

7.4.2017 Pudasjärvi

Tapani Rantapirkola

tapanirantapirkola@yahoo.com

0407734152

KASVISKUIVURIN RAKENTAMINEN

Kuivaustapahtuman seurantaan ja hallintaan liittyviä näkökohtia

- Miten kuivumisen etenemistä ja kuivausnopeutta voidaan seurata?
- Miten voidaan määrittää se ajankohta, jolloin haluttu loppukosteus on saavutettu?
- Mikä on kuivausprosessin lämmitystehon tarve ja energiankulutus?
- Millä keinoilla energiankulutukseen voidaan vaikuttaa?

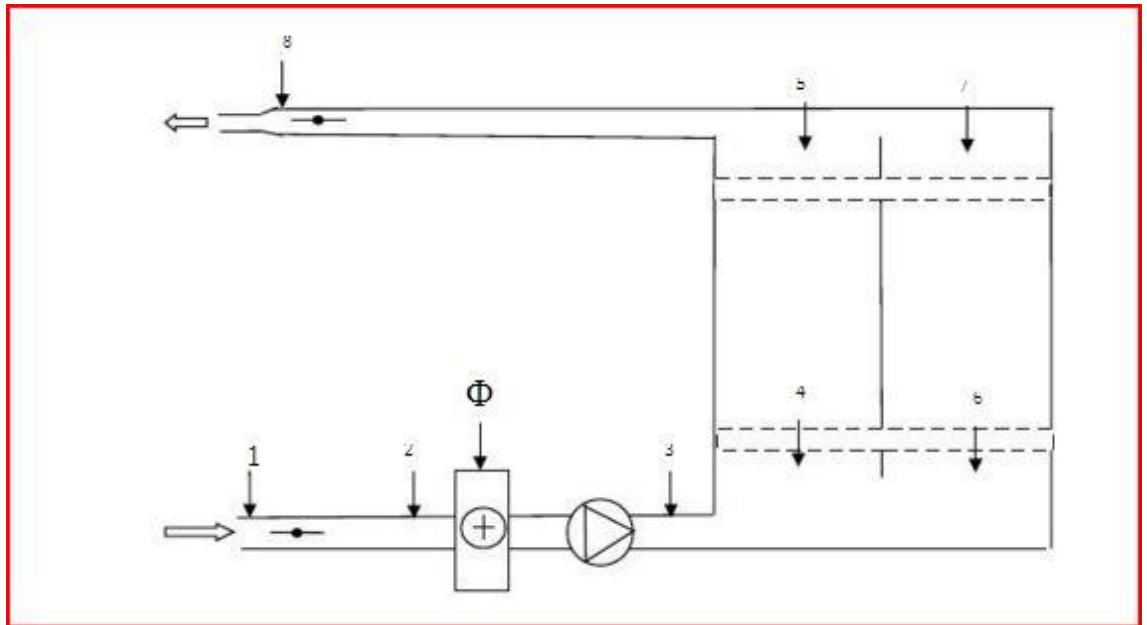
Ylläesitetyt kysymykset edellyttävät mittaustiedon keruuta kuivauksen aikana.

MITÄ MITATAAN JA MIKSI ?

TARKASTELLAAN KAHTA KUIVURITYYPPIÄ

- 1 Tasokuivuri kuivausilman yksinkertaisella läpivirtauksella
- 2 Tasokuivuri kuivausilman osittaisella kierrätyksellä

Tasokuivuri kuivausilman yksinkertaisella läpivirtauksella



Kuivurin kokoonpano

- 1 kuivausilman imuputki, jossa säätöventtiili, puhallin ja lämmityselementti (tässä järjestyksessä)
- 2 kuivauskammio, jossa seulapohjaiset kuivaustasot
- 3 kuivausilman poistoputki

Mitä PROSESSISUUREITA MITATAAN eli miten kuivuri varustetaan mittausantureilla?

1. Lämpötila- anturi kuivausilman imuputkeen lämmityselementin jälkeen
2. Kuivausilman virtausmäärän anturi imuputkeen puhaltimen ja lämmityselementin väliin
3. Lämpötila-anturi poistoputkeen
4. Ympäröivän ilman lämpötila ja kosteus (imuilma)

MITEN NÄIDEN MITTA - ANTUREIDEN ANTAMISTA MITTAUSTULOKSISTA SAADAAN VASTAUKSET ESITETTYIHIN KYSYMYKSIIN ?

Tiedetään siis kuivuriin menevä ilmamäärä, imuilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, kuivausilman lämpötila ja kuivurista poistuvan ilman lämpötila .

Pitää ensin tutustua kuivauksen työaineeseen eli ILMAAN, sen ominaisuuksiin ja ominaisuuksien kuvaamistapaan

ILMA

Kaasuseos pääkomponentteina

4 Typpi (N₂) 79 %

5 Happi (O₂) 21 %

6 Vesihöyry (=ilman kosteus)

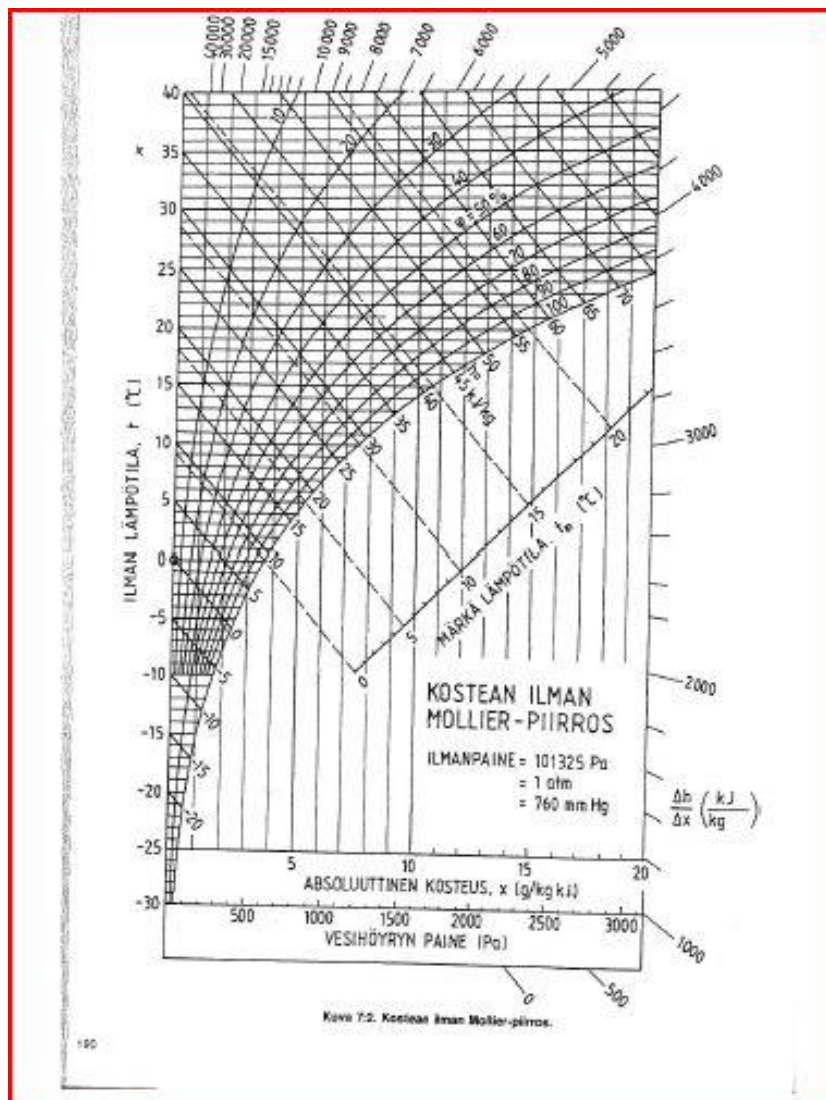
7 Hiilidioksidi (pieni määrä)

Tiheys (tilavuuspaino) 1,29 kg/m³ NTP-tilassa
(0 C, atm. paine)

Edellä esitettyjen mittaustulosten tulkintaan tarvitaan
ILMAN MOLLIER-DIAGRAMMIA

Mollier - piirros on diagrammi, jonka vaaka-akselina on ilman kosteus absoluuttisena kosteutena (g/kg), ja pystyakselina ilman lämpötila (C). Parametreinä on ilman suhteellinen kosteus (%) ja ilman enthalpia eli energiasäältö (kJ/kg).

MOLLIER diagrammi



ESIMERKKI KUIVAUSPROSESSIN SEURAAMISESTA MITTAUSTULOSTEN JA MOLLIER-DIAGRAMMIN AVULLA

LÄHTÖTILANNE: Kuivattava kasvimassa 10 kg, kosteus 80 % . Imuilma 15 C, suhteellinen kosteus 20 %

TAVOITETILANNE: Kasvimassan kosteus 20 %

>> kuiva-ainemäärä	2 kg
kokonaisvesimäärä	8 kg
jäännösvesimäärä	0,5 kg
Poistettava vesimäärä	7,5 kg

MITTAUSTULOKSET: Imuilman virtausmäärä 50 l/s

>> $0,05 \text{ m}^3/\text{s} = 1,29 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0,05 \text{ m}^3/\text{s} = 0,0645 \text{ kg}/\text{s}$

Kuivausilman lämpötila (läm.elementin jälkeen) 40 C

Poistoilman lämpötila 20 C

MOLLIERIN KUVASTA:

Imuilman (15C) absoluuttinen kosteus	2 g/kg
Lämmitetyn ilman (40C) abs. kosteus	2 g/kg
Poistoilman (20C) absoluuttinen kosteus	10 g/kg

>> Kuivausilmaan siirtynyt vesimäärä 8 g/kg

Huomioimalla mitattu kuivausilma virtaus saadaan
kuivausnopeus: $0,0645 \text{ kg/s} \times 8 \text{ g/kg} = 0,516 \text{ g/s}$

Vettä siis poistuu näiden mittausarvojen vallitessa
0,516 g sekunnissa, mikä vastaa 1858 g/h (tunnissa)

Kuivauksen kulku taulukkona

Aika, h	poistunut vesi,kg	kasvimassa kosteus, %
1	1858	75
2	3716	68
3	5574	55
4	7432	22

Tavoitekosteus siis saavutetaan 4 tunnin kuivausajalla,
jos kuivausnopeus pysyy samana koko ajan (= poisto -
lämpötila ei muutu) . Jos muuttuu, niin se kertoo että
”irtovesi” on poistunut ja kuivaus jatkuu solu- ja
kapillaariveden poistumisena. Kun poistoilman
lämpötila on sama kuin sisäänmeno ilman lämpötila,
kuivumista ei enää tapahdu.

LÄMMITYSTEHONTARPEEN JA ENERGIAKULUTUKSEN MÄÄRITTÄMINEN (edelleen arvot Mollierista)

Kuivausilman (40C) enthalpia (lämpösisältö) 45 kJ/kg

Imuilman (15C) enthalpia 20 kJ/kg

Lämpöä siirrettävä lämmityselementillä 25 kJ/kg

Huomioidaan mitattu ilmavirtaus

$$0,0645 \text{ kg/s} \times 25 \text{ kJ/S} = 1,6 \text{ kJ/s}$$

$$= 1,6 \text{ kW}$$

Lämmitysteho voidaan myös laskea kaavalla

$Q = M \times C \times (T_1 - T_2)$. Kaavassa Q on lämmityslaitteen teho kW:na, M on kuivausilman virtausmäärä kg/s:na, C on ilman ominaislämpö kJ/kgC ja (T1-T2) ilman lämpötilan nousu lämmityslaitteessa.

$$Q = 0,0645 \text{ kg/s} \times 1,0 \text{ kJ/kgC} \times (40 - 15)C = 1,6 \text{ kW}$$

>> valitaan elementin mitoitus tehoksi 2 kW

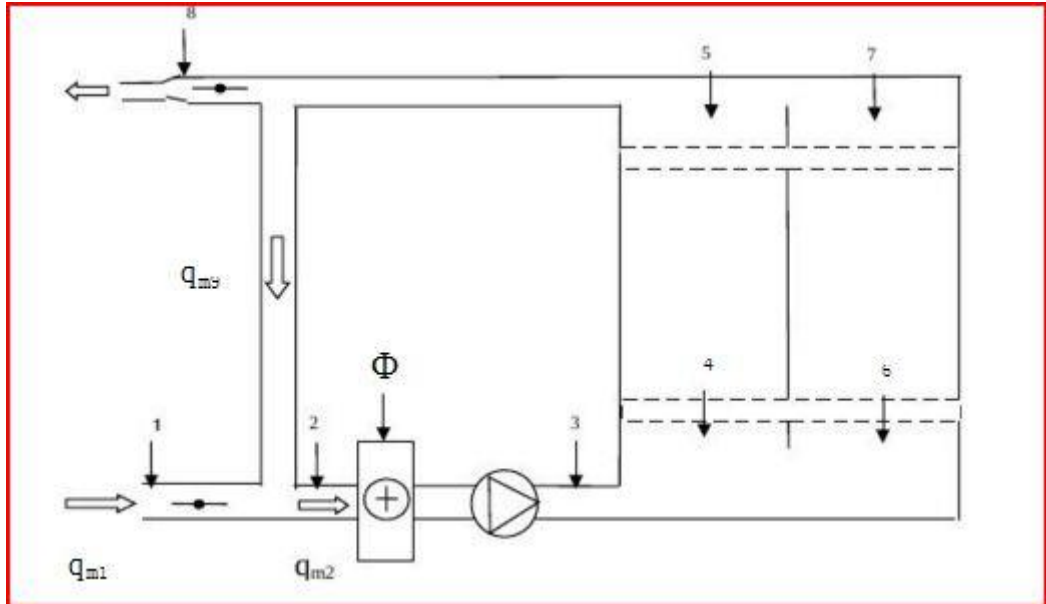
$$\text{Lämmitysenergian tarve } 1,6 \text{ kW} \times 4 \text{ h} = 6,4 \text{ kWh}$$

Veden höyrystymislämpö 40 C: lämpötilassa on noin
 $2400 \text{ kJ/kg} = 0,67 \text{ kWh/kg}$

>> 7,5 kg vesimäärän höyrystäminen vaatii siten
energiaa $7,5 \text{ kg} \times 0,67 \text{ kWh} = 5 \text{ kWh}$,mitä
pienemmällä energiamäärällä kuivausta ei voi
suorittaa.

>> esimerkkitapauksessa kuivauksen hyötysuhde on
78% eli sängen korkea

TASOKUIVURI OSITTAISELLA ILMAN KIERRÄTYKSELLÄ



Anturointi: Edellisen lisäksi on mitattava kierrätysilman määrä ja seosilman tila kohdassa "2" (voidaan määrittää myös Mollierin avulla, mutta kierrätysuhde on tiedettävä).

Kuivaus tapahtuu sitä tehokkaammin mitä matalammassa lämpötilassa kuivausilma kuivurista poistuu. Kierrätyskuivurissa kierrätystä on edullista käyttää siinä vaiheessa, kun poistoilman lämpötila alkaa kohoamaan. Laskentamenettely on sama kuin edellä kuvattu. Poistolämpötilan kohoamisvaiheessa laskentajaksot on valittava lyhyemmiksi.

Ilmapuhaltimen mitoitus

Imuilman määrälle voidaan tasokuivureissa käyttää kokemusperäistä arvoa $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, eli 200 kuutiometriä ilmaa tunnissa kuivaustason neliömetriä kohti.

Tarvittava kuivaustason pinta-ala riippuu tietysti halutusta kuivattavan aineen kertapanoksesta. Kuivattavan ainekerroksen vahvuus tason päällä riippuu kerroksen huokoisuudesta eli ilman läpäisyvyydestä.

ESIMERKKI

Kuivattava 1 irtokuutiometri kasvisainesta kerrosvahvuutena kuivaustasolla 25 cm.

Tarvittava tasopinta-ala $1 \text{ m}^3 / 0.25 \text{ m} = 4 \text{ m}^2$

Imuilmamäärä $4 \times 200 \text{ m}^3/\text{h} = 800 \text{ m}^3/\text{h}$

Lämmitystehon tarve

$$Q = V \times c \times (T_2 - T_1) = 800/3600 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kJ}/\text{m}^3\text{C} \times 25\text{C} \\ = 6,7 \text{ kW}$$

Yllä esitetyllä kaavalla lämmitystehoa (Q)
laskettaessa tarvitaan siis seuraavat tiedot:

V kuivausilmavirta, m³/s

c ilman ominaislämpö, kJ/m³C

T₁-T₂ kuivausilman lämpötilan nousu lämmitys-
laitteessa C

Kuivausilman määrä voidaan ilmaista myös yksiköllä
kg/s (kilogrammaa sekunnissa). Silloin on käytettävä
ominaislämmöllekin kilogrammaa kohtiannettua arvoa
kJ/kgC.

Ominaislämpö on kullekin aineelle ominainen
aineominaisuus, jonka arvot löytyvät alan taulukko-
kirjoista (tai internetistä).

Ilmalle kuivauslaskelmissa riittävän tarkat likiarvot ovat ominislämmölle ovat:

Tilavuusperustaisesti 1,2 kJ/m³C

Massaperustaisesti 1,0 kJ/kgC