

Utvärdering av ett silotorksystem för spannmål

SLF-projekt nr 0333019 och V0633022

Nils Jonsson, JTI, projektledare

Bakgrund

Den dåliga lönsamheten som har kännetecknat den svenska spannmålsproduktionen flertalet av åren under 2000-talet har lett till ett ökat intresse för enklare och mindre kostsamma anläggningar för torkning och lagring vid nyinvestering på gården. En torktyp som har väckt stort intresse bland nordiska lantbrukare är ett amerikanskt system där spannmålen kan torkas och lagras i samma silo (Høj, 2002; Nilehn, 2002; Emgardsson, 2002). Silorna, vilka är utrustade med ett system för bottenluftning, är tillverkade av oisolerad plåt med lagringshöjder upp till 7-8 m och med torkvolym upp till 1200 m³. För att kunna torka spannmålen utan lagerskador trots låga specifika luftmängder är silorna utrustade med tillsatsvärme och vertikala vandrande omblandarskruvar. Avsikten med omblandningen är att sänka vattenhalten ungefär samtidigt i hela torkskiktet. Därmed minskas risken för lagerskador i den annars sist torkade spannmålen närmast frånluftsidan. För att inte kollidera med en golvsveperskruv når dock inte omblandarskruvarna ända ned till silogolvet, varför spannmålen närmast tilluftsidan (0,3-0,5 m) blir övertorkad. För att påskynda torkningen vid de mycket låga specifika luftmängder som förekommer vid full lagringshöjd används emellanåt torkluftstemperaturer över 40°C, vilket höjer luftens vattenupptagande förmåga betydligt. När höga torkluftstemperaturer används minskar omblandningen ansamlingen av kondens som bildas i spannmålen vid frånluftsidan. Påfyllningen av silon sker oftast med hjälp av en traktordriven skruv och en spridare, monterad under skruvens utlopp. Enligt en tidigare dansk utvärdering har systemet låga investeringskostnader, hög mottagningskapacitet och är enkelt att använda (Høj, 2002). I dagsläget har ca 400 silor sålts i Sverige (Hansson, 2008; Freiman, 2008), vilket bör innebära att ungefär 4-5 % av den svenska spannmålsproduktionen torkas och lagras med denna metod. Silotorkar med omrörare har förekommit i Nordamerika sedan 1960-talet och har främst använts till torkning av fodermjäs (Brooker m.fl., 1992). Tekniskt har systemet med omrörare utvärderats i samband med torkning av storkärnigt material (mjäs) (Bern, 1973; Bern m.fl., 1979; Kalchik m.fl., 1981; Baker m.fl., 1979; Williams m.fl., 1976), däremot saknas studier med småkärnigt material. Äldre amerikanska studier av säker lagringstid innan mögelväxt i mjäs (Thompson, 1972), vilket främst påverkas av vattenhalten och temperaturen, redovisar betydligt längre skadefria lagringstider jämfört med de resultat som erhållits i lagringsstudier vid JTI med vete (Jonsson, 2006). Skördevattenhalterna varierar betydligt mellan olika år och mellan olika odlingsområden av Sverige och därmed risken för kvalitetsskador orsakade av mögelväxt på grund av för låg torkningskapacitet.

Syftet med de två genomförda studierna har varit att fastställa möjligheter och begränsningar hos ett silotorksystem utrustat med varmluftspanna och omblandningsskruvar under svenska förhållanden. För att få en helhetsbild av silotorksystemet har utvärderingen omfattat både teknik, biologi och ekonomi. Delar av studien genomfördes som examensarbeten (Westlin, 2004; Westman, 2006). Viktigaste delmålen har varit:

- att fastställa effekterna på torkningsförloppet av att spannmålen omrörs (studie 1)
- att fastställa effekterna av den mekaniska bearbetningen av spannmålen som omblandningen åstadkommer på mögelsvamparnas tillväxt, data som sedan används för att validera en befintlig modell av skadefri lagringstid (studie 1)
- att ekonomiskt utvärdera torkmetoden (studie 1)

- att studera effekten av höga skördevattnhalter (> 22 %) på torkningsresultatet (studie 2)
- att med hjälp av kunskaper om torkningsförloppet, statistik över skördevattnhalter i olika regioner och den validerade modellen fastställa hur ofta det kan föreligga risk för kvalitetsproblem med torkmetoden (studie 1- 2)
- att ta fram riktlinjer för hur metoden bör användas (studie 2).

Material och metod

Teknisk utvärdering

I studie 1 genomfördes mätningarna på sammanlagt fem olika silotorksanläggningar i samband med skörde- och lagringssäsongerna 2003-2005, tabell 1. Delar av arbetet 2004 utfördes som ett examensarbete handlett av JTI (Westlin, 2004). I studien ingick även tre konventionella varmluftstorkningsanläggningar (av fabriken Tornum respektive Akron) som kontrollerad. Kapaciteten hos dessa torkar varierade mellan 5 och 6 ton/timme vid en sänkning av vattenhalten med 4 %. Mätningarna omfattade inläggningstakt, skördevattnhalter, torkningstid, lagringstemperaturer, torkningsförlopp (silotork), energiförbrukning, omblandningseffektivitet (silotork) med hjälp av vattenhaltsprofiler, vattenhalter efter avslutad torkning, risker för kondensbildning och möjligheter till rengöring samt arbetsåtgång.

Tabell 1. Tekniska data om de silotorkar som ingick i fältstudien.

Gård/år	1/-03	1/-04	2/-04	3/-04	4/-04	5/-05
Fabrikat	MFS/ DMS	MFS/ DMS	MFS/ DMS	Twister/ Sukup	MFS/ DMS	MFS/ DMS
Silovolym, m ³	925	925	680	480	1210	680
Diam. silo, m	12,8	12,8	10,9	11,5	14,6	10,9
Max lagr.h, m	7,2	7,2	7,2	4,5	7,2	7,2
Fläkt, kW	18,5	18,5	15	11,2	22,5	22,5
Panna, kW	221	4484+161	174	Fastbränsl	221+174	221
Ombi.skruvar	3	3	2	3	3	2

Avsikten med fältdelen i studie 2 var att följa torkningsförloppet hos spannmålspartier med höga skördevattnhalter (> 22 %, enligt särskilt villkor från SLF) i samband med 2006 års skörd. Detta år var skördeförhållandena i många fall mycket besvärliga. I de fall kravet på skördevattnhalt uppfylldes, kunde skörden antingen inte genomföras eller så valde lantbrukaren att torka spannmålen med annan metod. Därför lyckades vi inte få till någon mätserie trots vår närvaro i Skåne och Västergötland under stora delar av skördeperioden.

Mätmetoder

Temperatur och luftfuktighet hos utomhusluft och luft som hade passerat spannmålen mättes med loggande instrument (Hydrolog, Rotronic AG, Bassersdorf, Schweiz). Dessa var försedda med en sensor (Hygroclip) för temperatur och luftfuktighet. Angiven noggrannhet vid 23°C var $\pm 1,5$ % RF och $\pm 0,3$ °C. Temperatur på torkluften efter fläkten mättes med Tinytag Plus Tg 0020 (Gemini Dataloggers, West Sussex, United Kingdom) med en angiven noggrannhet av $\pm 0,45$ °C vid 20°C. Statiska mottrycket mättes med en loggande differenstryckmätare (PM 45, ELKA-Elektronik, Lüdenscheid, Germany) med en angiven noggrannhet av 0,5%.

Provtagning

På gårdar med inlastningselevator togs spannmålsproverna med Sigillprovtagare (Jonsson, 2001). På övriga gårdar togs proverna med en manuell provtagare, utformad enligt

anvisningar av Pitard (1993), direkt i flödet när spannmålslasset tömdes. Efter avslutad torkning togs sammanlagt 36 prover per silo genom provtagning i silotoppen. Proven (ca 300 g (vete)) togs i ytan och sedan ett prov per meter till 3 m djup med ett provtagningsspett (Deep Bin Cups, Seedburo Equipment Cop., Chicago, USA). Lagringshöjderna i de undersökta silorna varierade från 2,3 till 6,4 meter.

Analys

Vattenhaltsbestämningen skedde med hjälp av NIT-utrustning vid Lantmännens spannmåls-mottagning i Mariestad (Foss Infratec™ 1241 Grain Analyzer) och Försökscentralen på Ultuna (Foss Infratec™ 1241 Grain Analyzer). Samtliga utrustningar kalibrerades on-line mot samma centrala enhet. En del av vattenhaltsbestämningarna utfördes också i värmeskåp (se nedan).

Biologisk utvärdering

Gårdsstudien

Den biologiska utvärderingen omfattade kartläggning av den mikrobiella floran och spannmålens grobarhet vid skörd, efter avslutad torkning och i några fall också strax innan leverans. Samtliga sädeslag utom råg ingick i studien och inläggningsvattenhalterna varierade mellan 13,0 och 26,0 %. För att begränsa antalet analyser gjordes dessa på samlingsprover. I samband med skörden 2006 var avsikten att även fastställa eventuella halter av ochratoxin A.

Respirometerstudien

För att fastställa riskbilden beträffande hygienisk kvalitet användes en modell av skadefri lagringstid för spannmål (utan mögelväxt och ochratoxinbildning) utvecklad vid JTI inom EU-projektet OTAPrev (Jonsson m.fl., 2004). Modellen är dock utvecklad för stillaliggande luftad spannmål vid 10-25°C. För att utvärdera modellens giltighet för mekaniskt omblandad spannmål genomfördes därför studier i JTI:s respirometer i samband med skörden 2004 och 2005. Metodiken finns beskriven i Jonsson m.fl. (2004) alternativt Lindblad m.fl. (2004). Studierna gjordes med nyskördat höstvetete (Kosack) i vattenhaltsintervallet 17,8-20,9 % vid temperaturerna 20°C och 30°C. Spannmålen ympades med *Penicillium verrucosum* innan lagringsstudien inleddes. Sammanlagt tillsattes 1000 mögelsporer per gram kärna.

Ymp

Ympen utgjordes av en blandning av sporer från tre olika stammar av *P. verrucosum* (J161, J181 och J185). Stammarna förvaras på institutionen för Mikrobiologi, SLU. Sporsuspensionen var baserad på sporer från 5-7 dagar gamla kolonier (odlade på MEA-substrat i flaskor vid 25°C) i peptonvatten (2 gram pepton per liter destillerat vatten) med 0,015 % Tween 80 tillsatt för att underlätta sporens fördelning i lösningen. Sporkoncentrationen i lösningen beräknades med hjälp av hemocytometer.

Analys

Den mikrobiella floran analyserades vid inst. för Mikrobiologi, SLU, genom bestämning av totala antalet kolonibildande enheter (CFU) av mögelsvampar och av *P. verrucosum*, samt av jästsvampar (inläggningsproven) (Samson et al., 2000). Dominerande flora fastställdes också. Spannmålsprovet (20 g) blandades ut i 10 gånger så mycket peptonvatten, skakades under 30 minuter och homogeniserades under 2 minuter vid normalt varvtal i en Stomacher 400 (Colworth, UK). Vid odlingen användes MEA tillsatt 100 PPM chloramfenikol samt DG18. Odlingen genomfördes under 5-7 dygn vid 25°C och 37°C (enbart DG18), det senare för att få fram termotoleranta arter.

Analyserna av grobarhet, vilka gjordes av Statens Utsädeskontroll, Svalöv, baserades på fyra upprepningar om 100 kärnor enligt International Seed Testing Association.

Vattenhalten hos spannmålen bestämdes med hjälp av ugnsmetoden för hel kärna (10 g triplikat) vid 130°C under 19 timmar (Anon, 1983). Spannmålens vattenaktivitet, a_w , i respirometerstudien bestämdes vid 20°C med hjälp av en Aqua Lab serie 3 TE (Decagon Devices Inc., Pullman, Washington, USA).

Modellstudien

För att kunna bedöma riskerna med silotorkningsmetoden vid olika skördevattnhalter gjordes beräkningar av torkningsförloppet och risken för mögeltillväxt och bildning av ochratoxin A med hjälp av en beräkningsmodell av torkningsprocessen i tjocka skikt (Jonsson, 1990). Beräkningarna, vilka utfördes med Excel 2000, baserades på dygnsmedelvärden beträffande luftens torkningsegenskaper och spannmålens vattenhalter och att hela skiktet omblandas en gång per dygn. Modellen kompletterades med modeller av säker lagringstid innan mögelväxt (OTAPrev) alternativt bildning av OTA (under publicering) (båda beräknade som ett index från 0 till 1.0, där 1.0 indikerar begynnande förekomst) samt en modell av sambandet mellan spannmålens vattenhalt och luftens relativa fuktighet (OTAPrev). Modellen validerades också mot verkliga gårdsdata (gård 4). Baserat på statistik över skördevattnhalter gjordes också en bedömning av riskerna med metoden i olika odlingsområden.

Ekonomisk utvärdering

I ett examensarbete vid institutionen för Ekonomi, SLU, beräknades de ekonomiska konsekvenserna av begränsad sårhållning vid investering i silotorksystem jämfört med konventionellt system för varmluftstorkning med hjälp av linjär heltalsprogrammering och historiska skördedata (Westman, 2006). För att undvika kvalitetsproblem antogs att spannmål med > 22 % vattenhalt levererades otorkad. Studien begränsades till att analysera två fallgårdar (200 hektar och 400 hektar) per område i Götalands södra slättområden (Gss), Götalands norra slättområden (Gns) respektive Svealands slättområde (Ss). I studien vidareutvecklades en matematisk programmeringsmodell för vart och ett av investeringsalternativen i respektive område, vilket finns beskrivet i Westman (2006). Det huvudsakliga dataunderlaget för modellen bestod av bidragskalkyler (TB1), vilka togs fram för varje gröda och område. Kalkylerna grundades på material från Agriwise (2006), Hushållningssällskapet (Östergötland & HS Konsult, 2005) samt Lantmännen. I beräkningarna tillskrevs havre och oljevaxter ett förfruktvärde (Ohlander, 1988). Prisnivån på spannmål och oljevaxter beräknades utifrån Lantmännens prisnivåer mellan åren 2001 och 2005 (Lantm., Poolpriser 2001-2005).

Resultat

Teknisk utvärdering

I tabell 2 redovisas data från de åtta spannmålspartier som ingick i studien och som hade en skördevattnhalt över 17 %. Hälften av dessa partier lagrades och torkades nära maximal lagringshöjd (7,2 resp. 4,5 m), vilket ledde till låga specifika luftmängder (~50 m³/ton, tim). Flertalet av partierna torkades med tillsatsvärme under större delen av tiden som fläktarna var påslagna. I allmänhet pågick torkningen under ca två veckor. Den spannmål som var avsedd för avsalu torkades till 14 % eller lägre medelvattenhalt. När spannmålen skulle användas som foder på den egna gården avslutades torkningen i flera fall redan när medelvattenhalten var strax under 17 %. I ett fall (gård 2) användes aldrig tillsatsvärmerna, varför spannmålen inte torkade nämnvärt trots att fläktarna var påslagna långa perioder under de 45 dygn torkning- en/kyllningen pågick. Vattenhalten varierade i vissa fall betydligt inom spannmålspartiet efter

avslutad torkning (std $\geq 1,0$). Delvis sammanföll detta med korta omrörningstider eller att provtagningen även omfattade den oblandade spannmålen närmast tilluftsidan (gård 5).

Tabell 2. Sammanställning av uppmätta data från de spannmålspartier som ingick i studien och som hade en skördevattenhalt över 17 %.

Gård/år	1/-03	1/-04	1/-04	2/-04	3/-04	3/-04	4/-04	5/-05
Spannmålsslag	havre	hvete	vårvete	rågv/korn	hvete/rågv.	hvete/rågv.	hvete	vårvete
Mängd, ton	200	550	610	430	360	320	800	160
Inlagt/dygn, ton	70	110	208	89	61	43	104	80
Lagringshöjd, m	2.8	5.4	6.0	6.4	4.5	4.0	6.4	2.3
Mottryck, mmvp	55	135	173	180	150	141	161	123
Sp.luftm., m ³ /t,h	180	58	47	52	55	66	46	240
Torkluftstemperatur medv., °C	32 (26-41)	31 (16-50)	35 (14-53)	15 (11-23)	35 (23-44)	28 (14-39)	35 (17-49)	20 (5-39)
Medelvh. vid skörd, % (intervall)	17.2	18.9 (17-21)	17.9 (17-20)	17.1 (14-20)	20.5 (16-25)	19.7 (16-26)	17.5 (13-21)	20.6 (20-21)
Slutvh. ±std, %	14.9	14.2±1.8	13.8±0.9	16.7±1.0	16.5±0.8	16.8±1.1	12.7±0.8	11±2.1
Omrörning, tim	48	160	250	72	310	164	440	360
Start skörd – sluttorkat, dygn	3	15	14	45	13	8	16	17

Vattenhalten var oftast något högre i centrum av silon, vilket tyder på en sämre luftgenomgång. I denna del av silon förekom det ofta synbart mer avrens inklusive ogräsfrön, vilket pekar på ett behov av rensning innan torkning. Motsvarande slutvattenhalter för den konventionellt varmluftstorkade spannmålen varierade mellan 9 och 15 %. I diagrammet bild 1 beskrivs torkningsförloppet i en punkt vid frånluftsidan av ett parti havre (ca 200 ton) i en silotork. På grund av en relativt låg lagringshöjd (ca 2,8 m) och därmed en hög specifik luftmängd (180 m³/ton, h) i kombination med en låg ingångsvattenhalt var torkningsförloppet relativt snabbt och torkningen avslutades efter 2-3 dygn. Vattenhalten i spannmålen närmast mätpunkten var då ca 15 %. Diagrammet visar att omblandarskruven passerade en gång per dygn, varvid torkluftens relativa fuktighet sjönk i samband med att torrare spannmål från silons botten nådde ytan. Beräkningar (skattningar) av energiförbrukningen hos de undersökta silotorkarna visade att energiförbrukningen genomgående var högre än vad som normalt

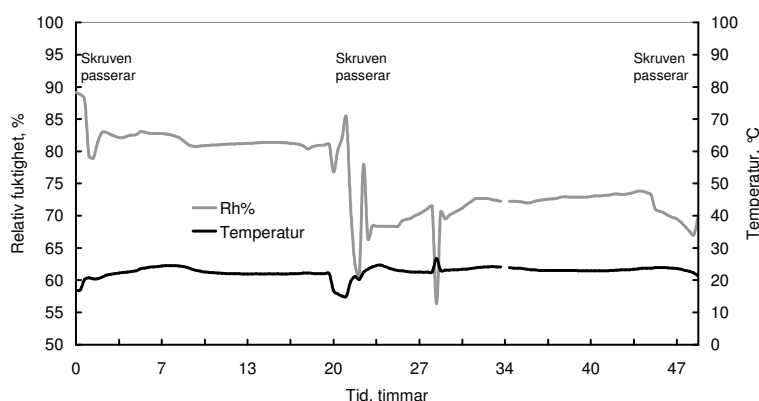


Bild 1. Torkningsförloppet vid frånluftssidan hos ett parti havre torkad i en silotork (gård 1/03).

brukar uppmätas på nyare konventionella varmluftstorkar. Däremot var arbetsåtgången för inlastning och skötsel i allmänhet låg för silotorkarna.

Biologisk utvärdering

Fältstudien

Av tabell 3 framgår att det inte inträffade någon uppenbar tillväxt av mögelsvampar eller påverkan på kärnans grobarhet under torkningsfasen hos de silotorkade spannmålspartierna, vilket även gällde för den konventionellt torkade spannmålen. Eventuellt kan det ha förekommit en viss tillväxt i ett parti med vårvete på gård 1. Antalet CFU totalt var dock genomgående höga redan vid skörd, runt log 5.0, vilket kan ha försvårat identifieringen av eventuell lagerskadeflora. I vissa fall var grobarheten låg redan vid skörd, vilket kan ha orsakats av liggsäd. Två av partierna analyserades också efter lagring innan leverans utan att någon lagerskadeflora eller några förhöjda CFU-värden kunde konstateras.

Tabell 3. Resultaten av hygieniska analyser samt av grobarhet före och efter avslutad torkning/lagring för de spannmålspartier som ingick i fältstudien och hade en medelvattenhalt över 17,0 %.

Gård/år	1/-03	1/-04	1/-04	2/-04	3/-04	3/-04	4/-04	5/-05
Spannmålsslåg	havre	hvete	vårvete	rågv/korn	hvete/rågv.	hvete/rågv.	hvete	vårvete
Medelvh.skörd %	17.2	18.9 (17-21)	17.9 (17-20)	17.1 (14-20)	20.5 (16-25)	19.7 (16-26)	17.5 (13-21)	20.6 (20-21)
Spannmålens medeltemp., °C	23 (20-27)	ca 20 -	22 (11-27)	13 (5-23)	23 (16-28)	20 (16-26)	22 (14-28)	8-27
Start skörd – sluttorkat, dygn	2	15	14	45	13	8	16	17
Log CFU/g vid skörd efter torkning efter lagring	5.4	4.9	5.0	5.7	5.2	4.8-5.3	4.8	4.6
	5.5	3.9-4.6	4.8-5.7	4.9-5.1	4.8-5.0	5.0	4.4-4.5	4.7
	-	4.8	-	-	-	-	4.6	-
Flora efter torkning	Fält	Fält	Fält	Fält	Fält	Fält	Fält	Fält
Grobarhet vid skörd efter torkning	-	94	90	76-90	80	59-91	95	-
	-	74-95	89-90	82	77-80	72-74	95	-

Respirometerstudien

Enligt mätningarna av respirationshastigheten hos höstveten i JTI:s respirometer och resultaten av analyser av CFU totalt och av *P. verrucosum* medförde en omblandning av spannmålen genomgående en långsammare mikrobiell tillväxttakt när den lagrades vid 30°C, bild 2. Även den maximala säkra lagringstiden, mätt som begynnande ökning av respirationshastigheten, förlängdes i allmänhet något (5-15%). När lagringstemperaturen var 20°C varierade effekten av omblandningen betydligt mer, från begränsad effekt till en uppenbar minskning av tillväxttakten hos mögelsvamparna. Vid denna temperatur påverkades inte den maximala säkra lagringstiden av omblandningen.

~~-, bild 2.~~ Variationskoefficienten var i allmänhet hög (CV>10 %). Vid ca 18,0 % vattenhalt och 30°C tillväxte inte *P. verrucosum* nämnvärt oavsett om spannmålen omblandades eller inte.

Modellstudien

Omrörningens begränsade inverkan på tidpunkten för begynnande mögeltillväxt enligt respirometerstudien bedömdes inte motivera en justering av JTI:s modell av säker lagringstid.

Jämförelsen mellan de torkteoretiska beräkningarna med hjälp av modellen och de data som erhöles från gård 4 visar på god överensstämmelse, tabell 4. I detta fall inleddes inte

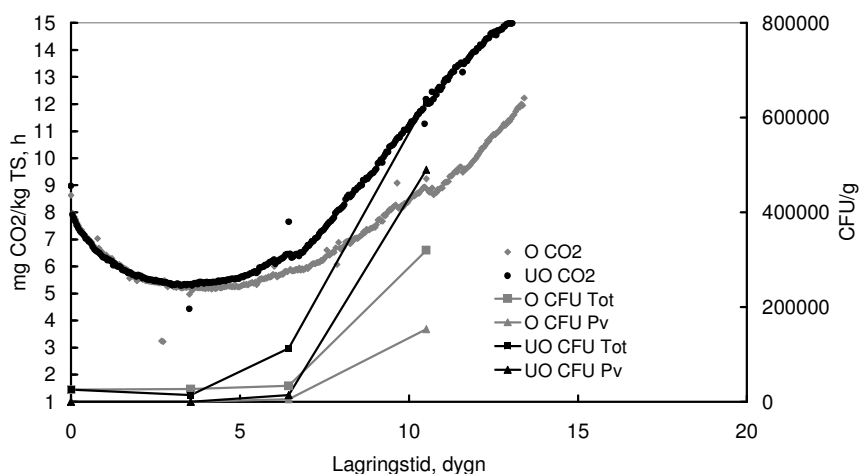


Bild 2. Tillväxten av mögelsvampar mätt som respirationshastighet (CO₂), antalet kolonibildande enheter av mögelsvampar (CFU Tot) och av *Penicillium verrucosum* (CFU Pv) hos höstvetete lagrad vid 20,1 % vattenhalt och 30 °C utan (U) respektive med omrörning (O).

torkningen förrän dag 4. Övriga beräkningar i tabellen baserades på en silotork med 12,8 m diameter utrustad med 18,5 kW fläkt och en varmluftspanna på 221 kW, vilka var i kontinuerlig drift från dag 2. Inläggningstakten var 1 m per dag (ca 100 ton/dygn) till full inläggningshöjd (7 m). Vid 1 respektive 7 m lagringshöjd uppgick de specifika luftmängderna till ca 400 respektive drygt 40 m³/ton, timme. Av tabellen framgår att det förelåg risk för mögelväxt och OTA innan spannmålen var färdigtorkad när skördehalten var över 20 % respektive 22 % vid använd torkningsstrategi. I Gss, Gns, Ss och Nn (Nedre norrland) överskreds dessa vattenhalter ca 5, 17, 30 respektive 65 % av åren under den senaste 20-årsperioden (SLU:s sortförsök). Beräkningar visade också att om tillsatsvärmens inte användes hann torkfronten endast vandra en halvmeter från botten under de första 14 dagarna. I övrig spannmål sänktes vattenhalten endast med ca 0,5 % i samband med att temperaturfronten passerade spannmålsskiktet.

Tabell 4. Sammanställning av resultat från en modellstudie av torkning av vete i en silotork dimensionerad enligt leverantören. Inledningsvis jämförs resultat av modellberäkningar med uppmätta data från en av gårdarna i fältstudien (gård 4).

Gård	Mängd våt vikt, ton	Inlagt/ dygn, ton	L-höjd, m	St.motr. mmvp	Spec. luftm., m ³ /t,h	Tillsats- värme, °C	Vattenh. skörd, %	Vattenh torkad, %	Torkn. avslut., dygn	Hygien- index	OTA index
4, verklig	829	16-210	6.4	161	46	5-30	17.5 (mv)	12.7	16	OK	-
4, modell	830	16-210	6.1	160	44	8-27	17.5 (mv)	11.6	16	0.397	0.259
18% mod.	703	100	7	175	41	15-22	18.0	13.5	13	0.347	0.139
20% mod.	685	98	7	175	42	15-22	20.0	13.4	14	0.839	0.403
22% mod.	675	97	7	175	42	15-22	22.0	13.9	15	1.655	0.889
24% mod.	650	93	7	175	44	15-22	24.0	13.7	19	2.383	1.345

Ekonomisk utvärdering

Tabell 5 redovisar investeringsbehovet och kapitalkostnaden för kompletta, förhållandevis enkla silotorkanläggningar, vilka fylls med en mobil skruv. Av tabellen framgår att kostnaden för torkning minskar med ökad silostorlek. Enligt de genomförda optimeringarna var en relativt ensidig grödfördelning med höstvetete, malkorn och oljevaxter mest lönsamt oavsett anläggningstyp. Investeringsbehovet för en silotork var ungefär hälften så stort som för en konventionell anläggning för varmluftstorkning med god särhållning när arealunderlaget var mellan 100 och 400 hektar. Skillnaden minskade dock till ca en tredjedel när en enklare varmluftstork utomhus med få och stora lagringssilor valdes.

Tabell 5. Investeringsbehov för komplett silotorkanläggning med olika lagringskapacitet (JLAgriparts, 2006) samt årliga kapitalkostnaden per kg spannmål. Beräkningarna per kg spannmål gäller för volymvikten 760 kg/m³. Den rörliga kostnaden (arbete och energi) uppskattas till 0,06 kr/kg spannmål.

Lagringskapacitet m ³ (ton)	Investerings- behov (kr)	Investerings- behov (kr/kg)	Kapitalkostnad (kr/kg)	Årskostnad (kr/kg)
303 (230)	465 000	2,01	0,17	0,23
473 (359)	544 500	1,51	0,13	0,19
572 (435)	594 000	1,37	0,11	0,17
927 (705)	820 000	1,16	0,10	0,16

Diagrammen i bild 3 redovisar odlingsnettot för de olika investeringsalternativen för typgårdarna med 200 hektar. Odlingsnettot är vad som är kvar när alla kostnader för odling och torkning är avdragna, och skall täcka kapitalkostnader för basmaskiner och gård samt företagavinst. För samtliga investeringsalternativ var grödfördelning och lagringskapaciteten likartad, varför skillnaderna i resultat främst orsakas av skillnaderna i kapitalkostnader för de olika torktyperna. Det framgår att lönsamheten för spannmålsodling var bäst i Gss. Det mest lönsamma alternativet för en 200-hektarsgård i Ss var att direktleverera otorkad spannmål vid skörd. I Gns var två silotorkar lönsammast, vilket också gällde för Gss. Störst variation i odlingsnettot över åren hade investering i silotork, vilket framförallt gällde för Ss på grund av att skördevattenhalter över 22 % är vanligare i detta område enligt historiska data. Resultatet var ungefär detsamma för gårdarna med 400 hektar.

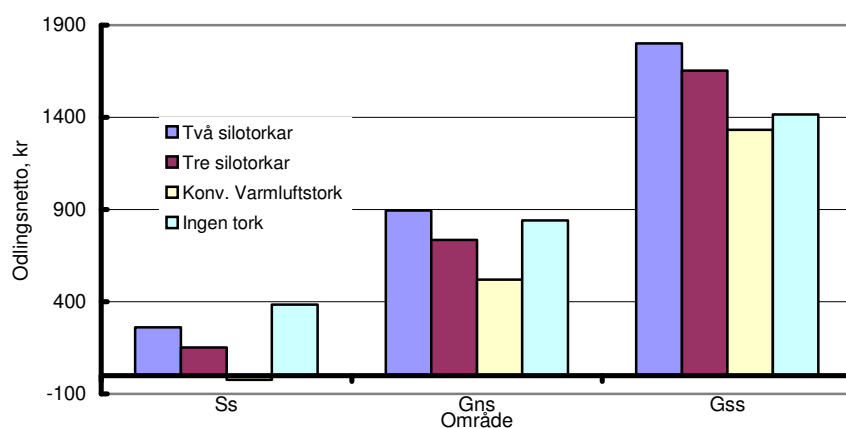


Bild 3. Förväntat resultat per hektar vid optimal grödfördelning för gård med 200 hektar.

Diskussion

De silotorksystem med omrörning som har sålts i Sverige kännetecknas av höga lagringshöjder, bottenluftning med mycket låga specifika luftmängder och tillsatsvärme. I stället för att torka spannmålen inom något dygn efter skörd, som vid konventionell varmluftstorkning, sker torkningen långsamt under ett par veckor vid full inläggningshöjd. Resultaten av studien och tidigare erfarenheter visar dock att en effektiv omrörning av spannmålen under torkningen möjliggör torkning av mycket tjocka skikt och därmed låga specifika luftmängder med till synes bevarad kvalitet. Detta gäller under förutsättning att spannmålets vattenhalt inte är för hög och att tillsatsvärme används. Beräkningarna tyder på att medelvattenhalten vid normal inläggningstakt till full höjd inte bör överstiga 20-21 %, att tillsatsvärme används med en temperaturhöjning av minst 15-20°C och att torkningen inledas så fort som möjligt. Metoden passar därför bäst i södra Sverige. Vid högre vattenhalter bör både inläggningstakten och lagringshöjden reduceras, förslag på hur kommer att redovisas i den planerade publiceringen i serien JTI-informerar. Metoden med omblandning medger betydligt högre torkluftstemperaturer utan att det uppstår en ackumulering av kondens i spannmålen vid frånluftsidan. Utan tillsatsvärme är luftmängden för låg för att åstadkomma en nämnvärd torkning när inläggningshöjden överstiger 1-2 m bortsett från den torkning på ca 0,5 % per 10°C temperatursänkning som inträffar när den s.k. temperaturfronten passerar spannmålsskiktet. En hög torkluftstemperatur har dock inte enbart positiva effekter utan ökar mängden kondens på innertak och väggar i silotoppen varvid det lätt bildas dammbeläggningar. Dessa kan vara svåra att avlägsna. Även omrörningen har nackdelar och medför i allmänhet en högre energiåtgång per kg borttorkat vatten. De beräkningar som gjordes i studien tyder också på att energiåtgången vid silotorkning är högre jämfört med vid konventionell varmluftstorkning. Omblandningen innebär också att spannmålen, beroende på när den lagts in, utsätts för olika antal uppfuktning- och torkningscykler. Detta kan leda till stora kvalitetskillnader på kärnivå trots en skaplig genomsnittlig spannmålskvalitet i en silo. En viktig åtgärd är att hålla nere infektionstrycket i anläggningen. I studien var flertalet silor nya, varför infektionstryck i allmänhet bör ha varit lågt. En rengöring av luftfördelningssystemet under silogolvet är dock inte lätt att åstadkomma, vilket i dagsläget kräver demontering av golvet. Ekonomiskt är silotorksystemet mest fördelaktigt om man har behov av stora silor (>500 m³) och minimalt behov av särhållning. Silotorksystemet bör därför passa bäst vid samverkan med andra lantbrukare eller när man förbrukar stora kvantiteter foderspannmål på den egna gården. Den kan också vara ett komplement till en konventionell varmluftstorkningsanläggning när torknings- och lagringskapaciteten behöver byggas ut på en större växtodlingsgård. Studien visade också att en ensidig grödfördelning med höstvet, malkorn och oljeväxter var mest lönsamt oavsett anläggningstyp, vilket kan innebära att behovet av särhållning kommer att minska i framtiden.

Det finns behov av ytterligare studier för att skaffa praktiska erfarenheter om hur metoden bör användas när skördevattenhalten är höga. Studier behöver också göras för att undersöka om energieffektivitetens kan förbättras genom att åstadkomma exempelvis en jämnare torkning och/eller minskad kondensbildning på insidan av torkens tak, vilket i båda fallen också skulle leda till minskade risker ur ett hygieniskt perspektiv. Studien visade också att det finns behov av att ta fram rutiner om hur silotorkens tilluftskanaler på bästa sätt kan rengöras och/eller om detta kräver en ändring av tilluftskammarens konstruktion.

Publikationer

Jonsson N., 2006. Uppdatering av gårdens spannmålstork. Ett projekt utfört på uppdrag av SLA. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik. www.jti.se/publikat/ovrigapubl.htm.

Westlin, H., 2004. Utvärdering av ett silotorksystem för spannmål utrustat med omrörare, Examensarbete 04:05, Institutionen för biometri och teknik, SLU, Uppsala. <http://www.et.slu.se/>

Westman, K-E. 2006. Investering i spannmålstorkning och lagring på gårdsnivå- En jämförelse av ett silotorksystem med omrörare och en konventionell anläggning. Degree Thesis in Business Administration, Thesis No 452. Department of Economics, SLU, 64 pp. <http://www.ekon.slu.se/>

Rådgivande information avsedd för lantbrukare i serien JTI informerar samt en vetenskaplig artikel om omrörningens inverkan på den mikrobiella utvecklingen är planerad till 2009.

Övrig publicering

Jonsson N., 2002. Silotork – inte utan risker. Lantmannen nr 12.

Emgardsson, P., 2005. Nya silotorkar kräver handledning. Lantmannen nr 3, sid 6-9.

Referenser

Agriwise, 2006. www.agriwise.org

Anon, 1983. Moisture Measurement – Grain and Seeds. American Society for Agricultural Engineers Standard: ASAE S352. 2950 Niles Road, St Joseph Michigan 49085.

Baker K.D., Abbouda E.K. & Foster G.H., 1979. Stirring as an aid to in-bin solar drying of corn. ASAE paper no 79-3522, New Orleans, LA.

Bern C.J., 1973. Effects of auger stirring on airflow resistance and other physical properties of corn. Unpublished Ph.D. thesis, Agricultural Engineering Department, Iowa State University, Ames, Iowa.

Bern C.J., Anderson M.E., Wilcke W.F. & Hurburgh C.R., 1979. Auger-stirring of wet and dry corn. ASAE paper no 79-3523, New Orleans, LA.

Brooker D.B., Bakker-Arkema F.W. & Hall C.W., 1992. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. Avi book, van Nostrand Reinhold, New York.

Emgardsson P., 2002. Stålsilor testade i Danmark. Lantmannen 11.

Freiman J., 2008. JL Agriparts AB (Sukup), Skövde, muntlig information

Hansson P., 2008. Svensk representant för LM Corn (tidigare Mertz Corn), muntlig information.

HS Konsult AB, 2005. Bidragskalkyler 2005, Uppsala.

Hushållningssällskapet Östergötland, 2005. Bidragskalkyler 2005, Linköping.

Høj J.J., 2002. Stålsiloer till korn. FarmTest Byggninger nr 6. Landskontoret for maskiner och byggninger

Jonsson N., 1990. Kallluftstorkning av ärter. JTI-rapport 112

Jonsson N., Johnsson P., Rizzo A., Olsen M. & Gustafsson L. 2004. Mathematical Model to Predict the Safe Storage Time of Cereal Grain" 2004 International Quality Grains Conference July 19-22, 2004 in Indianapolis, Indiana (USA).

Jonsson N., 2001. Undersökning av förutsättningarna för kvalitetsprovtagning av spannmål i gårdsanläggning. JTI-rapport 284.

Jonsson N., 2006. Uppdatering av gårdens spannmålstork. Ett projekt utfört på uppdrag av SLA. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik. www.jti.se/publikat/ovrigapubl.htm.

Kalchik S.J., Silva J., Mwaura E.N., Rodriguez J.C. & Bakker-Arkema Y.W., 1981. On-farm corn drying comparison. ASAE paper no 81-3019, St. Joseph, Michigan.

Lindblad M, Johnsson P, Jonsson N, Lindqvist R, Olsen M. 2004. Predicting noncompliant levels of ochratoxin A in cereal grain from *Penicillium verrucosum* counts. *J Appl Microbiol.* 2004;97(3):609-16.

Niléhn A., 2002. Skärpta regler mot mögel i säd. ATL 19 november.

Ohlander, L.J.R., 1988. *Odlingssystem och växtföljder*. Kompendium. Andra upplagan. Institutionen för växtnärlära, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Pitard FF. 1993. Pierre Gy's sampling theory and sampling practice. CRC Press, Inc., Boca Raton.

Samson, RA, Hoekstra, ES, Lund, F, Filtenborg, O and Frisvad, J. 2002. Methods for the detection, isolation and characterisation of Food-borne fungi. *In: Samson, RA, Hoekstra, ES, Frisvad, J and Filtenborg, O. (Eds). Introduction to Food- and Airborne Fungi.* CBS, The Netherlands. 389 pp.

Thompson T.L., 1972. Temporary storage of high-moisture shelled corn using continuous aeration. *Trans. ASAE* 15: 333-337.

Westlin, H., 2004. Utvärdering av ett silotorksystem för spannmål utrustat med omrörare, Examensarbete 04:05, Institutionen för biometri och teknik, SLU, Uppsala.

Westman, K-E. 2006. Investering i spannmålstorkning och lagring på gårdsnivå- En jämförelse av ett silotorksystem med omrörare och en konventionell anläggning. Degree Thesis in Business Administration, Thesis No 452. Department of Economics, SLU, 64 pp.

Williams E.E., Okos M.R. & Peart R.M., 1976. Solar grain drying and collector evaluation. Technical paper no 76-3512, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan