

# Utvärdering av silotorksystemet efter besvärliga skördeförhållanden baserad på ny teknik för multimykotoxinanalys

Nils Jonsson, JTI, och Elisabeth Fredlund, SLV

## Bakgrund

Silotorksmetoden, som har funnits i Sverige i ungefär 10 år, har haft ett kraftigt genomslag på marknaden och i dagsläget har uppskattningsvis minst 500 silotorkar sålts med en sammanlagd lagringskapacitet av minst 250 000 ton motsvarande 5 % av den svenska årsproduktionen. De främsta orsakerna till framgångarna för detta amerikanska torksystem är en relativt låg investeringskostnad i kombination med att lönsamheten för spannmålsproduktionen har varit låg och att lantbrukarna upplever metoden som enkel att använda. Silorna, vilka är utrustade med ett system för bottenluftning, är tillverkade av oisolerad plåt med lagringshöjder upp till 7-8 m och med lagringsvolymerna upp till 1300 m<sup>3</sup>. För att kunna torka spannmålen utan förskämningsskador 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 skador i den annars sist torkade spannmålen närmast frånluftsidan. För att påskynda torkningen vid de mycket låga specifika luftmängder som förekommer vid full lagringshöjd används torkluftstemperaturer upp till ca 40-45°C, vilket höjer luftens vattenupptagande förmåga betydligt. De viktigaste resultaten från en tidigare studie vid JTI (SLF nr 0333019 och SLF-projekt nr V0633022) kan sammanfattas med att trots lång torkningstid (upp till 2 veckor), kraftig kondensbildning längs väggar och i den övre spannmålen och en spannmålstemperatur optimal för mögelväxt (20-30°C) påvisades ingen tillväxt av lagerskadesvampar efter avslutad torkning. I dessa studier gjordes inga mykotoxinanalyser. En risk som kan föreligga vid långsamtorkning är att fältsvampar som *Fusarium* fortsätter att producera mykotoxiner i de fall den inlagda spannmålen har höga vattenhalter (> 19 %). Det förekom stora vattenhaltsvariationer efter avslutad torkning beroende på dåligt utnyttjande av omblandarskruvarna i torkningens/kylningens slutskede, men också beroende på en sämre luftgenomgång i centrum av torken orsakad av ojämn fyllning och/eller större andel av avrens. Dessutom är torkarna svåra att rengöra beträffande tilluftskanaler och eventuella kondensbeläggningar på silons innertak. Anläggningarna i studien var nya, men på sikt kan denna typ av kvarvarande spannmålsrester leda till höga infektionstryck beträffande mögelsvampar och insekter. Tidigare studier vid JTI har visat att maximal säker lagringstid utan mögeltillväxt och mykotoxinbildning snabbt minskar med ökad vattenhalt samtidigt som torkningstiden ökar. Enligt de teoretiska beräkningar som gjordes i projekten av risken för mögelväxt och mykotoxinbildning (ochratoxin A), bland annat baserade på en hygienmodell utvecklad av JTI inom EU-projekt OTAPrev, går det att torka spannmål med en medelvattenhalt upp till ca 20 % vid full lagringshöjd utan risk för mätbar mögelväxt och ochratoxinbildning. Beräkningarna tyder också på att inläggningstakten och/eller inläggningshöjden bör minskas i takt med ökad vattenhalt när den överstiger 20 % för att påskynda torkningen genom att öka den specifika luftmängden. Silotorksmetoden skapar en komplex lagringsmiljö för spannmålen under torkningen och även under lagringen om omblandningen och kylningen är otillräcklig.

Syftet med den nu genomförda studien var att:

- fastställa förekomsten av mykotoxiner/metaboliter i lagrad silotorkad spannmål och konventionell varmluftstorkad spannmål (kontrollerad) skördad vid vattenhalter över  $\geq 20$  % på gårdar med flerårig erfarenhet av metoderna,
- fastställa förekomsten av fält- och lagerskade flora av mögelsvampar med hjälp av konventionella mykologiska metoder,

- samla in erfarenheter om silotorkningsmetoden från lantbrukare med 5-10 års erfarenhet av systemet,
- med hjälp av JTI:s beräkningsmodell av silotorkning, framtagen i den tidigare studien, i kombination med de erhållna resultaten i denna studie vid behov föreslå en anpassning av inläggningstakt och lagringshöjd efter skördevattenhalt,
- uppdatera investeringskalkylen för silotorkningsanläggningar.

## Material och metod

### Fältstudien

I fältstudien undersöktes den hygieniska kvaliteten hos fyra partier av silotorkad spannmål som skördats vid vattenhalter  $\geq 20\%$  provtagna på fyra gårdar i Götalands norra slättbygder, tabell 1. Parallellt provtogs konventionellt varmluftstorkad spannmål från samma (två fall) eller närbelägna gårdar för jämförelse. Provtagningen genomfördes under vintern-våren 2011 efter 5-8 månaders lagring. Mätningarna omfattade vattenhalter, mykologisk flora och förekomst av mykotoxiner och andra sekundära metaboliter.

Tabell 1. Översiktlig beskrivning av torkningsanläggningarna som ingick i studien samt uppskattade tidpunkter för skörd och skördevattenhalter samt tidpunkter för provtagning.

Torktyp	Silotork				Konventionell varmluftstork			
	1	4	5	6	2	3	4	5
Gård								
Lagringsvolym, m <sup>3</sup>	1200 x 4	300	1200	1200	500	2300	400	3000
Fabrikat	MFS	Sukup	MFS	MFS	Tornum	Tornum	Bjurenvall	Akron
Panneffekt, kW	355 & 220	82	220	? Halmel-dad	200	1000	200	1000
Inläggningskapacitet, ton/dygn	max 1000	50	230	200	50	200	50	230
Fläkt, kW	22 x 4	7.5	22	22				
Tidpunkt skörd	11-15/8	ca 15/8	efter 15/8	16/8-4/9	14-23/8	efter 20/8	ca 30/8	$\geq 15/8$
Datum provtagning	20/1	14/5	17/2	17/2 & 5/4	11/1	11/1	24/5	17/2

Sädesslag som provtogs i studien var genomgående vete. I silotorkarna togs proverna dels i silobotten under omblandarskruvarna, vilket motsvarar den först inlagda och torkade spannmålen, dels i silotoppen representerande den omblandade spannmålen. Provtagningen av den icke omblandade spannmålen medgav bedömning av torkluftens kvalitet. Endast i en av silotorkarna hade inte utlastningen inletts, vilket möjliggjorde provtagning för kontroll av vattenhaltens jämnhet efter avslutad torkning. Detta gjordes hos ytterligare en silo, vilken dock inte analyserades beträffande hygienisk kvalitet på grund av låga skördevattenhalter. Uppgifter om skördetidpunkter och skördevattenhalter erhöles från lantbrukarna.

### Beräkningar av torkningsförlopp

Beroende på tillgång på data kunde beräkningar av torkningsförloppet göras för en av silotorkarna. Dessa beräkningar genomfördes med hjälp av en beräkningsmodell utarbetad av JTI i Microsoft Excel i samband med en tidigare studie (SLF-projekt nr V0633022). I beräkningsmodellen ingår bland annat en matematisk modell av säker lagringstid fram till en begynnande endogen infektion av lagerskadesvampar i fuktigt aerobt lagrad spannmål, utvecklad inom EU-projektet OTAPrev. I modellen är spannmålen/torkluftens vattenaktivitet/relativa fuktighet och temperatur oberoende variabler. Beräkningarna av torkningsförloppet baserades bl.a. på meteorologiska data om dygnsmedelvärden för aktuellt område och period (SMHI, 2012), data om

torkarnas prestanda erhållna från leverantören och uppgifter om skördedatum, spannmålskvantiteter och skördevattenhalter erhållna av lantbrukare.

## Torkningskostnader

En uppdatering av investeringskalkylerna för silotorkar för olika gårdsstorlekar (100, 300 och 500 ha) gjordes till 2012 års prisnivå baserade på prisuppgifter från JL Agriparts (Folkesson, 2012). De faktorer som tillämpades vid beräkning av kapitalkostnaderna och rörliga kostnader redovisas i tabell 2. De rörliga kostnaderna är baserade på 2011 års prisnivå. Kapitalkostnaderna beräknades utifrån s.k. rak avskrivning (Westlin m.fl., 2006).

Tabell 2. Faktorer använda vid beräkning av kostnaderna för torkning och lagring med silotork.

Faktorer	Värde
Ränta	7 %
Avskrivningstid, silor	20 år
Avskrivningstid, övrigt	10 år
Underhållskostnad (årlig)	0.5 % av investeringskostnaden
Förbrukning av eldningsolja	0.17 l/kg borttorkat vatten <sup>3)</sup>
Eldningsolja, kr/m <sup>3</sup>	7870 <sup>1)</sup>
Elförbrukning	2 kWh/dt
Elpris	0.531 kr/kWh <sup>2)</sup>
Arbetsåtgång, torkning	0.17 min/dt <sup>3)</sup>
Arbetskostnad	195 kr/timme

1) Priset för eldningsolja gällande juni 2011 korrigerat för skatterestitutionen för 2011 (SCB, 2012).

2) Medelpris för 2011 för 2-årigt avtal och med avdrag för 0,5 öre skatt (SCB, 2012).

3) Uppskattning av JTI.

## Erfarenheter av metoden

Erfarenheter om silotorkningsmetoden samlades in genom intervjuer med lantbrukare med 5-10 års erfarenhet av systemet.

## Teknik för provtagning

När provtagningen kunde genomföras innan spannmålen hade börjat levereras skedde den i silotoppen. Prover togs i ytan och sedan ett prov per meter ned till tre meters djup med hjälp av ett provtagningsspjut (Seedburo Equipment). Var proven togs i silotorkarna framgår av bild 1. Lagringshöjden i silorna varierade mellan ca 5,0 och 7,0 meter. Om tömningen av lagringsfickorna hade inletts togs proven med provtagare som medgav provtagning ned till ca 1 m djup. I ett par fall togs proven av lantbrukaren, i ett fall i samband med rundkörning av en silo och i ett annat fall i samband med utlastning av en silo.

## Analyser

### Mikrobiella analyser

Samtliga prov analyserades enligt SLV MI-m019.9 (ackrediterad enligt ISO 17025). För analys av totalantal späddes proverna i fem steg (1:10) i 0,1 procent peptonvatten, och 100 µl från tre spädnings sprids på två agarplattor per substrat. Substraten var DG18 (Dichloran 18 procent glycerol) och CZID (Czapek-Dox Iprodione Dichloran). Plattorna inkuberades i 25 respektive 37°C i 7 dagar varefter mögelkolonierna räknades. Resultaten beräknades som antalet cfu (kolonibildande enheter) per gram spannmålskärnor och detektionsgränsen var 10 cfu mögel per gram.

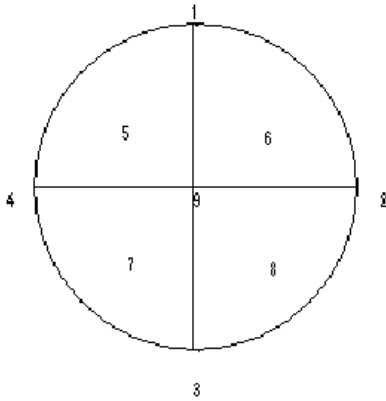


Bild 1. Provpunkternas fördelning i silon.

Endogen infektion analyserades genom att ytsterilisera (i 10 % natrium hypoklorit) 100 spannmålskärnor per prov som sedan placerades på DG18 respektive CZID (10 kärnor/platta) och inkuberades vid 25 respektive 37°C. Efter 7 dagar beräknades andelen infekterade kärnor (%) på respektive substrat och temperatur.

#### *Sekundära metaboliter/mykotoxiner*

Spannmålsproven (100 g), vilka hade torkats direkt efter provtagningen, maldes (Perten Laboratory Mill 3303) varav  $5,0 \pm 0,05$  g skickades för analys till Avdelningen för agrokemi i Tulln (IFA-Tulln) vid University of Natural Resources and Applied Life Sciences i Wien. Proverna analyserades med en HPLC/ESI-MS/MS-metod som detekterade och kvantifierade 272 mykotoxiner och andra svampmetaboliter samt även 44 bakteriella metaboliter (Vishwanath *et al.*, 2009).

#### *Vattenhalt*

Spannmålsens vattenhalt bestämdes med hjälp av en ugnsmetod för hel kärna (10 g triplikat) vid 130°C under 19 timmar (ASAE S352.1, 1983).

### **Statistiska analyser**

Signifikanta skillnader i total mögelhalt, endogen mögelinfektion och innehåll av fusariumtoxiner mellan de två torkningsmetoderna utvärderades med General Linear Model (GLM) i statistikprogrammet Minitab, utgåva 15 (Minitab Inc., State College, PA, USA).

## **Resultat**

### **Fältstudien**

Lagringsvattenhalter, mögel och mykotoxiner analyserades i prover från fyra gårdar med konventionella varmluftstorkar (n=6) och fyra gårdar med silotorkar (n=14). Resultaten av analyserna redovisas som viktade värden när fler prover analyserades från ett och samma spannmålsparti. Viktningen baserades på mängden spannmål varje prov antogs representera.

I tabell 3 redovisas spannmålsens skördevattenhalter enligt uppskattningar av lantbrukaren och vattenhalter uppmätta efter 5-8 månaders lagring. Icke lagringsstabla vattenhalter uppmättes på Gård 6 (silotork) och Gård 2 (varmluftstork).

#### *Mykologisk analys*

Det gick inte att påvisa några signifikanta skillnader mellan de två torkningsmetoderna när konserveringsresultat utvärderades med avseende på den totala mögel- och jästhalt på två olika substrat, DG18 och CZID vid 25°C (Tabell 4).

Tabell 3. Vattenhalter vid skörd (uppskattade) samt efter torkning och lagring baserade på analyser av prover.

Torktyp	Silotork				Konventionell varmluftstork			
	1	4	5	6	2	3	4	5
Gård								
Silovolym, m <sup>3</sup>	1200	300	1200	1200	3x170	1150	50	2x150
Skörde- vattenhalt, %	17-22 (delvis förtorkat)	22-23	20-21 (förtorkar)	19-21	>20	≥20	≥20	16-27
Lagringsvatten halt, %, medeltal ombländad spannmål, - under skruv.	12.3	13.3	14.0	16.7	15.9	13.8	13.0	11.5
Vattenhalt inter- vall, %	9.6	12.7	10.7	16.3				
		13.1-14.1		16.1-25.2	14.1-17.3			

Dock var variationen inom proven tagna från silotorkar större. För att ytterligare påvisa skillnader mellan metoderna analyserades även procentuell total endogen infektion (Tabell 5) samt endogen infektion av lagringssvamp (t.ex. arter av *Penicillium* och *Aspergillus*), fältsvamp (t.ex. arter av *Alternaria* och *Fusarium*) och övriga svampar, men inga signifikanta skillnader noterades.

Tabell 4. Totalhalt av mögel och jäst (log cfu/g, 25°C) i spannmålsprov torkade med silotork respektive konventionell varmluftstork.

Analysparameter	Silotork (n=4)		Varmluftstork (n=4)	
	Medel (log cfu/g)	Max (log cfu/g)	Medel (log cfu/g)	Max (log cfu/g)
Mögelhalt (DG18)	4,2	4,8	4,3	4,5
Mögelhalt (CZID)	4,2	5,0	4,2	4,3
Jästhalt (DG18)	3,9	4,6	4,1	4,3
Jästhalt (CZID)	3,8	4,5	3,6	4,1

I ytsteriliserade spannmålskärnor dominerade arter från släktet *Alternaria*, *Fusarium* och *Cladosporium* från alla gårdar utom en. I gård 6 (silotork) påvisades, utöver dessa släkten, även *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. fumigatus* samt arter av *Penicillium* och *Eurotium*.

Tabell 5. Andel kärnor endogent infekterade med lagerskade- och fältsvampar (DG18, 25°C) i spannmålsprov torkade med silotork respektive konventionell varmluftstork.

Analysparameter	Silotork (n=4), endogen infektion (%), DG18			Varmluftstork (n=4), endogen infektion (%), DG18		
	Medel	Median	Max	Medel	Median	Max
Total	99	99	100	96	97	99
Lagringsflora	10	<1	39	1	1	1
Fältflora	85	92	97	85	86	99

Gård 6 skiljde sig också från övriga gårdar när det gällde innehåll av termofila svampar och mykotoxiner (se nedan). I totalanalysen av mögel påvisades även *Eurotium* och *Penicillium* (inkl. *P. verrucosum*) i prov från andra gårdar. *P. verrucosum* påvisades i prov från gård 4 (log 2,61 µg/kg) och gård 6 (log 3,06 och 2,56 µg/kg), båda gårdarna använde silotorkar. Förekomsten av lagerskadeflora var något vanligare hos silotorkad spannmål enligt denna metod. Hos en av gårdarna, där all spannmål hade förtorkats i en varmluftstork innan den sluttorkades i silotorken, gick det dock inte att påvisa lagerskadeflora hos spannmålen.

För att påvisa skillnader i halten termotoleranta mögelsvampar inkuberades även prover vid 37°C. Termotoleranta mögelsvampar förekom endast i prov från två gårdar; gård 6 (silotork) och gård 3 (varmluftstork). Prov från gård 3 innehöll 3,0/2,3 log cfu/kg (DG18/CZID) av termotoleranta mögelsvampar och de dominerande mögelsvamparna var *Eurotium* och *A.*

*candidus*. I prov från gård 6 var halten av termotoleranta mögel högst i centrum av silon (se nedan) och arter som isolerades var t.ex. *A. flavus*, *A. niger*, *A. fumigatus* och *A. ochraceus*.

### Mykotoxiner

Sammanlagt detekterades 95 olika mögelmetaboliter i de undersökta proven, vilka utgjordes av bl.a. *Fusarium*-toxiner (deoxynivalenol (DON), nivalenol (NIV), enniatiner (ENNs), beauvericin (BEA), moniliformin (MON) m.fl.), *Alternaria*-toxiner (alternariol, alternariolmetyleter m.fl.) och toxiner producerade av arter av *Penicillium* (ochratoxin A, citreoviridin m.fl.) och *Aspergillus* (sterigmatocystin, gliotoxin m.fl.). Däremot påvisades inga metaboliter producerade av bakterier. I ordentligt torkad spannmål förekom betydligt färre antal metaboliter och endast i låga halter och ingen signifikant skillnad kunde påvisas i koncentrationen mellan de båda torkningsmetoderna. Ett undantag var det silotorkade spannmålen på Gård 1 i vilken det förekom höga halter av mögelmetaboliten Andrastin A (12500 µg/kg) samt även mykofenolsyra. Dessa metaboliter produceras bl.a. av *P. roqueforte*. I Tabell 6 redovisas haltdata för några *Fusarium*-metaboliter.

Tabell 6. Koncentrationen (medelvärden, µg/kg) av *Fusarium*-metaboliter i spannmålsprov från gårdar torkade med silotork respektive konventionell varmluftstork.

Gård/Torkningsmetod	DON	NIV	MON	BEA	ENNs
Gård 1/silotork	30,9	3,3	18,5	3,2	92,1
Gård 4/silotork	7,9	5,9	5,0	3,3	65,4
Gård 5/silotork	1,1	5,4	29,6	2,5	183,0
Gård 6/silotork	12,0	5,5	27,3	2,5	203,7
Gård 2/varmluftstork	22,9	6,0	8,9	3,6	95,8
Gård 3/varmluftstork	36,8	17,2	16,8	5,6	230,4
Gård 4/varmluftstork	3,8	16,1	4,6	3,1	57,8
Gård 5/varmluftstork	14,6	3,4	29,6	2,5	210,5

### Mögel och mykotoxiner i prov från gård 6

För höga lagringsvattenhalter i spannmålen på gård 6 åtföljt av kraftig mögeltillväxt och värmebildning, över +30°C i centrum av silotorken vid provtagningen i mitten av februari, ledde till höga halter av mögel och produktion av många olika mögelgifter. Prov togs från olika djup och på olika avstånd från mitten på silotorken (Tabell 7). Diametern på silotorken var 14,6 m. Resultaten visade på en dominans av fälmögel, dvs. *Alternaria*, *Cladosporium* och *Fusarium* i de prov som togs i silons yttre delar, men närmare mitten ökade halten av termotoleranta lagringmögel, framförallt av arter av *Aspergillus* (Tabell 7). Med ökad halt av dessa svampar ökade både antalet och halten av deras toxiner. *A. fumigatus* och andra toxinbildande arter av *Aspergillus* påträffades både 6 och 7 meter in i torken. Framförallt i provet taget i ytan av silons centrum (7,3 meter in) detekterades ett stort antal olika sekundära metaboliter av lagerskadesvampar (61) och mycket höga halter av gliotoxin, fumitremorgin C, fumigaclavin C (*A. fumigatus*), sterigmatocystin (*A. versicolor*), xanthomegnin och viomellein (flera arter av *Penicillium* samt *A. ochraceus*). De sekundära metaboliterna mykofenolsyra och andrastin A (bl.a. *P. roqueforte*) var dock jämnt fördelade över hela silon.

### Torkningsförlopp

För att få en uppfattning om hur olika panneffekter påverkar torkningsförloppet och spannmålets hygieniska kvalitet genomfördes beräkningar vid tre olika effektnivåer baserade på verkliga data från Gård 1. Den högsta panneffekten motsvarades av den som användes vid torkningen av det aktuella partiet, medan den mellersta rekommenderas av leverantören av torkningsanläggningen. Tillgången till gårdsdata möjliggjorde också en validering av JTI:s beräkningsmodell beträffande torkningstid och hygienisk kvalitet hos spannmålen. Av diagrammet i bild 2 framgår det att inläggningstakten var ojämn på grund av ostadig väderlek och att inläggning skedde dygn ett (2 m), dygn tre (nästan 4 m) och dygn fem (ca 0,5 m).

Tabell 7. Vattenhalt, mögel (DG18) och exempel på sekundära metaboliter/mykotoxiner påvisade i samlingsprov tagna på olika avstånd från torkens mitt i silotorken på gård 6.

Provplats	0,5 m in	3,5 m in	4,5 m in	5,5 m in	6,0 m in	7,3 m in
Provdjup (m)	0,2-3	0,2-2	1	1	1	0,0-0,3
Vattenhalt (%)	16,4±0,1	16,5±0,3	16,5	16,7	16,5	25,3
Total mögel (log, 25°C)	4,6	4,4	4,4	4,9	4,5	7,0
Endogen infektion, lagringsflora (25°C, %)	0	18	33	67	44	100
Endogen infektion, fältflora (25°C, %)	95	82	71	27	58	0
Dominanta släkten (25°C)	<i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i> <i>Fusarium</i>	<i>Eurotium</i> , <i>Alternaria</i> <i>Cladosporium</i> <i>Wallemia</i> <i>Fusarium</i>	<i>Eurotium</i> <i>Cladosporium</i> <i>Wallemia</i>	<i>Eurotium</i> <i>Penicillium</i> <i>Wallemia</i> <i>Alternaria</i>	<i>Eurotium</i> <i>Penicillium</i> <i>Wallemia</i> . <i>Aspergillus</i> <sup>1</sup>	<i>Eurotium</i> <i>Aspergillus</i> <sup>2</sup>
Total mögel (log, 37°C)	<10	<10	<10	2,26	4,1	7,5
End. infektion, lagringsflora (37°C) %	0	4	1	2	55	100
Dom. arter/släkten (37°C)				<i>Eurotium</i>	<i>Aspergillus</i> <sup>3</sup>	<i>Aspergillus</i> <sup>4</sup>
Ochratoxin A	0	0	0	0	0	2
Viomellein	0	0	0	0	0	779
Xanthomegnin	0	0	0	0	0	4546
Cyclophenol	15	0	0	0	12	2005
Sterigmatocystin	0	0	0	0	0	5050
Gliotoxin	0	0	0	0	0	157
Fumitremorgin	0	0	0	0	0	713
Fumigaclavin C	0	0	0	0	0	318
Penitrem A	0	0	0	0	0	787
Pencillinsyra	0	0	0	0	0	72
Citreoviridin	0	0	0	0	0	7
Mykofenolsyra	199	108	88	105	47	120
Roquefortine C	0	0	0	0	0	90
Andrastin A	57720	39220	42270	49860	39070	20480
Zearalenon	0	0	0	0	1,4	0

<sup>1</sup> *Aspergillus fumigatus*

<sup>2</sup> *Aspergillus fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger* och andra svarta aspergiller

<sup>3</sup> *A. fumigatus*, *A. candidus*

<sup>4</sup> *A. fumigatus*, *A. candidus*, svarta aspergiller

En meters lagringshöjd motsvarade ca 130 ton spannmål. De panneffekter som användes vid beräkningarna höjde torkluftens temperatur som mest med 9, 16 respektive 27 °C vid en specifik luftmängd av 44 m<sup>3</sup>/ton, timme, vilket ledde till en vattenupptagning av i snitt av 65±30, 130±33 respektive 190±45 kg/timme. Torkningen av den omblandade spannmålen inleddes först dygn 2-3 efter att den icke omblandade spannmålen närmast tilluftssidan (ca 0,4 m) kommit i jämvikt med torkluftens relativa fuktighet. I beräkningarna förutsattes kontinuerlig fläktning och omblandning av spannmålen under hela torkningsperioden. Vid den högsta panneffekten uppnåddes lagringsstabil vattenhalt efter 12-13 dygn, både enligt beräkningarna och i det verkliga fallet. Torkningstiden förlängdes med nästan 1,5 respektive 2,5 ggr när de två lägre effekterna användes. I samtliga fall ökade hygienindex till ca 1,1 innan lagringsstabil vattenhalt uppnåddes oavsett torkningstid, vilket indikerar att en begynnande mögelväxt inträffat i den först inlagda spannmålen (ca 200 ton). När inläggningstakten var jämn, ca 1 m per dygn, var spannmålen färdigtorkad efter samma tid men erhöll ett något lägre hygienindex (1,0). Effekten av tiden för luftad buffertlagring i väntan på varmluftstorkning på hygienindex redovisas också i diagrammet. Enligt dessa beräkningen uppnåddes hygienindex 1,0 efter ca 4 respektive 16 dygn vid 22 respektive 19 % vattenhalt under de temperaturförhållanden som rådde under skördeperioden detta år.



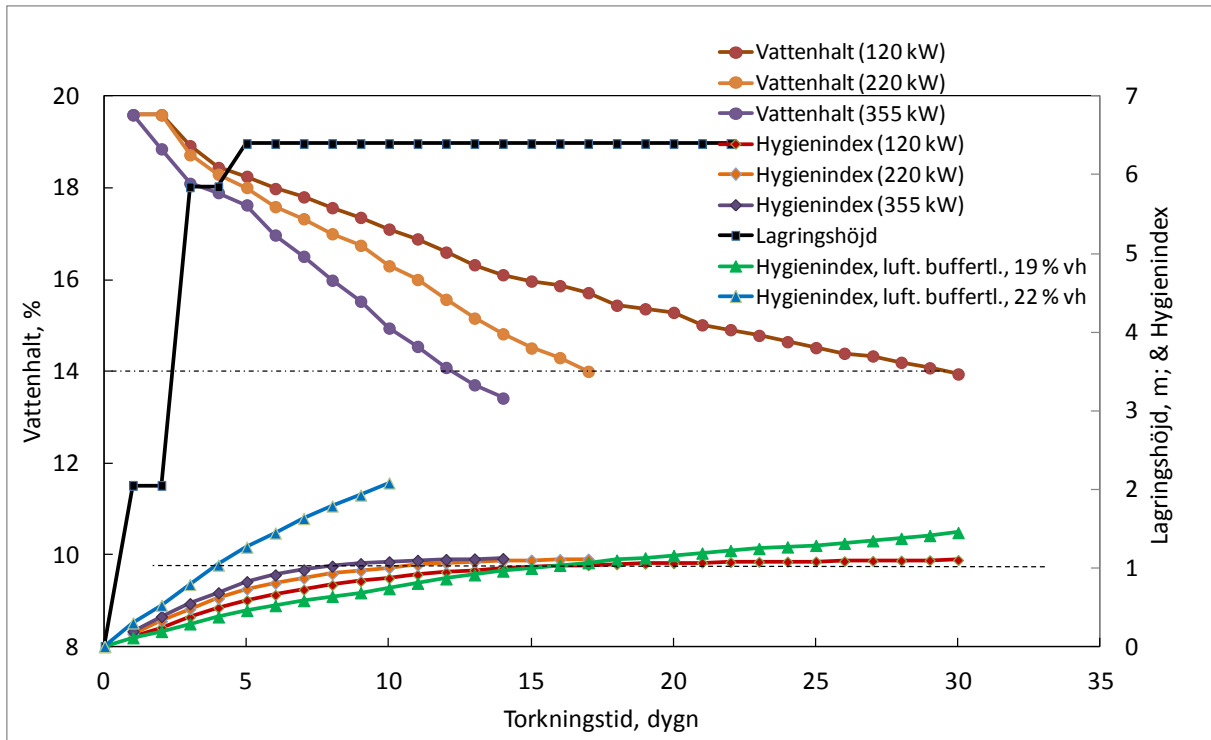


Bild 2. Beräknat torkningsförlopp samt förändring av hygienindex när olika panneffekter används vid silotorkning av spannmål. Inläggningstakt, skördevattenhalter, omgivningsluftens kvalitet samt den högsta panneffekten motsvarar de förhållanden som rådde när spannmålen torkades på Gård 1. Även hygienindex för luftad buffertlagrad spannmål i väntan på varmluftstorkning med 19 respektive 22 % vattenhalt redovisas.

## Torkningskostnader

I tabell 8 redovisas investeringsbehov och årskostnader per kg torkad spannmål för olika typer av torkar anpassade för olika odlingsarealer. Kostnaderna för varmluftstorkarna, vilka är hämtade från SLF-projektet ”Framtida grödval och spannmålshantering på mindre och medelstora lantbruksföretag” projekt nr V0746193, baseras på en uppräknig från 2009 till 2012 års prisnivå med hjälp av index för ekonomibyggnader (SCB).

Tabell 8. Investeringsbehov och årskostnader för silotorkanläggningar anpassade för olika gårdsstorlekar i jämförelse med två typer av varmluftstorkningsanläggningar med olika möjligheter till särskållning av spannmålspartier.

Torktyp	Silotork med omrörare			Enkel varmluftstork			Konventionell varmluftstork		
Areal, ha	100	300	500	100	300	500	100	300	500
Lagringsvolym, m <sup>3</sup>	610	1870	3260	620	1910	3400	640	2030	640
Antal fickor/silor	2	3	4	3	3	4	6	13	18
Investeringsbehov, miljoner kr	1,30	2,62	4,06	2,17	4,04	5,96	3,07	7,07	8,78
Årskostnad, kr/kg	0,39	0,28	0,26	0,50	0,35	0,31	0,60	0,47	0,39

Tabellen 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 anläggningsstorlek och färre och större silor. Investeringsbehovet för en silotork är ungefär hälften så stort som för en konventionell anläggning för varmluftstorkning med god särskållning när arealunderlaget är mellan 100 och 500 hektar. Skillnaden minskade dock till ca en tredjedel när en enklare varmluftstork utomhus med få och stora lagringssilor valdes. Dock var skillnaden i årskostnaden för torkning endast något högre med en enkel varmluftstork jämfört med en silotork vid 300 och 500 ha på grund av att varmluftstorken antas ha en något lägre energikostnad.



## Erfarenhetsinsamling

De viktigaste synpunkterna som kom fram vid insamlingen av lantbrukarnas erfarenheter av silotorkar kan sammanfattas enligt följande:

När en varmluftspanna används till två silor bör panneffekten vara hög för att inte fördröja inläggningen/torkningen i silo två. Vid övergång till ett biobränslebaserat uppvärmningssystem är det viktigt att fastställa att den nya pannan levererar den effekt som förordas av leverantören av torkanläggningen. Spannmålen bör torkas till 13 % för att undvika problem med lagringsstabiliteten hos spannmålen i silons centrum, vilken ofta kan ha ett par procent högre vattenhalt. Det har förekommit problem med omblandarskruvarnas hållfasthet, problem som dock verkar ha uppkommit i samband med felmonteringar. Slutligen verkar samtliga silofabriker ha haft problem med underdimensionering av silorna beträffande snölast. Innan införskaffande av en silotork är det därför viktigt att klargöra om den är godkänd av försäkringsbolaget, så att försäkringen gäller.

## Diskussion med slutsatser

Det förekom för höga lagringsvattenhalter med båda metoderna, men de negativa konsekvenserna av detta blev störst i silotorken. Troligtvis pga. en större spannmålsmassa och därmed en långsammare nedkylning om spannmålen inte luftades. Det förekom inga signifikanta skillnader mellan torkningsmetoderna när det gäller förekomst av mögelsvampar och metaboliter av fältsvampar. Totalhalterna av mögelsvampar översteg nästan genomgående SLV:s tidigare riktvärde på log 4,0 för livsmedelsspannmål, men endast i ett delprov (log 7,3) det gällande riktvärdet för foder på log 5,0 (SJVFS 2006:81). Totalhalterna var sannolikt höga redan vid skörden detta år på grund av fuktiga väderleksförhållanden med åtföljande riklig växt av fältsvampar. En ytlig förekomst av lagerskadesvampar var något vanligare hos den silotorkade spannmålen, vilket kan tyda på att en begynnande infektion var vanligare med denna metod. Lagerskadesvampsmetaboliten andrastin A (okänd toxicitet) och en låg halt av mykofenolsyra (immunförsvarsänkande) kunde påvisas i ett silotorkat spannmålsparti (Gård 1) när inläggningstakten hade varit hög. Dessa metaboliter, vilka bl.a. produceras av *P. roqueforte*, förekom även i det dåligt torkade partiet på Gård 6. Enligt beräkningarna av torkningsförloppet vid silotorkningen på Gård 1 passerades tidpunkten för maximal säker lagringstid innan spannmålen var färdigtorkad bl.a. beroende på en snabb inläggningstakt (Bild 2) och fuktig omgivningsluft. Nackdelen med en begynnande växt av lagerskadesflora i spannmålen är att den snabbt kan växa till om spannmålen senare i hanteringskedjan exponeras för fukt, exempelvis vid konditioneringen innan malningen. På Gård 5 hade man förtorkat spannmålen i en varmluftstork innan sluttorkning i silotorken, varför det inte gick att påvisa några lagerskadesvampar. Det förekom begynnande lagerskador av termotoleranta arter hos den varmluftstorkade spannmålen från Gård 3. Detta kan ha orsakats av för lång buffertlagring av den fuktiga spannmålen i väntan på torkning alternativt av fuktomlagring i dåligt kyld och/eller torkad spannmål. Till skillnad från en långsamtorkande metod som silotorkning möjliggör varmluftstorkning, rätt dimensionerad, en snabb sänkning av vattenhalten och därmed ett lågt hygienindex oavsett skördevattenhalt, vilket framgår av diagrammet i bild 2. Det silotorkade spannmålspartiet på Gård 6 avvek markant från övriga partier genom förekomst av kraftig mögelväxt och omfattande produktion av mögelgifter, framförallt i en s.k. ”hot spot” i silons centrum. Denna tillväxt orsakades sannolikt av att spannmålen var otillräckligt torkad i hela silon (16-17 % vattenhalt) pga. ett undermåligt värmeaggregat (halmeldat). Dessutom var vattenhalten sannolikt högre hos spannmålen i centrum av silon efter avslutad torkning pga. sämre luftgenomgång. Detta ledde till växt av mögelsvampar åtföljt av värmebildning och vattenomlagring, vilket ytterligare påskyndade mögelväxten och ledde till ökade vattenhalter (25 %) och växt av mer termotoleranta arter. Den översta spannmålen hade grott och utgjorde

en gräsmatta med en diameter av drygt 2 m. Floran dominerades här av bl.a. *A. fumigatus*, vilken är en opportunistisk patogen, som kan orsaka mer eller mindre obotliga lunginflammationer om den som exponeras har nedsatt immunförsvar. Dessa resultat visar att många mer eller mindre giftiga metaboliter, i detta fall över 60 olika, kan förekomma samtidigt i ett skadat parti och därmed ha stor inverkan på människor och djurs hälsa. Lantbrukaren var ovetande om lagerskadorna, varför den kraftigt mögelangripna och missfärgade spannmålen sannolikt hade blandats ut med övrigt spannmål i samband med leverans.

Resultaten av studien bekräftar erfarenheterna från tidigare studier att om silotorken är dimensionerad enligt leverantörens anvisningar bör ett bra konserveringsresultat kunna erhållas om full lagringshöjd nås genom en jämn inläggningstakt efter ca 6 dygn, spannmålens genomsnittliga skördevattenhalt inte överstiger 20 % och att varan torkas kontinuerlig till lagringsstabil vattenhalt åtföljt av kylning. Vid högre inlagringsvattenhalter bör spannmålen torkas med högre specifika luftmängder genom långsammare inläggningstakt och/eller vid lägre lagringshöjder.

Sammanfattande rekommendationer:

- För att undvika skador på lagrad spannmål är det viktigt att ansvariga personer har nödvändiga kunskaper om hur spannmålen omhändertas, lagras och övervakas på ett bra sätt.
- Övergång till bibränsleeldade uppvärmningssystem får inte innebära en markant sänkning av pannans effekt, vilket annars kan riskera spannmålens foder- och livsmedelssäkerhet.
- Även om analyser av ett enstaka mykotoxin visar på låga halter i ett spannmålsparti bör detta användas med försiktighet då det kan förekomma många andra mögelgifter samtidigt.
- Det bör klargöras hur kraftigt kontaminerad spannmål omhändertas riskfritt och till en rimlig kostnad.

Behov av framtida studier:

- System för övervakning av lagringsstabiliteten hos silotorkad spannmål bör utvecklas.
- Beräkningarna av torkningsförloppet med verkliga meteorologiska data visar att omgivningens luftkvalitet har stor betydelse för torkens kapacitet. Studier behöver därför göras av silotorksmetodens potential i olika svenska odlingsområden baserade på historiska väderleksdata. Simuleringsmodellens tillförlitlighet behöver också valideras med verkliga data insamlade under väl kontrollerade förhållanden i samband med torkningsperioden.

## Referenser

- ASAE S352.1 (1983). Moisture measurement – grain and seeds. In: Agricultural Engineers Yearbook of Standards, p 328
- Brooker, D.B, Bakker-Arkema, F.W. and Hall, C.W. (1992). Drying and storage of grains and oilseeds. An avi Book, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Folkesson, 2012. Kent Folkesson, AgroConsult & JLAGriparts, muntlig information.
- SMHI. (2012). Dataserier 1961-2011. URL: <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/dataserier-2.1102>
- Westlin H., 2004. Utvärdering av ett silotorksystem för spannmål utrustat med omrörare. Examensarbete 2004:05. SLU Institutionen för biometri och teknik.
- Westlin H., Lundin G., Anderson C. & Andersson H. 2006. Samverkan vid skörd, torkning och lagring av spannmål. JTI rapport Nr 345
- Vishwanath V., Sulyok M., Labuda R., Bicker W. & Krska R., 2009. Simultaneous determination of 186 fungal and bacterial metabolites in indoor matrices by liquid chromatography/tandem mass spectrometry. Anal. Bioanal. Chem 395:1355-1372.