



Fjärrtransport och distanslagring av kyld spannmål. SLF H0940298

Gunnar Lundin

Innehåll

Bakgrund.....	1
Mål	2
Material och metoder	2
Resultat.....	4
Diskussion.....	8
Slutsatser	10
Referenser	10
Publikationer och övrig resultatförmedling till näringen	10

Bakgrund

En möjlig väg att reducera energibehovet i spannmålsproduktionen är att ersätta en del av torkningen med artificiell kylning. Vanligen kyls spannmålen härvid till ”kylskåpstemperatur” eller något däröver (8 – 13 °C). Om spannmålen exempelvis långtidslagras under kyla vid 16,5 % vattenhalt i stället för att varmluftstorkas till 14 % kan cirka 40 kWh per ton sparas. Metoden bygger på att utvecklingen av mikroorganismer och insekter sker långsammare eller förhindras vid lägre temperaturer samt att spannmålskärnans egen andning samtidigt minskar.

För att åstadkomma temperatursänkning av spannmålen används aggregat uppbyggda enligt samma principer som konventionella kylskåp/värmepumpar, Figur 1. På grund av investeringens omfattning är kylagringen storskalig till sin natur och återfinns sålunda i första hand på spannmålsmottagningar och foderfabriker. Svenska Lantmännen har under ett antal år använt metoden för konservering av mellan 20 000 och 25 000 ton fodervete per säsong (Ek, 2009 pers. medd.). Förutom energimässiga och driftsekonomiska fördelar ger kylningen även ett foder med jämnare vattenhalt, bättre smaklighet och mindre damningsbenägenhet

Kylningen innebär i sig inga inskränkningar i spannmålens fortsatta användbarhet. En begränsning med metoden är dock att den kylda spannmålen utgör en ”färsvara” i så motto att den efter hand värms upp bl.a. genom överföring av värme från omgivningen. Av särskilt intresse är hur snabbt denna temperaturstegring sker i samband med förflyttningar. Om temperaturen ökar väsentligt vid transporter kan ju spannmålen därefter endast lagras under korta perioder, alternativt måste även slutanvändarens lagringsutrymmen förses med kylmöjligheter. I båda fallen medför detta ökade kostnader för spannmålens hantering.

Erfarenheterna beträffande den nedkylda spannmålens temperaturstabilitet vid förflyttning är begränsade. Beträffande Lantmännen hanteras idag kylagrad foderspannmål endast i interna transporter där spannmålslager och foderfabrik ligger i nära anslutning till varandra.



Figur 1. Vid kylagring blåses artificiellt kyld luft genom spannmålen. För att åstadkomma temperatursänkningen används aggregat uppbyggda enligt samma principer som konventionella kylskåp/värmepumpar. I den föreliggande undersökningen användes kylmaskinen TGC Tornum Grain Cooler (högra bilden). Illustration och foto: Tornum AB.

Den ur många aspekter fördelaktiga kylagringensmetoden skulle kunna få utökad tillämpning (exempelvis spannmål till etanol) om den kylda, fuktiga spannmålen kunde fjärrtransporteras och därefter lagras på nytt utan ytterligare nedkylning. Det är därför angeläget att utreda i vilken mån sådan hantering kan ske utan att den hygieniska kvaliteten äventyras.

Mål

Undersökningen syftade till att bestämma i vilken mån kyld spannmåls egenskaper påverkas av fjärrtransport och distanslagring. Detta för att möjliggöra utökad användning av kylagrad spannmål, dels i befintliga dels i helt nya tillämpningar.

Material och metoder

Under lagringssäsongen 2010/2011 följdes ett parti av höstveten från det att spannmålen kylts vid Lantmännens anläggning i Lidköping, under lastbilstransporten till Falkenberg samt under den fortsatta lagringen vid Lantmännens anläggning på denna ort. Spannmålets initialvattenhalt låg inom intervallet 16,3-16,7 %. Under hela hanteringskedjan registrerades förändringar i den kylda spannmålets temperatur, fuktighetsförhållanden och hygieniska kvalitet.

Nedkylning. Första steget i hanteringskedjan var att vid spannmålsanläggningen i Lidköping selektera vete med lämpliga vattenhalter för kylagring. Den spannmål som användes i försöket var skördat runt den 20 augusti. Innan den kyldes låg vattenhalten inom intervallet 16,3-16,7 %. Spannmål som vid leverans till anläggningen hade vattenhalter inom detta intervall togs direkt till kylsilon medan andra partier först torkades till den önskvärda nivån. Den utvalda spannmålen kyldes därefter till en temperatur understigande $+14^{\circ}\text{C}$, enligt anläggningens normala rutiner.

Fjärrtransport. Lastbilstransporten Lidköping - Falkenberg genomfördes den 21 september. Sammanlagt cirka 120 ton vete förflyttades med tre lastbils ekipage. Transportavståndet uppgick till 23 mil.

På en av ekipagens släpvagnar registrerades temperatur och relativ luftfuktighet (RH) var femte minut med hjälp av givare kopplade till dataloggrar i ett vertikalt tvärsnitt av lasten. Tre av givarna placerades 1 dm under spannmålens yta, tre placerades halvvägs ner i lasten. I sidled placerades givarna dels i ekipagets centrumlinje dels 1 dm innanför ekipagets sidolämmar. Vidare placerades en givare i utrymmet ovanför spannmålen, under kapellet. För att mäta utomhusluftens temperatur och RH applicerades en givare i det fria vid släpvagnens framstam, Figur 2.



Figur 2.

Vänstra bilden: I en av släpvagnarna monterades givare för temperatur och relativ luftfuktighet på fyra tråkäppar. Sex givare placerades nere i spannmålen och en givare (närmast kameran) i utrymmet mellan spannmål och presenningskapell. Foto: Gunnar Lundin.

Högra bilden: Utomhusluftens temperatur och RH mättes med en givare placerad vid släpvagnens framstam. Foto: Stefan Ljungsberg.

Lagring. I Falkenberg inlades spannmålen i betongsilor. Huvuddelen av partiet, cirka 95 ton, placerades i en ”halv stjärnsilo”, d.v.s. i ett lagringsutrymme beläget mellan 2 runda silor samt två utlastningsfickor. Placeringen innebar att ingen av försökssilons väggar var direkt exponerad mot omgivningen. Lagringshöjden uppgick till cirka 30 meter. Ingen luftning eller kylning av spannmålen i försökssilon ägde rum under lagringsperioden.

På motsvarande sätt som i lastbilekipaget registrerades temperatur och relativ luftfuktighet med hjälp av givare i spannmålens övre skikt (0-1 meter). Här skedde avläsningarna dock med lägre frekvens, varannan timme. Tre av givarna placerades 1 dm under spannmålens yta, tre placerades cirka 1 meter ned i spannmålen. I sidled fördelades givarna över försökssilons tvärsnitt. Vidare placerades en givare ovanför spannmålens yta, Figur 3. Data över utomhusluften hämtades från den meteorologiska stationen i Hanarp, cirka en mil söder om Falkenberg. Dessutom utnyttjades försökssilons stationära temperaturmätningssystem som hade sammanlagt nio mätpunkter med inbördes avstånd om fyra meter fördelade över silons höjd.



Figur 3. I försökssilon monterades givare för temperatur och relativ luftfuktighet på tre stycken träkäppar. Sex givare placerades i det övre spannmålsskiktet (0-1 meter) och en givare strax ovanför.

I bildens förgrund syns den käpp med givare som mäter i silons "Centrum". I bakgrunden kan skönjas den käpp med givare som mäter i silons ena "Sida". Ungefärliga avstånd till närmaste vägg var 0,5 respektive 0,1 meter.

Tillhörande dataloggrar upphängdes i samma fästpunkt som silons ordinarie mätlina för spannmålstemperaturer (den tjocka, mörka kabeln i bakgrunden).

Foto: Gunnar Lundin.

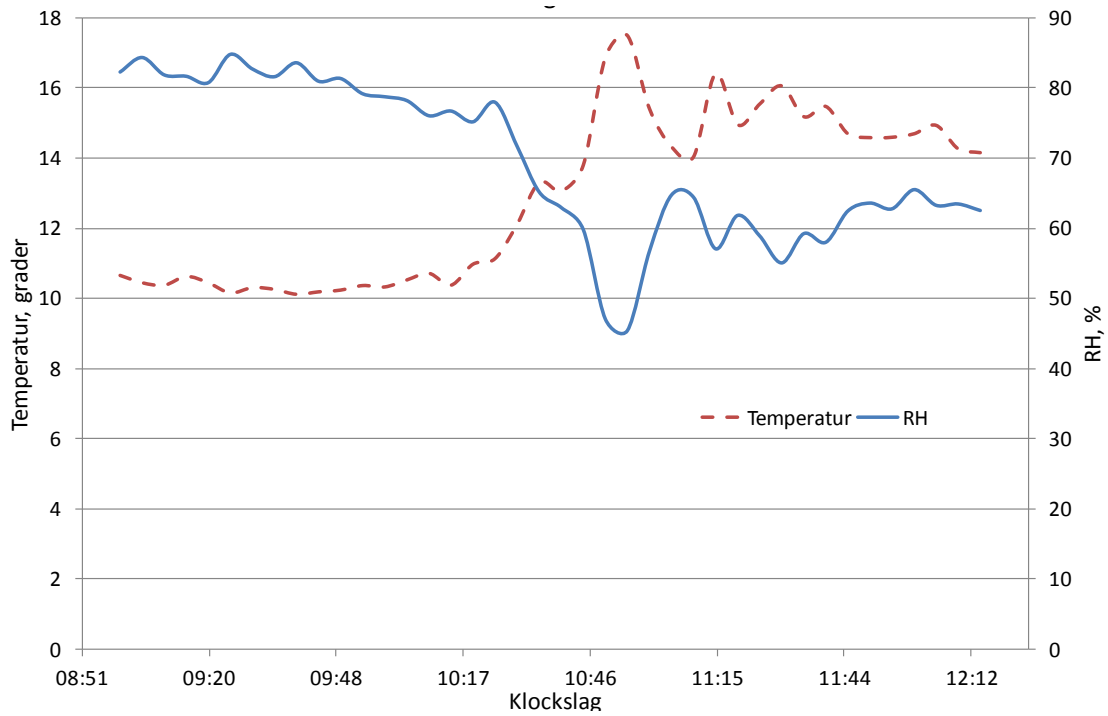
För mätningarna av temperatur och RH användes dataloggrar, modell HygroLog NT3, och tillhörande programvara HW4-E (Rotronic AG, Bassersdorf, Switzerland, 2012). Till dataloggern anslöts en givare för temperatur och RH, Hygroclip HC2-S (Rotronic Hygromer IN-1, Pt100 1/3 DIN klass B) angiven mätnoggrannhet vid 23°C för givaren är $\pm 0,8\%$ RH och $\pm 0,1$ °C.

Spannmålens kvalitet. Prover för analys av spannmålens egenskaper uttogs i samband med fjärrtransporten, under pågående lagring samt vid försökets avslutande den 15 mars 2011 d.v.s. efter cirka ett halvt års lagring. Analyserna omfattade bl.a. vattenhalt, ergosterolvärde och svampflora. Enstaka analyser gjordes även avseende Fusariumtoxiner.

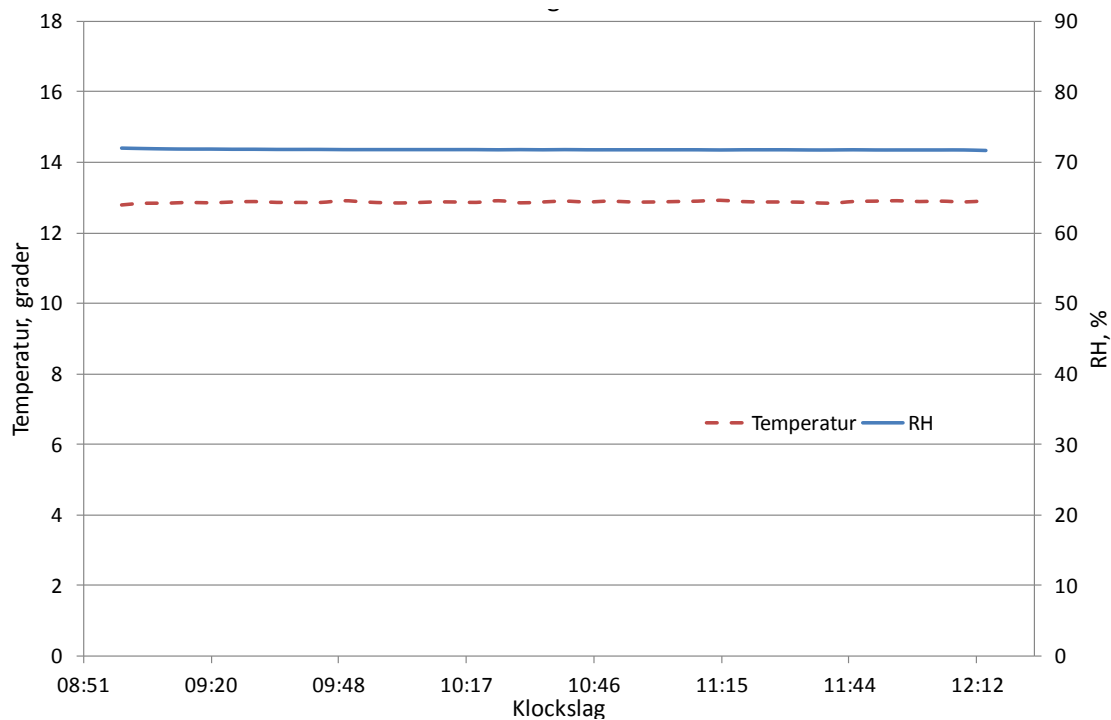
Resultat

Fjärrtransport. Resultat från mätningarna av temperatur och relativ luftfuktighet under fjärrtransporten redovisas dels för utomhusluften dels för en av de ytliga mätpunkterna i spannmålen, Figur 4 och Figur 5.

Som framgår av Figur 4 noterades stora variationer i utomhusluften, temperaturen pendlade mellan 10,1 och 17,5 grader. Temperaturen i spannmålen visade sig däremot vara synnerligen stabil. Det förlopp som redovisas i Figur 5 återfanns nämligen i stort i samtliga av spannmålens mätpunkter. Den genomsnittliga temperaturstegringen för alla dessa mätpunkter uppgick till 0,05 grader. Även den relativa luftfuktigheten i spannmålen var genomgående jämn under transporten och med en genomsnittlig reducering med 0,25 procentenheter.

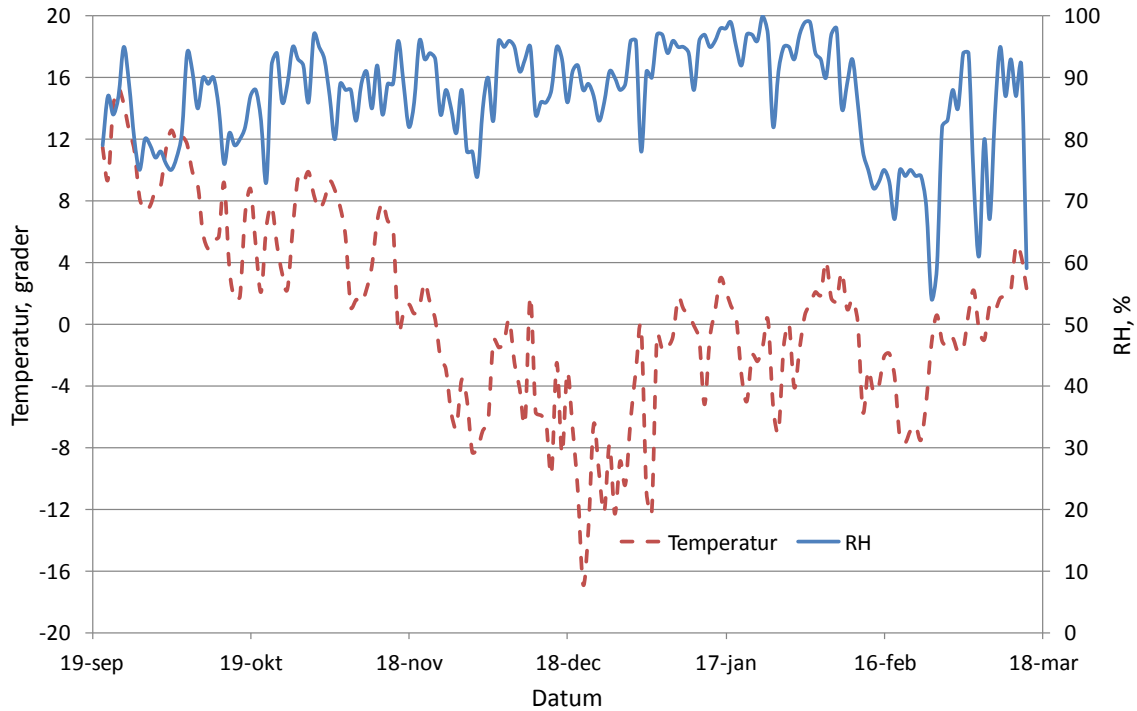


Figur 4. Temperatur och relativ luftfuktighet i utomhusluften under transport.

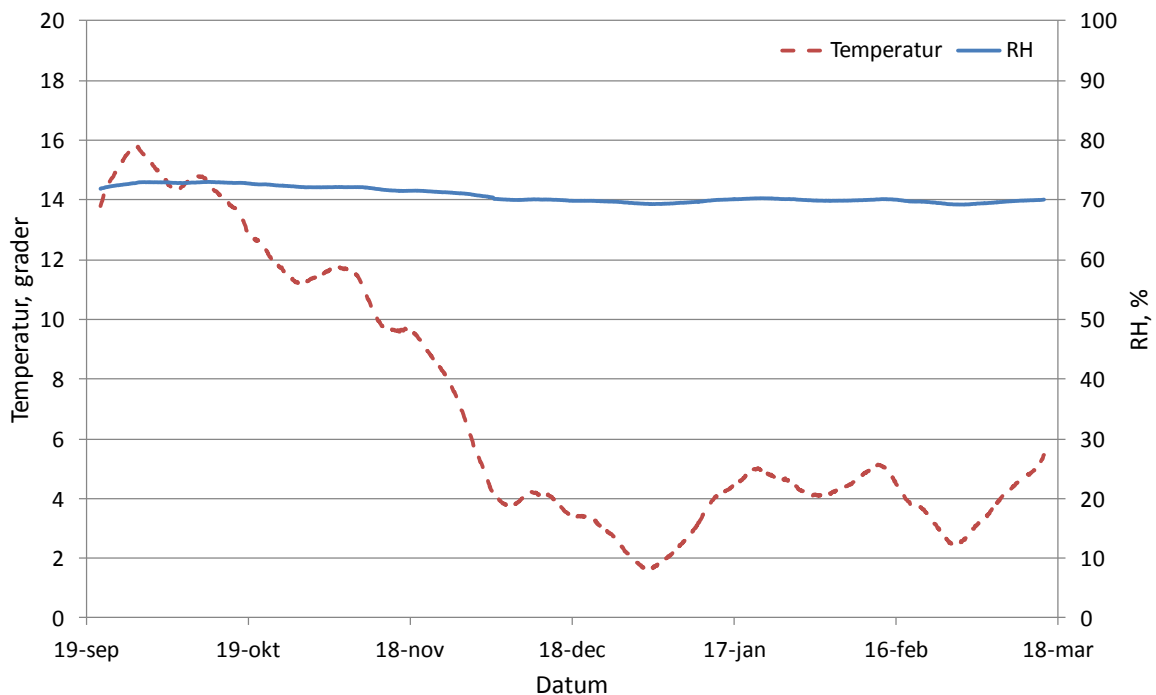


Figur 5. Temperatur och relativ luftfuktighet 1 dm under spannmålets yta och 1 dm innanför släpvagnens sidoläm.

Lagring. Resultat från mätningarna under lagringen redovisas dels för utomhusluften dels för en av de ytliga mätpunkterna i spannmålen, Figur 6 och Figur 7.



Figur 6. Temperatur och relativ luftfuktighet för utomhusluften. Dygnsmedelvärden från den meteorologiska stationen i Hanarp. Efter Lantmet vid SLU / Fältforsk 2013 (www.ffe.slu.se, 2013).



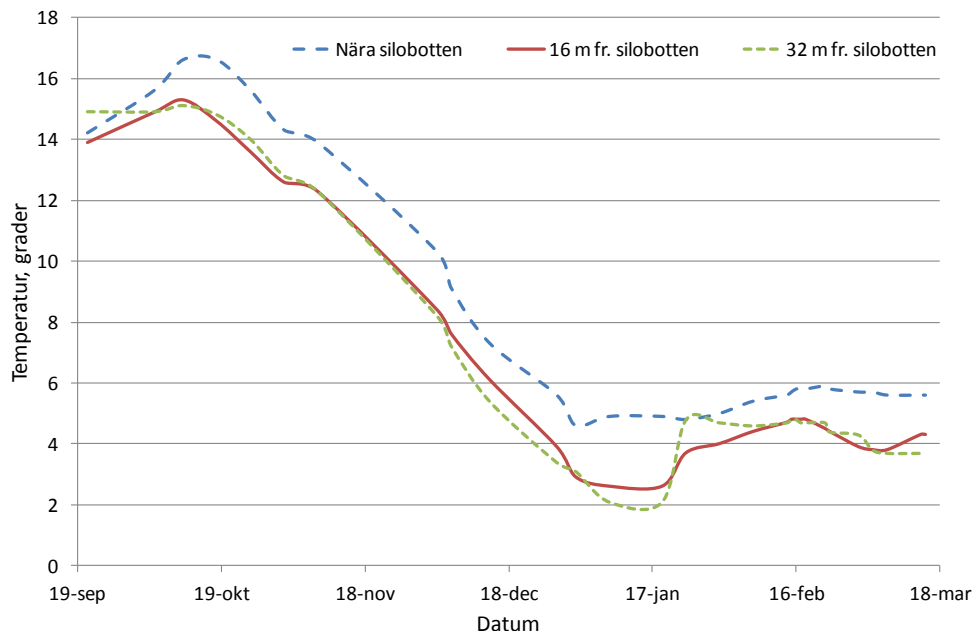
Figur 7. Temperatur och relativ luftfuktighet vid silons västra sida, 1 dm ner i spannmålen.

Jämfört med diagrammet i Figur 7 uppvisade övriga mätpunkter i spannmålets övre skikt likartad utveckling. I stort följde temperaturen samma mönster som utomhustemperaturen men med ett väsentligt jämnare förlopp. Vidare noterades för dessa mätpunkter en eftersläpning i förhållande till variationerna i utomhustemperatur som i slutet av december uppgick till tio dygn.

Den genomsnittliga temperaturen i spannmålets övre skikt var initialt 13,8 grader. Under den första veckan steg temperaturen ett par grader varefter den efter hand sjönk och nådde sitt minimum om cirka +2 grader vid årsskiftet 2010/2011. Därefter steg temperaturen successivt för att vid lagringens avslutande nå en genomsnittlig temperatur om 5,5 grader. Sammantaget innebar lagringen således en nettosänkning av temperaturen i spannmålets övre skikt om $13,8 - 5,5 = 8,3$ grader.

Den relativa luftfuktigheten visade sig vara stabil vid mätpunkterna i spannmålets övre skikt även om vissa förändringar kunde noteras. Under de första 1-3 veckorna steg RH med någon procentenhet. Därefter sjönk den relativa luftfuktigheten med i genomsnitt fyra procentenheter till månadsskiftet december-januari. Under den återstående lagringstiden steg RH ånyo, i genomsnitt med drygt en procentenhet. Sammantaget innebar lagringen en nettosänkning av den relativ luftfuktigheten i spannmålets övre skikt om $71,5 - 69,6 = 1,9$ procentenheter.

Temperaturutvecklingen uppmätt med det stationära mätsystemet hade ett likartat mönster som förloppet i spannmålets övre skikt. I Figur 8 redovisas utfallet för tre höjdnivåer. Utifrån genomsnittet för mätsystemets samtliga (nio) givare innebar lagringen en nettosänkning av temperaturen med 9,6 grader.



Figur 8. Spannmålstemperaturer enligt det stationära mätsystemet vid lägsta, mittre respektive högsta mätpunkten i försökssilon.

Spannmålets kvalitet. Analyserna av vattenhalt, proteinhalt och ergosterolvärde som utfördes i samband med fjärrtransporten den 21 september visade att den spannmål som användes i försöket var tämligen homogen. Vattenhalten uppgick i genomsnitt till 15,6 %, proteinhalten till 12,1 % och ergosterolhalten till 15,8 mg/kg ts.

Analyserna av svampflora vid samma tillfälle visade att i genomsnitt 25 % av spannmålskärnorna var endogent infekterade av *Fusarium spp.*

Mot slutet av lagringsperioden uttogs prover för analys av bl.a. Fusariumtoxiner (DON och ZEA). Resultatet återges i Tabell 1. I samband med lagringens avslutande uttogs prover för analys av spannmålets hygieniska kvalitet. Utfallet redovisas i Tabell 2.

Tabell 1. Resultat från analyser av spannmålsprover uttagna i spannmålens övre skikt den 7 mars 2011.

Prov, nr	Vattenhalt, %	Ergosterol, mg/kg ts	DON, ppb	ZEA, ppb
1	15,6	18,1	<100	<5
2	15,6	18,6	200	<5

Tabell 2. Svampflora vid lagringsperiodens slut. Total mängd kolonibildande enheter (tiopotens) samt endogen infektion av mögelsvampar. Prov nr 1-6 är uttagna i spannmålens övre skikt vid de punkter där temperatur och RH-givare varit placerade. Övriga prover uttogs i spannmålsflödet från tömningselevatorn.

Prov nr	Provpunkt i silo	Djup, m	Total mängd, log cfu/g	Endogent infekterade kärnor, %			
				Aspergillus spp	Alternaria spp	Fusarium spp	Penicillium spp
1	Sida (väster)	0-0,15	3,2	16	8	0	0
2	Sida (väster)	1	3,2	2	12	0	2
3	Centrum	0-0,15	3,2	2	16	25	0
4	Centrum	1	<2,0	0	10	5	2
5	Sida (öster)	0-0,15	2,6	2	8	10	0
6	Sida (öster)	1	2,2	2	6	0	0
7	Elevator		2,5	6	12	0	2
8	Elevator		3,1	2	16	0	0
9	Elevator		2,2	6	6	5	0
10	Elevator		2,7	6	4	0	0
11	Elevator		<2,0	6	18	5	0
12	Elevator		2,6	2	18	0	2
13	Elevator		2,5	0	10	0	4
14	Elevator		<2,0	0	10	0	4
15	Elevator		2,5	0	8	0	0
16	Elevator		<2,0	8	4	0	4

Diskussion

Nedkylning. Under den period då spannmålen kylades i Lidköping sjönk vattenhalten med cirka en procentenhet, vilket överensstämmer väl med Lantmännens tidigare erfarenheter (Ek pers. medd., 2011). Om försöksspannmålens initialtemperatur uppskattas till 25°C, d.v.s. att nedkylningen skedde med cirka 10 grader, var den uppnådda torkningseffekten något högre än vad som redovisats i litteraturen. Enligt Boser (1976) reduceras nämligen vattenhalten med 0,5-0,75 procentenheter per 10 graders nedkylning. Desto varmare och fuktigare spannmålen är desto större är torkningseffekten. Vid låga vattenhalter, under 14 %, anses dock torkning under normala kylningsförhållanden utesluten (Keiser, 1976).

Fjärtransport. Under den 23 mil långa transporten av kyld spannmål var såväl temperatur som relativ luftfuktighet mycket stabil i samtliga mätpunkter i spannmålen. Om man enbart jämför genomsnittliga värden, utomhus kontra spannmål, kan transporten sägas ha utförts under mycket gynnsamma förhållanden. Medelvärde för utomhusluftens temperatur var

nämligen nästan identiskt med spannmålens initialvärde. Beträffande RH var skillnaden mellan medelvärdet för utomhusluften och den initiala relativa luftfuktigheten i spannmålen endast 2,5 procentenheter.

Å andra sidan var utomhusluftens variationer kring angivna medelvärden betydande. Att spannmålens temperatur trots detta i stort sett var konstant kan tillskrivas spannmålens låga värmekonduktivitet (värmeeledningsförmåga). Väl nedkyld behåller spannmålen sin låga temperatur under lång tid om värme inte tillförs genom självventilation eller biologiska processer i spannmålen.

Att den relativa luftfuktigheten i spannmålen knappt ändrades under transporten hänger delvis ihop med den stabila och homogena temperaturen. Temperaturvariationer inom ett spannmålsparti medför nämligen att fukt flyttas från varmare till kallare delar.

Även om spannmålens temperaturstegring under fjärtransporten visade sig vara försumbar skedde en tydlig temperaturstegring, med cirka 1 grad, då spannmålen tippades i Falkenberg och förflyttades med elevator till lagringssilo. Temperaturstegringen vid inlagringen orsakades av kärnornas ökade exponering mot omgivningen samt av inre och yttre friktion

Lagring. Sammantaget minskade spannmålstemperaturen under lagringen med cirka nio grader. Den gynnsamma utvecklingen innebar att någon ytterligare nedkylning ej blev nödvändig. Detta stämmer väl överens med uppgifter från litteraturen där det anges att spannmål med aktuell vattenhalt kan lagras minst ett halvår utan efterkylning (Boser, 1976). Den jämna temperaturutvecklingen i spannmålen kan delvis tillskrivas att lagringen skedde i en silo utförd av betong. Det specifika värmets är nämligen högre för en sådan konstruktion än för en tunnväggig stålsilo. Vidare att ingen av silons väggar var direkt exponerad mot omgivningen.

Att förändringarna av den relativa fuktigheten i spannmålen blev så små tyder på att inträngningen av fuktig utomhusluft i silon varit mycket begränsad. De förändringar av RH som faktiskt uppstod visade sig ha positiv korrelation med temperaturen. Detta torde hänga samman med att jämviktsförhållandena mellan spannmål och omgivande luft är temperaturberoende.

Spannmålens kvalitet. Utförda analyser visade att andelen endogent infekterade kärnor med *Fusarium spp* var betydande redan då försöket inleddes. Analyser mot slutet av lagringsperioden avseende Fusariumtoxiner DON och ZEA visade dock på låga respektive ej detekterbara värden. Detta stämmer överens med tidigare studier då toxinbildning från *Fusarium spp* fordrar vattenhalter om minst 22 % (Jonsson, 2013 pers. medd.).

Vid samma analystillfälle noterades också en viss ökning av ergosterolvärdet jämfört med vad som uppmättes vid fjärtransporten. Analysvärdena höll sig dock i samtliga fall under 20 mg/kg ts, den övre gräns som Lantmännen tidigare tillämpade för att inte klassa ner brödvete till fodervete (Börjesson, 2013 pers. medd.).

Vid de analyser som utfördes vid lagringsperiodens slut noterades bl.a. att den totala mängden kolonibildande enheter per gram spannmål som mest uppgick till log 3,2. Detta är väsentligt lägre än det hygieniska riktvärdet för mögel i foder, log 5 (SJVFS 2009:53). Det uppnådda resultatet uppfyller även fordringarna för humankonsumtion. Maximala antalet kolonibildande enheter per gram spannmål brukar vid användning till livsmedel nämligen anges till log 4,7 (Börjesson, 2013).

Beträffande endogena infektion av lagerskadesvampar (*Aspergillus spp* och *Penicillium spp*) är gränserna för foderspannmål maximalt 35 % (SJVFS 2009:53). Som högst uppmättes endogen infektion av dessa svampar i 16 respektive 4 % av spannmålskärnorna.

Utförda analyser visade att spannmålen efter avslutad lagring höll livsmedelskvalitet. Det goda utfallet är inte förvånande. Initialvattenhalten (16,3-16,7 %) kan i kyllagrings-sammanhang betraktas som rimliga i synnerhet när partiet var så homogent i detta avseende. Fuktighetsförhållandena i partiet visade sig dessutom vara stabila vilket minskade riskerna för uppkomst av s.k. ”hot spots”. Till den resulterande spannmålskvaliteten bidrog naturligtvis den gynnsamma temperaturutvecklingen i partiet under lagringen.

Slutsatser

Sammantaget visade undersökningen att det under rådande förutsättningar fungerade väl att fjärrtransportera kyld spannmål och att därefter mellanlagra densamma i väntan på processning utan att äventyra kvaliteten. Detta intryck förstärktes av att lagringen på distans kunde fortlöpa utan problem under ett halvår i stället för, som ursprungligen planerat, upp till tre månader.

Undersökningen har sålunda visat att kyld spannmål kan användas för processning även på orter där inte kylmaskiner finns till hands. Exempel på sådana tillämpningar är foder och olika former av alkohol, såsom teknisk sprit och fordonsbränsle. Detta inkluderar användningsområden där livsmedelskvalitet erfordras. I åtanke bör dock hållas att undersökningen genomfördes under gynnsamma förhållanden som:

- Homogen och erfarenhetsmässigt korrekt vattenhalt.
- Måttlig temperaturlastning under fjärrtransporten.
- Tjockväggig lagringsbehållare utan direkt exponering mot omgivningen.

Inför utökad användning av kyld spannmål skulle det därför vara av intresse med undersökningar där gränserna tänjdes för någon eller några av ovanstående parametrar.

Referenser

Litteratur och webbsidor

Boser F., 1976. Kühlkonservierung von Getride. Mühle 113:34, s 467-468.
 Keiser H.v., 1976. Erfahrungen bei Kühlung und Silierung von Getreide. Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft. Kartei für Rationalisierung 4.3.11, sid 595-600.
 SJVFS 2009:53. Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd om foder.
 www.ffe.slu.se, 2013. FältForsk, SLU.

Personliga meddelanden

Börjesson Thomas, 2013. Svenska Lantmännen.
 Ek Bo, 2009 respektive 2011. Svenska Lantmännen.
 Jonsson, Nils 2013. JTI – Institutet för Jordbruks- och Miljöteknik.

Publikationer och övrig resultatförmedling till näringen

Jordbruksaktuellt nr 15, 12 september 2012: Kyld spannmål håller temperaturen även vid längre transport.

www.maskinbladet.dk: Køligt korn holder længre.