



## **Utvärdering av ett silotorksystem för spannmål utrustat med omrörare**

Evaluation of a grain stir drying system

**Hugo Westlin**





## **Utvärdering av ett silotorksystem för spannmål utrustat med omrörare**

Evaluation of a grain stir drying system

**Hugo Westlin**



## SAMMANFATTNING

Målet med den genomförda undersökningen var att utvärdera silotorkar utrustade med omrörare, som konserveringsmetod för spannmål under svenska förhållanden. Utvärderingen genomfördes under skörden 2004 på 4 stycken gårdar med silotorkar, samtliga belägna i Götalands Norra Slättbygder (Gns). Under utvärderingen studerades torkförloppets inverkan på spannmålets kvalitet (hygien och grobarhet), silotorkens utformning, energiförbrukning, omblandningseffektivitet, torkförlopp samt arbetsbehov. För jämförelse samlades data även in från gårdar med konventionella varmluftstorkar.

Totalt följdes sex spannmålspartier på silotorksgårdarna, två stycken med höstvet, ett med vårvete, två med en blandning av höstvet och rågvete och ett med en blandning av rågvete och korn. Skördevattenhalter och vattenhalter efter avslutad torkning bestämdes i varje parti. Från dessa prover gjordes även analyser av mikrobiell flora och grobarhet. Prover för vattenhalter efter torkningen togs enligt ett visst system i silon, för att studera hur väl omrörarna blandade om. Totalt togs ca 40 prover per silo.

Skördevädet var mestadels torrt och varmt med relativt låga skördevattenhalter. Vattenhalten varierade under skörd från 17 till 20 % i medeltal. Vattenhaltsproverna tagna efter avslutad torkning visade på skillnader i vattenhalter beroende på hur mycket omröraren hade fått arbeta. I vissa partier fanns en viss tendens till att spannmålen på ytan var torrare än den längre ned, vilket tyder på att omröraren dragit upp den torra spannmålen från botten. I de fall där omröraren hade fått arbeta lite längre fanns inte dessa skillnader. Genomgående för alla spannmålspartier var att partiet var fuktigast i centrum av silon. Detta berodde troligtvis på ansamlingar av små kärnor och lättare material i centrum av silon. Denna ansamling gav upphov till sämre luftgenomgång.

Ett av de undersökta spannmålspartierna torkades utan värmetsats, två partier använde varmvattenelement, eldade med fastbränslepanna, för uppvärmning av torkluften. För övriga tre partier värmdes torkluften med oljepanna. I medeltal var energiförbrukningen för de undersökta silotorkarna något högre eller högre jämfört med motsvarande siffror för en konventionell varmluftstork. Stora skillnader fanns dock mellan de undersökta partierna.

Arbetsbehovet i denna typ av tork uppmättes till något lägre än motsvarande siffror för en konventionell tork på en gård av motsvarande storlek. Siffrorna omfattar inlastning av spannmål och den tillsyn av anläggningen som skedde i samband med inlastningen.

På grund av en hög flora av mikroorganismer från skörd försvårades analyserna av mikrobiell tillväxt i spannmålspartierna. Med de analyser som genomfördes kunde ingen entydig kvalitetsförsämring upptäckas under perioden från skörd fram till att lantbrukaren hade avslutat torkningen. Dock torkades inte alla spannmålspartier ned till 14 % vattenhalt, vilket kan leda till problem med spannmålskvaliteten senare under lagringen.

Kondensbildning på silons innertak och väggar ovan spannmålen, ledde till kraftiga dammansamlingar, vilka bör avlägsnas innan nästa skörd. Även utrymmet under det perforerade golvet bör kunna rengöras efter varje lagringssäsong, för att undvika infektionstryck från lagerskadeflora, en åtgärd som dock inte alltid är lätt att genomföra.



## **ABSTRACT**

The aim of this study was to evaluate the stir drying method, for drying of grain during Swedish conditions. The evaluation was done during the harvest year 2004, on four farms with stir driers. The driers were evaluated for their energy consumption, design, stirring effectiveness and how much time the farmer has to spend on every tonne of grain. A comparison was also done with conventional Swedish high temperature driers. Totally six batches of grain from stir driers were examined, mostly winter wheat, but also barley and wheat. Fore every batch the water content during harvest and after drying, were measured. Tests were also done for microbes and germination.

The six batches were harvested at average moisture contents from 17 to 20 %. No quality damages were detected during drying in the examined dryers, but not all of the batches were dried to 14 % moisture content, which might have caused quality problems later on. In those dryers with high air temperatures the inside of the roof were covered with condensed water. Much dust was also covering the inside of the roof and the upper part of the wall. After drying, there were differences depending on the work of the stirring device. The differences were accorded to the working time of the stirring device. Less difference in moisture content were measured fore those batches with long working time of the stirring device. The specific energy consumption was measured to 5780 kJ/kg H<sub>2</sub>O, depending on the heat source.

The total time fore every tonne of grain, that the farmer have to spend for unloading and a quick check of the dryer, were from 20 seconds per tonne to 2,8 minutes. That is the same or slightly less than a conventional dryer on a farm of the same size.





## **FÖRORD**

Detta examensarbete är en del i projektet ”*Teknisk, biologisk, ekonomisk utvärdering av ett system för långsamtorkning av spannmål med varmluft i lagringsilor*”. Projektet genomförs i samarbete mellan JTI-institutet för jordbruks och miljöteknik och institutionerna för mikrobiologi och ekonomi vid SLU. Studien finansieras med medel från Stiftelsen Lantbruksforskning. Projektledare för projektet är Nils Jonsson vid JTI, vilken också har fungerat som handledare för examensarbetet. Thomas Nybrant vid institutionen för Biometri och Teknik har varit examinator. Författaren vill tacka JTI för möjligheten att genomföra detta arbete och för de resurser institutet har ställt till förfogande. Ett tack riktas också till de lantbrukare som har ställt upp med sin tid och sitt tålamod, och därigenom gjort detta examensarbete möjligt.



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. BAKGRUND LITTERATURSTUDIE .....	1
1.1 Vad är en silotork med omrörare.....	1
1.2 Tidigare erfarenheter .....	2
1.2.1 Torkningsförlopp i en silotork med omrörare .....	2
1.2.2 Omrörningens effekt på luftmotståndet .....	2
1.2.3 Lagringshöjdens inverkan på luftflödet.....	3
1.3 Energiåtgång vid torkning i en silotork med omrörarskruv .....	4
1.4 Maximal torkningstemperatur .....	4
1.5 Tillväxt av mikroorganismer i en silotork .....	5
1.5.1 Säker lagringstid .....	5
2. GENOMFÖRD FÄLTSTUDIE .....	7
2.1 Syfte .....	7
2.2 Material och metoder .....	7
2.2.1 Torkningsanläggningarna .....	7
2.2.2 Undersökta spannmålspartier .....	8
2.2.3 Skördeförhållanden .....	9
2.2.4 Mätmetoder .....	9
2.2.5 Provtagning.....	10
2.2.6 Analyser.....	11
2.2.7 Beräkningar.....	11
3. RESULTAT OCH DISKUSSION .....	12
3.1 Effekten av att spannmålen omrörs .....	12
3.1.1 Torkförlopp .....	12
3.1.2 Mottryck .....	13
3.2 Torkningens genomförande.....	15
3.3 Teoretisk beräkning av torktider .....	16
3.4 Förändring av den säkra lagringstiden .....	17
3.5 Omblandningseffektivitet.....	17
3.5.1 Skördevattenhalter .....	17
3.5.2 Uttagsprover .....	18
3.6 Specifik energiförbrukning .....	19
3.7 Arbetsåtgång .....	21
3.8 Hygienisk- och arbetsmiljömässig utformning .....	22
3.8.1 Hygien .....	22
3.8.2 Arbetsmiljö .....	23
3.9 Analyser av mögelförekomst och grobarhet .....	23
4. SLUTSATSER .....	24
5. FRAMTIDA STUDIER .....	25
6. REFERENSER.....	26
6.1 Tryckta referenser .....	26
6.2 Internetreferenser .....	28
6.3 Personliga meddelanden.....	28
BILAGA 1. FLÄKTJÄMFÖRELSER .....	29
Gård 1.....	29
Gård 3.....	29
BILAGA 2. RESONEMANG KRING SÄKER LAGRINGSTID .....	30
Höstvete gård 1 .....	30
Teoretiskt 18 % 200 kW .....	30
Teoretiskt 18 % 200 kW .....	31
Teoretiskt 20 % 200 kW .....	31
Teoretiskt 20 % 200 kW .....	32
Teoretiskt 24 % 200 kW .....	32
Teoretiskt 24 % 200 kW .....	33
Teoretiskt 18 % 640 kW .....	33
Teoretiskt 18 % 640 kW .....	34
Teoretiskt 20 % 640 kW .....	35
Teoretiskt 24 % 640 kW .....	36

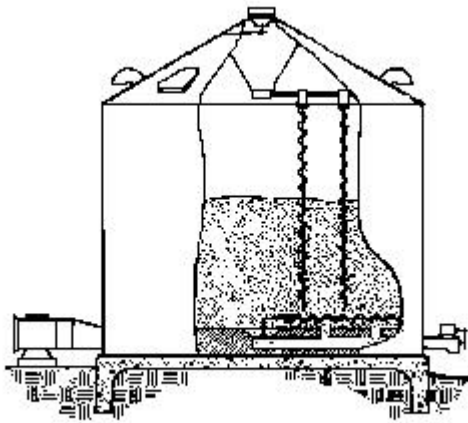
BILAGA 3. UTTAGSVATTENHALTER .....	37
Höstvete gård 1 .....	37
Vårvete gård 1 .....	37
Rågvete/Korn gård 2 .....	38
Hvete/Rvete 1 gård 3.....	38
Hvete/Rvete 2 gård 3.....	39
Höstvete gård 7 .....	39
BILAGA 4. ANALYSER AV MIKROBIELL FLORA OCH GROBARHET .....	40

# 1. BAKGRUND LITTERATURSTUDIE

## 1.1 Vad är en silotork med omrörare

En silotork med omrörare, är till det yttre en stor rund, flatbottnad galvaniserad stålsilo. Inuti silon hänger en eller flera skruvar lodrätt ned från en balk, bild 1. Balken hänger i ena änden i silons centrum och vandrar i den andra änden runt på en bana, fäst i silons takfot. Allteftersom balken förflyttar sig runt i silon, förflyttar sig också de roterande skruvarna in och ut från silons centrum, längs med balken. Arbetsmönstret för skruvarna är olika för olika fabrikat, men samtliga i utvärderingen förekommande fabrikat uppger att hela silons yta skall ha passerats inom ett till två dygn (Hansson, pers; Crom, pers).

Torksilon är försedd med en fläkt som blåser in luft igenom det perforerade golvet. De silotorkar som är sålda i Sverige är ofta försedda med tillsatsvärme, och luften passerar genom torkskiktet vertikal.



*Bild 1. Silotork med fläkt och omrörare. (MWPS – 13)*

Lagringskapaciteten på de silotorkar som marknadsförs i Sverige varierar mellan 50 och 1000 ton. Silornas diametrar varierar från 4,5 till 15 meter, med höjder från 3,7 till 12 meter. Den maximala lagrings/torkningshöjden i silorna varierar från 1,5 till 7,2 meter. Skruven i silon är utformad som en transportskruv utan hölje. Exempelvis hade en av de i utvärderingen förekommande fabrikaten en skruv med en stigning på 70 mm, en yttre diameter på ca 50 mm och en inre diameter på ca 25 mm (David Manufacturing Company, 2004).

Vid de höga lagringshöjder som förekommer blir den specifika luftmängden per ton och timme låg, och i litteraturen finns det uppgifter om luftmängder från 40–100 m<sup>3</sup>/t\*h för majs (Baker m.fl., 1979; McLean, 1993). De specifika luftmängderna är låga i förhållande till de rekommendationer som JTI har gett ut beträffande kallluftstorkning av spannmål. Där var rekommendationerna 600-1000 m<sup>3</sup>/t\*h, vid 20 % inläggningsvattenhalt (Jonsson, 1991). Rekommendationerna förutsatte torkning hela dygnet och tillsatsvärme (5-7°C) nattetid och vid fuktig väderlek. JTI:s rekommendationer gällde dock inte omrörd spannmål. För att åstadkomma dessa flöden med då tillgängliga fläktar fick lagringshöjden inte överskrida 1-1,5 meter.

Enligt litteraturen nådde den första omröraren den amerikanska marknaden någon gång mellan åren 1962 och 1965 (Williams m.fl., 1978; Bern m.fl., 1980). I Danmark har det de senaste åren sålts ett hundratal omrörartorkar (Höj, 2002), och i Sverige såldes det första

kompleta exemplaret år 2000. Två år innan dess hade en lantbrukare satt in omrörare i en befintlig silo.

## 1.2 Tidigare erfarenheter

### 1.2.1 Torkningsförlopp i en silotork med omrörare

Torkning i en silotork sker enligt principen för tjockskiktstorkning, vilken skiljer sig från tunnskiktstorkning, som är torkprincipen för en konventionell varmluftstork. Vid torkningen strävar spannmålen efter att komma i jämvikt med den tillförda luftens fuktighet och temperatur. Torkningen och temperatursänkningen sker inte likformigt i all spannmål på en och samma gång, utan i två fronter, en temperaturfront och en långsammare torkfront, bild 2, vilka rör sig igenom spannmålen i samma riktning som luftströmmen. Luftåtgången för att få temperaturfronten att passera genom spannmålen är av storleksordningen  $1000 \text{ m}^3/\text{m}^3$  spannmål (Burell m.fl., 1967). Däremot tar det längre tid för torkfronten att passera då luftåtgången är av storleksordningen  $20\,000 - 80\,000 \text{ m}^3/\text{m}^3$  spannmål, enligt beräkningar baserade på en temperatur hos tilluften på  $15-20^\circ\text{C}$  och en relativ luftfuktighet på 65 % (Jonsson, Pettersson, 1999). Spannmålen närmast luftens inlopp torkar således först och den spannmål som finns längst från inloppet torkar sist. På grund av att spannmålen vid torkens frånluftssida torkar sist är det där som risken för försämrad hygienisk kvalitet är som störst. Därför måste den specifika luftmängden vara tillräckligt hög så att torkfronten hinner passera igenom hela torkskiktet innan skadlig mögeltillväxt har hunnit inträffa.

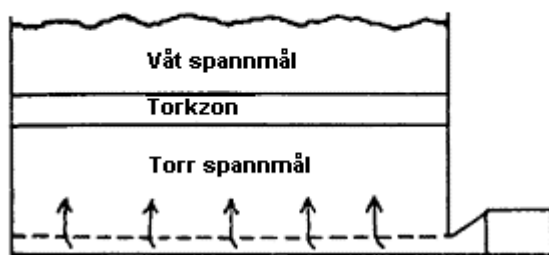


Bild 2. Torkfrontens utbredning under tjockskiktstorkning.

För att utjämna dessa vattenhaltsskillnader i torkskiktet är silotorkarna utrustade med omrörare för att blanda om spannmålen. Skruvarna drar upp torr spannmål från botten, och därmed minskar risken för övertorkning av det nedersta lagret, vilket annars är ett vanligt problem. Vid omrörningen blandas även den sist inlagda, fuktigare spannmålen på ytan in i övrig, tidigare inlagd spannmål, vilket enligt tillverkarna skall göras tillräckligt effektivt för att förhindra skämning av spannmålen (Sukup, www). En brist är dock att skruvarna inte når ända ned till botten av silon. Den understa halvmeteren blir oåtkomlig för skruvarna då det i detta område också skall finnas plats för en tömningsskruv, varför denna spannmål kommer att övertorkas kraftigt vid höga torkluftstemperaturer.

### 1.2.2 Omrörningens effekt på luftmotståndet

Ett flertal amerikanska studier på majs från 1970 och 80-talet visade att luftmotståndet var mindre i omrörd majs jämfört med majs som inte omrördes. En av studierna visade att luftmotståndet i majsen minskade allteftersom majsen torkade, både i rörd och i orörd majs (Bern m.fl., 1986). I omrörd majs var minskningen 50 % men endast 25 % i orörd majs. En annan studie som studerade omrörningens effekt på luftmotståndet kom också fram till samma resultat. Där nämndes att den minskning i luftmotståndet som omrörningen gav upphov till,

resulterade i ett högre luftflöde genom majsens (Baker m.fl., 1979). Ytterligare en studie visade dock att det inte enbart var omrörningen och torkningen som påverkade förändringen av luftmotståndet. Hur majsens hade lagts in i silon hade också en stor betydelse för vilken påverkan omrörningen fick (Bern m.fl., 1982). Om majsens hade lagts in i silon med spridare blev minskningen av luftmotståndet större än om majsens hade lagts in i silon utan spridare. Studien visade vidare att luftmotståndsminskningen inte kunde påverkas ytterligare genom att den horisontella förflyttningen av skruven, per  $m^2$  siloyta, ökade. Minskningen av luftmotståndet avstannade när skruvarnas horisontala framdrivning översteg  $4 m/m^2$  siloarea. Därefter förblev luftmotståndet konstant. En horisontal framdrivning av  $4 m/m^2$  innebär att skruven har rört sig 4 m per kvadratmeter bottenarea av silon.

När spannmålen omrörs påverkas bulkdensiteten, vilket i sin tur påverkar luftmotståndet. En minskad bulkdensitet ger ett lägre luftmotstånd och ett ökat luftflöde. Enligt en studie borde den minskade bulkdensiteten resultera i en större minskning av luftmotståndet än vad som kunde uppmätas (Bern m.fl., 1986). Orsaken till detta antogs vara att effekterna av bulkdensitetsminskningen sattes ur spel av kärnornas orientering och av boss, agnar och trasiga kärnor som ansamlades på botten av silon. Vidare kunde enligt studien denna ansamling ha en negativ inverkan på luftmotståndet. I samma studie, som var utförd på majs, visades också att produktionen av boss, agnar och trasiga kärnor kunde vara så hög som 1,7 kg ts per omrörd timme. Troligtvis knäckte skruvarna redan trasiga kärnor, som hade skadats vid tröskning och fyllning av silon. Ytterligare en studie slog fast att boss, agnar och trasiga kärnor påverkade torkningen, och att spannmålen måste vara relativt ren från boss, agnar och trasiga kärnor, eller rensas, innan den kan läggas in i en omrörartork (Brooker m.fl., 1992).

Skruvarna påverkar spannmålen i en parabolisk form runt skruven (Bern m.fl., 1978). Storleken på detta område beror av skruvens framföringshastighet. En ökad hastighet minskar det påverkade området. Vilket varvtal skruven snurrar med är också av betydelse, ett ökat varvtal ökar det påverkade området. För att därför få en så effektiv omblandning som möjligt skall skruvens framdrivningshastighet minskas och dess varvtal ökas (Bern m.fl., 1978). I en studie av Hall och Beaty (1970) testades olika framdrivningshastigheter och varvtal i en för ändamålet konstruerad försöksbunge. Även de kunde visa att ett ökat varvtal och en sänkt framdrivningshastighet gav den bästa omblandningen. De kunde även visa att den bästa omblandningen förekom då skruven arbetade spår vid spår. Vilken skadeeffekt ett ökat varvtal har på kärnorna är dock okänt.

I Midwest Plan Service meddelande nr 22 från 1980 står att då majsens har en vattenhalt över 25 % bildas en bana som skruvarna följer. Skruvarna har en kraftigare drivning framåt än radiellt vilket innebär att den fuktiga spannmålen hindrar skruvarna att vandra in och ut från silons centrum, och en bana runt i silon bildas.

I en torkningsstudie med ris där prover togs i toppen, mitten och botten av en silo utrustad med omrörare kunde det påvisas mindre än en procents vattenhaltsskillnad mellan botten och toppen (Calderwood, 1977). Inga undersökningar hade dock gjorts beträffande vattenhaltsskillnaderna i horisontalled.

### ***1.2.3 Lagringshöjdens inverkan på luftflödet***

För en given fläkt minskar den levererade luftmängden exponentiellt när höjden på det spannmålsskikt som skall torkas ökar, det vill säga en liten förändring av höjden ger en stor förändring av luftmängden (Brooker m.fl., 1992). Valet av fläkt är därför viktigt då luftmängden minskar kraftigt vid höga lagringshöjder. I rekommendationer från Midwest Plan Services, meddelande nummer 13 (1987), anges 270 cm som högsta rekommenderade torkningshöjd för omrörartorkar, när dom används som satstorkar.

Enligt torktillverkaren Sukup bör luftmängden vid lågtemperatortorkning ligga inom

intervallet 70 till 200 m<sup>3</sup>/t\*h (Sukup, www). Rekommendationer från Midwest Plan Service, meddelande nummer 22 (1980), angav att luftflödet vid omrörd kallluftstorkning måste vara minst 70 m<sup>3</sup>/t\*h.

### 1.3 Energiåtgång vid torkning i en silotork med omrörarskruv

Enligt en amerikansk studie hade torkning med omrörning högre energiåtgång än torkning utan omrörning, även om torktiden i det försök med majs som genomfördes, var sex dagar kortare för omrörd än för orörd torkning (Baker m.fl., 1979). En annan studie, genomförd som en simuleringsstudie, konstaterade dock att omrörare minskade energiförbrukningen (Bern m.fl., 1984). Skillnaden i de två resultaten beror på att i den första studien var omröraren igång under hela torkprocessen, till skillnad från i den andra studien, där omröraren var igång endast 48 timmar i veckan. I den första studien värmdes torkluften med solfångare, och den specifika energiförbrukningen blev i medel under två år, 4011 kJ/kg borttorkat vatten (Baker m.fl., 1979). Denna siffra innehåller inte den energi som åtgick för att driva fläkt och omrörare, vilken i samma studie uppmättes till mellan 936 och 2160 kJ/kg H<sub>2</sub>O.

Energiförbrukningen för att driva fläkt och omrörare, vid torkning utan tillsatsvärme, med omrörning 48 timmar i veckan, uppmättes till 3430 kJ/kg H<sub>2</sub>O (Bern m.fl., 1984).

Motsvarande siffra för en konventionell balktork, inklusive elektrisk energi, var 4820 kJ/kg H<sub>2</sub>O (AB Akronmaskiner, 1996).

Den amerikanska simuleringsstudien visade även på en minskad risk för övertorkning och en kortare torktid vid omrörning (Bern m.fl., 1984). Vidare visade studien att omrörarutrustning kunde vara kostnadseffektivt för nedtorkning från 24 % vattenhalt i en 5,5 m diameters silo, men inte för nedtorkning från 20 % vattenhalt

Enligt en handledningsskrift utgiven av Midwest Plan Service (medd. nr 22, 1980) bör omrörningen vid torkning av majs vara kontinuerlig om temperaturhöjningen är mer än 4 °C, oberoende av vattenhalt och luftmängd. Vid lägre temperaturhöjningar uppger man att det räcker med en hel omrörning per vecka. Man undviker då att röra för mycket, vilket kan orsaka ansamlingar av boss, agnar och trasiga kärnor på botten av silon, som i sin tur minskar luftflödet.

En fördel med att röra kontinuerligt är mindre slitage på omrörarskruvorna och deras infästningar. Enligt Midwest Plan Service meddelande 22 (1980) måste omrörningen startas så fort spannmålshöjden har uppnått ca 1 meter. Fylls mer spannmål i silon blir det stora påkänningar på skruvorna och infästningarna, och i vissa fall kan man bli tvungen att hjälpa skruven på traven för att den ska orka starta. Dels är det mycket spannmål som skruven skall dra upp och dels är spannmålen packad runt skruven, vilket innebär ett stort engångsmotstånd vid igångsättningen.

### 1.4 Maximal torkningstemperatur

Vilken temperatur som spannmålskärnorna utsätts för påverkar deras kvalitet. Både grobarheten och baktingskvalitén försämras vid alltför höga torkluftstemperaturer. Även sammansättningen på vissa aminosyror, viktiga för foderkvalitén, förändras vid höga temperaturer. Den maximalt säkra torkningstemperaturen förändras också med vilken vattenhalt spannmålen har, och hur den torkas. I en tork med rörligt torkgod, utsätts spannmålen inte för den höga temperaturen under någon längre tid, och klarar därmed en högre temperatur, än i en tork där torkgodset är stillaliggande. I tabell 1 visas den maximala spannmålstemperaturen för stillaliggande spannmål, enligt rekommendationer i Storbritannien (McLean, 1989).



Tabell 1. Maximal torkningstemperatur

	Vattenhalt (% vb)	Maximal spannmålstemperatur (°C)
Malkorn och utsäde	Under 24	49
	Över 24	43
Kvarnvetete	Under 25	66
	Över 25	60
Foderspannmål		82 – 104

(McLean, 1989)

### 1.5 Tillväxt av mikroorganismer i en silotork

I en studie med majs undersöktes hur omrörning alternativt ej omrörning påverkade tillväxten av lagerskadesvampar (Baker m.fl., 1979). Under inläggningen visade båda partierna på 8 % endogen infektion av *Penicillium*. Vid avslutad torkning kunde ingen tillväxt av *Penicillium* påvisas i det omrörda partiet, däremot var infektionsgraden i medel 44 % i det orörda partiet. Speciellt i den övre halvan av partiet, närmast frånluftsidan, förekom det en betydande tillväxt av *Penicillium*. Inläggningsvattenhalten var 22 % för båda partierna och luftmängden under torkningen 53 m<sup>3</sup>/t\*h. Omrörningen skedde endast 24 timmar i veckan, under de 4 veckor torkningen pågick, och torkluften värmdes med solfångare.

#### 1.5.1 Säker lagringstid

Den tid som spannmål kan lagras utan begynnande tillväxt av skadliga mikroorganismer betecknas som "säker lagringstid". Rekommendationerna för den säkra lagringstiden var olika för amerikanska och svenska studier, tabell 2 och 3. Den säkra lagringstiden hade också beräknats olika, i de olika studierna. Den svenska studien (Jonsson, 1999) hade beräknat den säkra lagringstiden som tiden fram tills dess mögelsvampar börjat tillväxa i spannmålen. I den amerikanska studien (Thompson, 1972) hade den säkra lagringstiden beräknats som tiden fram till 0,5 % ts-förlust av spannmålen.

Tabell 2. Säker lagringstid för spannmål (höstvetete) enligt Jonsson, 1999 (Preliminära)

Temperatur °C	Tillgänglig tid, dagar, vid skördevattenhalt, %				
	18	20	22	24	26
25	9,7	4,4	2,7	2,0	1,6
20	10	6	4	3	2
15	35	14	8	5	4
10	40	20	12	9	6

*Tabell 3. Säker lagringstid för majs enligt Thompson, 1972*

Temperatur °C	Tillgänglig tid, dagar, vid skördevattenhalt, %				
	18	20	22	24	26
21,1	31	16	9	6	5
15,6	56	28	17	11	8
10,0	128	63	37	25	18

## **2. GENOMFÖRD FÄLTSTUDIE**

### **2.1 Syfte**

Syftet med denna studie var att utvärdera silotorkningen utrustad med omrörare som konserveringsmetod för spannmål under svenska förhållanden. I full skala studerades hur omblandningen av spannmålen påverkade torkningsförloppet, inklusive hur snabbt spannmålen torkades. I studien bestämdes också skruvarnas omblandningseffektivitet, torkarnas specifika energiförbrukning samt arbetsåtgången i samband med inläggningen. Även torkens utformning ur arbetsmiljömässig och hygienisk synvinkel bedömdes. I studien har konventionella varmluftstorkar använts som jämförelseled.

Utvärderingen inleddes i begränsad omfattning redan hösten 2003.

### **2.2 Material och metoder**

#### ***2.2.1 Torkningsanläggningarna***

Fyra stycken silotorkanläggningar studerades under skördesäsongen 2004. En av anläggningarna studerades även 2003. Som jämförelse gjordes även mätningar på tre gårdsanläggningar med konventionella varmluftstorkar. Samtliga torkanläggningar var belägna i Norra Götalands slättbygder. Storlekar och kapaciteter på de undersökta torkarna varierade, vilket framgår av tabell 4.

Av de undersökta gårdarna odlade samtliga gårdar med konventionell varmluftstork spannmål för avsalu, vilket också gällde för två av gårdarna med silotorkar. De övriga två gårdarna bedrev djurproduktion och använde spannmålen till foder.

De silotorkar som i denna utvärdering benämns Sukup/Twister är inte tillverkade för spannmålstorkning från början, utan är luftade lagringssilor för torkad spannmål, vilka i efterhand utrustats med omblandarskruvar. De silor som idag marknadsförs under detta namn har konstruerats för torkning och har bland annat fler ventilationshuvar och ett helt perforerat golv, till skillnad från i detta fall, då endast en del av golvet var perforerat.

Samtliga silotorkar var utrustade med spridare i toppen av silon, för att ge en jämnare fördelning av spannmålen över hela silons yta vid fyllningen.

Tabell 4. Data över de undersökta gårdarna

Gård	1	2	3	7
Torktyp	Silotork	Silotork	Silotork	Silotork
Fabrikat	DMC/MFS	DMC/MFS	Sukup/Twister	DMC/MFS
Storlek	2x925 m <sup>3</sup>	2x680 m <sup>3</sup>	2x480 m <sup>3</sup>	2x1208 m <sup>3</sup>
Omrörarfabrikat	DMC Stir-Up	DMC Stir-Up	Sukup Fastir	DMC Stir-Ator
Panneffekt	484+161 kW (2004)	150 kW	Varmvattenbatteri	220+135 kW
Fläkt	18,5 kW	15 kW	11-13,2 kW	22 kW
Installerad	2002	2002	1998/2000	2004
Inlastningskapacitet	60 ton/h	120 ton/h	80 ton/h	160 ton/h

Gård	4	5	6
Torktyp	Dubbel satstork	Enkel satstork	Kontinuerlig tork
Fabrikat	Tornum	Tornum	Akron
Storlek	6 ton/h 4%	6 ton/h 4%	5 ton/h 4%
Panneffekt	343 kW	343 kW	400 kW
Installerad	2002	2002	2002
Typ av luftningsficka	Konficka med luftningsbalk	Fickor med golvsveperplåt	Fickor med golvsveperplåt

### 2.2.2 Undersökta spannmålspartier

De konventionella gårdarna var valda i närheten av silotorksgårdarna, för att få lika väderförutsättningar mellan gårdarna. Målet var att följa två partier per gård, och att få motsvarande partier från konventionella respektive silotorksgårdar. Spannmålslag, tidpunkt för skörd, skördevattenhalter och skördekapacitet, framgår av tabell 5.

Tabell 5. Undersökta spannmålspartier

#### Silotorkar

Gård	1	1	2	3	3	7
Spannmålslag	Höstvete	Vårvete	Rågvete/Korn	Hvete/Rvete1	Hvete/Rvete2	Höstvete
Skördeperiod	17-24 aug	8-12 sep	12-29 aug	22-30 aug	3-7 sep	29 aug - 8 sep
Medel skördevattenhalt (%)	18,9	17,9	17,1	20,5	19,7	17,5
Inläggningstakt (ton/dag)	110	208	89	61	43	104
Antal dagar att fylla torken	5	3	5	4	5	8

### *Konventionella torkar*

Gård	4	5	6	6
Spannmålsslag	Höstvete	Korn	Höstvete	Rågvete
Skördeperiod	14-15 aug	18-24 aug	22-29 aug	4-5 sep
Medel skördevattnhalt (%)	15,7	16,9	19,8	17,1
Beräknad skördekapacitet (ton/dygn)	45	35	50	50

Skördekapaciteten för konventionella torkar är beräknad med en avkastning på 5 ton/ha och en snitthastighet på 4,5 km/h (SLA, 1973)

### **2.2.3 Skördeförhållanden**

Skördesäsongen 2004 inleddes med en torr och varm period i början av augusti vilket gav låga skördevattnhalter. Skördestarten var dock något försenad pga. en kall och torr vår och försommar. Under senare delen av augusti och början av september avlöste regnperioderna varandra, och skördevattnhalterna steg.

### **2.2.4 Mätmetoder**

Temperatur och luftfuktighet på utomhusluften och den luft som hade passerat spannmålen mättes med Hydrolog (Rotronic AG, Bassersdorf, Switserland). Loggern var försedd med en sensor för temperatur och luftfuktighet, Hygroclip (Rotronic Hygromer C94, Pt 100 RTD, 1/3 DIN). Angiven noggrannhet vid 23°C för Hygroclip var +/- 1,5 % RF och +/- 0,3°C. Temperatur på torkluften efter fläkten mättes med Tinytag Plus Tg 0020 (Gemini Dataloggers, West Sussex, United Kingdom) med en angiven noggrannhet av +/- 0,45°C vid 20°C. Lufttrycket mättes med PM 45 (ELKA-Elektronik, Lüdenscheid, Germany) med en angiven noggrannhet av 0,5%.

År 2003 monterades givarna på en frigolitskiva, vilken lades ovanpå den lagrade spannmålen. Därmed kunde kvalitén på frånluften mätas direkt efter att den lämnade torkskiktet. Denna placering innebar dock en risk att förlora givarna, på grund av att de blev nedgrävda av skruvarna. År 2004 placerades givarna därför istället på fästbalken till omrörarskruvarna. Nackdelen med denna placering var en ökad risk för att luftkvalitén skulle påverkas av instrålningen från väggar och tak. Avståndet från spannmålsytan till givarna varierade från ca 30 till 120 cm. Utplaceringen av givarna i silorna visas i bild 3.

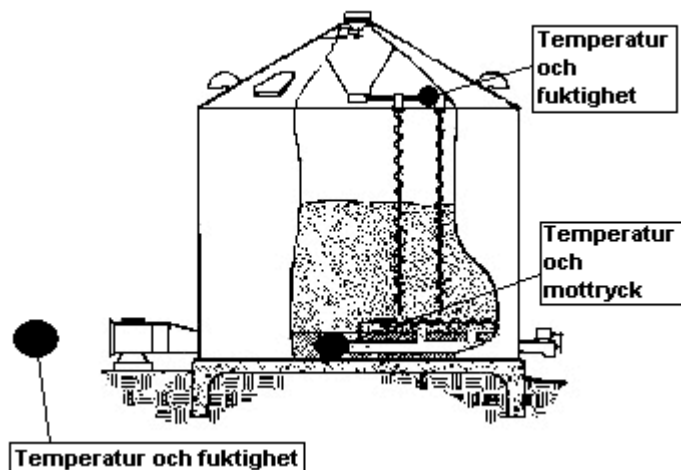


Bild 3. Givarnas placering i silon.

Tider för fyllning och skötsel av silotorkarna mättes i samband med inläggningen.

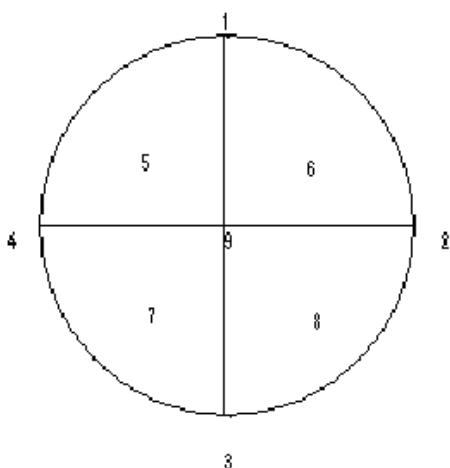
### 2.2.5 Provtagning

På gårdar med inlastningsselevator togs proverna med sigillprovtagare. Från övriga gårdar togs proverna med en provtagare utformad enligt anvisningar av Pitard (1993), direkt i flödet när spannmålslasset tömdes.

Efter avslutad torkning togs sammanlagt ca 40 prover per silo. Provtagningen genomfördes i silotoppen och prover togs i ytan och sedan ett prov per meter ned till tre meters djup. Hur provpunkterna var fördelade i silon framgår av bild 5. Dessa prover analyserades på vattenhalt för att skapa en bild av vattenhaltsvariationerna i silon, och därigenom få en uppfattning av hur väl omrörarna arbetar. Analyserna av grobarhet och mögelförekomst gjordes med samlingsprov. Proverna av den torkade spannmålen togs med ett speciellt utformat provtagningsspjut, utformat för att kunna ta prover ned till 6 meters djup, vilken beskrivs närmare i bild 4. (Seedburo Equipment, 2004).



Bild 4. Utformningen på den provtagare som användes vid provtagningen i silon, 15" lång med en diameter på 1,5" (Seedburo, www). Provtagaren fördes ned i spannmålen med hjälp av tunna rör i en meters sektioner, som gängades fast i varandra.



*Bild 5. Provpunkternas fördelning i silon.*

Motståndet i spannmålen var dock för stort för att med handkraft orka trycka ned mätsonden längre än tre meter. Lagringshöjderna i de undersökta silorna var varierade mellan 4,0 till 6,4 meter.

### **2.2.6 Analyser**

Vattenhaltsbestämningen skedde med hjälp av NIT utrustning vid Lantmännens spannmålmottagning i Mariestad (Foss Infratec<sup>TM</sup> 1241 Grain Analyzer), Försökscentralen på Ultuna (Foss Infratec<sup>TM</sup> 1241 Grain Analyzer) och Lantmännens mottagning i Uppsala (Pertin Instruments Inframatic 9100). Samtliga utrustningar kalibrerades on line mot en central enhet. En del av vattenhaltsbestämningarna skedde också i värmeskåp enligt en metod för hel kärna (ASAE S352.1).

### **2.2.7 Beräkningar**

Av all insamlad data skapades en logg för varje parti, där kvalitén på luften före och efter passage genom spannmålen kunde följas. Luftfuktigheter och vatteninnehåll beräknades med hjälp av formler hämtade från ett dataprogram, utvecklat av Edvard Nilsson år 1983. Mollierdiagrammet har också använts i beräkningsprocessen.

Ett beräkningsprogram utvecklades i Excel (2000) som hjälp för att beräkna den specifika energiförbrukningen.

### 3. RESULTAT OCH DISKUSSION

#### 3.1 Effekten av att spannmålen omrörs

##### 3.1.1 Torkförlopp

Frånluftens fuktighet har vid tjockskiktstorkning ett tydligt samband med spannmålets vattenhalt, och en sänkning av frånluftens fuktighet orsakas av en lägre vattenhalt på spannmålen.

Den tydligaste bilden av torkförloppet representeras av de mätningar som gjordes på havre, gård 1, 2003. I detta fall var Rotronic Hydrolog, placerad på en cellplastskiva, stillaliggande ovanpå spannmålen i silotoppen. Därmed registrerades endast kvalitén hos frånluften i en punkt av spannmålsytan. Frånluftens relativa luftfuktighet förändrades tydligt i samband med att skruven passerade. Även luftens temperatur förändrades vid dessa tillfällen.

Skördesäsongen 2004 var givarna istället placerade på den rörliga skruvbalken ovanför spannmålen, och representerar en blandning av frånluften från flera delar av spannmålslagrets ovanyta, diagram 1 och 2. Luftens temperatur och därmed relativa fuktighet påverkades sannolikt också av värmestrålningen från silons tak och väggar, vilket framgår av dygnsvariationen. En successiv sänkning av frånluftens fuktighet kunde dock observeras under den tid pannan var i drift, vilket visar på att spannmålspartiet torkade.

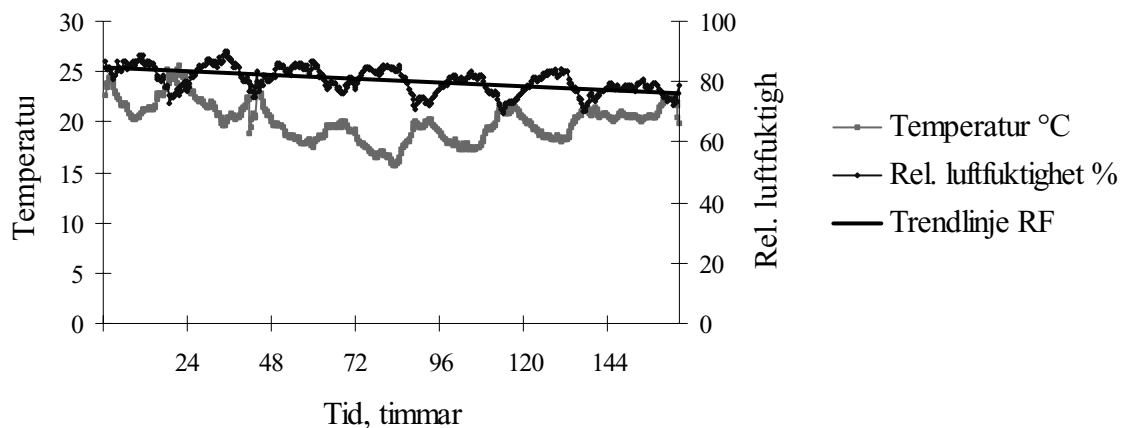


Diagram 1. Frånluftens fuktighet och temperatur, Höstvet/Rågvete 1, gård 3.



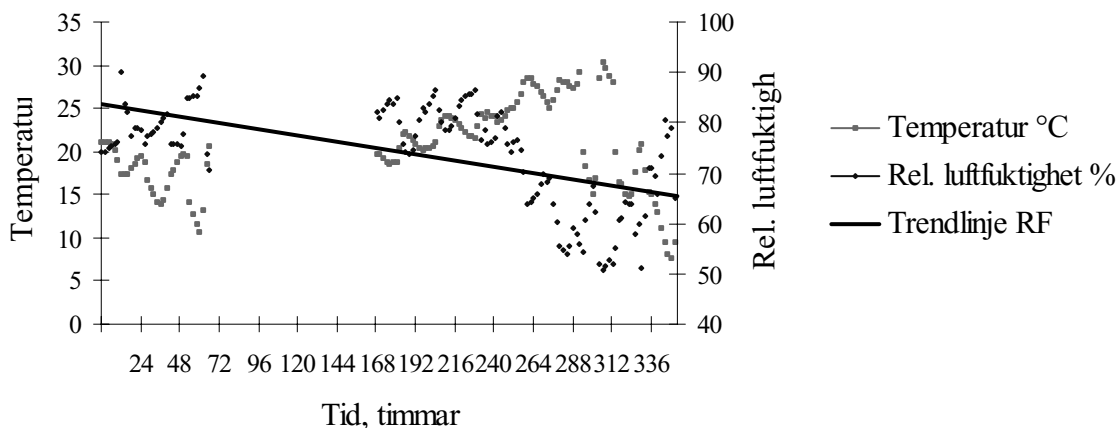


Diagram 2. Frånluftens fuktighet och temperatur, gård 7.

I en kallluftstork, med eller utan tillsatsvärme, torkar spannmålen långsamt. En torkzon rör sig från luftens inlopp till spannmålsytan. Detta medför att frånluften har samma fuktighet fram tills dessa att torkzonen bryter igenom spannmålsytan. Att frånluftens fuktighet sjunker med några procentenheter varje gång skruven passerar, visar på att omrörarskruvarna bryter upp torkzonen och tillåter en större del av spannmålsskiktet att torka samtidigt.

### 3.1.2 Mottryck

Luftmotståndet förändrades märkbart efterhand som omrörarna fick arbeta. I höstvetete från gård 1 har tydliga luftmotståndsminskningar registrerats mellan de olika dagar som inläggningen skedde, diagram 3. I samband med fyllning ökade luftmotståndet för att sedan avta något innan nästa fyllning. Samma tendens registrerades i vårvete från gård 1 och i en av silorna från gård 3. Mottryckets minskning är i storleksordningen 5 till 10 mm vp. På gård 3 fluktuerade mottrycket under dygnet, vilket sannolikt var en effekt av variationer i luftens densitet till följd av variationer i tilluftens temperatur.

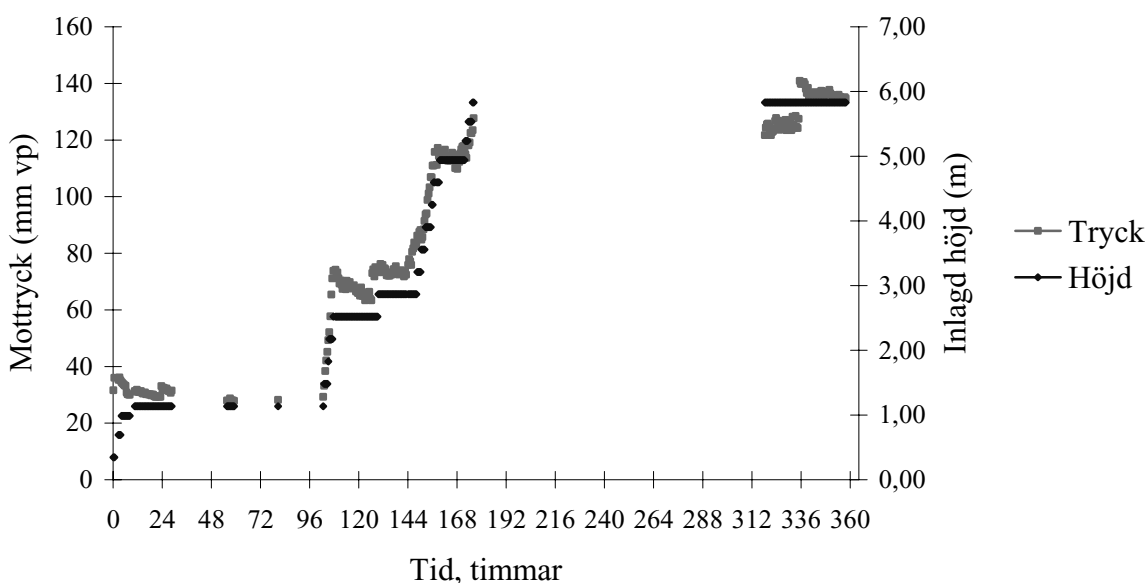


Diagram 3. Mottryck i höstvetete gård 1.

Det totala luftmotståndet var lägre än motsvarande data för icke omrörd spannmål (Brooker m.fl., 1992), när spannmålen var inlagd i silon med hjälp av spridare, tabell 6. Dock påverkas luftmotståndet av ytan hos de frånluftsöppningar som finns i silons ovandel. Enligt en amerikansk rekommendation bör frånluftsytan vara minst 0,053 m<sup>2</sup> per 1000 m<sup>3</sup> luft (MWPS nr 13, 1987). Detta klarade gård 1,2 och 7 men inte 3, se tabell 7. Det gäller dock vid de lägre luftflöden som förkom vid nästan full silo. En mindre fylld silo ger ett mindre mottryck och därmed ett större luftflöde, vilket i sin tur ger en mindre luftningsarea per 1000 m<sup>3</sup> luft. I dessa siffror är det räknat med att manluckan står öppen.

Tabell 6. Mottryck, totalt och per meter  
Silotorkar

Gård		1	1	2	3	3	7
Parti		Höstvete	Vårvete	Rågvete/korn	Hvete/Rvete1	Hvete/Rvete2	Höstvete
Lagringshöjd	m	5,4	6,0	6,4	4,5	4,0	6,4
Specifik luftmängd (medel)	m <sup>3</sup> /ton*h	58,3	42,2	42,7	48,0	58,5	39,3
Mottryck	mm vp	134,7	173,4	180,0	150,3	140,5	161,0
Teoretiskt mottryck	mm vp	198,7	190,8	240,0	113,8	108,4	207,4
Uppmätt tryckfall per meter	mm vp/m	24,9	28,9	28,1	33,4	35,1	25,4

Teoretiskt tryckfall beräknat enligt Shedd (1953).

Tabell 7. Specifik frånluftsyta  
Silotorkar

Gård		1	1	2	3	3	7
Parti		Höstvete	Vårvete	Rågvete/Korn	Hvete/Rvete1	Hvete/Rvete2	Höstvete
Frånluftsyta	m <sup>2</sup>	2,42	2,42	2,33	0,37	0,5	2,5
Luftflöde (full silo)	m <sup>3</sup> /h	28600	25200	18900	11500	12200	32600
Specifik frånluftsyta	m <sup>2</sup> /1000 m <sup>3</sup>	0,085	0,096	0,123	0,032	0,041	0,077

Det höga mottrycket trots stor specifik frånluftsyta på gård 2, beror troligtvis på få omröringar.

De uppmätta värdena på totalt mottryck stämmer ganska väl med värden givna av GSI (Grain System Incorporated), för samma specifika luftmängder och lagringshöjder. Dock skiljer sig de två partierna från gård 3 från de övriga. Detta beror troligtvis på den lilla specifika frånluftsyta som dessa silor hade. Genom en enkel överslagsberäkning med hjälp av Bernoullis ekvation visade det sig att det mottryck som uppkom då luften skulle pressas ut ur silon var betydligt högre för gård 3 än för övriga gårdar (Dalvig, 1975). Mid West Plan Service (medd. nr 29, 1999) anger maximalt mottryck i tryckkammaren mellan spannmålen och taket till 3,2 mm (1/8") vattenpelare. Silorna från gård 3 låg precis på gränsen med dessa beräkningar. Hamnar mottrycket över dessa gränser kan inte fläkten fungera.

En teoretisk kurva för specifik luftmängd beroende av inlagd mängd spannmål kan konstrueras för de olika fläktarna och sedan kan motsvarande kurva konstrueras med

uppmätta värden (Shedd, 1953). Fläkten på gård 1 höll sig i närheten av den teoretiska kurvan och därigenom var troligtvis förlusterna små för den fläkten. Samma tydliga samband kunde dock inte ses för fläkten på gård 3. De uppmätta värdena hamnade långt under de teoretiska vilket visade på att denna fläkt hade stora förluster. Denna avvikelse kan vara ett resultat av att det förekom flera hinder för luftens passage i detta torksystem. En orsak kan vara motståndet i det värmeväxlelement som värmdes torkluften. Det mottryck som uppkom på grund av den lilla specifika frånluftsarean, kan också vara en orsak. Ytterligare en orsak kan vara det skräp som samlades under golvet. Vid ett besök på gård 3, observerades stora mängder spannmål och trasiga kärnor under golvet, vilket troligtvis också kan ha bidragit till det höga mottrycket. För dessa jämförelser se bilaga 1.

Om mottrycket per meter beräknas för motsvarande spannmål utan omrörning, med hjälp av formler givna av Shedd (1953) kan det konstateras att de uppmätta värdena ligger ca 30 procent under de beräknade, tabell 6. Denna skillnad, bekräftas med hjälp av en studie genomförd på majs av Bern m.fl., (1979).

### 3.2 Torkningens genomförande

I diagram 4 och 5 visas när pannan var igång och när spannmål lades in i silon för de två spannmålspartierna på gård 1. Även frånluftens relativa fuktighet visas.

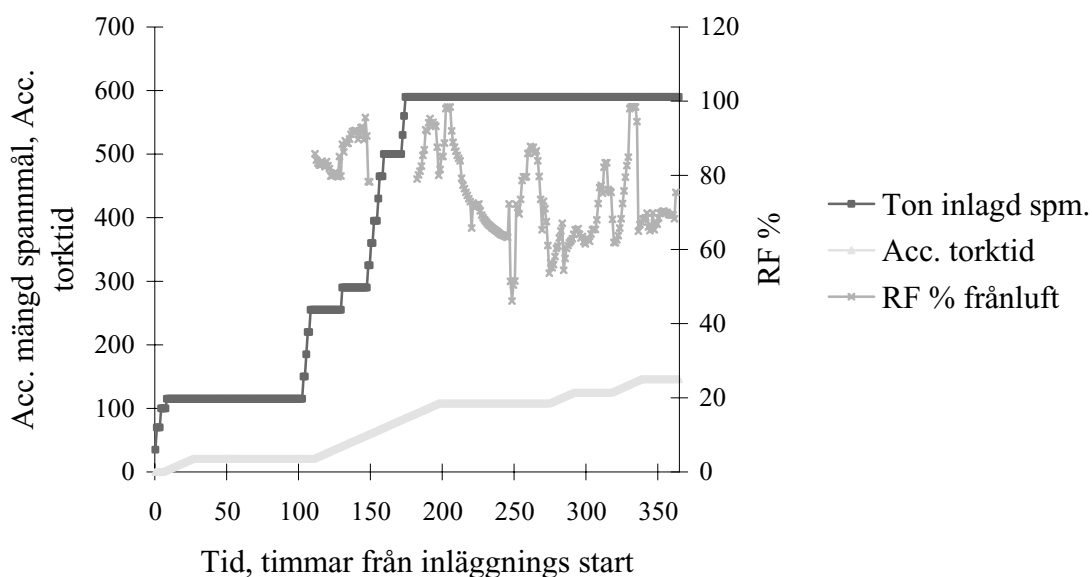


Diagram 4. Torkningens genomförande, höstvetete gård 1.

För höstvetet, har lantbrukaren kört pannan under inläggningen och sedan vid två separata tillfällen, diagram 4. Diagrammet visar att några lass har lagts in, och hur torken sedan fick arbeta ett tag innan nya lass lades in. Det andra partiet, som var vårvetete, lades däremot in under en koncentrerad period, diagram 5. Här har panna varit igång under en sammanhängande period, men totalt blev torktiden längre än för höstvetete. Orsaken till denna skillnad var att under torkningen av vårvetete gick pannan större delen av tiden på det lägre av två effektsteg (484 kW), medan under torkning av höstvetete var båda stegen inkopplade (643 kW). Den utdragna inläggningen av höstvetete medförde att den först inlagda spannmålen hann

torka något innan nästa något fuktigare spannmålslass lades in. På detta sätt förlängdes den skadefria lagringstiden för den ”blöta”, sist inlagda spannmålen, i takt med att den blandades med torrare spannmål. Effekten av denna iblandning blir mindre, ju mindre vattenhaltsskillnaden är, exempelvis vid högre inläggningstakt, vilket var fallet med vårvetet.

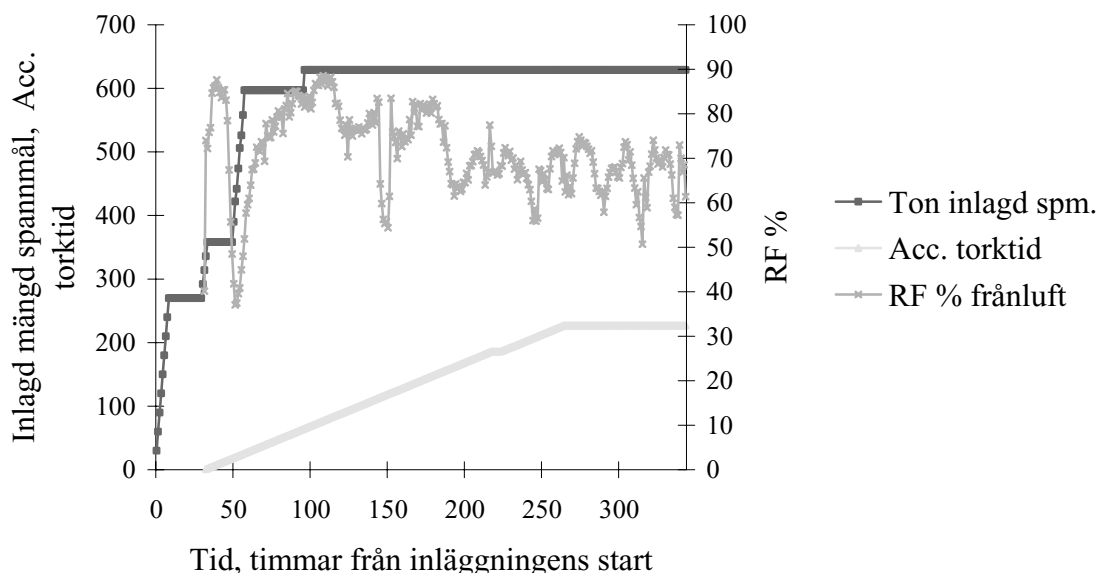


Diagram 5. Torkningens genomförande, vårvete gård 1.

### 3.3 Teoretisk beräkning av torktider

Genom att utgå från en av de silotorkar som förekom i utvärderingen och göra antaganden om inläggningshastighet och skördevattenhalter har teoretiska torktider kunnat beräknas.

Antagandet gäller silotorken på gård 1. Inläggningshastigheten antogs vara 35 ton/timme, 6 gånger per dag under tre dagar. Totalt läggs 630 ton spannmål in i silon, och alla lass antas ha samma genomsnittliga vattenhalt. Två olika pannalternativ har tagits med i beräkningen, ett alternativ med den panna som levererades med torken, 200 kW, och ett alternativ med den panna som används idag, 640 kW. Resultaten av den teoretiska beräkningen, med nedtorkning till 14 % vattenhalt, kan utläsas i tabell 8.

Tabell 8. Teoretiskt beräknade torktider

Inläggningsvattenhalt	Torktid (dygn) 200 kW	Torktid (dygn) 640 kW
16	7,1	2,2
18	14,8	4,4
20	17,4	5,0
22	24,8	7,6
24	25,3	9,8
26	34,4	11,3
28	42,6	12,8
30	51,2	14,4

I dessa teoretiska beräkningar är det räknat med att 20 % av den energi pannan producerar, förloras innan luften når spannmålen. Mer om dessa förluster diskuteras i avsnittet specifik energiförbrukning. Vid beräkningen av torkningskapaciteten har även 10 % av luftmängden betraktats som ej utnyttjbart, för att kompensera för förluster beroende på ojämn luftgenomgång och läckage. Inläggningen antas vid vattenhalterna 16 – 20 %, ske under tre på varandra följande dagar. Vid de högre vattenhalterna, 22 – 30 %, antas inläggningen ske varannan dag under totalt sex dagar.

Dessa beräkningar ger en fingervisning om hur torktiderna förändras med inläggningsvattenhalten. Andra inläggningsförlopp och varierande inläggningsvattenhalter ger andra torktider.

### **3.4 Förändring av den säkra lagringstiden**

Som exempel på förändring av den skadefria lagringstiden kan återigen höstvetet från gård 1, torkat med 643 kW panna, användas. I bilaga 2 visas en teoretisk beräkning av hur mycket av den skadefria lagringstiden som utnyttjats vid olika tidpunkter. Under det första dygnet, dygn 0, lades parti A in i silon och torkades sedan under ett dygn ned från en medelvattenhalt på 18,4 % till 14,8 %. Under den tid det tog att torka ned spannmålen förbrukades 8 % (1 dygn av 12,5) av den skadefria lagringstiden enligt Jonsson (1999). Sedan lagrades spannmålen under tre dagar, fram tills dess att ytterligare ett spannmålsparti lades in i silon och detta förbrukade ytterligare 5 % av den skadefria lagringstiden. När nästa parti, parti B, lades in i silon höjdes medelvattenhalten på parti A från 14,8 till 17,5 %. På detta sätt fortsätter beräkningen tills dess att spannmålen var torkad till en medelvattenhalt av 14,2 %. Parti A, som lades in först, hade fram tills dess att spannmålen var torkad, förbrukat 72 % av den skadefria lagringstiden.

För de olika partier (A – E) som lades in i silon varierade utnyttjandegraden av den skadefria lagringstiden från 33 till 72 %. Höstvetet på gård 6, som torkades med en konventionell varmluftstork, buffertlagrades med luftning, under tre dagar vid en vattenhalt på 19,7 %, torkades till 16 % och lagrades ytterligare tre dagar innan det torkades till 14 %. Med detta förfarande utnyttjades ca 50 % av den skadefria lagringstiden.

Liknande beräkningar av hur mycket av den säkra lagringstiden, som måste utnyttjas för att torka ned spannmålen från några olika vattenhalter till 14 % redovisas också i bilaga 2. Beräkningar gjordes för 18, 20 och 24 % vattenhalt, bilaga 2. I alla fall med den mindre pannan (200 kW) överskreds gränsen för säker lagringstid innan spannmålen har nått 14 % vattenhalt, men endast i 24 % fallet med den större pannan (640 kW). Detta tyder på att silotorken måste användas med försiktighet vid höga skördevattenhalter.

### **3.5 Omblandningseffektivitet**

#### **3.5.1 Skördevattenhalter**

Max- och minvattenhalterna i tabell 9 visar att skördevattenhalterna för de olika silotorksgårdarna varierade rätt mycket. Mycket av denna variation kan förklaras av det rådande skördevädret. Ingen av de observerade skördevattenhalterna var dock extremt hög. Endast ett eller några lass från gård tre hade en vattenhalt över 25 %. Den genomsnittliga skördevattenhalten för silotorksgårdarna låg dock rätt nära varandra och avvek inte nämnvärt från skördevattenhalterna på referensgårdarna, tabell 10.

Tabell 9. Skördevattenhalter silotorkar

Gård		1	1	2	3	3	7
Parti		Höstvete	Vårvete	Rågvete/Korn	Hvete/Rvete1	Hvete/Rvete2	Höstvete
Medel skördevattenhalt	%	18,9	17,9	17,1	20,5	19,7	17,5
Min och Max vattenhalt	%	17,1 – 21,2	17,2 – 20,0	14,1 – 19,6	16,4 – 25,2	15,9 – 26,2	13,0 – 21,4

Tabell 10. Skördevattenhalter konventionella torkar

Gård		4	5	6	6
Parti		Höstvete	Korn	Rågvete	Höstvete
Medel skördevattenhalt	%	15,7	16,9	17,1	19,8
Min och Max vattenhalt	%	14,8 – 16,7	16,4 – 18,4	15,8 – 19,0	18,5 – 21,6

### 3.5.2 Uttagsprover

Det förekom stora vattenhaltsvariationer inom en silo när spannmålen var färdigtorkad, tabell 11 och bilaga 3. En tydlig tendens var en högre vattenhalt i mittenpartiet. Detta kan troligtvis förklaras av den synbart högre ogräsmängden i denna del av silon. Med små och stora kärnor om vartannat blir luftmotståndet större. Detta får till följd ett lägre luftflöde, varvid spannmålen torkar långsammare i denna del av silon. Genomsnittliga uttagsvattenhalter redovisas i tabell 11.

En högre andel ogräsfrön observerades i de prover som togs i mitten av silon, detta speciellt i de översta två metrarna. En trolig orsak till detta var att spridarens inställning inte ändrades allteftersom silon fylldes. När avståndet från spridaren till spannmålsytan minskar, förändras spridningsbilden. Ogräsfrön är mycket lättare än spannmålskärnor och kastas därför inte lika långt, vilket påverkas ännu mer när avståndet till spannmålsytan minskar. För att minska dessa problem är spannmålsens renhet innan inläggning viktig, vilket kan åtgärdas genom rensning. Korrekt inställning av spridarna är också en viktigt åtgärd för att minska problemen med en sämre luftgenomgång i silons centrum.

Vattenhaltsvariationen i vertikalled var ganska liten i de fall där omröraren hade fått arbeta under en längre tid. På gård två hade omröraren endast gått under totalt 3 dygn vilket enligt tillverkaren av omröraren innebar 1,5 omrörning (Hansson, pers). Med en omrörning menas att skruvarna skall ha passerat över hela silons yta en gång. Det fanns skillnader i vattenhalt mellan de prover som togs någon eller några meter in från väggen och de som togs så nära väggen som möjligt. Orsaken till detta var troligtvis variationer i luftflöde i silotorken.

Tabell 11. Spannmålets vattenhalt efter avslutad torkning samt omblandningsintensitet  
Silotorkar

Gård		1	1	2	3	3	7
Parti		Höstvete	Vårvete	Rågvete/Korn	Hvete/Rvete1	Hvete/Rvete2	Höstvete
Medel Uttagsvattenhalt	%	14,2	13,8	16,7	16,5	16,8	12,7
Min och max Uttagsvattenhalt	%	10,8 – 18,5	12,2 – 15,6	14,8 – 18,8	15,4 – 18,1	15,5 – 19,1	10,6 – 14,2
Std. avv. Uttagsvattenhalt		1,8	0,9	1,0	0,8	1,1	0,8
Uppskattad omrörningstid	tim	160	250	72	310	164	440
Antal omrörningar	st.	3,3	5,2	1,5	8,6	4,6	9,2

Antal omrörningar har beräknats utifrån tillverkarnas uppgifter om omrörarnas rörelsehastighet och rörelsemönster i silon.

En liten skillnad kan skönjas mellan de olika torkfabrikat som ingår i utvärderingen, DMC/MFS och Sukup/Twister. Silotorken från Sukup/Twister hade något högre vattenhalter efter kanterna, till skillnad från silotorken från DMC/MFS där det snarare var tvärtom, det vill säga lägre vattenhalter efter kanterna. En trolig orsak till detta var att golvet hade olika utföranden i de olika silotorkarna. Golvet i silotorken från DMC/MFS var helt perforerat till skillnad från golvet i silotorken från Sukup/Twister, som endast var perforerat i ett stort kors mitt i silon. Den torrare kantspannmålen i DMC/MFSs silo var då troligtvis en kanteffekt, det vill säga luften smet ut efter väggen. Utformningen av golvet i silotorken från Sukup/Twister gjorde däremot att luftgenomgången längs väggarna försvårades och att spannmålen efter kanten fick en högre vattenhalt. Dock var spannmålen i de två olika fabrikaten inte nedtorkade till samma vattenhalt, vilket ger en viss osäkerhet i en sådan jämförelse.

Analysresultaten tyder dock på att omrörarskruvarna hade utfört ett bra arbete i vertikalled. Det fanns inte i något fall där omröraren fått arbeta ordentligt, någon större vattenhaltsskillnad med djupet. I vissa fall fanns en tendens till lägre vattenhalt i ytan, vilket tyder på att skruvarna hade dragit upp torr spannmål. Utefter väggarna ökade dock vattenhalterna i de allra flesta fall med djupet, vilket kan tyda på att skruvarna inte kommer åt tillräckligt efter väggen.

Att se någon skillnad mellan de två olika fabrikat på omrörare som ingick i utvärderingen är svårt. Detta på grund av att gård 3 som hade omrörarfabrikat Sukup, inte torkade ner spannmålen till samma vattenhalter som de gårdar som hade omrörarfabrikat DMC. Att dra några slutsatser mellan gård 2 och 3 är även det svårt, trots att vattenhalterna var någotsånär lika, eftersom omröraren på gård 2 endast hade arbetat i begränsad omfattning.

### 3.6 Specifik energiförbrukning

Den specifika energiförbrukningen för de undersökta torkarna kan beräknas på två sätt. För att få den totala energi som har förbrukats togs pannans driftstid gånger dess märkeffekt, vilket gav bruttoeffekten för torksystemet, det vill säga den energi som bör ha gått åt, exempelvis i form av olja.

Energiförbrukningen kan också beräknas genom den temperaturhöjning som pannan åstadkommit hos tilluften, strax innan den nådde spannmålsskiktet, och den luftvolym fläkten

åstadkom. Då beräknas nettoenergiförbrukningen, det vill säga den energi som kan nyttogöras för att avdunsta vatten.

För beräkning av den specifika energiförbrukningen (kJ/kg H<sub>2</sub>O), beräknades borttorkad mängd vatten med hjälp av ingående och utgående vattenhalter. Genom att mäta spannmålens lagringshöjd i silon, har inlagd volym beräknats. Med hjälp av lassvikter från gård 7 har en uppskattning av spannmålens rymdvikt i silon beräknats, och inlagd vikt bestämts för övriga silotorkar med vete. För övriga spannmålsslag har en uppskattning utifrån givna data gjorts för att beräkna rymd vikten.

Den specifika nettoenergiförbrukningen fördelade sig mellan de olika silotorkarna enligt tabell 12.

Tabell 12. Beräknad specifik nettoenergiförbrukning  
Silotorkar

Gård		1	1	3	3	7
Parti		Höstvete	Vårvete	Hvete/Rvete1	Hvete/Rvete2	Höstvete
Temperaturhöjning (medel)	°C	31	26	21	15	21
Drifttid panna	tim	145	226	310	164	239
Luftmängd (medel)	m <sup>3</sup> fl/h	31900	26600	11700	12700	32600
Borttorkad mängd vatten	kg	30800	34600	11800	7500	47300
Specifik energiförbrukning	kJ/kg H <sub>2</sub> O	5830	5623	7977	5138	4324

Energiförbrukningen är beräknad enligt anvisningar för torklab, Kurs Teknik för biomaterial (Regnér, 1998).

Medeltalet för alla 5 undersökta silotorkar var 5780 kJ/kg H<sub>2</sub>O. Detta skall jämföras med motsvarande siffra för en konventionell balktork, som är 4190 kJ/kg H<sub>2</sub>O, utprovad under standardiserade förhållanden (AB Akronmaskiner, 1996). Dessa siffror är nettoenergin för att avdunsta vattnet under de givna förhållandena, och inga förluster i form av rökgas- eller värmeförluster från pannan är medräknade.

Genom dessa två olika sätt att beräkna energiförbrukningen kan en verkningsgrad för torksystemet beräknas. Denna verkningsgrad betecknar hur mycket av den energi som pannan producerar som verkligen kommer spannmålen till nytta, det vill säga, hur mycket som används för borttorkning av vatten och hur mycket som går förlorat. Med en verkningsgrad på 80 %, används 80 % av den värme som pannan producerar till att torka bort vatten och resterande mängd värme går förlorat på ett eller annat sätt.

Verkningsgraden blev dock väldigt olika för olika torkar. En möjlig förlustväg för den tillförda energin var dragavbrottet mellan pannan och fläktens luftintag. En väl genomförd skärmning mellan pannan och fläkten kan förhindra värmeförlust. Likaså måste pannans luftvolym (m<sup>3</sup>/h) vara avpassad för fläktens luftvolym. Detta är särskilt viktigt då höga lagringshöjder har uppnåtts i silon, eftersom silotorksfläktens förmåga att leverera luft minskar med ökat mottryck. Pannan däremot jobbar hela tiden utan mottryck, och dess levererade luftmängd per tidsenhet förändras inte med lagringshöjden. Detta problem kan exemplifieras med data från höstvetet gård 1. Pannan hade en uppgiven luftmängd på 32 000 m<sup>3</sup>/h (Qvist, pers), medan siloflätten gav, vid det mottryck som motsvarade full silo, 28 600 m<sup>3</sup>/h.

I tabell 13 redovisas inte data för gård 2 och 3. Gård 2 använde inte sin panna medan gård 3 hade ett varmvattenbatteri som eldades med fastbränsle och där effekten varierade från 64 till 83 kW. Effekten på pannan på gård 1 var enligt tillverkaren 643 kW (Qvist, pers). Det finns



dock vissa reservationer beträffande dess prestanda då pannan var köpt begagnad.

Tabell 13. Torksystemets verkningsgrad  
Silotorkar

Gård		1	1	7
Parti		Höstvete	Vårvete	Höstvete
Av pannan tillförd effekt	kJ/kg H <sub>2</sub> O	10008	11612	5369
Beräknad energiåtgång vid torkningen	kJ/kg H <sub>2</sub> O	5830	5623	4324
Verkningsgrad system	%	0,58	0,48	0,81

De siffror för energiförbrukning som redovisas i ovanstående innehåller ingen energiförbrukning för fläkt och omrörare, den energiförbrukningen tillkommer i den totala energiförbrukningen, och där kan med hjälp av amerikanska studier på majs, konstateras att omröraren endast förbrukar en liten del av energin i förhållande till fläkten (Bern m.fl., 1984). Som räkneexempel från denna studie kan höstvete från gård 1 studeras. Fläkten förbrukar 14,9 kW (Jeppsson, 1980) och är i drift under 160 timmar vilket innebär en total förbrukning av 2384 kWh. Omröraren hade samma driftstid men en betydligt lägre effekt (4 motorer gånger 2 kW) och förbrukade sammanlagt 1280 kWh. Totalt torkades 30800 kg vatten bort, vilket ger en specifik energiförbrukning av 279 kJ/kg H<sub>2</sub>O för fläkten och 150 kJ/kg H<sub>2</sub>O för omröraren. Den specifika elenergiförbrukningen för en konventionell balktork har uppmätts till 175 kJ/kg H<sub>2</sub>O (AB Akronmaskiner, 1996).

En viktig faktor som inte kan förbises är även den energi som produceras genom värmeproduktion i spannmålspartiet. Vid de torkluftstemperaturer och de torktider som har förekommit under den genomförda studien är inte värmeproduktionen i spannmålen försumbar. I medeltal hamnade den på ca 500 kJ/kg H<sub>2</sub>O (Jouin, 1964), se tabell 14. Denna energi har också hjälpt till att avdunsta vatten. Visserligen produceras en viss mängd vatten vid värmeproduktion, men inte mer än att den energi som produceras kan hjälpa till att avdunsta annat vatten.

Tabell 14. Värmeproduktion i spannmålen  
Silotorkar

Gård		1	1	3	3	7
Parti		Höstvete	Vårvete	Hvete/Rvete1	Hvete/Rvete2	Höstvete
Värmeprod. i spannmålen	kJ/kg H <sub>2</sub> O	514	571	1277	633	110

### 3.7 Arbetsåtgång

Den tid det tog att tömma ett lass spannmål, se tabell 15, varierade mellan de olika gårdarna, eftersom de hade olika utrustning för detta. De mätta tiderna grundar sig på ett begränsat antal observationer. Den totala tid det tog för lantbrukaren att tömma ett lass spannmål, titta till anläggningen och ta vattenhaltsprov, varierade från 20 sek per ton till 3 min per ton.

Tabell 15. Specifik tidsåtgång  
Silotorkar

Gård		1	2	3	7
Fyller silon genom		60 ton/h elevator från 21 m <sup>3</sup> grop	120 ton/h grainpump från 3 m <sup>3</sup> grop	80 ton/h traktordriven skruv	160 ton/h traktordriven skruv
Genomsnittlig lassvikt	ton	35	13	12	10
Genomsnittlig tömningstid inkl. anl. Skötsel	min	12	15	33	10,8
Specifik tidsåtgång	min/ton	0,3	1,2	2,8	1,1

För motsvarande storlek på konventionell varmluftstork, var tidsåtgången enligt studier av Ekström (1972) och Ekström, Sörlin (1978), 2 – 3,5 minuter per ton, beroende på automatiseringsgrad, vid nedtorkning från ca 22 % vattenhalt.

### 3.8 Hygienisk- och arbetsmiljömässig utformning

#### 3.8.1 Hygien

I ett flertal av de studerade silorna, kunde stora mängder damm och dammavlagringar observeras, detta speciellt i taket och längs den översta metern av siloväggarna. Mycket av detta damm satt troligtvis kvar från tidigare lagringsåsonger. Under det perforerade golvet samlades också en hel del damm, trasiga kärnor och annat skräp. Vid en observation på gård 3 sågs stora mängder spannmål, trasiga kärnor, boss och agnar under golvet. Med tanke på den stora mängd boss, agnar och trasiga kärnor som sannolikt produceras under omrörningen, ca 1,7 kg ts per omrörd timme för majs (Bern m.fl. 1986), är det inte konstigt att det samlas damm under golvet.

Silorna på gård 1, 2 och 7 var utrustade med ventilationshuvor för att tillåta passage av frånluften. Dessa huvor hade ett nät monterat nästintill vågrätt på frånluftssidan. Under skörden 2004 kunde i ett flertal av dessa huvor stora mängder damm, agnar och boss observeras på nätet. Dammansamlingen är inte bara en hygienisk fara, det försämrar dessutom silons frånluftsförmåga. En enkel lösning på detta vore att göra gallren självrensande genom att placera dem lodrätt.

#### Kondens

På grund av den höga torkluftstemperaturen, observerades på gård 1 och 7 stora mängder kondens på väggar och tak, och i vissa fall regnade det nästan från taket. Takkondensen samlades vid takets skarvar och bultar, och vid tillräcklig mängd rann den av. Mycket kondens samlades också runt ventilationshuvornas infästningar. Även väggarna var fuktiga, också nere i spannmålen. All fukt gjorde det lättare för damm att fastna på väggar och tak, vilket märktes tydligt i de nya silorna på gård 7, som efter avslutad torkning hade fått ett lager damm fastklett på övre delen av väggen. Dammet och fukten fick kärnor att fastna på väggarna vid fyllning. Vid en observation av vårvete på gård 1 hade många av dessa kärnor börjat gro. Då kunde även kakor av fuktig spannmål observeras i spannmålen. I anslutning till de punkter i silon där det formligen regnar av kondens, kunde även kakor av fuktig spannmål observeras.

Under tömningen av höstvetet på gård 1 observerades kondensfukt under den nivå som

spannmålen hade lagrats till, på den nordöstliga väggfjärdedelen, vilket gjorde att kärnor fastnade på väggen.

På gård 3 observerades inte detta fuktproblem, inte i någon av silorna, ej heller på gård 2. Den troligaste orsaken till detta är att gård 3 använde en betydligt lägre torkluftstemperatur än vad gård 1 och 7 gjorde, och att gård 2 inte använde varmluft över huvud taget. Dock fanns en hel del damm ansamlad på insidan av väggar och tak, även i gård 2 och 3:s silor.

### **3.8.2 Arbetsmiljö**

På gård 1, 2 och 7 var det mycket enkelt att komma upp till manluckan på silon då dessa silor var försedda med en gemensam stadig trappa på utsidan, som gjorde arbetet tryggt och säkert. Mellan silorna fanns en plattform vilken gjorde att siloskötaren enkelt kunde öppna och titta ner genom manluckan. På gård 3 däremot förekom endast en stega på utsidan av silon, och på endast en av silorna var stegen försedd med skyddskorg. Det saknades också plattform vid manluckan.

Själva manluckan var trång på alla fyra silogårdarna och passagen genom den, in i silon var inte helt enkel. På gårdarna 1, 2 och 7 underlättades detta genom plattformen. Den invändiga stegen var liksom trappan av stadigt utförande på gård 1, 2 och 7, men var inte fullt lika stadig på gård 3. På gård 3 var det dessutom ett stort avstånd till första steget. Hur enkelt och säkert det är att komma i och ur silon påverkar naturligtvis hur ofta silon inspekteras, och hur ofta spannmålen provtas för kontroll av torkningsförloppet.

## **3.9 Analyser av mögelförekomst och grobarhet**

På de prover som togs ut för vattenhaltsanalys gjordes även mikrobiella analyser (Inst. f. Mikrobiologi, SLU, Uppsala), och grobarhetsprover (Statens utsädeskontroll, Svalöv), och resultaten av dessa redovisas i bilaga 4. Enligt resultaten har ingen signifikant tillväxt av lagerskadesvampar kunnat fastställas, under skörde- och torkningsperioden. I eventuellt ett fall, vårvete på gård 1 var dock totalantalet CFU högre efter avslutad torkning jämfört med hos skördeprovet, vilket kan tyda på en begynnande tillväxt. Inga uppenbara förändringar av grobarheten kunde heller upptäckas. Något inläggningsprov hade mycket låg grobarhet, troligen orsakat av liggsäd. Variationen i vattenhalt efter avslutad torkning hos den silotorkade spannmålen visade dock att det förelåg risk för mögeltillväxt under efterföljande lagring hos fyra av de sex partierna. För lagring under vintermånaderna kan det räcka med att torka ned spannmålen till 16 % vattenhalt om den kyls genom luftning, till under 15 °C. För helårslagring bör spannmålen torkas till max 14 % vattenhalt.

#### 4. SLUTSATSER

För att få en jämn torkning i en silotork med omrörare, måste den inlagda spannmålen vara väl rensad. Man undviker då problem med ansamlingar av ogräsfrön och skalrester i mitten av silon. Detta har även konstaterats i en tidigare studie med majs (Brooker m.fl., 1992). Luftgenomgången blir bättre och risken för dålig torkning i mittenpartiet minskar.

En annan viktig faktor för ett gott torkresultat är en ordentlig frånluftsarea. Minimum enligt MWPS-13 är  $0,053\text{m}^2/1000\text{ m}^3$  luft. Nästan alla studerade silor uppfyllde detta krav när silon var full. Ytterligare frånluftsöppningar behövs för att klara detta krav även vid halvfylla silor. Ett riktvärde är att hastigheten på frånluften inte bör överskrida 5 m/s (MWPS-13). Vikten av ordentliga frånluftsöppningar ges en större förståelse genom att studera diagram 6, som beskriver mottrycket i tryckkammaren mellan spannmålsytan och taket, som en funktion av den specifika frånluftsarean.

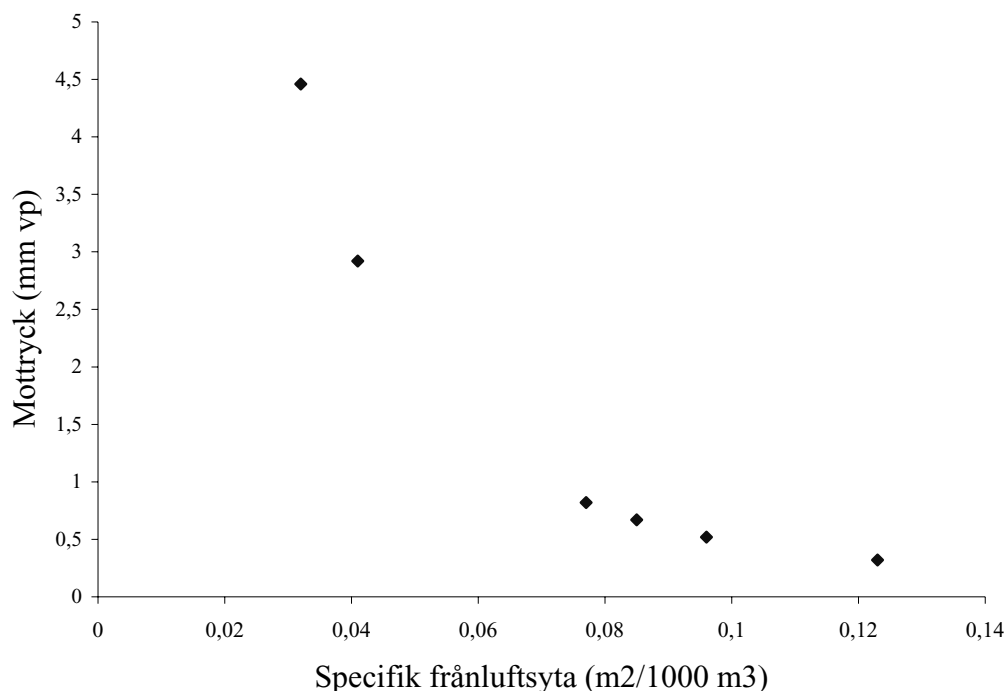


Diagram 6. Mottrycket som funktion av den specifika frånluftsytan.

Ytterligare en faktor som påverkar fläktens prestanda är utformningen på frånluftsöppningarna. Under dessa undersökningar har en hel del damm och skräp observerats i ventilationshuvornas galler. Dessa galler måste enkelt kunna göras rena, eller helst vara självrengörande.

Betydelsen av en ordentlig omrörning skall inte underskattas. Några av de undersökta partierna visade på torrare spannmål i ytan än längre ned, vilket tyder på att omrörarna inte fått arbeta ordentligt. Denna tendens till torrare spannmål i ytan var mindre på gård 7 som hade rört om mer än övriga gårdar. Omrörningen har även gett upphov till ett lägre mottryck i spannmålen.

För att erhålla en god kvalitet på spannmålen och på längre sikt bevara en god arbetsmiljö, måste torkarna göras rent, för att minska infektionstrycket av lagerskadesvampar. De höga höjderna i en tom silo försvårar dock rengöringsmöjligheterna. Eventuellt kan en mekanisk rengöring göras av silotoppen när silon är full, där avskrapet samlas upp i en pressning som

lagts ut på spannmålen. Leverantören av silorna bör ta fram anvisningar för hur de skall rengöras, vilket gäller både väggar, tak och tilluftsdel.

Den specifika energiförbrukningen för denna spannmålstork var under denna utvärdering något högre än för konventionella spannmålstorkar. Till stor del beror detta på utformningen av dragavbrottet mellan värmekällan och den fläkt som förser torken med luft. En slutsats från denna utvärdering är att cirka 20 % av den producerade energin kan gå förlorad i dragavbrottet. Viktig för ett högt energiutnyttjande är även att stämma av den luftvolym som pannan producerar mot den luftvolym som fläkten förbrukar. Genom en enkel U-rörs manometer placerad i tryckkammaren kan med hjälp av fläktens karakteristika den producerade luftvolymen beräknas. Den luftvolym som pannans fläkt ger skall då inte överstiga luftvolymen som fläkten producerar, för att undvika förluster. Eventuellt kan pannan strypas på inluftssidan, tillverkaren bör kunna ge mer detaljerade uppgifter om ett lämpligt förfarande för detta. Viktig att tänka på är dock att en lägre luftvolym genom pannan ger en högre lufttemperatur. Idag är Lantbrukets Brandskyddskommittés (LBKs) rekommendationer att torkluftens temperatur inte får överskrida 80 °C.

Viktig att komma ihåg i detta sammanhang är dock att på gård 7, där en panna av tillverkarens rekommenderade storlek användes, var den specifika energiförbrukningen något högre eller lika med konventionella varmluftstorkar.

De mikrobiella analyserna av höstvetet på gård 1 visade på att spannmålen inte utsatts för någon begynnande tillväxt av lagerskadesvampar. Det visade inte heller beräkningarna av den säkra lagringstiden. Dock hade en stor del av den säkra lagringstiden utnyttjats, cirka 70 %. Torksystemet bör därför användas med försiktighet vid högre vattenhalter, och endast torra små partier vid vattenhalter över 20 %. Inläggningshöjden måste avpassas till den rådande vattenhalten, och vid högre vattenhalter, över 20 – 24 %, måste silotorken användas mer som en satstork, med lägre maximal inläggningshöjd än vad som redovisats i denna studie.

Vattenhaltsprovtagningarna efter avslutad torkning visade på en stor variation inom silon, med punkter som höll över 18 %, vilket inte är acceptabelt, varken som foder eller kvarnvara. För att vara på den säkra sidan måste spannmålspartiet torkas ned under den tänkta slutvattenhalten. De högsta slutvattenhalterna har observerats i centrum av silon, och det är därför viktigt med en korrekt inställning av spridaren.

Silotorken kräver betydligt mer av lantbrukaren än en konventionell varmluftstork när det gäller torktekniskt kunnande. Det är därför viktigt att en handledning tas fram för att hjälpa lantbrukaren vid hanteringen av sin silotork.

## **5. FRAMTIDA STUDIER**

Då denna utvärdering endast är utförd under ett år är resultaten begränsade. Under skördeäsongen 2004 förekom inga extrema skördevattenhalter eller andra besvärliga förhållanden på de gårdar som ingick i studien. Därför krävs ytterligare studier under flera skördeäsonger, för att slutsatserna om denna torkmetod skall bli tillförlitliga. Eftersom metoden är ny i Sverige är intresset stort, vilket även det motiverar ytterligare studier.

## 6. REFERENSER

### 6.1 Tryckta referenser

- AB Akronmaskiner. 1996. *Prov av kontinuerlig spannmålstork, Svegma 3108 I, enligt standard BS 3986:1991*. Järpås.
- Andersson N. 2003. *Torkning och spannmåslagring i silo med stor lagringskapacitet m fl. artiklar*. Gris nr. 10: 12-14.
- Arbetsstudieavdelningens informationsserie. 1973. *Arbetsekonomi*. Skogs- och Lantarbetsgivarförbundet arbetsstudieavdelning. Nr 4. Stockholm.
- Baker KD, Foster HG. 1979. *Stirring as an aid in-bin solar drying of corn*. ASAE paper no. 79-3522.
- Bern CJ, Andersson ME, Wilcke WF, Hurburg CR. 1982. *Auger-stirring of wet and dry corn*. Transactions of the ASAE v 25: 217-220.
- Bern CJ, Leon FC. 1978. *Disturbance effects of auger-stirring corn*. Transactions of the ASAE v 21(3): 371-374.
- Bern. CJ, van Fossen LD. 1980. *Intermediate-temperatur solar corn drying*. ASAE paper no. 803022.
- Bern CJ, Wilcke WF. 1984. *Natural air corn drying II Managment*. ASAE paper no. 84-3520.
- Bern CJ, Wilcke WF. 1984. *Natural air corn drying with stirring I Effects of stirring*. ASAE paper no. 84-3519
- Bridges TC, Colliver DG, White GM, Loewer OJ. 1983. *A user oriented stir drying model*. ASAE paper no. 83-3510.
- Bridges TC, White GM, Loewer OJ, Colliver DG. 1984. *A computer aid for evaluation of on farm drying systems*. Transactions of the ASAE v 27(5): 1549-1555.
- Brooker DB, Bakker-Arkema FW, Hall CW. 1992. *Drying and storage of grains and oilseeds*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Calderwood DL. 1977. *Bin drying with stirring: rice*. Solar grain drying conference proceedings. U.S. department of energy.
- Dalvig G. 1975. *Energi*. Liber läromedel. Stockholm.
- Ekström N. 1972. *Val av spannmålstork med hänsyn till ekonomi och arbetsbehov*. Meddelande 343. JTI. Uppsala.
- Ekström N, Sörlin S. 1978. *Automatisering av spannmålsanläggningar med varmluftstork*. Meddelande 377. JTI. Uppsala
- Emgardsson P. 2002. *Stålsilor testade i Danmark*. Lantmannen nr 11: 44.
- Hall GE, Beaty HH. 1970. *Grain stirring in small scale bin*. Illinois research 12: 12-13.
- Höj JJ. 2002. *Stålsiloer till korn*. Farm test byggninger nr 6, Landskontoret för byggninger och maskiner. Danmark.
- Jeppsson R. 1980. *Skulltorkning Luftmängder Strömmingsmotstånd Energiåtgång*. Meddelande nummer 384. Jordbrukstekniska institutet. Uppsala.
- Jonsson N. 1991. *Kallluftstorkning av spannmål*. Teknik för lantbruket nummer 26. JTI. Uppsala.
- Jonsson N, Pettersson H. 1999. *Utvärdering av olika konserveringsmetoder för spannmål – baserad på analyser av hygienisk kvalitet*. JTI Rapport 263. Uppsala.
- Kalchik SJ, Silva J, Mwaura EN. 1981. *On farm drying comparison*. ASAE paper no. 81-

3019.

- Kneeshaw A, Cragg W. 1997. *Evaluation of grainstirring with a constant temperature drying regime*. Landwards spring v52: 17-20.
- Kumar A, Muir WE. 1986. *Airflow resistance of wheat and barley affected by airflow, filling method and dockage*. Transactions of the ASAE v 29(5): 1423-1426.
- Li W, Sokhansanj S, Gu D. 1991. *The generalized model of bulk grain resistance to airflow*. ASAE paper no. 91-6529.
- Loewer OJ, Bridges TC, Colliver DG, White GM. 1984. *Economics of stirring devices in grain drying*. Transactions of the ASAE v 27: 603-608.
- Marks BP, Maier DE, Bakker-Arkema FW. 1993. *Optimization of a new in-bin counterflow drying system*. Transactions of the ASAE v36: 529-534.
- Matthies HJ, Petersen H. 1974. *New data for calculating the resistance to airflow of stored granular materials*. Transactions of the ASAE v 17(6): 1144-1149.
- McLean KA. 1989. *Drying and storing combinable crops*. Farming press books. Ipswich.
- McLean KA. 1993. *The use of auger stirring in bulk grain dryers, implications for quality*. Aspects of applied biology 36: 457-463.
- Nakagawa K, Horibe K, Oshita S, Fujima G. 1978. *Artificial drying of grain with solar heated air*. Bulletin of the faculty of agriculture Mie University 74: 81-94.
- Nilsson E. 1983. *Tillståndsdata för fuktig luft, LUFT 3 JTI 310*. JTI. Uppsala
- Pitard FF. 1993. *Pierre Gy's sampling theory and sampling practice*. CRC Press, Inc., Boca Raton.
- Regnér S. 1998. *Kursmaterial för kurs Teknik för Biomaterial*. Inst. f. Lantbruksteknik. SLU. Uppsala.
- Seitz LM, Sauer DB, Mohr US. 1982. *Storage of high moisture corn: Fungal growth and dry matter loss*. Cereal Chemistry 59(2): 100-105.
- Shedd CK. 1953. *Resistance of grains and seeds to airflow*. Agricultural Engineering 34(9): 616-619.
- Statens maskinprovningar. 1991. *Test of the continuous graindryer Akron K-308, according to British standard BS 3986:1991*. Uppsala.
- Stroshine R, Sarwar G, McKenzie B, Thompson T. 1991. *Advisory for low temperature drying of shelled corn*. ASAE paper no. 91-3532.
- The Mid West Plan Service. 1980. *Low temperature and solar grain drying*. MWPS-22. Iowa State University. Ames.
- The Mid West Plan Services. 1987. *Grain drying, handling and storage handbook*. MWPS-13. Iowa State University. Ames.
- Thompson TL. 1972. *Temporary storage of high moisture shelled corn, using continuous aeration*. Transactions of the ASAE v15: 333-337.
- Tuite J, Koh-Knox C, Stroshine R, Cantone FA, Bauman LF. 1985. *Effects of physical damage to corn kernels on the development of Penicillium species*. Phytopathology 75(10): 1137-1140.
- Williams EE, Fortes M, Colliver DG, Okos MR. 1978. *Simulation of stirred bin low temperature drying*. ASAE paper no. 78-3012.

## **6.2 Internetreferenser**

Grain Systems Incorporated. [www.grainsystems.com](http://www.grainsystems.com). 2004-06

Seedburo Equipment. [www.seedburo.com](http://www.seedburo.com). 2004-06

Sukup Manufacturing. [www.sukup.com](http://www.sukup.com). 2004-06

## **6.3 Personliga meddelanden**

Crom Dennis. International Salesmanager. Sukup Manufacturing. 2004-10-15.

Hansson Per. Svensk representant för Mertz Corn. 2004-10-06

Hellsvik Erik. Civ.Ing M/M.Sc.M.E., Akron, 0510-914 00. 2004-11-12.

Qvist Andreas. Tornum, 0512-291 10. 2004-10-15.

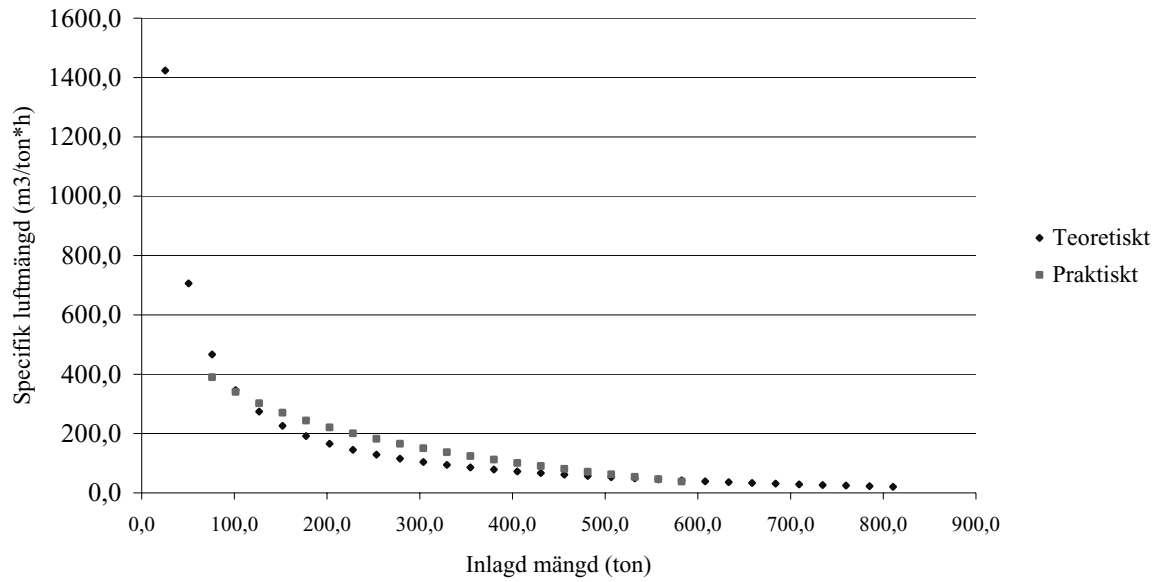
Regnér Sigurd. Länsförsäkringar Stockholm, 08-588 417 72. 2004-10-01

Sundberg Martin. Forskare, JTI, 018-30 33 00. 2004-09

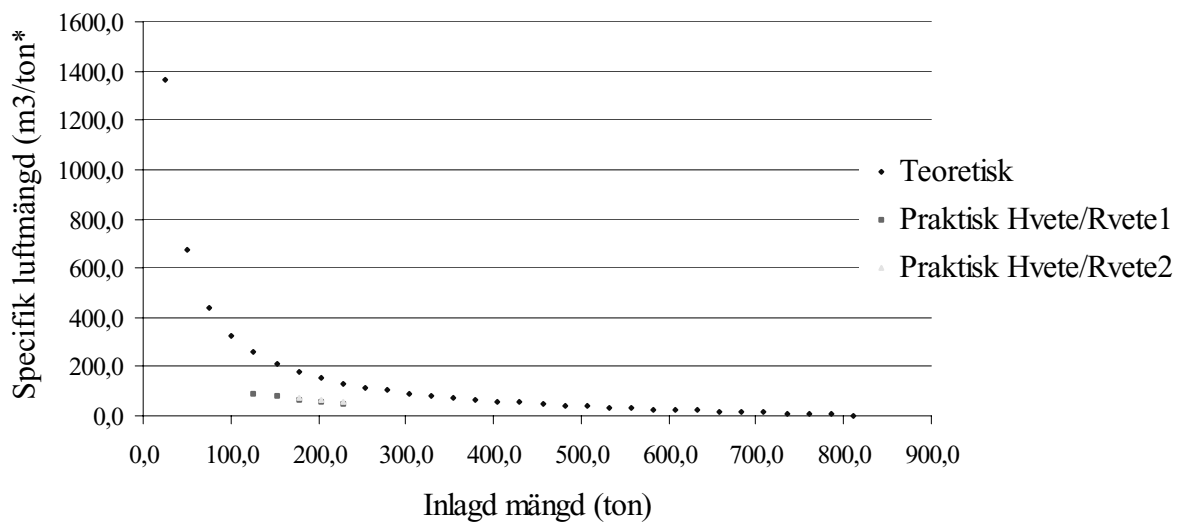


## BILAGA 1. FLÄKTJÄMFÖRELSE

### Gård 1



### Gård 3



## BILAGA 2. RESONEMANG KRING SÄKER LAGRINGSTID

### Höstvete gård 1

Dygn	Parti	Mängd (ton)	Genomsnittsvattenhalt (%)	Temperatur (°C)	Säker tid (dygn)	Utnyttjad %	Tid kvar (dygn)
0	A	120	18,4	20	12,5	0%	12,5
1	A	120	14,8	20	70,0	8%	64,4
4	A	120	17,5	20	20,0	13%	17,5
4	B	140	20,2	20	6,0	0%	6,0
5	A	120	16,8	25	18,0	18%	14,7
5	B	140	16,8	25	18,0	17%	15,0
5	C	35	19,5	20	8,0	0%	8,0
6	A	120	16,8	25	18,0	25%	13,5
6	B	140	16,8	25	18,0	23%	13,8
6	C	35	16,8	25	18,0	13%	15,8
6	D	210	18,4	20	12,0	0%	12,0
7	A	120	16,3	25	23,0	33%	15,5
7	B	140	16,3	25	23,0	31%	16,0
7	C	35	16,3	25	23,0	19%	18,7
7	D	210	16,3	25	23,0	8%	21,1
7	E	95	18,2	20	8,0	0%	8,0
8	A	120	15,8	25	32,0	39%	19,5
8	B	140	15,8	25	32,0	37%	20,2
8	C	35	15,8	25	32,0	24%	24,3
8	D	210	15,8	25	32,0	13%	27,8
8	E	95	15,8	25	32,0	13%	28,0
9	A	120	15,5	25	38,0	44%	21,2
9	B	140	15,5	25	38,0	42%	22,1
9	C	35	15,5	25	38,0	28%	27,2
9	D	210	15,5	25	38,0	17%	31,7
9	E	95	15,5	25	38,0	16%	31,9
12	A	120	15,0	25	50,0	58%	20,8
12	B	140	15,0	25	50,0	55%	22,3
12	C	35	15,0	25	50,0	39%	30,3
12	D	210	15,0	25	50,0	26%	36,9
12	E	95	15,0	25	50,0	25%	37,3
14	A	120	14,2	25	80,0	68%	25,6
14	B	140	14,2	25	80,0	64%	28,5
14	C	35	14,2	25	80,0	46%	43,2
14	D	210	14,2	25	80,0	32%	54,8
14	E	95	14,2	25	80,0	31%	55,3
15	A	120	14,2	20	108,0	72%	30,4
15	B	140	14,2	20	108,0	68%	34,8
15	C	35	14,2	20	108,0	48%	55,9
15	D	210	14,2	20	108,0	33%	71,9
15	E	95	14,2	20	108,0	33%	72,7

## Teoretiskt 18 % 200 kW

Dygn	Parti	Mängd (ton)	Genomsnittsvattenhalt (%)	Temperatur (°C)	Säker tid (dygn)	Utnyttjad %	Tid kvar (dygn)
0	A	210	18,0	20	14,0	0%	14,0
1	A	210	17,2	20	22,0	7%	20,4
1	B	210	18,0	20	14,0	0%	14,0
2	A	210	17,3	25	13,0	12%	11,4
2	B	210	17,3	25	13,0	7%	12,1
2	C	210	18,0	20	14,0	0%	14,0
3	A	210	17,2	25	14,0	21%	11,1
3	B	210	17,2	25	14,0	15%	11,8
3	C	210	17,2	25	14,0	7%	13,0
4	A	210	17,0	25	15,0	30%	10,5
4	B	210	17,0	25	15,0	24%	11,4
4	C	210	17,0	25	15,0	15%	12,8
5	A	210	16,7	25	19,0	39%	11,5
5	B	210	16,7	25	19,0	33%	12,8
5	C	210	16,7	25	19,0	23%	14,7
6	A	210	16,4	25	22,0	48%	11,4
6	B	210	16,4	25	22,0	40%	13,1
6	C	210	16,4	25	22,0	29%	15,5
7	A	210	16,1	25	27,0	57%	11,7
7	B	210	16,1	25	27,0	48%	14,0
7	C	210	16,1	25	27,0	36%	17,3
8	A	210	15,9	25	30,0	65%	10,4
8	B	210	15,9	25	30,0	55%	13,4
8	C	210	15,9	25	30,0	42%	17,5
9	A	210	15,6	25	34,0	75%	8,6
9	B	210	15,6	25	34,0	63%	12,7
9	C	210	15,6	25	34,0	47%	17,9
10	A	210	15,3	25	42,0	87%	5,7
10	B	210	15,3	25	42,0	71%	12,4
10	C	210	15,3	25	42,0	53%	19,7
11	A	210	15,1	25	48,0	104%	-2,0
11	B	210	15,1	25	48,0	79%	10,3
11	C	210	15,1	25	48,0	58%	20,1
12	A	210	14,8	25	57,0	153%	-30,4
12	B	210	14,8	25	57,0	88%	6,6
12	C	210	14,8	25	57,0	63%	21,1
13	A	210	14,5	25	68,0	157%	-38,5
13	B	210	14,5	25	68,0	103%	-2,3
13	C	210	14,5	25	68,0	68%	21,9
14	A	210	14,3	25	74,0	159%	-43,8
14	B	210	14,3	25	74,0	147%	-34,7
14	C	210	14,3	25	74,0	72%	20,5
15	A	210	14,0	20	120,0	162%	-73,8
15	B	210	14,0	20	120,0	150%	-59,8
15	C	210	14,0	20	120,0	77%	27,3

## Teoretiskt 20 % 200 kW

Dygn	Parti	Mängd (ton)	Genomsnittsvattenhalt (%)	Temperatur (°C)	Säker tid (dygn)	Utnyttjad %	Tid kvar (dygn)
0	A	210	20,0	20	6,5	0%	6,5
1	A	210	19,1	20	7,8	15%	6,6
1	B	210	20,0	20	6,5	0%	6,5
2	A	210	19,1	25	7,8	31%	5,4
2	B	210	19,1	25	7,8	15%	6,6
2	C	210	20,0	20	6,5	0%	6,5
3	A	210	19,1	25	4,5	49%	2,3
3	B	210	19,1	25	4,5	31%	3,1
3	C	210	19,1	25	4,5	15%	3,8
4	A	210	18,8	25	4,8	93%	0,4
4	B	210	18,8	25	4,8	63%	1,8
4	C	210	18,8	25	4,8	42%	2,8
5	A	210	18,5	25	5,0	373%	-13,6
5	B	210	18,5	25	5,0	118%	-0,9
5	C	210	18,5	25	5,0	77%	1,1
6	A	210	18,1	25	5,2	380%	-14,6
6	B	210	18,1	25	5,2	228%	-6,7
6	C	210	18,1	25	5,2	166%	-3,4
7	A	210	17,8	25	10,0	387%	-28,7
7	B	210	17,8	25	10,0	243%	-14,3
7	C	210	17,8	25	10,0	195%	-9,5
8	A	210	17,4	25	12,0	390%	-34,8
8	B	210	17,4	25	12,0	250%	-18,1
8	C	210	17,4	25	12,0	205%	-12,7
9	A	210	17,0	25	17,0	393%	-49,8
9	B	210	17,0	25	17,0	256%	-26,5
9	C	210	17,0	25	17,0	213%	-19,3
10	A	210	16,6	25	20,0	395%	-59,0
10	B	210	16,6	25	20,0	260%	-31,9
10	C	210	16,6	25	20,0	219%	-23,7
11	A	210	16,2	25	24,0	397%	-71,2
11	B	210	16,2	25	24,0	263%	-39,1
11	C	210	16,2	25	24,0	223%	-29,5
12	A	210	15,8	25	31,0	398%	-92,4
12	B	210	15,8	25	31,0	265%	-51,3
12	C	210	15,8	25	31,0	226%	-39,1
13	A	210	15,4	25	40,0	399%	-119,7
13	B	210	15,4	25	40,0	267%	-66,9
13	C	210	15,4	25	40,0	229%	-51,5
14	A	210	15,1	25	48,0	400%	-144,1
14	B	210	15,1	25	48,0	269%	-81,1
14	C	210	15,1	25	48,0	231%	-62,7
15	A	210	14,7	25	60,0	401%	-180,5
15	B	210	14,7	25	60,0	270%	-102,1
15	C	210	14,7	25	60,0	232%	-79,4
16	A	210	14,4	25	71,0	401%	-214,0
16	B	210	14,4	25	71,0	271%	-121,5
16	C	210	14,4	25	71,0	234%	-94,8
17	A	210	14,2	25	80,0	402%	-241,5
17	B	210	14,2	25	80,0	272%	-137,5
17	C	210	14,2	25	80,0	235%	-107,7
18	A	210	14,0	20	120,0	402%	-362,7
18	B	210	14,0	20	120,0	273%	-207,2
18	C	210	14,0	20	120,0	236%	-162,6

## Teoretiskt 24 % 200 kW

Dygn	Parti	Mängd (ton)	Genomsnittsvattenhalt (%)	Temperatur (°C)	Säker tid (dygn)	Utnyttjad %	Tid kvar (dygn)
0	A	210	24,0	20	3,0	0%	3,0
2	A	210	22,8	20	3,8	67%	1,3
2	B	210	24,0	20	3,0	0%	3,0
4	A	210	22,0	25	2,5	225%	-3,1
4	B	210	22,0	25	2,5	67%	0,8
4	C	210	24,0	20	3,0	0%	3,0
5	A	210	22,2	25	2,4	257%	-3,8
5	B	210	22,2	25	2,4	187%	-2,1
5	C	210	22,2	25	2,4	33%	1,6
6	A	210	21,9	25	2,9	283%	-5,3
6	B	210	21,9	25	2,9	235%	-3,9
6	C	210	21,9	25	2,9	96%	0,1
7	A	210	21,5	25	3,0	302%	-6,1
7	B	210	21,5	25	3,0	260%	-4,8
7	C	210	21,5	25	3,0	923%	-24,7
8	A	210	21,0	25	3,2	319%	-7,0
8	B	210	21,0	25	3,2	281%	-5,8
8	C	210	21,0	25	3,2	927%	-26,5
9	A	210	20,6	25	3,5	333%	-8,2
9	B	210	20,6	25	3,5	298%	-6,9
9	C	210	20,6	25	3,5	931%	-29,1
10	A	210	20,2	25	3,9	345%	-9,6
10	B	210	20,2	25	3,9	313%	-8,3
10	C	210	20,2	25	3,9	935%	-32,6
11	A	210	19,8	25	4,1	356%	-10,5
11	B	210	19,8	25	4,1	325%	-9,2
11	C	210	19,8	25	4,1	938%	-34,3
12	A	210	19,3	25	4,5	365%	-11,9
12	B	210	19,3	25	4,5	336%	-10,6
12	C	210	19,3	25	4,5	941%	-37,8
13	A	210	18,9	25	4,8	374%	-13,1
13	B	210	18,9	25	4,8	345%	-11,8
13	C	210	18,9	25	4,8	943%	-40,5
14	A	210	18,4	25	5,1	381%	-14,3
14	B	210	18,4	25	5,1	354%	-12,9
14	C	210	18,4	25	5,1	946%	-43,1
15	A	210	18,0	25	9,0	388%	-25,9
15	B	210	18,0	25	9,0	361%	-23,5
15	C	210	18,0	25	9,0	948%	-76,3
16	A	210	17,6	25	11,0	392%	-32,1
16	B	210	17,6	25	11,0	366%	-29,2
16	C	210	17,6	25	11,0	949%	-93,4
17	A	210	17,2	25	13,0	395%	-38,4
17	B	210	17,2	25	13,0	369%	-35,0
17	C	210	17,2	25	13,0	950%	-110,6
18	A	210	16,8	25	18,0	398%	-53,6
18	B	210	16,8	25	18,0	372%	-48,9
18	C	210	16,8	25	18,0	951%	-153,2
19	A	210	16,4	25	22,0	400%	-65,9
19	B	210	16,4	25	22,0	374%	-60,3
19	C	210	16,4	25	22,0	952%	-187,4
20	A	210	16,0	25	31,0	401%	-93,3
20	B	210	16,0	25	31,0	376%	-85,4
20	C	210	16,0	25	31,0	953%	-264,3
21	A	210	15,6	25	34,0	402%	-102,7
21	B	210	15,6	25	34,0	377%	-94,1
21	C	210	15,6	25	34,0	953%	-290,0
22	A	210	15,2	25	44,0	403%	-133,4
22	B	210	15,2	25	44,0	378%	-122,2
22	C	210	15,2	25	44,0	953%	-375,4
23	A	210	14,9	25	53,0	404%	-161,1
23	B	210	14,9	25	53,0	379%	-147,7
23	C	210	14,9	25	53,0	954%	-452,4
24	A	210	14,5	25	67,0	404%	-204,0
24	B	210	14,5	25	67,0	379%	-187,1
24	C	210	14,5	25	67,0	954%	-572,0
25	A	210	14,2	25	80,0	405%	-244,0
25	B	210	14,2	25	80,0	380%	-223,9
25	C	210	14,2	25	80,0	954%	-683,2
26	A	210	14,0	20	120,0	405%	-366,5
26	B	210	14,0	20	120,0	380%	-336,3
26	C	210	14,0	20	120,0	954%	-1024,9

## Teoretiskt 18 % 640 kW

Dygn	Parti	Mängd (ton)	Genomsnittsvattenhalt (%)	Temperatur (°C)	Säker tid (dygn)	Utnyttjad %	Tid kvar (dygn)
0	A	210	18,0	25	9,0	0%	9,0
1	A	210	14,8	25	58,0	11%	51,6
1	B	210	18,0	25	9,0	0%	9,0
2	A	210	14,9	25	53,0	13%	46,1
2	B	210	14,9	25	53,0	11%	47,1
2	C	210	18,0	25	9,0	0%	9,0
3	A	210	15,2	33	22,0	15%	18,7
3	B	210	15,2	33	22,0	13%	19,1
3	C	210	15,2	33	22,0	11%	19,6
4	A	210	14,4	33	36,0	21%	28,6
4	B	210	14,4	33	36,0	18%	29,3
4	C	210	14,4	33	36,0	16%	30,2
5	A	210	14,0	20	120,0	24%	91,1
5	B	210	14,0	20	120,0	22%	93,7
5	C	210	14,0	20	120,0	20%	96,6

## Teoretiskt 20 % 640 kW

Dygn	Parti	Mängd (ton)	Genomsnittsvattenhalt (%)	Temperatur (°C)	Säker tid (dygn)	Utnyttjad %	Tid kvar (dygn)
0	A	210	20,0	25	4,0	0%	4,0
1	A	210	16,5	25	21,0	25%	15,8
1	B	210	20,0	25	4,0	0%	4,0
2	A	210	16,3	25	23,0	31%	15,8
2	B	210	16,3	25	23,0	25%	17,3
2	C	210	20,0	25	4,0	0%	4,0
3	A	210	16,4	33	11,0	38%	6,9
3	B	210	16,4	33	11,0	31%	7,6
3	C	210	16,4	33	11,0	25%	8,3
4	A	210	15,2	33	22,0	52%	10,5
4	B	210	15,2	33	22,0	44%	12,3
4	C	210	15,2	33	22,0	37%	13,8
5	A	210	14,1	33	42,0	62%	16,0
5	B	210	14,1	33	42,0	52%	20,1
5	C	210	14,1	33	42,0	44%	23,4
6	A	210	14,0	20	120,0	68%	38,4
6	B	210	14,0	20	120,0	57%	51,6
6	C	210	14,0	20	120,0	49%	61,6

## Teoretiskt 24 % 640 kW

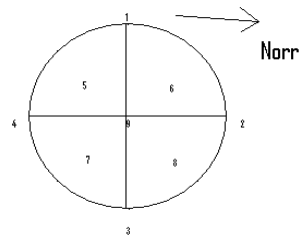
Dygn	Parti	Mängd (ton)	Genomsnittsvattenhalt (%)	Temperatur (°C)	Säker tid (dygn)	Utnyttjad %	Tid kvar (dygn)
0	A	210	24,0	25	2,1	0%	2,1
2	A	210	18,3	25	5,2	95%	0,2
2	B	210	24,0	25	2,1	0%	2,1
4	A	210	19,5	25	4,2	903%	-33,7
4	B	210	19,5	25	4,2	95%	0,2
4	C	210	24,0	25	2,1	0%	2,1
5	A	210	19,6	33	2,0	900%	-16,0
5	B	210	19,6	33	2,0	595%	-9,9
5	C	210	19,6	33	2,0	48%	1,0
6	A	210	18,5	33	2,5	894%	-19,8
6	B	210	18,5	33	2,5	585%	-12,1
6	C	210	18,5	33	2,5	143%	-1,1
7	A	210	17,3	33	7,0	889%	-55,2
7	B	210	17,3	33	7,0	101%	-0,1
7	C	210	17,3	33	7,0	50%	3,5
8	A	210	16,1	33	24,0	887%	-188,8
8	B	210	16,1	33	24,0	110%	-2,4
8	C	21	16,1	33	24,0	79%	5,1
9	A	210	15,0	33	26,0	886%	-204,4
9	B	210	15,0	33	26,0	68%	8,2
9	C	210	15,0	33	26,0	99%	0,4
10	A	210	14,0	20	120,0	886%	-943,0
10	B	210	14,0	20	120,0	80%	23,4
10	C	21	14,0	20	120,0	383%	-339,9



## BILAGA 3. UTTAGSVATTENHALTER

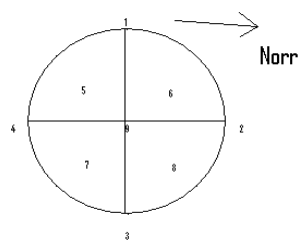
### Höstvete gård 1

m	Provtagningsplats									Medelvärde
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,1	10,8	11,7	12,4	12,5	13,7	15,0	14,8	15,6	15,5	13,6
1	12,5	13,4	14,1	12,7	12,7	12,9	14,4	14,8	15,3	13,6
2	15,4	18,3	16,7	15,9	13,4	15,1	15,1	15,8	14,7	15,6
3	18,5	15,3	18,1	18,3	14,1	14,5	14,3	14,5	15,2	15,9
Medelvärde	14,3	14,7	15,3	14,9	13,5	14,4	14,7	15,2	15,2	



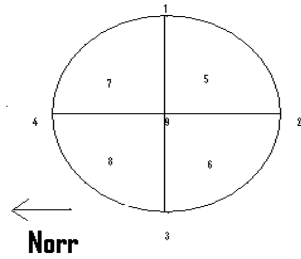
### Vårvete gård 1

m	Provtagningsplats									Medelvärde
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,1	13,0	12,9	13,7	13,3	13,7	14,0	13,8	14,4	15,0	13,8
1	12,7	12,9	13,3	13,3	14,3	14,9	13,9	14,7	15,6	14,0
2	12,5	12,8	13,1	13,7	14,4	14,9	14,5	14,9	15,2	14,0
3	12,2	12,5	13,6	13,0	13,7	14,3	14,2	14,7	14,8	13,7
Medelvärde	12,6	12,8	13,4	13,3	14,0	14,5	14,1	14,7	15,2	



## Rågvete/Korn gård 2

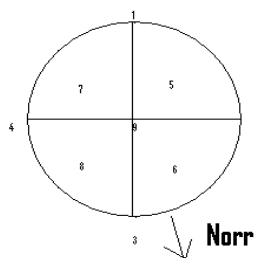
m	Provtagningsplats									Medelvärde
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,1	16,1	15,6	15,9	16,4	17,3	17,8	18,1	17,7	18,8	17,1
1	16,0	16,0	16,0	16,4	16,7	17,3	16,9	16,9	17,3	16,6
2	14,8	14,9	15,4	15,4	17,0	17,5	17,3	17,1	17,6	16,3
3	15,2	14,8	16,1	15,9	17,3		16,9	17,5	17,1	16,4
Medelvärde	15,5	15,3	15,9	16,0	17,1	17,5	17,3	17,3	17,7	



## Hvete/Rvete 1 gård 3

m	Provtagningsplats									Medelvärde
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,1	17,4	17,0	17,8	16,4	16,4	16,8	15,7	15,8	16,5	16,6
1	17,4	17,3	17,9	17,3	15,8	15,7	15,6	15,5	16,4	16,5
2	17,7	17,3	18,1	17,7	15,7	16,3	15,6	15,4	16,4	16,7
3					16,1	16,0	15,8	15,7	16,6	16,0
Medelvärde	17,5	17,2	17,9	17,1	16,0	16,2	15,7	15,6	16,5	

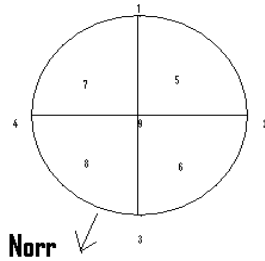
Punkt 1-4 taget snett från sidan.



## Hvete/Rvete 2 gård 3

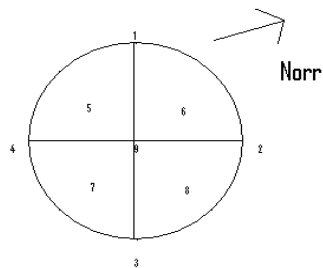
m	Provtagningsplats									Medelvärde
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,1	16,1	17,4	17,8	17,6	15,5	16,2	15,5	16,9	16,1	<b>16,6</b>
1	17,3	18,0	18,6	19,1	15,6	16,0	15,7	16,6	16,3	<b>17,0</b>
2	17,3	18,5	18,6	18,6	15,6	16,2	15,9	17,3	16,3	<b>17,1</b>
3					15,5		16,0	16,8	16,5	<b>16,2</b>
<b>Medelvärde</b>	<b>16,9</b>	<b>18,0</b>	<b>18,3</b>	<b>18,4</b>	<b>15,6</b>	<b>16,1</b>	<b>15,8</b>	<b>16,9</b>	<b>16,3</b>	

Punkt 1-4 togs snett från sidan



## Höstvete gård 7

m	Provtagningsplats									Medelvärde
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,1	12,9	12,3	11,6	12,5	12,2	12,6	11,8	12,4	13,3	<b>12,4</b>
1	12,7	12,1	11,6	12,7	12,8	12,7	12,8	13,3	13,6	<b>12,7</b>
2	13,3	13,7	13,8	12,9	13,1	12,6	13,1	13,9	13,7	<b>13,3</b>
3	11,3	12,5	10,6	11,6	13,1	12,9	13,6	13,5	14,2	<b>12,6</b>
<b>Medelvärde</b>	<b>12,6</b>	<b>12,7</b>	<b>11,9</b>	<b>12,4</b>	<b>12,8</b>	<b>12,7</b>	<b>12,8</b>	<b>13,3</b>	<b>13,7</b>	



## BILAGA 4. ANALYSER AV MIKROBIELL FLORA OCH GROBARHET

Gård	Parti	Vattenhalt	Total Cfu Mögel	Dominerade mögel	Grobarhet
<b>Gård 1</b>	Inläggning Höstvete	18,9	7,5*10 <sup>4</sup>	Fusarium, Cladosporium	94
	Uttag Översta 3 meter	14,8	4,3*10 <sup>4</sup>	Fusarium, Cladosporium	74
	Uttag Undre 3 meter	14,6	7,5*10 <sup>3</sup>	Fusarium, Cladosporium	95
	Inläggning Vårvete	17,9	9,0*10 <sup>4</sup>	Fusarium, Cladosporium	90
	Uttag Efter kant övre 3 meter	13,0	6,0*10 <sup>4</sup>	Fusarium, Cladosporium	90
	Uttag Mot centrum övre 3 meter	14,5	4,6*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium	89
<b>Gård 2</b>	Inläggning Rågvete/Korn	17,5	5,4*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium	90
	Inläggning Rågvete/Korn	19,8	4,6*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium, Penicillium	76
	Uttag Efter kant övre 3 meter	15,7	8,2*10 <sup>4</sup>	Fusarium, Cladosporium	82
	Uttag Mot centrum övre 3 meter	17,4	1,2*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium	82
<b>Gård 3</b>	Hvete/Rvete 1				
	Inläggning Hvete/Rvete	20,5	1,6*10 <sup>6</sup>	Fusarium, Cladosporium	80
	Uttag Efter kant övre 3 meter	17,4	6,8*10 <sup>4</sup>	För få kolonier samt infektion försvårar identifiering	80
	Uttag Mot centrum övre 3 meter	16,0	1,1*10 <sup>5</sup>	Cladosporium	77
	Hvete/Rvete 2				
	Inläggning Hvete/Rvete	19,7	1,8*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium	59
	Inläggning Höstvete		6,7*10 <sup>4</sup>	Fusarium, Cladosporium	91
	Uttag Efter kant övre 3 meter	17,9	1,1*10 <sup>5</sup>	Cladosporium, Fusarium	72
	Uttag Mot centrum övre 3 meter	16,1	1,0*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium	74
	<b>Gård 4</b>	Skörd Höstvete	15,4	1,0*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium
Torkad Höstvete		9,0			95
<b>Gård 5</b>	Skörd Kom 040818	16,4	2,2*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium	96
	Kom luftat 5 dygn (18 - 23)	16,5	1,3*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium	96
	Skörd 040823	15,8	1,6*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium, Penicillium	96
	Torkat 040824	12,5	2,4*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium	98
<b>Gård 6</b>	Skörd Höstvete	19,8	3,7*10 <sup>4</sup>	Fusarium, Cladosporium	94
	Torkat Höstvete	15,0	9,8*10 <sup>3</sup>	Fusarium, Cladosporium	93
	Skörd Rågvete	17,1	2,5*10 <sup>5</sup>	Fusarium, Cladosporium	77
	Torkat Rågvete	14,0	5,2*10 <sup>4</sup>	Cladosporium	79
<b>Gård 7</b>	Inläggning Höstvete	17,5	6,7*10 <sup>4</sup>	Fusarium, Cladosporium	97
	Uttag Efter kant övre 3 meter	12,4	3,0*10 <sup>4</sup>	Fusarium, Cladosporium	94
	Uttag Mot centrum övre 3 meter	13,0	2,4*10 <sup>4</sup>	Fusarium, Cladosporium	94





**Institutionerna för biometri och informatik respektive lantbruksteknik gick samman 2003-07-01 och blev Institutionen för biometri och teknik.**

**Tidigare utgåvor från Institutionen för biometri och teknik**

***Licentiatavhandlingar***

002 Sundberg, Cecilia. Food waste composting – effects of heat, acids and size.

***Rapport – miljö, teknik och lantbruk***

2004:01 Bernesson, S. Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – a comparison between large- and smallscale production.

2004:01 Elmquist, H, Decision-Making and Environmental Impacts – A dynamic simulation model of a farm business.

***Rapport – biometri***

2004:01 Gustafsson, L. Tools for Statistical Handling of Poisson Simulation: Documentation of StocRes and ParmEst.

***Examensarbeten***

04:01 Ericsson, Niclas. Uthållig sanitet i Peru – En förstudie i staden Picota.

04:02 Ekvall, Cecilia. LCA av dricksvattendesinfektion – en jämförelse av klor och UV-ljus.

04:03 Wertsberg, Karin. Behandling av lakvatten med kemiska oxidationsmedel för att delvis bryta ned oönskade organiska föreningar – En studie utförd vid Hovgårdens avfallsanläggning i Uppsala.

04:04 Degaart, S. Humanurin till åkermark och grönytor – avsättning och organisation i Göteborgsområdet.

04:05 Westlin, Hugo. Utvärdering av ett silotorksystem för spannmål utrustat med omrörare.

***Kompendium***

2004:01 Publiceringar 2000-2003.

**Tidigare utgåvor från Institutionen för biometri och informatik**

***Institutionsrapporter***

**2003**

80 Edlund, T. Pluripolar Completeness of Graphs and Pseudocontinuation. Licentiatavhandling.

79 Nilsson, K. Macrolide antibiotics – mode of action and resistance mechanisms. Licentiatavhandling.

78 Sahlin, U. Analysis of forest field data with a spatial approach. Examensarbete.

77 Seeger, P. Nested t by 2 Row-Column-Designs suitable for bridge competitions.

## 2002

- 76 Wörman, A. Low-Velocity Flows in Constructed Wetlands: Physico-Mathematical Model and Computer Codes in Matlab-Environment.
- 75 Huber, K.T., Moulton, V. & Steel, M. Four characters suffice to convexly define a phylogenetic tree.
- 74 Ekbohm, G. Induktion, biometri, vetenskap.
- 73 Huber, K.T., Moulton, V. & Semple, C. Replacing cliques by stars in quasi-median graphs.
- 72 Huber, K.T. Recovering trees from well-separated multi-state characters.
- 71 Holland, B.R., Huber, K.T., Dress, A. & Moulton, V.  $\delta$ -plots: A tool for analyzing phylogenetic distance data.
- 70 Huber, K.T., Koolen, J.H. & Moulton, V. The Tight Span of an Antipodal Metric Space: Part II – Geometrical Properties.
- 69 Huber, K.T., Langton, M., Penny, D., Moulton, V. & Hendy, Michael. Spectronet: A package for computing spectra and median networks.
- 68 Åsenblad, N. Multivariate Linear Normal Models for the Analysis of Cross-Over Designs. Filosofie Licentiatavhandling i biometri med inriktning mot matematisk statistik.

## Tidigare utgåvor från Institutionen för lantbruksteknik

### *Institutionsrapporter*

- 248 Lundh, J-E., Huisman, M. En jämförande studie av några maskinella och motormanuella röjningsmetoder utmed järnväg – uppföljning av skottutveckling efter röjning samt utvärdering av selektiv röjning.
- 249 Ljungberg, D Gebresenbet, G Eriksson, H SAMTRA - samordning av godstransporter: Undersökning av möjligheter och hinder för samordnad varudistribution i centrala Uppsala.
- 250 Larsolle, A., Wretblad, P. & Westberg, C. A comparison of biological effect and spray liquid distribution and deposition for different spray application techniques in different crops.
- 251 Tidåker, P. Life Cycle Assessment of Grain Production Using Source-Separated Human Urine and Mineral Fertiliser.
- 252 Perez Porras, J., Gebresenbet, G. Biogas development in developing countries.
- 253 Wikner, I. Environmental conditions in typical cattle transport vehicles in Scandinavia.
- 254 Sundberg, C. Food waste composting – effects of heat, acids and size.
- 255 Nilsson, D. Harvesting and handling of flax for the production of short fibres under Swedish conditions. A literature review.

### *Institutionsmeddelanden*

- 02:01 Fredriksson, H. Storskalig sommarskörd av vass - energiåtgång, kostnader och flöden av växtnäring för system med skörd och efterföljande behandling.
- 02:02 Björklund, A. Latrin och matavfall i kretslopp i Stockholms skärgård.
- 02:03 Jannes, S. Hantering av slaggvatten på högdalenverket – ett helhetsgrepp på hanteringen av förorenade vattenströmmar till och från slaggvattensystemet.



- 02:04 Flodman, M. Emissioner av metan, lustgas och ammoniak vid lagring av avvattnat rötslam.
- 02:05 Andersson, A. & Jensen, A. Flöden och sammansättning på BDT-vatten, urin, fekalier och fast organiskt avfall i Gebers.
- 02:06 Hammar, M. Organiskt avfall för biogas produktion i Götene, Lidköping, Skara och Vara kommuner
- 02:07 Nilsson, D. Småskalig uppvärmning med biobränslen. Kurskompendium.
- 03:01 Sjöberg, C. Lokalt omhändertagande av restprodukter från enskilda avlopp i Oxundaåns avrinningsområde.
- 03:02 Nilsson, D. Production and use of flax and hemp fibres. A report from study tours to some European countries.
- 03:03 Rogstrand, G. Beneficial Management for Composting of Poultry Litter and Yard-Trimming-Environmental Impacts, Compost Product Quality and Food Safety.
- 03:04 Lundborg, M. Inverkan av hastighet och vägförhållande på bränsleförbrukning vid körning med traktor.
- 03:05 Ahlgren, S. Environmental impact of chemical and mechanical weed control in agriculture. A comparing study.
- 03:06 Kihlström, M. Possibilities for intermodal grain transports in the Mälardalen region – environmental and economical aspects.

Denna meddelandeserie som utges av Institutionen för biometri och teknik, SLU, innehåller examensarbeten samt övriga uppsatser som anses lämpliga att publicera i denna form. Tidigare nummer redovisas på de sista sidorna och kan i mån av tillgång anskaffas från institutionen.

are listed on the last pages and can be obtained – if still available – upon application

This series is published by the Department of Biometry and Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. It contains master thesis as well as other reports or papers considered suitable for publication in this form. Earlier issues

---

DISTRIBUTION:

SLU

Institutionen för biometri och teknik

Box 7032

750 07 UPPSALA

tel. 018 – 67 10 00

pdf.fil: [www.bt.slu.se](http://www.bt.slu.se)

SLU

Department of Biometry and Engineering

Box 7032

S-750 07 UPPSALA

SWEDEN

Phone + 46 18 671000

---