

Jasper Pilhjerta

# KAMARIKUIVAAMON ENERGIANKU- LUTUKSEN SELVITYS

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Energiatekniikan koulutus

2025



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Jasper Pilhjerta
Työn nimi	Kamarikuivaamon energiankulutuksen selvitys
Toimeksiantaja	Södra Wood Oy
Vuosi	2025
Sivut	31 sivua
Työn ohjaajat	Jyri Mulari Xamk; Tomi Liikkanen Södra Wood Oy

## TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäyteyössä tarkasteltiin Södra Wood Oy:n Haminan sahalaitoksen kamarikuivaamon energiankulutusta ja energiatehokkuutta. Työn tavoitteena oli selvittää kuivausprosessin nykyinen energiankäyttö ja tunnistaa mahdollisia kehityskohteita energiatehokkuuden parantamiseksi.

Työssä seurattiin lämmön- ja sähkönkulutusta kuivausprosessin aikana. Kerätyn datan perusteella laskettiin kokonaisenergiankulutus ja tuloksia verrattiin nykyaikaisiin kuivausratkaisuihin. Mittaustulosten perusteella havaittiin, että erityisesti lämmitysenergian kulutus on korkea verrattuna moderneihin järjestelmiin, joissa hyödynnetään lämmöntalteenottoa ja muita uudempia energiatehokkaita ratkaisuja, kuten optimoituja puhallinohjauksia ja kuivausohjelmia, sekä rakenteellisia parannuksia.

Lämpöhäviöiden tarkastelussa todettiin, että merkittävä osa käytetystä energiasta kuluu veden poistamiseen puutavarasta haihduttamalla. Vesihöyry poistuu normaalisti poistoilman mukana, mutta sen sisältämä lämpö voitaisiin ottaa talteen tiivistämällä höyry vedeksi ja hyödyntämällä vapautuva lämpö esimerkiksi tuloilman esilämmityksessä. Tällainen ratkaisu parantaisi kuivausprosessin kokonaisenergiatehokkuutta.

Työssä onnistuttiin esittämään konkreettisia kehityskohteita, kuten lämmöntalteenottojärjestelmän käyttöönotto, rakenteellisten tiivistysten parantaminen, sekä puhallinohjauksen optimointi. Lisäksi työ tarjoaa toimeksiantajalle tietoa kuivaamon nykytilasta ja toimii pohjana tuleville päätöksille energiatehokkuuden kehittämiseksi. Työn tulokset voivat toimia hyödyllisenä vertailupohjana myös vastaavanlaisten vanhempien kuivaamojen energiatehokkuuden arvioinnissa ja suunnittelussa.

**Asiasanat:** energiankulutus, energiatehokkuus, sahatavara, kuivaus

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Jasper Pilhjerta
Thesis title	Assessment of energy consumption in a chamber dryer
Commissioned by	Södra Wood Ab
Time	2025
Pages	31 pages
Supervisor	Jyri Mulari Xamk; Tomi Liikkanen Södra Wood Ab

## ABSTRACT

This thesis examines the energy consumption and energy efficiency of a chamber dryer at Södra Wood Ab's Hamina sawmill. The aim was to determine the current energy usage of the drying process and to identify potential areas for improving its energy efficiency.

The research work conducted for this thesis included measuring heat and electricity consumption during the drying process. Based on the collected data, the total energy consumption was calculated, and the results were compared to those of modern drying solutions. The findings indicated that the consumption of heating energy in particular was significantly higher than in contemporary systems, which typically utilize heat recovery and other advanced energy-efficient technologies such as optimized fan control and structural improvements.

The analysis of heat losses revealed that a significant portion of the energy is used for evaporating moisture from the timber. Water vapor is normally released with the exhaust air, but the heat it contains could be recovered by condensing the vapor into water and utilizing the released heat, for example, in preheating the incoming air. Such a solution would significantly improve the overall energy efficiency of the drying process.

The study succeeded in presenting concrete development proposals, including the implementation of a heat recovery system, improving structural sealing, and optimizing fan control. In addition, the thesis provides the commissioning company with valuable information on the current state of the dryer and supports future decisions on energy efficiency improvements. The results may also serve as a useful reference for assessing and planning energy efficiency in similar aging drying facilities.

**Keywords:** energy consumption, energy efficiency, sawn timber, drying

# SISÄLLYS

TERMIT JA SYMBOLIT .....	6
1 JOHDANTO .....	7
2 SÖDRA .....	8
3 KAMARIKUIVAAMO .....	9
3.1 Puun kuivaaminen .....	9
3.2 Kamarikuivaamon toiminta .....	9
3.3 Lämmitysenergian tuotanto .....	11
4 KUIVAAMON ENERGIANKULUTUKSEN TEORIA .....	11
4.1 Lämmitysenergian kulutus .....	11
4.2 Sähköenergian kulutus .....	12
4.3 Lämpöhäviöt .....	13
4.4 Kamarikuivaamojen tiedot .....	13
5 MITTAUKSET JA LASKELMAT .....	14
5.1 Lämmitysenergian mittaus ja laskenta .....	14
5.1.1 Ultraäänivirtausmittaus .....	14
5.1.2 Virtausmittauksen toteutus .....	15
5.1.3 Lämpötilaeromittaus .....	18
5.1.4 Lämpötilaeromittauksen toteutus .....	19
5.1.5 Lämmitysenergian laskenta .....	20
5.2 Sähköenergian mittaus ja laskenta .....	25
5.2.1 Sähköenergian mittaus .....	25
5.2.2 Sähköenergian kulutus .....	26
5.3 Lämpöhäviöiden arviointi .....	26
6 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	27
6.1 Kuivaamon energiankulutus .....	27
6.2 Tulosten vertailu toisiin kuivaamoihin .....	27
6.3 Havaitut häviöt ja tehostamismahdollisuudet .....	28

7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	29
	LÄHTEET .....	31

## TERMIT JA SYMBOLIT

$c$	ominaislämpökapasiteetti
$E$	energia
$\dot{m}$	massavirta
$P$	teho
$Q$	lämmitysteho
$q_v$	tilavuusvirta
$t$	aika
$T$	lämpötila
$W$	sähköenergia
$\rho$	tiheys
$\Delta T$	lämpötilaero

## 1 JOHDANTO

Energian hinnan noustessa energiatehokkuuden ja taloudellisen energiankäytön merkitys korostuu entisestään niin teollisuudessa kuin muillakin sektoreilla. Uusien tuotantolaitteiden ja prosessien energiatehokkuus on kehittynyt merkittävästi viime vuosina. Energian hinnan nousu yhdessä energiatehokkaampien ratkaisujen yleistymisen kanssa on herättänyt tarpeen tarkastella vanhempien laitteiden ja prosessien kustannustehokkuutta sekä kannattavuutta. Energiatehokkuus ei ainoastaan vähennä kustannuksia, vaan myös pienentää ympäristövaikutuksia ja tukee kestävästä kehitystä.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Södra Wood Oy. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää 1990-luvulla rakennetun kamarikuivaamon energiankulutus. Sahatavaran kuivaaminen vaatii suuria määriä lämpöenergiaa, joten toimeksiantajaa kiinnosti erityisesti kuivausprosessin todellinen energiankulutus. Kamarikuivaamon energiankulutuksen seuraamiseen ei ollut käytössä valmiita mittausjärjestelmiä sähköenergiamittaria lukuun ottamatta. Työssä kartoitetaan kuivaamon käyttämä lämmitys- ja sähköenergiankulutus toteutettujen mittausten perusteella. Lisäksi työssä tarkastellaan kamarikuivaamon energiatehokkuutta ja kannattavuutta suhteessa muihin sahatavaran kuivausmenetelmiin.

Energiankulutus lasketaan kuivaamon lämmitysjärjestelmässä kiertävän vesivirran ja lämpötilaeron perusteella. Koska järjestelmässä kiertää puhdasta vettä, sen ominaisuudet määritetään veden ja höyryn ominaisuuksien laskurin avulla lämpötilan ja arvioidun paineen perusteella.

Vanhoissa teollisuuslaitoksissa ja prosesseissa energiankulutuksen mittaaminen ja seuranta on usein jäänyt vähälle huomiolle, vaikka juuri näissä koh-teissa olisi suuri säästöpotentiaali. Energiatehokkuuden parantaminen näissä prosesseissa voi tuoda merkittäviä taloudellisia hyötyjä ja pienentää hiilijalan-jälkeä ilman suuria investointeja.

## 2 SÖDRA

Södra on Ruotsissa toimiva metsänomistajien osuuskunta sekä metsäalan teollisuuskonserni. Osuuskunta koostuu 52 000 metsänomistajasta, jotka omistavat suuren osan Etelä-Ruotsin yksityisistä metsistä. Södra hallinnoi koko tuotantoketjua metsästä valmiisiin tuotteisiin. Södran toimintaan kuuluu sahatavaran, sellun ja biopolttoaineiden valmistus. Yritys panostaa kestävään metsänhoitoon ja uusien ympäristöystävällisten tuotteiden kehittämiseen. Pääkonttori sijaitsee Vaxjössä ja konserni työllistää yli 3000 henkilöä eri tehtävissä, kuten metsänhoidossa, tuotannossa ja myynnissä. (Södra s.a.; Liikkanen 2025.)

### **Haminan saha**

Södra Wood Oy:n Haminan saha sijaitsee Haminan satamassa ja on osa ruotsalaista Södra-konsernia. Alun perin saha tunnettiin nimellä Haminan Veistosaha, mutta omistajuus on vaihtunut useaan otteeseen tämän jälkeen. Vuonna 2016 saha siirtyi Södran omistukseen, kun yhtiö osti brittiläisen Crown Timberin. (Liikkanen 2025.)

Sahalaitos toimii kattavana tuotantoketjuna, joka sisältää tukkien lajittelun, sahaamisen, kuivaamisen, höyläyksen sekä valmiiden tuotteiden varastoinnin. Energia tuotetaan sahalaituksen omassa lämpölaitoksessa. Sahalla käsitellään pääasiassa suomalaista kuusitukkaa ja tuotanto on suunnattu pääosin Ison-Britannian ja Irlannin markkinoille. (Liikkanen 2025.)

Haminan saha hyödyntää sekä kamarikuivaamoja että modernimpia kanava-kuivaamoja, jotka mahdollistavat tehokkaan ja tarkasti hallitun kuivauksen. Tuotteet valmistetaan tarkkojen laatuvaatimusten mukaisesti ja suurin osa niistä kuuluu rakennesahatavaran luokituksiin. Sahatavara lajitellaan koneellisesti ja visuaalisesti kansainvälisten standardien mukaisesti. (Liikkanen 2025.)

Haminan sahalla on hyvät logistiset yhteydet, sillä satama mahdollistaa sujuvan raaka-aineiden vastaanoton ja valmiiden tuotteiden toimituksen asiakkaille. Saha panostaa myös vastuullisuuteen ja käytössä on puun alkuperän

hallintajärjestelmä, joka varmistaa, että raaka-aine hankitaan kestävästi. (Södra s.a.; Liikkanen 2025.)

### **3 KAMARIKUIVAAMO**

#### **3.1 Puun kuivaaminen**

Puun kuivaaminen tarkoittaa puun kuituihin kertyneen kosteuden poistoa. Puun kuivaaminen on olennainen osa puun jalostusprosessia metsästä kuluttajalle. Kuivauksen tarkoitus on saavuttaa puun käyttökohteeseen sopiva kosteus, mikä parantaa materiaalin kestävyyttä, työstettävyyttä ja ulkonäköä. Oikein kuivattu puu ei käyristy tai halkeile käytössä ja sitä on helpompi työstää, liimata tai pintakäsitellä. Kuiva puu kestää lisäksi suurempaa kuormitusta ja taipuu vähemmän kosteaan puuhun verrattuna. Kuivauksessa puu kevenee usein lähes puoleen alkuperäisestä painostaan. (Puuproffa s.a.)

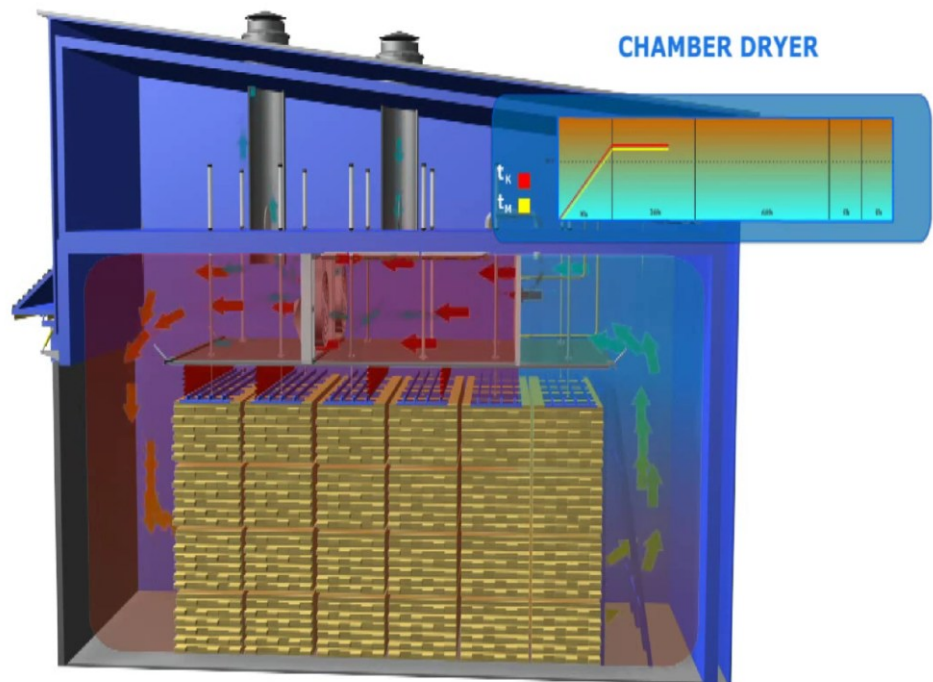
Sahatavara on tärkeää kuivata käyttökosteuteen mahdollisimman pian sahauskeskuksen jälkeen, jotta vältetään mahdollisilta materiaalin vaurioitumisilta sekä varmistetaan puun hyvä jatkokäsiteltävyys. Ennen kuivausta kuivattava puutavara rimoitetaan, eli väliin asetetaan tasaisin välein rimoja. Rimoitus mahdollistaa ilman tehokkaan kierron kuivaamokuorman läpi ja parantaa kosteuden poistumista tasaisesti. Puun kuivaaminen voidaan suorittaa kamari- tai kanavakuivaamoissa. Kamarikuivaamoissa kuivaus tapahtuu erä kerrallaan, kun taas kanavakuivaamoissa puut liikkuvat kuivaamon läpi jatkuvana virtana. Valittu kuivausmenetelmä valitaan puutavaran tyypin, määrän ja halutun loppukosteuden perusteella. Koko kuivausprosessin ajan on tärkeää huolehtia kuivausolosuhteista. Erityisesti lämpötilan ja ilman kosteuden tulisi pysyä käyttökohteen vaatimuksia vastaavina, jotta lopputuote on laadukas. (Sahateollisuuskirja s.a.)

#### **3.2 Kamarikuivaamon toiminta**

Kamarikuivaamot soveltuvat monenlaisen puutavaran kuivaukseen. Kamari-kuivaamo on hyvä vaihtoehto erityisesti silloin, kun kuivataan pieniä kuivauseriä sekä tavoitellaan tuotteen matalaa loppukosteutta. Kamarikuivaamot ovat myös hyvä vaihtoehto halkeilulle alttiin sahatavaran kuivaukseen, sillä kuivaus voidaan säätää tarkasti eri tarpeiden mukaan. Kamarikuivaamo mahdollistaa

yksilöllisen ja eräkohtaisen kuivausprosessin, mikä tekee siitä monipuolisen ja tarkkaan hallittavan vaihtoehdon erilaisiin kuivaustarpeisiin. (Sahateollisuuskirja s.a.)

Kamarikuivaamo on yleisin kuivaamotyyppi sahatavaran valmistuksessa. Kamarikuivaamo toimii erityisesti koivun ja puusepäntuotteiden valmistukseen käytettävän puutavaran käsittelyssä. Se toimii eräkuivaamona, eli täyttö ja tyhjennys tapahtuvat yksittäinen erä kerrallaan. Kuivaus perustuu lämpimän ilman kiertoon ja kosteuden poistoon. Kuivaamossa puhaltimet kierrättävät ilmaa rimoitettujen puukuormien läpi, jolloin puutavaraan kertynyt kosteus haihtuu ilmaan kuten kuvassa 1. Ilman lämpötilaa pidetään noin 50–70-asteisena, sekä kuivausilman suhteellista kosteutta pyritään pitämään riittävän alhaisena, jotta kuivuminen etenee tehokkaasti ja hallitusti. (Sahateollisuuskirja s.a.; Puuproffa s.a.)



Kuva 1. Kamarikuivaamon toiminta (Heinola Sawmill Machinery Inc. 2015)

Kamarikuivaamon keskeisiä rakenteellisia osia ovat puhaltimet, lämpöpatterit, ilmanvaihtokoneet ja -kanavat, sekä kuivausilman ilmankostuttimet. Kuivausprosessia ohjataan automaattisesti lämpötila- ja kosteusantureiden avulla. Kuivaamon lämpötilaa ja puun kosteutta seurataan mittausjärjestelmällä. Jokaiselle puulajille sekä sahatavarapaksuudelle laaditaan omat kuivausohjelmansa, joiden mukaan prosessia ohjataan. (Puuproffa s.a.)

Kuivausohjelmat voidaan säätää jokaisen kuivauserän ominaisuuksien mukaan. Tämä mahdollistaa joustavan ja laadukkaan kuivauksen erityisesti silloin, kun kuivattava puutavara vaatii huolellista käsittelyä. Kuivausajat vaihtelevat eri kuivauserien mukaan. Ohut havusahatavara voi kuivua muutamassa päivässä, kun taas paksu koivusahatavaran kuivuminen voi vaatia useista viikoista jopa kuukauteen, erityisesti jos tavoitteena on alle 10 % loppukosteus. (Puuproffa s.a.)

Kamarikuivaamon etuihin kuuluu laaja lämpötila-alue, erinomainen säätömahdollisuus ja valmiit tietokoneohjatut kuivausohjelmat. Kamarikuivaamo soveltuu tämän takia hyvin niin pienimuotoiseen tuotantoon kuin korkealaatuista kuivausta vaativiin kohteisiin. (Puuproffa s.a.)

### **3.3 Lämmitysenergian tuotanto**

Kuivausprosessissa tarvittava lämpöenergia tuotetaan sahalaitoksen omalla lämpölaitoksella, mikä mahdollistaa energian paikallisen ja kustannustehokkaan hyödyntämisen. Voimalaitoksen polttoaineena käytetään sahalla syntyvää kuorta ja purua, joka on sahaprosessin sivutuote. (Liikkanen 2025.) Tämän ansiosta ulkopuolelta ostettavan energian tarve vähenee merkittävästi ja lämmityskustannuksessa saavutetaan isoja säästöjä.

Oman puupolttoaineen hyödyntäminen energiantuotannossa edustaa kiertotaloutta, jossa tuotannon sivutuotteet otetaan hyötykäyttöön sen sijaan, että ne päätyisivät jätteeksi. Lisäksi paikallinen polttoaine vähentää ulkopuolisen polttoaineen kuljetustarvetta sekä pienentää siihen liittyviä päästöjä. Tämä kaikki pienentää prosessin kokonaisvaikutuksia ympäristöön, sekä prosessin ja liiketoiminnan hiilijalanjälkeä. Tämä tekee energiantuotannosta taloudellista sekä ekologisesti kestäväää.

## **4 KUIVAAMON ENERGIANKULUTUKSEN TEORIA**

### **4.1 Lämmitysenergian kulutus**

Puun kuivaus kuluttaa suuria määriä lämpöenergiaa. Kamarikuivaamossa liikkuva lämmin ilma lämmitetään lämpölaitoksella tuotetulla kuumalla vedellä.

Lämmin ilma kiertää kamareissa ja poistuu sen jälkeen ulkoilmaan. Haminan kamarikuivaamoissa ei ole minkäänlaista lämmöntalteenottoa eli hukkalämpömäärät ovat täten myös erittäin suuria.

Kuivausprosessissa käytettävän ilman lämpötila on korkea ja kuivaus kestää yleensä useita päiviä puulajista ja halutusta lopputuloksesta riippuen. Pitkä kuivausaika yhdistettynä korkeaan lämpötilaan johtavat merkittävään energiankulutukseen.

Koska lämmintä kuivausilmaa ei hyödynnetä millään tavalla, tarkoittaa se käytännössä sitä, että kaikki tuotettu lämpö karkaa hyödyntämättömänä lopulta ilmaan kuivauksen jälkeen. Hyvä mahdollisuus energiatehokkuuden parantamiseen olisi esimerkiksi investoida lämmöntalteenottojärjestelmään, jolla poistoilman lämpöenergiaa voitaisiin käyttää esimerkiksi tuloilman esilämmitykseen tai muihin lämmintä vettä käyttäviin prosesseihin.

## **4.2 Sähköenergian kulutus**

Suurimpia sähkönkuluttajia kamarikuivaamossa ovat ilmanvaihtokoneet ja puhaltimet. Näiden tehtävänä on kierrättää lämmitettyä ilmaa kamarin sisällä sekä poistaa kuivauksessa syntynyt kostea ilma ulos.

Sähkönkulutus ei ole määrällisesti yhtä suurta kuin lämmitysenergian kulutus, mutta muodostaa silti merkittävän osan kuivausprosessin kokonaisenergian käytöstä. Puhaltimet toimivat jatkuvasti koko kuivausjakson ajan, mikä nostaa sähkönkulutusta tasaisesti. Sähkönkulutukseen vaikuttavat esimerkiksi puhaltimien teho, käyttöaika ja ohjaustapa. Kiertovesipumput toimivat kuristussäädöllä, eli pumput pyörivät samalla nopeudella jatkuvasti kuivauksen aikana ja virtausta säädetään venttiilin asentoa muuttamalla. Tajuusmuuttajien käyttö ohjauksissa mahdollistaisi puhaltimien pyörimisnopeuden säätelyn tarpeen mukaan, jolla voitaisiin vähentää kuivausprosessin sähkönkulutusta merkittävästi verrattuna kuristussäätöön.

### 4.3 Lämpöhäviöt

Kamarikuivaamot eivät ole rakenteeltaan erityisen tiiviitä, minkä seurauksena lämpöä karkaa jatkuvasti esimerkiksi ovien alareunoista sekä muiden rakenteellisten rakojen kautta. Näiden epätiiviyksien kautta menetetään huomattavia määriä lämpöenergiaa erityisesti, kun kuivaus on täydellä teholla ja sisälämpötila korkea.

Lisäksi kamarikuivaamoissa ei ole käytössä minkäänlaista lämmöntalteenottojärjestelmää, mikä tarkoittaa, että käytetty lämpö karkaa suoraan ulkoilmaan. Energiategokkuuden puolesta tämä on hankalaa, koska suuri osa lämpöenergiasta menee täysin hukkaan. Lämpöhäviöt eivät siis vain lisää energiankulutusta, vaan myös nostavat kuivatuksen kustannuksia ja heikentävät prosessin taloudellisuutta ja ympäristöystävällisyyttä.

### 4.4 Kamarikuivaamojen tiedot

Kohteessa kamarikuivaamoita on kaksi. Kuivaamot ovat hyvin samanlaiset ja tässä opinnäytetyössä tehdyt mittaukset ja tutkimukset on kohdistettu niistä toiseen. Kamarikuivaamojen energiankulutusten voidaan olettaa vastaavan toisiaan lähes täydellisesti niiden identtisuuden takia.

Kamareita kuivaamossa on neljä. Kussakin kamarissa voidaan kuivata kerralla kuusi rimanippua, joiden keskikoko on noin 9 kuutiometriä. Tämä tarkoittaa, että kuivaamon kokonaiskapasiteetti on 24 rimanippua kerrallaan. Tyypillisesti kuivauskierroksia tehdään noin seitsemän kertaa kuukaudessa. Kamareiden vuosittainen kokonaiskapasiteetti on siis noin 42 000–43 000 kuutiometriä ja tulevaisuudessa sitä pyritään kasvattamaan uudella kuivaamoratkaisulla 60 000–70 000 kuutiometriin. Kuivausaika ja lopullinen kosteustaso määräytyvät tuotekohtaisesti ja prosessia säädetään tarvittaessa esimerkiksi mittaustulosten perusteella. Yleisimmät kuivattavat tuotteet jakautuvat karkeasti seuraavalla tavalla. Dimensio 22 x 100 muodostaa noin 7 % kuivattavasta kuutiomäärästä, 36 x 100/125/150 noin 62 % ja 41 x 93/131 noin 31 %. Tämä jakauma on karkea arvio, jonka tarkoituksena on antaa suuntaa antava kuva tuotannosta. Puutavaran alkukosteus vaihtelee ja loppukosteudet ovat tyypillisesti 10 %, 16 %, tai 22 % riippuen tuotteesta ja kuivaustarpeesta. (Liikkanen 2025.)

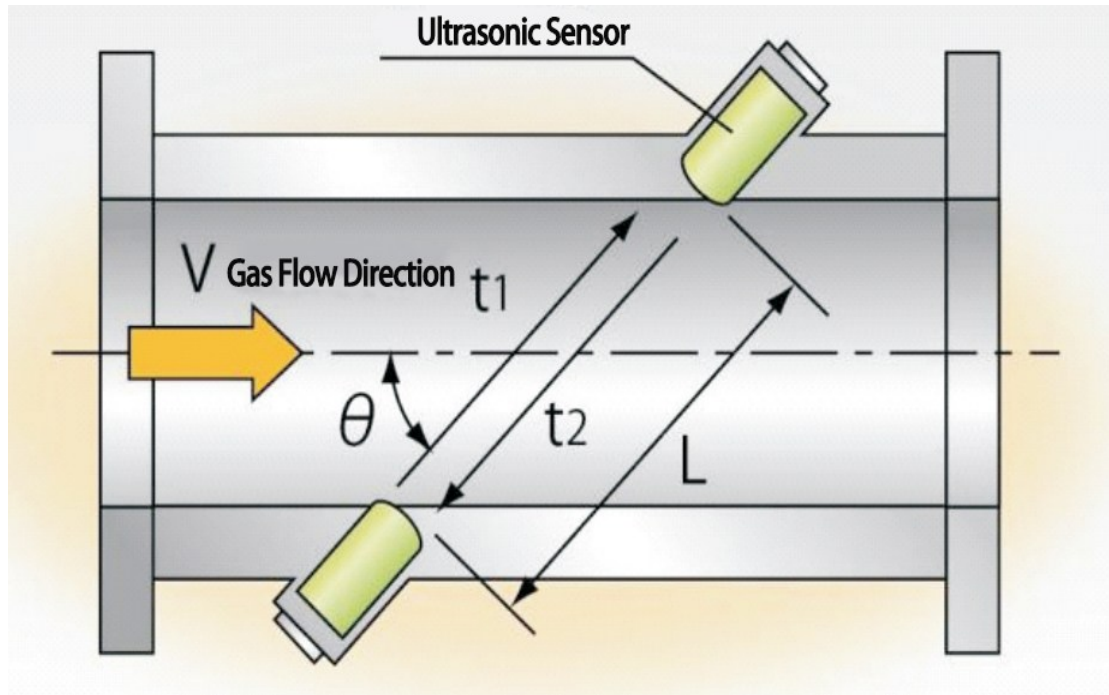
## **5 MITTAUKSET JA LASKELMAT**

### **5.1 Lämmitysenergian mittausta ja laskenta**

#### **5.1.1 Ultraäänivirtausmittaus**

Lämpöenergian laskemiseksi piti ensimmäiseksi saada selville lämmitysveden virtaus. Mittaukseen käytettiin ultraäänivirtausmittausta, jolla saatiin virtaus selville ilman putkistoon asennettavia kiinteitä mittaustaitteita. Ultraäänivirtausmittari on erinomainen vaihtoehto tämän tapaisiin lyhytaikaisiin mittauksiin sen nopean asennuksen ja liikuteltavuuden takia. Mittari on nopea asentaa suoraan putkiston kylkeen, jolloin putkistoa ei tarvitse avata tai prosessia keskeyttää.

Ultraäänivirtausmittarin toiminta perustuu virtausnopeuden selvittämiseen ultraääniaaltojen avulla. Ultraäänimittauksessa mitataan ultraäänen etenemisaian ja nesteen nopeuden suhdetta nesteväliaineessa kuten kuvassa 2. Tässä tapauksessa lämmitysjärjestelmässä kiertävässä vedessä. Ultraäänen etuja ovat ei-invasiivinen tekniikka, eli ei tunkeileva tekniikka. Tämä tarkoittaa sitä, että ultraäänisignaalit kulkevat mitattavan aineen ja putkiston läpi ilman, että mittari tarvitsee suoraa kontaktia mitattavaan nesteeseen tai kaasuun. Tämä tekee ultraäänivirtausmittareista luotettavan ja helposti siirrettävän mittausratkaisun moniin eri käyttötarkoituksiin. (Winsen-sensor s.a.)



Kuva 2. Ultraäänivirtausmittarin toiminta (Winsen-sensor s.a.)

Mittarin asennuksessa on tärkeää huomata, että putkiston pinta pitää olla mahdollisimman puhdas ja tasainen, jotta ultraääni kulkee laadukkaasti. Myös putkiston materiaali, koko ja virtaavan aineen perustiedot täytyy selvittää oikeiden tulosten saamiseksi. Ultraäänivirtausmittarin antureiden alle asennetaan ultraäänigeeli, joka mahdollistaa ultraäänen laadukkaan kulkemisen. Kuumissa kohteissa, esimerkiksi lämmitysputkistoissa tarvitaan lämmönkestävä ultraäänigeeli, koska tavallinen ultraäänigeeli haihtuu anturin ja putken välistä pois lämpötilan ollessa tarpeeksi korkea.

### 5.1.2 Virtausmittauksen toteutus

Virtausmittausta ryhdyttiin toteuttamaan tutustumalla eri virtausmittausmenetelmiin. Lämmityksen tulolinjassa ei ollut saatavilla mittayhdettä kiinteälle virtausmittaukselle, joten paras ratkaisu mittauksen toteutukselle oli putkiston ulkopuolelle tuleva ultraäänivirtausmittaus. Tulolinja on ylempi putki kuvassa 3. Virtausmittauksen kohdalta poistettiin putken eristys mahdollisimman pieneltä alueelta, jotta lämpöhäviöt pysyisivät mahdollisimman vähäisinä.



Kuva 3. Virtausmittauksen toteutus

Ultraäänivirtausmittareiden korkean hinnan vuoksi sopivan mittalaitteen hankinta käyttöön osoittautui haastavaksi. Aluksi mittauksiin saatiin käyttöön Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululta ultraäänivirtausmittari, mutta sitä ei saatu toimimaan mittauskohteessa. Tämän seurauksena ryhdyttiin suunnittelemaan vaihtoehtoista tapaa mitata virtausta ilman, että putkistoa tarvitsisi avata. Lopulta mittaus apua löytyi Caverionin Kotkan toimipisteen kautta, josta saatiin toimiva ultraäänivirtausmittarin lainaan ensimmäisen mittausjakson ajaksi. Mittari toimi kohteessa erinomaisesti ja ensimmäinen mittausjakso saa-

tiin toteutettua onnistuneesti. Myöhemmin suoritettiin vielä toinen pidempi mittausjakso toisen vuokratun ultraäänivirtausmittarin avulla. Toinen mittausjakso antoi entistä kattavamman kokonaiskuvan virtauksista. Toinenkin mittausjakso sujui hyvin ja energiankulutuksen laskemiseksi tarvittavat tulokset saatiin kerättyä. Toisen mittausjakson perään suoritettiin vielä yksittäisen kamarin uunikohtainen mittaus. Uunikohtainen mittaus antoi vielä tarkemman kuvan yksittäisen kamarin kuluttamista virtauksista sekä sen avulla päästiin tarkemmin kiinni kuivausohjelman eri vaiheiden virtauksiin.

Virtausmittarin asennus tapahtui suoraan tulolinjan putken kylkeen (kuva 4). Ennen asennusta putki hiottiin ja putsattiin antureiden kohdalta, millä mahdollistettiin hyvä signaali ultraäänelle.



Kuva 4. Virtausmittauksen toteutus

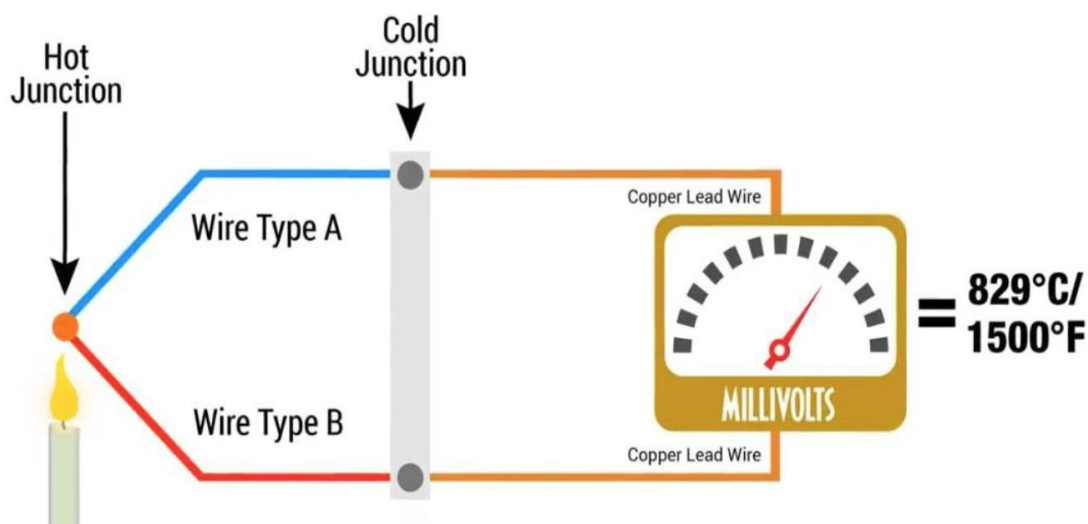
Mittariin syötettiin putken ja virtaavan aineen parametrit, ja mittari asetettiin tallentamaan virtaus muistiin 30 minuutin välein. Toisella mittausjaksolla tulokset tallennettiin 10 minuutin välein tarkempien tulosten saamiseksi. Ero 30 minuutin välein tehtyyn mittaukseen ei kuitenkaan ollut merkittävä, sillä virtaus

pysyy pitkälti tasaisena eikä tee suuria muutoksia lyhyessä ajassa. Mittarista saatiin data suoraan Exceliin taulukoksi, jossa laskenta suoritettiin.

### 5.1.3 Lämpötilaeromittaus

Kulutetun lämpöenergian laskemiseksi mitattiin putkiston meno- ja paluulinjan lämpötilat virtausmittauksen yhteydessä. Meno- ja paluulinjan lämpötiloista laskettiin lämpötilaero, eli kuinka paljon lämpöä kuivauksessa on kulutettu. Mittaukseen käytettiin K-tyypin termoparia hyödyntävää lämpötilamittaria, joka tallentaa lämpötilat muistiin ennalta määritetyin aikaväleihin.

Termoparimittaus on yleisesti teollisuudessa käytetty tapa mitata lämpötiloja. Termoparimittaus perustuu kahden eri metallista valmistetun johtimen muodostamaan sähköiseen ilmiöön, jossa syntyy jännite lämpötilaeron seurauksena. Mittauslaite tulkitsee tämän jännitteen ja muuntaa sen lämpötilaksi (kuva 5). Termoparimittaus on yksinkertainen ja kestävä mittausmenetelmä, joka soveltuu erinomaisesti vaativiin teollisuusolosuhteisiin. (Krohne Inor s.a.)



Kuva 5. Termoparimittauksen toiminta (DwyerOmega s.a.)

Teollisuuden lämpötilamittauksissa käytetään yleisesti termoelementtien lisäksi platinavastusantureita, kuten Pt100-antureita. Pt-anturin etuna on sen tarkkuus ja lineaarinen vaste. Pt-anturin käyttölämpötila ulottuu noin 550 °C:seen asti ja on näissä lämpötiloissa erittäin hyvä vaihtoehto. Mitattavien lämpötilojen noustessa tätä korkeammaksi, tai mittausolosuhteiden vaatiessa

kestävämpää anturia, termoelementti on yleisesti parempi valinta. K-tyyppin termopari on yleisin käytössä oleva termoelementti sen soveltuessa hyvin laajalle mittausalueelle. K-tyyppin termoparin mittausalue on noin -200–1100 °C. Toisin kuin vastusantureissa termoparin tarkkuuteen vaikuttaa myös sen kylmänpään, eli mittarin pään lämpötila, joka kompensoidaan yleensä mittalaitteessa automaattisesti. (Säätö 2021.)

#### **5.1.4 Lämpötilaeromittauksen toteutus**

Lämpötilojen eron mittaukseen käytettiin K-tyyppin termoparia hyödyntävää lämpötilamittaria, joka tallentaa lämpötilat muistiin ennalta määritetyin aikaväleihin. Lämpötilat mitattiin putkien ulkopuolelta eristeen alta. Kun meno- ja paluuputket ovat identtiset, lämpötilaeron voidaan katsoa olevan sama riippumatta siitä, mitataanko se putkien ulkopuolelta vai suoraan nesteestä. Mittarissa käytettiin kahta anturia, joista toinen sijoitettiin menolinjan eristeiden alle ja toinen tulolinjan eristeiden alle. Eristeet ja putket olivat molemmissa linjoissa täysin samanlaiset, joten lämpötilaeron voidaan olettaa olevan hyvin lähellä samaa lämpötilaeroa, joka olisi saatu mittaamalla lämpötilat suoraan putken sisältä nesteestä.

Lämpötilamittari tallensi mittausjaksolla 10 minuutin välein tulo- ja menolinjan lämpötilan muistiin (kuva 6). Mittarin keräämä data saatiin mittarilta suoraan Exceliin valmiiksi taulukoksi, jossa saatiin laskettua hetkelliset lämpötilaerot.



Kuva 6. Lutron TM-947SD-lämpötilamittari

### 5.1.5 Lämmitysenergian laskenta

Ensimmäisellä mittausjaksolla saatiin lämmitysveden virtauksen ja lämpötilaeron tiedot kuuden päivän ajalta. Mittausjakson aikana kaikki neljä kuivauskamaria olivat jatkuvassa käytössä, pois lukien lastaus- ja purkuajat. Kuten taulukosta 1 nähdään, kaikissa kamareissa oli koko ajan käynnissä jokin kuivausprosessi.

Virtausmittari antoi tuloksena 30 minuutin välein hetkellisen tilavuusvirran, eli kuinka monta litraa vettä putkistossa kulkee sekunnissa. Lämmitysenergian

laskemiseksi tilavuusvirrat muunnettiin massavirroiksi veden tiheyden avulla kaavalla 1.

$$\dot{m} = q_v \cdot \rho \quad (1)$$

jossa	$\dot{m}$	massavirta	[kg/s]
	$q_v$	tilavuusvirta	[m <sup>3</sup> /s]
	$\rho$	Tiheys	[kg/m <sup>3</sup> ]

Seuraavaksi hetkelliset tehot voitiin laskea massavirran, veden ominaislämpökapasiteetin ja lämpötilaeron avulla kaavalla 2.

$$P = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

jossa	P	teho	[W]
	$\dot{m}$	massavirta	[kg/s]
	c	ominaislämpökapasiteetti	[J/kg·°C]
	$\Delta T$	lämpötilaero	[°C]

Koska mittausdata kerättiin 30 minuutin välein, koko mittausjakson aikana kulutettu lämmitysenergia voitiin laskea hetkellisten tehojen avulla kaavalla 3.

$$E = \sum(P \cdot t) \quad (3)$$

jossa	E	Lämpöenergia	[kWh]
	P	Lämmitysteho	[kW]
	t	Aika	[h]

Ensimmäisen mittausjakson kokonaiskulutukseksi saatiin x MWh. Mittausjakso kesti 7 päivää, jolloin keskimääräinen päiväkulutuksen oli x MWh. Mittausjakson aikana kaikissa neljässä kamarissa kuivattiin yhteensä x m<sup>3</sup> sahatavaaraa. Näin ollen kuivaamon ominaisenergiankulutus kyseisellä jaksolla oli keskimäärin x kWh kuivattua kuutiometriä kohden.

Toisella mittausjaksolla laskenta suoritettiin samalla tavalla lukuun ottamatta mittausten tiheyttä, joka oli tällä kertaa kymmenen minuutin välein. Tämän mittausjakson kokonaiskulutukseksi saatiin  $x$  MWh ja jakson kesto oli 11 päivää. Keskimääräinen päiväkulutusta oli  $x$  MWh. Kuivausjakson aikana kuivattiin  $x$  m<sup>3</sup> sahatavaraa. Kuutiokohtaiseksi kulutukseksi tuli  $x$  kWh kuivattua kuutiometriä kohden.

Taulukossa 1 esitetään kuivattavien erien koot eri kuivauskamareissa sekä kuivausten aloituspäivämäärät mittausjaksoittain. Taulukon oikeassa laidassa on esitetty kummankin mittausjakson lämpöenergiankulutus ( $Q$ ) sekä sähköenergiankulutus ( $E$ ). Taulukosta voidaan myös havaita, että jokaisessa kamarissa oli kuivaus päällä koko mittausjakson ajan lukuun ottamatta kamareiden tyhjennyksiä ja täyttöjä.



Mittausjaksojen lämpöenergian kulutukset näkyvät taulukossa 2. Mittausjakson tulokset on jaettu kuutio- sekä päiväkohtaiseksi tulokseksi.

Taulukko 2. Mittausjaksojen tulokset

<b>1</b>	Mittausjakson kuutiot	kWh/m <sup>3</sup>	MWh/päivä
	x	x	x
<b>2</b>	Mittausjakson kuutiot	kWh/m <sup>3</sup>	MWh/päivä
	x	x	x

Lopuksi suoritettiin vielä yksi mittausjakso, joka kohdistui yksittäisen kamarin uunikohtaiseen kulutukseen. Yksittäisen uunin laskenta tapahtui samalla tavalla kuin aikaisemmissa päälinjan laskuissa. Mittausjakso kesti yhteensä 14 päivää. Mittausjakson aikana kamarissa kuivattiin yhteensä neljä kokonaista erää, joista ensimmäisessä kuivattiin kuusi kappaletta paksumpaa 36x150 rimanippua ja muissa kolmessa kuusi kappaletta ohuempaa 22x100 rimanippua. Ensimmäisen erän kuivattavan sahatavaran kuutiomäärä oli x kuutiometriä ja kolmen muun x kuutiometriä. Tällä kertaa mittaukset tehtiin kohdistuen pelkkään lämmitysenergiaan.

Ensimmäisen erän kuivauksen aikana lämpöenergian kulutus oli x kWh. Kuutiokohtaiseksi kulutukseksi tuli x kWh kuivattua kuutiometriä kohti. Toisen kuivauserän aikana lämpöenergian kulutus oli x kWh ja kuutiokohtainen kulutus x kWh/m<sup>3</sup>. Kolmannen erän aikana kulutus oli x kWh, sekä kuutiokohtainen kulutus x kWh/m<sup>3</sup>. Neljännessä ja viimeisessä erässä kulutus oli x kWh sekä kuutiokohtainen kulutus x kWh/m<sup>3</sup>.

Mittausjakson kokonaiskulutus kaikille neljälle erälle oli yhteensä x kWh. Kuivausmäärän ollessa yhteensä x m<sup>3</sup> saatiin keskimääräiseksi energiankulutukseksi x kWh/m<sup>3</sup>.

Tämä mittausjakso poikkesi aikaisemmista siinä, että mittaukset kohdistuivat pelkästään lämmitysenergiaan eikä esimerkiksi puhaltimien ja muiden järjes-

telmien sähkönkulutusta otettu huomioon. Tulokset antavat siis tietoa yksittäisen kamarin lämmitysenergiankulutuksesta eri puutavaraerien kuivausprosessien aikana. Lämpöenergian kulutukset on lisäksi laskettu pelkästään kuivauksen ajalta eli silloin, kun kuivausohjelma on ollut päällä. Kamarikohtaisten mittausjaksojen tulokset näkyvät taulukosta 3.

Taulukko 3. Yksittäisen kamarin patterikohtaiset tulokset

<b>Kamari 1</b>			
	m <sup>3</sup>	Q [kWh]	kWh/m <sup>3</sup>
16.4. klo 15.00 - 20.4. klo 9.00	x	x	x
21.4. klo 10.30 - 23.4. klo 18.30	x	x	x
23.4. klo 19.30 - 27.4. klo 5.00	x	x	x
27.4. klo 10.00 - 30.4. klo 5.30	x	x	x

Tällaista mittausmenetelmää voitaisiin hyödyntää jatkossa myös laajemmin eri rimanippukokojen kulutuksen selvittämiseksi. Näin olisi mahdollista tarkastella, millaisia eroja eri kokoisten rimanippujen kuivaus aiheuttaa energiankulutuksessa ja optimoida prosessia entistä tarkemmin.

## **5.2 Sähköenergian mittaus ja laskenta**

### **5.2.1 Sähköenergian mittaus**

Sähköenergian mittaamiseen ja seurantaan hyödynnettiin kuivaamon sähkötilassa olevaa valmiiksi asennettua energiamittaria. Mittarin lukemat kirjattiin ylös mittausjakson alussa ja lopussa, minkä perusteella voitiin laskea koko mittausjakson aikana kulunut sähköenergia. Mittaus kattoi koko kuivaamon sähkönkulutuksen mukaan lukien puhaltimet, ohjausjärjestelmät ja muut sähköä kuluttavat laitteet.

### 5.2.2 Sähköenergian kulutus

Ensimmäisellä mittausjaksolla sähköenergian kulutus oli energiamittarin mukaan  $x$  kWh. Koska mittausjakso kesti kuusi päivää, päivittäiseksi sähkönkulutukseksi saatiin keskimäärin  $x$  kWh. Kuivatun sahatavaran määrä huomioiden kuutiokohtaiseksi kulutukseksi muodostui  $x$  kWh/m<sup>3</sup>.

Toisella mittausjaksolla sähköenergiaa kului yhteensä  $x$  kWh. Mittausjakson kesto oli 11 päivää, joten keskimääräinen päivittäinen kulutus oli  $x$  kWh. Tällä jaksolla kuivattua sahatavaraa kertyi enemmän, mikä johti hieman korkeampaan kuutiokohtaiseen sähkönkulutukseen. Kuutiokohtaiseksi kulutukseksi muodostui  $x$  kWh/ m<sup>3</sup>.

### 5.3 Lämpöhäviöiden arviointi

Koska kuivaamo ei ole varustettu minkäänlaisella lämmönkeräys- tai talteenottojärjestelmällä, kaikki tuotettu lämpöenergia on käytännössä häviötä. Kuivauksen aikana lämpöä häviää myös huomattavia määriä ovien alta ja väleistä. Lämmitysputket on eristetty hyvin, mikä edistää omalta osaltaan lämpöhäviöiden minimoimista lämpimän veden matkalla lämpölaitokselta lämmityspattereille.

Puun sisältämän kosteuden muuttuessa vesihöyryksi se sitoo huomattavan määrän lämpöenergiaa eli niin sanottua haihtumislämpöä. Kyseinen energia siirtyy poistoilmaan vesihöyryn mukana, eli karkaa myös käytännössä täysin hyödyntämättömänä taivaalle. Energiategokkuuden parantamiseksi olisi mahdollista miettiä lauhdutusprosessijärjestelmää, jolla erotettaisiin poistoilmasta vesihöyryn entalpia tiivistämällä se takaisin vedeksi. Lauhdutusprosessissa syntyvä lämpöenergia voitaisiin hyödyntää esimerkiksi tuloilman esilämmityksessä, tai muissa lämmintä vettä vaativissa prosesseissa.

Tällainen lämmöntalteenottoratkaisu voisi vähentää kuivausprosessin kokonaisenergiankulutusta huomattavasti, sillä haihtuvan veden sisältämä lämpömäärä on suuri. Tämän lisäksi se pienentäisi poistoilman lämpötilaa eli parantaisi koko kuivaamon energiategokkuutta.

## 6 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

### 6.1 Kuivaamon energiankulutus

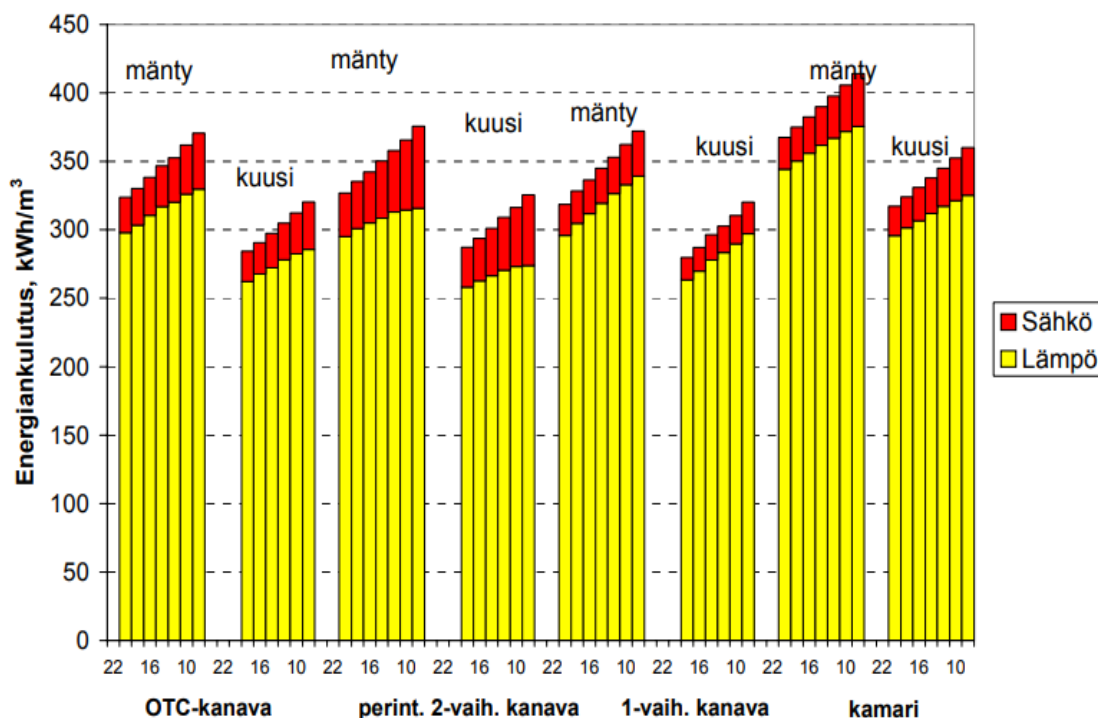
Mittausjaksojen perusteella saatiin melko hyvä kuva kamarikuivaamon energiankulutuksesta normaalikäytössä. Lämmitysenergian kulutus vaihteli välillä  $x$  ja  $x$  kWh yhtä sahatavarakuutiota kohden. Ensimmäisellä mittausjaksolla energiankulutus oli keskimäärin  $x$  kWh/m<sup>3</sup> ja toisella jaksolla  $x$  kWh/m<sup>3</sup>. Päivittäinen kokonaiskulutus vaihteli  $x$  ja  $x$  MWh välillä. Sähköenergian osuus kokonaiskulutuksesta oli hyvin pieni. Ensimmäisellä mittausjaksolla sähköenergian kulutus oli  $x$  kWh/m<sup>3</sup> ja toisella  $x$  kWh/m<sup>3</sup>. Sähköenergiankulutus on jatkuvaluonteista kulutusta, jota voitaisiin pienentää huomattavasti siirtymällä puhaltimien ja pumppujen kuristussäädöstä tehokkaampiin ratkaisuihin.

Kolmannella mittausjaksolla saatiin tarkempaa tietoa yksittäisen kamarin puhtaasta lämmitysenergiankulutuksesta. Mittaus kohdistui pelkästään lämpöenergiaan eikä siihen sisältynyt sähköenergiankulutusta tai kulutusta kuivauksien väliseltä ajalta. Mittausjakson aikana kuivattiin yhteensä neljä erää, joista yhdessä erässä kuivattiin kuusi kappaletta paksumpaa 36x150-mitotettua rimanippua, sekä lopuissa kolmessa kuusi kappaletta 22x100-mitattaista rimanippua. Ensimmäisen paksumman erän lämpöenergiankulutus oli  $x$  kWh/m<sup>3</sup>. Ohuempien erien lämpöenergiankulutukset olivat  $x$  kWh/m<sup>3</sup>,  $x$  kWh/m<sup>3</sup> ja  $x$  kWh/m<sup>3</sup>. Vastaavalla tavalla voitaisiin mitata kaikkien rimanippukokojen kulutukset ja vertailla miten rimanipun koko vaikuttaa kuivauksen kokonaisenergiankulutukseen.

### 6.2 Tulosten vertailu toisiin kuivaamoihin

Vertailtaessa tuloksia saatavilla oleviin tietoihin muista kuivaamoista voidaan todeta, että kamarikuivaamon energiankulutus vastaa saman aikakauden kuivaamoita (kuva 7). Vertailumateriaalia on melko niukasti tarjolla, mutta nykyaikaiset kuivausratkaisut näyttävät kehittyneet myös paljon energiatehokkuuden kannalta. Esimerkkinä Mahild CONTIFLOW-kuivaamon sanotaan säästävän jopa 30 % lämpöenergiaa verrattuna normaaleihin kuivausprosesseihin. Tämä saavutetaan muun muassa poistoilman lämmön talteenoton ja prosessin jatkuvuuden ansiosta, jotka vähentävät energiapiikkejä. (Mahild Drying Techno-

logies s.a.) Uudemmat kuivaamot, joissa hyödynnetään muun muassa lämmöntalteenottoa ja kehittyneempää tekniikkaa voisivat siis päästä tämän perusteella jopa alle  $x$  kWh/m<sup>3</sup> kokonaiskulutuksiin. Tämä osoittaa sen, että nykyisissä kamarikuivaamoissa on merkittävää energiatehokkuuden parantamisen potentiaalia.



Kuva 7. Eri kuivausmenetelmien energiankulutus männylle 25x125 ja kuuselle 22x125 (Forsén & Tarvainen. 2003)

Kuvasta 7 nähdään y-akselilla energiankulutus ja x-akselilla haluttu loppukosteus ja kuivaustapa.

### 6.3 Havaitut häviöt ja tehostamismahdollisuudet

Korkea lämpöhäviöiden määrä johtuu pääasiassa lämmöntalteenoton puuttumisesta ja rakenteellisista tiiveysongelmista. Poistoilman lämpö menee suoraan harakoille, eikä sitä päästä hyödyntämään tällä hetkellä millään tavalla. Lisäksi rakenteelliset vuodot lisäävät etenkin kuivauksen aikana tapahtuvien lämpöhäviöiden suuruutta.

Energiankulutuksen vähentämiseksi suositeltavia kehitystoimia olisi muun muassa lämmöntalteenottojärjestelmän asentamisen kartoitus, ovien ja rakenteiden tiivistäminen ja puhaltimien ohjauksen optimointi esimerkiksi taajuusmuuttajien avulla.

Hyvänä esimerkkinä toimii UPM Korkeakosken sahan siirtyminen lämpöpumpputeknologiaan vuonna 2022. Kyseisessä kohteessa lämpöpumppujen avulla otetaan talteen kuivaamon poistoilman sisältämä energia ja käytetään se hyödyksi tuloilman esilämmityksessä. Ratkaisun myötä Korkeakosken sahalli on saavutettu merkittäviä säästöjä sekä lämmitysenergiankulutuksessa, että CO<sub>2</sub>-päästöissä. (UPM Timber 2022.) Tämä osoittaa, että investointi modernimpaan energiatekniikkaan voi olla paitsi taloudellisesti kannattavaa, myös ympäristön kannalta vastuullinen ratkaisu. Tällainen ratkaisu mahdollistaa sen, että saadaan aikaan konkreettisia kustannus- ja päästösäästöjä ilman, että koko laitteistoa tarvitsee uusia.

Matalampi energiankulutus tarkoittaisi pienempää tarvetta myös polttoaineelle. Polttoaine saadaan sahan muista prosesseista sivutuotteena, joten ylimääräistä polttoainetta voitaisiin alkaa myymään muille laitoksille sen tarpeen pienentyessä.

## **7 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Puun kuivausprosessi on yksi sahatavaran valmistuksen suurimmista energiankuluttajista. Kamarikuivaamon osalta mittaukset osoittavat, että suurin osa energiasta kuluu lämmitykseen. Tästä energiasta merkittävä osa häviää ympäristöön ilman hyötykäyttöä. Nykyinen järjestelmä perustuu 1990-luvun teknologiaan, jolloin esimerkiksi lämmöntalteenottoa ei vielä yleisesti hyödynnetty.

Energiankulutus on huomattavasti suurempaa verrattuna nykyaikaisiin kuivausratkaisuihin, joissa käytetään esimerkiksi lämmöntalteenottojärjestelmiä, optimoituja ohjausta ja parempia eristysratkaisuja. Tämän työn perusteella voidaan todeta, että kuivaamon energiatehokkuus on selkeä kehityskohde ja nykytilassa on havaittavissa useita säästömahdollisuuksia.

Kohtuullisilla investoinneilla, kuten lämmöntalteenoton käyttöönotolla, ovien ja rakenteiden tiivistämisellä sekä puhaltimien ohjauksen optimoinnilla, voidaan saavuttaa huomattavia parannuksia sekä energiankulutuksessa että prosessin kustannustehokkuudessa. Lisäksi nämä toimenpiteet tukisivat sahailoksen ympäristövastuullisuustavoitteita, sillä ne pienentäisivät laitoksen hiilijalanjälkeä.

Yhteenvedona voidaan todeta, että vaikka vanha kuivaamo toimii edelleen moitteettomasti perinteisellä tavalla, se tarjoaa myös merkittäviä mahdollisuuksia energiatehokkaampaan toimintaan. Energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet mahdollistavat taloudellisesti kannattavan ja ympäristön kannalta vastuullisen kehityksen ilman, että koko kuivausjärjestelmää täytyy uusien kookon.

Tämä opinnäytetyö tarjoaa toimeksiantajalle tietoa kamarikuivaamon todellisesta energiankulutuksesta ja sen jakautumisesta. Tietoa voidaan hyödyntää päätöksenteossa, kun arvioidaan nykyisten kuivausratkaisujen taloudellisuutta ja suunnitellaan mahdollisia investointeja tai toimintatapojen kehittämistä. Samalla mittausmenetelmällä voidaan jatkossa suorittaa lisämittauksia eri tuotteiden kuivausprosessien aikana, mikä mahdollistaa energiankulutustiedon laajentamisen kattamaan kaikki kuivattavat tuotteet. Näin saatu kokonaisvaltainen tieto tukee entistä tarkempaa energiatehokkuuden arviointia ja kehitystoimenpiteiden suunnittelua.

## LÄHTEET

- DwyerOmega. s.a. Working principle of thermocouples. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.dwyeromega.com/en-us/resources/how-thermocouples-work> [viitattu 22.3.2025].
- Forsén, H. & Tarvainen, V. 2003. Sahatavaran jatkojalostuksen asettamat vaatimukset kuivauslaadulle ja eri tuotteille sopivat kuivausmenetelmät. VTT. E-kirja. Saatavissa: <https://sarjaweb.vtt.fi/pdf/publications/2003/P517.pdf> [viitattu 20.4.2025].
- Heinola Sawmill Machinery Inc. 2015. Chamber dryer. Videoleike. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=1qT5xPbUn8M> [viitattu 9.4.2025].
- Krohne Inor. s.a. Yleistä tietoa termoelementeistä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://krohne-inor.fi/lampotilakoulu/yleista-tietoa-termoelementeista/> [viitattu 22.3.2025].
- Liikkanen, T. 2025. Toimitusjohtaja. Haastattelut 12.2-1.5.2025. Södra Wood Oy.
- Mahild Drying Technologies. s.a. Our products and services. WWW-sivusto. Saatavissa: [https://www.mahild.com/component/content/article/how-much-thermal-energy-to-dry-timber?Itemid=108&catid=34&utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mahild.com/component/content/article/how-much-thermal-energy-to-dry-timber?Itemid=108&catid=34&utm_source=chatgpt.com) [viitattu 2.5.2025].
- Puuproffa. s.a. Puutieto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://puuproffa.fi/puutieto/> [viitattu 9.4.2025].
- Sahateollisuuskirja. s.a. Sahatavaran valmistus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://sahateollisuuskirja.fi/sahatavaran-valmistus/> [viitattu 9.4.2025].
- Säätö. 2021. Lämpötilan mittaus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://saato.fi/lampotilan-mittaus/> [viitattu 22.3.2025].
- Södra. s.a. Internationell skogsindustrikoncern som ägs av 52 000 skogsägare. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sodra.com/sv/se/om-sodra/vara-verksamheter/> [viitattu 26.3.2025]
- UPM Timber. 2022. UPM Korkeakosken saha siirtyy lämpöpumpputeknologiaan. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.upmtimber.com/fi/artikkelit/timber/22/UPM-Korkeakosken-saha-siirtyy-lampopumpputeknologiaan/> [viitattu 22.4.2025].
- Winsen-sensor. s.a. Understanding ultrasonic flow meters. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://fi.winsen-sensor.com/knowledge/understanding-ultrasonic-flow-meters.html?searchid=4533> [viitattu 20.3.2025].