



VAKOLA

PPA 1
03400 VIHTI
(913) 46211

VALTION MAATALOUSKONEIDEN TUTKIMUSLAITOS
FINNISH RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY

Viljankuivausopas

Tekn. Ossi Mäkelä

Vakolan tiedote 35/83

ERIPAINOS KONEVIESTI n:o 13/83

Viljan kuivaus aiheuttaa maamme maataloudelle huomattavia kustannuksia. Keskimääräinen kuivauskustannus on noin 20 p/kg. Tämä merkitsee keskimääräisenä satovuonna kokonaisuudessaan noin 600 miljoonaa markkaa. Kuivurin käyttäjä voi omalta osaltaan pienentää kuivauskustannuksia hankkimalla oikein mitoitettun kuivurin ja käyttämällä sitä tehokkaasti. Kuivurin uusimisen tultua ajankohtaiseksi voidaan samalla harkita eri polttoainevaihtoehtoja. Tämä kirjoitus on laadittu helpottamaan uuden kuivurin valintaa ja neuvomaan, miten energiakustannuksia voidaan pienentää jo käytössä olevilla kuivureilla.

Viljan säilyminen

Säilyäkseen varastoinnissa käyttökelpoisena pitää vilja käsitellä puinnin jälkeen. Yleisin menetelmä on viljan kuivaus. Vilja voidaan myös jäähdyttää, säilyttää ilmatiivissä varastossa tai happokäsitellä.

Tarvittava viljan kuivausaste riippuu varastoinnin kestoajasta ja säilytyslämpötilasta, sekä viljan käyttötarkoituksesta. Leipä- ja siemenvilja joudutaan kuivamaan pitkäaikaista varastointia varten, siksi ne kuivataan noin 14 % kosteuteen. Omalla tilalla käytettävä rehuvilja säilytetään yleensä yhden talven yli. Lyhyen ja kylmän varastointiajan ansiosta tämä rehuvilja voidaankin jättää kosteammaksi.

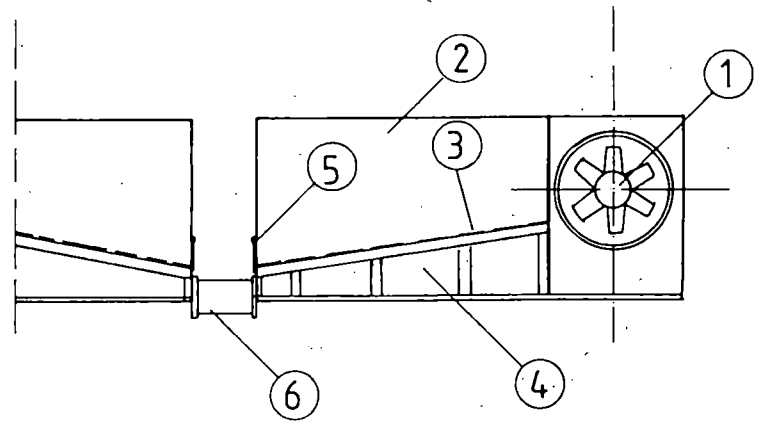
Kuivurityypit

Maassamme on tällä hetkellä noin 65 000 viljan kuivaamaa. Kylmäilmakuivureita näistä on noin 17 000 kpl ja loput ovat erityyppisiä lämminilmakuivureita.

Lämminilmakuivuri

Lämminilmakuivureista yleisin on siilokuivuri. Lisäksi on useita eri tyyppisiä lava-, ym. kuivureita. Tässä kirjoituksessa tarkastellaan ainoastaan siilokuivuria.

Siilokuivurin kuivausyksikkö koostuu kuivauskennoista ja varastokennoista. Viljaa kierrätetään kuivurin lävitse, jolloin kuivauskennossa viljan lämpötila nousee ja samalla kuivausilma sitoo itseensä kosteutta jyvän pinnasta. Varastokennossa kos-



Kylmäilmakuivurin periaate. 1. Puhallin, 2. Kuivauslaari, 3. Suomulevy, 4. Ilmatila, 5. Tyhjennysluukku, 6. Viljan kuljetin.

teus siirtyy jyvän pintaan sen sisäosasta. Viljan kierrätyksen ansiosta kuivausilman lämpötila voidaan pitää korkeana viljan laadun ja itävyyden huonontumatta. Korkeassa lämpötilassa viljan kuivuminen on tehokkainta.

Jyvän ulkokerros läpäisee huonosti vettä ja kosteus jyvän sisältä siirtyy hitaasti pintaan. Siksi on tärkeää, että vilja saa varastokennossa "hikoilla", eikä jyvän pinta kuivu liian nopeasti.

Kylmäilmakuivuri

Kylmäilmakuivurissa viljakerroksen lävitse puhalletaan lämmittämätöntä tai hieman lämmitettyä ilmaa. Tyypillinen kylmäilmakuivuri on tasokuivuri, joka on jaettu laareihin. Laarien pohjana on suomulevy.

Kylmäilmakuivurissa viljan kuivuminen alkaa pohjalta, ja alusta pintakerros voi kostua huomattavasti lisää. Seurauksena vilja saattaa kuorettua ja paakkuuntua. Siksi kuivurin kuivausmiskyky, ilmamäärä ja viljakerroksen paksuus on sovitettava toisiinsa niin, että myös ylimmät viljakerrokset kuivuvat niin nopeasti, ettei vilja ehdi pilaantua.

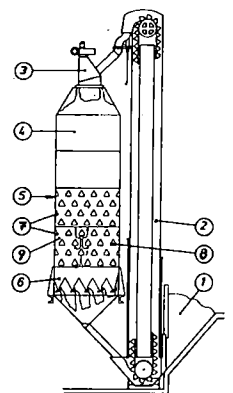
Kostea viljaa joudutaan joskus sekoittamaan kuivurissa paakkuuntumisen estämiseksi. Kuivausilman lämpötilan nostaminen muutamalla asteella varmistaa viljan kuivumisen myös epäedullisissa sääolosuhteissa. Ilman lisälämmitystä voidaan viljaa joutua kuivamaan seuraavana keväänä riittävän alhaisen kosteuden saavuttamiseksi. Kuivauksessa päästään helposti 20 % kosteuteen, mutta 14...15 % kosteuteen pääseminen on vaikeaa ilman lisälämpöä.

Energian kulutus hyvin toimivassa kylmäilmakuivauksessa on huomattavasti pienempi kuin lämminilmakuivauksessa. Kokonaiskustannukset haihdutettua vesikiloa kohti lämminilmakuivauksessa ovat 21...23 p/kg ja kylmäilmakuivauksessa 10...12 p/kg.

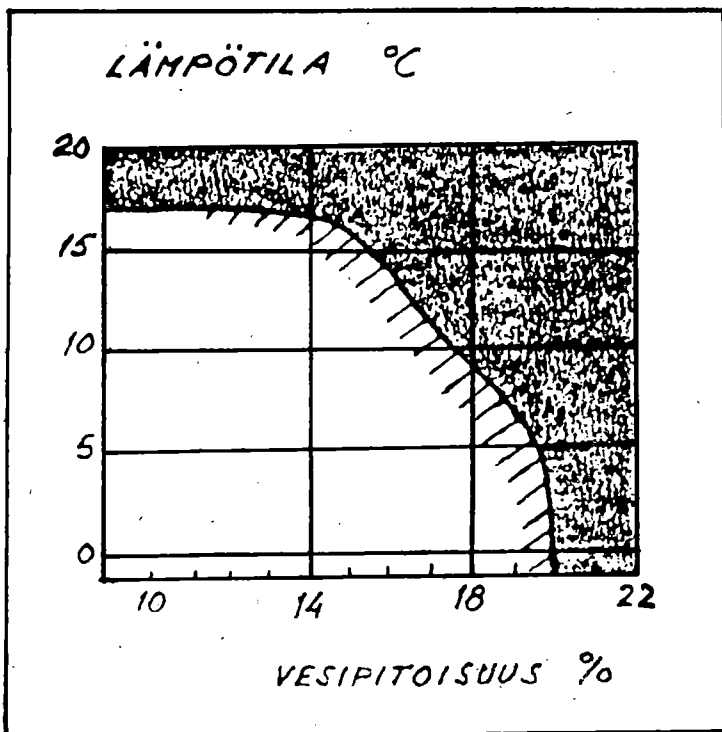
Kuivurin mitoitus

Valitaanpa maatilalle kumpi tahansa, lämminilma- tai kylmäilmakuivuri, on sen teho ja tilavuus sovitettava yhteen viljelyalan sekä viljan korjuuketjun muiden koneiden kanssa.

Hyvien puinti-ilmojen jatkuessa pitempään lämminilmakuivuri on ilman muuta ketjun hitain lenkki ja ruuhkautuu. Kuivurin kokoa suurentamalla nousevat kuivauskustannukset kiloa kohden helposti kohtuuttoman korkeiksi, mikäli vuosittain kuivattava viljamäärä pysyy samana. Kuivurin kokoa suurentamalla kasvavat myös kuivurin odotusaika ja eränvaihto-aika, joten kuivurin kuivausaste ei nouse samassa suhteessa tilavuuden kanssa. Kuivurin ruuhkautuminen voidaan estää rakentamalla kuivurin yhteyteen kylmäilmakuivuri. Lämmönvaihtimella voidaan lämminilmakuivurin poistoilmasta ottaa lisälämpöä kylmäilmakuivuriin, jolloin kuivaus kylmäilmakuivurissa saadaan nopeammaksi ja lämminilmakuivurin poistolämpö hyödynnettyä.



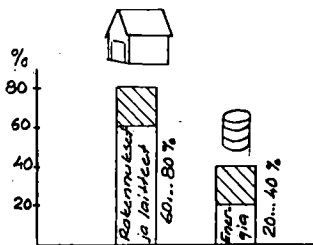
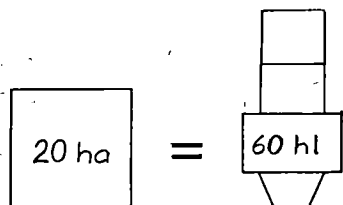
Siilokuivurin periaate. 1. Kaatosuppilo, 2. Elevaattori, 3. Esi-puhdistin, 4. Viljasäiliö, 5. Kuivauskenno, 6. Syöttölaite, 7. Tuolpuolen harjakenno, 8. Poistopuolen harjakenno, 9. Viljakerros.



Kuvassa viljan vesipitoisuuden ja lämpötilan vaikutus pitkäaikaiseen varastointikestävyyteen. Valkoisella alueella viljan säilyminen on varmaa. Viivoitetulla alueella lämpötilaa pitää valvoa tarkoin.

Lämminilmakuivurin mitoitus

Kuivurikoon valinta on käytännössä aina tilakohtainen. Nyrkisääntönä voitaisi pitää sitä, että kuivurin koko hehtolitroina saadaan kertomalla tilan vilja-alan hehtaarimäärä 3...3,5:llä. Ohje pitää hyvin paikkansa pienille ja keskikokoisille tiloille. Tämä merkitsee sitä, että hehtaarisadon ollessa 3000 kg kuivurilla kuivataan noin 20 täyttä erää vuodessa.



Kuivauskustannusten jakautuminen.

Käytännössä pienille tiloille kuivuri yleensä ylimitoitetaan, jotta nykyisten pumureiden päivittäiset puintimäärät pystytään myös kuivaamaan.

Kuvassa 1 on esitetty lämminilmakuivurin koko sadon määrän ja kuivauserien lukumäärän vaihdellessa. Mitä vähemmän kuivauseriä, sen varmemmin sato saadaan talteen. Toisaalta mitä enemmän kuivauseriä, sitä halvemmaksi kuivaaminen tulee.

On muistettava, että kuivauskustannuksista 60...80 % muodostuu rakennus- ja laitekustannuksista. Kuivauserien lukumäärää lisäämällä voidaan alentaa kuivauskustannuksia helpommin kuin energiansäästötoimenpiteillä. Tämän vuoksi voitaisi suositella kuivurin mitoittamista 30 kuivauserän mukaan. Tällöin jouduttaisiin kuivaamaan myös yöaikaan, mitä kuitenkin pitäisi mahdollisuuksien mukaan suuremman energiankulutuksen takia välttää.

Kuivuriuunin teho on sovitettava kuivurin koon ja haihdutustehon mukaan. Ylisuurella kuivuriuunilla teoreettista kuivausaikaa voidaan lyhentää, mutta uunin tuottama suuri ilmamäärä ei ehdi kostua kulkiessaan viljakerroksen läpi ja kuivaus on epätaloudellista. Samalla jyvän pintakerros kuivuu nopeasti, mutta keskikosteus on varastointikosteutta

suurempi. Liian nopeasti kuivattu jyvä kostuu pinnaltaan kuivauksen jälkeen, ja vilja saattaa piilaantua varastossa.

Kuivurivalmistajat ovat valinneet uunin tehon eri kokosiin kuivureihin pitkäaikaisen kokemuksen perusteella. Kuivuriuunia ei pidä mennä ominpäin muuttamaan eri kokoiseksi kuin valmistaja suosittelee.

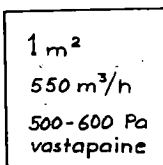
Kylmäilmakuivurin mitoitus

Kylmäilmakuivuri soveltuu hyvin ainoaksi kuivuriksi pienille ja keskisuurille tiloille, etenkin silloin kun kuivataan rehuviljaa. Kylmäilmakuivurin vastaanotto-kyky on alussa ja kuivauserän jälkeen suuri salliin siten suuretkin päivittäiset puintimäärät. Suuremmilla tiloilla kylmäilmakuivuria voidaan käyttää puskurivarastona, jolloin viljan tulo lämminilmakuivuriin saadaan jaettava pitemmälle ajalle. Kylmäilmakuivurissa saadaan viljan kosteus pudotettua helposti noin 20 prosenttiin, jonka jälkeen kuivausta jatketaan lämminilmakuivurissa. Viljan jälkituleentuminen jatkuu kylmäilmakuivauksessa, ja vilja kestää lämminilmakuivauksen paremmin itävyyden ja leivontaominaisuuksien alentumatta.

Kylmäilmakuivurin mitoittamiseen liittyy aina sääoloista aiheutuvia riskejä. Kun käytetään lisälämpöä, on kuivausaika puolta lyhyempi verrattuna kuivaukseen ilman lisälämpöä ja kuivuminen varmistuu sääoloista riippumatta. Ilman lisälämpöä voidaan olettaa viljan kuivuvan kymmenessä päivässä niin kuivaksi, että kerrospaksuutta voidaan lisätä siirtämällä vilja osaan laareista. Tällöin kuivurin varastointilavuus on noin 1,5 kertaa suurempi kuin kuivaustilavuus. Kuivurin koko voidaan mitoittaa siten, että sen kuivaustilavuus on 60...70 % koko sadon määrästä.

Lisälämpöä käyttäen voidaan kylmäilmakuivurissa kuivata kolmekin erää kuivauskaudella erän kuivausajan ollessa noin viisi päivää. Tällöin kuivuri voidaan mitoittaa puolta pienemmäksi.

Kuvassa 2 on esitetty kylmäilmakuivurin laaripinta-ala sadon määrän vaihdellessa.



Tasokylmäilmakuivurissa pidetään riittävänä ilmamääränä 550 m³/h kuivurin pohjapinta-alan neliometriä kohden, kun vastapaine on 500...600 Pa. Kerrospaksuutta muuttamalla voidaan ilmamäärää viljatonta kohden säätää.

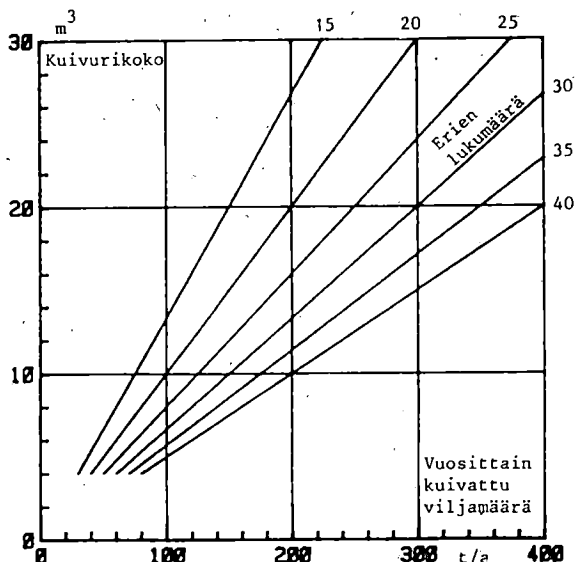
Viljan kosteuden ollessa 20 % viljakerroksen paksuus saa olla noin 90 cm. Vehnän aiheuttama vastapaine kuivurissa on tällöin noin 500...600 Pa. Tällöin potkuripuhaltimien antaman ilmamäärän on oltava noin 800 m³/t/h, joka vastaa vaadittua 550 m³/h/m² ilmamäärää.

Viljan kosteuden ollessa yli 30 % tarvitaan noin 1700 m³/t/h ilmamäärä, johon päästään samalla puhaltimella kun viljakerroksen paksuus on 60 cm. Kuivumisen edetessä voidaan viljakerroksen paksuutta lisätä.

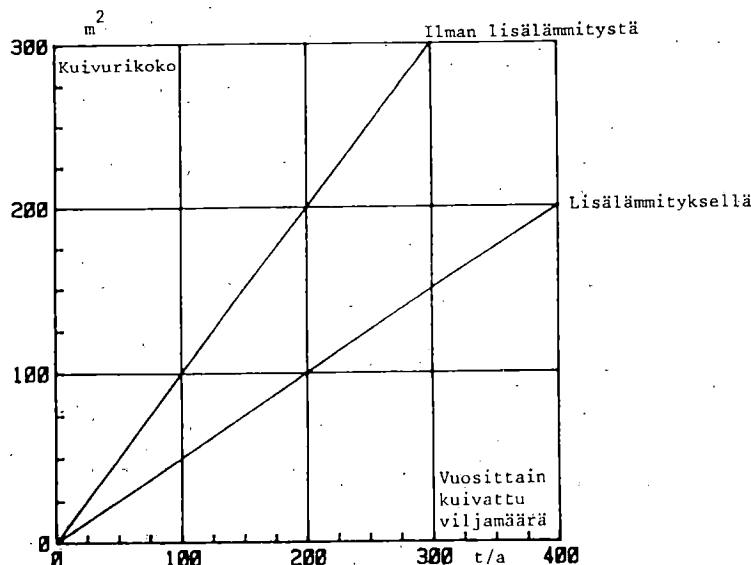
Kuvasta 3 saadaan vehnän aiheuttama vastapaine sen kosteuden ja kerrospaksuuden vaihdellessa. Kuvaa voidaan myös käyttää apuna määrittäessä sopivaa viljakerroksen paksuutta, kun tunnetaan puhaltimen antama ilmamäärä tietyllä vastapaineella. Rukiilla kerroksen pitää olla 10 cm ohuempi kuin vehnäl-

lä. Ohralla se saa olla 5 cm paksumpi ja kauralla 10 cm paksumpi kuin vehnällä.

Jos kylmäilmakuivuria käytetään epäedullisissa sääolosuhteissa, voidaan ilman kuivauskykyä parantaa lämmittämällä sitä. Yhden asteen lämpötilan nousua kohden suhteellinen ilman kosteus alenee noin 5 %-yksikköä. Sen alentamiseksi 85 %:sta 65 %:iin täytyy ilmaa siten lämmittää neljä astetta. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa 65 % kuivuu vilja 14 % kosteuteen. Käytännössä kolmekin lisälämpöastetta riittää, sillä ilma lämpenee jo puhaltimessa asteen verran. Kylmäilmakuivauksessa ei ole syytä lämmittää ilmaa enempää kuin vaaditaan sen suhteellisen kosteuden alentamiseksi 60...65 % tasolle. Kun ilman suhteellinen kosteus laskee tämän alapuolelle, kuivuvat alimmat kerrokset liian nopeasti ja samal-



Kuva 1. Lämminilmakuivurin koko sadon määrän (kuivaa viljaa) ja kuivauserien lukumäärän vaihdellessa.



Kuva 2. Kylmäilmakuivurin koko sadon määrän (kuivaa viljaa) vaihdellessa.

la viljan pintakerros kastuu ilman jäähtymisen ja vesihöyryn uudelleen tiivistymisen takia. Tällöin viljan pintakerros voi kuoretua.

Ilmahäviöiden välttämiseksi on ilman tulokanaviston oltava tiivis ja viljan kerrospaksuuden kaikkialla likimain saman. Puhaltimen ilmanotto on sijoitettava sellaiseen paikkaan, ettei kostea poistoilma pääse uudelleen kuivuriin. Poistoilma poistuu yleensä vapaasti ikkunoiden ja muiden aukkojen kautta ulkoilmaan. Poistoaukkoja tulee olla riittävästi.

Puskurikuivurin mitoitus

Joustavana vaihtoehtona on kylmäilmakuivurin ja lämminilmakuivurin yhdistelmä. Kostea vilja kuivataan aluksi kylmäilmakuivurissa ja loppukosteuteen lämminilmakuivurissa. Tällöin voidaan yhdistää kylmäilmakuivauksen suuri viljan vastaanottokyky ja hyvät määrän viljan kuivausominaisuudet lämminilmakuivurin varmuuteen ja nopeuteen.

Rakentamalla kylmäilmapuskurikuivuri lämminilmakuivurin yhteyteen voidaan lämmönvaihtimen avulla käyttää lämminilmakuivurin poistolämpö kylmäilmakuivurin lisälämpönä.

Kuivureiden mitoituksessa voidaan käyttää esim. seuraavaa tapaa. Jos kylmäilmakuivurissa ei käytetä lisälämpöä, kuivaus 30 % kosteudesta 20 % kosteuteen kestää keskimäärin 5 vrk. Puintipäivien, 15 vrk, sato saadaan kuivatuksi kolmessa eräs-

sä. Kuivurin koko saadaan kuvasta 2 ottamalla "ilman lisälämmitystä" kohdasta puolet sen ilmoittamasta pinta-alasta. Lämminilmakuivurin pitää tällöin puintikautena pystyä kuivaamaan kaksi kolmasosaa sadosta. Loppu kuivataan puintikauden jälkeen. Lämminilmakuivurin koko saadaan kuvasta 1 kuivauserien 35...40 kohdalta.

Kuivuriuunit öljyuunit

Öljiyuuni on yleisin lämminilmakuivurin lämmönlähde. Se on varmatoiminen ja helpohoitoinen sekä automatisoitavissa kuivauksen eri vaiheisiin.

Uusissa kuivuriuuneissa on parannettu taloudellisuutta lisäämällä lämmönvaihdinpinta-alaa ja muotoilemalla lämmönvaihdinta niin, että lämmönluovutus kuivausilmaan on mahdollisimman tehokasta. Tulipesän ja lämmönvaihtimen raaka-aineena käytetään nykyään seostettua tulen- ja haponkestävää terästä. Yli kymmenen vuotta vanhoja kuivuriuuneja tulisi tarkkailla huolellisesti mahdollisen tulipesän puhki palamisen ja lämmönvaihtimen syöpyymisen toteamiseksi ja korjaamiseksi. Puhki palaneet tulipinnat lisäävät palovaaraa ja aiheuttavat häiriöitä polttimen toiminnassa. Kuivuripalon vaara on ilmeinen varsinkin silloin, kun tulipesä on rikkoutunut ja uuni on kuivausilmapuhaltimen imupuolella niin

kuin vanhoissa uuneissa vielä on. Tällaiset uunit olisi vaihdettava uusiin.

Uuneissa käytettävät korkeaseosteiset teräslevyt saattavat murtua ja revetä hitsausaumoihin, sillä ne ovat hitsausominaisuuksiltaan huonoja ja vaativat yleensä lämpökäsittelyn hitsattaessa. Jos uunissa pääsee syntymään voimakas tussahdus poltinhäiriön trms. yhteydessä, on tämän jälkeen tutkittava hitsausaumojen pitävyys. Saumojen tiiviys voidaan todeta käynnistämällä kuivausilmapuhallin, jolloin öljypoltinaukosta tai liekintarkkailuaukosta ei saa tulla ilmavirtausta. Savuhormi pitää sulkea kokeen ajaksi, samoin kuivuriin menevä kuivausilmahormi.

Kuivuriuunin häiriöttömän ja taloudellisen käytön perustana on öljypolttimen hyvä kunto ja oikein säädetty polttimen ilmamäärä. Myös tulipintojen nuohous on tehtävä riittävän usein. Kun öljypoltin on säädetty oikein, tulipintojen nokeentuminen on vähäistä ja nuohousvälit saavat olla hyvin pitkkiä.

Käytössäolevien kuivuriuunien mittauksissa on saatu mitattujen uunien hyötysuhde paranemaan keskimäärin 2 %-yksikköä pelkästään palamisilman säätämällä. Ääritapauksena mainittakoon kuivuriuuni, jossa palamisilman määrää muuttamalla palamisen hyötysuhde nousi 7 %-yksikköä. Kuivausilman lämpötila nousi samalla 7°C ja savukaasujen lämpötila laski 50°C. Arvion mukaan tässä kuivurissa säästettiin säädon ansiosta n. 500 l polttoöljyä kuivauskauden aikana.

Polttimen kunto ja palamisilman määrä todetaan tarkimmin mittaamalla savukaasujen häikä- ja hiilidioksidipitoisuudet. Häikäpitoisuuden pitää öljypoltossa olla lähes nolla ja hiilidioksidipitoisuuden 13...14 %, maksimi n. 15 %.

Käytännössä polttimen ilmamäärä voidaan säätää melko hyvin savukaasujen värin perusteella. Ilmamäärä säädetään seuraavasti: Toiminnassa olevan uunin polttimen ilmamäärää pienennetään, kunnes savukaasujen väri muuttuu tummaksi. Tämän jälkeen ilmamäärää suurennetaan niin paljon, että tumma savu häviää ja savukaasut ovat värittömiä. Tällöin liekin väri on punertavan keltainen, reunoiltaan hiukan tummempi ja liekki täyttää koko tulipesän. Savupiipusta tuleva tumma savu on aina merkinä liian pienestä ilmamäärästä tai muutoin huonosta palamisesta.

Vaikka ilmamäärä säädetään polttimelle oikeaksi savukaasujen värin perusteella, ei voida olla varmoja siitä, että öljy palaa parhaalla mahdollisella hyötysuh-

teella. Jos suuttimen öljysumussa on pisaroita, sumu jakautuu epätasaisesti tulipesään, sumutuskuvio ei ole tulipesään sopiva tai sumutuksen hajotuslevy on väärin asennettu, joudutaan antamaan yli-ilmaa tulipesään, jotta palaminen saadaan täydelliseksi ja savukaasut noettomiksi. Tämä lisää savukaasujen määrää ja nostaa savukaasujen lämpötilaa. Palamishyötysuhde on tällöin useitakin prosenttiyksiköitä alhaisempi kuin hyvässä poltossa. Tämä voidaan todeta vain savukaasuanalyysin avulla.

Öljypolttimen huollossa tulisi tarkastaa, että polttimen valmistajan antamat asennusmitat ovat säilyneet. Polttimen suutin on kuuluva osa ja se tulisi vaihtaa uuteen määräajoin. Suuttimen sumutuskuvio pitää säilyttää samana. Suuttimen öljynpaine on mitattava ja säädettävä oikeaksi. Polttimen öljy-suodattimet on puhdistettava ennen kuivauskauden alkua.

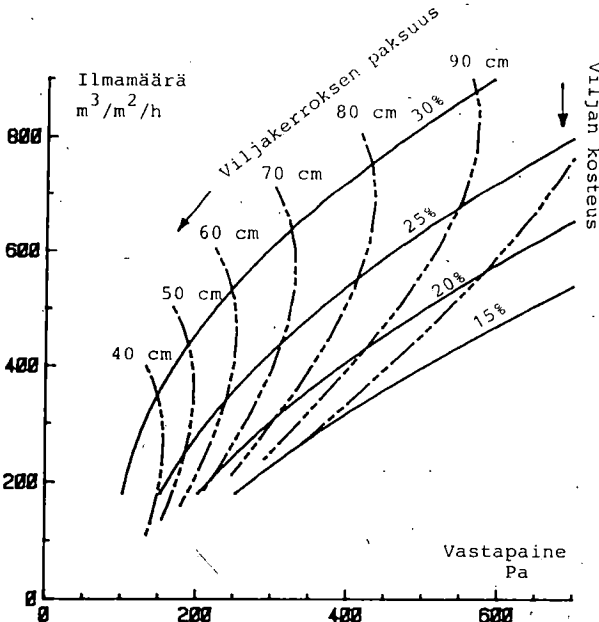
Savukaasujen lämpötilaa tulisi seurata savuhormiin asennettavalla lämpömittarilla. Nuohoustarve voidaan todeta vertaamalla savukaasujen lämpötilaa juuri nuohotun uunin savukaasujen lämpötilaan. Savukaasujen lämpötilan tulisi normaalkäytössä olla 200...250°C. Paloturvallisuusmääräysten mukaan savukaasujen lämpötila ei saa ylittää 350°C kuivuriuunin suurimmalla sallitulla polttoaineen kulutuksella.

Kotimaisen polttoaineen uunit

Markkinoille on tullut uusia kotimaisella polttoaineella toimivia kuivuriuuneja. Tähän on johtanut tuontienegian jatkuva hinnannousu sekä pyrkimys maatalouden lämmitysenergian omavaraisuuteen. Pienet uunit ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja lämmitystyöltään sitovia. Suuret uunit ovat automatisoituja ja toiminnaltaan lähes öljyuuneihin verrattavia viljankuivauksessa. Lämmitystyö on kuitenkin aina öljyuunin verrattuna suurempi ja sitovampi. Automaattiset polttoaineensyöttölaitteet myös nostavat näiden uunien hankintakustannuksia huomattavasti.

Yläpaloinen halkouuni on rakenteeltaan yksinkertainen ja hinnaltaan edullinen. Sen lämmöntuotanto on epätasainen ja lämmitystyö on sitovaa. Yläpaloinen uuni soveltuu tiloille, joilla kuivaus on vähäistä ja tilalla on lämmitystyöhön sopivaa työvoimaa. Yläpaloiseen uuniin on mahdollista liittää kotimaisen polttoaineen automaattisyöttöinen poltin, jolloin polttoaineena käytetään haketta tai palaturvetta.

Alapaloinen halkouunin paloai-



Kuva 3. Vehnän aiheuttama vastapaine sen kosteuden ja kerrospaksuuden vaihdeltaessa. Olkoon esimerkiksi viljan kosteus 25 %. Kun kerrospaksuus on 80 cm, kuivurin aiheuttama vastapaine on noin 400 Pa. Puhaltimen ilmamäärän tulee tällöin olla noin 550 m³/h x kuivurin pohjapinta-ala. Jos kerrospaksuus on 90 cm, vastapaine on noin 570 Pa ja puhaltimen täytyy antaa ilmamäärää 670 m³/h x kuivurin pohjapinta-ala, jotta ilmamäärä viljatonna kohti tunnissa olisi riittävä. Kun tunnetaan puhaltimen antama ilmamäärä vastapaineen muuttuessa, voidaan viljan kosteuden perusteella määrätä sopiva kerrospaksuus. Tyhjän kuivurin vastapaineeksi on oletettu 100 Pa.

ka on 1,5...3 tuntia varastopesän tilavuudesta riippuen. Lämmitystyö ei ole yhtä sitovaa kuin yläpaloisen uunin. Lämmöntuotanto on melko tasainen. Uuni soveltuu keskikokoisiin kuivureihin, alle 100 hl. Kuivattavan viljamäärän tulisi olla vähintään 30 t/v, jotta uuni olisi kilpailukykyinen öljyuuniin nähden. Alapaloisen uunin hankintahinta on hieman öljyuunia suurempi.

Vanha öljyuuni voidaan muuttaa kotimaisella polttoaineella toimivaksi liittämällä uuniin etupesä. Etupesä soveltuu lähinnä suuriin kuivuriuuneihin, jolloin etupesään asennetaan myös automaattiset täyttölaitteet. Lämmitystyö on tällöin vähäistä ja kuivurin automatiikka säätää etupesän toimintaa. Etupesä on häiriöaltis ja tussahdukset niissä ovat yleisiä. Polttoaineena on yleensä hake. Etupesä täyttölaitteineen nostaa kuivuriuunin hinnan kaksinkertaiseksi. Kuivattavan viljamäärän tulisi olla yli 320 t/v, jotta 250 kW tehoinen etupesäkuivuriuuni olisi kilpailukykyinen samantehtoiseen öljyuuniin nähden.

Poltinkuivuriuuni, stokeri, on ehkä mielekkäin kotimaisen polttoaineen kuivuriuuni. Siinä on yläpaloiseen uuniin liitetty kiinteän polttoaineen poltin ja automaattinen polttoaineen syöttö. Uunin teho säädetään polttoaineen syöttönopeutta muuttamalla. Poltinuuni on kohtuuhintainen johtuen yläpaloisen uunin yksinkertaisesta rakenteesta. Lämmitystyö on vähäistä, ja uunin toiminta voidaan automatisoida kuivurikäyttöön soveltuvaksi. Polttoaineen tulee olla tasalaatuista ja kuivaa, jotta saavutetaan tasainen lämmöntuotto. 150 kW tehoinen poltinuuni on kilpailukykyinen öljyyn nähden, mikäli kuivattava viljamäärä on vähintään 90 t/v.

Käytettäessä kotimaista polttoainetta viljankuivauksessa on polttoaine valmistettava ja tuotava kuivurin läheisyyteen ennen kuivauskauden alkua. Kuivurin vieressä tulisi olla polttoainevarausto, johon kuivaukseen tarvittava polttoainemäärä sopii.

Yhden hehtaarin viljasadon kuivaamiseen tarvitaan keskimäärin vaihteeltaisesti seuraavat polttoainemäärät:

- 80 l kevyttä polttoöljyä
- 0,6 i-m³ koivuhalkoja
- 1,0 i-m³ koivuhaketta
- 0,7 i-m³ palaturvetta
- 3,5 m³ olkea paalattuna

Tarvittavan kotimaisen polttoaineen määrä voi vaihdella huomattavasti polttoaineen laadun ja kosteuden mukaan. Polttoaine pitää saada omalta tilalta, sillä ostopolttoaineella kustannukset nousevat öljylämmityksen tasolle. Etelä-Suomessa metsähehtaarin alalta voidaan vuosittain

korjata polttopuuta noin neljän hehtaarin viljasadon kuivaamiseen tarvittava määrä. Pohjois-Suomessa vastaava metsäala on yli kolminkertainen. Yhden peltohehtaarin viljasadon kuivaamiseen tarvittava turvesuon ala on noin 20 m². Hehtaarin oikisadolla voidaan kuivata seitsemän hehtaarin viljasato.

Kylmäilmakuivauksen lisälämpö

Kylmäilmakuivaus onnistuu hyvin lisälämpöä käyttäen. Lisälämmitykseen voidaan käyttää myös kotimaisella polttoaineella toimivaa ilmalämmitysuunia, jolloin uuni puhalttaa lämmintä ilmaa kylmäilmakuivurin puhaltimen imupuolelle. Uunin puhallusaukon ja kylmäilmakuivurin imuaukon väliin on jätettävä riittävästi tilaa, jotta uuniin ei synny alipainetta.

Ilman lisälämmitykseen tarvittava lämpö voidaan ottaa myös tilan lämpökeskuksesta, jos kuivuri on lähellä. Kattila voidaan kytkeä kylmäilmakuivurin ilkanavan lämminvesipatteriin. Riittävä lämpöteho kattilasta saadaan yleensä vain, jos tilalla on varavaa lämmitysjärjestelmä. Varavassa lämmityksessä kattila on teholtaan 2...4 kertaa suurempi kuin saman lämmöntarpeen mukaan mitoitettu suorälämmityskattila.

Lämmitysveden siirtoon kattilan ja kuivurin välillä voidaan käyttää jopa eristämätöntä muoviputkea. Putki asennetaan maan pinnalle tai ilmaan kannatteiden varaan. Laaripinta-alan ollessa 45 m² ja puhaltimen ilmamäärän 25 000 m³/h tarvitaan ilman lämmittämiseksi 3 asteella, esimerkiksi +10 asteesta +13 asteeseen, 26 kW teho. Putkiston lämpöhäviöt huomioonottaen riittää lämmitykseen 30 kW kattila. Kuivausilman lämpötila nousee puhaltimen siivikossa asteen verran, joten ilman lämpiäminen kokonaisuudessaan on noin 4°C. 4°C lämpötilan nousu alentaa ilman suhteellista kosteutta noin 20 % -yksikköä, jolloin viljan kuivuminen 14 % kosteuteen varmistuu. Kuivausaika lyhenee samalla, mikä vähentää huomattavasti puhaltimen energiankulutusta. Lisälämpöä käyttäen kuivuri voidaan mitoittaa pienemmäksi ja säästää rakennuskustannuksia. Lämpötilan noston rajana voidaan pitää 6...7°C. Alimmat viljakerrokset kuivuvat liian kuivaksi jos ilmaa lämmitetään enemmän. Samalla viljan pintakerros voi kuoretua varsinkin jos viljan kosteus on yli 20 %.

Kuivurin energiansäästö ilmaputkisto

Kuivuriuunin ja kuivurin välinen

ilmaputki voi olla usean metrin mittainen. Putkien ja käyrien liitokset on rakennettava huolellisesti, jottei ilmapuotoja synny putkistossa. Ilmaputki kannattaa eristää, sillä kuivausilman lämpötila saattaa laskea tällä välillä 5...10°C kanavan pituudesta ja ympäristön lämpötilasta riippuen. 6°C ilman lämpötilan lasku putkistossa, jossa virtaus on 12 000 m³/h, merkitsee noin 20 kW tehon menetystä kuivuriin tulevasta lämmöstä. Tämä lämpöhäviö ja putkiston vuotoilmahäviö yhdessä saattavat olla 10...15 % uunista saatavasta lämpötehosta. Vuotohäviö = lämpöä harakoille.

Kuivuri

Koska sillokuivuri on yleensä ylipaineinen tulee kuivurin osien liitokset tiivistää ilmapuotojen estämiseksi. Vuotokohdista pääsee myös pöly leviämään kuivaamon rakenteisiin, mikä lisää palovaraa. Pölyisessä kuivaamossa työskentely on epämiellyttävää, ja lisäksi pöly lisää liukastumism-ym. tapaturmavaaraa.

Höyryn- ja pölynpoistojärjestelmä on tärkeä kuivurin puhtaana-pysymisen kannalta. Imurin putkisto asennetaan siten, että höyry poistuu kuivurin yläsiilosta, pohjasuppilosta ja elevaattorin yläpäästä. Ellei höyryä poisteta, se tiivistyy vedeksi kuivurin sisäpintoihin ja elevaattoriin. Tällöin jo kerran höyrytetty vesi imeytyy takaisin viljaan. Myös kuivurin kennoisto ja viljaputkisto saattavat tukkeutua. Pöly ja höyry on johdettava kuivurista sellaiseen paikkaan, ettei se pääse takaisin kuivausilmapuhaltimen imupuolelle.

Pölyisimpiä vaiheita ovat viljan purku kuivurin täyttösuppilon ja tyhjennys kuivurista varastosii-loihin. Purettaessa syntyvän pölyn leviämistä on vaikea estää, sitävastoin kuivuria tyhjennettäessä syntyvä pöly voidaan poistaa tehokkaasti imurilla elevaattorin yläosasta. Samoin silloin, kun vilja voidaan ajaa esipuhdistimen kautta kuivuria tyhjennettäessä.

Kuivattaessa hyvin kosteaa ja roskaista viljaa on jokaisen kuivauserän jälkeen tarkistettava, ettei kuivauskennojen päälle ja kuivurin nurkkiin ole jäänyt viljapaakkuja. Tällainen tukos estää viljan tasaisen valumisen kuivurissa ja viljaan voi jäädä kuivaamattomia kohtia, jotka pilaantuvat varastosiiilossa. Kuivurin tyhjennämisen jälkeen on hyvä käynnistää kuivausilmapuhallin ja samalla käynnistää kuivurin syöttölaite sekä esipuhdistin ja pölynpoistimuri. Imurien säätöläpät aukaistaan täysin auki. Tällainen kuivurin puhdistusajan kestoaika on vain puoli minuuttia. Öljypoltinta ei käynnistetä puhalluksen

aikana, joten kytkinkello on jäähdytysasennossa.

Kuivurin lämpöhäviöitä voidaan pienentää eristämällä kuivurin lämpimät pinnat. Tehdyissä kuivauskokeissa saatiin 10 % säästö polttoaineen kulutuksessa eristämällä kuivuri. Eristys oli viiden sentin paksuinen vuorivilla, jossa oli pellitys päällä.

Kuivaus Loppukosteus

Viljan kuivuminen hidastuu lähestyttäessä loppukosteutta. Tämä merkitsee suurempaa polttoaineen kulutusta haihdutettua vesikiloa kohti. Viljan ylikuivaamista pitääkin välttää mahdollisimman tarkoin. Varsin yleistä on, että vilja pääsee kuivumaan 10...12 % kosteuteen. Pitkäaikaisen säilyvyyden kannalta turvallinen kosteus on n. 14 %. Leipä- ja siemenvilja pitäisi kuivata tähän kosteuteen. Omalla tilalla käytävä rehuvilja, jonka säilytysaika on alle vuoden, voidaan jättää kosteammaksi. Talven yli säilytyksessä kosteus saa olla silloisessa enintään 16 % ja säkeissä tai 1 m syvässä lavassa 18 %. 50 cm syvässä lavassa kosteus voi talvisäilytyksessä olla 20%. Mikäli kuivurissa kuivauksen lopettaminen tapahtuu automaattisesti poistoilman lämpötilan tai hygrosstaatin mittaaman kosteuden perusteella on käyttäjän opeteltava säätämään näiden laitteiden asetusarvot kuivausolosuhteiden ja viljalaadun mukaan. Tällöin kuivauksesta on pidettävä muistiot, johon merkittään ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, kuivausilman lämpötila ja kuivausilman kuristinlevyn asento, automatiikan asetusarvot sekä kuivatun viljan loppukosteus. Riittävän usean kuivauserän jälkeen voidaan laatia taulukko asetusarvoista, jolloin kuivaus oikeaan kosteuteen on helppo säätää.

Kuivausilman lämpötila

Kuivausilman lämpötilan kohtaminen nopeuttaa kuivausta ja lisää kuivurin kapasiteettia. On kuitenkin tarkoin harkittava, miten ja milloin kuivausilman lämpötilaa voidaan nostaa. Mitä korkeampaa lämpötilaa käytetään, sitä pienempää energiankulutus teoreettisesti on. Nykyisissä rakenteissa kuitenkin lämpöhäviöt samalla kasvavat ja säästö on hyvin pientä. Eristetyissä rakenteissa tätä kuitenkin kannattaa käyttää hyväksi. Niissä lämpöhäviöt eivät suurene yhtä voimakkaasti.

Viljan laadun kannalta sallitut kuivausilman lämpötilat voidaan karkeasti jakaa kolmeen, siemenvilja 50...60°C, leipävilja 60...70°C ja rehuvilja aina 80°C

asti. Sallittu lämpötila riippuu kuitenkin kuivurityypistä ja viljan kosteudesta. Nyrkkisääntönä pidetäänkin, että kuivausilma saa olla 90°C vähennettynä viljan kosteusprosentilla. Esim. 25 % viljan kuivausilman lämpötila olisi 65°C. Lämpötilaa voidaan edellä mainitusta nostaa tai laskea hie-man sen mukaan kuivataanko ruhu- vai siemenviljaa. Jos itse viljan lämpötila nousee yli 45°C, seurauksena on itävyyden aleneminen.

Käyttämällä hyödyksy päiväsaikojen ilman korkeampaa lämpötilaa ja alhaisempaa kosteutta säästetään 5...10 % polttoainetta. Mikäli joudutaan kuivamaan yöllä tulisi kuivausilman lämpötila saada nousemaan samaan lämpötilaan kuin päivällä. Tämä voidaan tehdä suurentamalla uunin öljymäärä tai kuristamalla kuivausilmapuhaltimen ilmamäärää. Öljymäärää ei kuitenkaan saa lisätä yli uunille sallitun, sillä paikalliset lämpötilat uunissa voivat nousta liian korkeiksi.

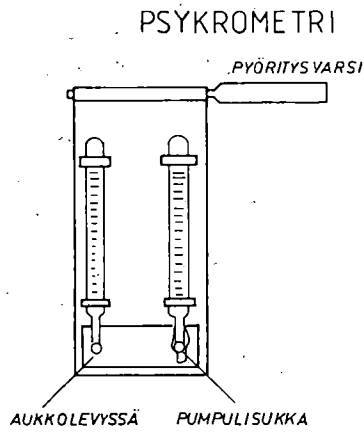
Olisi hyvä tarkistaa kuivausilman lämpömittari, sillä mittareissa saattaa olla uiden asteiden eroja. Tarkistus voidaan tehdä vaikkapa kuumalla vedellä vertaamalla mittarin näyttämää muuhun tarkaksi havaittuun mittariin.

Ilmamäärä

Taloudellisen kuivaamisen perustana on saada kuivausilmaan sitoutumaan mahdollisimman paljon vettä. Poistoilman suhteellisen kosteuden pitäisi teoriassa olla koko kuivausajan 100 %. Käytännössä päästään poistoilman 90 % suhteelliseen kosteuteen 2/3 kuivausajasta, jonka jälkeen kosteus alkaa jyrkästi alen-tua. Oikea ilmamäärä saadaan selville mittaamalla poistoilman suhteellinen kosteus kuivausajan aikana. Kosteus voidaan mitata psykrometrillä.

Tämä voidaan valmistaa kahdesta lämpömittarista, joiden tulee näyttää samaa lämpötilaa ja joiden lukematarkkuus on vähintään 0,5°C. Mittarit kiinnitetään vierekkäin ja toisen mittarin anturio- sa kääritään pumpulikan-kaaseen. Kangas kostutetaan poistoilman lämpöisellä vedellä ja mittarit viedään poistoilmavirtaukseen. Jos poistoilman suhteellinen kosteus on pienempi kuin 100 %, haihtuu pumpulikan-kaasta vettä ja tämä mittari näyttää alempaa lämpötilaa kuin kuiva mittari. Lämpötilasta voidaan taulukon mukaan määrittää ilman suhteellinen kosteus.

Esimerkiksi kuiva lämpömittari näyttää +30°C ja märkä mittari +28,5°C, erotus 1,5°C. Pystyasteikolla nousee kohtaan 1,5 ja edetään vaakasuoraan koh-



taan 30. Todetaan, että 90 % kosteuskäyrä asettuu tälle kohdalle. Poistoilman suhteellinen kosteus on tällöin 90 %. Jos kosteus on pienempi niin kuivaus tapahtuu liian suurella ilmamäärällä. Tällöin ilman nopeus viljakerroksessa on niin suuri, ettei kosteus jyvistä ehdi sitoutua ilmaan ja osa lämmitetystä ilmasta poistuu kuivurista ottamatta osaa kuivaukseen. Näin käy usein kun kuivuriuuni on ylimitoitettu kuivauskennoihin nähden. Asia voidaan korjata kuristamalla kuivausilmaa ja vähentämällä samalla polttoaineen syöttöä.

Vajaakäyttö

Kuivurilla tulisi kuivata aina täysiä erä. Kuivausajan edetessä viljan tilavuus pienenee, ja kuivauskennojen päällä oleva viljakerros saattaa olla hyvinkin ohut tai kennot ovat jopa näkyvissä. Ohuen viljakerroksen läpi ilma karkaa kennojen päältä, ja jos kennosto on näkyvissä, voi kui-

vausilma puhaltaa jyviä kuivurista ulos. Tällöin on myös koko vilja-erä kuivauskennostossa, eikä jyvähdi hikoilla varastokennossa niin kuin on tarkoitus.

Energiankulutuksen seuranta

Kuivausajan taloudellisuutta laskettaessa on seurattava kui-

vurin energiankulutusta. Käytännössä olisi pystyttävä mittaamaan kuivatun erän polttoöljynkulutus ja viljaerän paino sekä alku- ja loppukosteus.

Haihdutettava vesimäärä saadaan laskettua seuraavasti kuivaamattoman tai kuivatun viljan painosta:

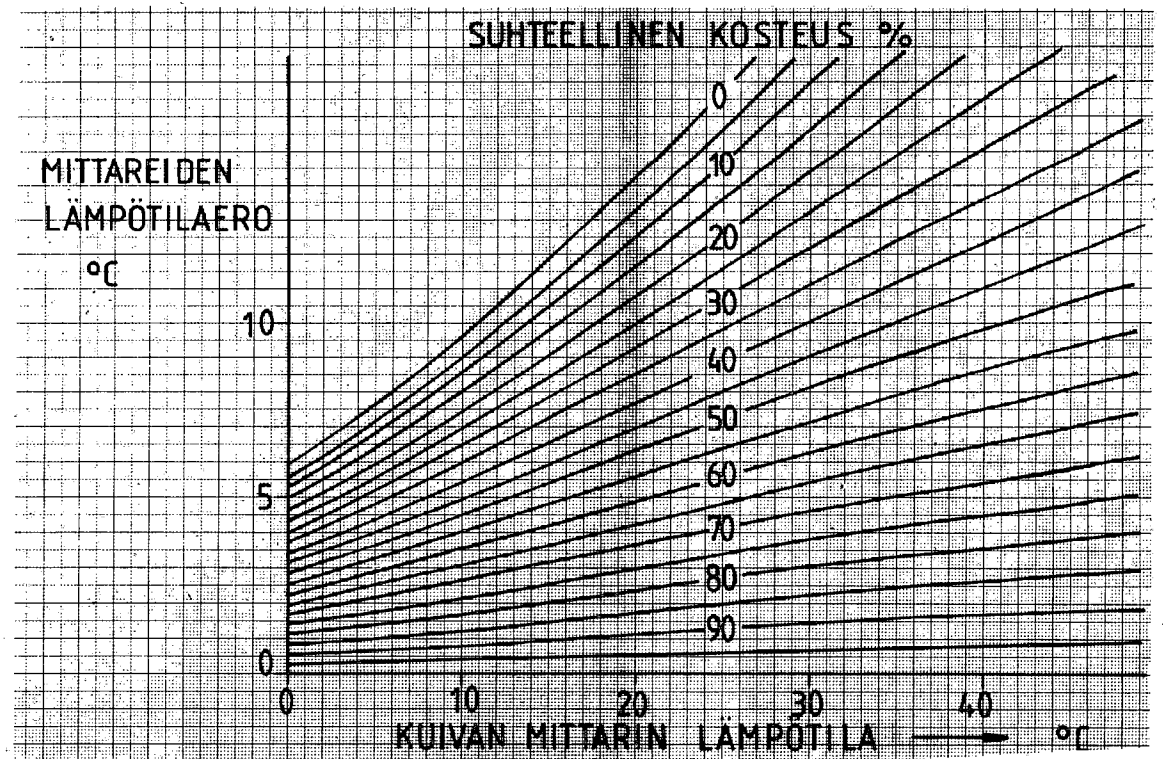
Punnitus ennen kuivausta	viljamäärä (kg x	alkukost. (%) — loppukost. (%)	= kg vettä
		100 — loppukost. (%)	
Kuivausajan jälkeen	viljamäärä (kg) x	alkukost. (%) — loppukost. (%)	= kg vettä
		100 — alkukost. (%)	

Mikäli vesikilon haihduttamiseen kuluu kevyttä polttoöljyä runsaasti enemmän kuin 120 g, ei kaikki ole kohdallaan ja on ilmeistä, että energiankulutusta voidaan pienentää. 120 g kevyttä polttoöljyä vastaa tilavuusmitassa noin 1,4 desilitraa. Kulutuksen pienentämiseksi on syytä tutkia ensin kuivuriuunin hyötysuhde. Hyötysuhteeseen vaikuttavat savukaasu- ja säteilyhäviöt. Polttimen säädöllä voidaan vaikuttaa savukaasuhäviöihin eli palamishyötysuhteeseen. Palamishyötysuhteen määrittämiseksi on tehtävä savukaasuanalyysi, jolloin mitataan häkä- ja hiilidioksidipitoisuus sekä savukaasujen lämpötila. Mikäli samanaikaisesti ei saavuteta alhaista häkäpitoisuutta, häkäpitoisuus 0 %, ja korkea hiilidioksidipitoisuutta, reilusti yli 10 %, on syynä usein virheellinen tai kulunut öljysuutin

sekä liekkilevyn virheellinen sijainti suuttimeen nähden.

Epätäydellinen palaminen voi johtua myös liian suuresta polttoaineen syötöstä tulipesään. Kun poltin on saatu säädettyä mitataan savukaasujen lämpötila. Sen tulee olla mahdollisimman alhainen, kuitenkin yli 170°C. Mikäli se on korkea, yli 250°C, on tutkittava onko uuni likainen. Jos savukaasujen lämpötila ei uunin puhdistuksen jälkeenkään laske, öljysuutin on nähtävästi liian suuri. Vanhemmissa kuivuriuuneissa savukaasujen lämpötila on yleisesti noin 300°C ja ylikin, johtuen verrattain pienestä lämmönvaihdinpinta-alasta.

Jos energiankulutus uunin säädön jälkeen on edelleen suuri, on syytä etsittävä itse kuivurista. Tällöin syy saattaa löytyä seuraavista tekijöistä: liian suuri ilmamäärä käytettyyn kuivausil-



man lämpötilaan nähden, vuotolahäviöt, uunin ja kuivurin säteilyhäviöt.

Lämmön talteenotto poistoilmasta

Noin 60 % polttoaineen energiasta kulkeutuu poistoilman mukana lämmitettynä ilmaa ja vesihöyryn lämpönä ulkoilmaan. Poistoilmakanavaan asennetulla lämmönvaihtimella osa tästä energiasta voidaan käyttää uudelleen hyödyksi lämmittämään kuivurin tuloilmaa. Aaltopellistä tehdyllä, rakenteeltaan yksinkertaisella lämmönvaihtimella on päästy 15..25 % säästöön energiankulutuksessa. Kuivurin poistoilma on pölyistä, ja niinpä lämmönvaihtimen likaantuminen pitää estää suodattamalla ilma ennen lämmönvaihtintä. Ongelmana on myös kuivurin tulo- ja poistoilmakanavien kaukainen etäisyys toisistaan.

Silloin kun kylmäilmakuivuria käytetään lämminilmakuivurin rinnalla, voidaan kylmäilmakuivurin saada lisälämpöä lämminilmakuivurin poistoilmakanavaan asennetulla lämmönvaihtimella. Edellytyksenä on tietenkin kuivureiden läheinen sijainti.

Lämmön talteenottoon poistoilmasta voidaan käyttää myös lämpöpumpua. Nykyisellä tekniikalla ja laitteiden hinnoilla on lämpöpumpulla kuivaaminen kuitenkin kalliimpaa kuin kevyellä polttoöljyllä.

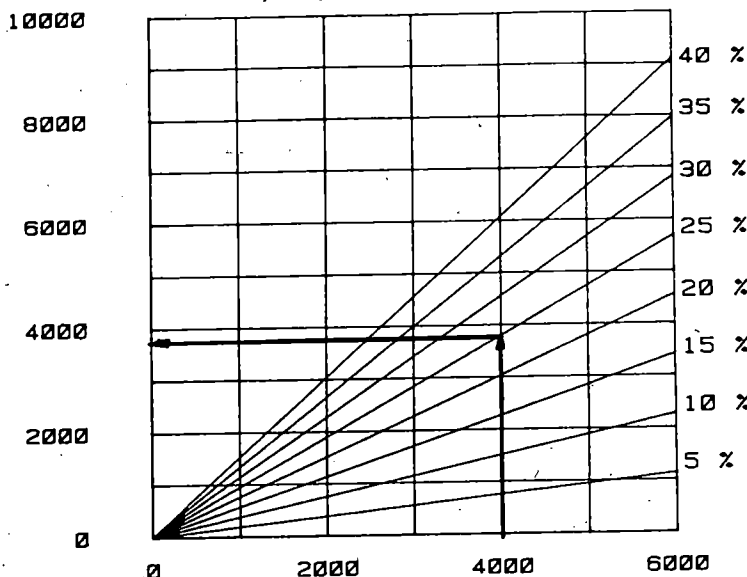
Energiansäästön taloudellisuus

Pääomakustannusten osuus on 60..80 % viljan kuivauksen kokonaiskustannuksista. Täten kuivauskustannusten alentamisessa pääomakustannusten pienentäminen tuo nopeasti huomattavan säästön. Eräs tärkeimmistä on oikea kuivauskapasiteetti. Tästä johtuen energiansäästötoimet eivät saa pienentää kuivauskapasiteettia.

Ennen energiansäästötoimenpiteitä on syytä laskea miten suuri hyöty toimenpiteestä saadaan ja kuinka paljon toimenpiteeseen kannattaa sijoittaa pääomaa. Kuvasta 4 voidaan karkeasti arvioida paljonko yksittäisestä energiansäästöön tähtäävästä toimenpiteestä kannattaa maksaa vuosittain kulutetun öljymäärän vaihdellussa. Investoinnin poistoajaksi on otettu viisi vuotta ja korkokannaksi 10 %.

INVESTOINNIN HINTA

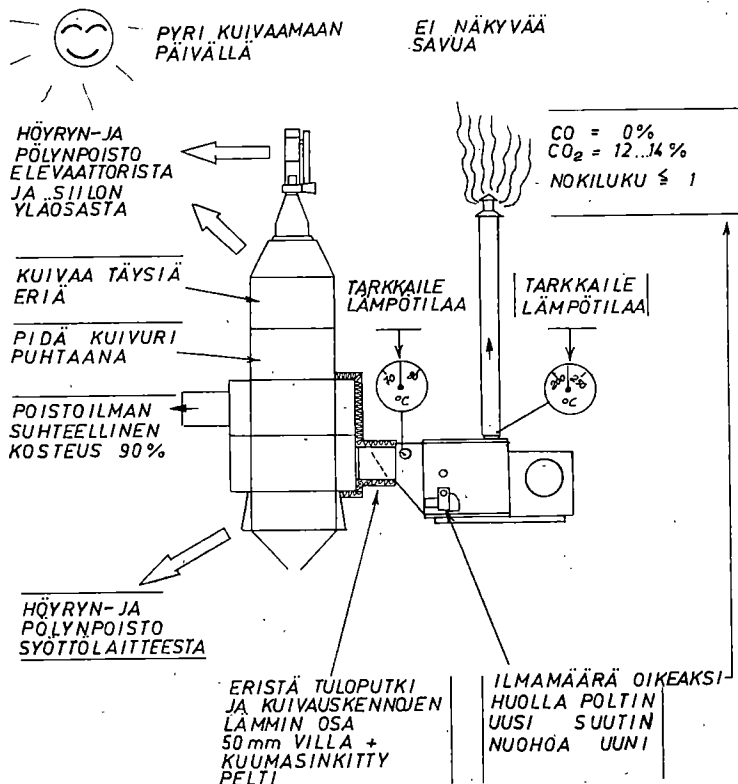
Littraa kevyttä polttoöljyä



POLTTOÖLJYN KULUTUS litraa/vuodessa

Kuva 4. Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus. Esim. vuotuisen öljynkulutus on 4.000 l. Poistoilman lämmönvaihdin säästää polttoainekustannuksia noin 25 %. Kuvan mukaan siihen kannattaa investoida enintään hinta, jonka 3.800 litraa kevyttä polttoöljyä maksaa (vuonna 1982 n. 5.700 mk). Tällöin lämmönvaihdin maksaa itsensä takaisin viidessä vuodessa, ja rahoille saa 10 % koron.

Kuivaajan muistilista



Kuivurin oikea käyttö

- Ei ylikapasiteettia, pääomakustannukset ovat suuret ylikapasiteetissa.
- Ei ylikuivausta.
- Käyttö sääoloja mukaillen, suosi päiväkuivatusta.
- Tiivistä kuivuri ja ilmaputkisto.
- Pidä kuivuri puhtaan.
- Nuohoa kuivuriuuni ennen ja jälkeen kuivauskauten.
- Pidä öljypoltin kunnossa.
- Säädä polttimen oikea ilmamäärä.
- Käytä riittävän korkeata kuivauslämpötilaa.

Huolehdi paloturvallisuudesta!

1. Kuivauksen aikana tulee öljykäyttöisen lämpölaitteen uunihuoneen ulkopuolella olla B III-E luokan käsisammutin.
2. Käytettäessä kiinteää polttoainetta tulee uunihuoneessa olla tulipesässä olevan tulen sammuttamista varten vähintään 100 litran suuruinen astia hiekkaa sekä lapio.
3. Toiminnassa olevan viljan kuivaamon ulkopuolella tulee olla vähintään 200 l astia täynnä vettä sekä vesisanko.

Kirjallisuuslähteet

- Jukka Ahokas — Kimmo Koivisto: Energiansäästö viljan kuivauksessa. Vakolan tutkimusselustus No 31.
- Kares, M.: Viljan kuivauksen perusteet. Koneviesti N:ot 8—13, 1978.
- Jaakko Tehtaas: Viljan kuivauksen opas.
- Ossi Mäkelä — Jukka Ahokas — Jorma Suurinkero: Kotimainen polttoaine viljan kuivauksessa. Vakolan tutkimusselustus No 32.
- Sture Claeson: Hur ska spannmål lagras? Traktor Journalen No 12. 1982.

