvat ry 3.1.2025. Tuulivoima Suomessa 31.12.2024, Tuulivoiman vuositilastot. Luettavissa: <https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoimavuosi-2024-suomen-tuulivoimakapasiteetti-kasvoi-20-prosenttia/>. Luettu 18.5.2025.
28. Energiateollisuus ry. Tuulivoima. Luettavissa: <https://energia.fi/energiatieto/energiantuotanto/sahkontuotanto/tuulivoima/>. Luettu: 18.5.2025.
29. Helistö, Niina & Kiviluoma, Juha & Ikäheimo, Jussi & Rasku, Topi & Rinne, Erkki & O'Dwyer, Ciara & Li, Ran & Flynn, Damian. 2019. Backbone—An Adaptable Energy Systems Modelling Framework. *Energies*. 12. 1-34. 10.3390/en12173388. Luettavissa: https://www.researchgate.net/publication/335569870_Backbone-An_Adaptable_Energy_Systems_Modelling_Framework. Luettu: 18.5.2025.

LIITTEET

Liite 1. Sähkökattila-laboratoriotyöohje

Liite 2. Mittauspöytäkirja

Laboriotyö: Sähkökattilan käyttöönotto

Työssä otetaan sähkökattila käyttöön sekä mitataan sen tuottama teho ja energia. Tuotettu energia varataan varaajaan ja seurataan varaajan lämpötilan mittauspisteitä.

1 TEORIA

Parca 36 on sähkövastuskattila. Läpivirtaava vesi lämpenee sähkövastusten avulla.



Kuva 1. Sähkökattila

Kattila on kytketty 400 V jännitteeseen kolmivaihevirtaan. Teho lasketaan:

$$P = UI\sqrt{3}$$

Missä:

P= sähköteho [W]

U = jännite [V]

I = Virta [A]

Lämmitystehon kaava on:

$$\Phi = q_v c_p \Delta T \rho$$

Missä:

Φ = teho [kW]

q_v = tilavuusvirta [m^3/s]

c_p = ominaislämpökapasiteetti vakiopaineessa [kJ/kgK]

ΔT = Nesteen lämpötilaeroa meno- ja paluupuolien välillä [K]

ρ = veden tiheys [kg/m^3]

Sähkökattila on matalahäviöinen lämmöntuotantomenetelmä. Sähkövastus lämmittää vettä teholla $P = \Phi$. Lämpötilaero mitataan putkiin asennetuilla mittareilla. Laske raporttiin tilavuusvirta kaavat yhdistämällä.

Kattila säätää itse tehoa automatiikan avulla. Kattilassa on kolme kontaktoria, joilla saadaan seitsemän tehoaskelta. Kattila voi siis toimia vain tehoilla, jotka löytyvät mittauspöytäkirja-taulukosta.

Sähkön hinta koostuu energianhinnasta, sähkön siirtohinnasta ja sähköverosta. Näihin kaikkiin lisätään arvonlisävero 25,5 %. Etsi tarvittavat tiedot Excel taulukkoon. Laboratoriotyössä verrataan posiolaisen

omakotitalon sähkölämmitystä ja Oulun Energian sähkökattilan tuottaman energian kustannuksia.

Kattilan Delta T arvo tarkoittaa paljonko lämpötila voi erota ohjauslämpötilasta. Oletus Delta T asetus on 4 astetta. Työtä tehdessä arvo muutetaan kahteen asteeseen.

2 MITTAUSTA EDELTÄVÄT JÄRJESTELYT

Lämpötilan asetusarvo säädetään 60 °C lämpötilaan. Sähköturvallisuuden takia kattila tehdään ensin jännitteettömäksi. Tätä edeltää seuraavat työvaiheet:

- Lue työvaiheet ennen aloittamista. Työvaiheet on tehtävä kirjoitetussa järjestyksessä.
- Kytke turvakytkin 503 OFF-asentoon ja laita kahvaan merkkikilpi. Kytkin on automaatiolaboratorion puolella.
- Irrota kattilan sähköjohto.
- Avaa sähkökattilan kansi.
- Sääda menolämpötilan asetusarvo 60 °C-lämpötilaan. (BÖR-säädin)
- Etsi ennen kannen sulkemista
 - Kontaktorit
 - Ylikuumenemissuoja
- Sääda delta T kahteen asteeseen, jotta kattila muuttaa säädetävää tehoa nopeammin.
- Sulje kansi, kytke sähköjohto ja käännä 503-turvakytkin ON-asentoon.
- Aseta varaajan jäähdytys asetus lämpötilaan 88 °C ja ilmajäähdytin 60 °C. Näin kattilan tuottama energia saadaan kokonaisuudessaan varattua varaajaan.

Etsi mitattavat suureet

- Virta
- Jännite
- Meno- ja paluu lämpötilat
- Varaajan lämpötilat 5 kpl

3 MITTAUKSET

- Käynnistä kattila fidelixin avulla.
- Varmista, että sulkuventtiili NDA410_TV01 avautuu.
- Kirjaa mitattavat suureet mittauspöytäkirjaan ennen käynnistämistä sekä kymmenen minuutin välein kahden tunnin ajan.
- Mittaa kattilan takaseinän lämpötila ja huoneen seinän lämpötila pintalämpötilamittarilla.
- Kun mittaukset on suoritettu, sammuta kattila fidelixistä.

Kattilaa asettaa ”1h Spärr” lukitustoiminnon päälle. Lukitus estää kattilaa tuottamasta yli 25 % tehoa. Lukitusta voidaan lyhentää 20–30 minuutin kohdalla painamalla SNABB painiketta pitkään.

Mittaa pintalämpötilamittarilla kattilanpintojen lämpötilat ja huoneen seinän lämpötila.

Mittauksia tehdessä pohdittavaa:

Mikä on sähkökattilan hyötysuhde ja mistä sen häviöt muodostuvat?

Mistä tuotetun energian hinta muodostuu ja mitkä tekijät siihen vaikuttavat?

Lopuksi säädä menolämpötila aiempien ohjeiden tapaan 80-asteeseen.

4 TULOSTEN KÄSITTELEMINEN

Laske

- sähköteho
- tehon avulla virtaama
- tehon ja ajan avulla energia

Piirrä varaajanlämpötilapisteistä kuvaaja. Missä kohdassa varaajaa lämpötila on korkein ja miksi?

5 VIRHEENARVIOINTI

Kirjaa raporttiin, mitkä tekijät aiheuttavat mittausepä tarkkuutta.

6 LOPPUTULOKSET

Esitä raporttiin lasketut tulokset puhtaaksi kirjoitettuna.

- kattilan tuottama energia
- Simuloidulla sähköhinnalla lasketut energiankustannukset, kun lämmön tuottaisi
 - posiolainen omakotitalo
 - Oulun Energian sähkökattila
- Keskimääräinen lämpötilaero
- Vastuksen resistanssi yhdellä ajan hetkellä
- Veden virtausnopeus yhdellä ajan hetkellä
- Labratyön aikana kattilan läpi virrannut vesi
- Piirrä varaajan lämpötilakuvaaja

Vertaa energiatuotantomuotojen hintoja.

→ Pelkkä tuotanto, ei huomioida:

- kuljetus ja teko esim. hakettaminen, jalostus
- laitoksen rakentaminen ja ylläpitokustannukset
- Käyttö- ja kunnossapitokustannukset

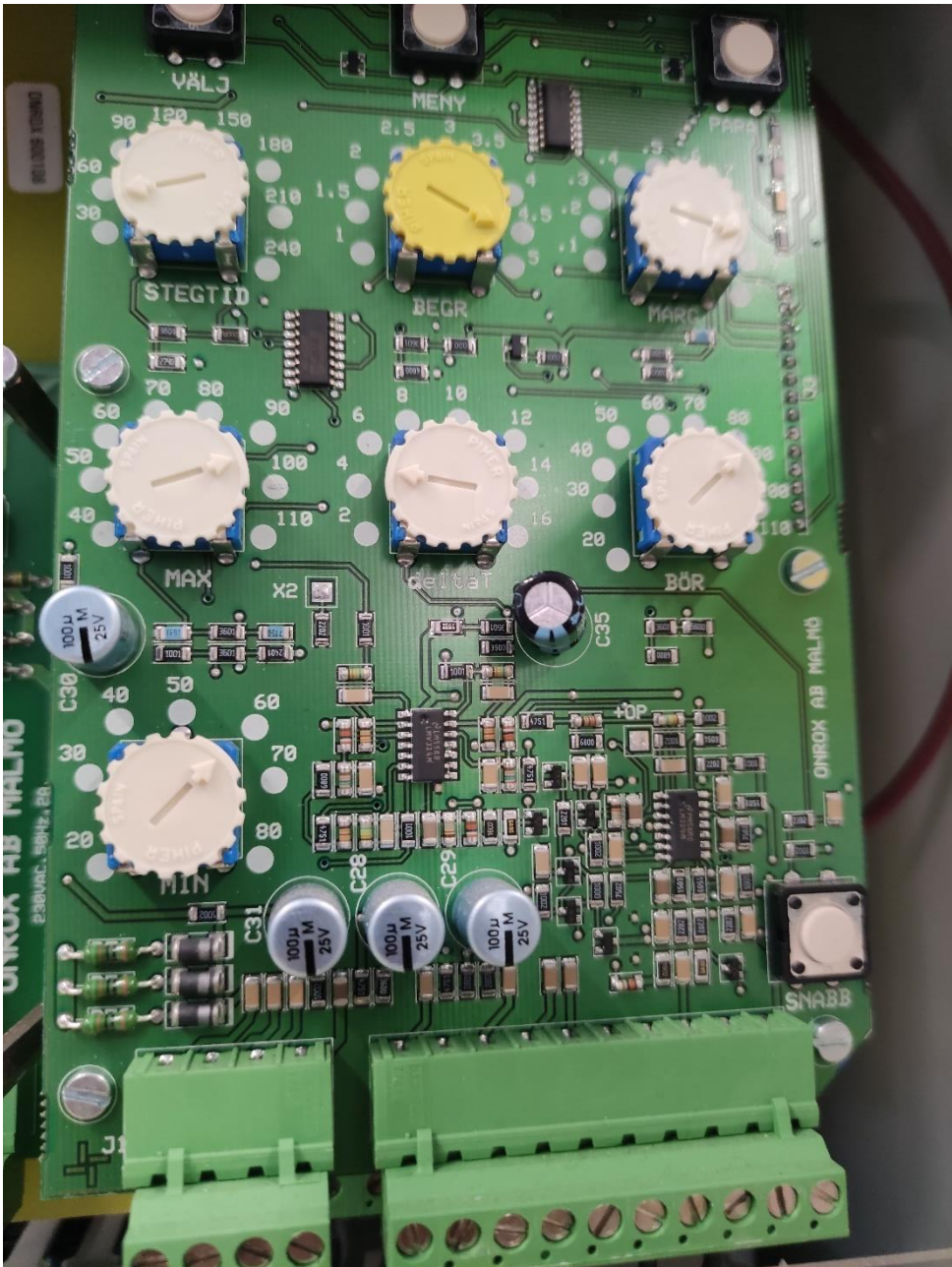
Arvioi häviöt mukaan hyötysuhteen avulla, eli etsi tyypillinen hyötysuhde sähkö- ja polttokattiloille.

7 POHDINTA

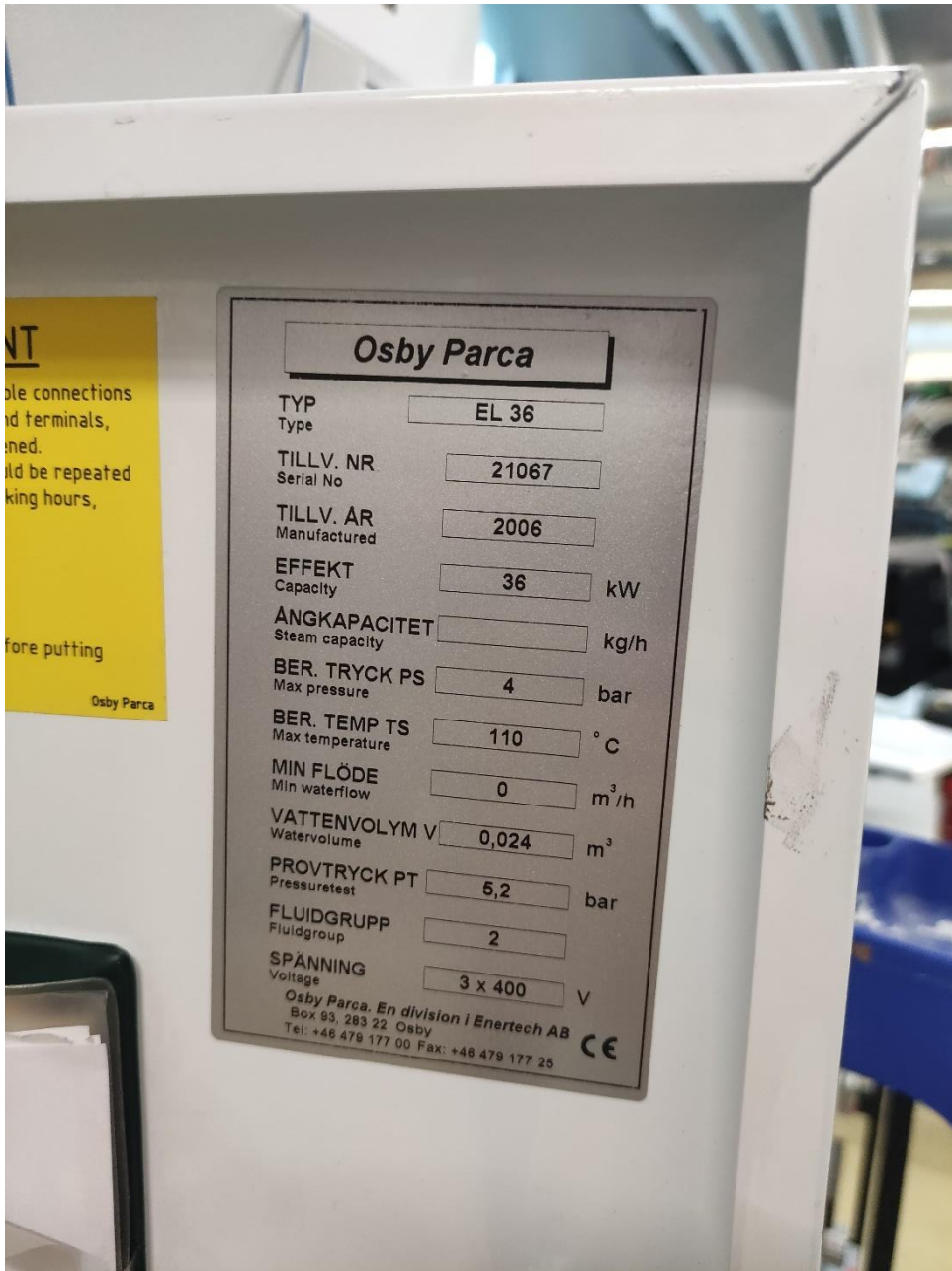
Kirjaa raportin viimeiseen kappaleeseen pohdintoja, mitä heräsi labratyön aikana.



Kuva 2. Turvakytkin



Kuva 3. Kattilan parametrien asettaminen



Kuva 4. kattilakilpi

MITTAUSPÖYTÄKIRJA			
SÄHKÖKATTILA			
MITATTAVAT SUUREET			
MENO			
PALUU			
V			
A			
etsi			
Kattilaveden paine (NDB010_CP101)		bar	
veden keskilämpötila		°C	
ominaislämpökapasiteetti		kJ/kgK	
tiheys		kg/m ³	
Putken koko			
virtauspoikkipinta-ala		m ²	
Todellinen sähkönhinta		snt/kWh	alv 0 %
Sähkönsiirtohintaa Oulussa		snt/kWh	alv 0 %
Sähkönsiirtohintaa Posiolla		snt/kWh	alv 0 %
Sähkövero Veroluokka I		snt/kWh	alv 0 %
Sähkövero Veroluokka II		snt/kWh	alv 0 %
ALV			
yhteensä omakotitalo Posiolla		snt/kWh	
Yhteensä Oulun Energian sähkökattila		snt/kWh	
Sähkönkulutus kokonaan		kWh	
Todellinen sähkön keskihinta labratyön aikana			
Laboratoriotyön energian kustannukset		€	
Etsi ja vertaa muihin energiahintoihin			
Kaukolämmön hinta Oulussa			
Vuoden keskipörssisähkön hintaan			
polttoaineiden hinnat			
pelletin hinta		€/MWh	
hakkeen hinta		€/MWh	
bioöljyn hinta		€/MWh	
fossiilisen kevytpolttoöljyn hinta		€/MWh	
Typillinen öljykattilan hyötysuhde			
Typillinen biomassakattilan hyötysuhde			
Polttoaineiden hinnat hyötysuhde huomioiden		€/MWh	

	MENO	PALUU	jännite	virta	teho	qv	qv	Energia	Resistanss v	energia		simuloitu sähkönhinta	
	°C	°C	V	A	kW	m3/s	l/s	kWh	Ohmia	m/s	MWh	€/MWh	(alv 0 %)
0:00													0
0:10													-20
0:20													0
0:30													10
0:40													20
0:50													40
1:00													60
1:10													80
1:20													210
1:30													330
1:40													600
1:50													1000
2:00													1896

400 V						
Kontaktori	K1	K2	K3			
tehoaskel	5,2	10,4	20,6	kW	A	%
1	1	0	0	5,2	7,5	14,4%
2	0	1	0	10,4	15,0	28,7%
3	1	1	0	15,6	22,5	43,1%
4	0	0	1	20,6	29,7	56,9%
5	1	0	1	25,8	37,2	71,3%
6	0	1	1	31	44,7	85,6%
7	1	1	1	36,2	52,3	100,0%

