



HELSINGIN YLIOPISTO  
HELSINGFORS UNIVERSITET  
UNIVERSITY OF HELSINKI

# Viljankäsittelyn tehostaminen tulevaisuuden yksiköissä

prof. Jukka Ahokas

4.10.2012

**Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta**

**Maataloustieteiden laitos**



# Syksy 2012





# Viljan kuivaus

## Maatilakuivurit

Jukka Ahokas, Mikko Hautala

28. helmikuuta 2012

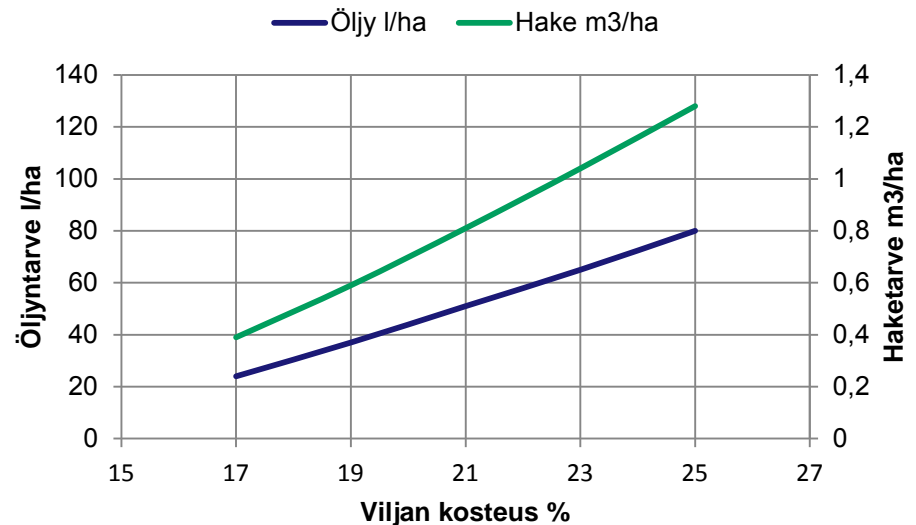
<http://www.energia-akatemia.fi/Sivut/default.aspx>

<http://enpos.weebly.com/>



# Kuivaamistarve

- Kuivauksessa materiaalista poistetaan vettä
- Jokaista haihdutettua vesikiloa kohden tarvitaan 0,15 l polttoöljyä
- Hehtaarin sadon kuivaamiseen tarvitaan viljan kosteudesta riippuen 30 – 70 l öljyä



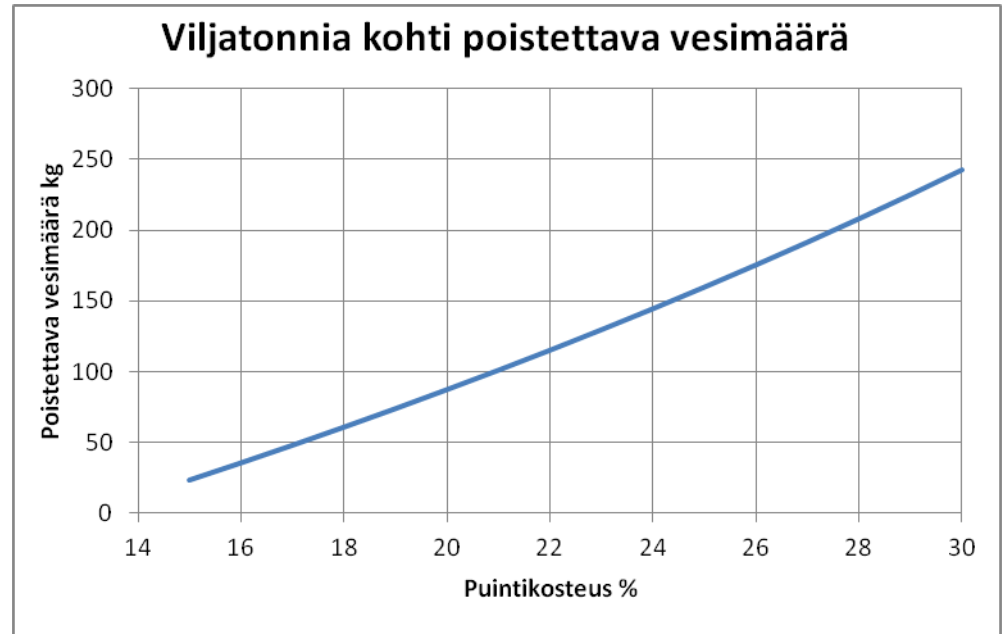


# Kuivaus

Poistettava vesimäärä on:

$$M_{\text{vpoisto}} = M_{\text{sato}} \frac{w_a - w_l}{1 - w_a}$$

- $M_{\text{vpoisto}}$  = poistettava vesimäärä  
 $M_{\text{sato}}$  = loppukosteudessa  $w_l$  oleva satomäärä (normaalisti 13 %)  
 $w_a$  = kuivauksen alkukosteus (wb)  
 $w_l$  = kuivauksen loppukosteus (wb)





## Esimerkki

Hehtaarisato on 3500 kg ja puintikosteus on 20 %.

Poistettava vesimäärä on  $3500 \cdot (0,2 - 0,13) / (1 - 0,2) = 306$  kg.

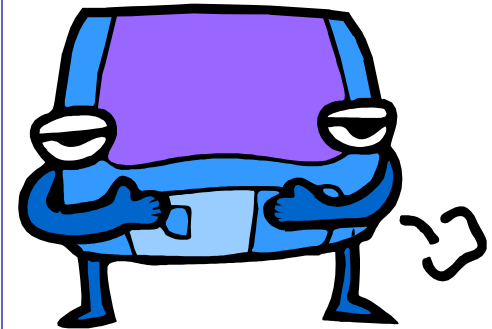
Tähän tarvitaan öljyä n 46 l.

Jos vilja korjataan 500 ha alalta, n 150 tonnia vettä pitää poistaa viljasta. Tähän tarvitaan n 23 000 l öljyä vuosittain. Jos kuivataan hakkeella, tarvitaan 270 m<sup>3</sup> haketta.



# Lämminilmakuivurin kapasiteetti

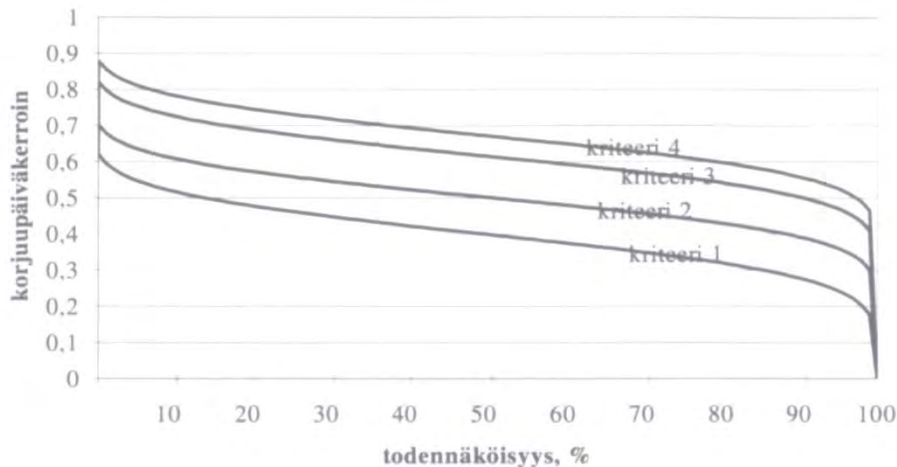
- Kuivurin kapasiteetti pitää laskea kokonaisuutena, jolloin siihen vaikuttavat mm
  - Kuivurin tilavuus
  - Uunin teho
  - Elevaattoreiden tehot
  - Puskurivaraston käyttö
  - Jäähdytyslaiton käyttö
  - Kuivuriautomaattikka
  - Erän kuivausaika/vuorokausirytm
  - Viljan kosteus
  - Viljojen kypsymisaika
- Jos ajatellaan koko viljankorjuuketjua, kuivuri ei saisi hidastaa sadonkorjuuta





# Korjuusää

- Puinnin kriteeri 80% ilman suhteellinen kosteus
  - Puintipäivän pituus on elokuussa n 10 h/vrk
  - Puintipäivän pituus on syyskuussa n 6 h/vrk
- Puinnit alkavat Etelä-Suomessa keskimäärin 10. elokuuta
- 10 % puihinneista on alkanut vasta syyskuussa



Kuvio 3. Viljankorjuuseen käytettävissä olevan ajan todennäköisyysjakaumat määritettynä neljällä eri sääkriteerillä. Kertoimen arvo pystyakselilla kuvaa korjuukelpoisten päivien suhteellista määrää koko korjuukaudella: korjuupäiväkerroin = korjuukelpoiset päivät / korjuukausi

Kriteeri 1: työpäivänä sade  $\leq 0,1$  mm ja työpäivää edeltävä yö + edellinen päivä sade  $\leq 0,1$  mm  
Kriteeri 2: työpäivänä sade  $\leq 0,1$  mm ja työpäivää edeltävä yö + edellinen päivä sade  $\leq 1,5$  mm  
Kriteeri 3: työpäivänä sade  $\leq 0,5$  mm ja työpäivää edeltävä yö + edellinen päivä sade  $\leq 5$  mm  
Kriteeri 4: työpäivänä sade  $\leq 0,5$  mm ja työpäivää edeltävä yö + edellinen päivä sade  $\leq 10$  mm

Esim. Korjuujakso elokuun puolivälistä syyskuun loppuun = 45 vrk. Kriteeri 1 ja 80% todennäköisyys => korjuupäiväkerroin on 0,35 => 16 korjuukelpoista päivää. Puintipäivän pituus on 8 h/vrk => 128 h käytettävissä

Laine A. Konekapasiteetin mitoitus ja konekustannukset viljan ja nurmirehun tuotannossa. TTS julkaisu 349





# Kuivauspäivät

- Kuivauseriä vuorokaudessa on keskimäärin 2 kpl
- Puintikelpoisia päiviä on keskimäärin 16 kpl korjuukautena
- Jos kuivurin kapasiteetin pitää olla puintikapasiteetin suuruinen, saadaan esim. 16 pv ja 2 erää/pv = 32 erää/satokausi
- Koko korjattavan sadon pitäisi siten mahtua 32 erään.





## Kuivurin koko

- Puitava vilja-ala on 500 ha ja sato on 4 t/ha (märkä vilja).  
Kuinka suuri kuivuri tarvitaan?

Viljan hehtolitrapainoksi voidaan ottaa vaikka 60 kg/hl, jolloin hehtaarilta tulee  $4000/60 = 67$  hl =  $6,7$  m<sup>3</sup>. Kaikkiaan tulee  $500 * 6,7 = 3300$  m<sup>3</sup> ja kun eriä on 32 kpl, kuivurin koko on 105 m<sup>3</sup>.

Kuivaus onnistuu näin, jos pystytään kuivaamaan 2 erää vuorokaudessa. Sää tietysti vaikuttavat onnistumiseen, märkä vilja tarvitsee pidemmän kuivausajan. Toisaalta jos pystytään kuivaamaan kolme erää vuorokaudessa, tarvitaan 70 m<sup>3</sup> kuivuri.

Kuivausyksiköitä voi tietysti olla enemmän, jolloin yhteiskoko on edellä esitetyn luokkaa.



# Kuivurin koko toisella tavalla

- Lähdetään siitä, että kuivurin pitää pystyä kuivaamaan puimurin puima sato vuorokauden aikana.
- Jos leikkuupuimuri pui keskimäärin 1 ha/h tunnissa, päivässä puidaan 10 ha sato eli märkäsadon ollessa 4 t/ha saadaan päivässä 40 t viljaa. Jos kuivauseriä on kaksi, yhteen erään pitää mahtua 20 t viljaa ja esimerkiksi 60 kg hehtolitrainon mukaan tämä tarkoittaa 33 m<sup>3</sup> kuivurisiiloa yhtä puimuria kohden.
- Kuivurin koko on siten



$$V = \frac{M_{verk}}{n \cdot \rho}$$

$V$  kuivurin tilavuus m<sup>3</sup>

$\rho$  viljan tilavuuspaino kg/m<sup>3</sup>

$n$  vuorokaudessa kuivattavien viljaerin määrä, 1 - 3 kpl



# Uunin koko

Uunin koon valinnassa vaikuttavat seuraavat asiat:

- Liian suuri nopeus (suuri ilmamäärä) vie jyviä poistoilman mukana
- Lämpötilan nousu, puhallusilman määrä ja uunin teho ovat toisistaan riippuvia
- Mitä suurempi ilmamäärä puhaltimella on, sitä nopeammin kosteus poistuu

$$P = \Delta h q_v \rho_{ilma} \text{ tai } P = c_i \Delta T q_v \rho_{ilma}$$

$$\Delta T = \frac{P}{c_i q_v \rho_{ilma}}$$

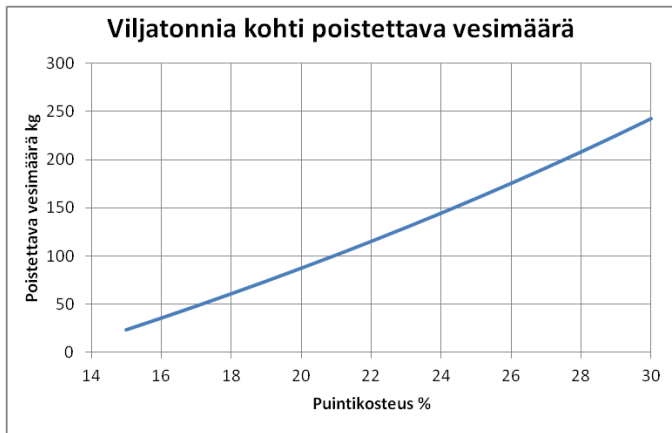
$$q_x = (x_3 - x_2) \cdot q_v \cdot \rho$$

$q_x$  = kosteuden poistonopeus

$x_3, x_2$  = tilapisteiden kosteussuhteet



# Uunin tehon valinta



- Yhden märän erän kuivausaika on korkeintaan 10 h.
- Jos puintikosteus on 25%, tarvittava kosteuden poistomäärä on 170 kg/tonni
- Jos imuilmassa on 5 g vettä ilmakilossa ja poistoilmassa 20 g, vettä poistuu 15 g/ilmakilo
- $170/0,015 = 11300$  kg ilmaa eli 14 000 m<sup>3</sup>/tonni viljaa
- Esimerkiksi 30 m<sup>3</sup> kuivuri, viljaa 21 tonnia, tarvitaan ilmaa 294 000 m<sup>3</sup>
- Aikaa 10 h => 29 400 m<sup>3</sup>/h ilmamäärä
- Lämpötilannousu 60 C => 600 kW



# Uunin koko

15

## Vehnän kuivaus

Alkukosteus %

Tavoitekosteus %

Ulkolämpötila °C

Ilman kosteus

Kuivausilma °C

Kuivausilma m<sup>3</sup>/h

Hehtolitraino kg/hl

Kuivauskanno: m<sup>3</sup>  korkeus  kpl.

Varastokanno: m<sup>3</sup>  korkeus  kpl.

Jalusta: m  Kansi m<sup>3</sup>

Kuivurin tilavuus  m<sup>3</sup>

Tarvittava uunin teho  kW

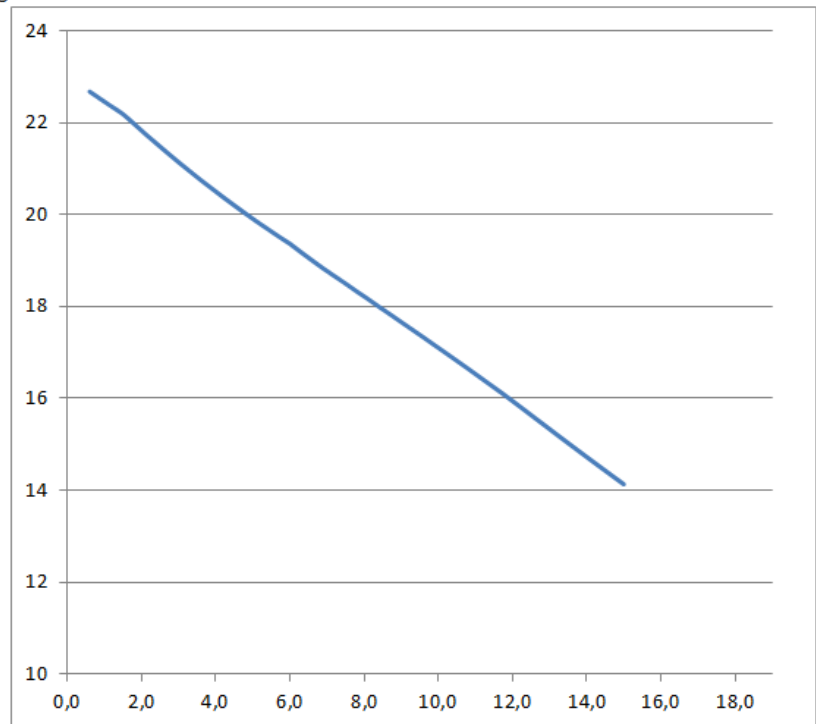
Kuivausaika  h

Energian kulutus  kWh

Poistettu vesimäärä  kg

Loppukosteus  %

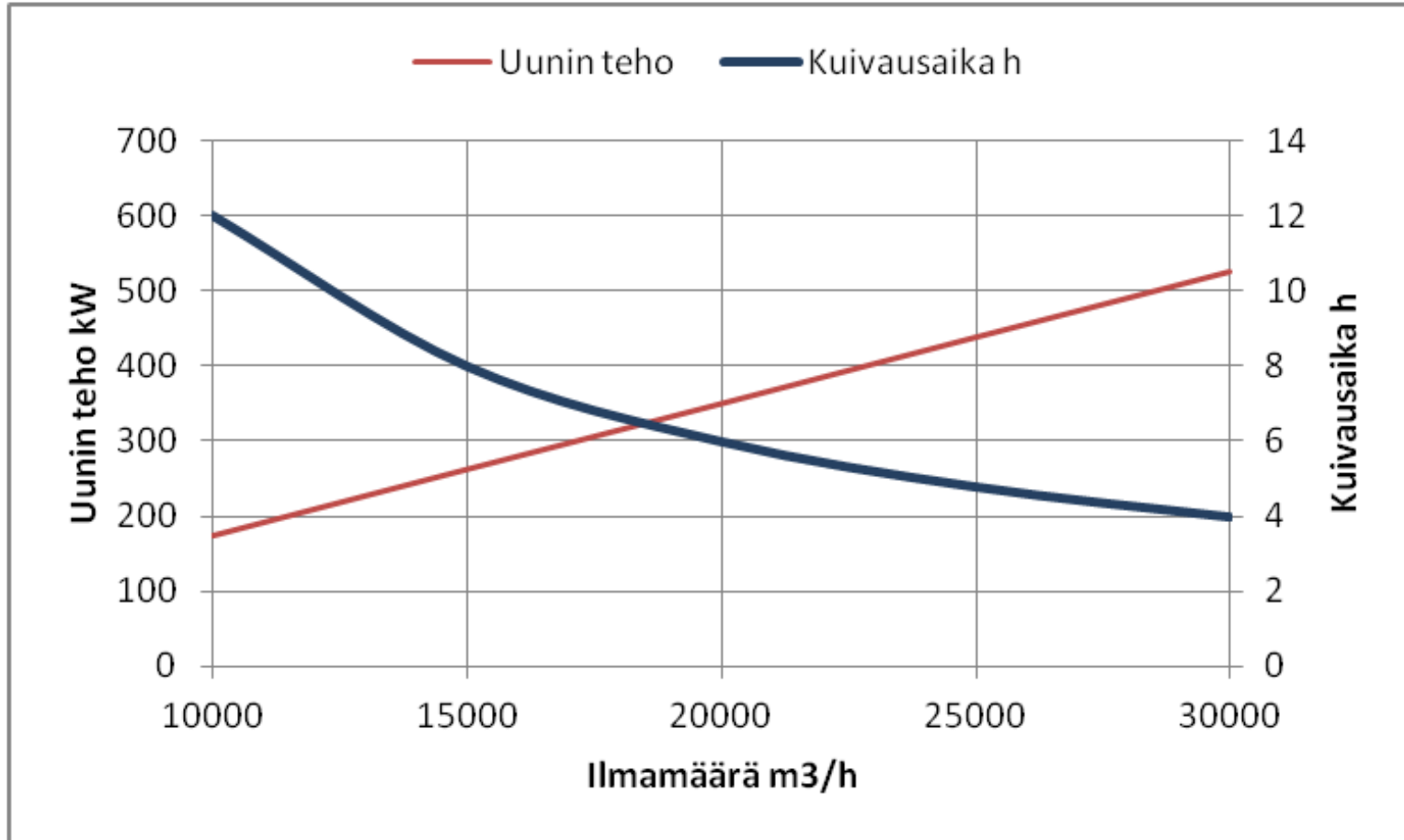
Käynnistä





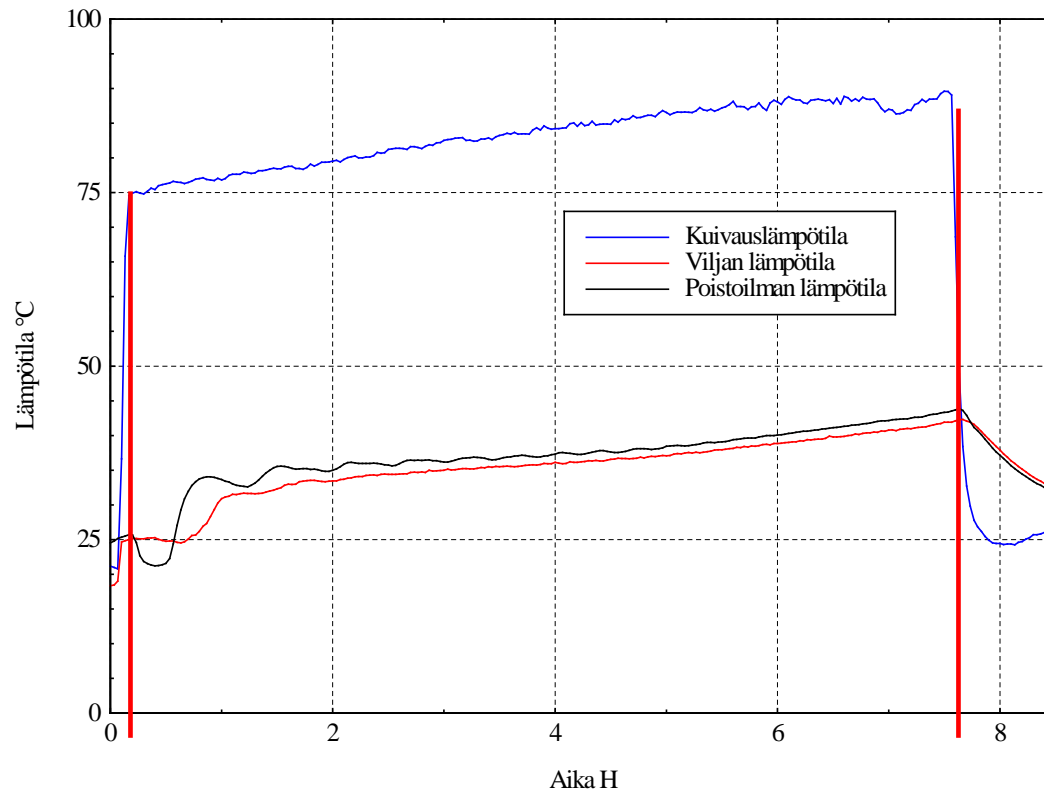
# Uunin tehon vaikutus

40 m<sup>3</sup> kuivuri ja kuivauslämpötila 70 C





# Viljan jäähdytys



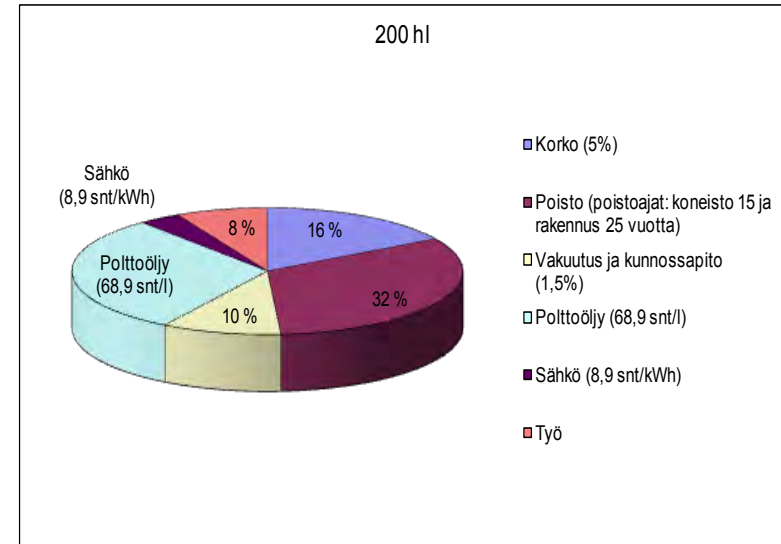
Kuivausilman lämpeneminen kesti 7 min, kuivaus 7 h ja jäähdytys 1 h. Jäähdytys tarvitsee lähes aina saman ajan, kuivumisaika riippuu viljan alkukosteudesta. Tässä tapauksessa säästettäisiin 1 h aika, jos jäähdytys siilo olisi erillinen.





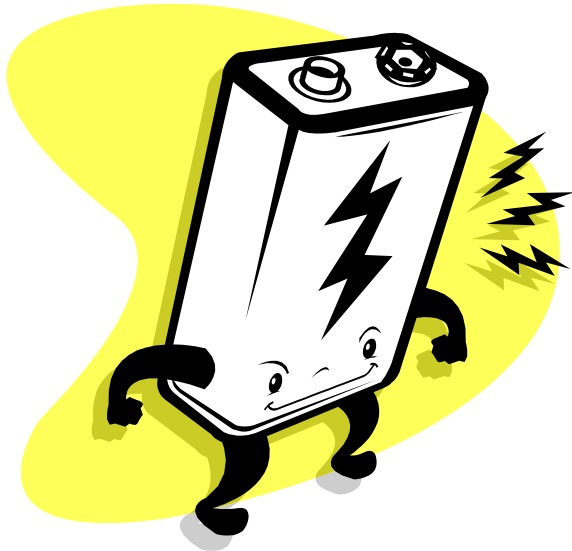
# Säästömahdollisuuksia

- Kuivauksen energian kulutusta on teknisesti mahdollista vähentää jopa yli 50%
- Öljystä voidaan luopua siirtymällä uusiutuviin polttoaineisiin - Vilja voidaan kuivata kokonaan kotimaisella polttoaineella
- Kuivaamisesta voidaan kokonaan luopua jos käytetään muita säilöntätapoja
- Hyötyykö viljelijä tästä taloudellisesti – Talous on eri asia kuin energiansäästö !





# Energian säästö



- Öljypolttimen säätö, vaikutus 0 – 15 %
- Kuivaus hyvän sään aikaan, vaikutus 0 – 20 %
- Kuivurin eristäminen, vaikutus 10 – 20 %
- Korkea kuivauslämpötila, vaikutus 10-15 %
- Ylikuivaamisen välttäminen, vaikutus 10-20%
- Poistoilman lämmön talteenotto, vaikutus jopa yli 50 %



# Polttimen säätäminen

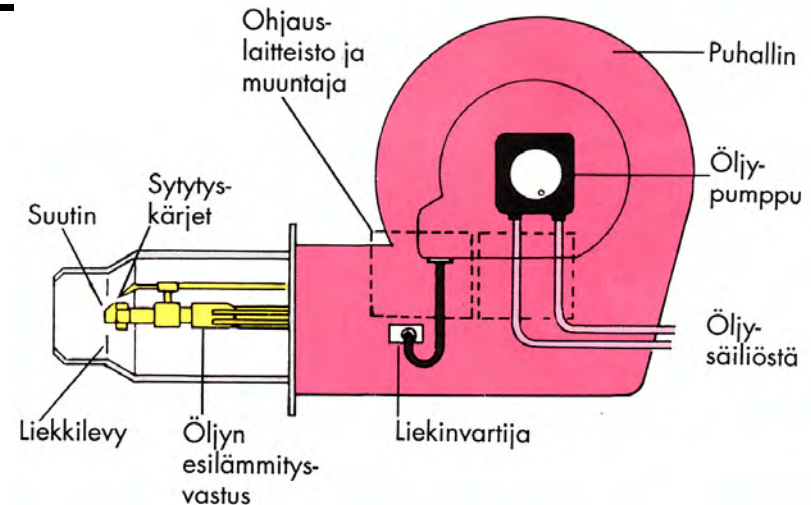
Laskentaperuste	Vilja-ala	100 ha
	Puintikosteus	22 %
	Varastointikosteus	13 %
	Sato	3500 kg/ha

## Öljypolttimen säätö, vaikutus 0 – 15 %

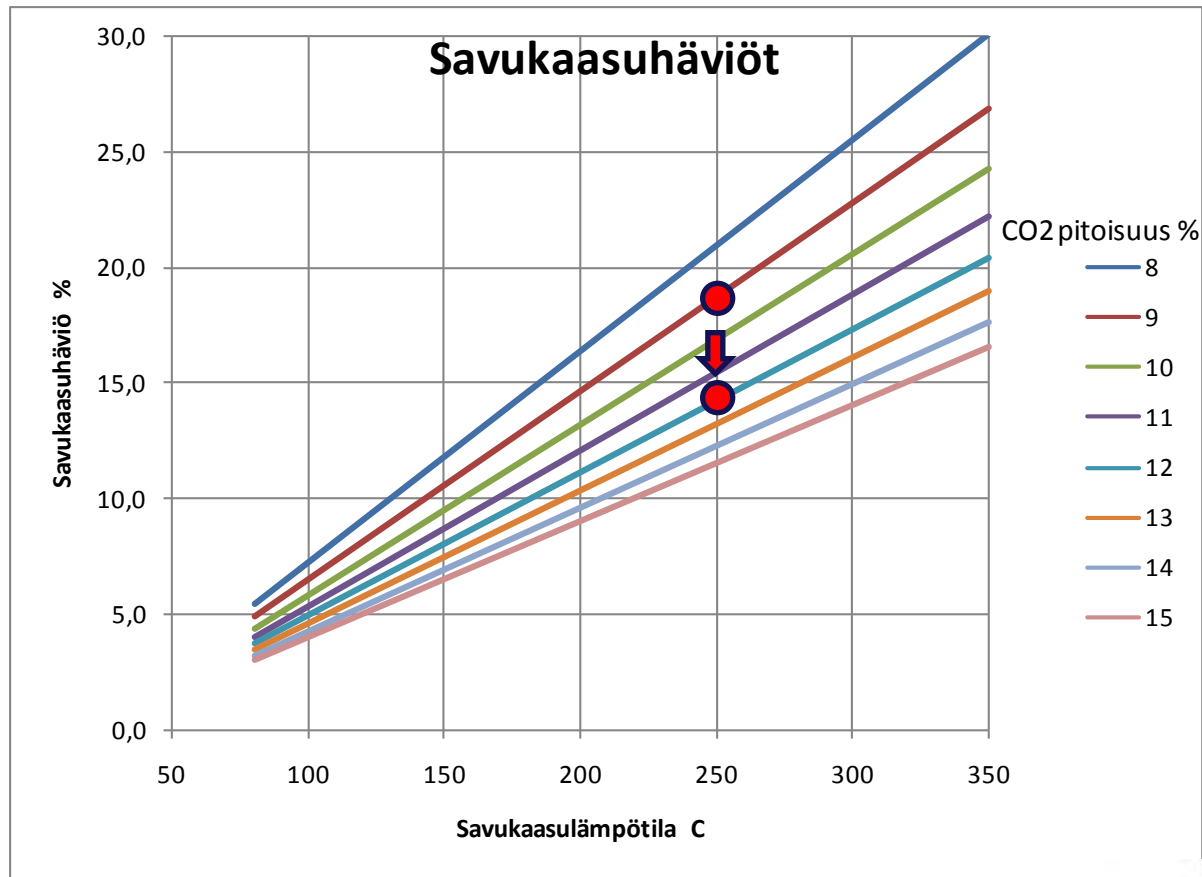
### Energiansäästö

Kustannus €	400
Säästö	5,0 %

Säästö €/v	190
Takaisinmaksuaika v	2,1

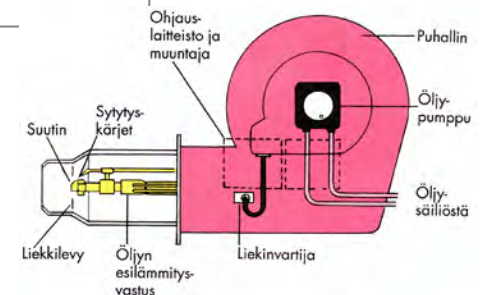


# Öljynpolton hyötysuhde



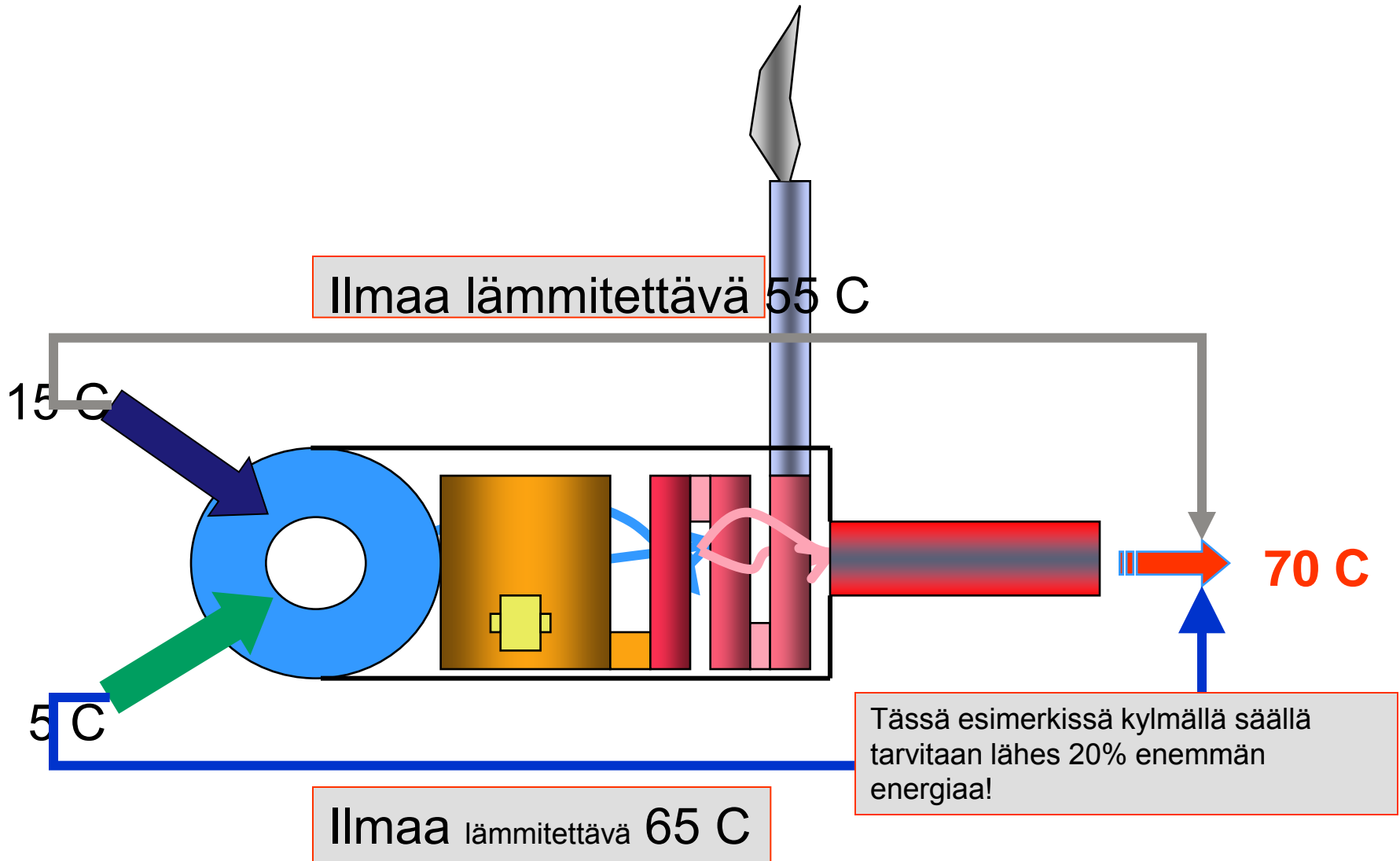
## Polttimen ilmamäärän säätö vaikuttaa

- Savukaasujenlämpötilaan
- CO<sub>2</sub> – pitoisuuteen
- häviöihin



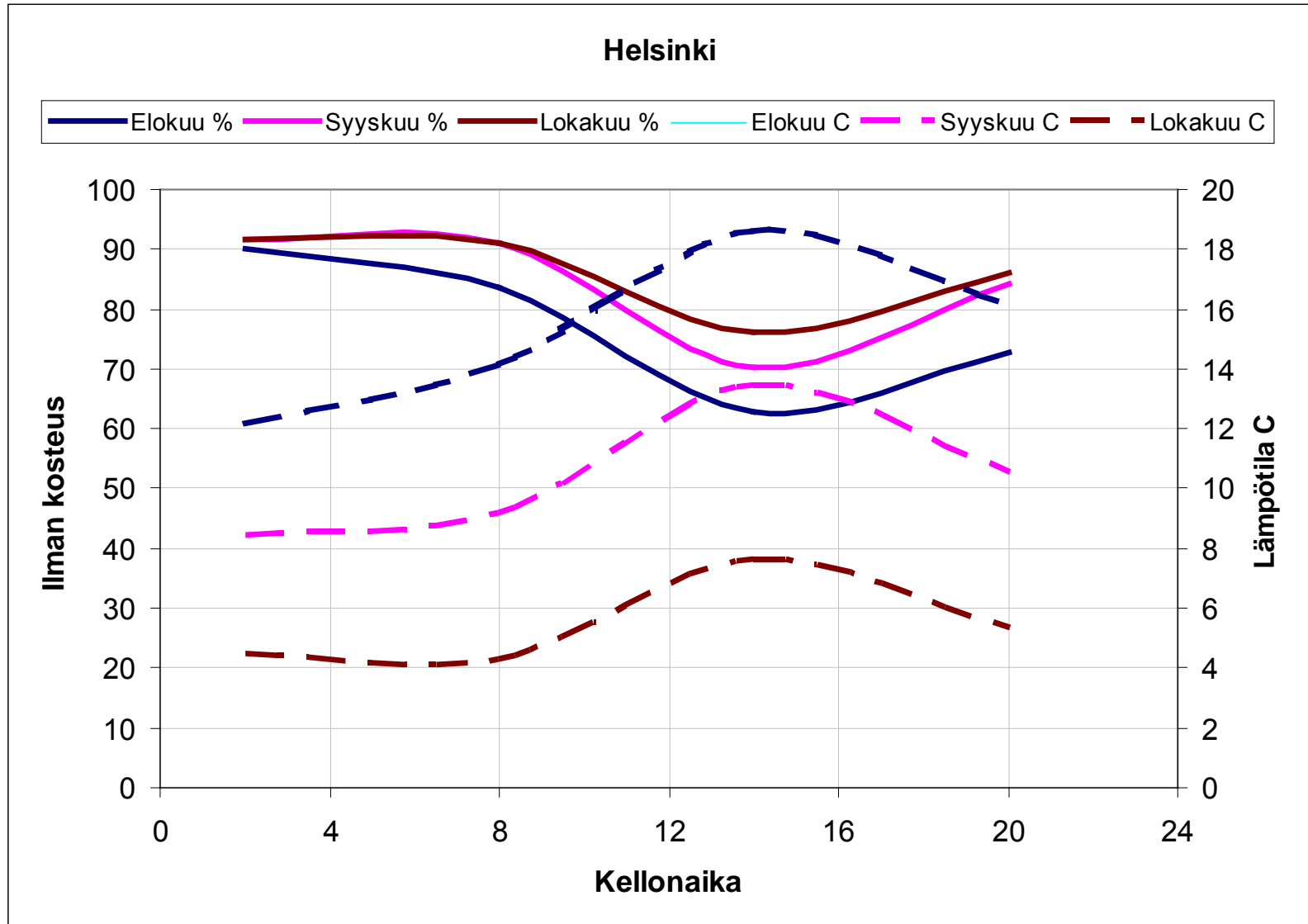


# Kuivaaminen hyvän sään aika





# Kuivausolosuhteet





# Ilman kosteus

- Ilman kosteus vaikuttaa siihen, kuinka paljon se pystyy sitomaan lisäkosteutta.
- Lämminilmakuivurissa tällä ei ole kovin suurta merkitystä. Kun ilma lämmitetään 70 °C lämpötilaan, sen suhteellinen kosteus on vain muutaman prosentin luokkaa ja kuivauskyky on aina hyvä.
- Kylmäilmakuivurissa tällä on merkitystä, koska ilmaa ei lämmitetä ja sen suhteellinen kosteus ei muutu.
  - Kosteaa ilmaa ei pysty sitomaan vettä ja jo kuivunut vilja voi kostua, jos siihen puhalletaan liian kosteaa ilmaa.

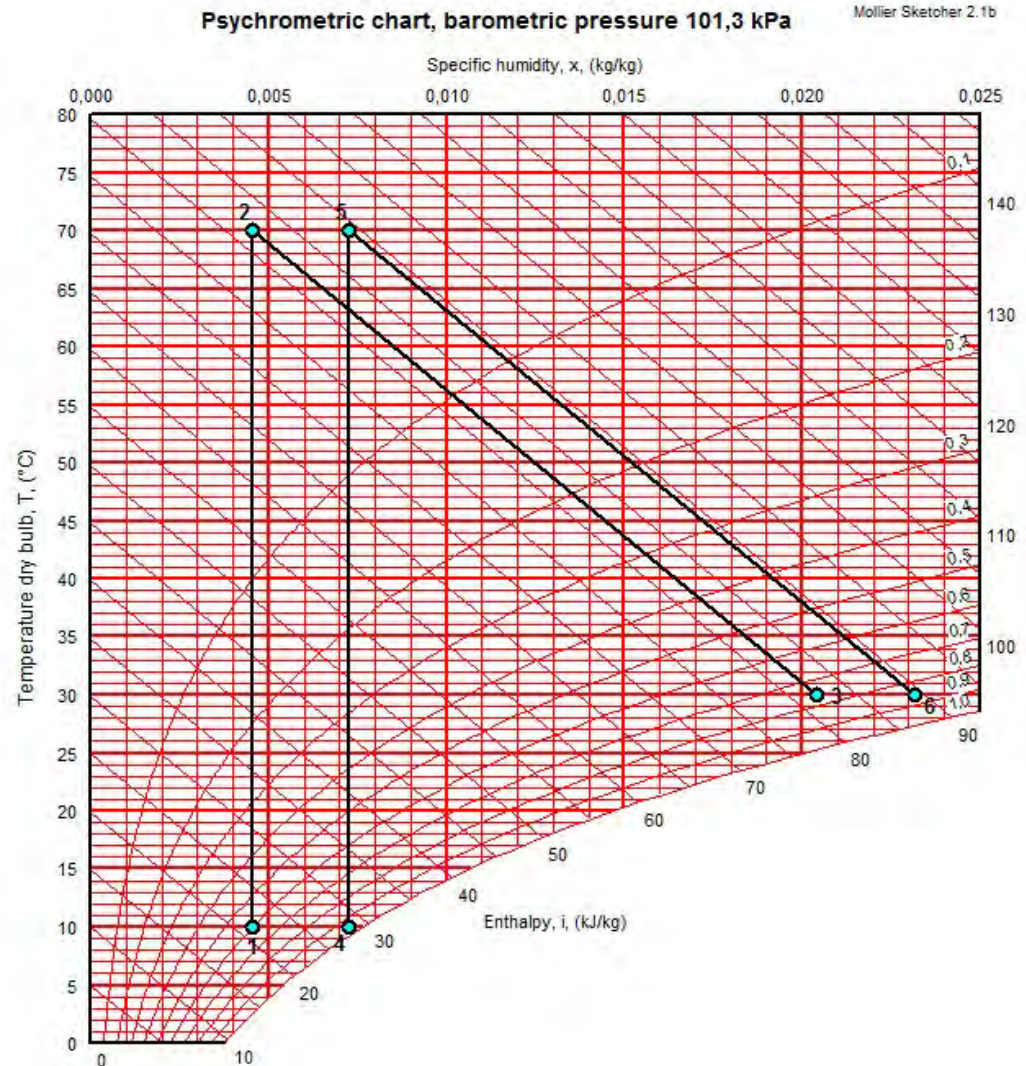


# Ilman kosteus

Esimerkki ilman kosteuden vaikutuksesta

- Piste 1: 10 C ja 80 %
- Piste 4: 0 C ja 95%

Kosteus sinänsä ei vaikuta paljoakaan lämminilmakuivuriin. Monesti kostea ilma on myös kylmää, jolloin sillä on merkitystä.



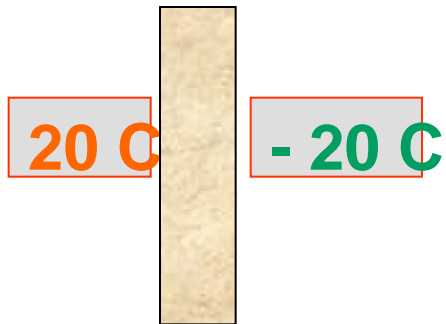
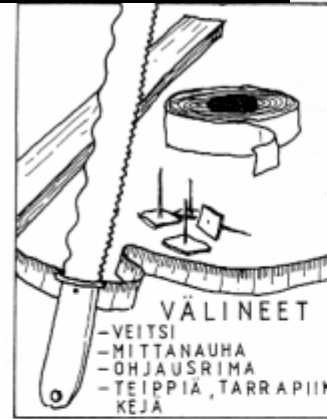




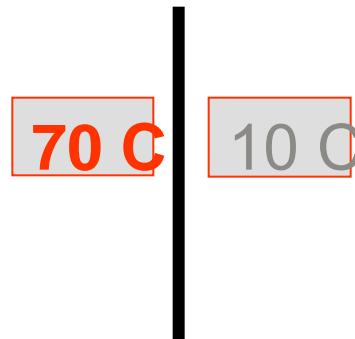
# Eristäminen

## Kuivurin eristäminen, vaikutus 10 – 20 %

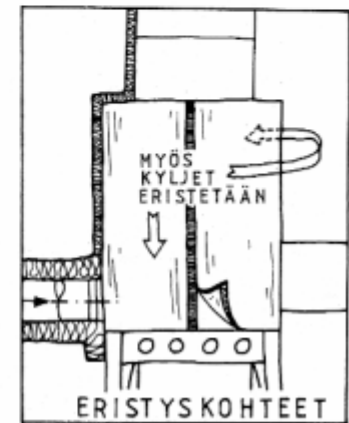
Energiansäästö	
Kustannus €	2000
Säästö	10,0 %
<hr/>	
Säästö €/v	379
Takaisinmaksuaika v	5,3



Talo



Kuivuri

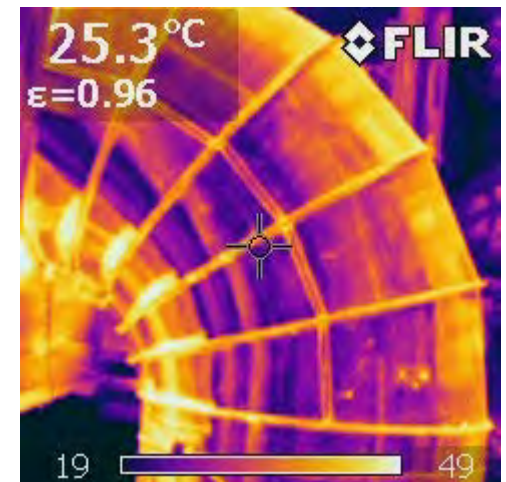
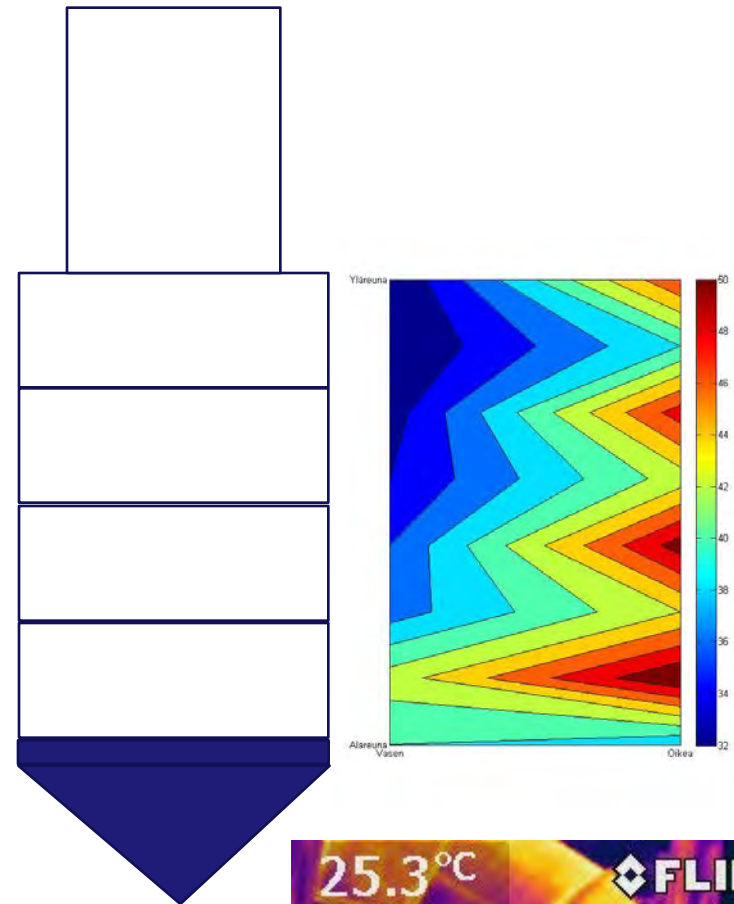


Eristäminen lyhentää myös kuivausaikaa !



# Pintalämpötiloja

- Kuivurin puhallusilman puoleisen päädyn pintalämpötilat ovat n 30 – 50 C
- Tästä aiheutuu 200 – 300 W/m<sup>2</sup> lämpövirta
  - 10 m<sup>2</sup> peltipinta aiheuttaa 2 – 3 kW lämpöhäviön
- Puhallusputken pintalämpötilat ovat 50 – 60 C ja lämpövirta on 400 – 500 W/m<sup>2</sup>
  - 5 m pitkän ja 0,63 m halkaisijaltaan olevan putken vaipan ala on n 10 m<sup>2</sup> ja lämpöhäviö on 4 – 5 kW





# Eristäminen





# Tuloksia

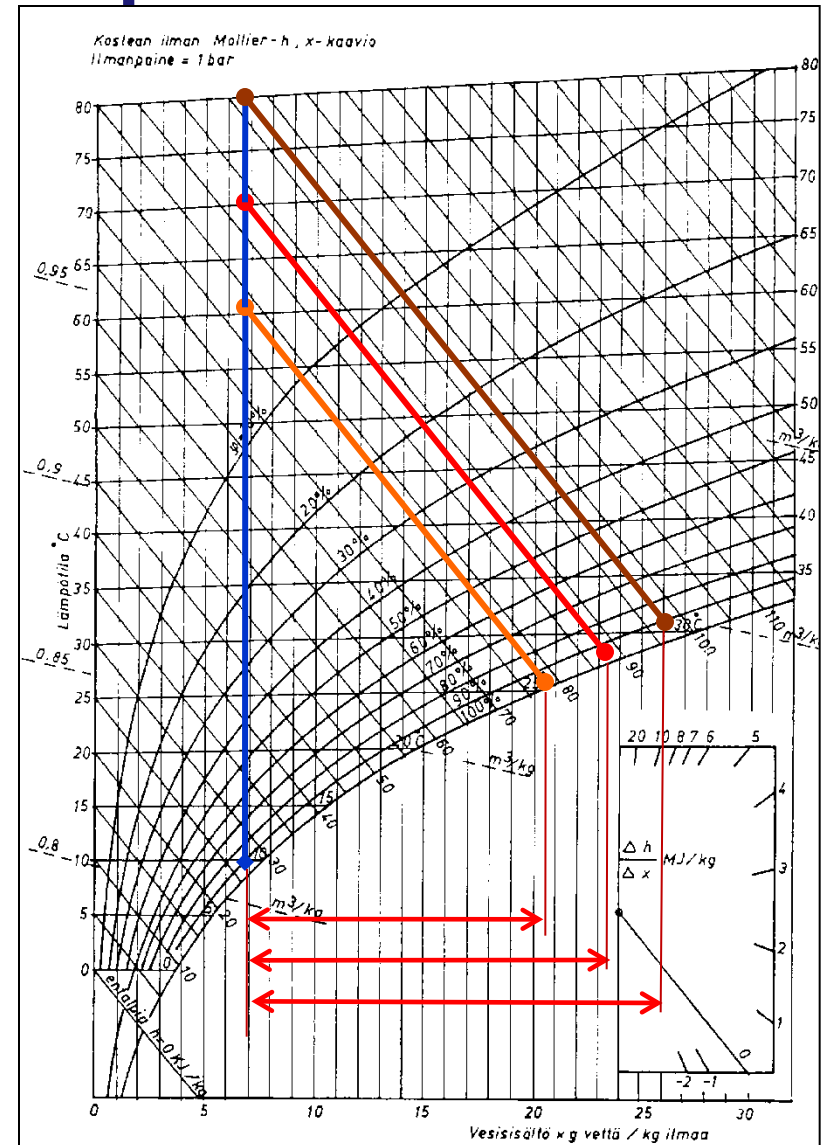
## ■ Alustavia syksyn 2011 koetuloksia

Erä	Alkukosteus [%]	Kaasun kulutus eristämättömässä kuivurissa [m3]	Kaasun kulutus eristetyssä kuivurissa [m3]	Energian säästö [%]
1	24	209	182	13
2	21	209	156	25
3	22	144	134	7
4	17	99	71	28
5	15,5	78	65	17
6	19,5	128	98	23
7	16	72	51	29
			Keskiarvo	20 %



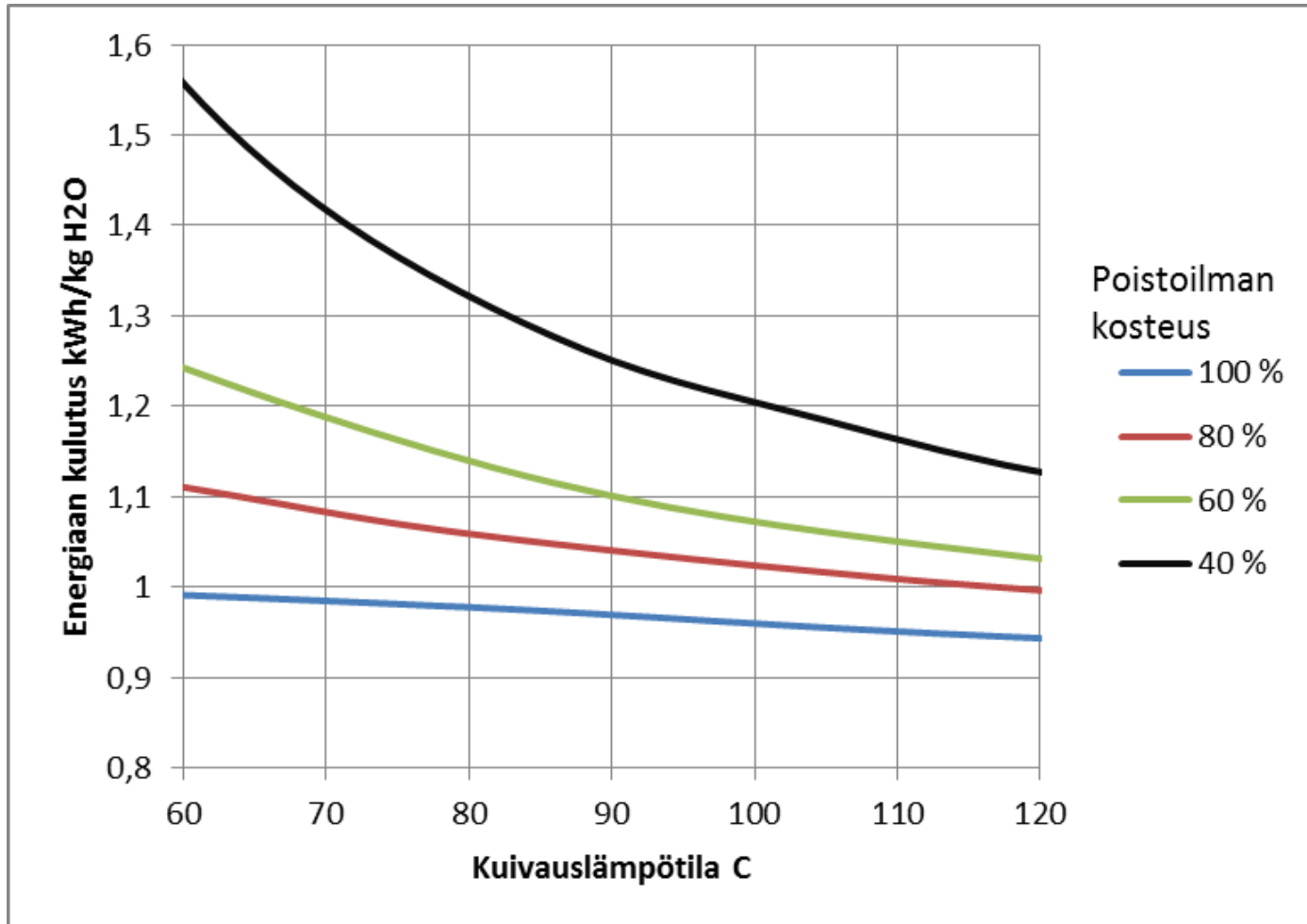
# Korkea kuivauslämpötila

- Korkea lämpötila nopeuttaa kosteuden siirtymistä jyvässä
- Kuuma ilma pystyy sitomaan enemmän vettä viljasta
- Lämpötilan nosto
  - Pienentää energian kulutusta
  - Lisää kuivurin kapasiteettia
  - Lisää kuivurin lämpöhäviöitä – eristys nousee tärkeäksi
  - Siemenviljaa ja leipäviljaa ei saa kuivata liian kuumalla ilmalla



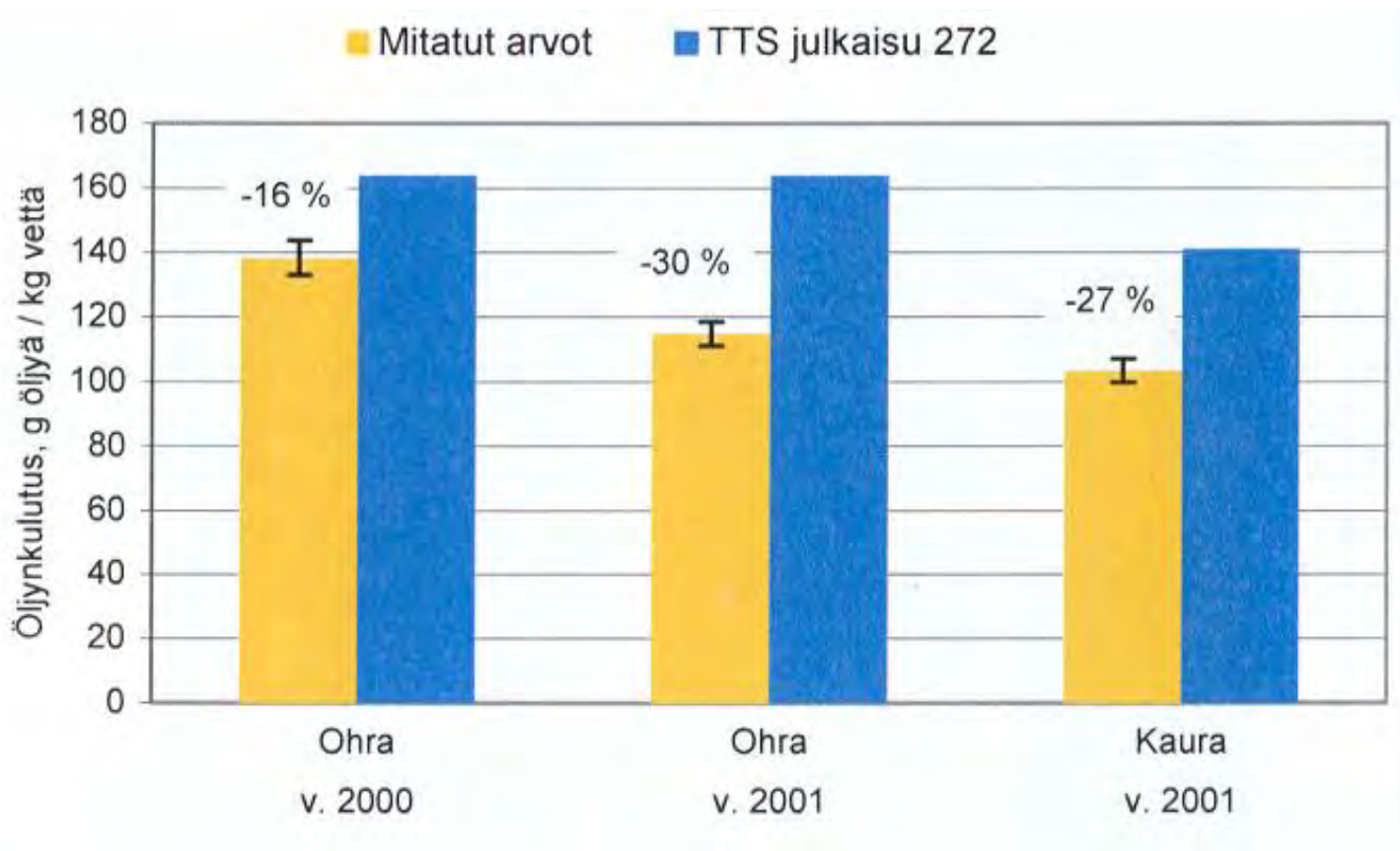


# Korkea lämpötila





# Tuloksia kuivausilman lämpötilan noston vaikutuksesta

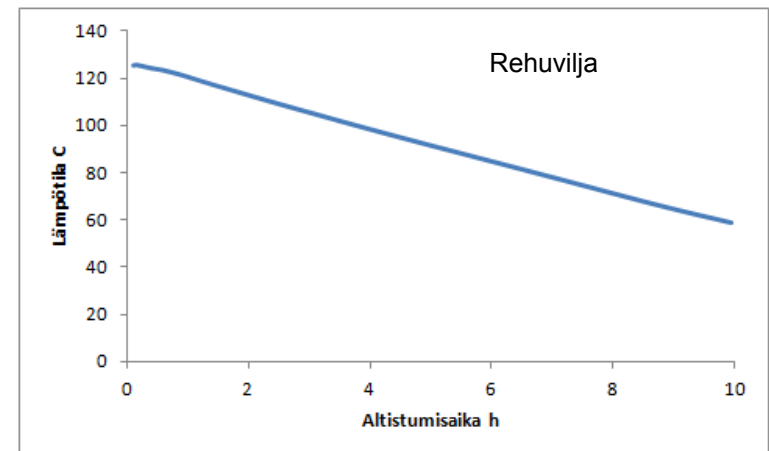
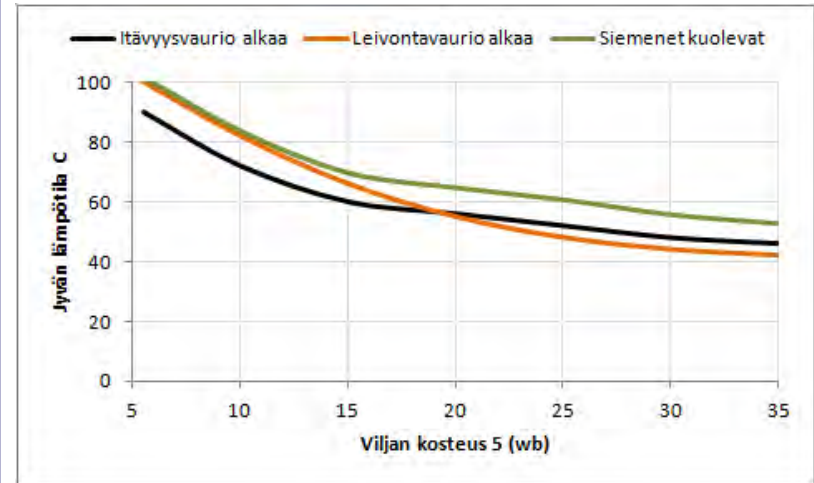


Lähde: Suomi et al. 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla. Maa- ja elintarvike 31.



# Viljan lämmönkestävyyteen vaikuttaa

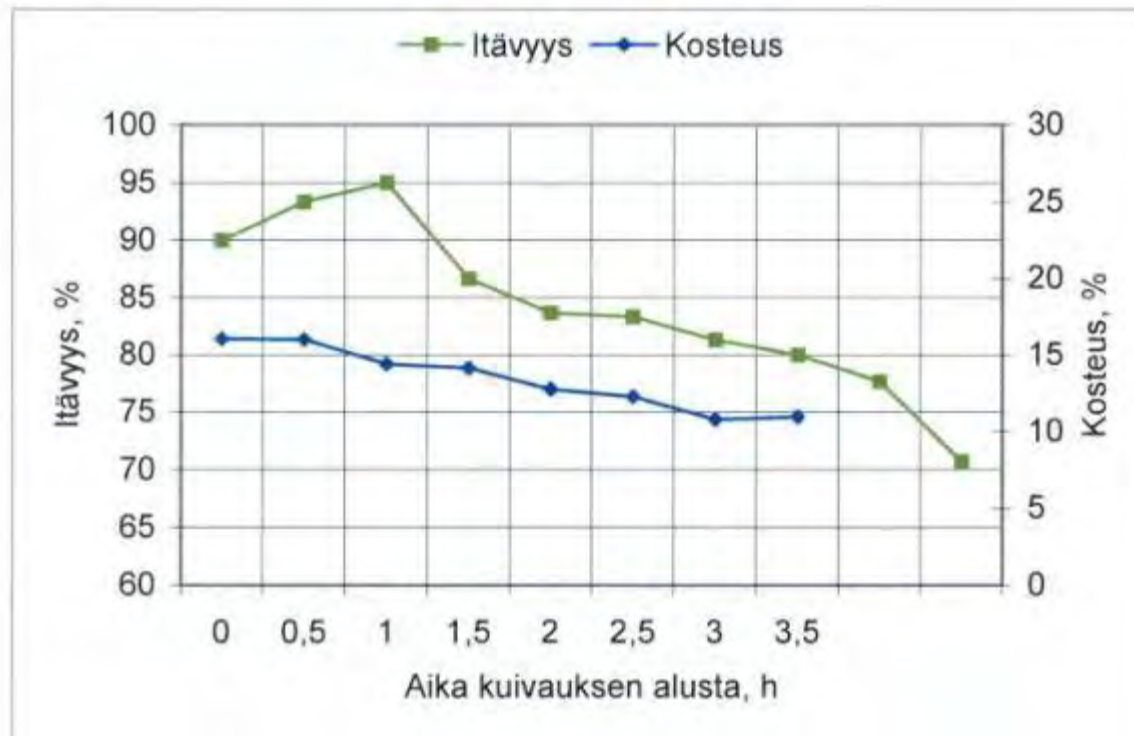
- Viljan kosteus. Hyvin kostean viljan kuivussa jyvään syntyy jännityksiä, jotka voivat rikkoa jyvän rakenteen ja aiheuttavat vaurioita
- Lämmölle altistumisaika. Jyvä lämpenee nopeasti kuivausilman lämpötilaan ja vauriot lisääntyvät, jos altistumisaika pitenee.
- Kuivurin rakenne. Rakenne ja toimintatapa ratkaisevat kuinka kauan jyvä altistuu korkealle lämpötilalle.
- Viljalaji tai -lajike. Viljalajike vaikuttaa viljan kestävyteen.







# Kuivauslämpötilan vaikutus ohran itävyyteen



Kuivausilman lämpötila 119°C, nopea kierto

**Korkea lämpötila tuhoaa itävyyden !**

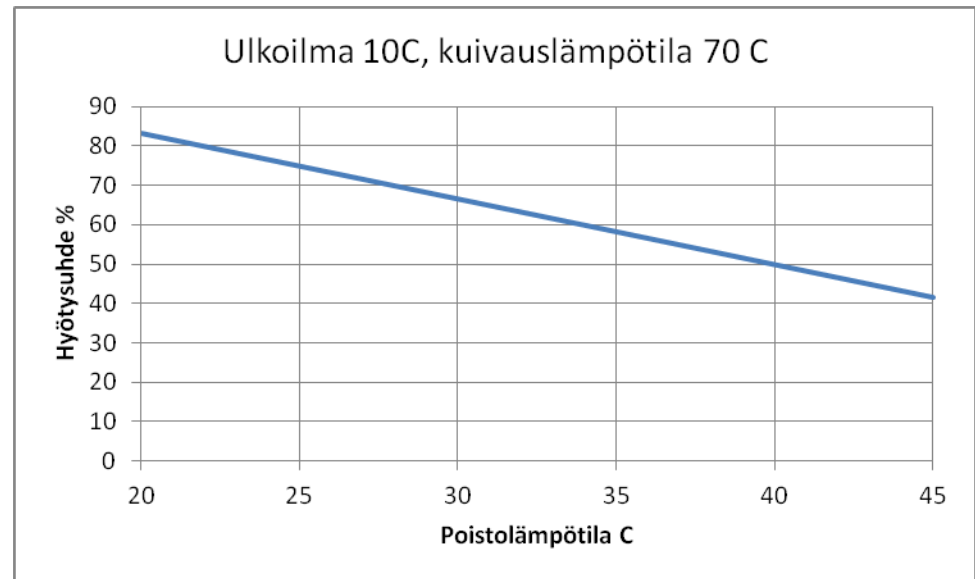
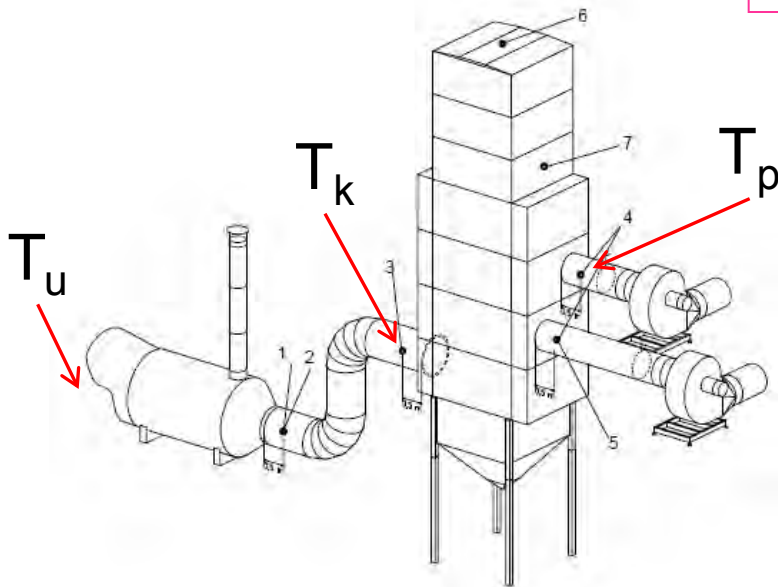
Lähde: Suomi et al. 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla. Maa- ja elintarvike 31.



# Kuivauksen hyötysuhde

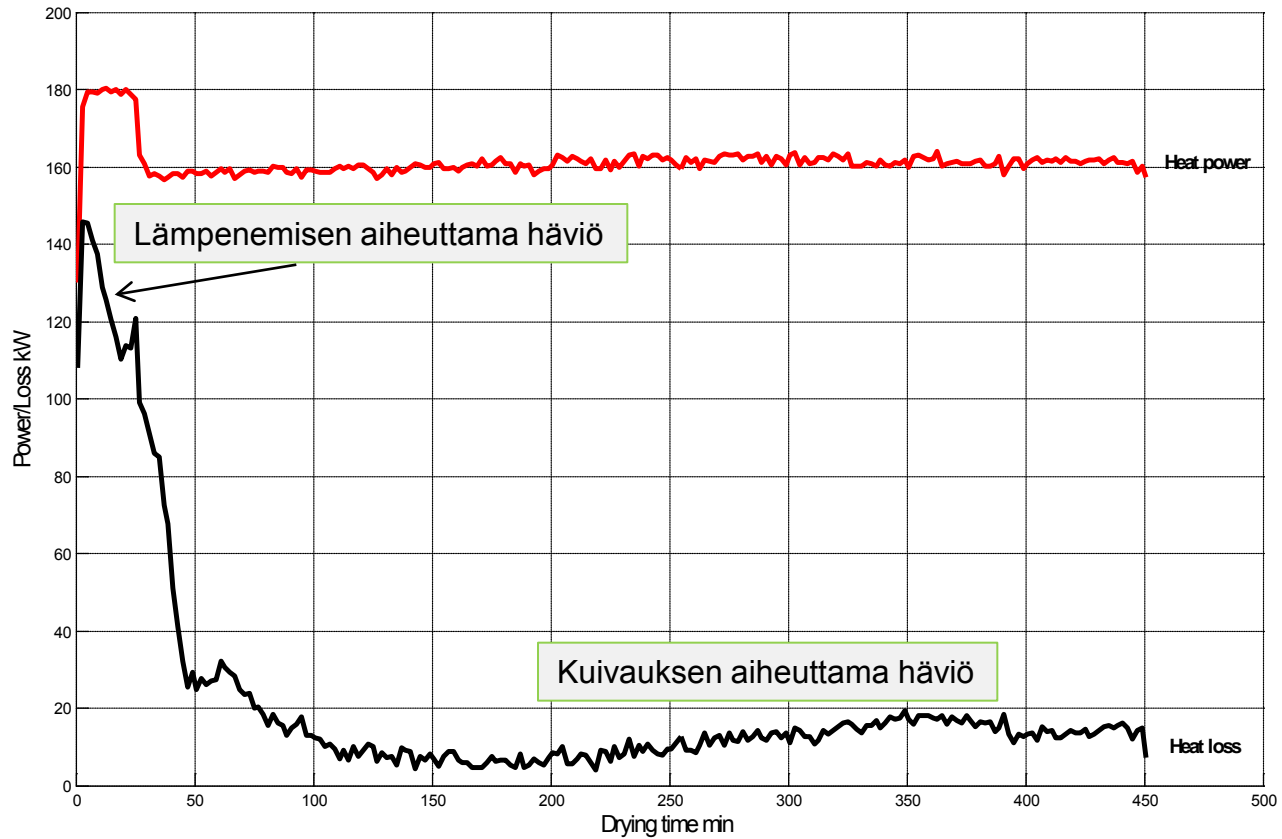
- Kuivaukselle voidaan laskea hyötysuhde, esimerkiksi lämpötilahyötysuhde on helppo todeta kuivaus- ( $T_k$ ), poisto- ( $T_p$ ) ja ulkoilman ( $T_u$ ) lämpötilojen avulla

$$\eta_T = \frac{T_k - T_p}{T_k - T_u}$$



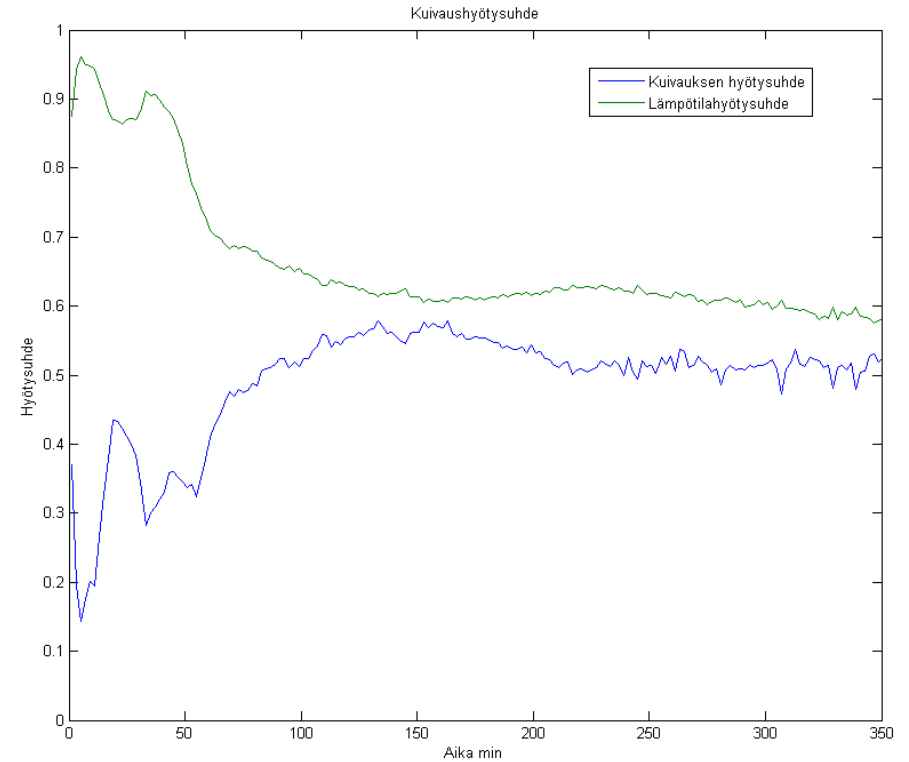
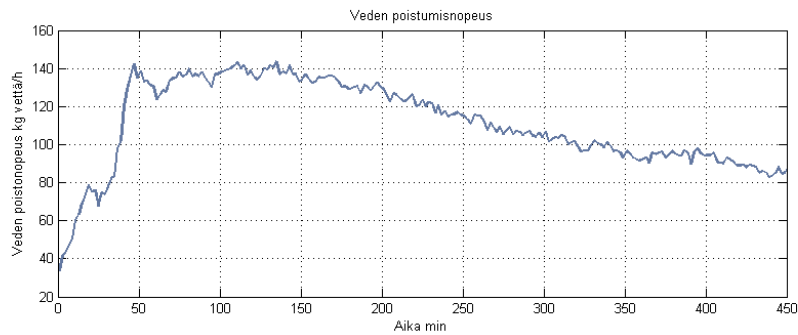
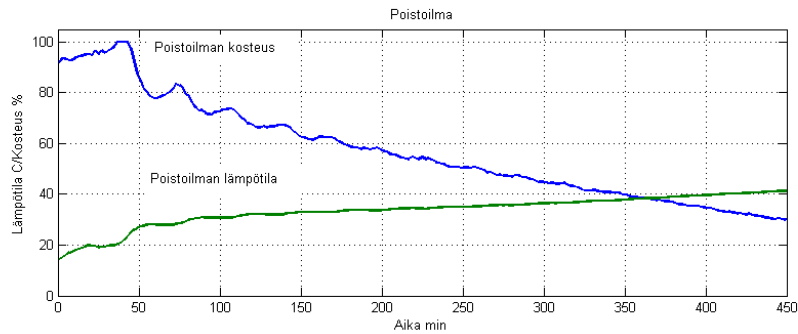


# Kuivurin lämpöhäviö





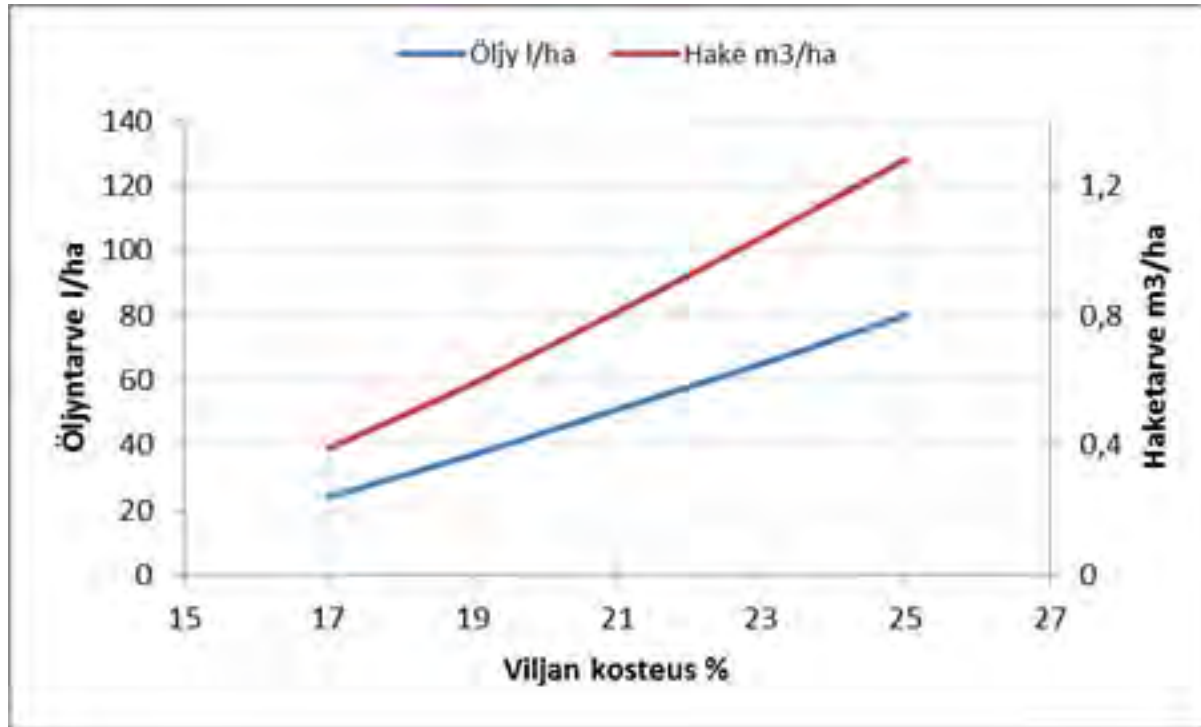
# Kuivuminen



***Lämpötilahyötysuhde ei sovellu imukuivureille !***



# Puintikosteus

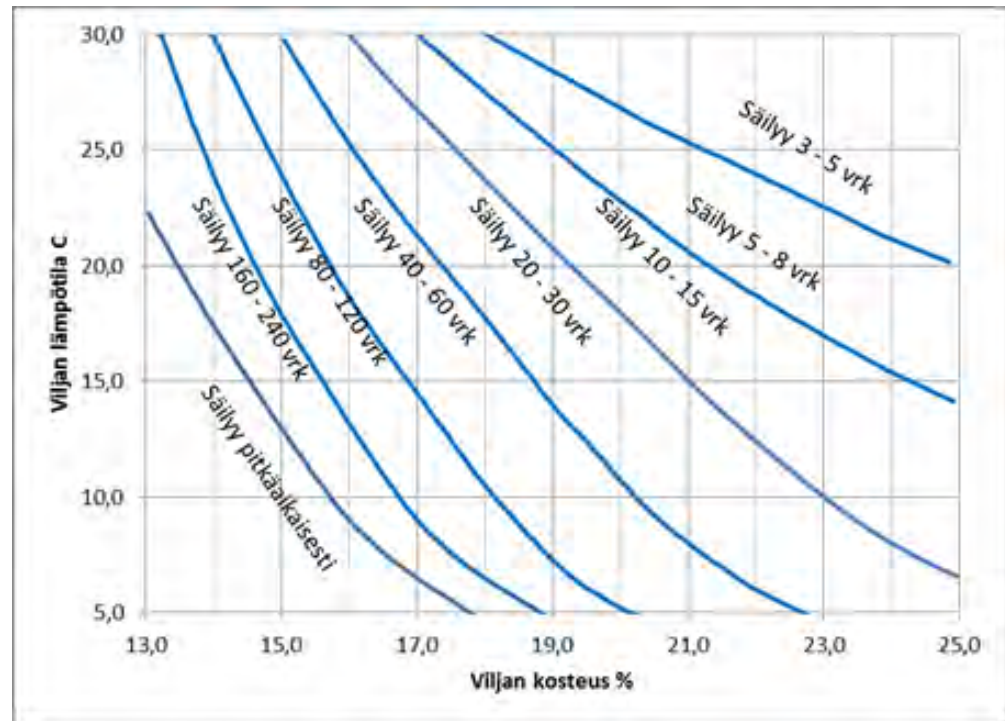


- Märkä vilja tarvitsee enemmän energiaa kuivaukseen
- Voiko sopivaa puintikosteutta odottaa?



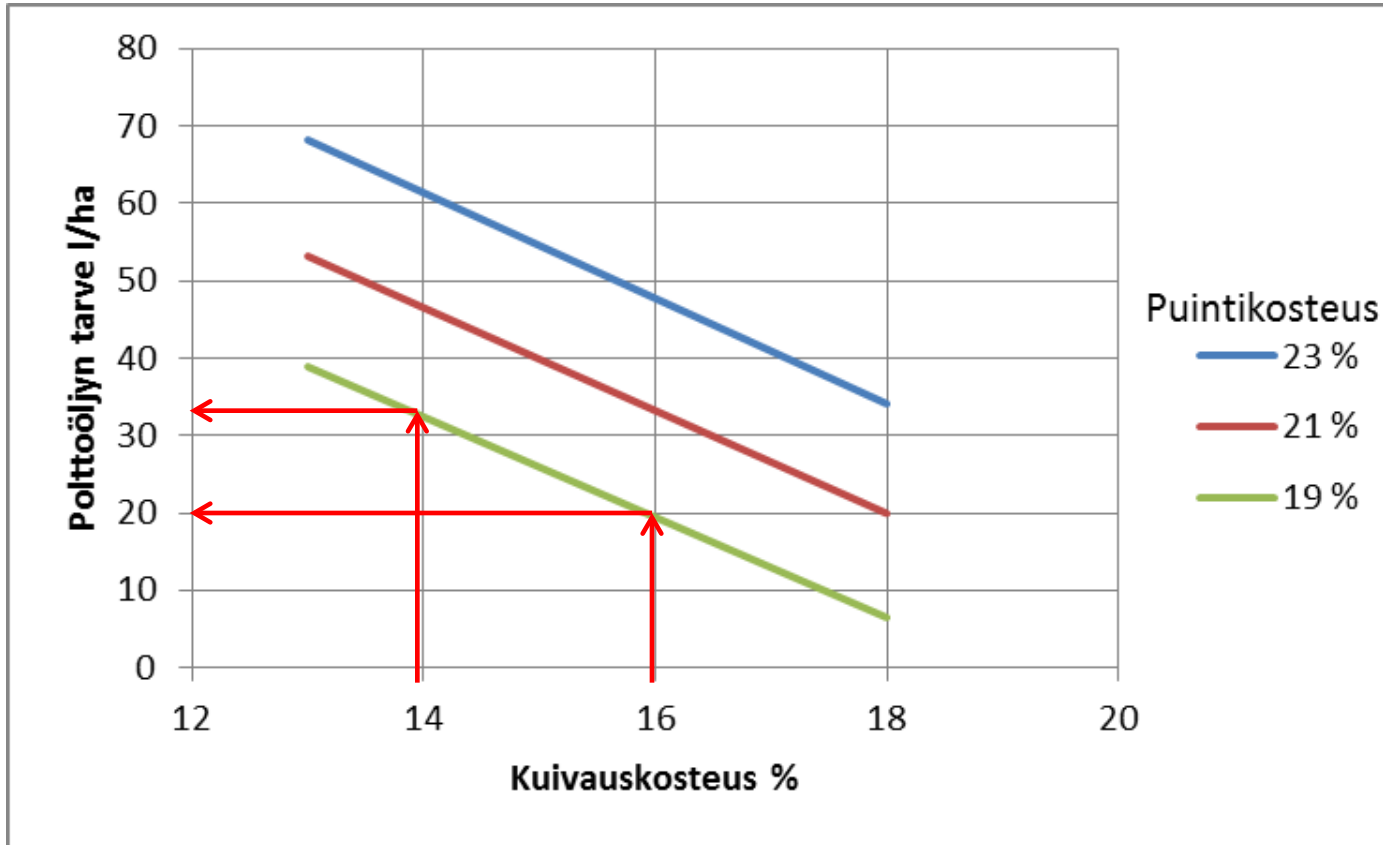
# Kuivauskosteus

- Kauppaviljan pitää olla alle 14%
  - Takaa pitkäaikaisen säilyvyyden
- Omaan käyttöön 16-17% kosteus riittää, jos vilja käytetään 'talven' aikana





# Kuivauskosteus



Esimerkiksi 19% vilja kuivataan 14% kosteuteen => 33 l/ha, 16% kosteuteen 20 l/ha. *Säästetään lähes 40%!*



# Lämmön talteenotto

- Poistoilman lämpöä voidaan käyttää imuilman lämmittämiseen
- Hyöty jopa 50 %
- Hankala toteuttaa ja kallis
- Kuivausilman pölyt vaikeuttavat lämmönvaihdinten toimintaa

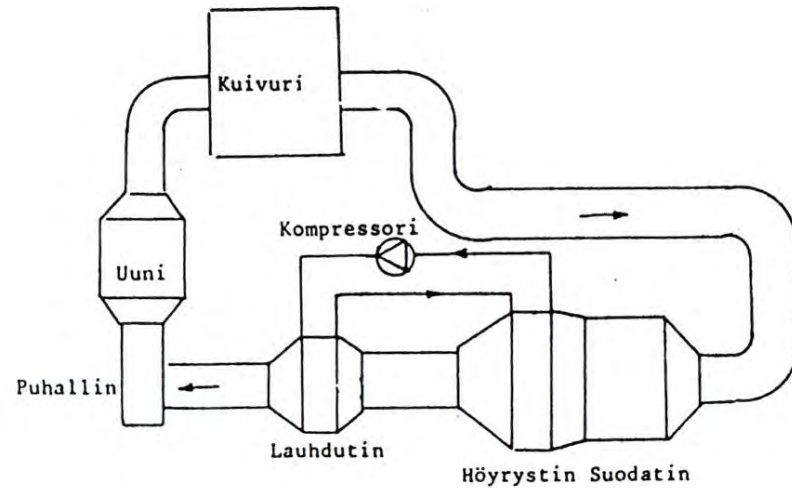
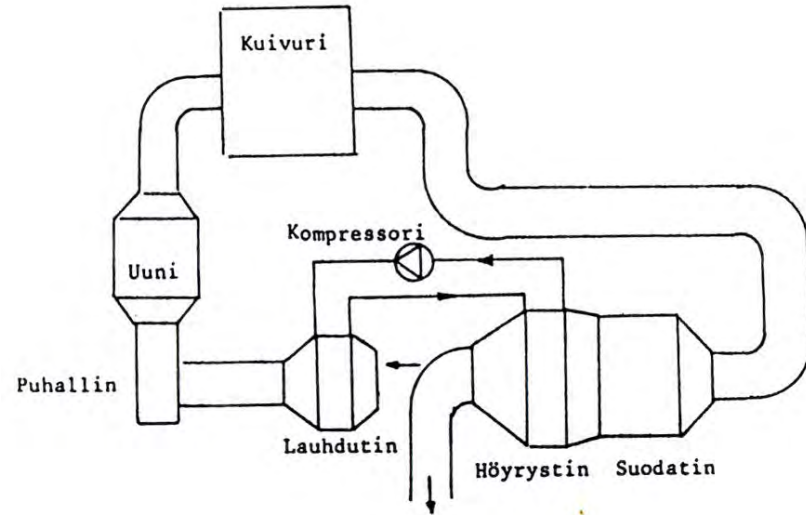






# Energian säästö

Tällä kuivurilla  
päästään yli 50%  
energian säästöön



# Kotimainen polttoaine

- Hake
  - Polttoaine pitää varata ennakkoon
  - Vaatii investointeja, uusi uuni, automaattinen polttoaineen syöttö, automaattinen tuhkan poisto
- Biopolttoöljy
  - Voidaan hyödyntää nykyisiä uuneja
  - Kannattavaa vain jos saadaan rouhe 'käytettyä'
- Vilja
  - Huonokuntoisen viljan käyttö lämmitykseen
  - Onko viljan poltto eettisesti hyväksyttävää ?
- Lämpökeskuksen hyödyntäminen
  - Kuivurin tehontarve on paljon suurempi kuin rakennusten tehon tarve => lämpökeskuksen lämmöllä voidaan vain "auttaa" kuivuria
  - Vesipattereiden ja lämpöputkien asentaminen on kallista



## Biopoltin



- Etupesä, voidaan liittää nykyiseen öljykattilaan
- Teho öljykäyttöä alhaisempi

- Joudutaan hankkimaan uusi uuni



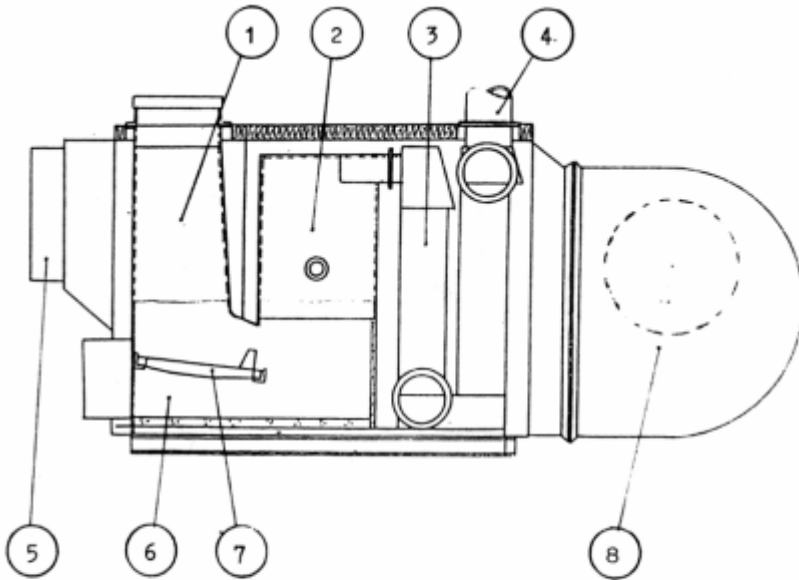
# Hakkeen kannattavuus



Microsoft Excel - C10, 13%			
	A	B	C
1			
2			<b>Kotimaisen polttoaineen kannattavuus</b>
3			
4			
5			
6			
7			
8	<b>Viljämäärä</b>	Vilja-ala	100 ha
9		Puintikosteus	22 %
10		Varastointikosteus	13 %
11		Sato	3500 kg/ha
12			
13			
14	Varastoinnissa	Vettä	455 kg
15		Kuiva-ainetta	3045 kg
16			
17	Puitaessa	Vettä	859 kg
18		Kokonaismäärä	3904 kg
19		Poistettava vesimäärä	404 kg
20			
21	<b>Pöltoöljy</b>	PÖ tarve	0,12 kgPÖ/kgH2O
22		PÖ tarve	48,5 kg/ha
23		Hyötysuhde	0,9
24		PÖ p	0,835 kg/l
25		PÖ tarve	58 l/ha
26		PÖ tarve koko alalla	5804 l
27		PÖ hinta	1,1 €/l
28		PÖ kustannus	6384 €
29		PÖ lämpösisältö	42,5 MJ/kg
30			11,8 kWh/kg
31			9,9 kWh/l
32			0,11 €/kWh
33			
34	<b>Vaihtoehdot</b>	<b>Hake</b>	0 €/m3
35	Investointikustannus	Uusi hakeuuni	75000 €
36		Polttoainevarasto	0 €
37		Hakkuri	5000 €
38		Yhteensä	80000 €
39	Polttoaine	Kosteus	30 %
40		Tiheys	200 kg/m3
41		Lämpöarvo	12,6 MJ/kg
42			3,5 kWh/kg
43			698 kWh/m3
44		Hyötysuhde	0,8
45	<b>Määrät</b>	Määrä	0,92 m3/ha
46		Määrä	92 m3
47		Hinta	0 €
48			

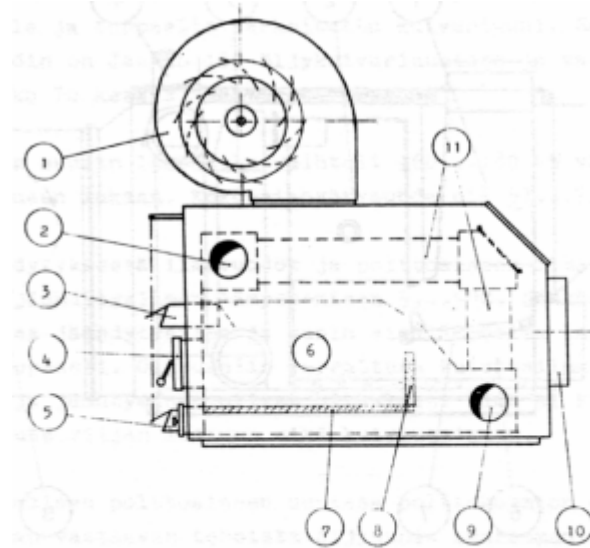


# Halkouuni



Halko-Jaakko kuivuriuuni

1. Varastopesä, 2. Polttokammio, 3. Konvektio-osa, 4. Savukaasujen poisto, 5. Kuivausilman lähtö, 6. Tuhkatila, 7. Arina, 8. Puhallin



Yläpaloinen Antti-kuivuriuuni

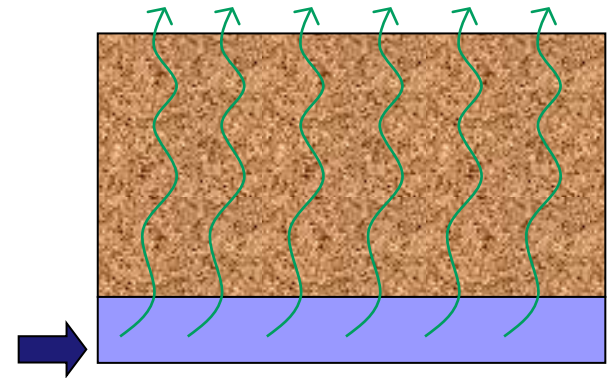
1. Puhallin, 2. Savukanavan aukko, 3. Toisioilma-  
luukku, 4. Tulenhoitoluukku, 5. Ensiöilmaluukku,  
6. Tulipesä, 7. Arina, 8. Heittoeste, 9. Puhdis-  
tus- ja räjähdysluukku, 10. Ulospuhallusaukko,  
11. Lämpöelementit.

Työläitä, ei nykyaikaa, paloturvallisuus ?



# Kylmäilmakuivaus

- Kuluttaa 1/4:n lämminilmakuivauksen energiamäärästä
- Hyvä vastaanotto-kapasiteetti → voidaan hyödyntää parhaat puintikelit "Varastokuivuri"
- Pitkä kuivausaika
- Vilja ei hiodu → alempi hl-paino
- Vilja ei kierrä jatkuvasti esipuhdistimen kautta → enemmän roskaa
- Ei kauppakelpoista viljaa ilman lisälämpöä
- Soveltuu huonosti, jos on monia lajeja ja lajikkeita



# Kylmäilmakuivaus

- Jos viljakerroksen paksuus  $> 1\text{m}$  → keskipakopuhallin välttämätön
- Märkä vilja yli 60 cm kerroksessa kuorettuu ja pintakerros homehtuu
- Paksuissa kerroksissa viljan sekoittaminen on välttämätöntä
- Suuri kuivuri → suuri liitäntäteho → polttomoottorikäyttöinen puhallin → lisälämpöä
- Rationaalinen viljan käsittely edellyttää koneistamista → kylmäilmakuivuri on hankala koneistaa halvalla → investointikustannukset nousevat

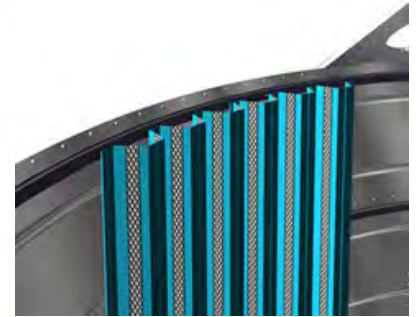
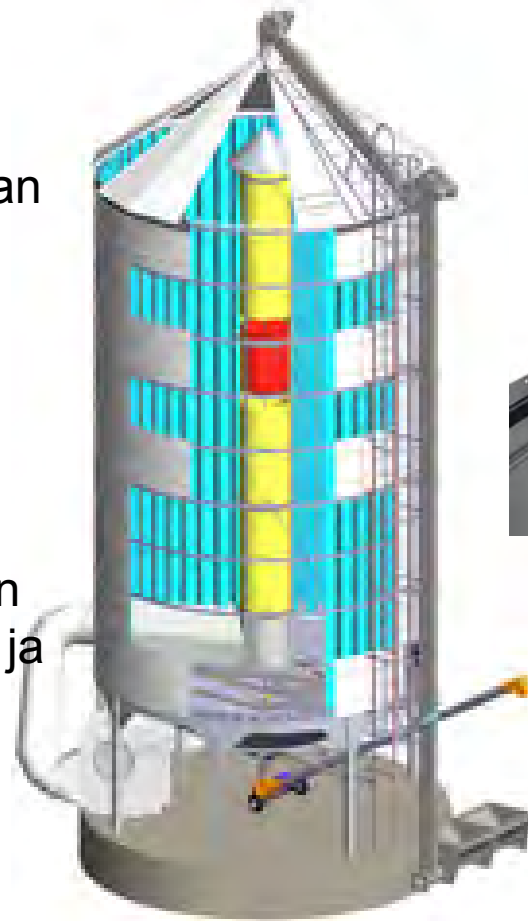




# Kylmäilmakuivuri

## SAMI-kuivaussiilot

- Kuivaussiilo toimii automaattisesti logiikan ohjaamana.
- Kuivauksen alkaessa ohjataan puhallin päälle, jonka jälkeen siilon keskellä olevassa puhalluskanavassa liikkuvan sulkutulpan korkeutta ohjataan saavuttamaan säädetty painetaso.
- Määrätyn välein viljamassaa kierrätetään siilossa käyttämällä yhtäaikaaisesti poisto- ja täyttökuljettimia.







# Yhteenvetoa

- Kuivurin kapasiteetti voidaan laskea eri tavoilla
- Kapasiteettiin vaikuttaa vilja, sää ja kuinka monta erää pystytään kuivaamaan vuorokaudessa
- Vaihda kotimaiseen silloin kun se on taloudellisesti järkevää
- Eristä kuumat pinnat
- Käytä korkeita kuivauslämpötiloja – älä kuitenkaan pilaa satoa
- Älä ylikuivaa
- Kuivaa hyvän sään aikana
  - ei yökuivausta



Energiasäästötietoutta:

<http://www.energia-akatemia.fi/Sivut/default.aspx>

<http://enpos.weebly.com>



The European Agricultural Fund  
for Rural Development:  
Europe investing in rural areas



CENTRAL BALTIC  
INTERREG IV A  
PROGRAMME  
2007-2013



## Lisätietoa

<http://www.energia-akatemia.fi/Sivut/default.aspx>

<http://enpos.weebly.com/>



The European Agricultural Fund  
for Rural Development:  
Europe investing in rural areas



CENTRAL BALTIC  
INTERREG IV A  
PROGRAMME  
2007-2013