



HELSINGIN YLIOPISTO  
HELSINGFORS UNIVERSITET  
UNIVERSITY OF HELSINKI

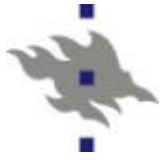
# Viljankuivurin koon valinta ja energian säästö

prof. Jukka Ahokas

24.1.2013

**Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta**

**Maataloustieteiden laitos**



# Viljan kuivaus

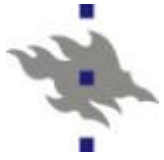
## Maatilakuivurit

Jukka Ahokas, Mikko Hautala

28. helmikuuta 2012

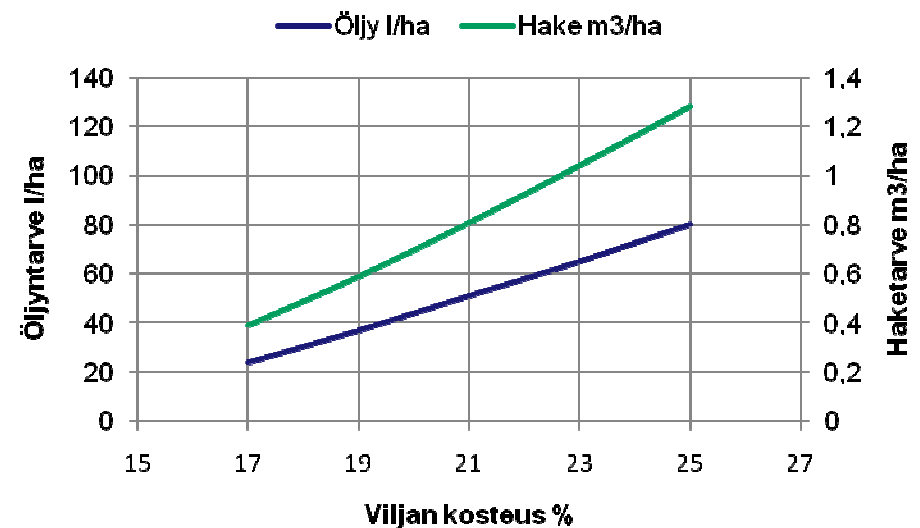
<http://www.energia-akatemia.fi/Sivut/default.aspx>

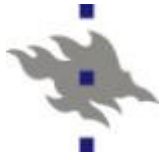
<http://enpos.weebly.com/>



# 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





# 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.
- Voidaan myös lähteä siitä, että päivän puintimäärä saadaan kuivattua kahdessa erässä





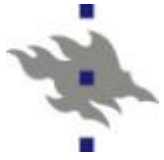
## Kuivurin koko

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

Viljan hehtolitrainoksi voidaan ottaa vaikka 60 kg/hl, jolloin hehtaarilta tulee  $4000/60 = 67$  hl =  $6,7$  m<sup>3</sup>. Kaikkiaan tulee  $500 \cdot 6,7 = 3300$  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 tiettysti 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

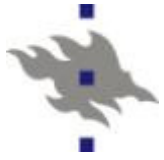


$$V = \frac{M_{vrk}}{n \cdot \rho}$$

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
- Kuivurin kapasiteettia voidaan lisätä suurentamalla uunia

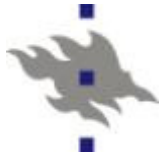
$$P = \Delta h q_v \rho_{ilma} \text{ tai } P = c_i \Delta T q_v \rho_{ilma}$$

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

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

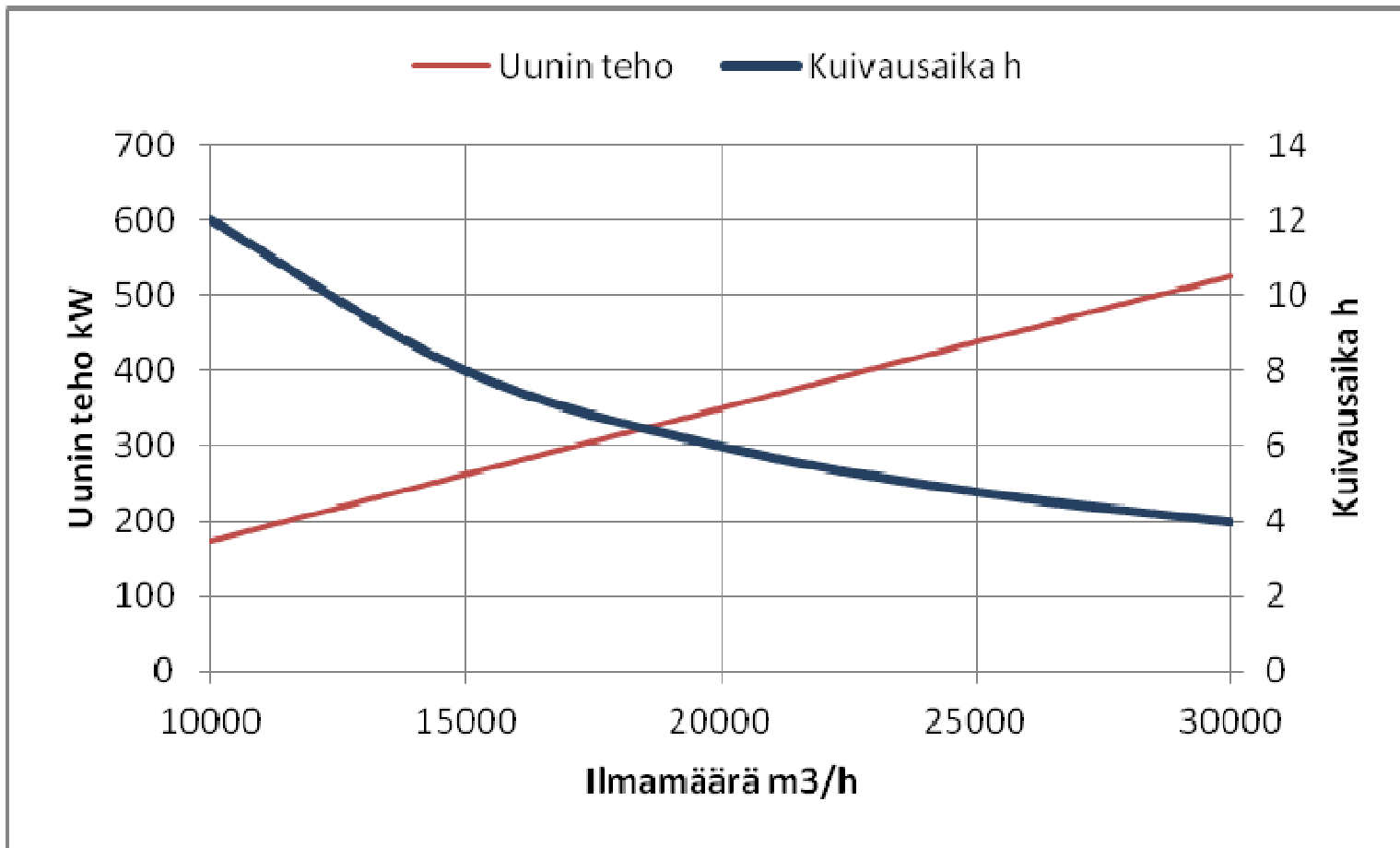
$q_x$  = kosteuden poistonopeus

$x_3, x_2$  = tilapisteiden kosteussuhteet



# Uunin tehon vaikutus

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

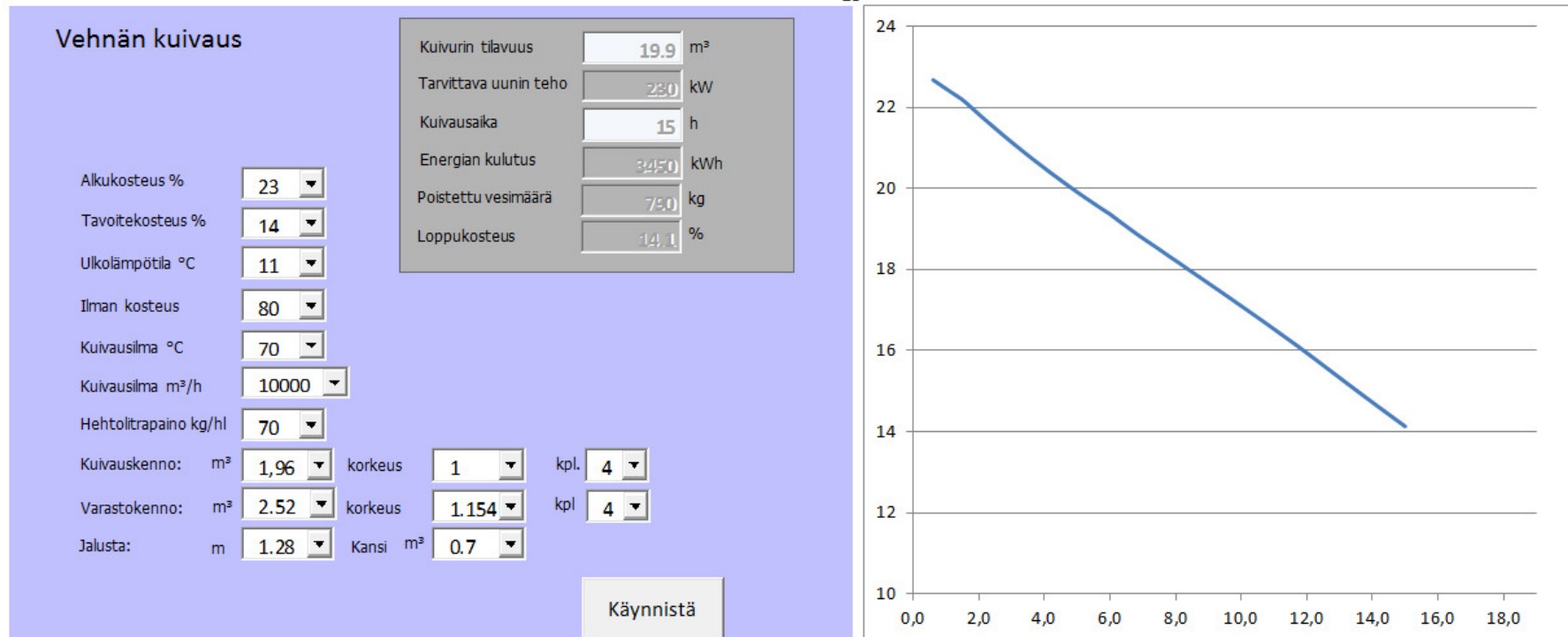


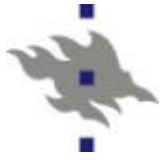




# Uunin koko

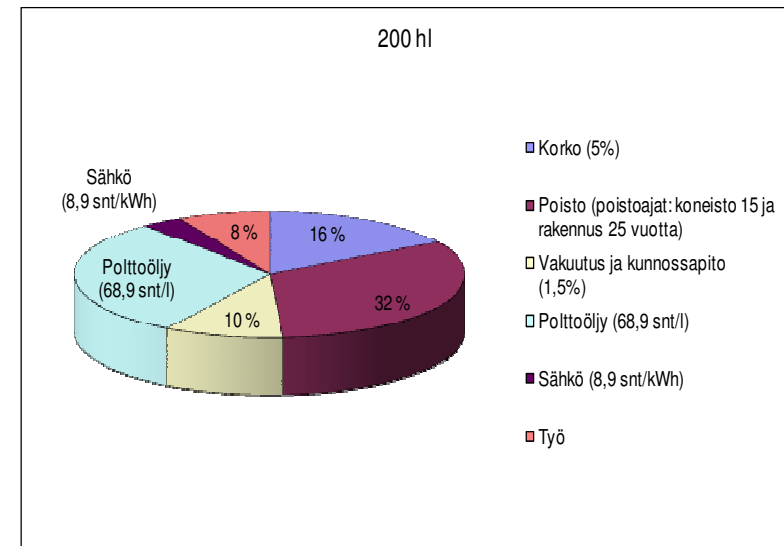
15





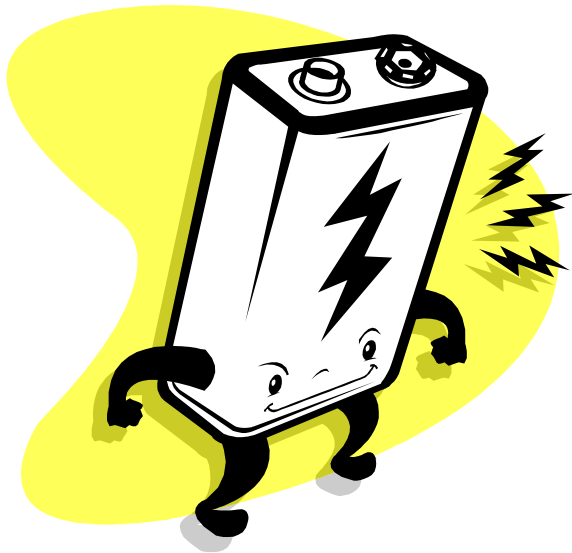
## Säästömahdollisuuksia

- 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 !

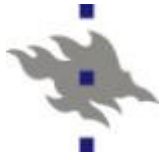




## Energian säästö



- 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

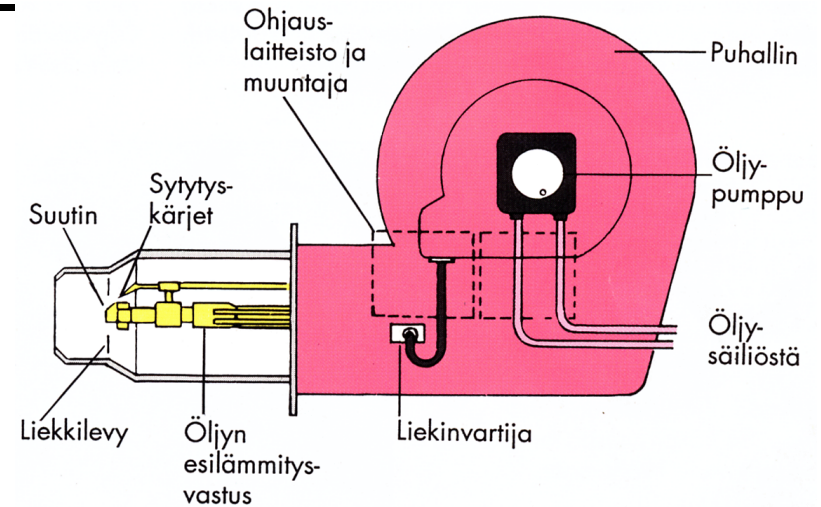
Laskentaperuste	Vilja-ala	100 ha
	Puintikosteus	22 %
	Varastointikosteus	13 %
	Sato	3500 kg/ha

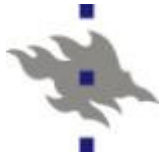
## Öljypolttimen säätö, vaikutus 0 – 15 %

### Energiansäästö

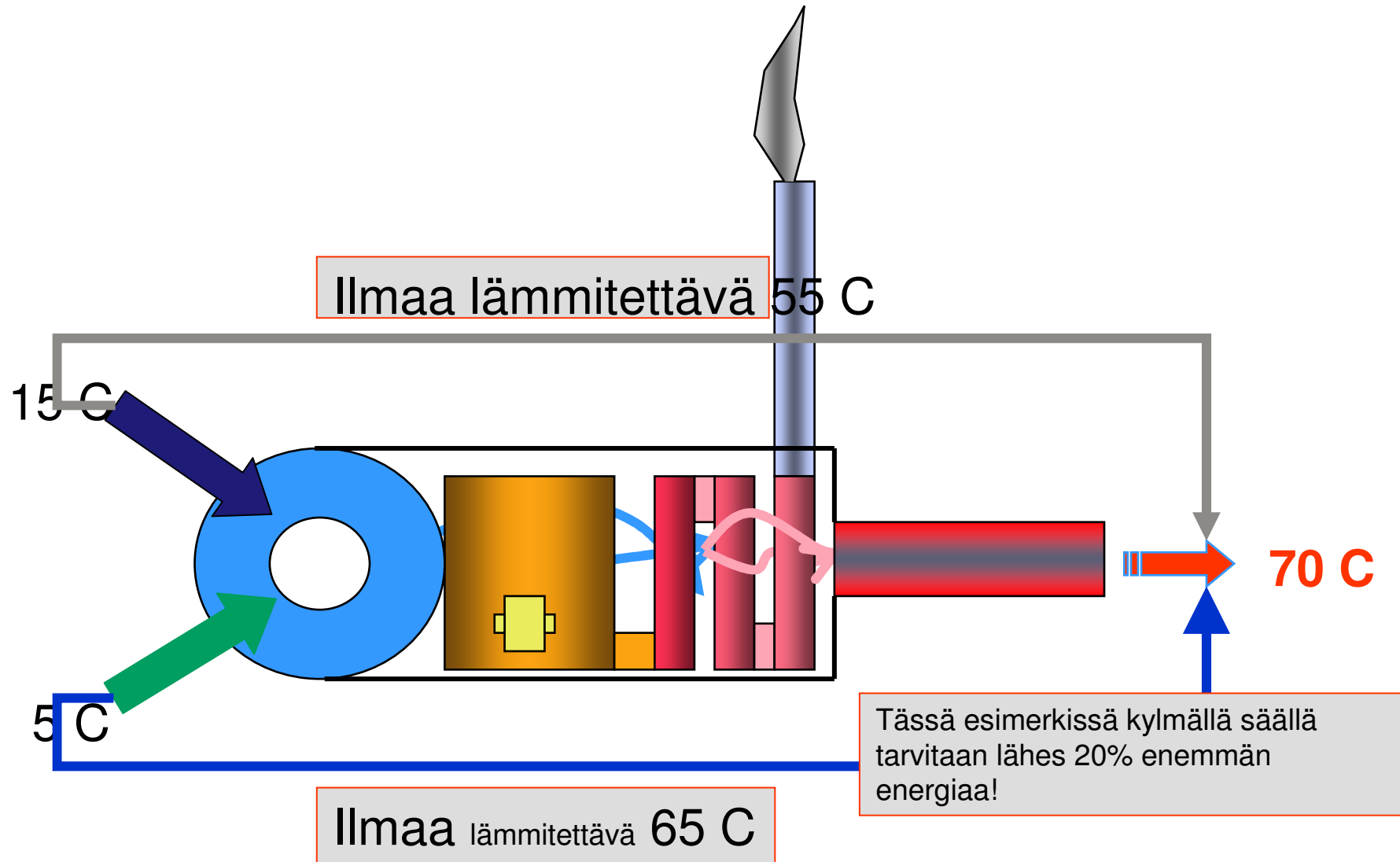
Kustannus €	400
Säästö	5,0 %

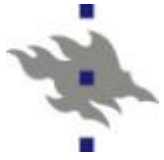
Säästö €/v	190
Takaisinmaksuaika v	2,1





# Kuivaaminen hyvän sään aika

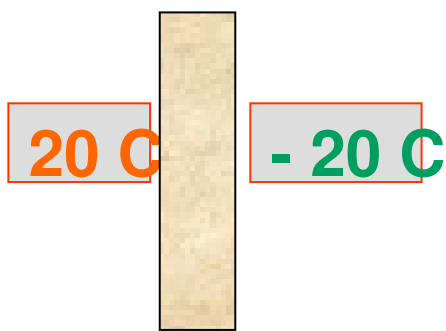




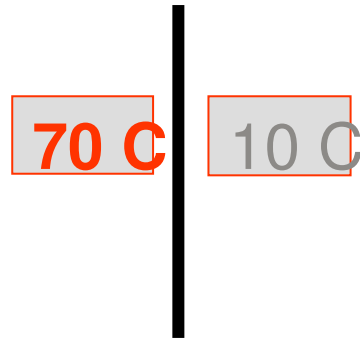
# Eristäminen

## Kuivurin eristäminen, vaikutus 10 – 20 %

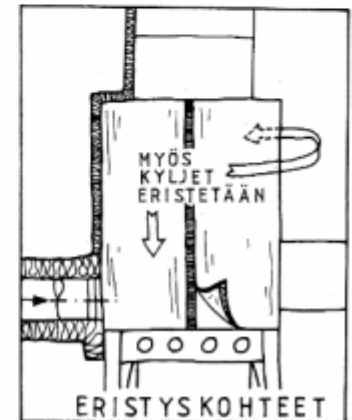
Energiansäästö	
Kustannus €	2000
Säästö	10,0 %
<hr/>	
Säästö €/v	379
Takaisinmaksuaika v	5,3



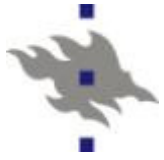
Talo



Kuivuri

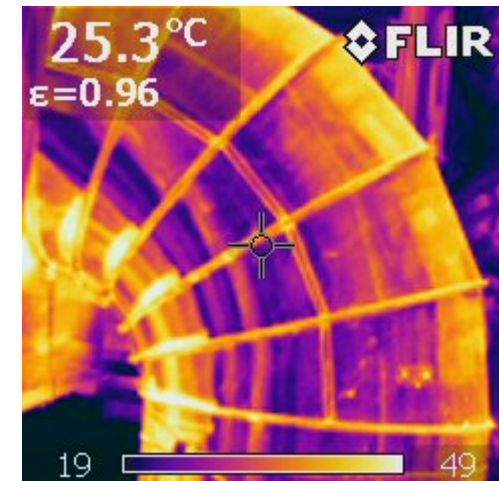
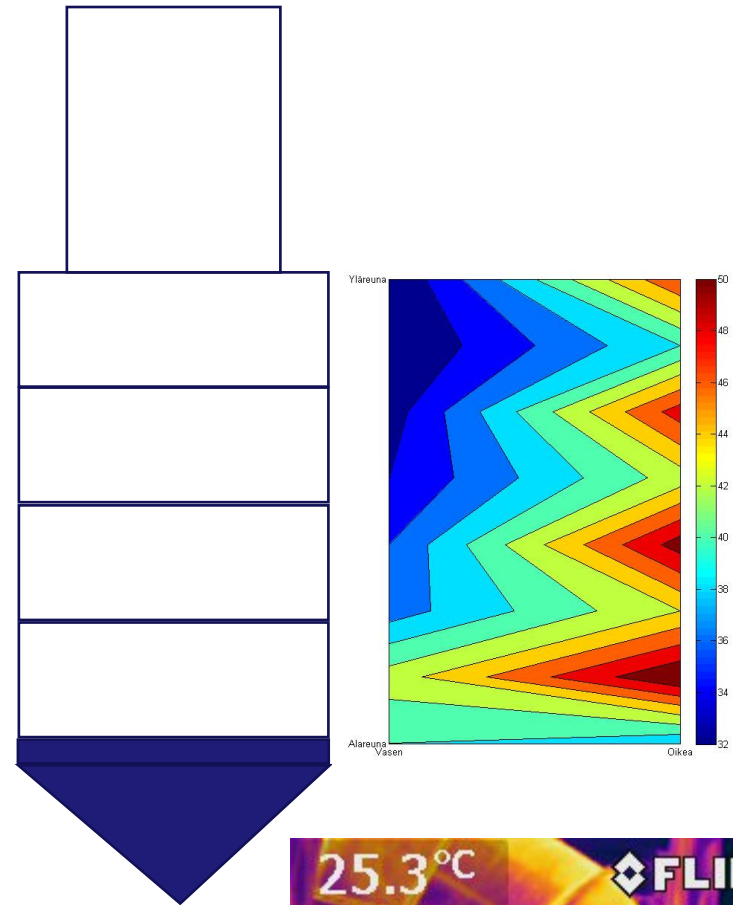


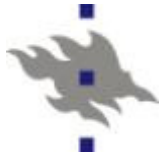
Eristäminen lyhentää myös kuivausaikaa !



## 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





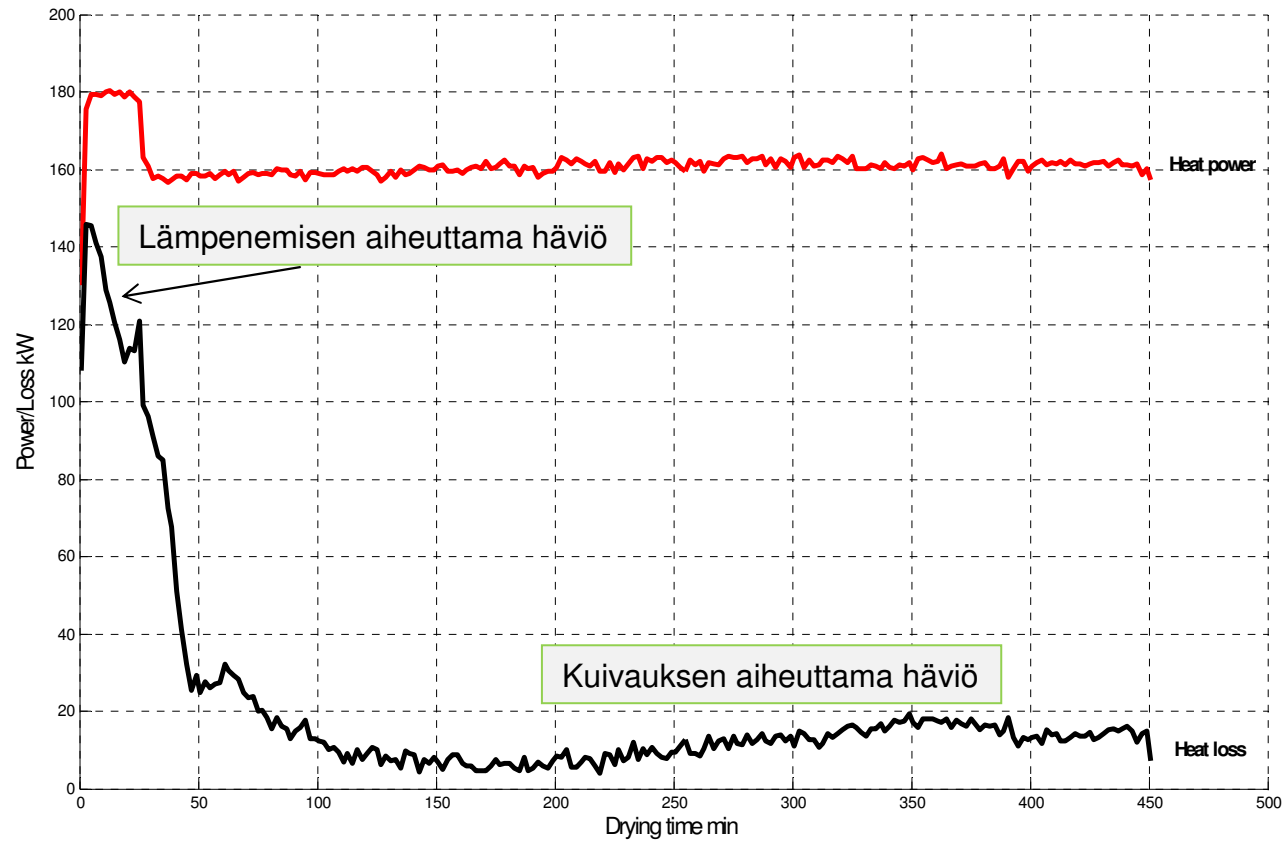
## Eristäminen

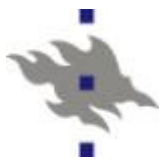






# Kuivurin lämpöhäviö





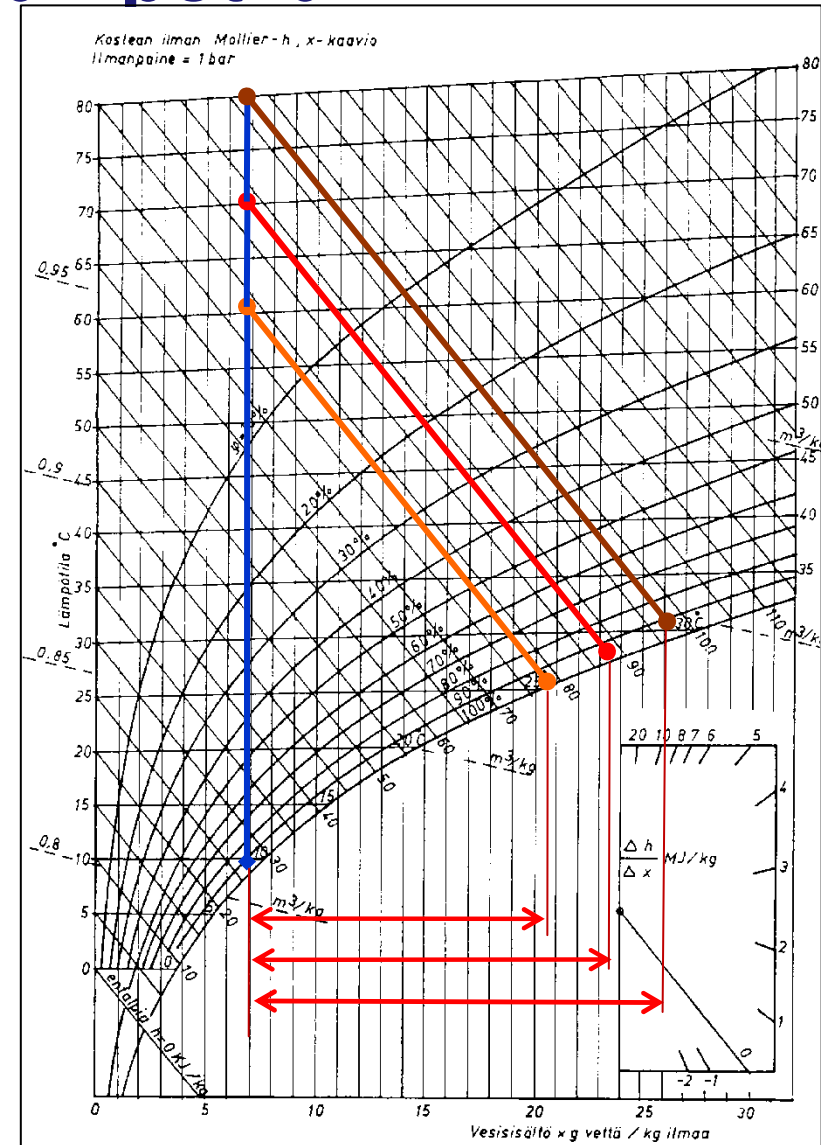
# Tuloksia

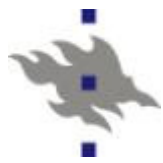
Erä	Alkukosteus [%]	Kuivausaika eristämättömässä kuivurissa [h]	Kuivausaika eristetyssä kuivurissa [h]	Kapasiteetin lisäys [%]	Kaasun kulutus eristämättömässä kuivurissa [m3]	Kaasun kulutus eristetyssä kuivurissa [m3]	Energian säästö [%]
1	24	5	4,8	4	209	182	13
2	21	6	4,2	30	209	156	25
3	22	3,5	3,5	0	144	134	7
4	17	2,4	1,9	21	99	71	28
5	15,5	1,9	1,7	11	78	65	17
6	19,5	3,2	2,6	19	128	98	23
7	16	1,8	1,4	22	72	51	29
<b>Keskiarvo</b>				<b>15</b>			<b>20 %</b>



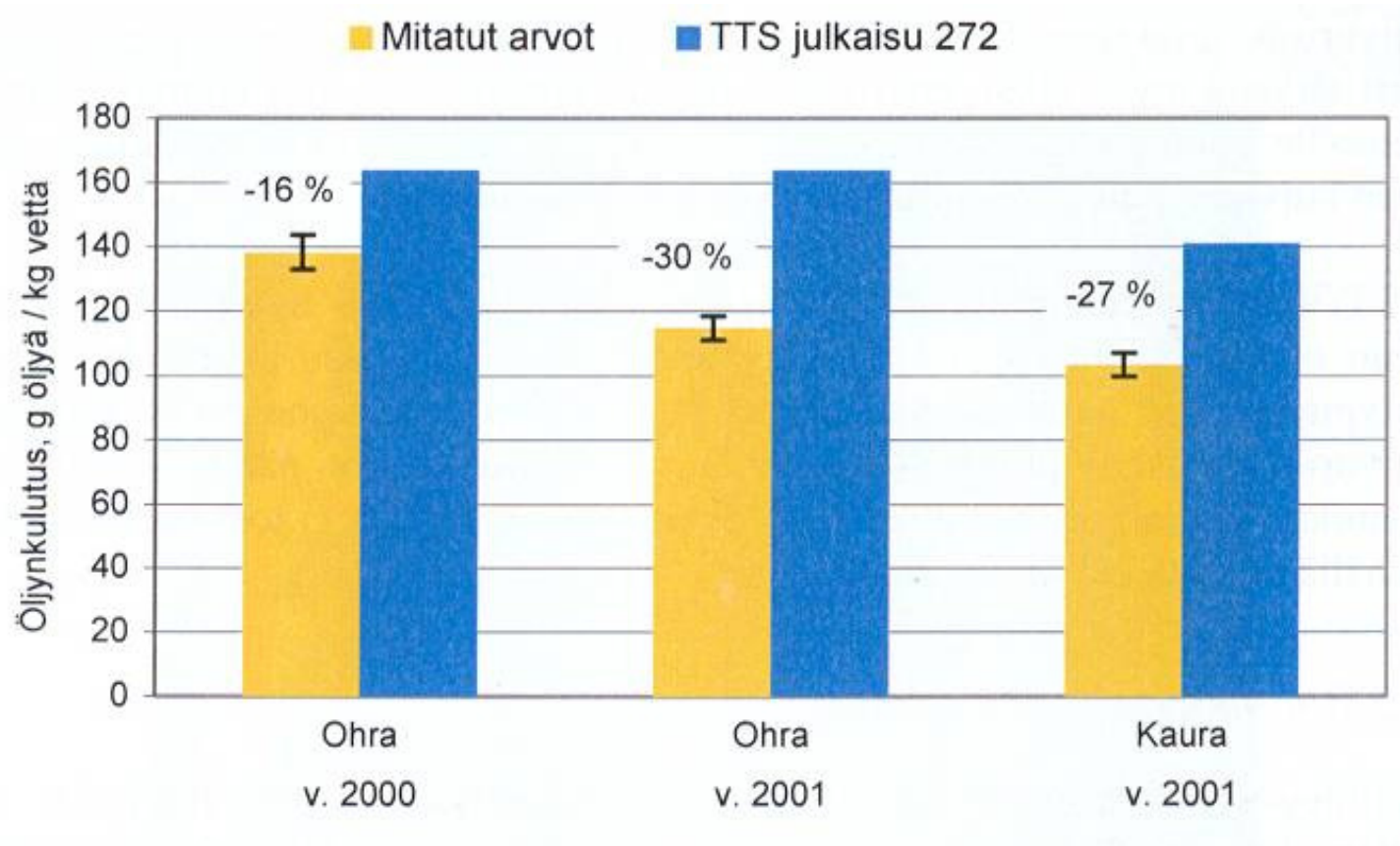
# Korkea kuivauslämpötila

- 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

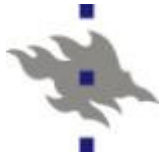




# Tuloksia kuivausilman lämpötilan noston vaikutuksesta

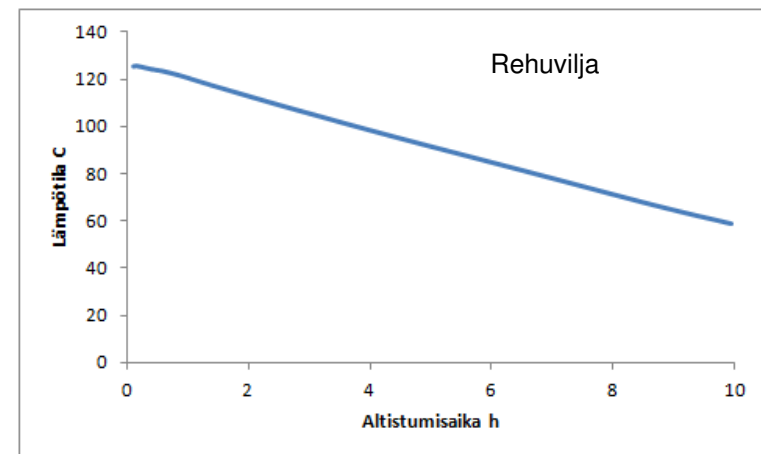
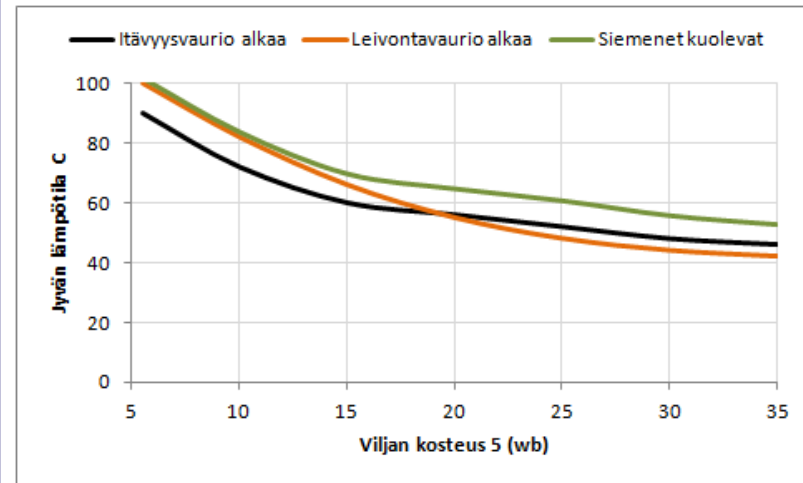


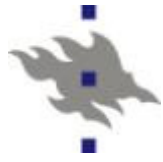
Lähde: Suomi et al. 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla. Maa- ja elintarvike 31.



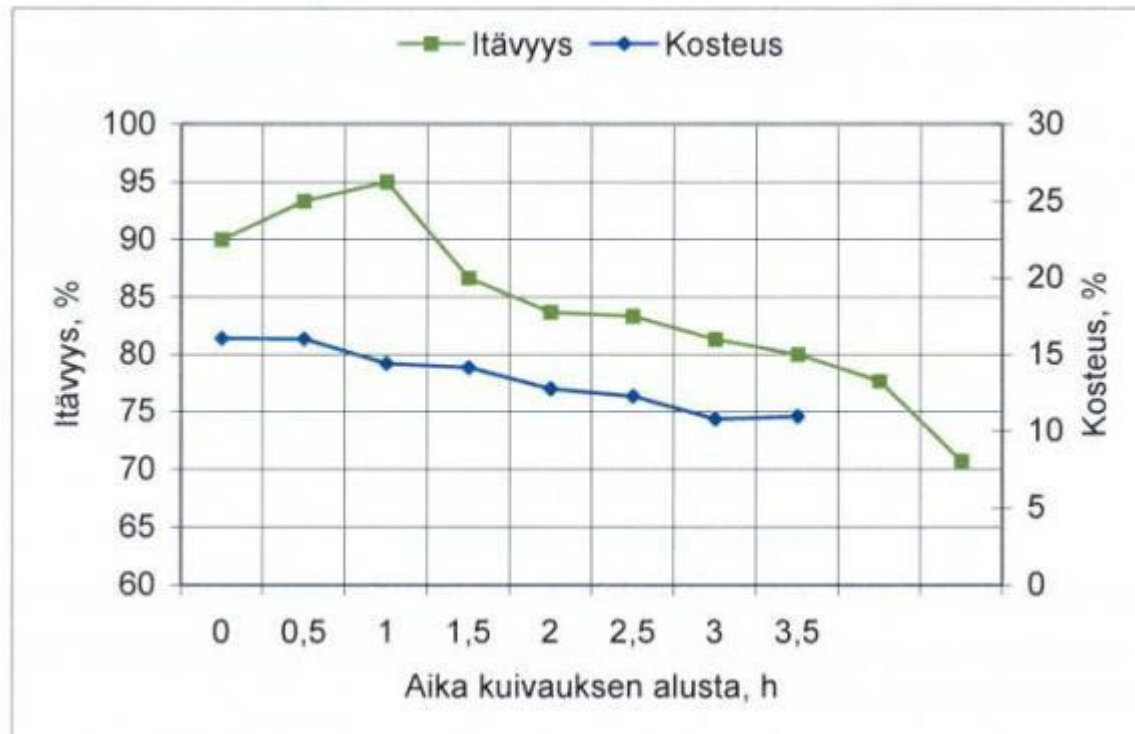
# Viljan lämmönkestävyyteen vaikuttaa

- **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 !**

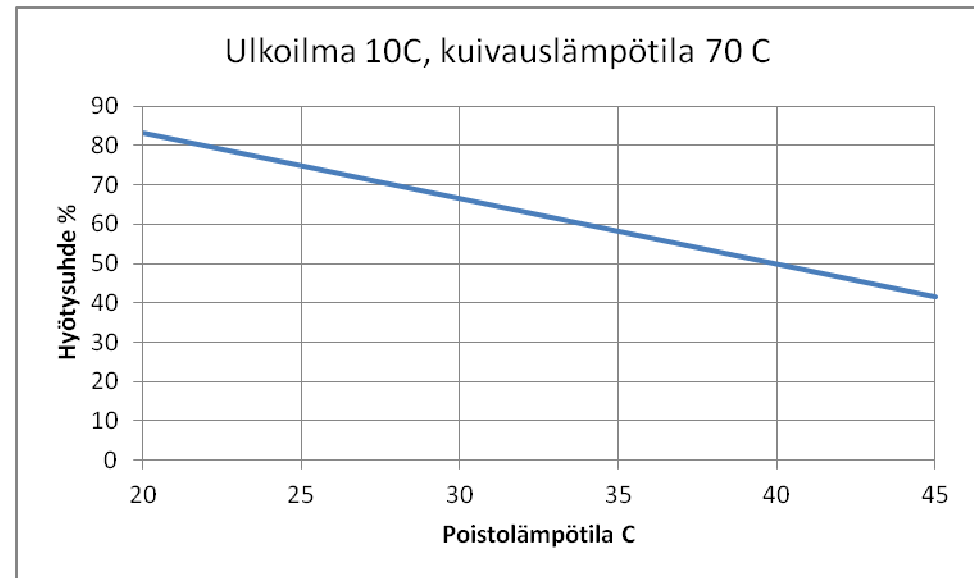
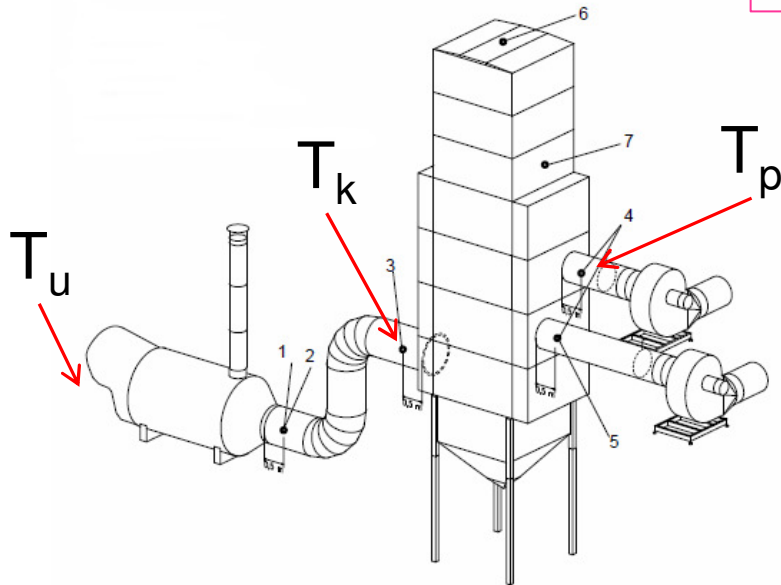
Lähde: Suomi et al. 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla. Maa- ja elintarvike 31.

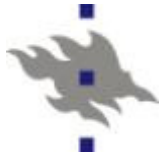


# Kuivauksen hyötysuhde

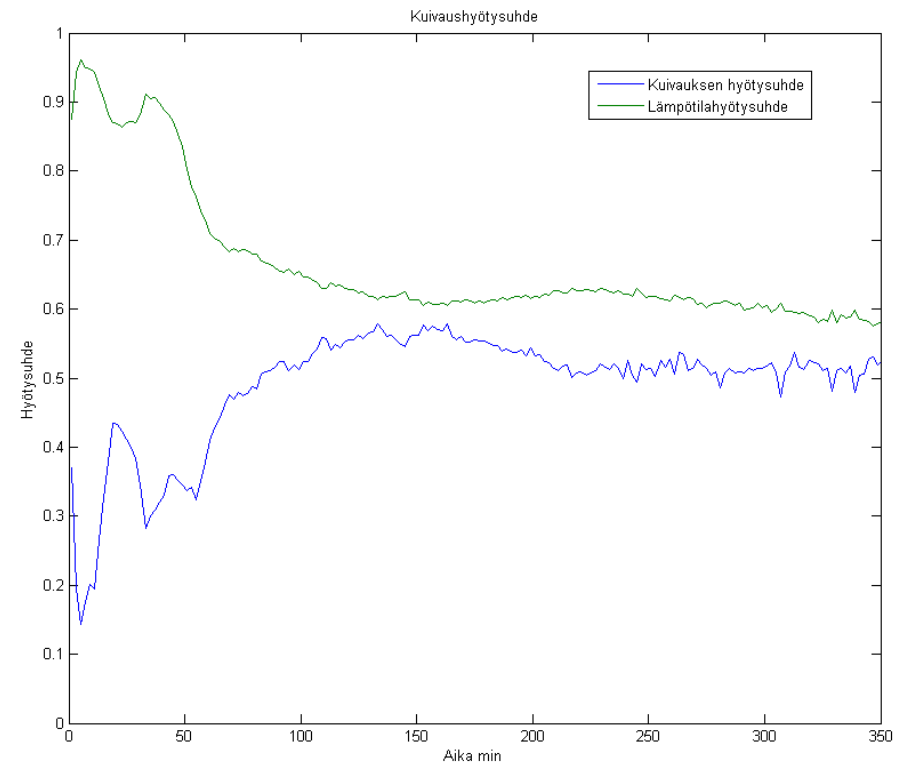
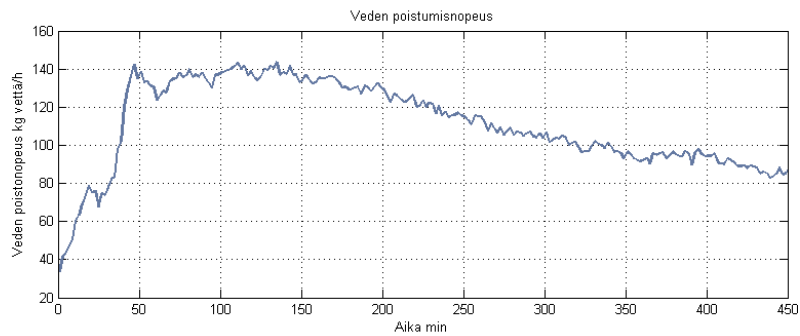
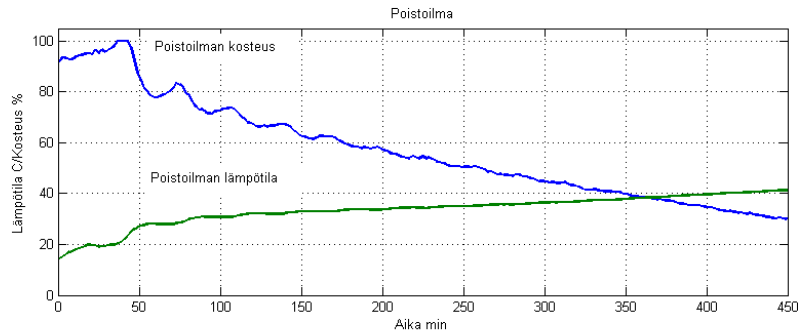
- Kuivaukselle voidaan laskea hyötysuhde, esimerkiksi lämpötilahyötysuhde on helppo todeta kuivaus- ( $T_k$ ), poisto- ( $T_p$ ) ja ulkoilman ( $T_u$ ) lämpötilojen avulla

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





# Kuivuminen

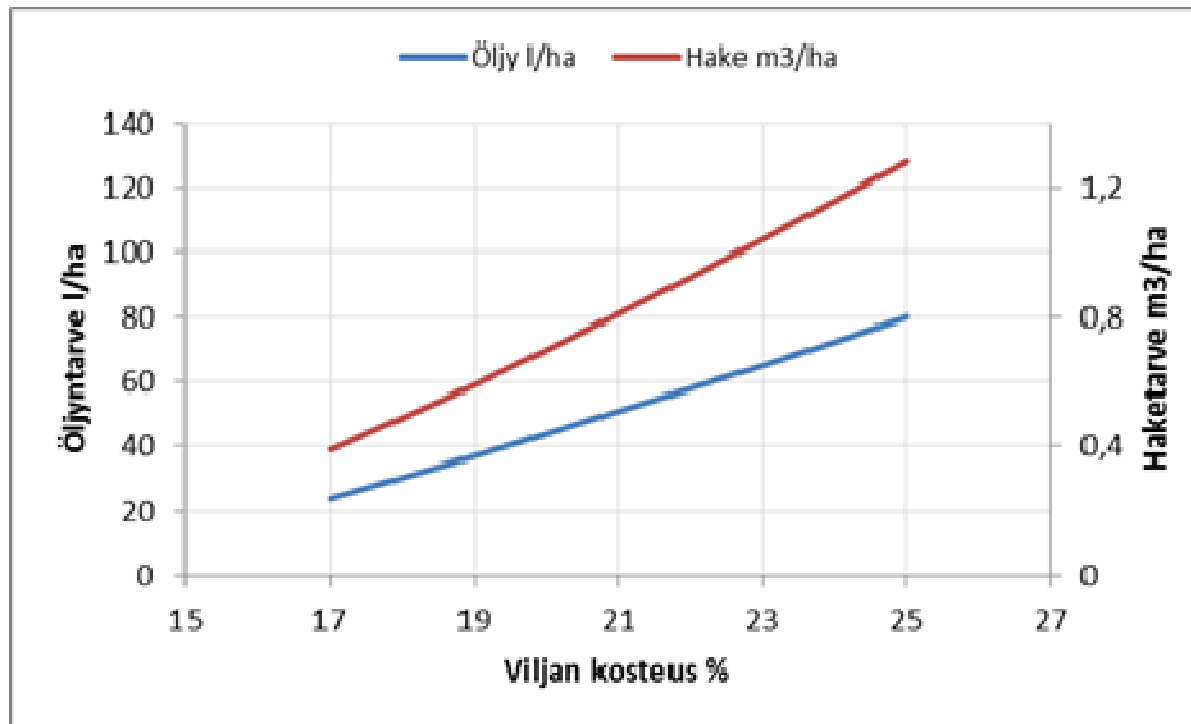


*Lämpötilahyötysuhde ei sovellu imukuivureille !*





# Puintikosteus

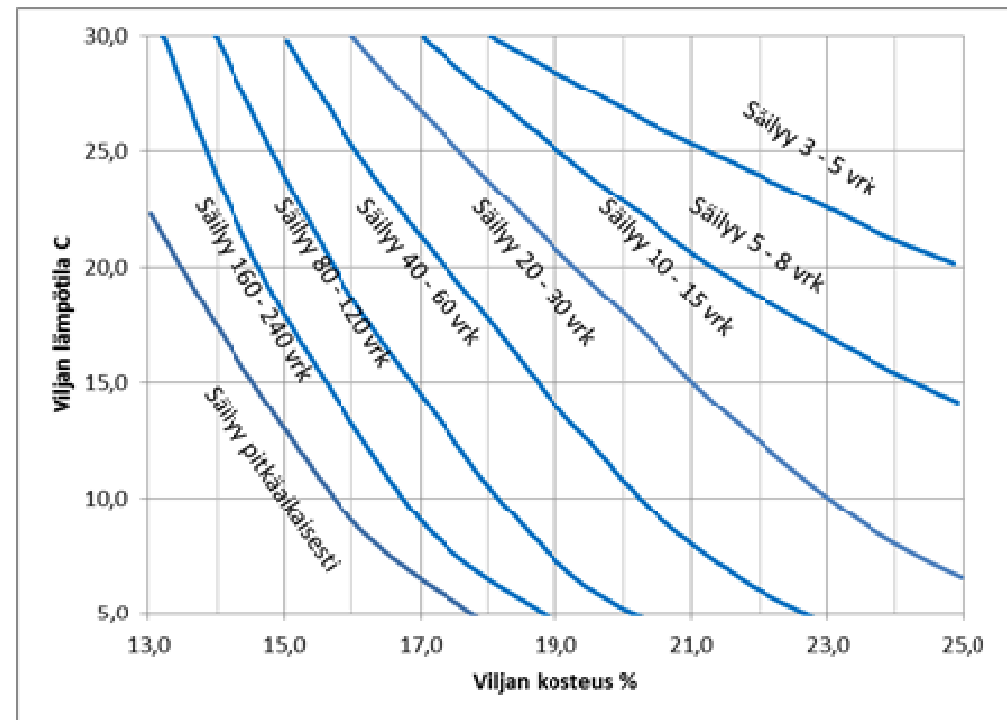


- Mätkä vilja tarvitsee enemmän energiaa kuivaukseen
- Voiko sopivaa puintikosteutta odottaa?



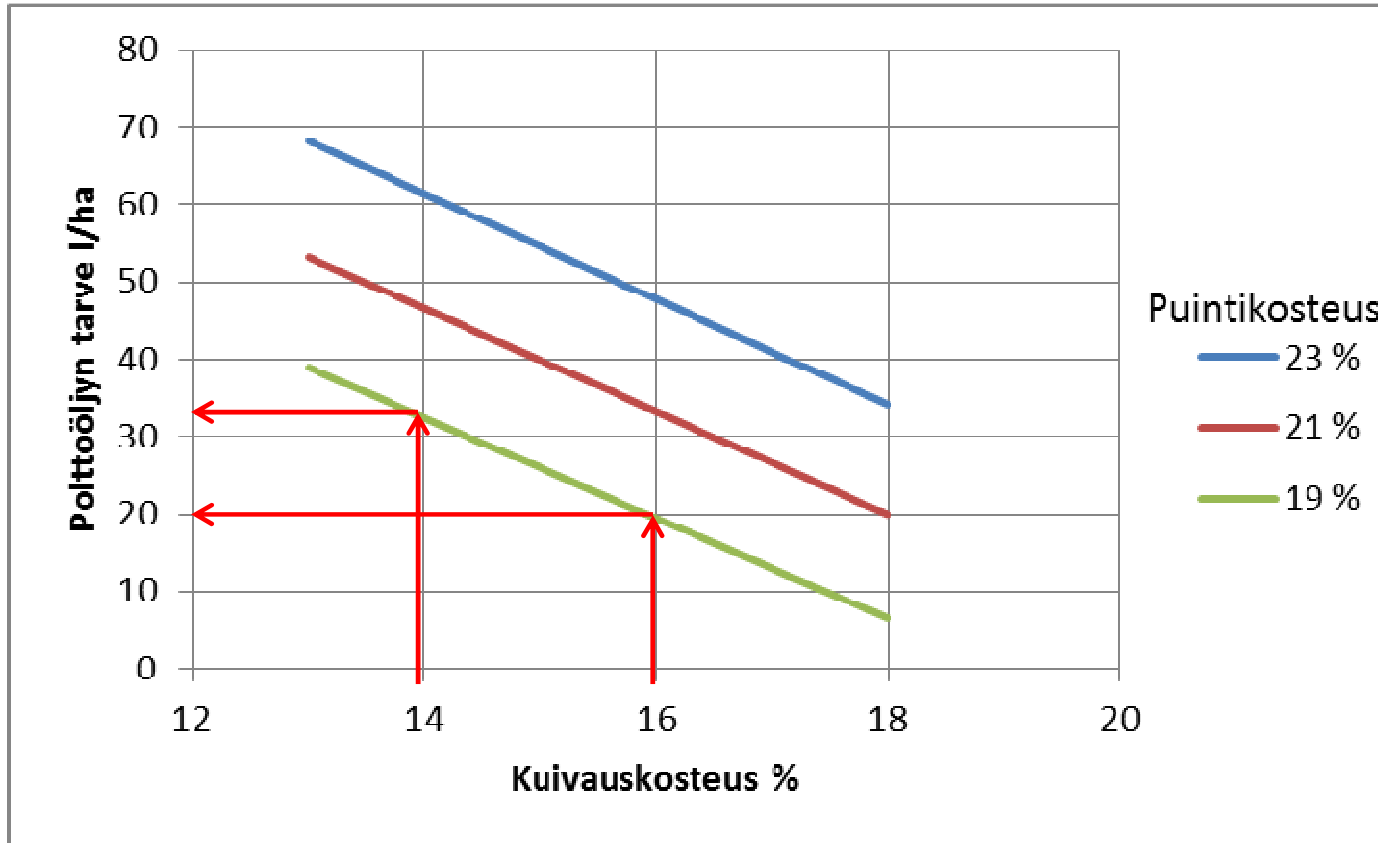
# Kuivauskosteus

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

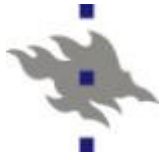




# Kuivauskosteus



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



# 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



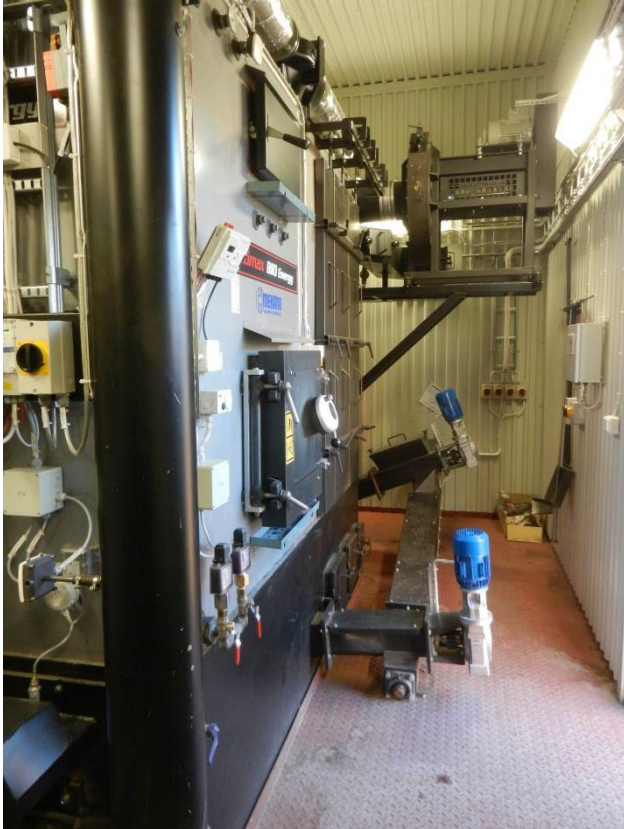
# Hakkeen kannattavuus



Microsoft Excel - Worksheet: C10			
	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>Polttoöljy</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			



# Lämpökeskuksen hyödyntäminen



- Tilan lämpökeskusta voitaisiin hyödyntää kuivurissa
  - Tehontarpeet ovat kuitenkin täysin eriluokkaa
    - Kuivuri 400 kW
    - Asuinrakennus 20 kW
  - Jos tilalla lämmitetään muita kuin asuinrakennuksia, silloin tehontarve voi olla 100 – 200 kW, vielä selvästi pienempi kuin kuivurin tarve
- Onko lämmityksillä jotain yhteistä
  - Polttoainevarasto ja siihen liittyvät toiminnot
- Voidaanko kattiloita kehittää
  - Biokattilaa voitaisiin ylikuormittaa?
  - Nimellisteho ja suurin teho ovat erisuuret



## Muita säilöntätapoja

- Happosäilöntä
  - Happo aiheuttaa turvallisuus- ja syöpymäriskin
  - Oma työvaiheensa
  - Sopii märehitijöille ja yksimahaisille
- Murskesäilöntä
  - Vilja murskataan valssimyllyllä
  - Suuri työmenekki
  - Happo aiheuttaa työturvallisuus ja materiaaliriskin
  - Varastoidaan tiiviisiin siloihin peitettyinä ja painotettuna
- Ilmatiivis säilöntä
  - Vaatii ilmatiiviin rakenteen ja 'käsittelyn'
  - Edullinen menetelmä suurilla viljamäärillä
  - Suuret pääomakustannukset, pienet käyttökustannukset
  - Ei tarvita säilöntäaineita
  - Sopii märehitijöille ja yksimahaisille

**NÄITÄ TAPOJA KANNATTAISI KEHITTÄÄ EDELLEEN!**





# 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