

## **Kostnader, tillgångar och kvalitet hos bränslehalm**

### **Bakgrund och syfte**

Fördelarna med att använda halm som bränsle är många. Halm är t ex ett koldioxidneutralt bränsle, och man kan också notera att endast ca 5 % av den energi som erhålls från ett halmeldat värmeverk går åt för att framställa den (om man följer halmen från fält till färdig värme och bortser från den energi som går åt för att tillverka maskinerna, byggnaderna m m). Ökad halmeldning leder också till ökad sysselsättning på landsbygden och stimulerar den regionala ekonomin.

En viktig anledning till att halmeldningen inte har fått större omfattning i vårt land är att här finns stora tillgångar på flis som kan eldas i enklare och billigare pannor. Även om halm är ett mycket skrymmande bränsle, vilket gör att kostnaderna för transport och lagring blir höga, är bränsle-kostnaden fritt värmeverk ändå ofta lägre än för flis, särskilt i slättbygder. Viktiga orsaker till att man tvekar med att använda halm är, förutom att bränslet är ”svårare” att elda p g a högre askhalter, lägre asksmälttemperaturer, högre klorhalter, m m, att det exempelvis inte finns någon garanti för att man får tillräckligt med halm alla år p g a vädrets variationer under skördesäsongen.

För bränslehalm har logistiken från fält till panna mycket stor betydelse för både kostnaderna och kvaliteten. Ofta utgör kostnaderna för olika logistikrelaterade arbetsoperationer (bärgning, lastning/avlastning, transport, lagring, m m) upp till 4/5 av de totala kostnaderna. Genom valet av hanteringssystem påverkar man inte bara kostnaderna, utan också hur mycket halm som kan bärgas per år och även indirekt hur halmens bränslekvalitet blir (t ex när det gäller dess vattenhalt och hur ”gul” eller ”grå” den blir).

Huvudsyftena med detta projekt var att öka kunskaperna om förutsättningarna för bärgning och hantering av halm från fält till panna, och att sedan tillämpa dessa kunskaper för att utveckla en dynamisk simuleringsmodell med vars hjälp olika logistiksystem kan analyseras. Projektet delades upp i tre delar, där den första delen bl a handlade om tillgångar och skördetidpunkter, den andra delen om halmens kvalitet relaterat till dess fuktegenskaper, och den tredje om kostnads- och prestanda-analys av olika logistiksystem med hjälp av datorsimulering.

Syftena med delstudie 1 var a) att undersöka hur stor odlingen och avkastningen av olika halmgrödor är i rikets län, b) att ta fram halm:kärna-kvoter som kan användas för att uppskatta de tillgängliga halmmängderna med hänsyn till dagens sortanvändning, c) att beräkna den mängd halm som finns tillgänglig i olika län för bränsleändamål efter att avdrag gjorts för användningen inom djurhållningen, d) att undersöka när skördetidpunkten infaller för de vanligaste halmgrödorna.

Syftena med delstudie 2 var a) att undersöka och modellera jämviktsvattenhalten hos spannmåls- och oljeväxthalm, b) att undersöka och kvantifiera eventuella skillnader i jämviktsvattenhalt mellan olika halmslag, olika sorter och olika tröskningsmetoder (skakar- respektive rotor-tröskning), c) att undersöka om det finns skillnader i uppfuktningshastighet mellan olika halmslag och tröskningsmetoder, d) att ta reda på hur stor hysteres-effekten är för halm, d v s om det finns skillnader i jämviktsvattenhalt mellan uppfuktning och nedtorkning, e) att ta fram en datormodell med vars hjälp man kan simulera halmens vattenhalt i fält timme för timme, samt f) att ta

fram modellparametrar genom att följa vattenhalten i halmsträngar i fält, och även försöka göra en generell bedömning av modellens validitet.

Syftena med delstudie 3 var a) att identifiera och vid behov modellera viktiga faktorer som påverkar kostnaderna och kvaliteten vid halmens väg från fält till panna, b) att vidareutveckla en dynamisk simuleringsmodell som tidigare har tagits fram vid SLU för simulering av olika maskinsystem vid hantering av stråbränslen, och c) att därefter tillämpa modellen på ett system för leverans av bränslehalm till ett mindre värmeverk i Sölvesborgs kommun i Blekinge. Som indata kommer bl a resultaten från delstudierna 1 och 2 att användas.

## **Material och metoder**

### Delstudie 1

Odlingsarealen och avkastningen av olika halmproducerande grödor är avgörande för hur stora tillgångarna på bränslehalm är. I den första delstudien har några statistiska nyckeltal (medelvärden, min-värden, max-värden, standardavvikelse) beräknats för odlingsarealen av olika halmgrödor uppdelade på rikets län. Dessa nyckeltal gäller för odlingsarealerna från och med år 1989 t o m år 2008, d v s för 20 år. De grödor som medtagits i statistiken är höstvetete, vårvete, höstråg, höstkorn, vårkorn, havre, rågvete, blandsäd, höstraps, vårraps, höstrybs och vårrybs. Nyckeltalen har beräknats utifrån de data som finns i rapporter utgivna av SCB. För grödor där det finns data för alla de 20 åren, har även ett trendvärde beräknats. Med hjälp av detta kan man undersöka hur de långsiktiga förändringarna ser ut för de aktuella åren. Samma statistik har också tagits fram för den genomsnittliga kärn-/fröavkastningen för varje län, uttryckt i antalet ton per hektar. Även dessa nyckeltal gäller för 20 år tillbaka i tiden, och data kommer från SCB.

Tillgångarna på halm beräknades genom att multiplicera kärn/fröskördarna med s k halm:kärna-kvoter. De halm:kärna-kvoter som ligger till grund för tidigare potentialuppskattningar är dock närmare trettio år gamla, och i denna delstudie har därför undersökningar gjorts för att beräkna nya kvoter som baserar sig på de sorter och den odlingsteknik som används idag. Ca 150 prover togs i fält hos lantbrukare i Skåne, Blekinge, Hallands, Västra Götalands och Uppsala län under åren 2007-08. Fälten valdes ut mer eller mindre slumpvis för att få ett så representativt urval som möjligt av bl a aktuella sorter. En strävan var att fälten skulle vara belägna i slättbygder med intensiv spannmålsodling, eftersom halmeldning är mest aktuell i sådana områden. I proverna ingick hela de ovanjordiska delarna av plantorna. Proverna togs mellan gulmognad och skörd.

De halmgrödor som ingick i studien var höstvetete, höstråg, höstrågvete, höstkorn, vårvete, vårkorn, havre, höstraps och vårraps. I laboratoriet avskiljdes kärnor och agnar från stråna, och sedan klipptes stråna med början i markänden i fraktioner om 10 cm. Mängden torrsbstans bestämdes hos alla fraktioner via torkning i torkugn och vägningar. För varje prov redovisas resultatet i form av stapeldiagram, där varje fraktions andel av kärnornas ts-mängd presenteras. I stapeldiagrammen är också den kumulativa andelen inlagd. För respektive sort visas sedan genomsnittliga halm:kärna-kvoter som funktion av stubbhöjden. Därefter beräknas en halm:kärna-kvot för stubbhöjden 20 cm för så många sorter så att de täcker minst 95% av odlingarna i landet under år 2007/08. Halm:kärna-kvoter för sorter som ej var medtagna i försöken skattades, bl a med hjälp av data från sortprovningarna.

De resulterande halm:kärna-kvoterna redovisas i tre varianter: som medelvärde av samtliga prover i försöken, som medelvärde av de olika sorterna (både för sorter som ingått i försöken och för sorter där kvoten skattats), samt som ett arealviktat medelvärde med hänsyn tagen till de olika sorternas odlingsareal i riket under år 2008.

Med hjälp av de framtagna kvoterna har länsvisa uppskattningar gjorts av tillgänglig halmmängd för bränsleändamål. De fysiska tillgångarna har först beräknats, och sedan har avdrag gjorts med hjälp av den sk bärgningskoefficienten, som tar hänsyn till praktiska omständigheter såsom nederbörd under skördeperioden, låg mullhalt, m m, och därefter har avdrag gjorts för användningen inom djurhållningen.

Mediantidpunkten för skörd av höstvetete, vårvete, höstråg, korn och havre har uppskattats genom att använda data från de objektiva skördeuppskattningarna för åren 1980-1992, och sedan jämföra mognadstidpunkten för de sorter som användes då med de sorter som används idag. En fördjupad analys av skördens starttidpunkt och varaktighet gjordes också för odling av höstvetete i Malmöhus, Skaraborgs och Uppsala län.

## Delstudie 2

I delstudie två undersöktes halmens jämviktsvattenhalter. Mängden hygroskopisk fukt i porerna hos ett material påverkas av tillståndet (temperatur, relativ luftfuktighet, tryck) hos fuktig luft i omgivningen. Vid absorption tar materialet upp fukt från omgivningen, medan fukt avges till omgivningen vid desorption. Om den upptagna mängden vatten per tidsenhet är lika stor som den avgivna mängden, råder det jämvikt, d v s materialet har nått sin jämviktsvattenhalt. Det är materialets hygroskopiska egenskaper som bestämmer hur stor jämviktsvattenhalten blir för ett givet tillstånd hos den omgivande luften. En sorptionskurva kan användas för att beskriva jämviktsvattenhaltens beroende av temperaturen och relativa luftfuktigheten för ett visst material. Olika kurvor erhålls beroende på om materialet är torrt eller vattenmättat från början. Hysteres innebär bl a att kurvan för desorption ligger ovanför absorptionskurvan.

Halmprover togs under skördesäsongen 2007 av spannmålsslagen höstvetete, vårvete, rågvete, råg, vårkorn och havre, samt av oljeväxterna höstraps och vårraps. Försöksleden valdes så att man kan jämföra skillnader mellan olika spannmåls- och oljeväxtslag, mellan olika sorter, mellan gul och grå halm, mellan otröskad och röskad halm, samt mellan olika tröskningsmetoder (skakar- resp rotortröskad halm). I jämförelsen mellan skakar- och rotortröskad vårvetehalm, var skakartröskorna av typen MF 7278/MF 7260, medan rotortröskan var av typen MF 9895.

Försöken genomfördes i en klimatkammare med tre isotermer: +5°C, +15°C och +25°C. Dessa temperaturer ansågs täcka de praktiska temperaturintervall som kan råda vid bärgning och hantering av halm. För varje temperatur ökades luftfuktigheten i klimatkammaren stegvis från 35 % till 53 %, 72 % och 90 %. Det fanns tre prover (upprepningar) för varje försöksled. Varje prov bestod av klippta strån som totalt vägde runt 10 g. Proverna vägdes med jämna mellanrum tills jämvikt ansågs ha uppnåtts, d v s då skillnaden i vikt var försumbar mellan två konsekutiva vägningar. När jämvikt hade uppnåtts för den högsta luftfuktigheten torkades proverna i torkugn för bestämning av ts-halten. Med hjälp av vägningarna vid klimatkammaren och ts-bestämningen beräknades sedan vattenhalten för varje mätpunkt.

Fem ofta använda ekvationer för modellering av jämviktsvattenhalter (Henderson-, Chung-Pfost-, Halsey-, Oswin- och GAB-ekvationerna) anpassades till mätdata genom icke-linjär regression. Kurvornas anpassning uppskattades med hjälp av medelvärdet av den relativa procentuella avvikelsen, medelfelet och med hjälp av s k residual "plots" där man ritar in residualerna som funktion av uppmätta jämviktsvattenhalter.

Absorptionshastigheten, d v s hur snabbt halmen tar upp vatten, kan vara en intressant parameter, t ex vid jämförelser av olika bearbetningsmetoder (skakartröska kontra rotortröska) av halmstrået. I försöken undersöktes absorptionshastigheten vid temperaturen +15°C då RF ändrades från 53% till 72%. För isotermin +15°C gjordes även en desorptionsundersökning, då den uppnådda absorptionsfuktigheten 90% stegvis sänktes till 72% och 53% för vissa prover. Denna undersökning gjordes för att få en indikation på hur stor hysteres-effekten är för halm.

I delstudie 2 användes också en modell, som tidigare har tillämpats på linhalm, för att simulera halmens vattenhalt när den ligger i strängar på fälten. Modellen tar bl a hänsyn till både avdunstning och daggbildning. Den använder nederbörd, globalstrålning, temperatur, relativ luftfuktighet, vindhastighet och molnighet som inparametrar, och beräknar sedan halmens vattenhalt timme för timme. Tre fältförsök gjordes under åren 2007-08 då vattenhalten följdes i strängar med höstvetehalm, och sedan togs modellparametrar fram genom regression.

### Delstudie 3

I delstudie 3 gjordes först en identifiering av viktiga faktorer som sätter de yttre ramarna för halmhantering (t ex väder, geografiska förhållanden, m m). Sedan modellerades både dessa faktorer inverkan på hanteringssystemen och olika maskinkedjor. Modelleringen baserade sig på s k dynamisk händelsestyrd simulering ("dynamic discrete event simulation"). Händelsestyrd simulering är dynamisk till sin natur. Detta innebär att om, och i så fall när, en viss händelse inträffar, så beror detta av de händelser som inträffat tidigare. Händelsen "pressning av en halmbal" kan t ex endast inträffa om händelsen "halmens vattenhalt har nått under tröskelvärdet 18 %" redan har inträffat.

I projektet har simuleringarna gjorts med simuleringssystemet Arena (Rockwell Automation Inc.). Den simuleringstyp som används i Arena kallas för processororienterad. Detta innebär att s k entiteter "flödar" genom ett system och genomgår olika processer. En entitet kan representera konkreta begrepp, t ex ett ton halm, eller mer abstrakta begrepp, som t ex en viss typ av information. Varje entitet bär med sig vissa egenskaper som kallas attribut. Attributen för en halmbal kan t ex vara "fältet halmen kommer ifrån", "halmgröda", "tidpunkt för pressning", "aktuell vattenhalt", "mängd nederbörd som fallit på halmen före pressning", "tid mellan tröskning och inlagring", m m. Entiteterna genomgår olika processer utförda av olika resurser. Exempel på resurser är balpressar som utför processen pressning, eller lastmaskiner som utför processen lastar. För att en viss aktivitet eller process ska kunna genomföras, måste vissa villkor vara uppfyllda. Dessa villkor benämns "global variables" i Arena, och de kan t ex representera klockslag ("inget arbete får utföras om klockan är senare än 20.00"), olika väderparametrar ("just nu regnar det och då är inte pressning tillåten"), "driftledning" av arbetet ("ett fält är klart för pressning i Halmbalby, skicka dit press nr X"), etc. Vid konkurrens om resurserna uppstår köer i simuleringarna.

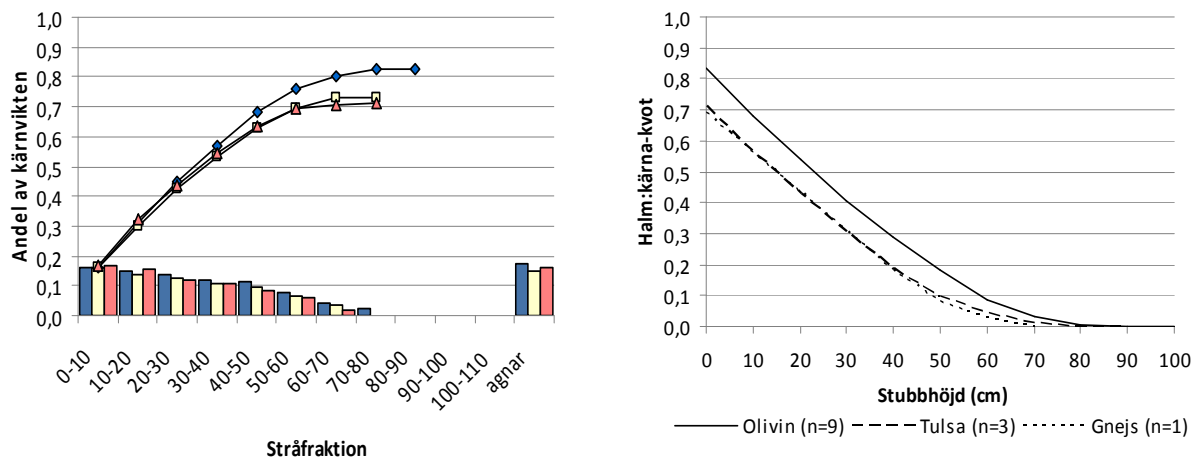
Rent praktiskt har modellen byggts upp med hjälp av s k SIMAN-”block” i Arena. Entiteterna går från block till block och får då olika uppgifter. När en entitet exempelvis kommer till ett SEIZE-block ”bokar” den upp en viss maskin om den är ledig, när den kommer till ett DELAY-block väntar den en viss specificerad tid (t ex för att bli processad av maskinen), och när den sedan kommer till ett RELEASE-block frigör den maskinen.

## Resultat

### Delstudie 1

Den största odlingen av halmgrödor finns inte oväntat i län med utpräglade slättbygder, företrädesvis i Skåne, Västra Götalands, Östergötlands, Uppsala och Södermanlands län. Odlingen av höstvetete och vårvete har, sett under tjugoårsperioden 1989-2008, ökat i de flesta län, medan odlingen av höstråg har minskat ganska kraftigt. Arealerna av vårkorn och särskilt havre har också minskat en hel del. Arealerna med oljevaxter och blandsäd har minskat avsevärt (trenden för oljevaxterna har dock vänt de senaste åren). Under samma period har hektarskördarna ökat något; i Skåne har t ex avkastningen av höstvetete ökat med ca 0,5 % per år.

Resultaten från undersökningarna av halm:kärna-kvoterna var följande (mängd halm (vattenhalt 18%) i förhållande till mängd kärna (vattenhalt 14%)/frö (vattenhalt 9%)): höstvetete 0,60 (antalet prover n=40); höstråg 0,78 (n=11); rågvete 0,65 (n=13); höstkorn 0,57 (n=5); vårvete 0,66 (n=15); vårkorn 0,37 (n=26); havre 0,52 (n=20); höstraps 1,02 (n=13) och vårraps 0,94 (n=4). Dessa värden är viktade med hänsyn till odlingsarealerna av olika sorter, och de gäller för stubbhöjden 20 cm (40 cm för oljevaxterna). I studien konstaterades att kvotens spridning var stor för varje gröda, beroende på sortval, konventionell/ekologisk odling, årsmån, m m. I figur 1 och i tabell 1 visas exempel på några resultat för höstvetete.



Figur 1. Två visar olika fraktioners viktandel (ts) för tre prover (sort, län, provtagningsdatum): Olivin, Halland, 27/7-08 (◇); Olivin, Uppsala, 11/8-08 (□); Olivin, Uppsala, 11/8-08 (Δ). Proverna nämns i den ordningsföljd som staplarna står i, och för den kumulativa kurvan gäller de angivna symbolerna. Th visar de uppmätta halm:kärna-kvoterna för Olivin, Tulsa och Gnejs som funktion av stubbhöjden (n anger antalet prover i försöken).

Med hjälp av de framtagna halm:kärna-kvoterna beräknades halmöverskotten i de olika länen. Resultaten visade att det fanns halmöverskott i Skåne, Östergötlands, Västra Götalands, Uppsala, Västmanlands, Södermanlands, Örebro och Stockholms län. Den totala mängden var i storleksordningen 0,8-1,0 miljoner ton per år, motsvarande 3-4 TWh/år.

Tabell 1. Andel av utsädesmängden för höstvetete under odlingssäsongen 2007/08, strållängd och avkastning enligt de officiella sortprovningarna, samt uppmätta och skattade halm:kärna-kvoter vid en stubbhöjd på 20 cm. Mv=medelvärde, Vh=vattenhalt

Sort	Utsädesandel 2007/08 (%)	Strå- längd (cm)	Av- kastning (ton/ha)	Antal prover	Uppmätta sortmedelvärden samt skattade* halm:kärna- kvoter vid 20 cm stubbhöjd
Olivin	42	86	8,2	9	0,54
Tulsa	13	66	8,5	3	0,43
Gnejs	8	75	8,4	1	0,43
Opus	7	79	8,7	4	0,40
Harnesk	6	71	8,4	3	0,66
Skalmeje	4	78	8,6	1	0,41
Mulan	4	81	8,4	0	0,49*
Cubus	3	74	8,4	6	0,45
Smuggler	3	a)	a)	0	-
Kosack	2	102	8,0	1	0,96
Stava	2	91 <sup>b)</sup>	5,0 <sup>b)</sup>	8	0,61
Akratos	2	86	8,4	0	0,53*
Kris	<u>1</u>	70	8,5	<u>4</u>	0,45
Summa	97			40	
Mv, prover					0,52
Mv, sorter					0,53
Arealviktad					0,51
Vh- o. agn-justerad					0,60

a) Uppgift saknas.

b) Används främst i ekologisk odling.

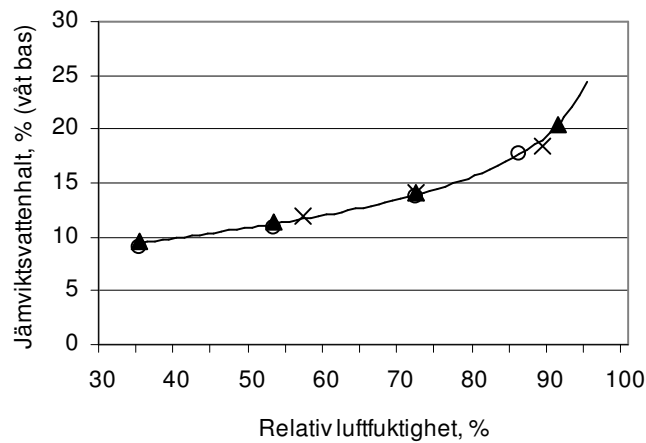
När det gäller skördetidpunkter och skördens varaktighet, visade resultaten bl a att skörden av höstvetete i Malmöhus län i genomsnitt hade inletts den 13 augusti (typvärdet eller det vanligaste datumet var dock 3 augusti), att hälften av fälten var tröskade den 21 augusti, och att skördeperiodens längd var ca 13 tröskningsdagar (siffrorna gäller för hela länet; lokalt kan exempelvis skördeperioden vara avsevärt kortare).

## Delstudie 2

Studien visade bl a att vattenhalten för höstvetehalm når 18 % vid en relativ luftfuktighet på 85-90 % (se figur 2 nedan). Halseys ekvation (den temperaturoberoende varianten) visade sig vara den mest lämpade för flertalet av halmslagen.

Vid jämförelsen mellan de olika halmslagen, kunde det inte påvisas några signifikanta skillnader mellan dem, förutom för havrehalm. Detta halmslag hade en något högre jämviktsvattenhalt än de övriga halmslagen, särskilt vid höga relativa luftfuktigheter. Vid lägre relativa luftfuktigheter hade rapshalm en något högre jämviktsvattenhalt, men denna skillnad var dock inte tillräckligt

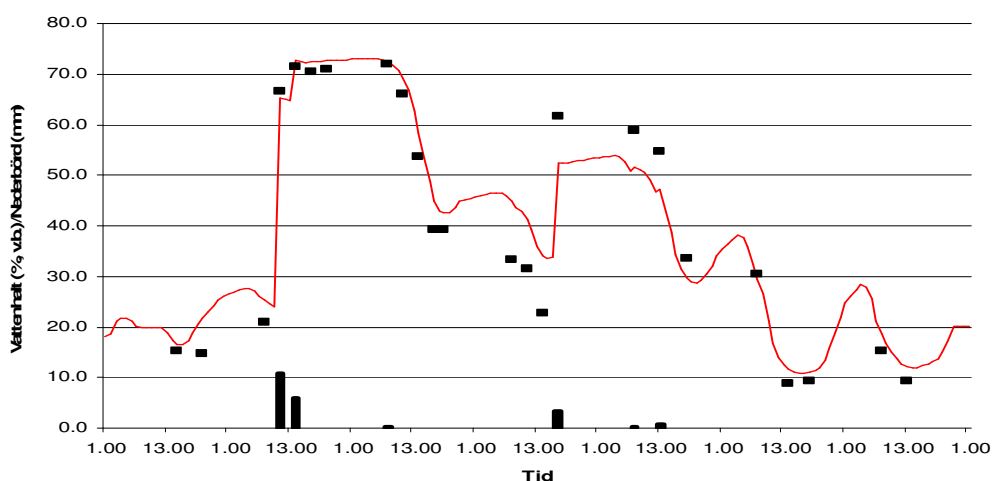
stor för att ge utslag vid de statistiska analyser som använts i studien. Några signifikanta skillnader kunde inte heller ses mellan gul och grå halm, och mellan rotortröskad och skakartröskad halm.



Figur 2. Simulerad jämviktsvattenhalt med hjälp av Halseys temperaturoberoende ekvation (heldragen linje), samt uppmätta jämviktsvattenhalter vid +5°C (x), 15°C (○) och 25°C (▲), för höstvetehalm.

Vidare framkom det att havrehalm hade den största absorptions hastigheten initialt, medan vårvete hade den lägsta. Samtliga prover nådde jämviktsvattenhalten efter ca 10 timmar. Klimatkammarförsöken visade också att det finns en viss hysteres vid absorption-desorption av halm. Uppskattningsvis rör det sig om 1-2 procentenheter.

Resultaten från fältmätningarna visas i figur 3. Vid jämförelser mellan uppmätta värden och simulerade, framkom att modellen beskrev halmens torknings- och uppfuktningstillstånd med en acceptabel noggrannhet.

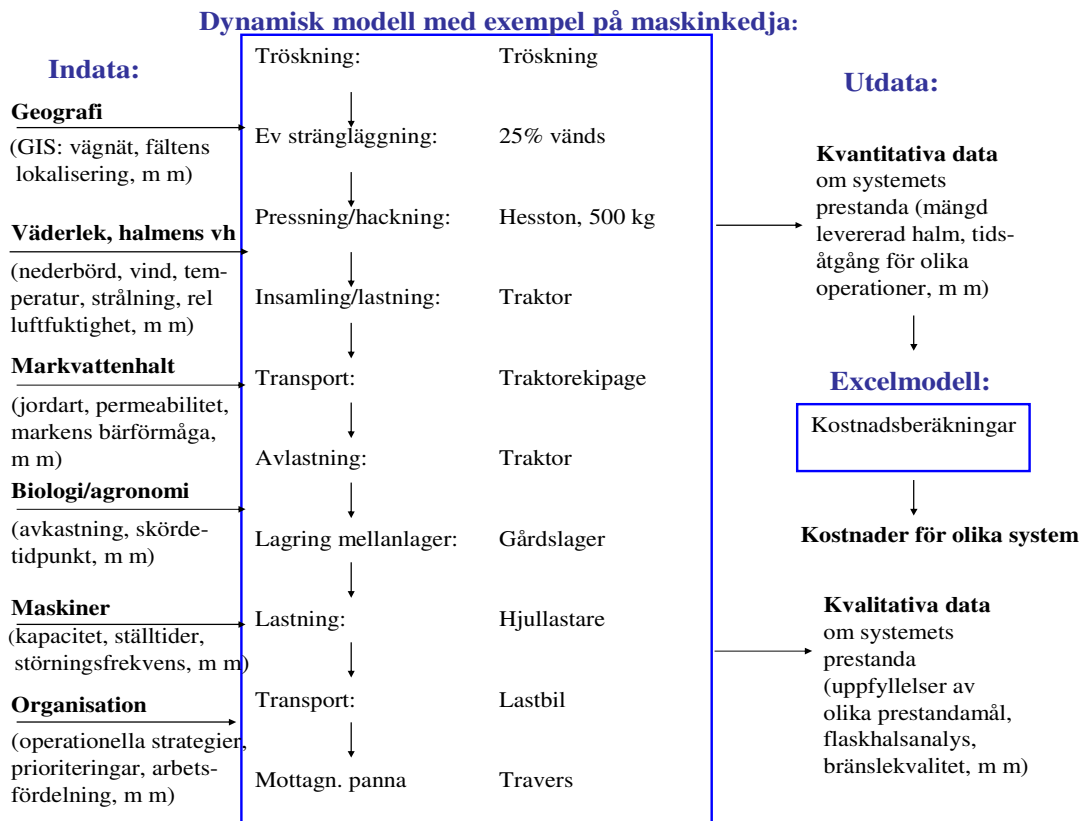


Figur 3. Uppmätta vattenhalter (punkter) och nederbörds mängder (staplar) från fältförsöken i Uppsala under hösten 2007, samt simulerad vattenhalt (heldragen linje).

### Delstudie 3

I figur 4 visas en principskiss över hur den framtagna simuleringsmodellen fungerar. Modellen använder geografiska data, väderdata, uppgifter om markegenskaperna, uppgifter om halmgrödorna, samt data om maskinsystem och arbetsorganisation för att simulera olika logistikalternativ. Som utdata får man olika kvantitativa data om systemets prestanda, vilka används för att beräkna kostnaderna. Data erhålls också för att bedöma hur systemet kan uppfylla olika kvalitativa mål.

Den framtagna metodiken tillämpades för analys av några hanteringssystem för en mindre panna i Sölvesborgs kommun. Resultaten visade bl a att kostnaderna för balad halm varierade från ca 140 kr/MWh till 170 kr/MWh. De största potentialerna för att minska kostnaderna finns troligen när det gäller lagring och transporter av halmen. Fler studier behöver göras när det gäller kapaciteter och prestanda för nya maskinsystem, kassationsförluster vid lagren, m m i syfte att få bättre beräkningsunderlag till kalkylerna. Hantering av fälthackad halm blev betydligt dyrare än balad halm, men för småskaliga tillämpningar bedömdes att det finns potential att minska kostnaderna om man kan ha ett system där flera grödor (energigräs, majs, hampa, m m) hackas och där eventuellt flera olika användningsområden ingår (direkt förbränning, tillverkning av briketter, biogasproduktion, m m).



Figur 4. Exempel på indata i den dynamiska simuleringsmodellen (t v), exempel på arbetsoperationer och maskinkedja i modellen (mitten), samt exempel på utdata som kan användas för att utvärdera olika system med avseende på bl a kostnader (t h).



## Diskussion

För de flesta åkerbränslen, inklusive halm, har logistiken mellan fält och förädlingsanläggning/värmeanläggning en avgörande betydelse för bl a kostnaderna och bränslekvaliteten. Skördeperioderna är ofta mycket korta beroende på olika restriktioner när det gäller vattenhalter och väder, mognadstidpunkter, m m. Ofta används specialmaskiner för skörden, och timkostnaderna kan därför bli mycket höga när antalet användningstimmar per år blir litet. Bränslena samlas in från stora arealer och koncentreras sedan till en eller ett fåtal platser, vilket innebär att transportarbetet kan vara mycket omfattande. Vidare är bulkdensiteten ofta hög, och det är inte heller alltid som materialet kan hanteras som en "fluidiserande" bulkvara, vilket bl a innebär att arbetet med lastning, lossning, påfyllning, tömning, m m, utgör en hög andel av de totala kostnaderna. Eftersom bränslena är hygroskopiska och biologiskt nedbrytbara, har vattenhalten en avgörande betydelse för deras hållbarhet och kvalitet. Detta ställer särskilda krav både vid själva skörden och under lagringen. Lagringskostnaden kan dessutom bli hög p g a låg skrymdensitet.

Med tanke på den höga komplexiteten i systemet, har den använda metoden med dynamisk simulering visat sig vara ett effektivt verktyg för att analysera olika logistiksystem. Det använda simuleringsprogrammet har också mycket stor flexibilitet genom att man kan arbeta i olika modellhierarkier. Aktiviteter/processer som är kritiska i systemet kan modelleras mycket detaljerat, medan andra mer allmänna aktiviteter enkelt kan modelleras med färdigbyggda moduler. Genom att kombinera olika modellmoduler, kan man därför få hög flexibilitet, vilket gör det möjligt att simulera en mängd olika typer av scenarier; inte bara för halm utan också för biobränslehantering i generell mening.

Simuleringarna för en mindre halmpanna i Sölvesborg visade att kostnaderna för halm fritt värmeverket var 140-170 kr/MWh. Detta kan jämföras med genomsnittspriset för skogsflis under tredje kvartalet 2009, som låg på 175 kr/MWh. Fritt värmeverk så är alltså halm ett billigare bränsle, men då ska man samtidigt komma ihåg att merkostnaden för balhanteringsutrustning, askhantering, m m, är högre. Simuleringsmodellen har också använts för analys av storskalig hantering av halm under skånska förhållanden i Värmeforsks och SLF:s forskningsprogram "Grödor från åker till energi" (se under Publikationer nedan). I den studien framkom det bl a att ny teknik med högre bulkdensiteter har en ganska stor potential att minska kostnaderna, liksom utomhuslagring och effektivare transportmetoder. Mer forskning skulle därför behövas inom dessa områden. Ett annat område som behöver studeras vidare är hur halmens bränslekvalitet påverkas av väder m m under tiden den ligger i strängarna mellan tröskning och pressning. Ett tredje område rör när och hur i hanteringskedjan halmen skulle kunna sönderdelas till hackelse i syfte att underlätta blandning med andra biobränslen, t ex flis.

Delstudierna 1 och 2 var från början mest avsedda för att samla in indata till delstudie 3. I projektet har det dock kommit fram flera resultat som är av mer allmänt intresse. Undersökningarna av halm:kärna-kvoterna tyder t ex på att dessa har sjunkit ganska mycket, särskilt för höstvetete. I tidigare studier har man använt ett värde för höstvetete på 0,85, men resultaten i detta projekt visade på att den kan vara så låg som 0,60. Detta innebär i sin tur att tillgångarna på höstvetehalm kan vara betydligt lägre än vad man trott tidigare. Genom något högre kärnskördar och genom en ganska kraftig ökning av odlingsarealen under senare år, har dock den totala mängden troligen inte minskat i motsvarande grad. Ett viktigt skäl till de lägre kvoterna är att man numera använder fler kortstråiga sorter. En observation som gjordes under fältförsöken var också att stubbhöjden

hålls ganska hög idag, vilket kan bero på att nya moderna tröskor kräver hög kapacitet (och därmed så lite halm som möjligt i tröskan) för att vara lönsamma.

En slutsats som kan lyftas fram från delstudie 2 var att den vattenhalt som ofta sätts som övre gräns för bränsehalm, 18 % (våt bas), nås vid relativa luftfuktigheter runt 90 %. Ur mikrobiologisk synpunkt motsvarar en vattenhalt på 18 % hos halmen en vattenaktivitet på runt 0,90. Många mögelsvampar kan dock tolerera vattenaktiviteter ner till 0,80. Det finns alltså en viss risk för mögelbildning vid vattenhalter ända ned till 15-16 %. Tillväxten av vanliga mögelsvampar på halm (*Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* och *Eurotium*) tar dock fart när vattenaktiviteten överstiger 0,90, särskilt vid temperaturer runt 25°C och däröver. Resultaten i denna studie bekräftar de rekommendationer man har om att undvika pressning av halm med vattenhalter över 18 %. Resultaten i delstudie 3 tyder också på att det går att simulera halmens vattenhalt i fält med en ganska god noggrannhet.

## Publikationer

Följande rapporter beskriver resultaten i detta projekt:

- Nilsson, D. & Bernesson, S. 2009a. *Halm som bränsle - Del 1: Tillgångar och skördetidpunkter*. Rapport 011. Institutionen för energi och teknik, SLU, Uppsala. Internetlänk: <http://publikationer.slu.se/Filer/HalmsombrnsleDel1TillgoskrdetidpSLUETRapport0112009.pdf>
- Nilsson, D. & Bernesson, S. 2009b. *Halm som bränsle - Del 2: Fuktegenskaper*. Rapport 018. Institutionen för energi och teknik, SLU, Uppsala. Internetlänk: <http://publikationer.slu.se/Filer/HalmsombrnsleDel2FuktegenskaperSLUETRapport0182009.pdf>
- Nilsson, D. & Bernesson, S. 2010. *Halm som bränsle - Del 3: Dynamisk simulering av hanteringssystem*. Institutionen för energi och teknik, SLU, Uppsala (ännu ej publicerad, men rapporten kommer inom kort att kunna laddas ned via [www.et.slu.se](http://www.et.slu.se)).

Projektet har gett underlag för åtminstone två vetenskapliga artiklar, vilka planeras att skrivas under våren 2010.

Den framtagna simuleringsmodellen har redan tillämpats för storskalig hantering av halm i ett projekt i Värmeforsks och SLF:s forskningsprogram "Grödor från åker till energi":

Nilsson, D. 2010. Simulering och kostnadsanalys av hanteringssystem för bränsehalm – tillämpning för en värmeanläggning i Skåne. Värmeforsk, Stockholm. Rapporten kommer inom kort att kunna laddas ned från: [www.varmeforsk.se](http://www.varmeforsk.se).

## Övrig resultatförmedling till näringen

Resultaten har presenterats vid SLF:s bioenergiseminarium i Stockholm den 21 december 2009. Resultaten kommer också att presenteras vid andra lämpliga seminarier. Vidare kommer projektrapporterna att vara tillgängliga på JTI:s bioenergiportal [www.bioenergiportalen.se](http://www.bioenergiportalen.se).