

LÄMPÖ KIERTOON
POHJOIS-SAVOSSA

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Puutavaran kuivaaminen kondenssikuivaimella **Markku Huhtinen** **Savonia amk**

Finnish Heat Circulation Innovation Platform

**Polttoon perustumattomat lämmöntuotannon
hyvät ratkaisut –seminaari**
10.5.2023

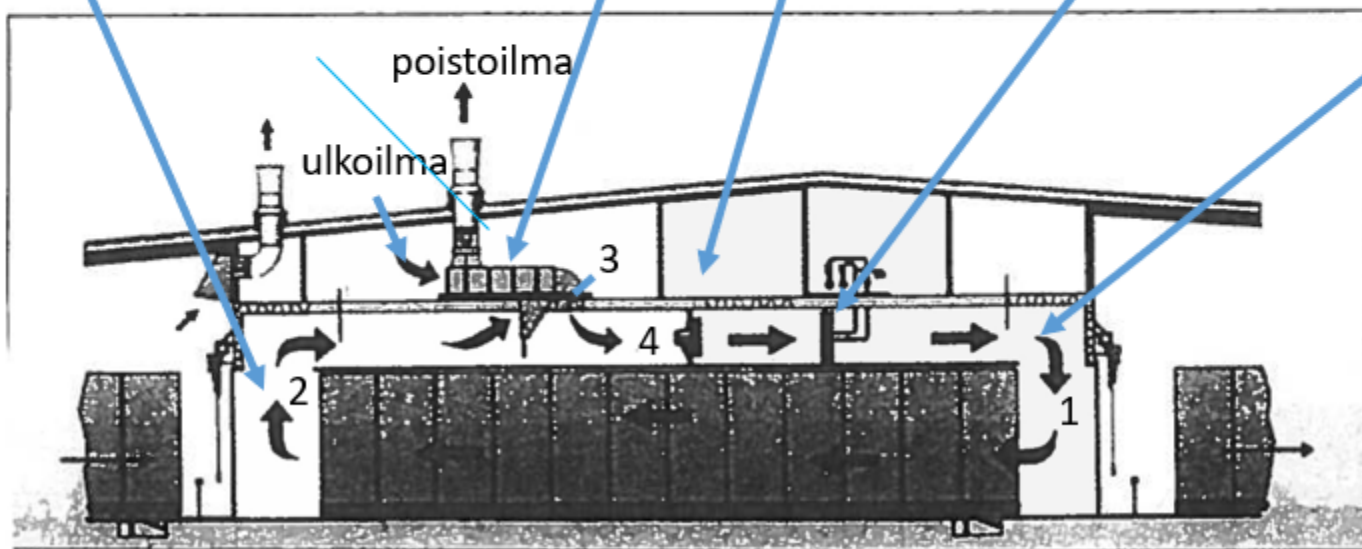
- Puutavaran kanavakuivaamo kuivaamotyypit (case-esimerkki)
- Kuivausprosessi kostean ilman ix-diagrammissa
- Puutavaran kuivauksen ominaisenergian laskenta
 - Ilmanvaihto ja lto
 - Kondenssikuivaus
 - Yhteenveto
- Haihdutuksen ominaisenergiankulutus
 - 1-vaiheinen
 - Monivaiheinen
 - kompressorihaihdutin

Puutavaran kanavakuivaamo

Märkää

- Kuivalämpötila 39C
- Märkälämpötila 38C

Pitkittäisellä ilmankierroilla toimivassa kanavakuivaamossa kuormat ovat kanavaan nähden poikittain ja ilmankierto pitkit-



Lämmityspatteri

Kuivapää

- Kuivalämpötila T=54C
- Märkälämpötila T=38C

Lämpötila-arvot
Case-esimerkistä

Puutavaraa kuivataan kanavakuivaamossa 4 vrk eli 96 h , uusi 12 m³:n kuorma syötetään kuivaamoon 8 h:n välein
eli kuivaamossa on yhtä aikaa puutavaraa 144m³. Puun tiheys on keskimäärin 430 kg kp/m³. Puun alkukosteus on 1,2 kgH₂O/kg kp (kp = kuiva puu) ja loppukosteus 0,2 kg H₂O/kg kp.

Ilman lämpötilat (Kuivalämpötila/Märkälämpötila) ovat

- Kuivassa päässä 54C/38C
- Märässä päässä 39C/38C

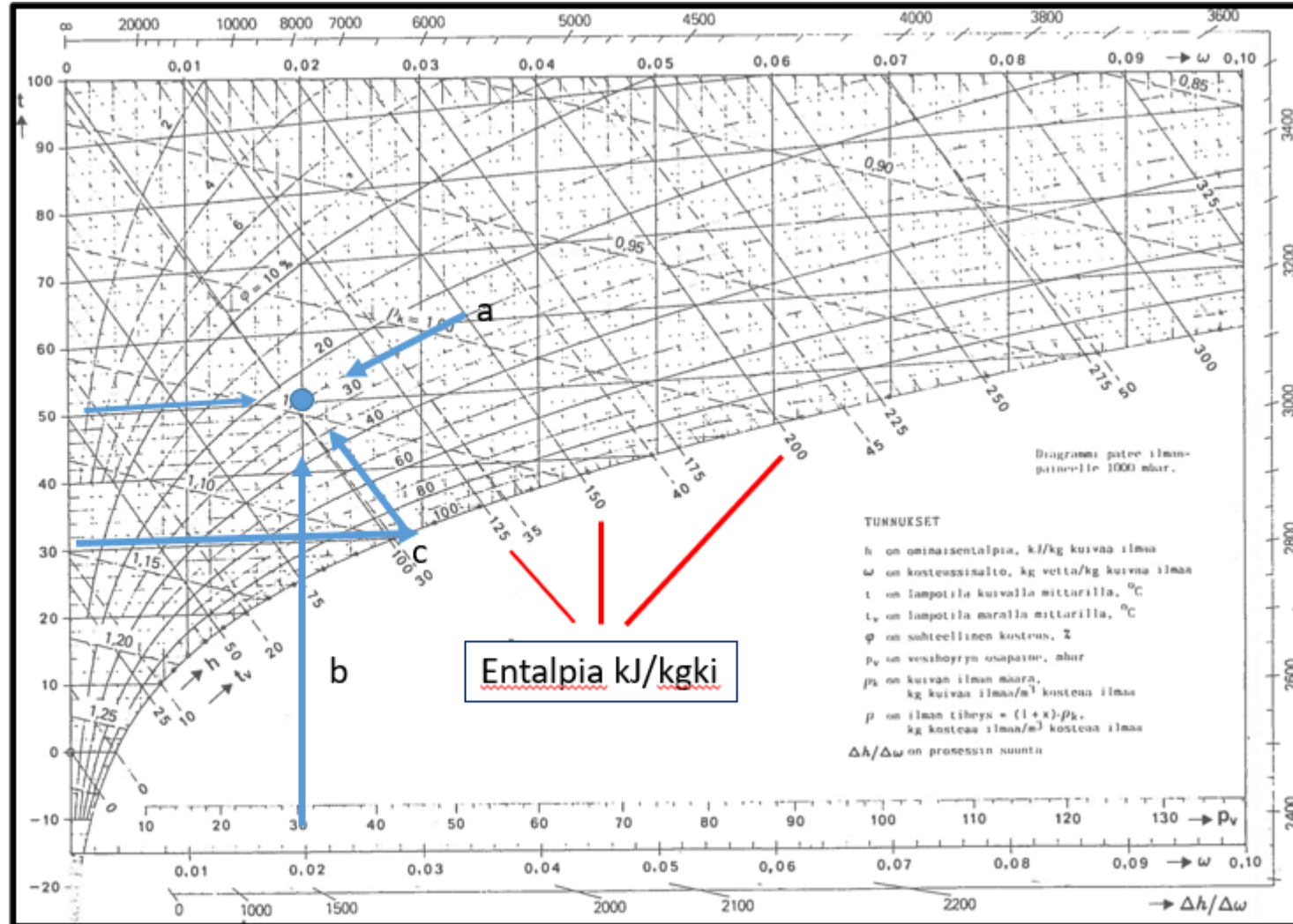
(Märkälämpötila on lämpötila johon kostea pinta ko tilanteessa asettuu)

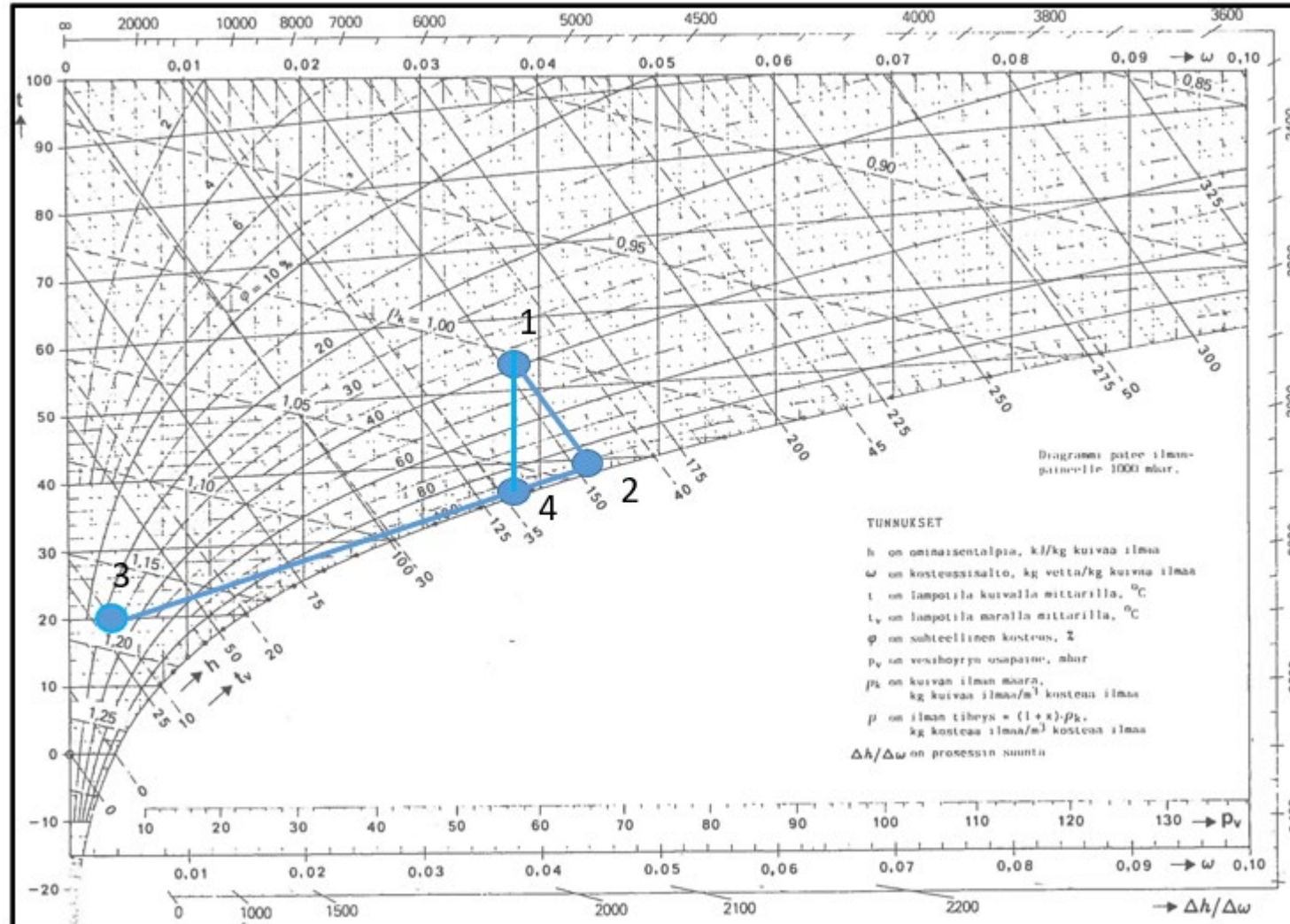
Sisään puhallettavan kuivan ulkoilman tila on lämmöntalteenoton jälkeen 20C/10C

Piirretään prosessi kostean ilman h,x-diagrammiin ja lasketaan

- paljonko vettä kuivaamossa poistuu keskimäärin (kg H₂O/s)
- kuinka suuri kiertoilmavirta kuivaamossa tarvitaan
- kuinka suuri on lämmityspatterin tehon tarve kW
- mikä kuivauksen ominaisenergiankulutus (energiankulutus/haihdutettu vesikilo, kJ/kgH₂O)

- Merkityn pisteen tila voidaan ilmoittaa
- a) Kuivalämpötila 50C ja suhteellinen kosteus 25%
 - b) Kuivalämpötila 50C ja kosteus 0,02 kgH2O/kgki (vesi/kuivailma)
 - c) Kuivalämpötila 50C ja Märkälämpötila 31C





Kuivattava puutavaravirta (kuivaa puuta)

$$\begin{aligned}\dot{m}_{KP} &= 144\text{m}^3/96\text{h} * 430 \text{ kgkp/m}^3 / 3600 \text{ s/h} \\ &= 0,18 \text{ kgkp/s}\end{aligned}$$

haihdutettava vesi

$$\begin{aligned}\dot{m}_H &= \dot{m}_{KP} * \Delta u \\ &= 0,18 \text{ kgkp/s} * (1,2 - 0,2) \text{ kgH}_2\text{O/kgkp} \\ &= 0,18 \text{ kgH}_2\text{O/s}\end{aligned}$$

Kuivaamon ilmavirta

$$\dot{m}_H = \dot{m}_i * \Delta x$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_H / \Delta x$$

$$x_1 = 0,038 \text{ kgH}_2\text{O/kgki}$$

$$x_2 = 0,044 \text{ kgH}_2\text{O/kgki}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_i &= \dot{m}_H / \Delta x = 0,18 \text{ kgH}_2\text{O/s} / (0,044 - 0,038) \text{ kgH}_2\text{O/kgki} \\ &= 30 \text{ kgki/s}\end{aligned}$$

Puutavaran kuivauksen Ominaisenergiankulutus (IV + Ito)

Patterin lämmitysteho

$$\Phi = \dot{m} * (h_1 - h_4) = 30 \text{ kgki/s} * (153-132) \text{ kJ/kgki}$$
$$= 630 \text{ kW}$$

Ominaisenergiankulutus (OEK)

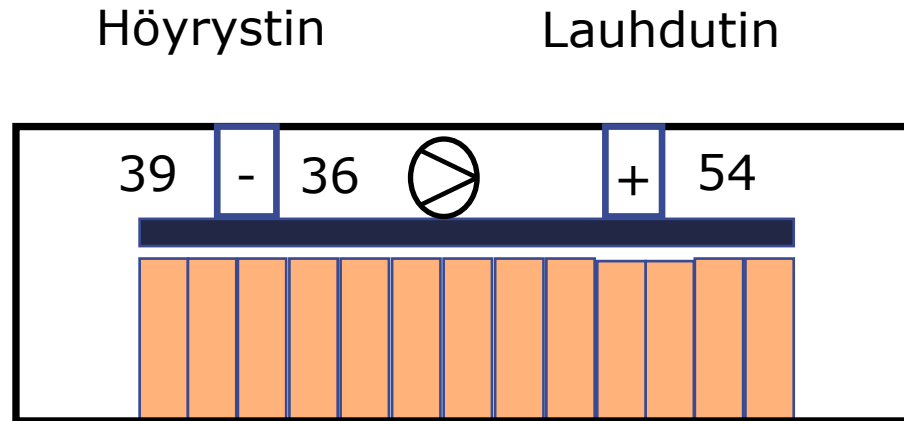
$$\text{OEK} = \text{teho/haihdutettu vesi} = 630/\text{kW}/0,18 \text{ kgH}_2\text{O/s}$$
$$= 3500 \text{ kJ/H}_2\text{O}$$

Vrt. veden höyrystyslämpö 2500 kJ/H₂O (t= 0°C)

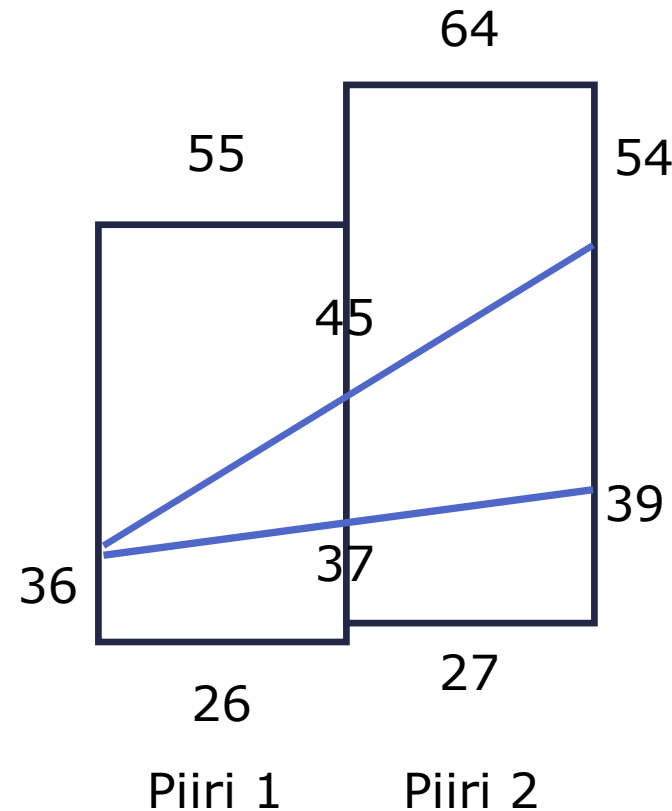
Puutavaran kondenssikuivain koko kuivauskapasiteetille mitoitettu

Kuivattavasta tuotteesta haihtunut vesihöyry tiivistetään höyrystimen kylmään pintaan ja vapautuva lämpö siirretään lämpöpumpun lauhduttimella kuivaamon lämmittämiseen

Itse kuivausprosessi tapahtuu samoin kuin perinteisessä kuivaamossa lämpimän kuivan ilman virratessa kuivattavan tuotteen läpi höyrystäen siitä vettä ja samalla jäähtyen



Puutavaran kondensssikuivaimen toimintaarvot ja lämpökerroin



$$\text{COP} = T_L / \Delta T * \eta$$

$$\text{COP}_1 = (273 + 55) / (55 - 26) * 0,6$$
$$= 328 / 29 * 0,6 = 6,7$$

$$\text{COP}_2 = (273 + 64) / (64 - 27) * 0,6$$
$$= 337 / 37 * 0,6 = 5,4$$

yhteenlaskettu COP = 6

Puutavaran kuivauksen ominais- energiankulutus (kondenssikuivain)

$$\begin{aligned}\text{lämpöpumpun sähköteho} &= \text{Lauhdutinteho} / \text{Lämpökerroin} \\ &= 630 \text{ kW} / 6 = 105 \text{ kW}\end{aligned}$$

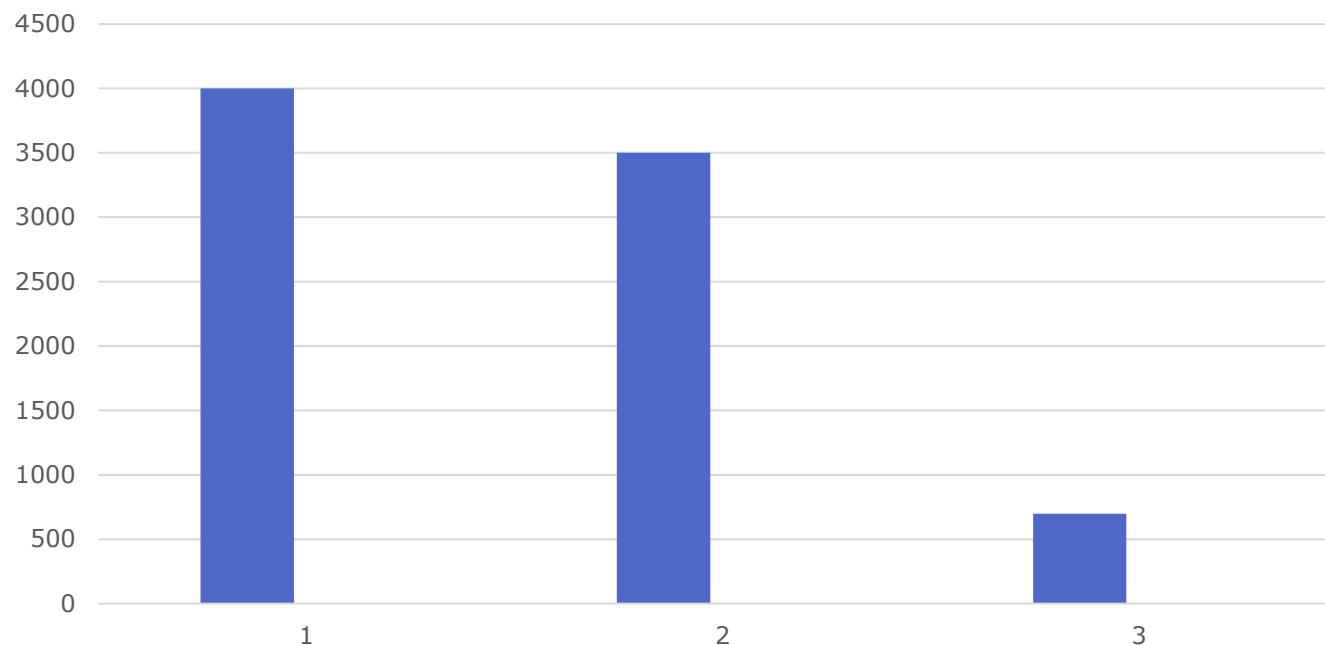
$$\text{Lisäpuhallinteho} = 20 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned}\text{OEK} &= \text{sähköteho} / \text{haihdutus} = 125 \text{ kW} / 0,18 \text{ kgH}_2\text{O/s} \\ &= 694 \text{ kJ/kgH}_2\text{O} \sim 700 \text{ kJ/kgH}_2\text{O}\end{aligned}$$

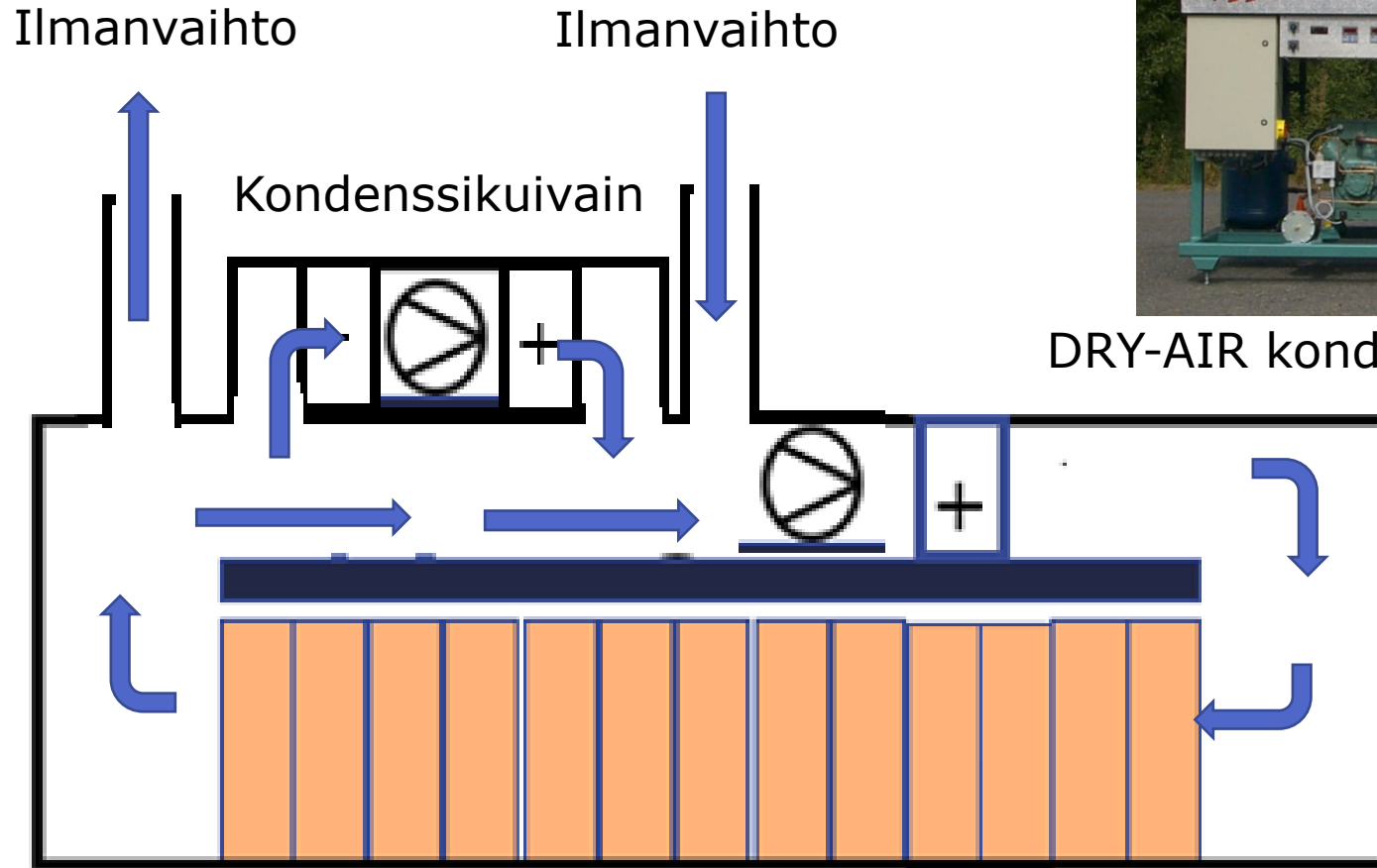
Yhteenveto puutavaran kuivauksen ominaisenergiankulutuksista

1. Ilmanvaihto ei LTO
2. Ilmanvaihto LTO:lla
3. Kondenssikuivaus

**Puutavaran kuivauksen
ominaisenergian kulutus
kJ/kgH₂O**

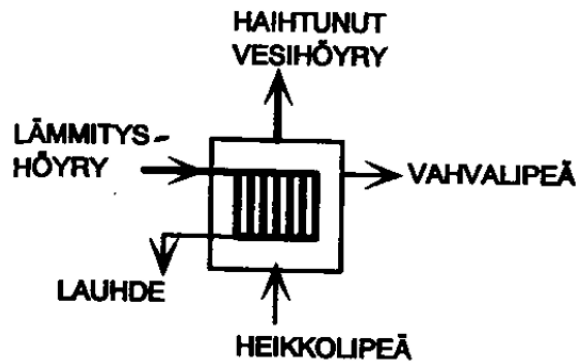
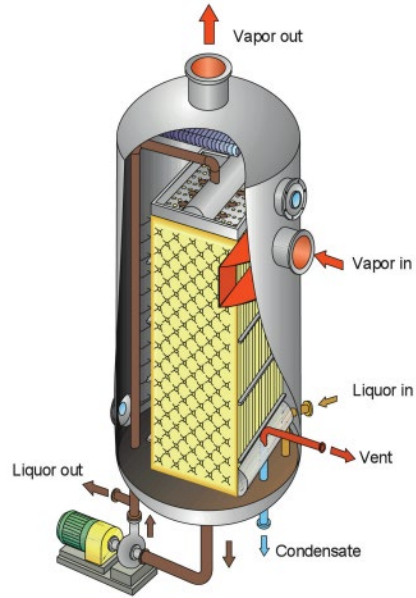


Puutavaran kondenssikuivain osateholle mitoitettu

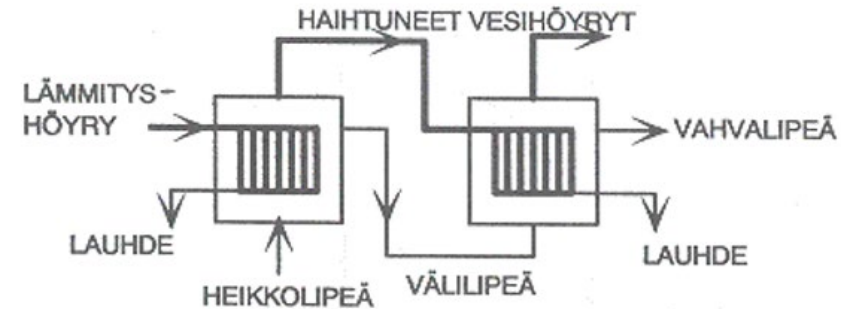
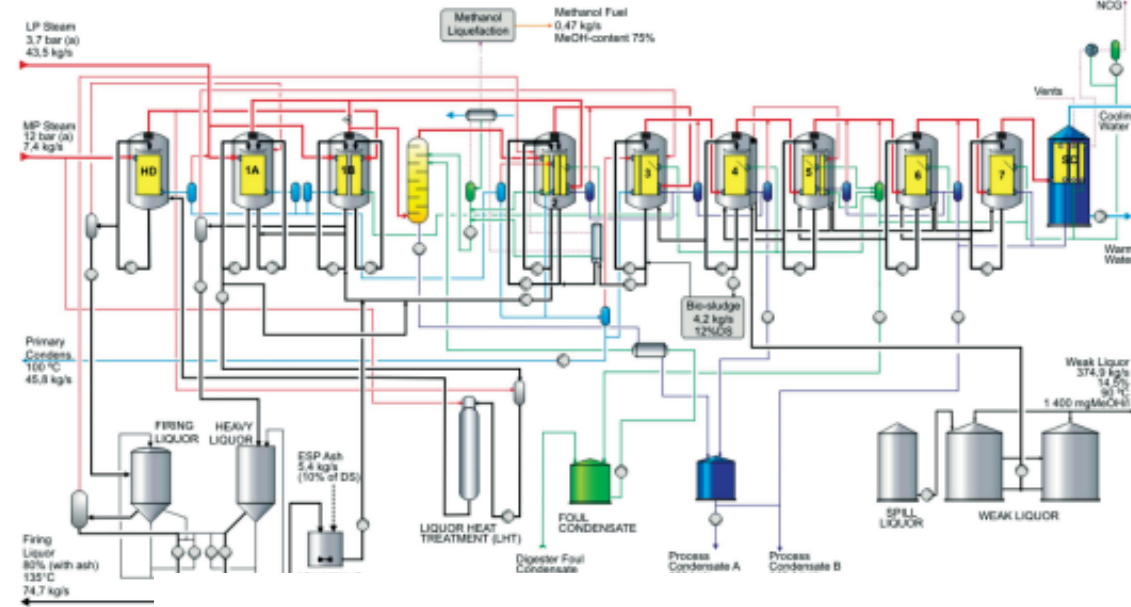


DRY-AIR kondenssikuivain/Tehoilma Oy

Haihdutusratkaisuiden ominaisenergiankulutukset

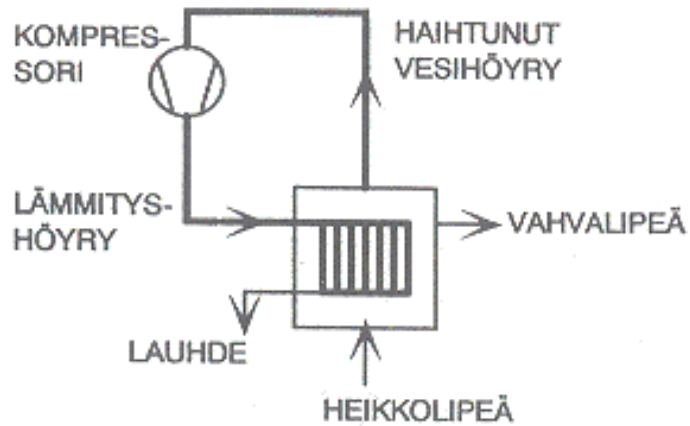


1-vaiheinen haihdutin OEK = 2500 kJ/kgH₂O

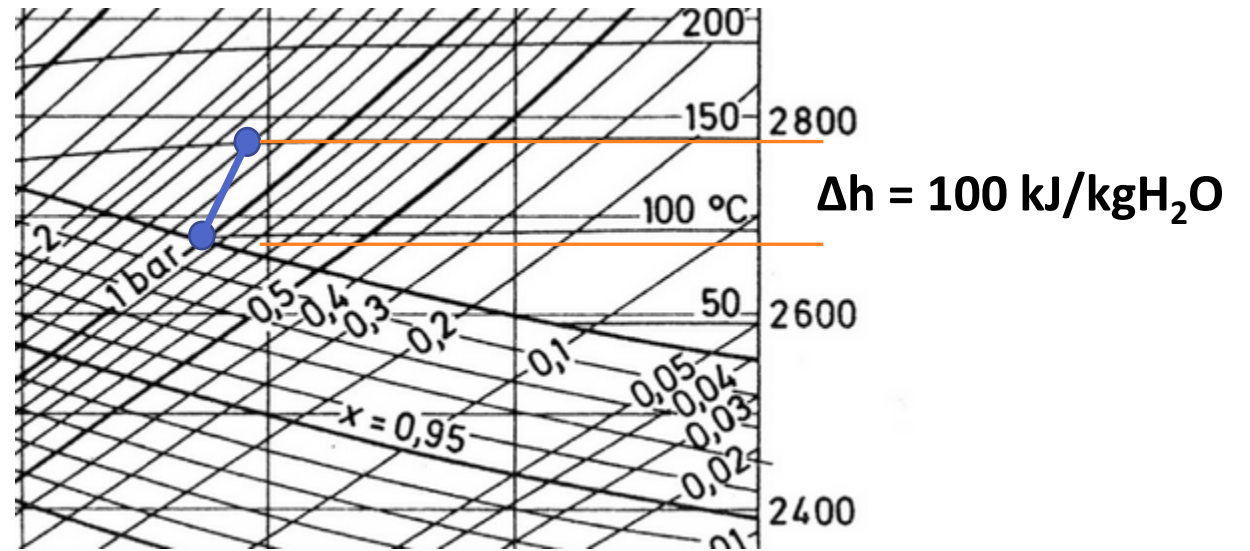


5-6 vaiheinen haihdutin OEK = 500 kJ/kgH₂O

Haihdutusratkaisuiden ominaisenergian kulutukset



Kompressorihaihdutin



Vesihöyryn h,s-diagrammi

$$OEK = 100 \text{ kJ/kgH}_2\text{O}$$



Kysymyksiä
Markku Huhtinen
Puh 044 785 6763
markku.huhtinen@savonia.fi