

Lönsamhet i skörde- och odlingssystem för spannmål vid varierande väderlek och ökande nederbörd

1. Bakgrund

Skörden är vid sidan av torkning den dyraste operationen i spannmålsodlingen, och när grödan är färdig för skörd har redan stora insatser gjorts; förutom alla maskinoperationer även gödsling och växtskydd. Det är därför viktigt att skörden kan genomföras med ett så bra resultat som möjligt. Under skördesäsongen är medelnederbörden i Sverige omkring 60 mm per månad och andelen regniga dagar är i genomsnitt cirka en tredjedel i södra och mellersta delarna av landet men den årliga variationen är stor.

Varierande väder medför att tillgänglig tid för spannmålsskörd varierar från dag till dag och med det optimala kapacitet för att genomföra skörden. Att bestämma optimal maskinkapacitet är ett komplext problem som inkluderar variabler som arealen som ska tröskas, daglig maskinkapacitet, tillgänglig trösktid, spannmålens vattenhalt, torkkapacitet, osv. Tillgänglig trösktid är den faktor som är svårast att bestämma eftersom den är nära kopplad till spannmålens vattenhalt i fält, som i sin tur är starkt beroende av vädret efter tidpunkten för fullmognad.

Syftet med detta projekt var att utforma optimala skördesystem vid varierande väderlek. Olika skördesystem utvärderades med historisk väderdata under 20-30 år med avseende på gårdsstorlek, maximal skördevattenhalt, skörde- och torkningskapacitet, prisnivå på spannmål samt grödornas mognadstid för att kunna få fram de mest lönsamma kombinationerna av dessa faktorer.

Projektet mynnade ut i tumregler och råd för utformning av optimala skördesystem vid varierande väderlek.

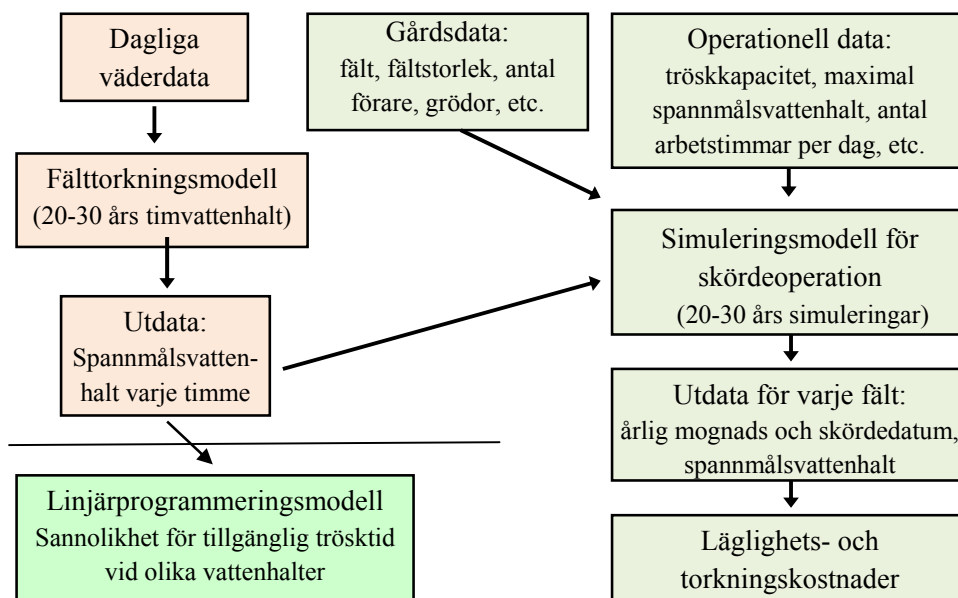
2. Material och metoder

2.1. Översikt

Projektet genomfördes i följande steg:

- Fältförsök utfördes i Linköping och Uppsala under skörden 2009 med syfte att samla in data om vattenhalter hos mogen spannmål i fält samt att relatera dessa till klimatdata.
- Insamlad data användes för att utveckla och validera en fälttorkningsmodell för att uppskatta spannmålens vattenhalt i fält på timbasis. Modellen anpassades till fältdata från Uppsala och validerades med fältdata från Linköping.
- Med hjälp av väderdata från SMHI för Malmö, Linköping och Stockholm användes fälttorkningsmodellen för att uppskatta vattenhalterna i moget korn och höstvetete under 20 till 30 år. Därefter uppskattades genomsnittliga sannolikheter för tillgänglig trösktid vid olika maximala vattenhalt för skörd i Skåne, Östergötland och Uppland.

- De uppskattade vattenhalterna och sannolikheten för tillgänglig trösktid användes sedan för att beräkna kostnader och kapaciteter för skörd och torkning för typgårdar i Skåne, Östergötland och Uppland med olika skördesystem. Beräkningarna gjordes med två modeller, en simuleringsmodell baserad på händelsestyrd simulering som kunde simulera skördeoperation på en gård timme för timme under många skördesäsonger (Figur 1) och en optimeringsmodell baserad på linjärprogrammering (Gunnarsson & Hansson, 2004). Effekten på kostnader och kapaciteter undersöktes också för framtida förändrat väder.
- Resultaten sammanställdes och råd som kan hjälpa lantbrukaren vid val av skördesystem utarbetades.



Figur 1. Flödesschema över hur läglighets- och torkningskostnaderna beräknades i simuleringsmodellen.

2.2. Beräkning av kostnader och kapacitet för tröskning och torkning

Beräkningar av skörde- och torkningskostnader samt optimal torkkapacitet gjordes för typgårdar med variation i följande parametrar:

- spannmålsareal (100, 300 och 600 ha)
- tröskstorlek (2,4- 10,5 m skärvidd)
- maximal skördevattenhalt (16- 24 %)
- prisnivå på spannmål; “normal” och “hög” (exv. för vete 1,14 respektive 1,76 kr/kg)
- torkkapacitet (obegränsad med Lantmännens torkningstaxor samt egen torkningsanläggning med begränsad kapacitet)
- väder; historisk väderdata (20- 30 år) samt förändrat väder med högre nederbörd (5- 8 %) och temperatur (1,5- 2 °C).

Typgårdarna var belägna i Skåne, Östergötland och Uppland. Gårdarnas grödor och deras arealfördelning var typiska för respektive områden.

2.3. Maskin- och arbetskostnader

Arbets- och maskinkostnaderna för skördetröskningen beräknades enligt ASABE (2006a) och inkluderade värdeminskning, ränta, reparationer och underhåll, bränsle, förvaring, skatt och försäkring samt arbete. Värdeminskningen var baserad på återanskaffningsvärdet (Maskinkalkylgruppen, 2010) och gjordes med rak avskrivning, dvs. samma värde per år, med ett restvärde mellan 10 till 40 % beroende på årlig användning, vid lågt utnyttjande ökade restvärdet. ASABE:s (2006b) parameter för reparation och underhåll justerades efter årlig användning, vid lågt utnyttjande minskade det. Den reala räntan antogs vara 5 %, arbetskostnad 200 kr/h, arbetstid i fält 8 h/dag och bränslekostnad 7,5 kr/l. Övriga kostnader för odling samt maskinoperationer förutom tröskning inkluderades inte.

2.4. Ändrat väder

För att kunna studera skördeoperationen under nya väderförhållanden ändrades väderdata från Stockholm för åren 1980-2010 enligt SMHI:s prognos på följande sätt: daglig väderdata justerades genom att öka temperaturen med 2 °C och nederbörden med 5 % (2,5 % mer regniga dagar och 2,5 % mer intensiva regn), samtidigt som temperatur, relativ luftfuktighet och molnighet justerades enligt genomsnittliga värdena för regniga dagar eller nätter. På motsvarande sätt ändrades väderdata från Malmö med 1,5 °C ökad temperatur och 8 % ökad nederbörd (4 % mer regniga dagar och 4 % mer intensiva regn).

3. Resultat

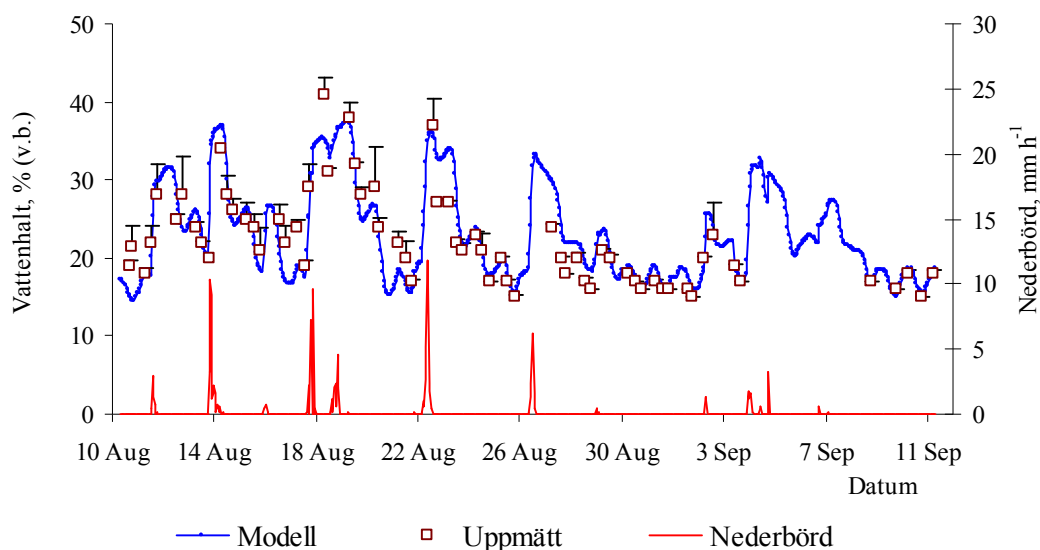
3.1. Fälttorkningsmodellen

Fälttorkningsmodellens ekvationer uppskattade förändringar i spannmålsvattenhalt från väderdata utifrån följande huvudprocesser; (1) torkning när relativa luftfuktigheten är lägre än spannmålskärnans jämviktswattenhalt, eller uppfuktning pga. (2) nederbörd, (3) dagg eller (4) när den relativa luftfuktigheten är högre än spannmålskärnans jämviktswattenhalt. De kalibrerades med hjälp av de vattenhalter som uppmättes på fält i Uppsala samt insamlad väderdata. Resultatet av kalibreringarna visas i figur 2 där simulerad spannmålsvattenhalt visas tillsammans med spannmålsvattenhalter uppmätta i fält. I figur 3 visas motsvarande resultat för fältexperimentet i Linköping, vilket användes för att validera modellen.

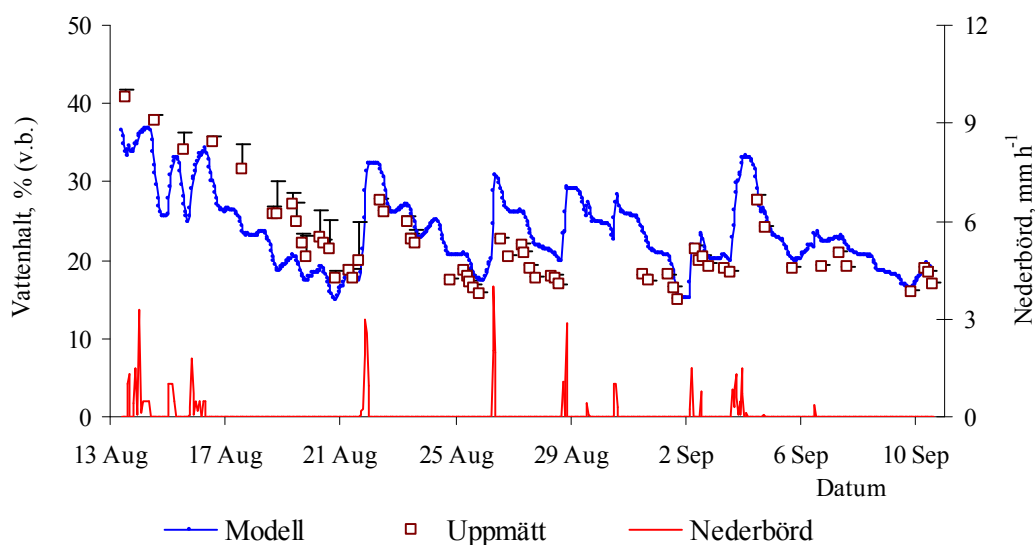
3.2. Tillgänglig trösktid

Fälttorkningsmodellen användes för att uppskatta sannolikheten för att tröskningen går att genomföra vid olika maximala skördevattenhalter med väderdata från 20-30 år. Figur 4 visar de uppskattade sannolikheterna för tillgänglig trösktid för höstvetete i Skåne, Östergötland och Uppland.

Tillgänglig trösktid ökade betydligt med högre maximal skördevattenhalt och minskade ju längre säsongen fortskred vilket visar att förutsättningarna för torkning i fält är sämre i exv. september, speciellt för lägre maximala skördevattenhalter. Den årliga variationen var stor, vilket framgår av standardavvikelsen (felstaplar).



Figur 2. Jämförelse av spannmålsvattenhalt (%) i vete från den 11 augusti till 11 september 2009 i Uppsala från simulering och från värden uppmätta i fält. Felstaplarna avser en standardavvikelse i mätningarna ($n = 3$). På sekundära axeln anges nederbörd. Värdena uppmätta i fält användes till att kalibrera fälttorkningsmodellen.

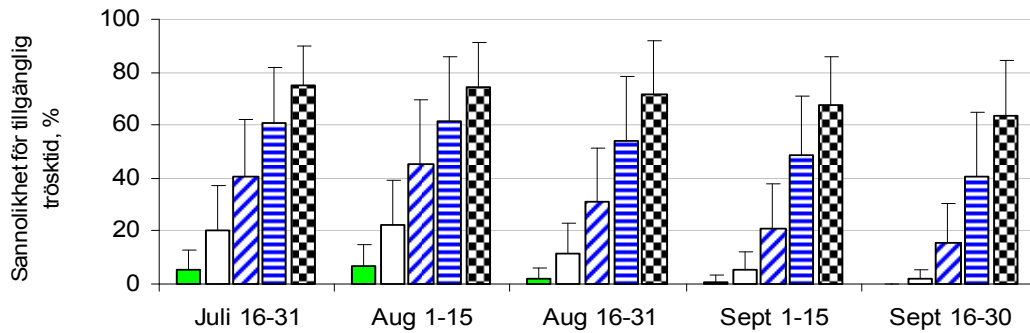


Figur 3. Jämförelse av spannmålsvattenhalt (%) i vete från den 14 augusti till 11 september 2009 i Linköping från simulering och från värden uppmätta i fält. Felstaplarna avser en standardavvikelse i mätningarna ($n = 3$). På sekundära axeln anges nederbörd. Värdena uppmätta i fält användes till att validera fälttorkningsmodellen.

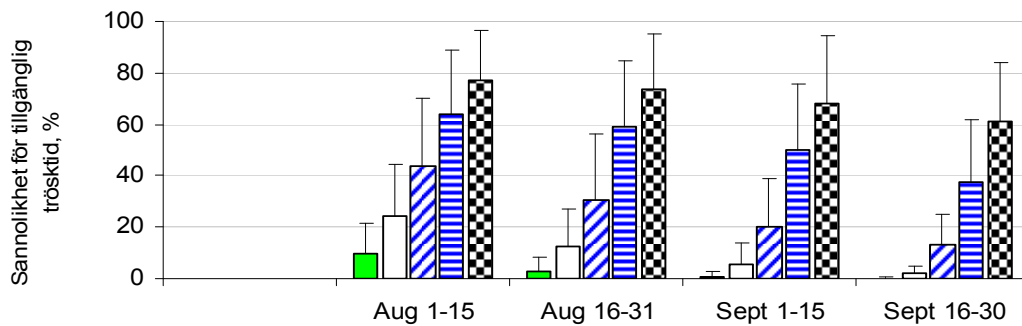
3.3. Skördekostnader och skördekapaciteter med simuleringsmodellen

Figur 5 visar en sammanställning av uppskattade kostnader i Skåne för gården med 300 ha och flera tröskstorlekar och maximala skördevattenhalter. Tabell 1 visar en sammanställning av de uppskattade kostnaderna för de mest lönsamma systemen i de tre områdena. Flera olika kombinationer av tröskstorlek och maximal skördevattenhalt resulterade i ungefär samma

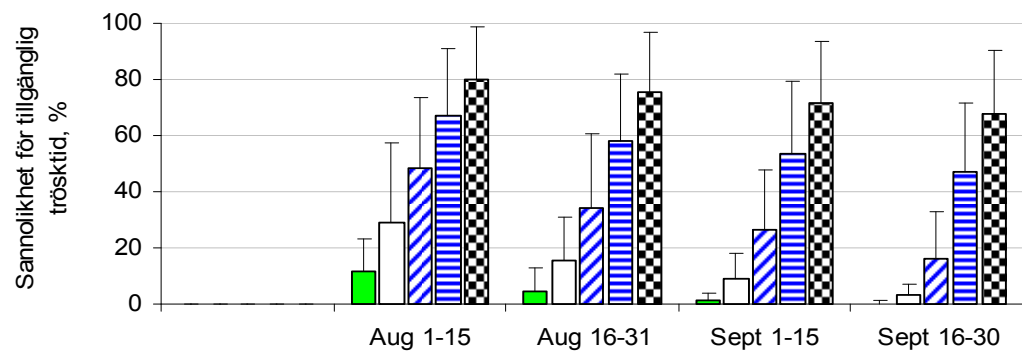
kostnader. De största kostnaderna var för maskiner och för torkning. Till en del kompenseras högre maskinkostnader för större tröskor av lägre arbets- och läglighetskostnader. De kostnader som varierade mest mellan åren var de med koppling till vädret: i första hand läglighetskostnaderna och i andra hand torkningskostnaderna.



(a) Skåne



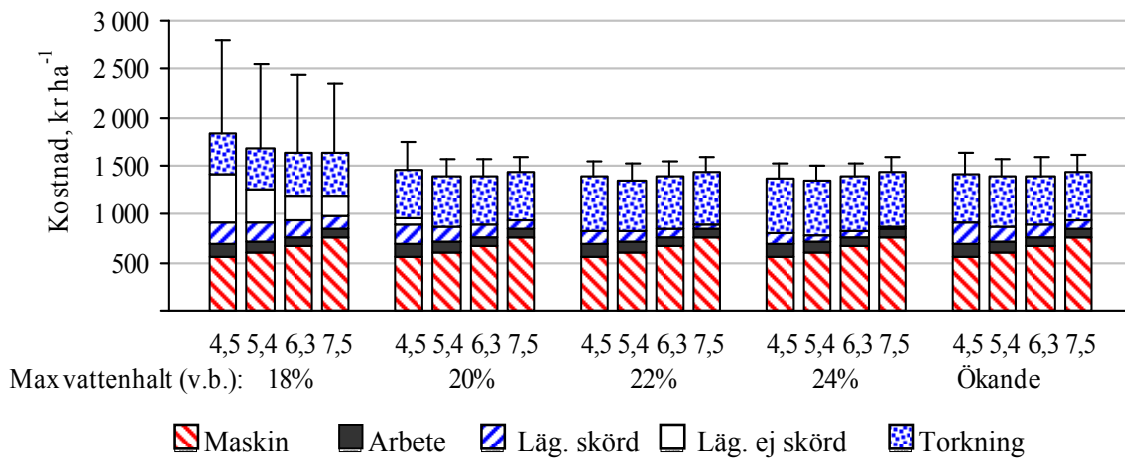
(b) Östergötland



(c) Uppland

Max skördevattnhalt (v.b.): ■ 14% 16% 18% 21% 24%

Figur 4. Uppskattning av sannolikheten för tillgänglig trösktid för höstveten vid varierande maximala skördevattnhalter för 2-veckorsperioder i (a) Skåne, (b) Östergötland och (c) Uppland. I fälttorkningsmodellen sattes spannmålsvattnhalten i början på varje 2-veckorsperiod till 2 % högre än den maximala skördevattnhalten. Felstaplarna visar en standardavvikelse ($n = 20-30$ år). Uppskattningen baserades på väderdata för Malmö 1990-2009, Linköping 1980-2001, 2005-2009 och Stockholm för perioden 1980-2009.



Figur 5. Uppskattningar av kostnader för maskin, arbete, läglighet och torkning för olika kombinationer av maximal skördevattenhalt och tröskstorlek vid skörd av 300 ha i Skåne baserat på simuleringar med väderdata för 20 år. Felstaplarna representerar en standardavvikelse för årlig läglighets- och torkningskostnad ($n=20$ år). Beteckningen "Ökande" refererar till strategin att öka maximal skördevattenhalt från 18 % i slutet av juli till 24 % i slutet av september och beteckningen "Läg. ej skörd" refererar till kostnader pga. otröskad areal.

Tabell 1. Genomsnittligt mest lönsamma skördestrategier för de olika typgårdarna enligt simuleringssmodellen.

Om- råde	Areal ha	Skär- vidd, m	Vattenhalt, %		Kostnader, kr/ha				
			Max ¹	Skördad ²	Maskin	Arbe- te	Lägli- ghet	Tork- ning	Sum- ma
Skåne	100	2,4	22	17,1	424	248	39	528	1239
	300	5,4	22	17,1	598	110	109	533	1351
	600	10,5	22	17,1	624	53	103	530	1310
Öster- götland	100	2,4	22	17,5	424	248	52	478	1202
	300	5,4	24	17,9	598	110	73	500	1280
	600	10,5	24	17,8	624	53	69	493	1239
Uppland	100	2,4	22	17,9	424	248	79	447	1198
	300	5,4	24	18,4	598	110	83	468	1259
	600	9,0	24	18,3	585	62	90	461	1197

¹ Maximal skördevattenhalt

² Genomsnittlig vattenhalt i skördad spannmål baserad på 20-30 års simulering med väderdata

3.4. Skördekostnader och skördekapaciteter med optimeringsmodellen

Tabell 2 visar en sammanställning av kostnader och optimaltröskstorlek för typgårdarna i Skåne, Östergötland och Uppland.

Tabell 2. Genomsnittligt mest lönsamma skördestrategier för de olika typgårdarna enligt optimeringsmodellen.

Typgård	Område	Areal, ha	Optimal skärvidd, m	Optimal max. vh vid skörd,%	Trösk -tid, h/år	Kostnader, kr/ha				
						Maskin	Arbete	Läglighet	Torkning	S:a
Skåne		100	2,4	21	99	431	238	106	616	1391
		300	3,0	24	238	330	190	229	669	1417
		600	6,3	24	212	482	85	199	669	1435
Östergötland		100	2,4	21	99	431	238	103	534	1306
		300	5,4	21	132	645	106	186	534	1471
		600	9,0	24	148	620	59	155	606	1440
Uppland		100	2,4	21	99	431	238	163	500	1332
		300	5,4	21	132	645	106	241	500	1491
		600	9,0	21	148	620	59	284	500	1463

3.5. Högre spannmålspris

Vid beräkningar av läglighetskostnaderna vid ett högre pris på spannmål (t.ex. 1,76 kr/kg i stället 1,14 kr/kg för vete) påverkades i första hand system med höga läglighetskostnader.

Konsekvenserna av det högre spannmålspriset var relativt små för de optimala tröskstorlekarna på grund av att dessa system hade låga läglighetskostnader jämfört med de andra kostnaderna.

3.6. Ändrat väder

Uppskattningar av sannolikheten för tillgänglig trösktid vid en framtida situation med högre nederbörd (+ 5-8%) och temperatur (+ 2 °C) gjordes med hjälp av fälttorkningsmodellen.

Resultatet visade att antal tillgängliga tröskdagar avvek mycket litet från de värden som beräknades med väderdata från 20-30 år tillbaka i tiden. Den högre temperaturen medförde att den potentiella evapotranspirationen ökade, vilket gjorde att den högre nederbördens inverkan på tillgänglig trösktid utjämnades jämfört med historiskt väder.

3.7. Kostnader vid egen torkanläggning

Beräkningar av alternativet att ha en egen varmlufttork istället för att basera beräkningarna på torkningsavgifter vid central torkning gjordes med simuleringsmodellen. Enligt dessa beräkningar var torkningskostnaderna betydligt högre med egen tork jämfört med torkningsavgifterna enligt Lantmännens taxa. För gården med 100 ha var torkningskostnaden ca 70 % högre, och ca 35 % högre för de större gårdarna (300 och 600 ha).

4. Diskussion

Tillgänglig trösktid påverkades mycket av maximal skördevattenhalt. Flera andra studier har kommit till samma resultat (Philips & O'Callaghan, 1974; Abawi, 1993; Sørensen, 2003; Nawi et al., 2010). Vid högre maximal skördevattenhalt är mer tid tillgänglig för tröskning samtidigt som en något högre torkningskostnad kan förväntas.

I denna studie uppskattades medelvattenhalten i den skördade spannmålen till 16-18 % beroende på vald maximal skördevattenhalt. Vid en låg maximal skördevattenhalt (18-20 %) var medelvattenhalten i skördad spannmål 16-17 % och vid högre maximal skördevattenhalt (22-24 %), var den 17-18 %.

För att hinna tröska all areal i stort sätt alla år var det nödvändigt att tröska vid en maximal skördevattenhalt av 22-24 %, särskilt för de större gårdarna (300 ha eller mer). Jämfört med en mindre tröska kan en större tröska vid skörd med låg maximal vattenhalt (t.ex. 18-20 %) medge lägre läglighetskostnader under själva tröskningen samt även lägre torknings- och arbetskostnader. Dock innebär den extra väntetiden för att spannmålen ska nå den lägre vattenhalten en risk för sämre väder som måste tas hänsyn till i form av läglighetskostnader under den extra väntetiden.

Läglighetskostnaden var den kostnad med störst årlig variation och den var nära kopplad till tillgänglig trösktid, vilken i sin tur var beroende av val av maximal skördevattenhalt. Att lantbrukaren inte vet hur vädret kommer att bli framåt medför att de måste välja att skörda med en högre maximal skördevattenhalt än vad som behövs under ett genomsnittligt år. Därmed säkerställer de att hela spannmålsarealen hinner sköras även under de år med sämre skördeförhållanden. Annars skulle kostnaden för fält som inte hinner sköras under regniga år väga upp alla eventuella besparingar i systemet.

Den största skillnaden mellan Skåne och Uppland/Östergötland var högre torkningskostnader i Skåne pga. högre avkastning. Den genomsnittliga vattenhalten för den skördade produkten samt torkningskostnaden i kr/kg var något lägre i Malmö.

System med låg skördekapacitet och höga läglighetskostnader hade större påverkan på optimal skördekapacitet när spannmålspriset ökar. Med en ökning av spannmålspriset med 100 % (t.ex. från 1,1 kr/kg till 2,2 kr/kg för vete) ökade den optimala tröskkapaciteten med ca 15 % (t.ex. för skörd av 300 ha ökar den optimala skärvidden på tröskan från 5,4 m till 6,3 m, eller uttryckt i daglig skördekapacitet från ca 5-6 % till 6-7 % av skördearealen).

Under skördeperioden förekommer vissa år perioder då antalet regniga dagar är många, vilket kan leda till betydande ekonomiska förluster. I denna studie definierades en regnig period för spannmålsskörden som en period på 15 dagar där antalet tillgängliga tröskdagar är mindre eller lika med 3 dagar (20 %). Analysen av 50 års väderdata visade att Skåne drabbas av regniga perioder under skördesäsongen nästan vartannat år, Östergötland var tredje år och Uppland vart sjätte år.

5. Råd till lantbrukaren

Följande råd utarbetades från modellering baserad på historiska väderdata:

- En maximal skördevattenhalt på 20-22 % och en tröska med maximalt 3,0 m skärvidd är den kombination som bör väljas för att minimera kostnaderna för en gård med ca 100 ha spannmålsareal. Detta innebär att skörden klaras på ca 80 timmar eller en daglig skördekapacitet på ca 10 % av totala spannmålsarealen.
- På större gårdar (300 ha och däröver) är 22-24% maximal skördevattenhalt och en daglig skördekapacitet på ca 6 % av totala spannmålsarealen (dvs. skörden klaras på ca 130 timmar) den kombination som bör väljas för att minimera kostnaderna.
- Strategin att gradvis öka den maximala skördevattenhalten från 18 % till 24 % ju längre skördesäsongen fortskrider är ett alternativ som ger kostnader jämförbara med de som fås vid skörd med fasta maximala skördevattenhalter.
- Att välja en något högre skördekapacitet än den optimala ger ungefär samma totala skördekostnader eftersom högre maskinkostnader vägs upp av lägre arbets- och läglighetskostnader. Dessutom minskar risken för kvalitetsförluster.
- Vid regniga perioder möjliggör en större tröska att mer areal kan skördas under dagar utan regn. Eftersom flera tröskstorlekar ger ungefär lika höga totala kostnader kan det i nederbördsrika områden vara motiverat att välja en något större tröska än den optimala. Detta gäller exempelvis för Skåne som oftare har regniga perioder under skördesäsongen än såväl Östergötland som Uppland. Att välja en högre skördekapacitet kan också motiveras av förväntningar om stigande spannmålspriser.
- Generellt sett minskar den genomsnittliga vattenhalten i skördad spannmål med sänkt maximal skördevattenhalt, dock på bekostnad av tillgänglig trösktid vilket leder till högre läglighetskostnader, särskilt under regniga år.
- Möjligheten till central torkning bör övervägas noggrant eftersom kostnaderna vid nyinvestering, särskilt för mindre gårdar, är betydligt högre jämfört med avgifterna vid central torkning (Lantmännens taxor). För 100 ha - gården var torkningskostnaderna med egen torkanläggning ca 70 % högre medan de var ca 35 % högre för de större gårdarna (300 och 600 ha). Å andra sidan ger egen torkanläggning ökad flexibilitet avseende exempelvis grödval och försäljningstidpunkter, vilket inte har beaktats i denna studie.
- I områden med få regniga perioder under skördesäsongen (t.ex. Uppland) behöver gårdstorken en kapacitet på ca 70 kg borttorkat vatten i timmen per meter skärvidd på tröska vid 18 % skördevattenhalt. Då är det möjligt att torka en dags skörd (8 timmar) på ca 14 timmar vid en avkastning på 6 ton per ha. För exempelvis en gård med 300 ha matchar en 5,4 m tröska en tork med en torkkapacitet på 380 kg borttorkat vatten per timme om skördevattenhalten är 18 %.
- I områdena där det ofta förekommer regniga perioder (t.ex. Skåne) behövs en torkningskapacitet på minst 110 kg borttorkat vatten i timmen per meter skärvidd vid 24 % skördevattenhalt och 8 timmar skördetid. Då är det möjligt att vid behov torka en dags skörd på ca 24 timmar vid en avkastning på 6 ton per ha. Detta innebär exempelvis att på en gård med 300 ha matchar en tröska med 5,4 m skärvidd en tork med en kapacitet på ca 600 kg borttorkat vatten per timme om skördevattenhalten är 24 %.

- Det är viktigt att kunna kyla den fuktiga spannmålen genom luftning före torkning i egen torkningsanläggning om den ska lagras längre än ett dygn, och kapaciteten bör väljas så att den motsvarar minst en dags skörd.

6. Referenser

- Abawi, G.Y. (1993). A simulation model of wheat harvesting and drying in northern Australia. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 54, 141-154.
- ASABE. (2006a). Agricultural Machinery Management. ASAE EP496.3 FEB2006. In: *ASABE STANDARDS 2006* (pp. 384-390). St. Joseph, Michigan, USA.
- ASABE. (2006b). Agricultural Machinery Management Data. ASAE D497.5 FEB2006. In: *ASABE STANDARDS 2006* (pp. 390-398). St. Joseph, Michigan, USA
- SMHI. (2010a). Dataserier 1961-2011. URL: <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/dataserier-2.1102>
- Gunnarsson, C. & Hansson, P-A. (2004). Optimisation of field machinery for an arable farm converting to organic farming. *Agricultural Systems*, 80, 85-103.
- Nawi, N. M., Chen, G., & Zare, D. (2010). The effect of different climatic conditions on wheat harvesting strategy and return. *Biosystems Engineering*, 106, 493-502.
- Philips, P. R., & O'Callaghan, J. R. (1974). Cereal harvesting – a mathematical model. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 19, 415-433.
- Sørensen, C. (2003). Workability and machinery sizing for combine harvesting. *Agricultural Engineering International, the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript PM 03 003, Vol V.

7. Publikationer

- de Toro, A., Gunnarsson, C., Lundin, G. & Jonsson, N. (2012). Cereal harvesting - strategies and costs under variable weather conditions. *Biosystems Engineering*, 111, 429-439. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511012000189>
- de Toro, A., Gunnarsson, C., Jonsson, N & Lundin, G. (2012). Spannmålsskörd – Strategier och kostnader vid varierande väderlek. JTI-rapport 2012, Lantbruk & Industri nr 403. URL: <http://www.jti.se/uploads/jti/R-403%20CG,%20GL%20m.fl.pdf>

8. Övrig resultatförmedling till näringen

En artikel kommer att publiceras i tidningen Land Lantbruk