



HALM SOM ENERGIKÄLLA

Översikt av existerande kunskap

STRAW AS AN ENERGY SOURCE

A review of existing knowledge

Sven Bernesson
Daniel Nilsson



SLU
Institutionen för biometri och teknik

**Rapport – miljö, teknik och
lantbruk 2005:07**

SLU
Department of Biometry and Engineering

Uppsala 2005
ISSN 1652-3237

SAMMANFATTNING

I Sverige finns stora tillgångar på halm som skulle kunna utnyttjas som bränsle för bl.a. uppvärmningsändamål. Den mängd halm som kan utnyttjas som bränsle uppskattas till en miljon ton eller ca 4 TWh, men för närvarande används endast en bråkdel av denna kvantitet. Detta kan jämföras med de ungefär 1,5 miljoner ton bränslehalm som används i Danmark.

Syftet med detta projektet var att ge en översikt över dagens teknik för bärgning, transport och eldning av halm i små- och storskaliga system, samt att föreslå olika forsknings- och utvecklingsinsatser för att öka den framtida användningen av bränslehalm i Sverige. I studien beskrivs system för bärgning, transport och lagring av storbalar såsom rundbalar och fyrkantbalar, samt hackning, ihopsamling, transport och lagring av lös hackad halm. Även alternativa system med fältbrikettering och system med helsädeskörd beskrivs. En studieresa genomfördes också till olika halmintressenter i södra Sverige och i Danmark i syfte att samla in praktiska erfarenheter.

Kostnaderna har beräknats för olika system inkluderande bärgning, hemtransport, lagring, transport till värmeverk och omhändertagande vid värmeverk av: stora fyrkantbalar, små fyrkantbalar, rundbalar, fälthackad lös halm och fältbriketterad halm. Både utomhus- och inomhuslagring av halmen har studerats. System med storbalar befanns vara billigast följt av system med mindre stora fyrkantbalar och fältbriketterad halm. Inomhuslagring påverkade kostnaderna i väsentlig grad. Fältbriketterad halm får kostnads fördelar vid långa transporter och inomhuslagring p.g.a. hög volymvikt som ger ett högt utnyttjande av transportfordonen respektive lagret.

Vid förbränning av halm är flera kvalitetsegenskaper viktiga såsom t.ex. fukthalt, volymvikt, askhalt, asksmältpunkt och effektivt värmevärde. En för hög fukthalt leder till driftstörningar i den utrustning som hanterar halmen, samt ojämn förbränning i pannan. Aska med en för låg smältpunkt riskerar att smälta i pannan och bilda slagg som ger driftstörningar. Halm bör ha låga halter av alkalimetaller och klor för att inte bilda slagg. Halterna av dessa ämnen minskar om halmen får ligga ute några dagar före bärgning och, om möjligt, utsätts för nederbörd.

För att erhålla bränslen med mer väldefinierade egenskaper, som kan eldas i befintliga pannor, kan halmen vidareförädlas till briketter, pellets eller pulver. Teknik för hantering och eldning av halm beskrivs i skalor lämpliga för både gårdar och fjärrvärmeverk. Ny teknik såsom förgasning, flash-pyrolys, stirlingmotorer, ångmaskiner och användning av halm som råvara till etanol, metanol, DME eller Fischer-Tropsch-diesel beskrivs översiktligt.

Studien pekar på att framtida forsknings- och utvecklingsinsatser bör riktas in på följande områden: informations- och demonstrationsprojekt, hanteringskostnader och bärgningssäkerhet, bränslekvalitet, förädling och askhantering. Tekniken för hantering och eldning av bränslehalm fungerar tillfredsställande idag och kostnaderna är konkurrenskraftiga. För att snabbt öka användningen av bränslehalm behövs därför olika informationsinsatser, och även demonstrationsanläggningar, vilka kan tjäna som goda praktiska exempel. För att öka halm-användningen även i områden med sämre bärgningsförutsättningar, behöver studier genomföras när det gäller relationen mellan hanteringskostnader och bärgningssäkerheten mellan olika år. Dessutom behövs fördjupade studier om hur olika faktorer (regn, dag, jordart, m.m.) påverkar bränslekvaliteten, och metoder tas fram för säkra och snabba mätningar av olika kvalitetsegenskaper. Då halm är en relativt billig råvara, bör möjligheterna till att förädla halmen och/eller använda den i nya tekniska applikationer studeras mer ingående. Slutligen bör alternativa sätt att hantera askan, t.ex. genom inblandning i olika organiska gödselmedel, undersökas.

ABSTRACT

In Sweden, there are large quantities of straw that could be used for heating purposes. The amount of straw available for use as fuel has been estimated at 1 million tonnes or approx. 4 TWh. Today, only a fraction of this quantity is used. This can be compared to the approx. 1.5 million tonnes of straw that are used for fuel purposes in Denmark.

The main purpose of this project was to present an overview of the existing techniques for harvesting, transport and combustion of straw in small- and large-scale systems, and to suggest research and development projects to increase the future use of straw for fuel purposes in Sweden. In the study, systems for harvesting, transport and storage of big bales (round bales and big square bales), and chaffing, gathering, transport and storage of loose chaffed straw are presented. Alternative systems with field-wafering and whole crop harvesting are also described. In addition, a study tour was made of fuel straw practitioners in southern Sweden and Denmark in order to review practical experiences.

Costs were calculated for different systems including harvesting, transport to storage, storage, transport to heating plant and handling at heating plant for: big square bales, medium-sized square bales, round bales, chaffed loose straw and field-wafered straw. Both outdoor and indoor storage of the straw were studied. Systems with big square bales were cheapest, followed by systems with medium-sized square bales and field-wafered straw. Indoor storage had a considerable influence on the costs. Field-wafered straw had cost benefits in long transport and indoor storage due to its high bulk weight, which resulted in a high utilization of both transport vehicles and storage.

When straw is burnt, several quality parameters are important, *e.g.* moisture content, bulk weight, ash content, ash melting point and lower heat value. Too high a moisture content results in operational disruption to the straw feeding equipment and might result in uneven combustion in the furnace. Ash with a low melting point may melt in the furnace and form clinker, which causes operational disruption. Straw should have a low content of alkali metals and chlorine to avoid the formation of clinkers. The content of these elements declines if the straw is left in the field, and, if possible, exposed to precipitation before harvesting.

To obtain fuels with more well-defined properties that can be burnt in existing furnaces, the straw might be further processed into briquettes, pellets or powder. Techniques for handling and burning of straw are described on scales suitable for farms and district heating plants. New technology such as gasification, flash-pyrolysis, stirling engines, steam engines and use of straw as a raw material for the production of ethanol, methanol and Fischer-Tropsch diesel are reviewed.

It is recommended in the study that future research and development projects should focus on the following fields: information and demonstration, handling costs and harvesting reliability, fuel quality, up-grading and ash handling. The techniques used today for handling and combustion of fuel straw work satisfactorily and at a competitive cost. Therefore, to quickly increase the use of fuel straw, there is a need for a variety of information work as well as demonstration plants that will serve as good practical examples. To increase the use of straw in regions with inferior harvesting conditions, there is a need for investigations about the variation in handling costs and harvesting security between different years. Furthermore, there is a need for studies of how various factors (rain, dew, soil type *etc.*) influence fuel quality, and for development of reliable and quick methods for measurement of various fuel properties. As straw is a comparatively cheap raw material, the possibilities to process it further and/or use it in new technical applications should be studied further. Finally, alternative ways to handle the ash, *e.g.* mixing it with various organic fertilizers, should be further investigated.

FÖRORD

Föreliggande kunskapssammanställning om läget för skörd, hantering och eldning med halm, har tagits fram som ett underlag för att bedöma inom vilka områden olika forsknings- och utvecklingsinsatser bör sättas in för att öka den framtida användningen av bränslehalm. Studien har genomförts och planerats av Sven Bernesson och Daniel Nilsson tillsammans. Sven Bernesson har stått för merparten av skriv- och beräkningsarbetet medan Daniel Nilsson bl.a. har stått för formuleringarna av slutsatserna. Per Anders Hansson har varit engagerad som diskussionspart och bollplank. Under projektet genomfördes en studieresa där flera av besöksvärdarna ställde upp och berättade ingående om sin halmbärgning och sina eldningsanläggningar m.m. Författarna tackar dessa för sin insats. Slutligen vill vi framföra ett tack till Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF), som har finansierat studien.

Uppsala i november 2005

Sven Bernesson och Daniel Nilsson

INNEHÅLL

1. BAKGRUND OCH SYFTE.....	7
1.1 Bakgrund.....	7
1.2 Syfte	8
2. ANVÄNDNINGEN AV HALMBRÄNSLE I SVERIGE	9
2.1. Historik.....	9
2.2. Dagens situation	9
2.3. En jämförelse med Danmark	10
3. SKÖRD OCH HANTERING.....	10
3.1. System baserade på storbalar.....	10
3.1.1. <i>Rundbalar</i>	10
3.1.2. <i>Rektangulära storbalar (fyrcantbalar)</i>	12
3.1.3. <i>Insamling och transport av både rundbalar och fyrcantbalar</i>	14
3.1.4. <i>Lagring av storbalar</i>	15
3.2. System baserade på hackad halm	18
3.3. Fältbrikettering	20
3.4. System baserade på helsädesskörd	21
3.5. Sammanfattning och ekonomi vid skörd och hantering av halm.....	21
3.5.1. <i>Sammanfattning av tidigare studier</i>	21
3.5.2. <i>Ekonomiska beräkningar i denna studie</i>	24
4. BRÄNSLEKVALITET	27
4.1. Vattenhaltens betydelse.....	29
4.2. Askhalt och asksammansättning.....	29
4.3. Asksmälttemperatur.....	30
4.4. Övriga kvalitetsfaktorer.....	31
5. FÖRÄDLADE HALMBRÄNSLEN	31
5.1. Briketter.....	32
5.2. Pelletter	33
5.3. Pulver	33
6. TERMISK OMVANDLING	35
6.1. Gårdsanläggningar.....	35
6.1.1 <i>Satsvis eldning av hela balar</i>	35
6.1.2 <i>Automatiskt matad panna</i>	37
6.2. Fjärrvärmeanläggningar	38
6.2.1 <i>Eldningsanläggningar för hackad eller riven halm</i>	38
6.2.2 <i>Pannor som eldas med delar av balar</i>	39
6.2.3 <i>Pannor för kontinuerlig eldning av hela halmbalar "Cigarrelldning"</i>	39
6.2.4 <i>Pannor för eldning av hela balar</i>	40
6.2.5 <i>Rökgasrening</i>	40
6.2.6 <i>Ackumulatortankar vid fjärrvärmeverk</i>	41
6.2.7 <i>Kontroll och reglering av fjärrvärmeverk</i>	41
6.2.8 <i>Bränslemixar med halm i fjärrvärmeverk för fasta bränslen</i>	41
6.3. Askhantering	43
6.4. Andra omvandlingsmetoder	43
6.4.1 <i>Traditionella kraftvärmeverk</i>	44
6.4.2 <i>Förgasning och pyrolys</i>	45
6.4.3 <i>Flash-pyrolys</i>	46
6.4.4 <i>Stirlingmotorer</i>	46
6.4.5 <i>Ångmaskiner</i>	47
6.4.6 <i>Halm som råvara vid tillverkning av metanol, DME eller Fischer-Tropsch-diesel</i>	47
6.4.7 <i>Halm som råvara vid tillverkning av etanol</i>	48
7. FÖRSLAG PÅ INSATSER FÖR ATT ÖKA ANVÄNDNINGEN AV BRÄNSLEHALM I SVERIGE	49
7.1. Informations- och demonstrationsprojekt.....	49
7.2. Hanteringskostnader och bärgningssäkerhet	50
7.3. Bränslekvalitet.....	51
7.4. Förädling	51
7.5. Askhantering	52

8. REFERENSER.....	53
BILAGA A: STUDIERESA TILL VÄSTERGÖTLAND, SKÅNE OCH SJÄLLAND.....	57
Norrvidinge Maskinstation.....	57
Sjöo gods.....	58
Kvänum värmeverk.....	60
Såtenäs värmeverk.....	61
Bal & Bobcat.....	62
Skurups värmeverk.....	65
Botillelunds Gård.....	67
Svalövs värmeverk.....	68
Køge Biopillefabrik.....	69
Haslev Kraftvarmeværk.....	71
Avedøreværket.....	72
BILAGA B: FÖRUTSÄTTNINGAR I EKONOMISKA BERÄKNINGAR.....	75

1. BAKGRUND OCH SYFTE

1.1 Bakgrund

De senaste hundra åren har energiförsörjningen i vårt samhälle baserats på icke-förnybara fossila bränslen såsom kol och olja. Under de senaste decennierna har dock forskning visat att användningen av fossila bränslen leder till den s.k. växthuseffekten, vilken i sin tur bl.a. leder till allvarliga störningar i vårt klimat. Dessutom är tillgången på fossila bränslen begränsad, vilket den enskilde konsumenten fått erfara på senare tid med bl.a. kraftigt höjda oljepriser.

Det finns flera exempel på att myndigheterna på olika nivåer har insett att vi inom en snar framtid måste bygga vårt samhälle på förnybara energikällor. Vid den internationella klimatkonferensen i Kyoto 1997 kom OECD-länderna och bl.a. länderna i forna östblocket överens om att minska utsläppen av växthusgaser. EU formulerade år 1997 i ”Community strategy and action plan” att användningen av förnybara bränslen inom unionen ska öka från 6 % till 12 % år 2010 (European Commission, 1997). I november 2005 uttalade sig den svenske statsministern om att år 2020 ska Sverige vara ”oberoende av fossila bränslen”.

Det energislag som i ett första skede kommer att få störst betydelse för att minska oljeberoendet i vårt land är troligen bioenergi. Användningen av bioenergi är stor redan idag (ca 90 TWh/år), tekniken har en hög ”mognadsgrad”, åtminstone när det gäller produktion av värme, och det skulle gå relativt snabbt att utöka användningen ytterligare. Den bioenergi som används i Sverige idag kommer till övervägande delen från skogen. I framtiden är det dock troligt att en större andel kommer att produceras på de ca 2,5 milj ha åkermark som finns i vårt land. Av denna areal är det idag endast några tiotusental ha som används för energigrödor, t.ex. *Salix*, energigräs och raps (för drivmedelsproduktion). Dessa grödor har dock haft svårt att nå upp till de förväntningar som funnits, bl.a. beroende på låg efterfrågan och en viss tveksamhet hos lantbrukarna när det gäller lönsamheten.

Det åkerbränsle som bedöms ha den största potentialen, åtminstone på kort sikt, är halm, som är en biprodukt vid odling av spannmål och oljeväxter. Ett föregångsland när det gäller användning av bränslehalm är Danmark, där man idag använder ca 1,5 miljoner ton per år (Danmarks Statistik, 2003). Idag används ca 0,1 milj ton bränslehalm i Sverige (SCB, 2003), medan den praktiska potentialen troligen är ca 1 miljon ton (Henriksson och Stridsberg, 1992; Sahlberg, 1990a; Sahlberg, 1990b), vilket motsvarar ca 4 TWh.

Fördelarna med att elda med halm är många. Förutom de miljömässiga, som att den är CO₂-neutral, leder ökad halmeldning till ökad sysselsättning på landsbygden och en ökad stimulans av den regionala ekonomin. För den enskilde lantbrukaren innebär ökad halmeldning oftast högre lönsamhet. Om han t.ex. säljer halmen på fältet får han en viss ersättning för den istället för om han plöjer ned den. Om han väljer att byta sin gamla oljepanna mot en halmpanna blir vinsten betydande. Om han dessutom förädlar bränslet och/eller säljer färdig värme, ger det ökad sysselsättning vintertid och en möjlighet att ytterligare öka sina inkomster. Man ska också komma ihåg att halm är ett ”lönsamt” bränsle ur energisynpunkt. Om man följer halmen hela kedjan från fält till färdig värme, och alltså även tar hänsyn till pannans verkningsgrad, åtgår endast ca 4 % av den erhållna energin för att framställa den. Om man även tar med den energi som indirekt behövs för att tillverka traktorer, maskiner, pannor, m.m., blir åtgången ca 8 % (Nilsson, 1999).

Då det finns stora reserver av halm som ej utnyttjas kan det vara av intresse att utveckla teknik som möjliggör att halmen används som råvara till framställning av drivmedel. Sådan teknik kan vara hydrolys och jäsning av halmens cellulosa och hemicellulosa till etanol men även framställning av syntesgas via förgasning till produktion av metanol, DME (dimetyleter) eller Fischer-Tropsch-diesel.

De nackdelar som är förknippade med en ökad användning av bränslehalm rör bl.a. minskad mullhalt, vilket leder till lägre porositet och minskad strukturstabilitet i vissa jordar, och bortförande av näringsämnen. Vid bärgning av halm bortförs emellertid mindre än hälften av den totala mängden organisk substans som finns i grödan (bortsett från kärnorna), eftersom återstoden (rötter, stubb, agnar, m.m.) oftast utgör mer än 50 %. För att långsiktigt bevara markens avkastningsförmåga, anger de rekommendationer som finns att man inte bör bärga halmen mer än en gång i växtföljden, och att man bör undvika bärgning helt om mullhalten understiger 4 % (Nilsson, 1999). Beträffande bortförande av näringsämnen, kan i princip full kompensation ske genom återföring av askan, förutom den kväve som förloras vid förbränningen. Ett annat argument mot halmeldning har tidigare varit de höga utsläppen av stoft, polyaromatiska kolväten (PAH) och dioxiner. Med modern eldnings- och reningsteknik kan man dock nå acceptabla utsläppsnivåer idag (Nikolaisen, 1998).

Halm har en hög halt av klor och alkalimetaller såsom kalium och natrium som kan orsaka problem vid förbränningen (Hadders & Flodén, 1997; Nikolaisen *et al.*, 1998) genom bildning av natriumklorid och kaliumklorid, vilka är mycket korrosiva, särskilt vid höga temperaturer. Problemen blir störst när man ska framställa el, då detta kräver högre temperaturnivåer. Ett annat problem vid halmeldning är att askan börjar mjukna vid relativt låga temperaturer (Nikolaisen *et al.*, 1998), ofta redan vid 800-850°C, men även vid så låga temperaturer som 600°C. Då askan är mjuk har den en tendens att bilda klumpar som sintrar och sedan fastnar i olika delar inne i pannan. Det blir då tidsödande att rengöra denna. Flygaska kan också fastna på pannans värmeöverförande delar och därmed hindra att värme avges från rökgaserna till pannans vatten.

Halm är även skrymmande jämfört med andra bränslen (Nilsson, 1991; Henriksson & Stridsberg, 1992), vilket medför att transporter och lagringen blir dyra. En storbal av hesstontyp kräver ungefär sex gånger så stor plats för samma mängd torrsustans jämfört med träbriketter och träpellets. Är halmen riven eller hackad blir dess volym betydligt större. Vid transport blir därför fordonens lastkapacitet svår att utnyttja fullt ut vilket gör att längre transporter blir dyra. En 24 m lång lastbil kan lasta 28 st storbalar av hesstontyp som i bästa fall väger ca 500 kg/styck, alltså 14 ton. Samma lastbil får lasta ungefär 40 ton om den har en totalvikt av 60 ton.

1.2 Syfte

Som det har framgått av det ovanstående, har det funnits en hel del problem vid användning av halm som bränsle. Det övergripande syftet med denna studie har därför varit att ge en översikt över den bärgnings-, hanterings- och eldningsteknik som används idag, och sedan ge förslag på olika forsknings- och utvecklingsinsatser för att öka nyttjandet av bränslehalm i Sverige.

Speciell fokus har legat på användning av halmen för termokemisk omvandling till värme, men även andra användningsområden, t.ex. för framställning av gasformiga och flytande bränslen, exempelvis genom förgasning och pyrolys, har behandlats. Studien utgick framförallt från ett lantbrukarperspektiv, eftersom det i första hand är lantbruket, tillsammans med olika värmekunder, som måste ta första initiativet i en större satsning. I samband med studiens genomförande, gjordes också en resa till bl.a. södra Sverige och Danmark för att samla in praktiska erfarenheter (se bilaga A). Dessutom har några ekonomiska kalkyler gjorts för att jämföra kostnaderna för olika hanteringssystem (se bilaga B).

2. ANVÄNDNINGEN AV HALMBRÄNSLE I SVERIGE

2.1. Historik

Halm har sedan lång tid tillbaka använts till husdjur som foder och som strö (Nielsen, 2003). Under 1960 och 1970 talen uppstod ett överskott av halm inom jordbruket, men det var först efter energikrisen 1973 som halm började användas till uppvärmningsändamål, särskilt i Danmark.

Tidigare innebar bärning av halm mycket manuellt arbete. Halmen pressades till små balar, antingen löspressade med en densitet på 45-65 kg/m³ och en vikt på 8-12 kg, eller hårdpressade med en densitet på 90-100 kg/m³ och en vikt på 10-14 kg. Balarna lastades för hand vilket innebar mycket arbete. Med tiden effektiviserades hanteringen genom att balbanor till efterföljande vagn, balkastare, självlastande balvagnar och stackningsmaskiner m.m. tillkom. Vid lagret, vanligen en skulle eller en lada, lastades balarna av antingen för hand, med hiss och hissnät, eller med hjälp av en baltransportör (denna lastades vanligen för hand och i andra änden fick någon manuellt ta emot halmbalarna). Den teknik som idag tillämpas för storskalig hantering av stråbränsle i bärningssystem för stora fyrkantbalar och rundbalar är till stora delar utvecklad i Danmark, Storbritannien och Nordamerika (Hadders & Nilsson, 1993).

2.2. Dagens situation

I Sverige eldas idag några tiotal tusen ton halm i ett tiotal värmeverk och enligt SCB (2003) nästan 82 000 ton i mindre pannor ute på något eller några hundratal gårdar och liknande. Totalt används alltså idag drygt 100 000 ton halm (0,4-0,5 TWh: halm med effektiva värmevärdet 4 MWh/ton vid 15 % vattenhalt) för uppvärmningsändamål i Sverige.

Tillgången på bränslehalm i Sverige har beräknats i flera studier. Eftersom tillgången på halm framförallt är beroende av grödor som ger halm, samt användningen av halm som bäddmaterial i djurhållningen, förändras tillgänglig mängd ständigt. En viktig fråga man bör ställa är hur ofta i växtföljden det är lämpligt att bärga halmen från ett och samma fält. Detta beror på markens innehåll av mull samt hur stark jordens struktur är. De gånger halmen plöjs ner bidrar ju denna till att öka markens halt av kol och därmed mull (Nikolaisen *et al.*, 1998). Hur ofta man kan bärga halmen varierar därför från fält till fält samt om man har tillgång till organiska gödselmedel eller inte. En annan sak som påverkar hur mycket halm som kan bärgas i ett område är hur vädret under bärningssäsongen brukar vara. Detta avgör hur mycket halm som är möjligt att bärga med en tillräckligt god kvalitet. Förhållandena är ju mycket gynnsammare i Skåne än t.ex. i Mälardalen. Detta är viktiga orsaker till att den tillgängliga halmmängden för eldningsändamål blir lägre än de teoretiska halmtillgångarna.

Henriksson och Stridsberg (1992) uppskattade tillgångarna av bränslehalm i Kalmar, Gotlands, Blekinge, Kristianstad, Malmöhus, Hallands, Älvsborgs, Skaraborgs och Värmlands län till mer än 800 000 ton per år eller nära 3,5 TWh, med stora variationer mellan länen. Enligt beräkningar av Sahlberg (1990a) kan det finnas halmtillgångar på 200 000 ton i Stockholms, Uppsala, Södermanlands och Västmanlands län och enligt beräkningar av Sahlberg (1990b) ytterligare 200 000 ton halm i Östergötlands och Örebro län. Det är rimligt att hälften av den halmmängd som redovisas i Sahlbergs båda rapporter kan bli tillgänglig för bränsleändamål. Sedan ovan nämnda rapporter publicerades har åkerarealen minskat med ca 6 % i Sverige, medan spannmålsarealen varit ganska konstant (SCB, 2005a), vilket tyder på att mängden tillgänglig halm för eldningsändamål inte har minskat. Antalet nötkreatur har minskat med drygt 10 % (SCB, 2005a) vilket kan ha medfört att mängden tillgänglig halm för eldningsändamål ökat, men å andra sidan har växtförädlingen lett till kortare strån. Tillsammans kan detta tyda på att det finns outnyttjade halmtillgångar, som kan användas till eld-

ningsändamål, på drygt 1 miljon ton (ca 4 TWh). Energipotentialen i den totala mängden halm i landet anges av Henriksson och Stridsberg (1992) till ca 10 TWh.

En anledning till att halm inte används som bränsle i Sverige i större omfattning är att här finns stora tillgångar av olika trädränslen, som kan eldas i enklare och billigare pannor.

2.3. En jämförelse med Danmark

I Danmark användes 1 440 000 ton halm (16 719 TJ) för energiändamål år 2003 (Danmarks Statistik, 2005). Denna halm användes som bränsle i 120 halmeldade fjärrvärmeverk och i ca 10 000 mindre pannor på gårdar, företag m.m. (IEA, 2005). Man tror att halmanvändningen i Danmark kommer att öka med 15-20 % under de närmaste åren (från år 2003) beroende på att många nya projekt är under färdigställande (Schultz, 2003). I Danmark odlades ca 1 487 000 ha spannmål år 2003 (Danmarks Statistik, 2005), vilket innebär att användningen av bränslehalm motsvarade ungefär 1 ton per hektar odlad spannmål. I Sverige odlades under detta år ca 1 154 000 ha spannmål (SCB, 2005a). Betraktas användningen av bränslehalm i relation till spannmålsodlingen, framkommer det tydligt att användningen i Sverige endast är en bråkdel av den i Danmark.

3. SKÖRD OCH HANTERING

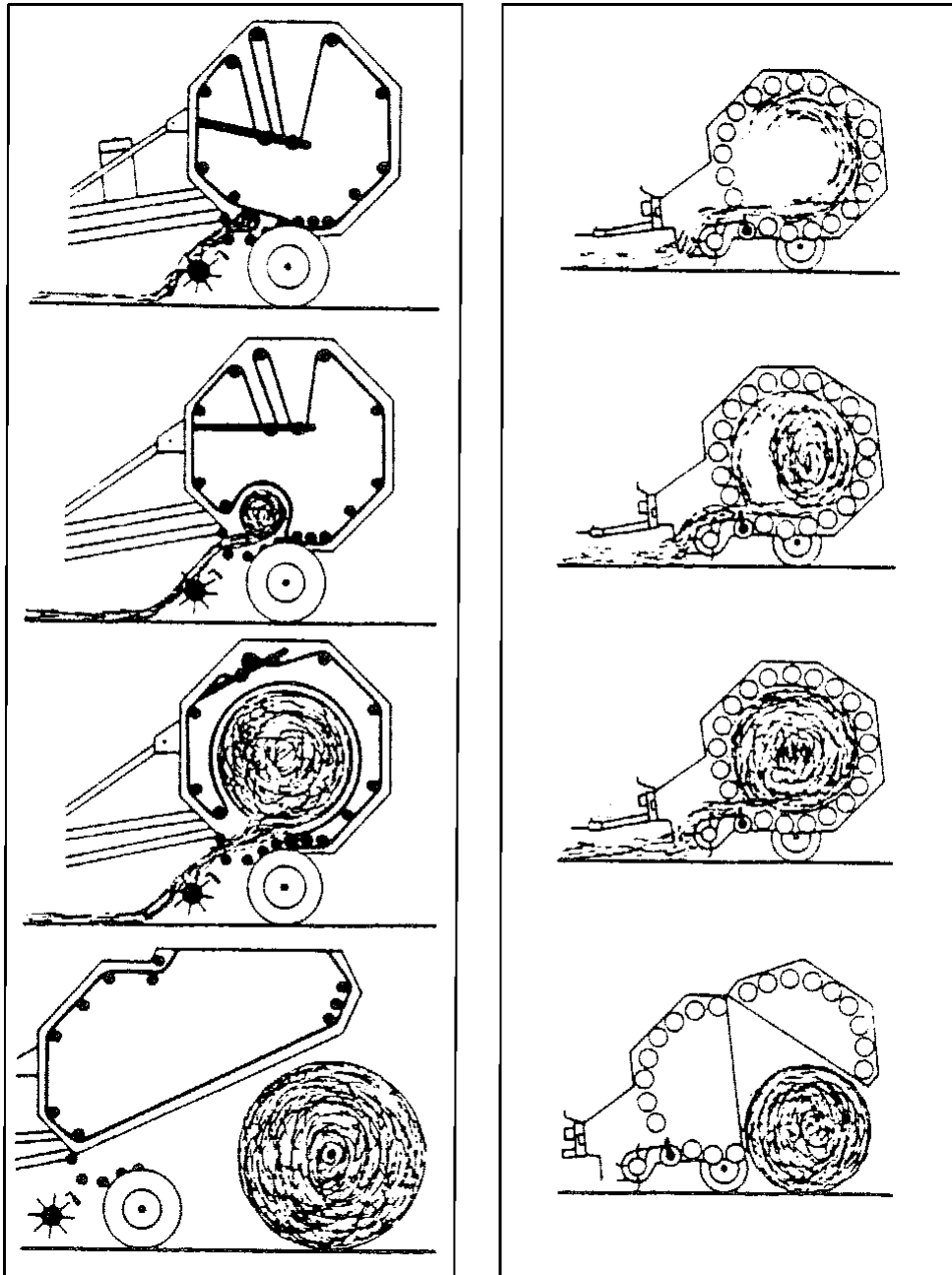
Vid bärning av halm är kapaciteten viktig, dels för att en god ekonomi ska erhållas men även för att man med tillgängliga maskinresurser ska hinna bärga en tillräckligt torr halm av god kvalitet. Dessutom skall fälten i många fall beredas för höstsådd av nästkommande års gröda direkt efter bärningen. Nedan beskrivs flera olika sätt för omhändertagande av halmen.

3.1. System baserade på storbalar

Det finns två huvudtyper av storbalar: rundbalar och fyrkantbalar. De pressas med vitt skild teknik i olika typer av pressar med olika effektbehov. De passar vid eldning i olika typer av pannor och eldningssystem. Hanteringen av storbalar är både mindre arbetskrävande och billigare jämfört med hanteringen av småbalar.

3.1.1. Rundbalar

Det finns idag två huvudtyper av rullpressar, flex- och fixkammарpressar (figur 1) (Nilsson, 1991; Nielsen, 2003). En flexkammарpress har flexibel pressvolym, dvs. rullen pressas från kärnan ut till manteln. Densiteten blir därför densamma i hela balen. Balens diameter och densitet kan varieras. En fixkammарpress har fixerad pressvolym, där rullen pressas först när kammaren är full. Balens kärna blir lös, medan ytskiktet blir hårt pressat. Det finns pressar som kan arbeta enligt både flex- och fixkammарprincipen.



Figur 1. Rundbalspress av flexkammartyp (t v) och av fixkammartyp (t h) (Nilsson, 1991).

När transport- och lagringsekonomi prioriteras, t.ex. för halm till värmeverk, är flexkammartypen mest lämplig eftersom dess pressningsgrad är något högre. Rundbalspressarnas effektbehov är 30-70 kW (Nilsson, 1991; Nielsen, 2003), och de arbetar med presstryck understigande 1 bar.

Rundbalspressarna har en indikator som visar när kammaren är fullmatad. När så är fallet stannas maskinen och garn lindas 10-18 varv omkring balen. Snöret knyts inte. Det är samma typ av garn som används till småbalar, men åtgången är 60 % mindre per viktenhet halm. Det finns rundbalspressar som har en reservkammare för snörning och utsläpp av balarna. Dessa maskiner behöver inte stannas då balen binds och släpps ut. Deras pris är emellertid det dubbla. Tiden för att binda rundbalarna har under senare år kunnat minska rejält (från 0,73 till 0,38 minuter/bal enligt Nielsen och Mortensen (2001a och 2001b)).

Rundbalspressar kan förses med en hack som snittar halmen i lämpliga längder. Detta underlättar sönderdelning av balarna och hantering i senare skeden.

För en rundbalspress med en genomsnittlig nettokapacitet på 9,9 ton per timme anges bruttokapaciteten variera mellan 5,1 och 5,7 ton per timme (ungefär samma bruttokapacitet som småbalspressarna) (Nilsson, 1991). Nielsen (2003) anger rundbalspressarnas kapacitet till 11-16 ton per timme. Nyare rundbalspressar uppges ha en nettokapacitet på 13,6 ton per timme motsvarande en bruttokapacitet på 8,2 ton per timme (Nielsen & Mortensen, 2001a och 2001b). Den stora skillnaden mellan nettokapacitet och bruttokapacitet beror på att pressen måste stannas vid bindning (gäller ej alla rundbalspressar) (Nilsson, 1991; Nielsen, 2003). För själva pressningen åtgår 50-59 % av arbetstiden, medan bindningen av balen tar 21-32 %. Resten av tiden används till vändningar, personliga pauser m.m. Kapaciteten är 20-25 balar per timme.

Genom att binda balarna med nät (eller plast) istället för med garn, kan kapaciteten öka med upp till 30 %. Då blir den tid som pressen står stilla för bindning bara en tiondel mot vad som är fallet vid garnbindning. Nackdelen med nät är att kostnaderna stiger avsevärt.

Rundbalarnas bredd är numera oftast 1,2 m medan deras diameter vanligen varierar mellan 1,2 och 1,8 m. Med en densitet på 100-120 kg/m³ väger balarna 150-330 kg (Nilsson, 1991; Nielsen, 2003). Under senare år har rundbalarnas densitet kunnat ökas till i genomsnitt 121 kg/m³ för nyare pressar (Nielsen & Mortensen, 2001a och 2001b).

Hantering av rundbalar sker vanligen med frontlastare (Nilsson, 1991; Nielsen, 2003). Om balarna hanteras med vågrät axel, används ett spjut eller en gödselgrip där några pinnar tagits bort. Om alla pinnar utom de två yttersta tagits bort kan två balar hanteras samtidigt. För balar som hanteras med lodrät axel, dvs. stående, används en grip i frontlastaren. Även här går det utmärkt att hantera två balar samtidigt om balarna placeras ovanpå varandra. Kapaciteten vid insamling med frontlastare är 9-13 ton/timme. Spjut och hydraulisk grip kan även kopplas till traktorns trepunktslyft.

En automatvagn, som kan ta 4-8 balar, kan vara lämplig för insamling och transport av balar vid korta transportavstånd. Dessa vagnar lastar av balarna en och en stående med lodrät axel eller som stående i en pelare om underlaget är jämnt.

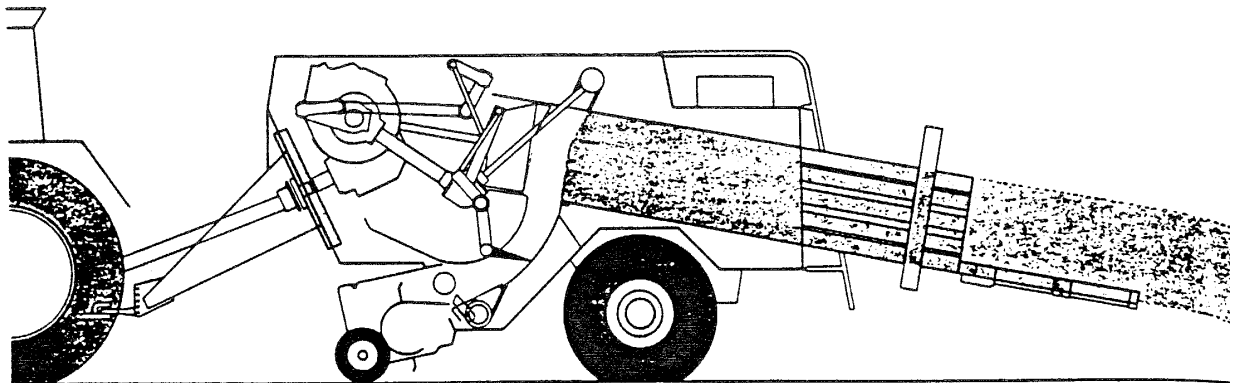
Insamling och hantering av stående rundbalar kan utföras med högre kapacitet än när balarna hanteras liggande (såsom de är när de lämnar pressen). Hantering av balarna stående har en rad fördelar, t.ex. kan balarna staplas högre i lagret (upp till 7 m är möjligt), balarna behåller lättare sin runda form, och garnen angrips mindre av gnagare.

Rundbalar tål, till skillnad mot småbalar och även fyrkantbalar, en viss mängd nederbörd (Nilsson, 1991). För rundbalar gäller detta särskilt de balar som pressats med fixkammarpres, där balens mantelyta är hårt pressad och därför relativt vattenavvisande.

3.1.2. Rektangulära storbalar (fyrkantbalar)

Intresset för fyrkantbalar med hög densitet, vilket underlättar transport och lagring, ökade i början av 1980-talet då Hesstons modell 4800 kom (Nilsson, 1991; Nielsen, 2003). Dessa balar kallas även hesstonbalar eller högdensitetsbalar. Denna typ av press hade redan då den kom en hög pressningskapacitet som ökats och nästan fördubblats under senare år p.g.a. ökade körhastigheter och färre och kortare driftavbrott (se bilaga A).

De flesta högdensitetspressar har en likartad konstruktion (Nilsson, 1991). Upptagning sker med en pick-up, och via tvärmatarskruvar förs halmen till inmatningskanalen (figur 2). I denna förkomprimeras materialet genom att det portionsvis matas in i kanalen, vars utlopp är stängt av presskolven. Efter några portioner har presskolven lämnat öppningen fri, och halmen förs in i presskanalen, där pressning till balar sker. Presskammaren kan under komprimeringen antingen vara öppen eller stängd i pressriktningen. Maskiner som arbetar enligt den förnämnda principen kan variera pressningsgraden med hjälp av hydraulkolvar, vilka påverkar presskanalens väggar. Nyare pressar har elektroniska hjälpmedel: t.ex. givare som känner av pressningsgraden, indikerar fel vid knytningen m.m. Effektbehovet är 60-110 kW, och pressarnas vikt är omkring 5-6 ton. Presstrycket är 3-5 bar. Det finns pressar som grovhackar halmen innan den pressas. Balarnas densitet efter denna hackning ligger på 110-190 kg/m³, vanligen runt 130-140 kg/m³. Nielsen och Mortensen (2001a) ger ett exempel där balarnas densitet ökade från 130 till 156 kg/m³ när halmen hackades i samband med pressningen.



Figur 2. Claas Quadrant 1200 i genomskärning (Nilsson, 1991).

Det finns en presstyp som är en kombination mellan rundbalspressar och fyrkantpressar (Nilsson, 1991). Denna presstyp arbetar utan kolv, vilket medför att maskinen har ungefär samma effektbehov som rundbalspressarna. Balarna får måtten 1,2 m * 1,2 m * 2,4 m, och för halm blir densiteten ca 130 kg/m³.

Enligt Nilsson (1991) ligger nettokapaciteten för en Hesston 4800 på 13-23 ton/timme (Nielsen, 2003: 16-21 ton/timme) med ett genomsnitt kring 18 ton/timme (Nielsen, 2003: 19 ton/timme). Beroende på avkastningsnivå (2-7 ton/ha) ger detta en nettokapacitet på 11-14 ton/timme. Idag har denna kapacitet i det närmaste fördubblats. Framkörning och skötsel ger minst 30 % tillägg till den effektiva pressningstiden.

Fyrkantbalar av hesstontyp är den typ av halmbalar som de flesta värmeverk tar emot (Nielsen, 2003).

Varianter av något mindre fyrkantbalar än hesstonbalarna förekommer även (Nilsson, 1991; Nielsen, 2003). Sådana balar har ofta en vikt kring 200 kg. Dessa balar används främst inom lantbruket för uppvärmning, foder och strö då den lägre vikten gör dem lättare att hantera (Nielsen, 2003).

3.1.3. *Insamling och transport av både rundbalar och fyrkantbalar*

Då balarna ligger utspridda på fältet är det lämpligt att först samla ihop dem till en fältkant före lastning (Nilsson, 1991; bilaga A). Detta medför att lantbrukaren får tillgång till sitt fält tidigare, samt att man undviker att köra ut på fältet med ett tungt transportsläp.

Om en balsamlingsvagn eller en släde kopplas bakom pressen kan mycket tid och arbete sparas (Nilsson, 1991; bilaga A). Vagnen samlar upp balarna bakom pressen, och släpper sedan av dem vid fältkanten eller där föraren önskar. Insamlingen av balar underlättas avsevärt med detta system. Pressens kapacitet minskar obetydligt eller inte alls då balarna läggs av i farten. En idag vanlig balsamlingsvagn klarar av att hantera tre fyrkantbalar av hesstontyp (bilaga A).

Hopsamling och lastning av balar kan organiseras på två sätt (Nilsson, 1991):

1. En person med lastartraktor och vagn utför insamlingen själv. Vagnen flyttas när det blir för långt att köra efter balarna. Traktorn är utrustad med hitch-krok så att föraren slipper lämna traktorn vid omkoppling.
2. En traktor med frontlastare (eller en lastmaskin) lastar hela tiden, och en annan följer efter med traktor och vagn.

Det finns en stackningsvagn som klarar av att stacka fyrkantbalar (av hesstontyp) 5 balar högt och 10 stycken åt gången (se bilaga A: bild A5). Traktorn med stackningsvagnen kör i det drag där pressen tidigare kört. En kraftig stör längst fram på traktorn knuffar till balen så att den vrids 90° och hamnar i rätt läge för lastning på stackningsvagnen. Denna lastar balen automatiskt och allt sker medan traktorn i full fart körs framåt. Då stackningsvagnen är full körs den till fältkanten och stacken sätts av. Balarna tippas då 90° så att de blir liggande på sidan och tål att staplas högt på höjden. Stackningsvagnen fungerar inte bra ihop med de balsamlingsvagnar som lägger av balarna 3 och 3 efter pressen, ty då blir det för trångt för traktorn med stackningsvagnen att arbeta. Stackningsmaskinen uppges spara in mycket tid jämfört med om balarna samlats in och stackats vid fältkanten med frontlastartraktor eller hjullastare. Det finns även stackningsvagnar som på liknande sätt kan stapla 2 pelare med rundbalar 5 balar högt (Nielsen, 2003).

Till både lastning och avlastning används frontlastare, hjullastare, teleskoplastare eller liknande, vilka kan gripa om balen och lyfta upp den på en vagn (Nilsson, 1991). Det är en fördel om lastaren är utrustad med parallellföring av grepen. Med lastbilar utrustade med kran kan chauffören själv lasta både bil och släp, förutsatt att balarna ligger inom räckhåll. Teleskoplastaren kan stapla balarna mycket högt, och den är lämplig vid på- och avlastning både inomhus och utomhus. Den är en förutsättning vid mycket höga stackar utomhus.

Transportkapaciteten beror främst av transporthastigheten, avståndet och lassvikten. Avståndet, och delvis hastigheten, kan oftast inte påverkas. Önskar man öka transportkapaciteten, måste därför lassvikten öka. Då halm är mycket skrymmande, begränsas den maximala lastkvantiteten av lastfordonets volymkapacitet.

Vid transport av rundbalar och fyrkantbalar är det viktigt att man väljer lämpliga mått på lastfordonen och balarna, samt använder den mest fördelaktiga stuvningsgeometrin. Genom att optimera dessa faktorer kan man uppnå högsta möjliga utnyttjande av tillgänglig lastförmåga.

Då både den vanligaste typen av rundbalar och fyrkantbalar har bredden 1,2 m eller något mer, och eftersom tillåten lastbredd på väg är 2,6 m, går det bra att lasta två av dessa typer av balar i bredd. Då maximalt tillåten lasthöjd är 4,5 m, kan 3 liggande balar med bredden 1,2 m, eller stående balar med höjden 1,2 m lastas i höjd om flakets höjd är maximalt 0,9 m, annars

kan bara 2 balar lastas ovanpå varandra. Det är bra om man, särskilt för rundbalar, noga och geometriskt räknar igenom hur man ska lasta för att få med maximalt antal balar per lass.

Fyrkantbalar har ofta 1,5 gånger så hög densitet som rundbalar, dessutom utnyttjar de en given volym betydligt bättre, vilket gör att de får stora fördelar vid lagring och transport (Nilsson, 1991). Pressar med variabel ballängd kan anpassa ballängden med hänsyn till transportfordonens flaklängd. Dessa balar kan utnyttja flakets yta maximalt om balbredden utgör en multipel av flakets bredd. Är dessutom balhöjden en hel multipel av lasthöjden, utnyttjas volymen maximalt.

3.1.4. Lagring av storbalar

De krav man bör ställa i samband med lagring av halm är följande (Nilsson, 1991):

- * Förlusterna ska vara små.
- * Materialet ska efter lagringen vara ofarligt att hantera.
- * Materialet ska efter lagringen vara fullt användbart.
- * Risken för självantändning ska minimeras.
- * Hanteringen bör vara enkel.
- * Kostnaderna bör vara så låga som möjligt.

Förlusterna under lagringen består dels av förluster orsakade av mikrobiell aktivitet, dels av material som efter lagringen måste kasseras (Nilsson, 1991). Till lagringsförlusterna hör även spillet som uppstår vid hanteringen av halmen.

Mögelsvampar och vissa bakterier förökar sig genom att bilda sporer (Nilsson, 1991). Sporererna kan följa med inandningsluften ner i lungorna. Om man andas in stora mängder sporer riskerar man att drabbas av lungsjukdomen alveolit (lantbrukarlunga eller tröskdammlunga), som kan ge skador för livet. Alveolit kan uppträda akut eller komma långsamt smygande. Vid exponering under lång tid kan man drabbas av allergisk alveolit, som ger överkänslighet mot damm. Risken att personalen ska insjukna i alveolit kan minskas om halmen hanteras i slutna system. Detta skulle i de flesta fall bli mycket dyrt, och mögelbildning ska därför förhindras så långt det är möjligt. Balar som angrips av mögel har ofta mer mögel inuti balarna än på utsidorna. Vid sönderdelning av balarna före förbränning är riskerna således större än om balarna eldas hela. Balar som innehåller mögel blir också svårare att sönderdela då halmen i det mögeldrabbade området ofta klistras ihop till en klump (bilaga A). Detta är ytterligare ett skäl till att efterstäva mögelfri halm.

När mögelsvampar och bakterier bryter ner halmen bildas värme och vatten (Nilsson, 1991). Om temperaturen i lagret stiger över 60°C startar kemiska reaktioner som kan medföra att temperaturen stiger till flera hundra grader. Risken för självantändning är då mycket stor.

Hanteringen av halmen vid lagringen bör vara enkel och rationell, eftersom inlagringen sker i en bråd tid för lantbrukaren (Nilsson, 1991). Eftersom halm är ett skrymmande bränsle, blir volymbehovet per kg bränsle stort. Kostnaderna för t.ex. inomhuslagring kan därför bli höga.

Det svenska höstklimatet, särskilt då i mellersta Sverige, kan göra det svårt att bärga halm med tillräckligt låg vattenhalt (Nilsson, 1991). Det finns uppgifter om att halmen bör kunna betraktas som lagringsduglig vid en vattenhalt på maximalt 18 %. Halmvärmeverk i både Sverige och Danmark tar vanligen inte emot halm med högre vattenhalt än 20 % (bilaga A). De företag som pressar halm åt lantbrukarna brukar sluta pressa då vattenhaltsgivarna på pressarna visar att vattenhalten i halmen överstiger 19 %.

Det finns exempel på att man med kallluft lyckats torka ned halmbalar från 30 % till 18 % vattenhalt under september månad (under ett "normalt" år) (Nilsson, 1991). För att detta ska lyckas får balarnas densitet ej överstiga 80-90 kg/m³, och de måste dessutom staplas noga på torken. Man bör vara uppmärksam på att torkning av halm under de flesta år senast kan ske under september månad, eftersom luftens vattenupptagande förmåga avtar under höstmånaderna. Rundbalar ställda i pelare, försedda med täckning överst, kan självtorka till en vattenhalt på ca 18 % om bärgningsvattenhalten ej är för hög. Man får dock vara beredd på att dessa balar kan få stora mögelangrepp. Torkning av halm ovanpå grenkanaler blir troligen för dyrt.

Vid nybyggnad av lager för rundbalar bör man överväga att förse lagret med ett luftningssystem (Nilsson, 1991). Om halmen inte är tillräckligt torr för lagring, uppstår vid pelarstapling en s.k. "skorstenseffekt". När balarna "tar värme" stiger luft och vatten upp genom pelarna. Balarna kyls och torkar i någon mån. Genom att ställa pelarna på ett ribbgolv, kan balarna ventileras. Det går inte att köra in mycket fuktig halm och sedan låta den torka på ovan nämnda sätt. Halmen måste redan vid bärgningen vara i stort sett tillräckligt torr för lagring.

Nyligen har enkel och billig teknik tagits fram för torkning av hörundbalar (Löfgren, 2005). Denna teknik borde även gå att tillämpa på halmbalar. Ett plaströr med hål i trycks genom ett antal balar med ett specialverktyg och kopplas sedan till en fläkt som blåser luft genom halmen/höet. Plaströret som trycks in i balarna, med det torpedliknande verktyget, har en diameter på 150 mm. I bakre änden av den sista balen placeras en skiva, liksom framför den främre balen. I det sista momentet innan fläkten startas spänns dessa skivor ihop med spännband. Spännbanden måste spännas under torkningen med jämna mellanrum eftersom halmen/höet krymper något. Bäst resultat erhålls med balar som pressats med en fixkammarepress på grund av att dessa får en lösare kärna. Det är även viktigt att balarna är jämnstora och jämnhårda, samt att de är lagom hårt pressade (ca 250 kg/bal). Vid placering av balarna efter varandra är det viktigt att inga glipor finns där luften kan smita ut. Vid de försök som gjorts har 21 balar torkats liggande åt gången i 3 rader kopplade till en fläkt. Vattenhalten vid torkning av hö sjönk från 19 till 16 % under knappt ett dygns torkning.

3.1.4.1. Lagring utomhus

Utomhuslagring medför relativt låga kostnader, men det finns ingen garanti för att den ska lyckas (Nilsson, 1991). Investeringen är emellertid liten, och man binder ej upp sig. Utomhuslagring kan förekomma som komplement till inomhuslagring. De första månadernas förbrukning kan lagras utomhus för undvikande att uppföra lagerbyggnader som bara används kort tid. Under år med stora halmskördar kan mer halm bärgas för att kompensera mot eventuella sämre år. Överskottet lagras utomhus. Rundbalar är mer tåliga vid utomhuslagring och motståndskraftiga mot nederbörd jämfört med rektangulära fyrkantbalar som är känsliga för nederbörd och därför bör komma under tak snarast möjligt.

Lagring utomhus utan täckning är den absolut billigaste, men mest riskfyllda lagringsmetoden (Nilsson, 1991). Ibland kan metoden rentav bli den dyraste om kassationsförlusterna inräknas. Vid värmeverket i Svalöv samt vid några stora lager några kilometer bort lagras fyrkantbalar (av hesstontyp) utomhus utan täckning (bilaga A). Stackarna är ungefär 10 m höga (8 balar), och byggda enligt konceptet "ju högre stackar, desto mindre andel balar drabbas av nederbörd ovanifrån". Översta balen skyddar underliggande balar från nederbörd. Dessa balar går att använda som skydd under 2-4 år beroende på hur fort de får nederbörd på sig efter skörd och pressning. Balen blir mer tålig om den inte drabbas av nederbörd då den är nypressad. Underlaget består av asfalt och hanteringen sker med teleskopplastare.

Övertäckning av utomhusstackar med plast kan vara ett billigt alternativ, men det finns nackdelar (Nilsson, 1991). Det kan vara svårt att förankra plasten så att den ej blåser bort, fåglar kan hacka hål i den, och det bildas ofta kondensvatten överst i stacken. För att undvika kondensvatten kan man ha stackens sidor delvis öppna, men man riskerar då att halmen fuktas upp av slagregn. Plasten hålls bättre på plats om den täcks av ett fisknät eller liknande. Detta nät kan sedan hållas på plats med sandsäckar, bildäck eller liknande. Höga krav ställs på plastens kvalitet och säkring.

Det finns en maskin som kan plasta in två hesstonbalar ovanpå varandra lagda i en lång sträng, en s.k. tube-liner (se bilaga A: bild A6). Balarna lyfts upp på en ställning med en frontlastare, och plastas in som en lång ”kolv” efterhand som de fylls på. Balar som ska plastas in får maximalt ha en vattenhalt på 14 %, annars bildas kondensvatten.

En presenning skadas mindre av djur, och påverkas inte lika mycket av vinden eftersom den är tyngre (Nilsson, 1991). Lämpligt material i den mest väderbeständiga och hållbara typen är PVC-polyester. Nackdelar är att det finns risk för avblåsning och att stacken kräver tillsyn.

En rundbals mantelyta tål en viss mängd nederbörd, vilket medför att en pelarstacks sidor inte behöver täckas (Nilsson, 1991). Andra fördelar med pelarstackar är att de exponerar minimal yta mot omgivningen, och att de är lätta att stadga (en spännkedja kan läggas runt det översta lagret balar). Det finns speciella presenningar som passar runda stackar. Hörnen på presenningen fästs med krokare som borrar in i halmen. Antalet pelare i stacken är oftast 7 eller 19, men stackar med 37 pelare förekommer.

En del lantbrukare har byggt enkla och billiga stolplador (Nilsson, 1991). Stolparna kan vara impregnerade telefonstolpar. Genom att ha ett tillräckligt takutsprång, t.ex. 1 m, skyddas halmen tillräckligt. För att få större lagringssäkerhet kan man ha väggar på en eller flera sidor, förslagsvis på väst- och nordsidan. Vid lagring av lösa balar och hackelse krävs väggar på alla sidor. Konstruktionen gör det lätt att köra in halmen, och ingen port krävs. Byggnaden kan göras hög, och medger då stapling av t.ex. fem storbalar ovanpå varandra. Större lager kan utrustas med stålramar och betonggolv.

3.1.4.2. Lagring inomhus

En byggnad ger många fördelar vid halmlagring (Nilsson, 1991). Halmen förblir torr, och det är inte nödvändigt med tillsyn. Det blir dock en mycket större investering, och man binder sig att använda byggnaden i många år.

Finns det lediga byggnader är det naturligtvis nära till hands att utnyttja dem (Nilsson, 1991). Äldre byggnader kan dock sällan uppfylla de krav som ställs idag. Man bör kunna stapla högt utan att störas av stolpar och bjälkar. Vid hantering av storbalar krävs dessutom att man kan köra med traktor och frontlastare inomhus. Det kan bli nödvändigt att göra en ombyggnad för att underlätta hanteringen. Om en del av byggnaden används till annan verksamhet kan det med hänsyn till brandrisken vara lämpligt att uppföra en brandmur. Vidare bör byggnaden vara lätt tillgänglig, så att transport till halmförbrukaren kan ske med större transportfordon, t.ex. lastbilar.

Maskinhallar kan vara lämpliga som halmlager (Nilsson, 1991). En nackdel är att takhöjden ofta är för liten. Nybyggda hallar bör ha en lagringshöjd på minst 7,2 m för att möjliggöra lagring av minst 6 rundbalar eller fyrkantbalar av hesstontyp ovanpå varandra. Golvet i dessa hallar bör vara fuktspärrat. Har hallen jordgolv är det lämpligt att lägga ut en plastfolie eller pallar som balarna sedan staplas på. Vid nybyggnad kan det vara tillrådligt att göra lagret luftningsbart med nedgrävda kanaler och körbart ribbgolv.

3.2. System baserade på hackad halm

Bärgning av halm genom fälthackning innebär att halmsträngen tas upp av en bogserad eller självgående hack, som sedan blåser/lastar över hackelsen i en efterföljande vagn (Nilsson, 1991; Nielsen, 2003). Om halmen måste hackas, t.ex. vid tillverkning av briketter eller pelletter, kan det vara en fördel att hacka den redan på fältet. Man behöver då inte först bärga den i balar och sedan lösa upp dessa igen. Låg densitet och relativt komplicerad hanteringsteknik gör emellertid att transport och lagring blir dyrt.

Det är viktigt för bärgningssystemets ekonomi att befintliga maskinsystem, vilka används till annat än halmbärgning, används så långt möjligt (Stridsberg & Christensson, 1995 och 1997). För maskinsystemen gäller det faktum att de fasta kostnaderna måste slås ut på ett så stort antal användningstimmar som möjligt, utan att man ger avkall på möjligheterna att utföra arbetet vid tidpunkt och betingelser som är acceptabla.

Fälthackning kan ske med bogserad exakthack, självgående exakthack eller lastarvagn försedd med knivar. Vagnarna är försedda med höga sidor för att få så stor volym som möjligt. Det är en fördel om perforerat tak, som reducerar spillet avsevärt, används.

Hackelsens densitet beror på vattenhalten, hackselängden och packningsgraden (Nilsson, 1991). Torr ohackad halm har en densitet kring 10 kg/m^3 . Snittning till längder mindre än 100 mm medför en avsevärd ökning av densiteten. Kortare snittlängder medför en högre energiförbrukning, särskilt då för snittlängder mindre än 40 mm. Snittlängden blir därför en kompromiss mellan kraven på hög densitet och låg energiförbrukning. Vid bärgning med den teknik som beskrivs ovan blir hackelsens densitet i transportvagnarna $40\text{-}54 \text{ kg/m}^3$. Hackelsens lagringsdensitet bestäms av lagringshöjden och eventuell packning. Vid normalt förekommande lagringshöjder får opackad hackelse en densitet på $50\text{-}70 \text{ kg/m}^3$. Efter en tids lagring eller om hackelsen packas vid fläktinlagring blir densiteten ca $70\text{-}80 \text{ kg/m}^3$ (Nielsen, 2003). Packning genom vibrering eller valsning medför att densiteten kan höjas med ungefär 60 %, men det kan, i praktiken, vara svårt att använda dessa metoder. Nya självgående hackar har en kapacitet på ca 30 ton torrsustans/timme jämförbart med de bästa halmpressarna (Nielsen, 2003).

Transport till lagret bör ske med vagnar som kan ta stora lastvolymmer (en lassvikt på 900-1620 kg är vanlig med vagnar som rymmer $20\text{-}30 \text{ m}^3$ och upp till 2700 kg om vagnen rymmer 50 m^3 (Nielsen, 2003)). Inlagring i lagret kan ske med fläkt och teleskopfördelare, transportör eller genom direkt tippning i lagret. Teleskopröret bör vara utrustat med automatisk reglering. För att ett jämnt materialflöde till fläkten ska erhållas vid avlastningen, används avlastarvagn eller fördelarvagn. Används tippvagnar vid hemtransporten, är det nödvändigt att lasta av dessa på ett avlastarbord. Medan man kör efter ett nytt lass, doseras halmen automatiskt till fläkten. Fläktens kapacitet behöver då inte vara större än hackens kapacitet. Om avlastarbord inte används, är det en fördel om fläktens kapacitet är stor eftersom avlastningstiden då minskar.

Transportörer har ofta låg kapacitet, och det kan vara svårt att fylla lagret ända upp.

Vid lagring i hall eller plansilo kan inlagring ske med frontlastare. Denna metod går snabbast och ställer inga särskilda krav på transportfordonen. Lagringshöjden blir dock begränsad.

Tömning av ett lager med hackelse kan ske med lastare, blockuttagare, transportör m.m. Nilsson (1991) ger exempel på två metoder för uttagning av hackelse som båda baserar sig på pneumatisk transport i teleskopfördelare, vilka även används för inlagring. I det första systemet används en räfsa (gaffelsidräfsa) och en suganordning, vilka är förbundna med teleskop-

röret via en slang. Vid uttagning förs räfsan fram och tillbaka, och sänks ett stycke för varje vändning. Den andra metoden använder ett sugmunstycke fastsatt på slangens ände. Sugmunstycket består av en upprivningsanordning som omger sugöppningen. Vid tömning förs sugmunstycket fram och tillbaka över lagret. Båda metoderna uppges fungera tillfredställande, och kapaciteten är 4-5 ton/timme. Energiåtgången är hög. Bägge systemen kan styras automatiskt.

Vid lagring av hackelse utomhus utan täckning har endast det yttre lagret, ungefär 20 cm tjockt, blivit påverkat av nederbörd medan stacken i övrigt förblivit förhållandevis opåverkad (Nilsson, 1991). Tekniken med stacklagring har tillämpats under hela 1900-talet i exempelvis Öststaterna, USA, Kanada och Australien (Stridsberg & Christensson, 1995).

Exempel finns där fukthalten i utomhusstackar med hackad halm studerats. Ett försök i Danmark har visat att fukthalterna inuti en stack med 80 ton rapshalm i genomsnitt legat på 17,5 % med en medelspridning på $\pm 2,4$ % (Stridsberg & Christensson, 1995). I ett ytskikt, uppmätt till 8-10 cm tjocklek, har fukthalter som följer den aktuella väderleken uppmätts med ett medelvärde på 37,5 % och en medelspridning på $\pm 7,1$ %. Vid rivningen av stacken höjde detta ytskikt den genomsnittliga fukthalten, i den uttagna halmen, med ungefär 0,5 %, vilket är helt försumbart. Någon temperaturhöjning kunde inte uppmätas i denna stack, ej heller någon biologisk aktivitet i materialet. Materialet var finhackat med fraktionerna: <6 mm 45 %, <25 mm 53 % (>6 mm) och endast 1,5 % större än 25 mm. Man kom fram till att halmens finhackningsgrad är en viktig parameter för god täthet på stacken och därmed god vattenavvisning. Man bör vara medveten om att i vissa andra försök har ytskiktet blivit betydligt djupare (0,1-1,5 m) och med vattenhalter på ca 80 % samt att temperaturstegringar på upp till 90°C förekommit. Svenska försök har givit liknande resultat som de danska (Stridsberg & Christensson, 1997).

Vid stackbyggnaden är det viktigt att stacken byggs upp av endast torrt material så att inte fuktiga partier byggs in (Stridsberg & Christensson, 1995). Detta innebär att bärning och stackbyggnad måste ske i ett sammanhang och utan avbrott för större regnmängder. Om avbrott görs på grund av regn är det förmodligen bättre att, vid nästa bärningstillfälle, börja på en ny stack, än att fortsätta på den gamla och riskera att bygga in vått material i denna. Vatteninträngningen i stacken under lagringen påverkas bland annat av hur finfördelat materialet är. Danska erfarenheter talar för att ett mera finsnittat material medför mindre vatteninträngning än ett grövre. Det är dessutom viktigt att stacken blir jämn, så att inte fickor och andra ojämnheter fångar upp ytvatten. Stacken bör placeras på ett underlag som har godtagbar bärighet även vid lastning under höst- och vintermånaderna, då förhållandena kan vara ogynnsamma. Likaså bör stacken vara så placerad att ett lastfordon utan svårighet kan komma dit och därifrån.

De allmänna erfarenheterna från utomhuslagring av halm i Danmark visar att principen fungerar kvalitetsmässigt väl i de fall materialet vid inläggning hållit en vattenhalt under 15-17 % (Stridsberg & Christensson, 1995). Ytlagret, liksom även bottenskiktet, har blivit blött, men risken för biologisk aktivitet i form av mögelbildning och värmeutveckling i det blöta materialet förefaller vara liten under lagringsperioden.

Den hackade halmen kan hanteras på ett likartat sätt som för flis vid lagring och eldning, vilket är en fördel om den skall eldas i en panna tillsammans med flis och andra träbränslen (Stridsberg & Christensson, 1994a; Stridsberg & Christensson, 1994b; Stridsberg & Christensson, 1995; Stridsberg & Christensson, 1997) (se kapitel: Bränlemixar med halm i fjärrvärmeverk för fasta bränslen). De faktorer som begränsar stacklagringstekniken är:

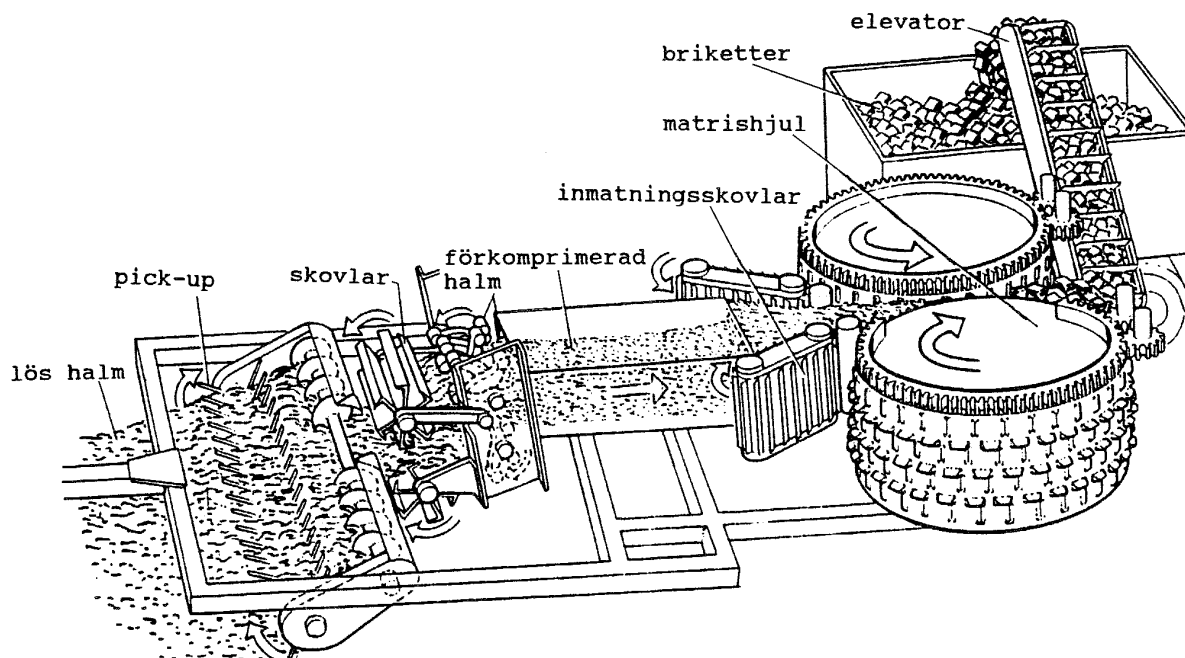
- * stackens storlek och beroende av lastmaskiner.
- * transportsträckan till avnämare på grund av halmens låga volymvikt.
- * hänsyn till mellanlagring och blandning hos avnämaren.

Detta begränsar stackhöjden till ca 5 m (Stridsberg & Christensson, 1997). En sådan stack med 40 m längd rymmer 70-100 ton torrsbstans räknat vid en uppbyggnadsfukthalt på 15 %. Transportsträckan för detta bränsle beror på hur mycket last man kan ta i transportfordonen. Använder man standardfordon, container eller lastvagnar, begränsas lastvolymen till 100 m³ och den praktiska transportsträckan bör då bli 10-30 km och inte överstiga 40-50 km.

3.3. Fältbrikettering

Genom att tillverka briketter av halmen redan på fältet uppnås flera fördelar såsom hög densitet och möjlighet till bulkvaruhantering på ett tidigt stadium i hanteringskedjan (Nilsson, 1991). Exempel på en maskin som har provats finns i England. Denna maskin har en kapacitet på upp till 5 ton halm per timme samt behöver endast energi motsvarande 1-2 % av halmens totala energiinnehåll för att tillverka briketterna.

Maskinen fungerar på följande sätt: halmen tas upp av en pick-up, förkomprimeras och passerar två stora matrishjul där den komprimeras till briketter. Briketterna förs sedan via en elevator till en vagn som körs bredvid, se figur 3. Matrishjulen, vilka väger 1,6 ton vardera, drivs av en dieselmotor på 239 hk via fyra hydraulmotorer. Pick-up och förkomprimering drivs av traktorns kraftuttag. Maskinen kräver en traktor på minst 80 hk.



Figur 3. Maskin för fältbrikettering av halm (Nilsson, 1991).

De stora krafterna mellan rullarna höjer initialt halmens densitet till över 1500 kg/m³, och efter komprimeringen är briketternas absoluta densitet 500-600 kg/m³, vilket motsvarar en bulkdensitet på 300-350 kg/m³. Varje enskild brikett har ungefär måtten 7,5 cm * 7,5 cm * 3 cm och väger ca 100 g. Vid traditionell halmbrikettering hackas oftast halmen före brikette-

ringen vilket ej behövs här. Energiåtgången blir därför så låg som 40-50 MJ/ton, jämfört med över 200 MJ/ton för brikettering där halmen hackas.

Det är viktigt att halmen har rätt vattenhalt. Om vattenhalten är för hög expanderar briketterna efter komprimeringen, och vid låga vattenhalter faller de sönder. Briketterna blir bäst vid en vattenhalt på 12-15 % men intervallet 10-17 % är acceptabelt. Vid den maximala kapaciteten på fem ton per timme får briketterna sämre kvalitet, även om halmen har optimal vattenhalt. I praktisk drift blir därför kapaciteten troligtvis lägre.

På 1970-talet tillverkade John Deere en självgående fältbriketteringsmaskin men denna blev ingen succé då den var för dyr och hade för låg kapacitet (Nielsen, 2003).

Vid jordbrukstekniska institutet har en fältgående rullbrikettpress testats med energigräs under 1980-talet (Nilsson, 1991). Den högsta densiteten som uppnåddes var 160 kg ts/m³. Briketternas yttre delar var lösa, och det uppstod mycket spill vid hanteringen.

Under 1995 provades en fältgående briketteringsmaskin i Tyskland, uppbyggd på en stor självgående exakthack (Nielsen, 2003). Hetsäd, halm, hö och gräs briketterades. Maskinen hade även en inbyggd torkningsanläggning. För hetsäd, med 15 % ingående vattenhalt, var kapaciteten 6 ton/timme. Briketternas densitet var 500 kg/m³. Maskinens motorstyrka var 354 kW. Briketterna mått var 60 mm * 12 mm * 30-100 mm. Maskinen kunde även göra cylindrisk pellets med en diameter på 12 mm.

3.4. System baserade på hetsädesskörd

System för skörd av hetsäd fungerar på nästan samma sätt som system baserade på hackad halm (se ovan). Skillnaden är att istället för att först skördetröska spannmålen, slår man och stränglägger den innan man hackar den (bilaga A). Man mellanlagrar den hackade hetsäden i otäckta lager vid fältkanten, innan en lastmaskin lastar den i containrar som körs till värmeverket för eldning. Vid skörd av hetsäd lämnar man kvar en betydligt lägre stubb jämfört med vid skördetrösning. Detta gör att halmskörden ökar från 3 till 4 ton/ha. En nackdel är att vattenhalten blir högre än i skördetrösad halm. Vid transport av hetsädehackelse har en densitet på 195 kg/m³ uppmätts (Nielsen, 2003).

3.5. Sammanfattning och ekonomi vid skörd och hantering av halm

3.5.1. Sammanfattning av tidigare studier

Kapacitet och bärgning av halm med flera av de ovan beskrivna metoderna har undersökts i flera studier. Egenskaper hos de balar eller briketter som erhålles med de olika bärgningssystemen redovisas i tabell 1. En omfattande studie av kapacitet och kostnader med olika bärgningssystem gjordes av Stridsberg & Christensson (1995) (se tabell 2). Kostnader för bärgning av halmen vid användning av olika maskinkedjor byggde på uppgifter från tillfrågade skånska maskinstationer. Man kom bland annat fram till att inomhuslagring av halm är betydligt dyrare än utomhuslagring, där kostnaderna nästan blir försumbara. För hackad halm lyckades man få en densitet på mer än 100 kg/m³ genom att blåsa in den, vilket gjorde att lager och följande transporter kunde utnyttjas effektivt. Detta var orsaken till att kostnaderna blev lägst för systemet med hackning i fält och transport i ensilagevagn. Totalkostnaderna blev, i Stridsberg & Christensson (1995):s studie, lägst för systemet med fälthackning, följt av systemet med stora fyrkantbalar av hetsontyp. Högst kostnader fick systemen med rundbalar och snittbalade fyrkantbalar.

Nilsson (1991) gjorde en studie där systemet med utomhuslagring av stora fyrkantbalar av hesstontyp (högdensitetsbalar) gav de lägsta kostnaderna, följt av utomhuslagring av rundbalar, inomhuslagrade fyrkantbalar (högdensitetsbalar) och fältbriketter (tabell 3). Inomhuslagring av rundbalar gav de högsta kostnaderna. Bärning, dvs. pressning, ihopsamling och hemtransport av balarna, stod för den största andelen av kostnaderna.

Tabell 1. Fakta om olika system för bärning av halm (Nilsson, 1991)

	Småbal	Rundbal	Högdens.-bal	Hackelse	Fältbrikett
Balmått cm ³	46*36* 75 ^d -100	120*Ø90- 180	120*130* 250	-	-
Absolut densitet, kg/m ³	90-100	100-121 ^d	130-160	-	500-600
Skrymdensitet, kg/m ³	70-90	70-90	120-150	40-70	300-350
Presskapacitet, ton/timme	4-6	4-6	10-14 ^c	3-6	3-5
Arbetsbehov ^a , manminuter/ton	40-50	20-25	12-16 ^c	20-40	15-25
Totalt energibehov ^b , MJ/ton	130	170	170	230	650

^a Gäller fram till säsonglagret.

^b Direkt och indirekt mekanisk energi fram till säsonglagret.

^c Presskapaciteten hos dagens storbalspressar har fördubblats sedan 80-talet p.g.a. främst färre driftstopp vilket gjort att arbetsbehovet för denna typ av balar kunnat reduceras i väsentlig grad.

^d Nielsen & Mortensen (2001b).

Tabell 2. Halmhantering – processchema (Stridsberg & Christensson, 1995)

DELPROCESS			ALTERNATIV HANTERING						
	Skörd	0	TRÖSKNING						
		1	Hel halm i sträng						
	Hopsamling	2	Balning				Hackning	Snittning-balning	
	Beredning	3	Fyrkantbal		Rundbal		Ensilagevagn	Fyrkantbal	
		4	Baltransp. 2-5 km		Baltransp. 2-5 km		Lös-transp. 2 km	Baltransp. 2-5 km	
	Säsong-lagring	5	inom-hus	utom-hus	inom-hus	utom-hus	stack utomhus	inom-hus	utom-hus
	Slut-transport	6	Baltransport 20 km		Baltransport 20 km		Lös/komprime-rad transport 20 km	Baltransport 20 km	
	Mot-tagning	7	Bal till mel-lanlager		Bal till mel-lanlager		Lossning till ficka	Bal till mel-lanlager	
	Mellan-lagring	8	Ballager 1-3 dygn		Ballager 1-3 dygn		Lös form i ficka	Ballager 1-3 dygn	
	Beredning	9	Hackning till ficka				-	Rivning till ficka	
	Blandning	10	Blandning enligt lokala förutsättningar				I ficka	Blandning enligt lokala förutsättningar	
	Övrigt		-		-		Förutsätter leverans enl. avtal	Förutsätter leveransavtal	
KOSTNADER, kr/MWh		1	18		18		18	18	
		2	-		-		42	-	
		3	37 ^b		25			50	
		4	10		12			10	
		5	25	19	30	20	4	23	16
		6	10		15		30	10	
		7	5		8			5	
		8							
		9	13-37		18-42		-	10-20	
		10	-		-		-	-	
		Tot ^a	118	112	126	116	94	126	119

^a Lägsta kostnad enligt summering av ovanstående termer.

^b Presskapaciteten hos dagens storbalspressar har fördubblats sedan 80-talet p.g.a. främst färre driftstopp vilket gjort att arbetsbehovet och därmed kostnaden för pressning av denna typ av balar kunnat reduceras i väsentlig grad.

Tabell 3. Kostnader för hela halmbränslesystem exklusive hantering vid förbränning (Nilsson, 1991)

	Rundbal stolplada	Rundbal, pelarstack	Högdens.bal hall	Högdens.bal utomhus	Fältbriketter
Strängläggning	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Bärgning	19,7	19,7	19,5	19,5	28,8
Lagring	13,9	5,6	11,5	2,0	8,0
Transport	10,0	10,0	7,5	7,5	3,0
Totalt, öre/kg	44,4	36,1	39,3	29,8	40,6
öre/kWh	11,1	9,0	9,8	7,5	10,2

Nielsen & Mortensen (2001a och 2001b) har studerat kapacitet och arbetsbehov med några maskiner, av senare tillverkning, för bärgning av halm (tabell 4). Bärgningssystem med stora fyrkantbalar (av hesstontyp) har högst kapacitet tätt följt av en mindre variant av dessa, medan rundbalar och särskilt då småbalar ger betydligt lägre bärgningskapacitet. Det som drar ner kapaciteten mest för rundbalarna är att pressen i det studerade fallet måste stanna medan snören eller nät rullas runt balen vilket tar ca 0,38 min/bal. Bärgningskapaciteten då halmen bärgas med exakthack ligger mellan den för fyrkantbalar och den för rundbalar.

Tabell 4. Arbetsbehov och kapacitet vid bärgning och hackning av halm vid avkastningsnivån 3 ton/ha (Nielsen & Mortensen, 2001b)

	Arbetsbehov		Kapacitet, ton/timme		Effektivitet ^a
	min/ha	min/ton	netto	brutto	%
Småbalar	37,3	12,4	7,0	5,3	76
Rundbalar	24,1	8,0	13,6	8,2	60
Små storbalar	15,4	5,1	17,4	12,8	74
Storbalar	14,6	4,9	18,7	13,6	73
Hackad halm	19,9	6,6	15,2	10,0	66

^a Effektivitet: förhållandet mellan brutto- och nettokapacitet.

Vid studiebesöken (Norrvidinge maskinstation, se bilaga 1) uppmättes betydligt högre kapaciteter med storbalspressar av hesstontyp än vad Nielsen & Mortensen (2001a och 2001b) anger. Man kunde här pressa en bal i minuten och uppgav att man kunde komma upp i 60 balar (över 30 ton) per timme. 40 balar brutto inklusive transporter och raster ansåg man vara rimligt. Pressarna kördes här av vana förare som gick in för att få så hög dagskapacitet som möjligt. Pressarna var helt nya och dessa ansågs ha betydligt större kapacitet än äldre pressar av motsvarande typ. Körhastigheten i fält låg ofta kring 12-14 km/timme men kunde gå upp mot 18-19 km/timme. Kapaciteten går nog till viss del att höja även med de övriga bärgningssystemen.

3.5.2. Ekonomiska beräkningar i denna studie

Ekonomiska beräkningar har genomförts för halmbärgningssystem med bärgning, hemtransport, lagring, transport till värmeverk och mottagning av halm vid värmeverk. Både lagring av halm utomhus och inomhus har studerats. De studerade bärgningssystemen behandlar: stora fyrkantbalar av hesstontyp (vikt något mer än 500 kg), fyrkantbalar av mindre typ där halmen snittas i pressen vid bärgning (2/3-delar av hesstonbalarnas höjd men samma bredd och längd

som dessa, 2/3-delar av hesstonbalarnas vikt), rundbalar (2/3-delar av hesstonbalarnas vikt), fälthackning med självgående exakthack och fältbrikettering med självgående briketteringsmaskin. Kalkylerna gäller vid de valda förutsättningarna och antagandena. Prisnivån i kalkylerna är hämtade från år 2004.

Då det vid studiebesöken framkom att kapaciteten för pressarna av hesstontyp numera är betydligt högre än vad som angivits i litteraturen räknades kapaciteten för dessa upp i motsvarande grad. Då det kan antas att även de mindre fyrkantpressarna och rundbalspressarna förbättrats i motsvarande grad, räknades kapaciteten upp även för dessa (se bilaga B, tabell B3). Noteras bör att för att nå denna kapacitet i praktiken, krävs att traktorn är något överdimensionerad till pressen och att föraren är van. Hög kapacitet antogs även för systemen med fälthackning och fältbrikettering av halm. Resultaten från beräkningarna redovisas i tabell 5 och i diagram 1. Vid transporten av halmen studerades även ett scenario med 200 km transportavstånd istället för 30 km.

Tabell 5. Resultat från ekonomiska beräkningar

DELPROCESS		ALTERNATIV HANTERING									
Skörd	0	TRÖSKNING									
	1	Hel halm i sträng									
	2	Balning				Hackning		Brikettering			
Hopsamling	2	Balning				Hackning		Brikettering			
Beredning	3	Stor fyrkantbal	Liten fyrkantbal	Rundbal		Fälthackning		Fältbrikettering			
Ihopsamling	4										
Lastning, transport och inlagring	5	Baltransp. 2-3 km	Baltransp. 2-3 km	Baltransp. 2-3 km	Lös transp. 2-3 km	Lös transp. 2-3 km					
Säsonglagring	6	Inomhus	Utomhus	Inomhus	Utomhus	Inomhus	Utomhus	Inomhus	Utomhus	Inomhus	Utomhus
Lastning, sluttransport och avlastning	7	Lastbil med släp 30 km	Lastbil med släp 30 km	Lastbil med släp 30 km	Lastbil med släp 30 km	Lastbil med släp 30 km	Lastbil med släp 30 km				
Lagring och beredning vid värmeverk	8	Ballager, ca 3 dygn, rivning före eldning	Ballager, ca 3 dygn, rivning före eldning	Ballager, ca 3 dygn, rivning före eldning	Löslager, ca 3 dygn, i ficka	Löslager, ca 3 dygn, i ficka					
Summa	9										
Lastning, sluttransport 200 km och avlastning	10	Lastbil med släp 200 km	Lastbil med släp 200 km	Lastbil med släp 200 km	Lastbil med släp 200 km	Lastbil med släp 200 km	Lastbil med släp 200 km				
Summa, scenario 200 km	11										
		KOSTNADER, SEK/MWh									
	1										
Hopsamling	2										
Beredning	3	18,5	18,5	17,8	17,8	13,6	13,6	19,8	19,8	68,9	68,9
Ihopsamling	4	6,3	6,3	9,5	9,5	9,5	9,5	70,9	70,9	26,1	26,1
Lastning, transport och inlagring	5	22,4	22,7	24,9	25,2	33,6	34,0				
Säsonglagring	6	36,8	2,4	36,8	2,6	53,0	2,9	103,5	4,5	25,5	4,8
Lastning, sluttransport och avlastning	7	26,2	26,5	26,8	27,1	36,3	36,7	31,4	31,4	10,4	10,4
Lagring och beredning vid värmeverk	8	18,4	18,4	18,4	18,4	20,0	20,0				
Summa	9	128,5	94,7	134,1	100,6	165,9	116,6	225,6	126,6	130,9	110,1
Lastning, sluttransport 200 km och avlastning	10	57,7	58,0	58,3	58,6	78,9	79,3	74,0	74,0	23,9	23,9
Summa, scenario 200 km	11	160,0	126,2	165,6	132,1	208,5	159,3	268,2	169,2	144,4	123,6

Av de studerade systemen är det endast fältbriketteringssystemet som inte finns utvecklat idag. Idag bärgas den övervägande majoriteten av all halm till bränsleändamål som stora fyrkantbalar av hesstontyp. Detta bärgningssystem är effektivt (ger lägst kostnader i tabell 5 och diagram 1) och de flesta värmeverk som eldar med halm idag är anpassade till denna typ av balar. Även de mindre fyrkantbalarna används ibland då den utrustning som är avsedd för

stora hesstonbalar även klarar denna typ av halmbalar. I viss utsträckning eldas även rundbalar, men dessa brukar inte transporteras så långt då de inte går att transportera lika effektivt som fyrkantbalar (de ger outnyttjat utrymme på transportfordonet) (se även tabell 5 och diagram 1).

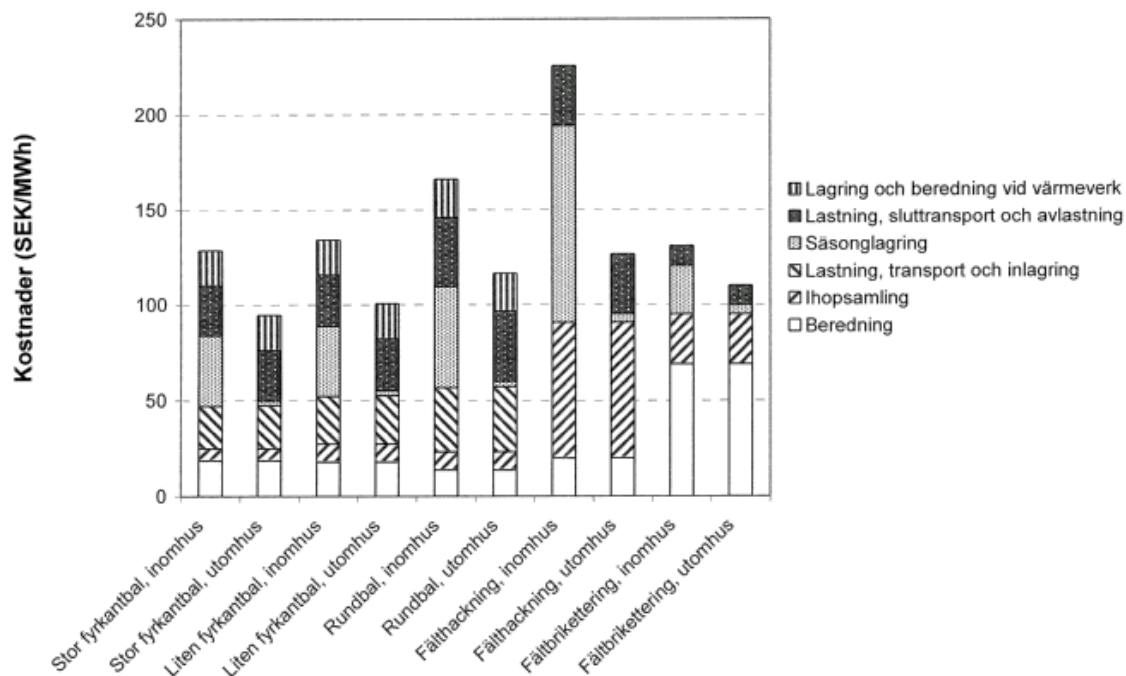


Diagram 1. Resultat från ekonomiska beräkningar.

Själva pressningen av de stora fyrkantbalarna blir något dyrare (tabell 5 och diagram 1) än för de andra två baltyperna, eftersom dessa är dyrare i inköp (se bilaga B, tabell B1). Detta uppvägs längre ner i systemet av att dessa stora balar kan hanteras mer effektivt. Pressningen av fältbriketterna blir dyr beroende på att det krävs en mycket dyr maskin med stort energibehov för detta förfarande. I studien antogs (till viss del med data från bl.a. Nilsson 1991) att denna maskin skulle bli ungefär tre gånger så dyr som en självgående exakthack, samt att det går åt fyra gånger så mycket energi för hackning och brikettering av halmen som vid enbart hackning av denna. Det finns idag en självgående exakthack från Claas med 600 hk motor vilket betyder att motsvarande briketteringsmaskin skulle kräva en motor på kanske 2400 hk och behöva 400 liter diesel per timme. Maskinens vikt skulle gissningsvis bli två till tre gånger så stor som för den självgående exakthacken. Man måste därför ifrågasätta om denna typ av maskin är rimlig.

Kostnaden för ihopsamling av balarna är i stort sett beroende av balarnas densitet. Hårt pressade balar ger lägre kostnader (se tabell 5 och diagram 1). Detsamma gäller för lastning, transport till lagring och avlastning till lager. Hemtransporten av den hackade halmen blir dyr beroende på låg lassvikt och att flera transportfordon (6 st. traktorer med 2 st. 12 tons tippvagnar med grönfoderutrustning vardera) binds upp för transportererna om hacken skall kunna hållas igång utan avbrott. Vid hemtransporten av briketterna klaras denna av med endast 2 st. av de ovan beskrivna transportfordonen. Transportkostnaden blir då i motsvarande grad lägre (se tabell 5 och diagram 1).

Vid inomhuslagring av halmen blir kostnaderna betydligt högre än vid utomhuslagring, beroende på stora investeringskostnader för lagret (tabell 5, diagram 1 och tabell B2 i bilaga B). Halmbalar ger lägre kostnader vid utomhuslagring, än hackelse och briketter beroende på att halmbalar är lättare att hantera. Vid inomhuslagring vinner briketterna på att de är mest kompakta trots att de kräver ett dyrare lager än halmbalarna (se bilaga B, tabell B2). Den hackade halmen blir mycket dyr att lagra inomhus beroende på en förhållandevis låg volymvikt och krav på ett dyrare lager än vad halmbalarna gör (tabell 5, diagram 1 och tabell B2 i bilaga B). De mer kompakta fyrkantbalarna (båda typerna) är billigare att lagra än de mer skrymmande rundbalarna.

Vid lastbilstransport blir de mer kompakta briketterna, som utnyttjar bilens hela lastförmåga, klart billigast att transportera (se tabell 5 och diagram 1). Fyrkantbalarna (båda typerna) blir 2-3 gånger så dyra som briketterna att transportera då de endast kan utnyttja ungefär halva lastbilens lastkapacitet. De mer skrymmade rundbalarna och den hackade halmen blir betydligt dyrare att transportera. Detta syns särskilt tydligt i scenariot med 200 km transport istället för 30 km.

För halmbalarna har en kostnad tillkommit för omhändertagande och beredning (rivning) vid värmeverket. Denna kostnad blir förhållandevis liten då värmeverket antagits vara stort och därför hanterar en stor mängd halm. Kostnaden för utrustningen kan därför slås ut på en stor mängd halm. Det bör påpekas att här får de gjorda antaganden en ganska stor inverkan på resultatet. Hackad halm och fältbriketter har antagits kunna hanteras i den befintliga utrustningen vid värmeverket då halmen levereras i "flisform". Någon extra kostnad för att hantera dessa bränslen har därför inte antagits tillkomma.

Totalkostnaden blir lägst för systemet med stora fyrkantbalar (hesstonbalar) tätt följt av systemet med mindre fyrkantbalar beroende på att dessa typer av halmbalar är lätta att hantera och inte alltför skrymmande. Även systemet med fältbriketter ger låga kostnader. Vid scenariot med längre transporter blir systemet med fältbriketter mest intressant beroende på kostnadseffektiva transporter. Emellertid blir skillnaden trots detta ganska liten jämfört med systemen med fyrkantbalar. Systemet med briketter blir särskilt konkurrenskraftigt om halmen måste lagras inomhus. Här blir skillnaden mellan de studerade systemen större beroende på att de kan utnyttja det dyra lagret olika effektivt. Systemet med hackad halm blir dyrast beroende på en skrymmande produkt som blir dyr att hantera och transportera.

I Västergötland (bilaga A) och på flera ställen i Danmark kräver man att halmen lagras inomhus för att hålla en tillräckligt god kvalitet vid leverans. Denna lagring blir, på grund av kostnaderna, endast möjlig att göra i befintliga byggnader som saknar alternativ användning.

I den studie som Stridsberg och Christensson (1995) gjorde (se tabell 2) fann man att systemet med den hackade halmen skulle bli billigast i motsats till vad som kommit fram i den här studien. Orsaken till detta är att i Stridsberg och Christensson (1995):s studie har utrustningen för mottagning av halmbalar och beredning av dessa vid värmeverket belastats med en ganska hög kostnad medan så inte varit fallet i den här studien. I den här studien har omhändertagandet av hackelsen efter hacken även bedömts medföra högre kostnader.

4. BRÄNSLEKVALITET

Halmens kvalitet och egenskaper vid förbränning styrs av flera parametrar, t.ex. fukthalt, volymvikt, askhalt, asksmältpunkt och effektivt värmevärde. Flera författare har studerat dessa egenskaper mer ingående (se tabell 6-9) (Ekström & Jonsson, 1985; Nilsson *et al.*, 1988; Henriksson & Stridsberg, 1992; Hadders, 1994; Stridsberg & Christensson, 1994b; Hadders & Flodén, 1997; Nikolaisen *et al.*, 1998).

Tabell 6. De viktigaste egenskaperna hos olika bränslen (Henriksson & Stridsberg, 1992)

Bränsle	Normal fukthalt, %	Volymvikt, kg TS/m ³	Effektivt värmevärde, kWh/kg TS	Effektivt värmevärde, kWh/m ³	Värmevolym, m ³ /m ³ olja	Askhalt, %	Asksmältpunkt, °C
Halm							
- Hesstonbal	15-20	130	4,7	600	17	2,5-5	800-1000
- Rundbal	15-20	80	4,7	370	27	2,5-5	800-1000
- Riven	15-20	45	4,7	200	50	2,5-5	800-1000
Bränsleflis	35	180	4,9	900	11	0,5-1	1100
Stycketorv	35	225	5,2	1170	8,5	1-3	1100-1150
Briketter, trä	15	750	5,1	3800	2,6	0,5-1	
Pelletter, trä	10	800	5,2	4100	2,4	0,5-1	1100
Träpulver	8	200	5,2	1050	9,5	0,5-1	
Kol	10	850	7,5	5780	1,7	7-15	1150
Naturgas				1000	10		
Olja Eo 1				9960	1		
Olja Eo 5				10700	0,9		

Generellt gäller att askhalterna är högre i halm än exempelvis i normala träbränslen (tabell 6, 7 och 8) (Henriksson & Stridsberg, 1992; Stridsberg & Christensson, 1994b; Nikolaisen *et al.*, 1998). Asksmältpunkten för rapshalm är högre än för stråsädeshalm (vete, råg och korn) (tabell 7). Detta medför att risken för sintring och påslag i pannan blir mindre vid eldning av rapshalm. Andelen flyktiga beståndsdelar är ungefär lika stor i halm som i träbränsle (tabell 8) (Nikolaisen *et al.*, 1998).

Tabell 7. Karakteristika för träbränslen och halm (Stridsberg & Christensson, 1994b)

Bränsle	Fukthalt, %	Aska	
		Smältpunkt, °C	Halt, %
Raps	15-20	1240	9,6
Vete	15-20	930	6,9
Råg	15-20	1090	6,8
Korn	15-20	900	6,7
Rörflen, sommarskörd	15-20	1075	6,4
Rörflen, vårskörd	10-15	1405	5,6
Flis	35-40	1200	1,0-1,5
Grot	45-55	1100	1,5-2,5
Bark	55-62	1200	2,0-3,0

Tabell 8. Data för några bränslen vid, i praktiken, vanligt förekommande vattenhalter (Nikolaisen *et al.*, 1998)

	Gul halm ^a	Grå halm ^a	Träflis	Stenkol	Naturgas
Vattenhalt (%)	10-20	10-20	40	12	0
Flyktiga beståndsdelar (%)	> 70	> 70	> 70	25	100
Aska (%)	4	3	0,6-1,5	12	0
Kol (%)	42	43	50	59	75
Väte (%)	5	5,2	6	3,5	24
Syre (%)	37	38	43	7,3	0,9
Klor (%)	0,75	0,2	0,02	0,08	-
Kväve (%)	0,35	0,41	0,3	1	0,9
Svavel (%)	0,16	0,13	0,05	0,8	0
Kalorimetriskt värmevärde, vatten och askfri substans (MJ/kg)	18,2	18,7	19,4	32	48
Kalorimetriskt värmevärde, vid aktuell vattenhalt (MJ/kg)	14,4	15	10,4	25	48
Mjukningstemperatur för askan (°C)	800-1000	950-1100	1000-1400	1100-1400	

^a Gul halm är färsk och grå halm har blivit utsatt för nederbörd.

Försök har visat att i kornhalm som utsatts för 150 mm nederbörd har halten klor minskat från 0,49 till mindre än 0,05 % och kaliumhalten från 1,18 till 0,22 % (Nikolaisen *et al.*, 1998). Efter denna behandling blev halmen ”grå”, dvs. en viss urlakning har skett. Halmen kan emellertid även bli grå av mögel bara den utsatts för nattdagg och varmt väder utan att några ämnen lakats ut. Försök har visat att energiförlusterna vid tvättning av halm i form av torkenergi och förluster av organiskt material motsvarar ca 8 % av halmens kalorimetriska värmeinnehåll (Nikolaisen *et al.*, 1998).

4.1. Vattenhaltens betydelse

Vattenhalten i den bärgade halmen måste vara under 20 % för att förhindra mögeltillväxt och temperaturstegring i halmbalarna. Halmrivare och annan utrustning för halmhantering fungerar dåligt för halm med högre vattenhalt än den ovan nämnda. Det bildas även lätt ”kakor” av mögel, i för fuktig halm, som ger driftstörningar i bl.a. halmrivarna.

Ska halmen användas som råvara till pellets måste vattenhalten vara under 15 %.

4.2. Askhalt och asksammansättning

Mängden aska vid eldning av halm varierar mellan 2,5 – 10 % (se tabell 6, 7 och 8) (Ekström & Jonsson, 1985; Nilsson *et al.*, 1988; Henriksson & Stridsberg, 1992; Hadders, 1994; Stridsberg & Christensson, 1994b; Nikolaisen *et al.*, 1998) beroende på ursprung och teknik med vilken den eldats. Halm som blivit tvättad av regn får ofta en lägre askhalt (Nikolaisen *et al.*, 1998).

Sammansättningen hos aska från stråbränslen varierar beroende bl.a. av växtslag, gödsling under säsongen, användning av kemiska bekämpningsmedel, jordart och årsmån (bilaga A; Hadders, 1994; Hadders & Flodén, 1997). Andra faktorer som kan påverka askans sammansättning är tröskteknik, strängtjocklek, vädret under bärgningssäsongen, ”nedsmutsning” dvs.

jord på halmens yta och lagringsförhållanden (Hadders, 1994). Askans sammansättning beror vidare av i vilken typ av panna som stråbränset har eldats i. I dessa askor skiljer sig sammansättningen åt mellan s.k. bottenaska från pannans roster och s.k. flygaska från rökgaserna.

I bottenaska från förbränning av stråsedeshalm finns som regel bl.a. ett tiotal procent kalium, någon eller några procent fosfor och lika mycket magnesium (Tabell 9) (Hadders & Flodén, 1997). Askan har vidare en kalkeffekt motsvarande innehållet av ett tiotal procent CaO. Bottenaska innehåller även en del mikronäringsämnen som är nyttiga för växterna i små doser, samt i regel små mängder av oönskade tungmetaller, däribland kadmium. Flygaska innehåller ofta högre halter av lättflyktiga tungmetaller, såsom t.ex. kadmium, jämfört med bottenaska (tabell 9). Spridning av ren flygaska på åkermark bör därför undvikas.

Tabell 9. Exempel på sammansättning i botten-, flyg-, och blandaska från förbränning av halm. Uppgifterna avser medelvärden för vete (V), korn (K), råg (R) och raps (Ra), procentandelar av torrsubstans (vikt-%) respektive g/ton ts (ppm) (Hadders & Flodén, 1997)

	Bottenaska	Flygaska	Blandaska
P, %	1,4	1,9	1,8
K, %	13,1	22,4	12,6
CaO ^a , %	21,1	19,2	20,5
Cr, ppm	42,5	28,6	33,6
Ni, ppm	17,7	16,5	16,4
Cu, ppm	41,4	97,1	62,3
Zn, ppm	52,7	872,3	139,8
Pb, ppm	3,4	139,2	20,9
Cd, ppm	0,10	9,0	1,5
Cd/P, mg/kg	29	593	79
Oförbränt, %	9,7	12,0	12,9
Antal prov, V/K/R/Ra	21/11/6/8	10/3/3/3	6/1/4/3
Antal anläggningar	7	3	3

^a Askans kalkverkan anges som motsvarande mängd kalciumoxid.

Stråhalmaska är, som visas i tabell 9 ovan, främst ett kaliumgödsel- och kalkningsmedel. Kunskapen om i vilken grad växter tillgodogör sig växtnäringsämnen i aska under varierande förhållanden är begränsad (Hadders & Flodén, 1997). Askan måste spridas direkt efter skörd, i samband med plöjning eller på obevuxen mark, för att undvika brännskador på skott och blad, orsakade av askans höga pH-värde. Spridning före sådd riskerar att hämma groningen och tillväxt. Spridning av torr, ohärdad aska, kan ge olägenheter för omgivningen och skador vid inandning av damm. Den är också svår att sprida jämnt och bör därför undvikas.

Skördetidpunkten får stor betydelse för vete halmens kvalitet som bränsle först vid extremt tidig skörd (Hadders, 1994). Tidigt skördad halm är avsevärt sämre som bränsle, genom att den innehåller högre halter av klor, kalium, natrium och svavel än vid mer normala skördetidpunkter. Halten kisel är däremot lägre vid tidig skörd.

4.3. Asksmälttemperatur

Halmaska kan börja mjukna redan vid 600°C, medan askan börjar mjukna vid 800-850°C för andra bränslen (Nikolaisen *et al.*, 1998). Smälter helt gör halmaskan även vid lägre temperatur än askor från de flesta andra bränslen, se tabell 6, 7 och 8. Då askan blir mjuk klumpar den gärna ihop sig och bildar slagg (s.k. sintring). Askan fäster då vid pannans varmare delar och

hindrar värmeöverföringen samt hindrar frammatningen av bränsle och aska i pannan (Ekström & Jonsson, 1985; Nikolaisen *et al.*, 1998). Ofta får denna slagg huggas ut manuellt vilket är tidskrävande. Askklumparna har svårare att fästa vid kylda delar i pannan, t.ex. kylda rooster eller vattenmantlade delar av förbränningsrummet. Halvsmält aska, flyktiga alkalimetaller, samt klor och svavel som följer med rökgaserna, kan ge påslag i rökrör och andra värmeöverförande delar i pannan, och hindrar då överföringen av värme i dessa delar. Risken är stor för besvärliga avlagringar på ångrören i överhettaren i kraftvärmeverk (Nikolaisen *et al.*, 1998).

Halmaskans smälttemperatur varierar bl.a. med stråsådesslag (Ekström & Jonsson, 1985; Stridsberg & Christensson, 1994b) (tabell 7), jordart där stråsåden odlats, samt gödsling och årsmån.

Om halmen fått ligga ute en tid, och särskilt om den utsatts för nederbörd, sjunker dess halt av alkalimetaller och klor. Aska från sådan halm blir mindre sintringsbenägen då den smälter vid en högre temperatur (Hadders, 1994; Nikolaisen *et al.*, 1998) (se tabell 8). Kemisk svampbekämpning med klorhaltiga växtskyddsmedel ger halm med ett högre innehåll av klor (Hadders, 1994). Detta påverkar halmens eldningsegenskaper och askans smälttemperatur på ett negativt sätt.

Problemen med slaggbildning i pannan ökar ofta under perioder då man eldar hårt, dvs. ökar andelen primärluft (Ekström & Jonsson, 1985; bilaga A). På lantgårdar blir därför ofta slaggbroblemerna störst under den period då man torkar spannmål och tar ut störst värmemängd från pannan.

4.4. Övriga kvalitetsfaktorer

En hög halt av alkalimetaller och klor är problematiskt även i rökgaserna, då dessa ämnen bildar natriumklorid och kaliumklorid som är mycket korrosiva mot stålet i pannan och rökrören, särskilt vid höga temperaturer (Nikolaisen *et al.*, 1998). Detta blir särskilt problematiskt då man även vill producera el, och måste upp i en hög ångtemperatur i en överhettare för att nå en hög elverkningsgrad.

Tvättad halm, som utsatts för nederbörd, innehåller en lägre halt av alkalimetaller och klor jämfört med färsk halm och ger, vid förbränning, rökgaser som är mindre korrosiva. Pannorna får då längre livslängd och lägre behov av underhåll (Nikolaisen *et al.*, 1998). Denna halm är ofta lättare att antända och förbränna (bilaga A).

5. FÖRÄDLADE HALMBRÄNSLEN

Halm kan förädlas genom att den används som råvara vid tillverkning av briketter, pelletter eller pulver (Nilsson, 1991). Gemensamt för dessa processer är att de ger material med högre densitet än vad halmbalar har. Det erhållna materialet kan dessutom hanteras som bulkvara vilket gör det möjligt att förenkla hanteringen vid transport, lagring och förbränning. Eldning blir möjlig i billigare pannor som samtidigt kan användas till flera olika bränslen, samt att man kan uppnå högre verkningsgrader vid förbränningen.

Nackdelar med vidareförädling av halmbränsle är att ytterligare hanteringsled som kräver arbetskraft och maskinell utrustning tillkommer, att behovet av tillförd energi i hanteringskedjan ökar, samt att priset på den färdiga produkten stiger (Nilsson, 1991).

De olika former på halm som erhålls vid förädling definieras av svensk standard SS 18 71 06 (SIS, 2000):

Bränslebriketter är fyrkantiga eller runda stycken framställda genom pressning av finfördelat material i en kolvpress eller skruvpress (Nilsson, 1991). Diameter eller bredd är större än 25 mm och fukthalten understiger normalt 10 %.

Pellets är små cylindriska eller sfäriska bitar som tillverkas genom att finfördelat material pressas genom en matrispress. Diameter eller bredd är mindre än 25 mm och fukthalten understiger normalt 10 %.

Pulver kännetecknas av att materialet malts så att huvuddelen av materialet har en diameter mindre än 1 mm (Nilsson, 1991). Fukthalten understiger normalt 10 %.

I tabell 10 görs en jämförelse mellan pelletter och briketter. Pellettering är mer energikrävande än brikettering på grund av att halmen vid pellettering måste vara mer finfördelad, och dessutom komprimeras materialet ofta hårdare vid pellettering (tabell 6). Pelletter kan transporteras med luft vilket möjliggör distribution i helt slutna bulkvarusystem (Nilsson, 1991).

Tabell 10. Jämförelse mellan pellettering och brikettering (Nilsson, 1991)

	Pellettering	Brikettering
Bränslets vattenhalt, %	10-20	10-15
Max kapacitet hos pressar, ton/h	4-6	1-1,5
Energiförbrukning, MJ/ton	220-290	140-180
Krav på råmaterial	Finfördelat	Längre halm kan användas
Angående förbränning	Anläggningen kan automatiseras	Kan eldas i samma pannor som stycketorv och ved

5.1. Briketter

Briketter kan framställas med flera olika pressmetoder (Nilsson, 1991):

Den vanligaste presstypen för brikettering är kolvpressen där en kolv pressar materialet genom en justerbar dysa. Matning och förkomprimering sker med en skruv. Presstrycket kan regleras genom att dysan justeras. Det fordras en snittlängd på 30-60 mm, och energibehovet är 140-180 MJ per ton briketter.

I en skruvpress komprimeras materialet med en konisk skruv. Inmatning och pressning sker kontinuerligt. Även med denna presstyp kan presstrycket regleras genom att dysan justeras. Presstypen kännetecknas emellertid av stort slitage och högt energibehov, liksom högre krav på finfördelat material. Energibehovet för pressningen är 250-290 MJ per ton, och snittlängden bör vara 30-40 mm. Energiförbrukningen för briketteringen, dvs. rivning och pressning, är 300-360 kJ/kg motsvarande 2-2,5 % av halmens bränslevärde.

I rullbrikettpressar tvinnas materialet ihop till en massiv cylinder av roterande rullar.

Vetehalm lämpar sig bäst för brikettering, följt av råg- och kornhalm. Havrehalm är svårare att brikettera.

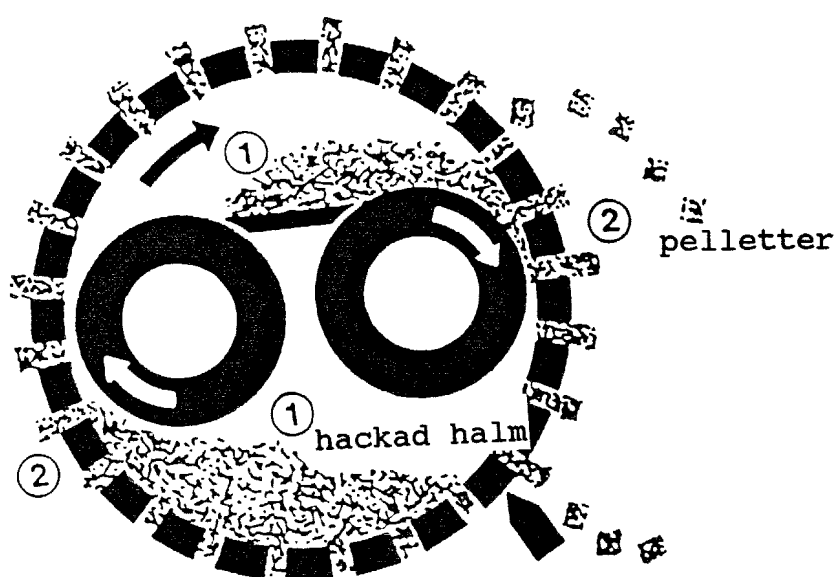
Det finns briketteringsanläggningar med kapaciteter från några hundra kg till flera ton per timme (Nilsson, 1991). De mindre och mellanstora anläggningarna kan vara stationära eller mobila. De mobila anläggningarna kan vara av intresse för gårdar och maskinstationer medan de större stationära finns i särskilda brikettfabriker. Vid briketteringen kan t.ex. melass, sulfitol, vattenånga eller fett användas som bindemedel.

Halmbriketter är mycket känsliga för fukt (Nilsson, 1991). Vatten medför att briketten sväller, och vid längre tids fuktpåverkan kan den förstöras helt. Briketter måste därför hanteras och lagras med omsorg. Briketter har större benägenhet att bilda valv än pelletter.

Brikettering av halm i fält har förekommit (Nilsson, 1991), se kapitel 3.3 om fältbrikettering.

5.2. Pelletter

Halm som ska användas till pelletstillverkning måste ha en låg vattenhalt (lägre än 15 %). Halmen finfördelas före pelleteringen genom att först rivas, grovmalas och finmalas i en hammarkvarn (7 mm såll i Køge Biopillefabrik; se bilaga A). Vid pelleteringen tillsätts ofta ett bindemedel för att pelletarna ska bli fastare. I Køge Biopillefabrik användes 0,25 % kalksåpa från palmolja (bilaga A) men även t.ex. melass kan användas (Nikolaisen *et al.*, 1998). Halmen pressas vanligen till pelletar med 8 eller 10 mm diameter. I figur 4 visas en principskiss av en ringmatrispress (se även bilaga A: bild A12) som är vanlig vid tillverkning av pellets (Nilsson, 1991).



Figur 4. Principskiss av en ringmatrispress (Nilsson, 1991).

Halmpelletts har en volymvikt kring 550 kg/m^3 och ett kalorimetriskt värmevärde på $16,3 \text{ MJ/kg}$ vid 8 % vatten (Nikolaisen *et al.*, 1998). Problemen med slaggbildande aska kvarstår vilket gör att halmpelletts främst passar som bränsle i större pannor där man klarar av detta problem. Eldning i villapannor rekommenderas inte p.g.a. den slaggbildande askan (Nikolaisen *et al.*, 1998).

På Køge Biopillefabrik anger man att energi motsvarande 3-4 % av värmeenergin i pelletarna går åt för att tillverka dessa, men det kompenseras av att vid eldning med halmpelletts får man ut 10 % mer värme än vid eldning med obehandlad halm (bilaga A).

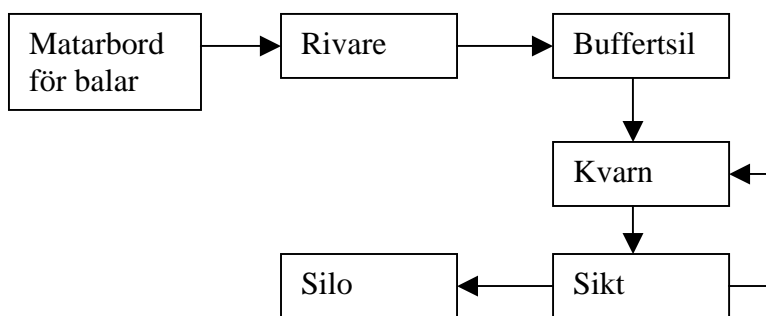
Pelletering i fält är svårt att realisera då en fältpelleteringsmaskin med en rimlig kapacitet blir komplicerad och dessutom får ett mycket stort effektbehov.

5.3. Pulver

Pulverbränsle definieras som material med kornstorlek $< 1 \text{ mm}$ (Olsson *et al.*, 2001). Fraktionsfördelningen "skräddarsys" beroende på brännarens konstruktion och effekt. Flamlängden bestämmer bl.a. hur finmalet materialet måste vara för att brinna ut. Pulvereldning på-

minner om oljeeldning där bränslet brinner i en fribrinnande flamma. Kommersiell teknik för pulvereldning finns från ca 0,5 MW upp till 200 MW. Pulvereldning är vanligast i större anläggningar (> 15 MW). Till nackdelarna med pulver hör den relativt låga skrymdensiteten, ca 1/3 av den för pellets.

Försök finns där fälttorkad och vårskördad rörflen, med liknande egenskaper som halm, har pulvriserats både i laboratorieprov och i fullskaleprov (Olsson *et al.*, 2001). Energiförbrukningen för denna operation har blivit jämförbar med eller lägre än för träråvara. Generellt har en högre andel finmaterial erhållits vid malning jämfört med trä under samma betingelser. Pulvertillverkning ställer höga krav på låg fukthalt i råvaran (< 15 %) och blöta partier i bälarna skulle innebära stora produktionsstörningar. Rörflenspulver har, trots högre finandel, lägre densitet jämfört med träpulver. Rörflenspulver har en skrymdensitet på ca 170 kg/m³ medan värdet för träpulver ligger kring 200 kg/m³. Om malningen drivs mot ett finare pulver kan skrymdensiteten höjas till 260 kg/m³, vilket medför att inte bara volymvikten ökas utan också flytbarheten, vilket underlättar både tömning av bulkbilar, utmatning ur silos och även inmatningen till pannan (Stridsberg & Segerud, 1996). I figur 5 beskrivs momenten vid tillverkning av pulverbränsle.



Figur 5. Beskrivning av processen för tillverkning av pulverbränsle (Olsson *et al.*, 2001).

Försök har gjorts med finmalning av rörflen på hammarkvarnar och s.k. fläktkvarnar (Olsson *et al.*, 2001). Rörflen gav inte upphov till några tekniska problem vid malning till pulver (detsamma gäller troligen för halm). Rörflen ger som regel en högre finandel (<0,25 mm) jämfört med träråvara vid samma inställningar på kvarnen. Gräsets relativt höga kiselandel (gäller även halm) verkar slitande och kan innebära högre underhållskostnader, speciellt för fläktkvarnen.

Av såväl ekonomiska som tekniska skäl kan pulver ej långtidslagras på grund av den låga densiteten samt risken för valvbildning (Olsson *et al.*, 2001). Vad gäller brandsäkerhet, är pulvret så torrt att självantändning torde vara utesluten medan gnistbildning kan vara mycket riskabel (Stridsberg & Segerud, 1996).

Energiåtgången vid beredning av rörflenspulver (liknande värden kan antas gälla för halm) var enligt Olsson *et al.* (2001):

- * rivning av balar ca 15 kWh/ton torrsubstans.
- * malning med hammarkvarn ca 40 kWh/ton torrsubstans.
- * malning med fläktkvarn ca 125 kWh/ton torrsubstans.
- * energiförbrukning i fläktar och transportörer ytterligare ca 10 kWh/ton torrsubstans.

Vid eldning med rörflenspulver har det bildats lösa beläggningar av aska vid brännarna (det samma kan förväntas ske med halm som även den ger aska med låg smältpunkt; till och med lägre än för rörflen) (Stridsberg & Segerud, 1996). Dessa beläggningar har lossnat av sig själva efterhand utan att vålla besvär. Den mest sannolika användningen av rörflenspulver

(men även halmpulver) är som blandbränsle tillsammans med pulver från andra fasta bränslen såsom kol, trä eller torv (Segerud & Stridsberg, 1994).

6. TERMISK OMVANDLING

Eldningsanläggningar för halm kan antingen vara avsedda för eldning av hela balar eller för eldning av riven halm. Matningssystemet blir enklare vid eldning av hela balar. Rivningen av balar och transport av den rivna halmen till pannan är en ganska komplicerad process där många olika maskiner ska samverka. Halmen kan även förgasas vilket ger möjligheter att komma runt problemen med högtemperaturkorrosion i ångöverhettare då de aggressiva ämnena ej följer med gasen. Eldning av pelleterad halm gör att man kan använda enklare utrustning för inmatning. Pannorna måste dock kunna klara askans större benägenhet för slaggbildning (sintring) samt den större mängden aska vid halmeldning.

6.1. Gårdsanläggningar

På gårdsnivå finns det två huvudtyper av eldningsanläggningar för eldning av halm, dels sådana där riven halm eldas i en rosterpanna, och dels pannor där hela balar eldas satsvis.

6.1.1 Satsvis eldning av hela balar

Satsvis eldade pannor installeras alltid tillsammans med en ackumulatortank (Nikolaisen *et al.*, 1998). Ackumulatortankarna rymmer vatten för lagring av värme från minst en sats (1-4 balar) eldning. Eldningen mot ackumulatortank gör att bränslets värmeinnehåll kan utnyttjas bättre då pannan hela tiden kan köras med full effekt där den har sin bästa verkningsgrad. Idag ligger verkningsgraden kring 56-63 % hos den här typen av pannor vilket är betydligt bättre än de 34-40 % som gällde på 80-talet.

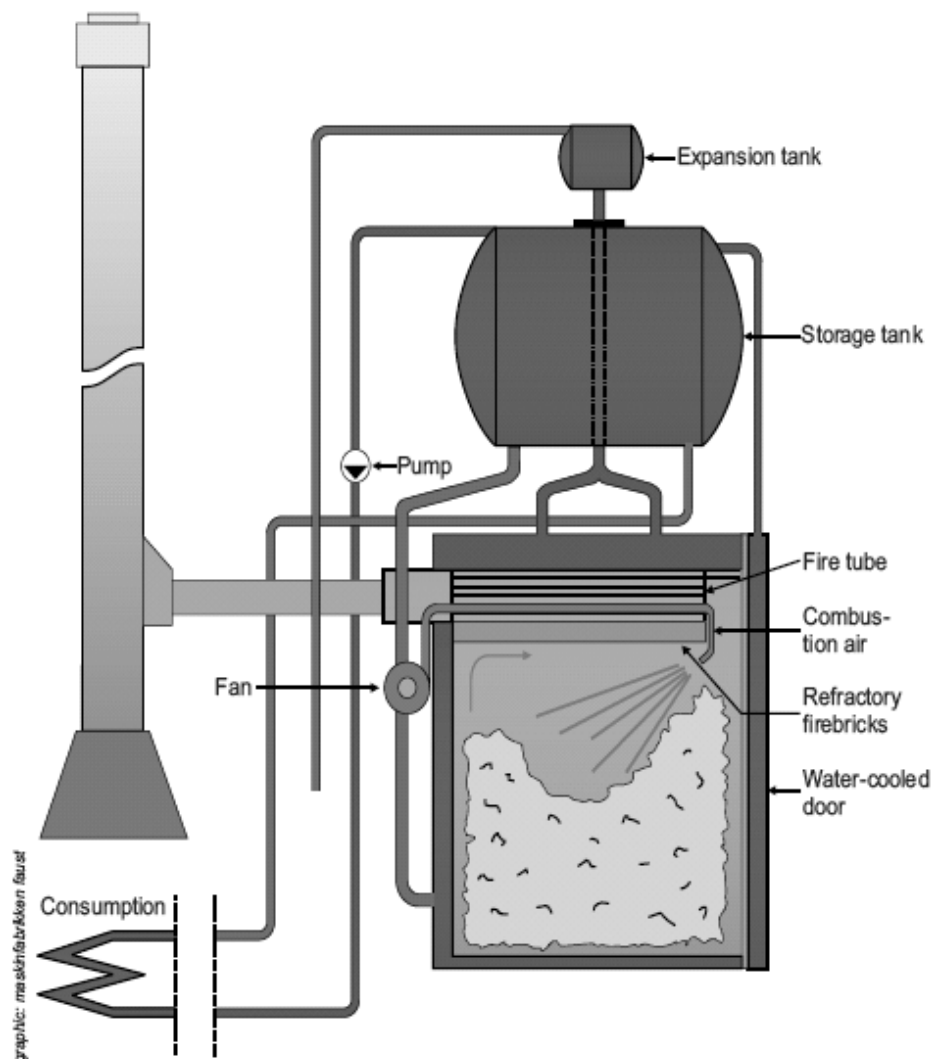
Tidigare dominerades marknaden av pannor för småbalar, medan den idag domineras av pannor för storbalar (rundbalar, eller mellanstora eller stora fyrkantbalar) (Nikolaisen *et al.*, 1998) (se även bilaga A: bild A9). Dessa pannor levereras ofta som en fristående byggnad (se bilaga A: bild A7) hopbyggd med ackumulatortanken. Att på detta sätt placera pannan utomhus minskar kraftigt risken för stora bränder. Ofta används en traktor med frontlastare för att mata in balarna i pannan. Vid uraskning monteras ofta en skopa formad efter pannan på frontlastaren för rationell askhantering.

Idag är den här typen av pannor ofta försedda med elektroniskt styrda fläktar för tillförsel av primär- och sekundärluft på ett optimalt sätt (Nikolaisen *et al.*, 1998). Røkgastemperatur samt røkgasernas halt av syrgas (O_2) mäts. Pannorna är försedda med keramik i den övre delen av förbränningsrummet så att en tillräckligt hög förbränningstemperatur ska säkerställas. Mätning av røkgastemperaturen görs för att säkerställa att värmeuttaget från pannan hålls inom bestämda gränser. En för hög røkgastemperatur tyder på att pannan är överbelastad, dvs. mer värme produceras än vad som kan tas upp av vattnet som omger pannas røkgaskanaler. På liknande sätt tyder en för låg røkgastemperatur på att för lite värme frigörs i pannan.

Syrgashalten mäts i røkgaserna för att man ska kunna styra lufttillgången vid förbränningen genom reglering av spjällen till primär- och sekundärlufttillförseln (Nikolaisen *et al.*, 1998). Idealet är 6-7 % syre som motsvarar en luftöverskottsfaktor (λ) på 1,5. Det är viktigt att elektroniken kan hålla syrehalten konstant då små fluktuationer hos denna kan resultera i låg pannverkningsgrad och höga kolmonoxid(CO)halter i røkgaserna.

För att en bra förbränning med låga kolmonoxidhalter i rökgaserna ska erhållas är det viktigt att den halm som eldas är av god kvalitet samt är torr (Nikolaisen *et al.*, 1998). Detta betyder att halmen ska ha varit torr innan den pressats samt lagrats på ett torrt ställe. Det betyder även att halmen bör fått mogna i fält dvs. utsatts för nederbörd och sedan fått torka (se kapitel 4 om bränslekvalitet).

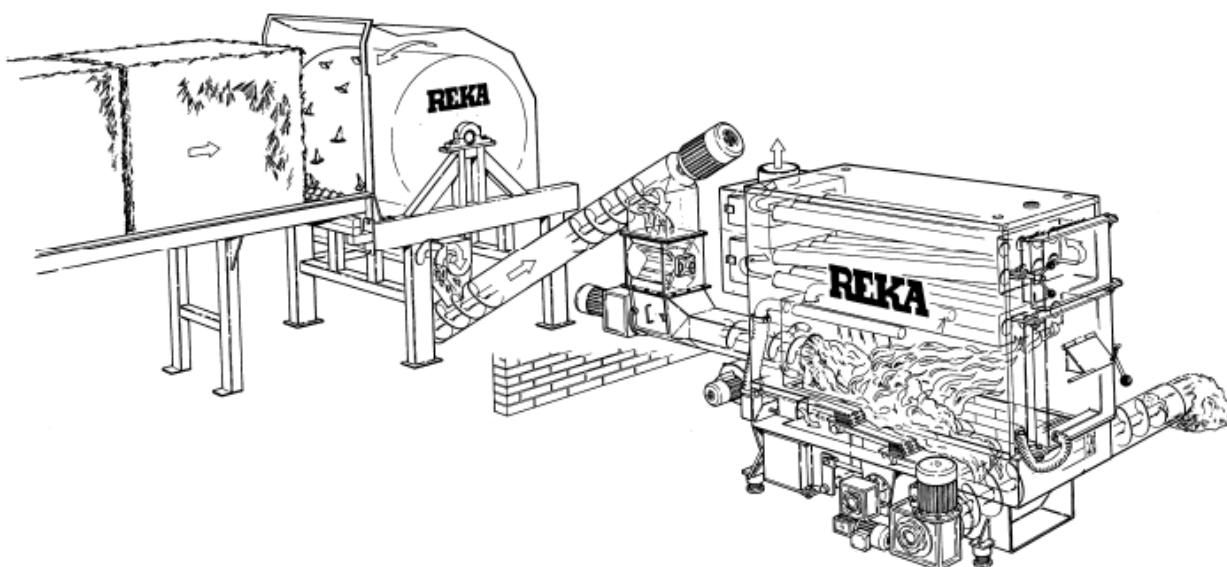
För att en stabil förbränning ska erhållas vid fullt effektuttag, konstrueras alla satsvis matade halmpannor för att arbeta mot en ackumulatortank (Nikolaisen *et al.*, 1998). Denna tank dimensioneras vanligen så att den får en vattenvolym på 60-80 liter för varje kg halm som brännkammaren är dimensionerad för då den är fulladdad med torr halm. Detta motsvarar en temperaturhöjning på 30-40°C vid eldning av en sats om värme ej samtidigt tas ut från tanken. Ackumulatortanken placeras vanligen ovanpå pannan, se figur 6, men pannan kan även byggas in i ackumulatortanken.



Figur 6. Principen för en satsvis eldad panna. Ackumulatortanken är stor nog att rymma den mängd värme som frigörs från en med halm fulladdad brännkammare (Nikolaisen *et al.*, 1998).

6.1.2 Automatiskt matad panna

Automatiskt matade pannor (figur 7) matas med halm från en baltransportör som vanligen behöver fyllas på en gång per dygn (Nikolaisen *et al.*, 1998). Baltransportören har ofta en längd på 10-20 m. Balarna matas sedan till en rivare som med knivförsedda valsar sönderdelar dem tills halmen får ett tillstånd liknande det före pressningen. Från rivaren transporteras halmen vidare till pannan med antingen en skruv eller en fläkttransportör. Vanligast förekommande är fläkttransportören då den medger störst flexibilitet vad gäller placeringen av rivaren i förhållande till pannan. Fläkttransportören ger även en god säkerhet mot bakbrand från pannan mot rivaren. Fläkttransportören har emellertid ett större energibehov än en skruv. Efter fläkttransporten matas halmen genom en cyklon och ett cellhjul innan den når den stokerskruv som matar in den i pannans brännkammare (cyklonen behövs ej om det är en skruv som för halmen vidare från rivaren). Kontinuerlig eldning resulterar i en mer stabil förbränning och pannan får då en högre verkningsgrad och lägre rökgasemissioner jämfört med satsvis matade pannor. De här pannorna når i praktiken ofta verkningsgrader på 77-82 %. Jämfört med för 20 år sedan har rökgasemissionerna minskat avsevärt.



Figur 7. Automatiskt matad panna (Nikolaisen *et al.*, 1998). Halmen rivs av en långsamgående rivare som via en stokerskruv för den till det rörliga rostret i pannan där förbränningen sker. De fram- och återgående rörelserna hos det lutande rostret matar askan till askskruven. Rökgaserna kyls i flera passager där rökrören omges av pannans vatten.

För att en god förbränning ska erhållas tillförs förbränningsluften med en fläkt (Nikolaisen *et al.*, 1998). I nyare pannor styrs inmatningen av halm automatiskt utifrån rökgasernas syrgashalt. Mängden halm som matas in i pannan styrs genom att halmstokern startar och stoppar med korta intervall. Man försöker hålla syrgashalten vid 7 %. Vid högre syrgashalter matar stokern in halm i pannan tills syrgashalten i rökgaserna sjunker till den önskade nivån. På samma sätt står stokern stilla om syrgashalten i rökgaserna är lägre än den önskade nivån. Pannverkningsgraden går att höja med 5-10 % för en halmpanna där inmatningen av halm styrs på det ovan beskrivna sättet. De förbättrade förbränningsförhållandena leder även till att mängden kolmonoxid och sotpartiklar minskar i rökgaserna.

Nikolaisen *et al.* (1998) anger att det fortfarande finns ett behov av att förbättra verkningsgraden i de pannor som vanligen används på gårdsnivå för halmeldning. Det finns flera möjliga sätt att göra detta:

- * Förbättring av pannornas konvektionsdel så att rökstemperaturerna kan minskas från det nuvarande vanliga 250-300°C till 150-200°C.
- * Förbättrad infodring av pannorna med keramik, samt förbättrad konstruktion av munstycken för lufttillförsel för att kunna hålla mängden överskottsluft och kolmonoxidhalten i rökgaserna konstant och minska emissionerna av partiklar. Det kan här vara av intresse att påpeka att emissionerna av partiklar inte alltid beror på eldningsutrustningen, då halm av olika kvalitet ger upphov till olika mängd partiklar.
- * Förbättring av utrustning för rengöring av rökrören och bortförsl av aska.
- * Förbättring av kontrollutrustningen till pannorna för optimering av emissionsnivåer och verkningsgrader. Detta bör göras med sikte på att få en så bekväm eldning som möjligt med ett litet arbetsbehov. Det bör här nämnas att utveckling av sådan utrustning pågår i Danmark.

6.2. Fjärrvärmeanläggningar

I fjärrvärmeanläggningar produceras enbart värme och ingen el (Nikolaisen *et al.*, 1998). Panntemperaturen kan maximalt uppgå till 120°C och pantrycket till 6 bar. Storleken ligger vanligen på 0,6 – 9 MW. De flesta fjärrvärmeanläggningar är konstruerade för eldning med fyrkantbalar av hesstontyp. Ofta finns även en oljepanna för att klara värmeförsörjningen vid effekttoppar, samt vid underhåll och reparationer av halmpannan. Halmpannan dimensioneras ofta att klara 60-70 % av effekten vid topplast vilket motsvarar mer än 90 % av värmebehovet. Det är inte ovanligt att upp till ca 30 % av värmen går bort som förluster i fjärrvärmenätet, särskilt då vid många små förbrukare.

Flera olika typer av fjärrvärmeanläggningar finns för halmbränsle och dessa kan delas upp i fem olika typer (Nikolaisen *et al.*, 1998): anläggningar för hackad halm, anläggningar för riven halm, anläggningar för eldning av bitar av halmbalar, anläggningar för cigarrelldning och anläggningar för eldning av hela balar. Alla eldningsanläggningarna består av ungefär samma huvudkomponenter: halmager med halmvågar, halmkran med transportband för halmbalar, halmhack/halmrivare/kniv för utskärning av bitar, eldningsanläggning med panna, fläktar för förbränningsluft, rökgasrening, ask-/slagtransportör, skorsten med rökgasfläkt och kontroll- och reglerutrustning.

Vid fjärrvärmeverket finns ofta ett lager som bör rymma halm för ca 8 dagars drift vid fullast (Nikolaisen *et al.*, 1998). Balarna levereras till värmeverket med traktortransport eller lastbil och balarnas vikt och vattenhalt mäts vid avlastningen. Vägning kan ske på en fordonsvåg som klarar en hel lastbil åt gången eller en mindre våg där en bal vägs åt gången. Den senare metoden blir mer tidsödande att använda, medan den första typen är två-tre gånger så dyr i inköp jämfört med den andra typen. Värmeverket tar emot halm med maximalt 20 % vattenhalt p.g.a. att våt halm ger ojämn förbränning, särskilt vid dellast. Vattenhalten i balarna mäts vanligen med ett spjut som sticks in i balarna. Resistansen mellan två elektroder på spjutet är omvänt proportionell mot vattenhalten i halmbalen. Större värmeverk är ofta försedda med en automatisk kran som är programmerad att hämta balar i lagret och lägga dessa på ett transportband (se bilaga A: bilderna A8 och A14) in till t.ex. rivare eller hack.

6.2.1 Eldningsanläggningar för hackad eller riven halm

Hackar finns främst i äldre anläggningar. Då hackarna har större energibehov och större underhållsbehov än rivarna ersätts dessa med tiden av sådana (Nikolaisen *et al.*, 1998).

Syftet med rivarna är att återföra halmen till det tillstånd den befann sig i före pressningen (Nikolaisen *et al.*, 1998). Balarna matas in mot rivarnas valsar som går med en hastighet på

upp till 30 varv/minut. Kapaciteten varierar mellan 15-1000 kg/timme. Transporteras halmen från rivaren med en fläkttransportör måste den passera en cyklon och ett cellhjul med tättslutande gummivingar innan den kan matas in i pannan (bilaga A).

En annan typ av rivare kallas halmdelare, och är uppbyggd av en upp- och nedgående skiva som sliter ut stycken från balarna då de matas in i rivaren (Nikolaisen *et al.*, 1998). Halmen matas vidare med en skruv fram till pannans stokerskruv eller kolv, vilken matar halmen den sista biten till pannans brännkammare.

För alla typer av eldningsutrustningar matas materialet genom en eldsäker tunnel innan det kommer in i pannans eldstad. Denna ska förhindra att bränder uppstår utanför pannan på grund av brand bakåt i bränslematningen s.k. bakbrand.

I pannan förbränns halmen på ett roster som oftast är rörligt (Nikolaisen *et al.*, 1998). Detta är uppbyggt av tunga gjutjärnsstavar ovanpå vilka halmen förbränns. Rostret är vanligen indelat i olika förbränningszoner i vilka förbränningen kan styras efter önskemål. En del av förbränningsluften (primärluften) tillförs via rostret. Rostret utför fram- och återgående rörelser för att mata den brinnande halmen mot askutloppet allt eftersom denna förbränns. Sekundärluft tillförs genom flera munstycken i pannans väggar. Det är viktigt att lufthastigheten här är hög för att få en god blandning med och därmed en bra förbränning av gaserna i pannan. Om så ej sker blir halterna av kolmonoxid och oförbränt i rökgaserna höga vilket leder till lukt, höga emissionsnivåer och låg verkningsgrad.

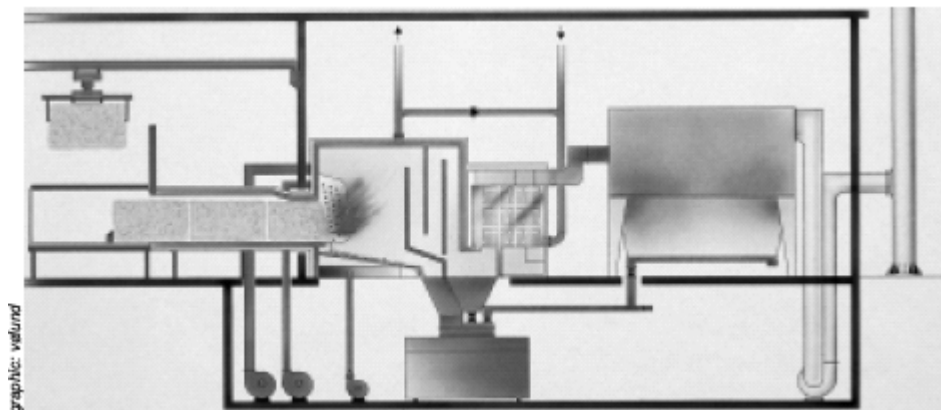
Efter brännkammaren passerar rökgaserna konvektionsenheten (Nikolaisen *et al.*, 1998). Denna är vanligen uppbyggd av vertikala rader med rör genom vilka rökgaserna passerar. De flesta pannor har en ekonomiser, dvs. en värmeväxlare efter konvektionsenheten. Där avger rökgaserna ytterligare värme till pannvattnet för att totalverkningsgraden ska bli högre.

6.2.2 Pannor som eldas med delar av balar

Med detta system skärs delar av balarna ut hydrauliskt och matas sedan in i pannan av en kolvstoker (Nikolaisen *et al.*, 1998). Innan balen kan skäras reses den till stående i vertikal position och kniven skär då av delar från balens nedre del. Denna pannotyp fungerar i övrigt som de för riven halm. En sådan panna finns i Skurup (bilaga A).

6.2.3 Pannor för kontinuerlig eldning av hela halmbalar ”Cigarrelldning”

I dessa pannor (figur 8) trycks hela balar in i pannan i en ”ändlös” linje där de förbränns i den ena änden (Nikolaisen *et al.*, 1998). En kran placerar balarna i en matarbox, och en hydraulisk stoker trycker in balen i en tunnel genom vilken den matas fram till brännaren. Förbränningsluft (primärluft) tillförs via munstycken i brännarens lutande främre del. Aska och delvis urbränd halm faller ner på ett lutande vattenkyllt roster och brinner färdigt innan det når fram till askskruven. De brännbara gaserna förbränns genom att sekundärluft tillförs längre upp i pannan. I övrigt fungerar panntypen som de för riven halm. En sådan panna finns i Haslev (bilaga A).



Figur 8. Värmeverk med cigarreldad panna (Nikolaisen et al., 1998).

6.2.4 Pannor för eldning av hela balar

Balarna placeras av en kran i en flamsäker tunnel och förs sedan vidare till pannans brännkammare via en port (Nikolaisen *et al.*, 1998). I brännkammaren, som liknar en förgasningskammare, antänds balen av det bränsle som redan finns där. Balen brinner i sin främre ände eller i sin översta del beroende på var luft tillförs. Tillförseln av luft styrs utifrån rökgasernas temperatur och innehåll av syrgas. I brännkammarens botten finns utrustning som för den brinnande balen mot askutmatningen. I övrigt fungerar panntypen som de för riven halm.

6.2.5 Rökgasrening

Rökgasrening minskar emissionerna av flygaska och därmed emissionerna av partiklar. Rökgaserna kan renas med (Nikolaisen *et al.*, 1998):

- * Multicykloner, där partiklarna i rökgaserna faller ut med hjälp av centrifugalkraften i vertikala rör.
- * Spärrfilter, där rökgaserna passerar påsar av ett finmaskigt material som fångar upp fasta partiklar. Påsarna kan vara av textilmaterial såsom polyester eller dralon, men även av teflon.
- * Elektrostatiske filter, där rökgaserna passerar genom ett elektriskt fält, och partiklarna avsetts på elektroderna.
- * Skrubber, där rökgaserna passerar en vattendusch där partiklarna fastnar i vattnet.
- * Rök-gaskondensering, där rökgaserna kyls ner till en temperatur under deras daggpunkt, och där partiklarna då fångas upp i daggen.

Den vanligaste utrustningen på värmeverken är multicykloner som fungerar som gnistsläckare och fångar upp de grövre partiklarna (Nikolaisen *et al.*, 1998). Multicyklonerna följs sedan vanligen av ett spärrfilter. I multicyklonen renas rökgaserna från 1000-2000 mg partiklar/Nm³ till 500-600 mg partiklar/Nm³. En stor del av partiklarna som frigörs vid halmeldning är så små (mindre än 0,01 mm) att spärrfilter är den billigaste lösningen för att uppfylla kraven på maximalt 40 mg partiklar/Nm³. Vid normal drift med oskadade filter blir partikelinnehållet efter ett spärrfilter i storleksordningen 20-30 mg partiklar/Nm³.

Elektrostatiske filter kan ge problem med rökgaser från halmförbränning då partiklarna i dessa rökgaser dels varit svåra att jonisera, och dels fastnat på elektroderna och varit svåra att få bort på grund av mycket låg vikt (Nikolaisen *et al.*, 1998). En del partiklar klumpar därför ihop sig och bildar avlagringar i skorstenen, medan andra följer med rökgaserna ut och faller ner i värmeverkets omgivning, särskilt då detta nyligen startats upp.

Ett fåtal värmeverk har skrubberanläggningar, främst beroende på att vattnet från dessa, skapar ett avloppsvattenproblem istället för ett askdeponeringsproblem (Nikolaisen *et al.*, 1998).

Erfarenheterna av rökgaskondensering har varit goda vid eldning av halm med låg vattenhalt (Nikolaisen *et al.*, 1998). Underhållskostnaderna har legat på en tredjedel till en fjärdedel mot vad som är normalt för ett spärrfilter. En nackdel är att tekniken är ny och ganska oprövad i halmvärmeverk.

6.2.6 Ackumulatortankar vid fjärrvärmeverk

I Danmark har ackumulatortankar (med vatten) installerats vid flera värmeverk för lagring av värme (se bilaga A: bild A13). Nikolaisen *et al.* (1998) anger följande fördelar med detta förfarande:

- * Spetslaster under morgnar och kvällar under vintersäsongen kan utjämnas. Därmed kan oljeeldning undvikas.
- * Under kortare driftstopp, för bl.a. underhåll av halmpannan, kan oljeeldning i reservpannan undvikas. Det är lämpligt att man klarar 7 timmars eldningsuppehåll vid normallast.
- * Sommartid kan halmpannan köras vid fullast under korta perioder för att ladda ackumulatortanken och sedan stängas av. Detta resulterar i förbättrad verkningsgrad och lägre emissioner jämfört med drift av pannan vid låglast.
- * Personalen på värmeverket kan få ett mer flexibelt arbetsschema sommartid, då pannan kan hållas stängd över bl.a. helgerna.

Nackdelar är en större investering för tanken samt underhåll av denna. Dessutom åtgår mer halm för att täcka värmeförlusterna från tanken.

6.2.7 Kontroll och reglering av fjärrvärmeverk

Alla värmeverk har ett datorsystem för kontroll, övervakning och redovisning av driftsdata (Nikolaisen *et al.*, 1998). Detta system är vanligen uppbyggt av två huvuddatorer: en som samlar in mätdata och styr anläggningen efter inprogrammerade värden för tryck, temperatur, flöden m.m., och en annan för att visa operatörerna driftsdata på en skärm samt inmatning av nya värden för styrning av den första datorn.

Kontroll- och reglersystemet har normalt följande tre huvudfunktioner (Nikolaisen *et al.*, 1998):

- * Kontrollenheten som ser till att hela processen sker enligt en i förväg inprogrammerad procedur. T.ex. ser programmet till att kranen inte plockar upp en ny halmbal förrän föregående bal matats in i pannan och pannans termostat kallar på mer värme.
- * Reglerenheten ser till att systemet arbetar vid de temperaturer, tryck m.m. som programmerats in.
- * Monitorenheten som ser till att avvikelser från inprogrammerade styrvärden visas på skärmen och skickar larm, via en transponder, till den person som är ansvarig för driften. Vanligtvis är värmeverket bemannat kl. 8-16 under veckans fem arbetsdagar.

6.2.8 Bränslemixar med halm i fjärrvärmeverk för fasta bränslen

Idén med att använda ”bränslemixar med halm” i fjärrvärmeverk som normalt inte eldas med halm, går ut på att utnyttja halmens låga fukthalt för att balansera motsvarande egenskaper hos fuktiga träbränslen som bark, grot och dylikt, och vid blandning mellan dessa få ett

bättre processbart bränsle till en lägre kostnad (Stridsberg & Christensson, 1994a; Stridsberg & Christensson, 1994b). Halm har hittills huvudsakligen använts som bränsle i pannor avsedda för enbart eldning av halm. Tillgångarna på halm för bränsleändamål är stora, ca 4 TWh i södra och mellersta Sverige. För att möjliggöra användning av dessa resurser krävs att halmen introduceras som delbränsle i befintliga värmeverk. På grund av skillnaderna i struktur mellan halm (balar) och trädbränslen (styckeform) torde en introduktion vara lättast att genomföra i mindre och medelstora anläggningar, <10 MW.

Vid inblandningar av halm från 15-30 % av bränslets energiinnehåll har man funnit att (de försök som pågått har genomförts under 8 timmar - 2 dygn vilket ej givit några långtidserfarenheter) (Stridsberg & Christensson, 1994b):

- * sönderdelning av balar och halm måste ske separat, vid eller före verket, till en fraktion som är minst lika fin som hos basbränslet.
- * hanteringen av hackad halm i lager och till inmatning kan ske med verkets egen utrustning.
- * blandningen av bränslena blir tillräcklig i befintlig inmatningsutrustning efter viss anpassning.
- * inmatning till ugnen (brännkammaren) ger problem, både vid stup- och skruvinmatning, beroende på halmens lägre volymvikt och blandningens högre friktion. Viss effektförlust har noterats i något fall.
- * förbränningen sker normalt utan störningar så länge inmatningen fungerar och temperaturer och rökgasvärden är normala. Ingen sintring på rost och i bädd observerades vid använd inblandning.
- * rökgasrening och askhantering uppvisar inga störningar, medan stofthalterna ökar marginellt.

De anpassningsåtgärder beträffande hantering och förbränning, som erfordras vid introduktion av bränslemixar med halm, bedöms som relativt måttliga.

Det kan vara en fördel om halmen kan levereras i sönderdelat skick (i flisform) till värmeverket vid mixad eldning med andra bränslen, då man i så fall slipper den dammande halmhackningen i nära anslutning till värmeverket (Stridsberg & Christensson, 1994a). Halmen kan då från början hanteras med den utrustning som redan finns på värmeverket.

Hantering av fälthackad halm (se kapitel 3.2: System baserade på hackad halm) via utomhuslagring, komprimerad transport, ordinarie tippningsmottagning vid värmeverket, och blandning med andra bränslen före pannan, kan enligt Stridsberg & Christensson (1994a) erbjuda goda möjligheter till teknikanpassning, utveckling och framförallt ekonomiskt utfall. En reduktion av kostnaderna, jämfört med konventionell drift, på 20 % anges som möjlig.

På bränslehanteringskedjan bör följande krav ställas (Stridsberg & Christensson, 1994a):

- * hantering skall kunna ske med verkets egen transportutrustning, lastare, gripskopa eller liknande.
- * enkel hantering utan damning vid eventuell sönderdelning och lossning.
- * minimal lagring vid verket och i så fall utomhus.
- * fraktionsfördelningen för sönderdelad halm ska helst vara finare än övrigt bränsle.
- * blandningen av bränslemixen skall ske med befintlig utrustning utan extra arbete.

Genom halmens avvikande volymvikt och andra egenskaper måste även vissa krav ställas på anläggningen (Stridsberg & Christensson, 1994a):

- * flexibel och tillräcklig bränslematning.
- * god reglering av förbränningsluft.
- * variabilitet på rostermatning.
- * rökgasåterföring som underlättar temperaturregleringen i eldstaden.

- * tillräcklig askutmatningskapacitet.
- * anpassad rökgasreningsutrustning.

6.3. Askhantering

Hantering av aska varierar med eldningsanläggningarnas storlek och automatiseringsgrad. De enklaste anläggningarna askas ur för hand i samband med varje eldning. Uraskning av pannor för hela storbalar sker ofta manuellt eller med hjälp av en skopa på frontlastaren formad efter pannan.

Från automatiska mindre pannor som eldas med riven halm sker uraskningen mest rationellt med en skruv som för askan till en särskild askbehållare som bör vara försedd med lock. I bästa fall är denna behållare satt under undertryck för att förhindra att eventuell glöd i askan kan sprida rök eller brand.

Större pannor är vanligen försedda med ett askbad under pannan där askan hamnar efter urbränning på pannans rooster (Nikolaisen *et al.*, 1998). Askbadet släcker effektivt eventuell kvarvarande glöd i askan. Från askbadet transporteras askan vanligen med skaptransportör till en skruv som för den vidare till en container.

Enligt Lantbrukets Brandskyddskommitté (LBK, 2003) skall aska förvaras i behållare av stålplåt med lock under minst 5 dygn. För att detta ska kunna uppfyllas måste det minst finnas 2 behållare som rymmer denna askmängd. Dessutom ska behållarna placeras på obrännbart underlag och minst 25 cm från brännbar byggnadsdel. Alternativt kan nyuttagen aska förvaras under vatten.

Flygaska som frånskiljts i cykloner och spärrfilter (Nikolaisen *et al.*, 1998) blandas ofta med bottenaskan. Om flygaskan innehåller för höga halter av tungmetaller bör den istället deponeras. I Danmark var man mer noga med att deponera flygaska med hög tungmetallhalt än i Sverige (bilaga A).

Askans slutligen tillbaka till jordbruket för spridning på åkermark.

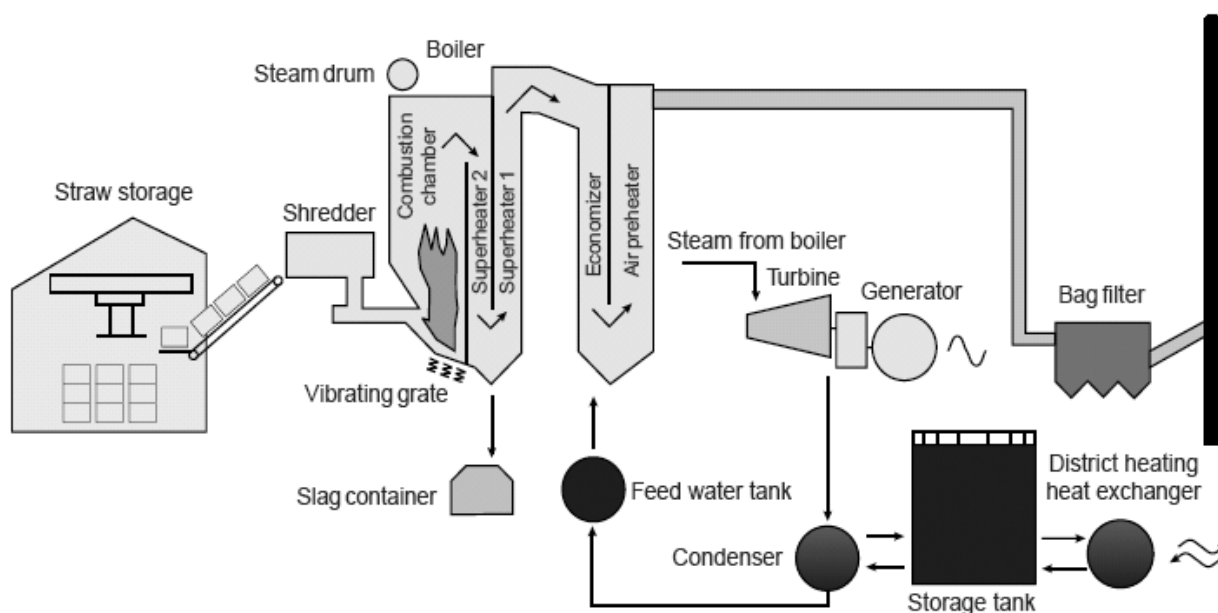
Spridning av våt aska med konventionell utrustning för spridning av stallgödsel ger dålig spridningsjämnhet (Flodén, 1995; Hadders, 1996; Hadders & Flodén, 1997). Det är även svårt att undvika överdosering med dessa spridningsmaskiner. Spridning med spridare för kalk har givit något bättre resultat men fortfarande har givorna blivit för stora. En möjlighet att komma förbi de ovan nämnda nackdelarna är att sprida askan tillsammans med flytande slam från reningsverk, flytgödsel eller rötresten från biogasreaktorer. Sammanblandning av aska och kväverika material med en hög andel ammonium såsom rötresten (Berg, 2000) eller flytgödsel ökar risken för kväveförluster genom ammoniakavdunstning (pK_a för ammoniumjonen ligger på 9,24 och därför får inte blandningens pH gå över 8; flytgödsel har ofta ett pH på strax över 7).

6.4. Andra omvandlingsmetoder

Halmen kan även användas för elgenerering. Detta kan ske i traditionella kraftvärmeverk, eller i två steg via förgasning och pyrolys, eller via stirlingmotorer eller ångmotorer m.m.

6.4.1 Traditionella kraftvärmeverk

I traditionella kraftvärmeverk genereras elektrisk energi på liknande sätt som i kondenskraftvärmeverk, men med den skillnaden att kylvattnet tas till vara som fjärrvärme (Nikolaisen *et al.*, 1998). Kraftvärmeverkets totalverkningsgrad (el + värme) ligger på 85-90 %. Elverkningsgraden för ett kraftvärmeverk kan inte bli lika hög som för ett kondenskraftverk (kol-kondens 40-45 %). För halmeldade kraftvärmeverk har elverkningsgrader på 20-30 % erhållits i praktiken. I praktiken brukar den i genomsnitt bli lägre än så, beroende på efterfrågan, då elproduktionen ej alltid prioriteras. Förhållandet mellan elproduktion och värmeproduktion kan styras inom vissa gränser, men i princip gäller att ju större värmeuttaget är desto mer ånga kan kylas och kondenseras av fjärrvärmevattnet och därmed bidra till produktion av el. Om kraftvärmeverket har en ackumulatortank kan kondensationsvärme lagras i denna. Pannor och eldningssystem kan utformas enligt samma principer som de som beskrivits under rubriken fjärrvärmeanläggningar (kapitel 6.2) men med den skillnaden att ånga skall utvinnas vid betydligt högre temperatur (450-542°C för några danska verk) och tryck (60-93 bar för några danska verk). För att man ska kunna nå dessa höga temperaturer och tryck har man en överhettare alldeles efter pannans brännkammare (se figur 9).



Figur 9. Förenklat diagram över Rudkøbing Kraftvarmeverk (Nikolaisen *et al.*, 1998). Rökgaserna passerar från brännkammaren till överhettardelen och vidare genom en ekonomiser och en luftförvärmare och renas i ett spärfilter innan den går ut genom skorstenen med en temperatur på 110°C.

På grund av en relativt hög halt av alkalimetaller (kalium och natrium) och klor i halmen blir rökgaserna korrosiva, särskilt vid höga temperaturer (över 450°C) (Nikolaisen *et al.*, 1998). Dessutom finns det en risk att askpartiklar med låg smältpunkt fastnar på värmeväxlarrören i överhettaren och orsakar beläggningar som hindrar överföringen av värme till dessa. För att minska risken för ovan nämnda problem kan överhettardelen placeras längre bak i pannan så att rökgasernas temperatur hinner sjunka till 650-700°C innan kontakt sker med den första överhettarsektionen. Överhettaren och pannans topp kan också konstrueras på ett sådant sätt att dessa delar blir lätta att byta ut, och att stål som är motståndskraftigt (dyrare) mot högttemperaturkorrosion kan användas i de berörda delarna.

I kraftvärmeverk kan fluidiserande bäddar användas för förbränningen (Nikolaisen *et al.*, 1998). En fluidiserande bädd består av en cylindrisk, vertikalt stående brännkammare där luften passerar en bädd bestående av fasta partiklar. Dessa partiklar består av bränslet och ett fluidiserade medium, t.ex. sand. Då luft pumpas genom blandningen fluidiserar den och får egenskaper liknande de som en vätska har. En fördel med pannor med fluidiserande bäddar är att det går bra att elda flera bränslen samtidigt i dessa. Det finns två huvudtyper av fluidiserande bäddar: bubblande fluidiserande bäddar och cirkulerande fluidiserande bäddar. I cirkulerande fluidiserande bäddar cirkulerar varm rökgas tillsammans med partiklar från bädden till en cyklon där dessa avskiljs och återförs till bädden. Efter cyklonen passerar rökgaserna i nämnd ordning överhettarna, ekonomisern och luftförvärmaren.

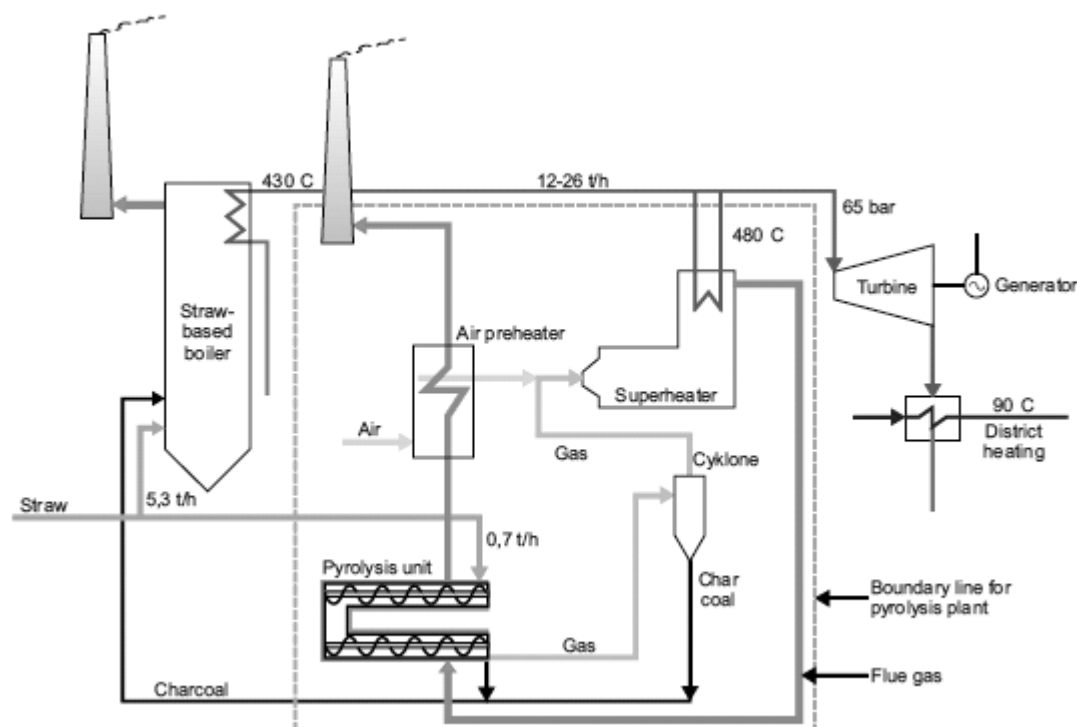
6.4.2 Förgasning och pyrolys

Förgasning av halm är av intresse i mindre kraftverk på 0,2-3 MW el (0,5-8 MW värme) och i riktigt stora kraftverk på 50-100 MW el (Nikolaisen *et al.*, 1998). I små kraftverk kan gasen driva en förbränningsmotor eller en stirlingmotor (se nedan) som i sin tur är kopplad till en elgenerator. Kylvattnet kan tillföra värme till ett fjärrvärmenät. Man kan på så sätt börja producera elektricitet i små anläggningar där idag endast värme produceras. I de stora kraftverken får man tillgång till en pyrolysgas med låga halter av alkalimetaller och klor. Denna gas ger därför inte de problem med högtemperaturkorrosion som ofta är förknippade med halmeldning. Ånga med högt tryck och hög temperatur för hög verkningsgrad i ångturbiner kan därför produceras. En panna med förgasning kallad "coupled-gasifier-combustor" utvecklade för träflis i Finland, skulle kunna gå att använda för detta ändamål även med halm.

Uppströms-(motströms-)förgasning, som är en vanligt förekommande förgasningsmetod för träbränsle, har fungerat dåligt med halm då problem uppstått med (Nikolaisen *et al.*, 1998): matning av bränslet (stoppas upp ibland), inhomogena lager av bränslet med ansamling i kallare zoner, oförbränd halm som följer med gasen ut ur förgasaren, samt ojämn matning av förgasaren, vilket har gett en gas med låg kvalitet.

Vid pyrolys av halm är det viktigt att huvuddelen av alkalimetallerna och klorelementet stannar kvar i kolningsdelen och inte följer med pyrolysgasen till det andra förbränningssteget om gasen skall användas för att t.ex. ge höga temperaturer och tryck till en ångturbin utan risk för högtemperaturkorrosion (Nikolaisen *et al.*, 1998). Detta kan erhållas om förgasningen sker vid en temperatur lägre än 550°C. Pyrolysgasen bör dessutom vara fri från partiklar som kan ge avlagringar i överhettaren och bör därför, före det andra förbränningssteget, passera t.ex. en cyklon.

En skruvförgasare (figur 10) klarar att förgasa halm på ett sådant sätt att ovan nämnda villkor uppfylls (Nikolaisen *et al.*, 1998). En skruvförgasare är i princip uppbyggd av en stor skruv i ett dubbelmantlat rör genom vilket bränslet förs fram medan det förgasas. Med den skruvförgasare som tidigare har funnits i Haslev har man kunnat förgasa 675 kg halm/timme. Detta motsvarar en värmemängd på 2,7 MW varav 1 MW gått ut som pyrolysgas och 1,7 MW i kolfraktionen. Pyrolysgasen har eldats i en separat brännare och dess rökgaser har därefter höjt temperaturen från 430°C till 480°C i överhettaren i ångturbinssystemet. Efter överhettarna har rökgaserna gått tillbaka till den dubbelmantlade förgasaren och där via motströmsvärmväxling värmt förgasarens mantel till ca 600°C innan den först via en luftförvärmare värmt förbränningsluften till pannan, och sedan gått ut genom skorstenen. Med detta system har den maximala temperaturen i förgasaren kunnat hållas vid ungefär 550°C. Kolfraktionen har eldats tillsammans med halmen i den ordinarie halmpannan. Projektet var ett tidsbegränsat forskningsprojekt ihop med Danmarks Tekniske Universitet i Köpenhamn.



Figur 10. Förenklat diagram över den pyrolysanläggning som tidigare funnits vid Haslev Kraftvarmeværk (Nikolaisen *et al.*, 1998).

I nya kraftvärmeanläggningar bör man, med hjälp av halmförgasning, kunna öka elutbytet med 10-15 %, vilket motsvarar en ökad elverkningsgrad med 2-3 % (Nikolaisen *et al.*, 1998).

6.4.3 Flash-pyrolys

Det som skiljer flash-pyrolys från annan förgasning är att processen är snabb och görs vid en lägre temperatur, så att man får en förhållandevis mindre andel gasformiga produkter (Nikolaisen *et al.*, 1998; Goldschmidt, 2005). Flash-pyrolysen sker genom upphettning utan närvaro av syre. Förutom gas och koksåterstod erhålls en ganska stor mängd av en vätskefraktion, s.k. pyrolysolja. Denna pyrolysolja innehåller vanligen 60-70 % av produkternas värmevärde (Nikolaisen *et al.*, 1998). Pyrolysoljan är en inhomogen produkt, som förutom olika oljefraktioner innehåller vatten och olika syror (Goldschmidt, 2005). Den är inte stabil, utan omvandlas efterhand som den åldras. Pyrolysoljans innehåll av alkalimetaller, klor och aska är lågt vid pyrolys av halm (Nikolaisen *et al.*, 1998). Ett problem kan vara att dess pH är lågt (3-4) vilket kräver val av material som tål detta. Pyrolysoljan har provats som bränsle, både i dieselmotorer och i pannor, vilket har gått bra vid rätt materialval i ingående komponenter. Pyrolysoljan har inte varit tillräckligt stabil för användning som dieselsättning i bl.a. bilmotorer (Goldschmidt, 2005). Ska halm användas som bränsleråvara måste metoderna för fränskiljning av fasta partiklar från den gasformiga pyrolysoljan, innan denna kondenseras, utvecklas (Nikolaisen *et al.*, 1998).

6.4.4 Stirlingmotorer

Stirlingmotorer är lämpade för mer besvärliga bränslen då förbränningen inte sker i cylindrarna utan i en yttre brännkammare som kan liknas vid en panna (Nikolaisen *et al.*, 1998).

Beroende på vilken konstruktion denna brännkammare har, kan det vara möjligt att använda både fasta, flytande och gasformiga bränslen. Dessa motorer passar därför för småskalig produktion av kraftvärme från biobränslen. På Danmarks Tekniske Universitet i Köpenhamn har man utvecklat 3 st. stirlingmotorer med en effekt på 9, 35 och 150 kW el. De två största motorerna har konstruerats för användning av fasta biobränslen, antingen vid direktförbränning eller efter förgasning. Brännkammarna har därför gjorts större än i stirlingmotorer avsedda för flytande eller gasformiga bränslen. Värmelasten på motorens värmeväxlare är i storleksordningen 50 kW/m² vilket är i nivå med träfliseldade ångpannor, men endast en fjärdedel till en femtedel av vad som är normalt i gaseldade stirlingmotorer. Pågående projekt i Danmark har främst handlat om träflis som bränsle men även halm är möjligt att använda som bränsle. Halmen måste då ha lågt innehåll av alkalimetaller och klor, och därför varit utsatt för nederbörd, om den ska direkteldas, alternativt att den förgasas (se ovan) innan den används som bränsle till stirlingmotorer.

De stirlingmotorer som utvecklats i Danmark är hermetiskt täta med generatorer som är inbyggda i vevhuset (Nikolaisen *et al.*, 1998). På så sätt har man löst problemen med att arbetsmediet läcker ut. För att en stirlingmotor ska få en så hög verkningsgrad som möjligt måste dess värmeöverförande ytor få en så hög temperatur som möjligt. I praktiken behöver temperaturer på 650-700°C uppnås. Detta medför att temperaturen hos den rökgas som lämnar stirlingmotorn blir hög. Rökgaserna används därför till att via värmeväxling värma ingående luft till brännaren. Denna varma luft medför inga problem då t.ex. naturgas eldas, men då bränslen såsom halm och även träflis används, finns det en risk att askan smälter, samt att man får avlagringar på de värmeöverförande ytorna i stirlingmotorns värmeväxlare. Detta är därför något man måste jobba med vid konstruktionen av biomassaeldade stirlingmotorer.

6.4.5 Ångmaskiner

Ångmaskiner kan vara ett alternativ i mindre kraftvärmeverk med en effekt på upp till 1 MW el (Nikolaisen *et al.*, 1998). Fördelarna med ångmaskiner är att de vid dessa små storlekar prismässigt och verkningsgradsmässigt kan konkurrera med ångturbiner, att de baseras på enkel teknik, samt att arbetsmediet, dvs. vattenångan, produceras i en panna som kan eldas med många typer av biobränslen. Nackdelarna med ångmaskinen är att den bör utvecklas så att den inte måste smörjas med olja, då oljan försämrar ångans kvalitet, samt att det vanligen använda slidventilsystemet ger sämre verkningsgrad än moderna hydrauliskt manövrerade ventiler. I Danmark har en 500 kW ångmaskin utvecklats av dk-TEKNIK och ingenjörsfirman Milton Andersen. Denna maskin jobbar med ett maximalt ångtryck på 24 bar och en ångtemperatur på 380°C, samt har oljefria kolvringar av kolfiber. Planer finns på en ångmaskin som arbetar med 70 bars tryck och en ångtemperatur på 550°C. Man tror att det är möjligt att nå en elverkningsgrad på 20 %.

6.4.6 Halm som råvara vid tillverkning av metanol, DME eller Fischer-Tropsch-diesel

Vid förgasningen (se ovan) erhålls en syntesgas som innehåller höga halter av vätgas (H₂) och kolmonoxid (CO), som kan användas som råvara vid den katalytiska syntesen av metanol, DME och FT(Fischer-Tropsch)-diesel (Goldschmidt, 2005; FramTidsbränslen, 2005). Dessutom bildas vattenånga (H₂O), koldioxid (CO₂), metan (CH₄) och tyngre kolväten och tjärar (se pyrolyskapitel ovan), samt föreningar som svavelväte (H₂S), ammoniak (NH₃) m.m. Tjärhalten kan krackas i ett andra förgasningssteg eller i ett termiskt eller katalytiskt steg. Tjärhalten måste minskas till en nivå där man inte riskerar utkondensering av tjära i något av de efter-

följande katalytiska stegen. Ofta innehåller syntesgasen en hel del metan. För att öka utbytet i Fischer-Tropsch-steget kan gasens metan omvandlas, reformeras, termiskt eller katalytiskt till vätgas och kolmonoxid med hjälp av ånga och/eller syre. Förhållandet mellan vätgas och kolmonoxid i syntesgas från biomassa är ofta för lågt för att vara optimalt för en Fischer-Tropsch-syntes. Det ovan nämnda förhållandet kan justeras med hjälp av ånga i en s.k. shift-reaktor, eller eventuellt i Fischer-Tropsch-reaktorn.

Före de katalytiska stegen i reformer, shift-reaktor och framförallt i den svavelkänsliga Fischer-Tropsch-reaktorn, måste gasen renas från stoft, svavel och eventuell koldioxid (Goldschmidt, 2005; FramTidsbränslen, 2005). Gasreningen kan i princip göras på två olika sätt, vått genom våtskrubning eller delvis torrt genom hetgasrening med keramiskt stofffilter och därefter svavelabsorption i vattenlösning. Rester av svavelväte efter det våta absorptionssteget fångas upp genom svavelabsorption på zinkoxid. Reningen från svavelväte är avgörande för livslängden på katalysatorerna i de olika processtegen. De olika gasreningsstegen innehåller mer eller mindre konventionell teknik, men hela reningskedjan från syntesgas till gas av Fischer-Tropsch-kvalitet är fortfarande så gott som oprövad när det gäller biomassa-förgasning. Halm innehåller mer svavel än träflis men betydligt mindre svavel än stenkol (se tabell 8).

6.4.7 Halm som råvara vid tillverkning av etanol

Halm är till stora delar uppbyggt av cellulosa och hemicellulosa som går att bryta ner (hydrolysera) till enkla sockerarter som sedan kan jäsas till etanol. Halm har emellertid en lägre halt av både cellulosa (halm: 30 %; trä 42 %) och hemicellulosa (halm 25 %; trä 28 % (barr)-38 % (löv)) jämfört med trä (Ekström *et al.*, 1991). Före processen måste halmen hackas eller malas. Hydrolysen kan utföras genom behandling med syra (Ekström *et al.*, 1991; Etek, 2005). Även enzymatisk hydrolys är möjlig, men här återstår fortfarande en hel del utvecklingsarbete innan praktisk användning blir en realitet. När hydrolysen av cellulosan är genomförd resulterar den i glukos som är enkel att jäsa till etanol med vanlig bagerijäst (*Saccharomyces cerevisiae*). Denna process är välkänd och tillämpas inom många områden. Hemicellulosa som är lättare att hydrolysera än cellulosa är svårare att jäsa till etanol, då den resulterar i en stor andel pentoser som bagerijästen inte klarar av att jäsa till etanol. Det finns emellertid exempel på svampar (bl.a. genmodifierad bagerijäst) och bakterier som kan jäsa pentoser till etanol. Med pentosjäsnings kan utbytet av etanol ökas med 6-7 % till ca 25 % (ton 100 procent etanol/ton torrs substans råvara) med lövved och ca 23 % med barrved (Etek, 2005).

Syrahydrolysesprocesser kan baseras på koncentrerad eller utspädd syra (starksyra- respektive svagsyrahydrolys) (Ekström *et al.*, 1991; Etek, 2005). Svagsyraprocesserna kräver behandling under längre tid och högre temperatur, vilket ger större förluster i och med att delar av det bildade sockret sönderdelas vidare (Ekström *et al.*, 1991). Starksyraprocesser ger i sin tur lägre förluster, men de kan ge materialproblem samt har höga kostnader för syrakonsumtion eller syraåtervinning. Syrahydrolys görs vanligen i två steg. I det första steget bryts den lätthydrolyserade hemicellulosan ner och i det andra steget bryts den mer svårhydrolyserade cellulosan ner.

Vid enzymatisk hydrolys utnyttjas enzymer som är specialiserade på att bryta ned cellulosa- och hemicellulosapolymerer till enkla sockerarter (Ekström *et al.*, 1991). Nedbrytningen kan därför teoretiskt ge ett mycket högt utbyte utan nämnvärda förluster under förutsättning att enzymerna kommer åt cellulosa- och hemicellulosapolymererna. Dessa skyddas nämligen av ett lager lignin. Förbehandling krävs därför, och enzymåtgången kan bli hög (100 gånger högre jämfört med stärkelsehydrolys). Kostnaden för enzymet kan därför bli betydande.

Enzymtekniken är under utveckling främst för halm och lövved (Etek, 2005). Processtegen vid svagsyrahydrolys och enzymatisk hydrolys är lika, vilket gör att de två metoderna i stort sett kan användas i samma produktionsanläggning.

Kommersiell produktion av etanol från halm pågår ej idag och sannolikt fordras en hel del utvecklingsarbete innan så kan bli fallet.

7. FÖRSLAG PÅ INSATSER FÖR ATT ÖKA ANVÄNDNINGEN AV BRÄNSLEHALM I SVERIGE

I detta kapitel presenteras de viktigaste hindren för en ökad användning av bränslehalv i Sverige, samt förslag på hur framtida FoU-insatser bör inriktas. Förslagen baseras bl.a. på slutsatser från litteraturstudien, studieresan (bilaga A) och kostnadsberäkningarna (bilaga B).

7.1. Informations- och demonstrationsprojekt

Ett av de största hindren för en ökad användning av halm som bränsle är dess dåliga rykte. På 70- och 80-talen installerades många gårdspannor i Sverige för halmeldning. Halmen fick dock snabbt ett ganska dåligt rykte, eftersom det var många brandtillbud som i flera fall ledde till att pannanläggningarna helt förstördes. En viktig orsak till bränderna var att man använde hackar som snittade halmen före inmatningen i pannan, och risken för gnistbildning var därför stor. Idag används nästan uteslutande långsamgående rivare för kontinuerligt matade pannor, och i kombination med en mer avancerad brandskyddsutrustning (temperaturgivare, cellmatare, sprinklers, m.m.), är brandrisken betydligt lägre med dagens teknik.

Halmen har också ett dåligt anseende när det gäller den egna arbetsinsatsen. Helt klart är att halm i många fall kräver mer arbete och tillsyn än andra biobränslen, eftersom det bl.a. är ett skrymmande och stråformigt bränsle som är svårt att ”fluidisera”, dvs. att hantera i ett kontinuerligt flöde, som man t.ex. kan med olja, flis, pellets och spannmål. Dessutom innebär den höga askhalten och den låga asksmälttemperaturen att det blir mer arbete och tillsyn. Arbetsbehovet styrs också av vilken panntyp man väljer för den egna gården; en satsvis matad panna kräver i regel mer arbete, eftersom den oftast matas manuellt. Å andra sidan kanske man väljer en sådan panna just för man vet att man har tid att sköta den och för att investeringskostnaden är lägre. Men om man vill ha en panna med en relativt liten arbetsinsats, är dagens kontinuerligt matade halmpannor ett intressant alternativ då de har en hög automatiseringsgrad. Likaså har dessa pannor idag ganska avancerade styr- och reglersystem, vilket har förbättrat verkningsgraden och minskat utsläppen av bl.a. stoft.

I Danmark finns som nämnts tidigare ca 10 000 gårdspannor och ca 120 värmeverk som eldar med halm. Här finns således sedan lång tid tillbaka ett gediget kunnande om halmeldning. Erfarenheterna från Danmark visar att dagens pannor fungerar bra, och den större askmängden med lägre asksmälttemperatur vållar heller inga allvarliga problem.

Ett annat argument mot halmeldning har tidigare varit den dåliga ekonomiska konkurrenskraften. Jämfört med t.ex. olja och el är dock halm ett mycket konkurrenskraftigt bränsle idag. Detta gäller särskilt för lantbrukare som har fastigheter med ett förhållandevis stort värmebehov, t.ex. uppfödning av slaktkycklingar, uppfödning av smågrisar, växthusproduktion, spannmålstorkning, en gårdsverkstad som används året om eller flera fastigheter rimligt nära varandra. Det billiga halmbränslet kan även leda till att man får råd med en större värmekomfort än vid val av annat bränslesystem. För kommunerna kan det vara viktigt att kunna använda ett närproducerat bränsle som ger upphov till arbetstillfällen i den egna kommunen och därmed också ökade skatteintäkter.

Slutsatsen är att ett av de största hindren för en ökad användning av bränslehalm i Sverige är bristande kunskaper om dagens halmeldningsteknik och att här finns för få referensanläggningar. Det effektivaste sättet att snabbt öka användningen av bränslehalm i landet torde därför vara en kraftfull satsning på olika informations- och demonstrationsprojekt. Informationen till lantbrukarna kan ske genom kurser, framtagande av olika läromedel och andra trycksaker, m.m. Det är också viktigt att de framgångsrika exempel som finns i landet när det gäller halmeldning lyfts fram och att de kan tjäna som demonstrationsanläggningar för både bränsle- (och värme)producenter och värmekonsumenter. För en ökad användning av halm som bränsle behövs också ett ökat samarbete mellan olika aktörer, t.ex. mellan lantbrukarnas organisationer (LRF m.fl.), rådgivningsorganisationer, kommuner, statliga myndigheter, *etc.* Denna satsning på informations- och demonstrationsprojekt bör i ett första skede främst rikta sig till aktörer i södra Sveriges slättbygder, där det finns överskottshalm i närområdet, där bränslekostnaden relativt sett är lägre, och där bärgningssäkerheten mellan olika år är hög.

7.2. Hanteringskostnader och bärgningssäkerhet

Tekniken för bärgning av halm är väl utvecklad idag. De pressar som finns på marknaden, både när det gäller rundbalspressar och högdensitetspressar, är tekniskt avancerade och har en mycket hög kapacitet och driftssäkerhet. Den tekniska utvecklingen drivs framåt av några större internationella maskintillverkare med stora resurser till förfogande. Eftersom själva tekniken kan anses vara ”optimal” utifrån de behov som finns idag kontra utvecklings- och tillverkningskostnaderna, bör i dagsläget inga FoU-medel satsas på några större maskinutvecklingsprojekt.

Ett viktigt problem är istället att passa in de ofta mycket dyra maskinerna i den kedja av arbetsmoment som ingår i halmbärgningen. Syftet är att minimera totalkostnaden för hela systemet från fält till panna. Man måste alltså se till helheten, och optimera bärgningskedjan med avseende på organisation, typ och antal av olika pressar, typ och antal av olika transportekipage, antal och storlek på lagren, *etc.* Viktiga begrepp i detta sammanhang är kötid, ställtid, maskinkapacitet, driftssäkerhet, lastkapacitet, m.m. Man ska också vara medveten om att även om man använder en given teknisk utrustning, kan oftast små justeringar innebära ganska stora förändringar, t.ex. betyder ihopläggning av två halmsträngar till en mycket för kapaciteten för en given press, och stuvningsgeometrien betyder mycket för hur många balar som får plats på en given transportvagn.

I praktiken ”optimeras” dock olika bärgningssystem ganska snabbt av de maskinstationer, entreprenörer m.fl. som arbetar inom branschen. Det primära intresset hos dessa aktörer är att få god lönsamhet på sin verksamhet, och de anpassar därför sitt val av maskinkedja efter detta. (För större bärgningssystem blir totalkostnaderna oftast lägst med högdensitetspressar, p.g.a. den högre presskapaciteten och den högre baldensiteten. Dessa maskiner är dock mycket dyra, och de används i regel enbart för halmpressning, vilket förklarar varför det i praktiken oftast är maskinstationer, entreprenörer, större gårdar m.m., som ombesörjer själva pressningen.). Idag finns det ett flertal kalkylmodeller utvecklade för att beräkna kostnaderna för olika halmbärgningssystem, där man följer halmens väg från fält till panna under såväl svenska som utländska förhållanden, och därför bör i första hand dessa användas om man ska ”förfina” dagens hanteringssystem.

Ett av de största hindren för etablering av större halmeldade pannor är osäkerheten kring bränsleförsörjningens tillförlitlighet mellan olika år. Detta gäller speciellt områden med halmöverskott och regniga höstar, t.ex. i västra Sverige. Under vissa mycket regniga år kan det bli svårt att få tag på tillräckligt med bränslehalm. För att en kommun ska våga satsa på halm som bränsle i ett värmeverk, måste man kunna garantera långsiktiga leveranser av ett

bränsle med hög kvalitet. Ett sätt att lösa detta problem är att ha en ”överdimensionerad” bärgningskedja, eller att ha buffertlager. Dessa åtgärder innebär dock att hanteringskostnaderna blir högre. För att kunna utreda den inverkan som vädret har på bärgningssäkerheten mellan olika år, och därmed på de totala kostnaderna för hela bärgningskedjan under en längre tidsperiod, behöver man ta fram kostnadsmodeller som tar hänsyn till dynamiken i systemet sett under en längre tidsperiod. I sådana avancerade dynamiska modeller kan man t.ex. använda historiska väderdata och simulera halmens upptorkningsförlopp, och därmed ta reda på hur många dagar som den är bärgningsbar och vilken kvalitet (vattenhalt) den har under en längre tidsperiod, t.ex. under 25 år. Syftet är att ge underlag för kommuner m.fl. om hur kostnaderna och bärgningssäkerheten ser ut på en viss plats med dess specifika förhållanden när det gäller väder, transportavstånd, m.m.

7.3. Bränslekvalitet

Ett problem med alla biobränslen, och särskilt för halm, är att bränslekvaliteten kan variera stort p.g.a. variationer i årsmån, väderlek under bärgningssäsongen, spannmålslag, jordart m.m. Med bränslekvalitet avses här i första hand vattenhalt, asksmälttemperatur (dvs. innehåll av alkalimetaller och klor), askhalt och korrosivitet (dvs. innehåll av klor). De som har stor erfarenhet av halmeldning har oftast lokal kännedom om de fält man ska undvika att bärga halmen på, och vilka sorter och spannmålslag som bör undvikas. I de områden i landet där förutsättningarna för halmbärgning är goda, dvs. där bärgningssäsongen är lång, har man också ofta ”råd” att låta halmen ligga på fältet tills den är tillräckligt torr och tills en del av alkalimetallerna, kloreten och askan hunnit tvättas ur av regn och dagg.

Mer generella kunskaper behöver dock tas fram om hur bränslekvaliteten påverkas under olika förhållanden i Sverige, t.ex. när det gäller väder och jordart, i syfte att öka bränslekvaliteten även under besvärliga år. Detta innebär också att halm blir ett mer attraktivt bränsle i de regioner med överskottshalm som har mer osäkra bärgningsförhållanden, t.ex. i Västsverige och i Mälardalen. Dessutom behöver nya innovativa metoder tas fram för att snabbt och tillförlitligt mäta kvaliteten redan i fält, och på så sätt tidigt i hanteringskedjan sortera bort den halm som senare skulle kunna orsaka problem vid eldningen.

7.4. Förädling

Det är ett välkänt faktum att halm är ett mycket skrymmande bränsle (energisdensiteten per volyms- och massaenhet är 2 GJ/m^3 resp. $0,014 \text{ GJ/kg}$, vilket t.ex. kan jämföras med olja, som har densiteterna 35 GJ/m^3 resp. $0,043 \text{ GJ/kg}$). Av ekonomiska skäl bör därför transportavståndet hållas korta (speciellt om man använder traktortransporter), vilket innebär att halmen bör användas i närområdet. I jordbruksbygder med halmöverskott kan troligen den övervägande delen av bränslehalmen användas på gårdarna och i lokala värmeverk i närområdet, och teoretiskt sett skulle därför halmen inte behöva transporteras några längre sträckor.

Ett sätt att öka hanterbarheten är att förädla halmen till briketter, pelletter, pulver, samt genom förgasning/pyrolys till gasformiga och flytande bränslen. Dessutom kan man framställa etanol ur halm med hjälp av hydrolys och efterföljande jäsning. Forskning om förädling till gasformiga och flytande bränslen har, som nämnts tidigare, bedrivits i bl.a. Danmark. Erfarenheterna har visat att det återstår flera problem att lösa innan det kan bli fråga om kommersiella anläggningar. Däremot är det fullt möjligt rent tekniskt att förädla halm till briketter, pelletter och pulver.

Flera försök har gjorts med att bygga maskiner för förädling i fält, främst när det gäller fältbrikettering och fältpellettering. Kostnaderna för sådana bränslen blir dock mycket höga, eftersom maskinerna blir mycket effektkrävande då de ska hinna med att bärga halmen under några få veckor. Erfarenheterna har också visat att det är svårt att göra hållbara produkter med dessa fältmaskiner, speciellt när det gäller briketter, som lätt faller sönder i mindre bitar. Ett sätt att minska kostnaderna kan vara att använda mobila anläggningar som förädlar balad halm, och dessa maskiner kan då i princip användas under hela året. Nackdelen blir naturligtvis att två hanteringskedjor behövs, en för balad halm och en för förädlad halm. Ett tredje alternativ är förädling vid en central anläggning.

En viktig anledning till förädling av halm är att bränslet kommer in på helt andra marknader med betydligt högre betalningsförmåga än vad som gäller för oförädlade bränslen. Visserligen skulle lägre transportkostnader kunna vara ett motiv till förädlingen, men när man väl lastat ett lass halmbalar kan man i praktiken köra mycket långt innan transportkostnaden uppvägs av förädlingskostnaden (speciellt gäller detta för lastbilstransporter). Om man däremot t.ex. pelletterar halmen, används en annan (och billigare) hanteringsteknik och eldningsutrustning, vilket gör att det finns utrymme för högre priser. I detta marknadssegment kan halmpellets bli ett alternativ till exempelvis träpellets och spannmål. Avgörande faktorer för en framtida användning av förädlade halmbränslen är emellertid att råvarukostnaderna är konkurrenskraftiga och att råvarutillförseln är säkrad (se f.ö. kapitel 7.2), samt att bränslekvaliteten är hög, dvs. att problemen med sintring och hög askhalt kan lösas (se f.ö. kapitel 7.3).

Helsädesskörd kan också ses som en typ av förädling, vilket har provats i både Danmark och Sverige med varierande resultat. I vissa fall har man haft problem med separation av kärnorna och ibland även problem med sintring. Å andra sidan har man haft lyckade proveldningar av t.ex. hackad helsäd av rågvete vid Sätenäs värmeverk (se bilaga A). En fördel med hackad helsäd är att man kan använda billigare inmatningsutrustning vid anläggningen, och att det blir enklare att blanda bränslet med t.ex. fuktig flis. Tidigare studier tyder också på att ett fälthackat bränsle som lagras i stackar utomhus kan vara ekonomiskt intressant vid korta transportavstånd. Pågående eldningsförsök i Västra Götaland bör dock utvärderas, innan eventuella initiativ tas för att undersöka hur olika bärgningssystem för helsäd skulle kunna se ut.

7.5. Askhantering

Askan ses ofta, med fullt fog, som ett bekymmer vid halmeldning, bl.a. beroende på att mängderna är relativt stora. Det är dock viktigt att se den aska som *de facto* bildas som en resurs istället för ett avfallsproblem (här avses i fortsättningen den bottenaska som bildas; flygaska med höga halter av tungmetaller bör naturligtvis omhändertas på ett för miljön säkert sätt). Halmaska innehåller bl.a. kalium och kalk och är därför värdefull som gödselmedel. Ett problem med askan är dock att den kan vara svår att sprida med tillräcklig spridningsjämnhet med de maskiner som används idag. Ofta blir det också för stora givor per ytenhet. En möjlighet att komma förbi de ovan nämnda nackdelarna är att sprida askan tillsammans med t.ex. gödsel, flytande slam från reningsverk eller rötresten från biogasreaktorer. Sammanblandning av aska och kväverika material med en hög andel ammonium ökar dock risken för kväveförluster genom ammoniakavdunstning.

Inblandning av låga koncentrationer av aska i olika organiska gödselmedel kan sannolikt ge låga kväveförluster. Problemen med ojämn spridning och överdosering skulle i så fall troligen kunna lösas. Mer forskning behövs emellertid inom detta område. Man bör t.ex. utreda hur pH, ammoniakavdunstning och spridningsjämnhet påverkas vid inblandning av olika koncentrationer av halmaskor i olika organiska gödselmedel.

8. REFERENSER

- Berg, J. 2000. Lagring och hantering av rötresten från storskaliga biogasanläggningar. Storing and handling of biogas residues from big-scale biogas plants. JTI-rapport Kretslopp & Avfall Nr 22, JTI-Institutet för jordbruks och miljöteknik, Uppsala. 29 s. ISSN 1401-4955.
- Danmarks Statistik, 2005. Statistisk Årbog 2005. Statistical Yearbook. Danmarks Statistik, København, Danmark. 599 s. ISSN 0070-3567. ISBN 87-501-1457-3.
- Ekström, C., Ström, E., Bengtsson, A., Brandberg, Å. 1991. Biobränslebaserad metanol och etanol som bränsle – en översiktlig studie. Rapport U(B) 1991/66, Vattenfall, Vällingby och Älvkarleby. 59 s.
- Ekström, N., Jonsson, C. 1985. Hantering av halm och aska vid halmeldning. JTI-rapport Nr 67, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 55 s. ISSN 0346-7597.
- Etek, 2005. Etanolteknik. (www.etek.se: 27 oktober 2005). Etanolteknik AB, Örnköldsvik.
- European Commission. 1997. Energy for the future: Renewable sources of energy. White paper for a community strategy and action plan. Commission of the European Communities, COM(97) 599. Brussels, Belgium.
- Flodén, S. 1995. Spridning av aska från stråbränsle med spridare för stallgödsel. En orienterande studie av tre spridare. JTI-rapport Nr 211, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 40 s. ISSN 0346-7597.
- FramTidsbränslen, 2005. Sundsvall demonstration plant. En förstudie av en pilotanläggning för tillverkning av Fischer-Tropsch diesel från biomassa. FramTidsbränslen AB, Sundsvall. 97 s.
- Goldschmidt, B. 2005. Biobaserade energikombinat med tillverkning av drivmedel. Biomass based energy combines with motor fuel production. Anläggningsteknik 904, Värmeforsk Service AB, Stockholm. 52 s. ISSN 0282-3772.
- Hadders, G. 1994. Förändringar under skördeperioden av bränsleegenskaperna hos halm. JTI-rapport Nr 186, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 51 s. ISSN 0346-7597.
- Hadders, G. 1996. Spridning av aska från stråbränslen på åkermark. Teknik för lantbruket Nr 50, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 12 s. ISSN 0282-6674.
- Hadders, G., Flodén, S. 1997. Spridning av aska från stråbränslen på åkermark. Förutsättningar och rekommendationer. JTI-rapport Lantbruk & Industri Nr 234, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 33 s. ISSN 1401-4963.
- Hadders, G., Nilsson, D. 1993. Storskalig hantering av stråbränslen från jordbruket. Lägesbeskrivning och förslag till utvecklingsinsatser. JTI-rapport Nr 160, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala. 54 s. ISSN 0346-7597.
- Henriksson, A., Stridsberg, S. 1992. Möjligheter att använda halmeldning till energiförsörjningen i södra Sverige. The potential of using straw as a fuel for the support of energy in the agricultural areas of southern Sweden. Rapport 161, Inst. f. lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 93 s. ISSN 0283-0086. ISRN SLU-LT-R--161--SE.
- IEA, 2005. Bioenergy in Denmark. Bioenergy News, vol. 17, nr 1, p. 1. IEA-International Energy Agency Bioenergy.
- Jensen, E. 2005. Pers. medd. Lin-ka Maskinfabrik A/S, Lem, Danmark.

- Johansson, C., Johnsson, F., Algerbo, P.-A., Thorsen, R., Jansson, S., Neuman, L. 2004. Maskinkostnader 2004. Underlag och kalkylexempel på timkostnader för lantbruksmaskiner. Maskinkalkylgruppen, Linköping, Kalmar, Borgeby, Vänersborg, Linköping och Ulricehamn. 28 s.
- LBK, 2003. LBKs rekommendationer (pärm). Lantbrukets Brandskyddskommitté, Stockholm. 303 s.
- Löfgren, J. 2005. Torkning kan ersätta plast. Land Lantbruk nr 43, 21 oktober 2005. S. 10.
- Nikolaisen, L.(ed), Nielsen, C., Larsen, M.G., Nielsen, V., Zielke, U., Kristensen, J.K., Holm-Christensen, B. 1998. Straw for Energy Production. Technology – Environment – Economy. 2:nd edition. The Centre for Biomass Technology, Köpenhamn, Danmark. 53 s. ISBN 87-90074-20-3.
- Nielsen, V. 2003. Teknik til halmbjærgning siden 1950. DJF rapport Markbrug nr 95, Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Foulum, Tjele, Danmark. 27 s. ISSN 1397-9884.
- Nielsen, V., Mortensen, H.S. 2001a. Presning af halm i rundballer eller minibigballer. Teknik, arbejdsbehov og kapacitet. Baling of straw into round bales or mini big bales. Techniques, labour requirement and capacity. DJF rapport Markbrug Nr 57, Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Foulum, Tjele, Danmark. 33 s. ISSN 1397-9884.
- Nielsen, V., Mortensen, H. 2001b. Presning og bjærgning af halm. Arbejdsbehov og kapacitet. Grøn Viden, Markbrug nr 245, Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Foulum, Tjele, Danmark. 6 s. ISSN 1397-985X.
- Nilsson, C., Ekström, N. 1982. Halm som bränsle. Bakgrund och systemlösningar. Specialmeddelande 114, Inst. f. lantbrukets byggnadsteknik, Lund. 50 s. ISSN 0348-0593. ISBN 91-576-1113-0.
- Nilsson, C., Carling, H., Ekström, N., Ivarsson, E. 1988. Att elda med halm. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 364, Teknik. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 53 s. ISSN 0347-9293. ISBN 91-576-3298-7.
- Nilsson, D. 1991. Bærgning, transport, lagring och förädling av halm till bränsle – metoder, energibehov, kostnader. Harvesting, transport, storage and upgrading of straw as a fuel – methods, energy needs, costs. Rapport 150, Inst. f. lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 102 s. ISSN 0283-0086. ISRN SLU-LT-R--150--SE.
- Nilsson, D. 1999. Analysis and Simulation of Systems for Delivery of Fuel Straw to District Heating Plants. Doctoral Thesis, Agraria 205. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Näslund, M., Fjällström, T., Nordin, J.-Å., Söderström, J., Pettersson, M. 2003. Teknik och råvaror för ökad produktion av bränslepellets. Energidalen i Sollefteå AB, Sollefteå. 98 s.
- Olsson, R., Rosenqvist, H., Vinterbäck, J., Burvall, J., Finell, M. 2001. Rörflen som energi- och fiberråvara - en system- och ekonomistudie. BTK-rapport 2001:4, Enheten för biomassateknologi och kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå. 60 s.
- Riksbanken, 2005. www.riksbanken.se: 2 november 2005. Riksbanken, Stockholm.
- Sahlberg, M. 1990a. Möjligheter att använda halmeldning till energiförsörjningen i Mälardalen. The potential of using straw as a fuel for the support of energy in the agricultural areas of central Sweden. Rapport 134, Inst. f. lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 63 s. ISSN 0283-0086. ISBN 91-576-3581-1.

- Sahlberg, M. 1990b. Lämpliga lokaliseringssorter för halmeldade fjärrvärmeverk i Östergötlands och Örebro län. Rapport 145, Inst. f. lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 41 s. ISSN 0283-0086. ISBN 91-576-4299-0.
- SCB, 2003. Energiundersökning för jordbruket avseende 2002. Farm energy survey 2002. Statistiska centralbyrån, Stockholm och Örebro. 3 s.
- SCB, 2005a. Statistisk årsbok för Sverige 2005. Statistical Yearbook of Sweden. Statistiska centralbyrån, Örebro. 783 s. ISSN 0081-5381. ISBN 91-618-1240-4.
- SCB, 2005b. www.scb.se: 1 november 2005. Statistiska centralbyrån, Stockholm och Örebro.
- Schultz, G. 2001. Securing of supply in short and longer term of wood and straw. Manuscript, Energi E2, Ballerup, Danmark. 6 s.
- Segerud, K., Stridsberg, S. 1994. Pulvereldning kol/rörflen/halm. En förstudie. SLF Rapport nr 8, Stiftelsen Lantbruksforskning, Stockholm. 35 s. ISSN 1104-6082.
- SIS, 2000. Fasta bibränslen och torvbränslen – Terminologi. SS 187106 Utgåva 3, SIS - Bränslen och energisystem, Swedish Standards Institute, Stockholm. 9 s.
- Stridsberg, S., Christensson, K. 1994a. Hantering av hackad halm. En förstudie. SLF Rapport nr 9, Stiftelsen Lantbruksforskning, Stockholm. 31 s. ISSN 1104-6082.
- Stridsberg, S., Christensson, K. 1994b. Bränslemixar med halm. Eldningsförsök vid fem anläggningar. SLF Rapport nr 10, Stiftelsen Lantbruksforskning, Stockholm. 47 s. ISSN 1104-6082.
- Stridsberg, S., Christensson, K. 1995. Hantering av hackad halm II. SLF Rapport nr 16, Stiftelsen Lantbruksforskning, Stockholm. 31 s. ISSN 1104-6082.
- Stridsberg, S., Christensson, K. 1997. Stacklagring av hackad halm. SLF Rapport nr 24, Stiftelsen Lantbruksforskning, Stockholm. 51 s. ISSN 1104-6082.
- Stridsberg, S., Segerud, K. 1996. Pulvereldning kol/rörflen/mald bränslekärna. Combustion of coal/grass/grain powder. Omvandlingsteknik 566, Värmeforsk – Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning, Stockholm. 73 s. ISSN 0282-3772.

BILAGA A: STUDIERESA TILL VÄSTERGÖTLAND, SKÅNE OCH SJÄLLAND

Norrvidinge Maskinstation

22:a augusti kl. 10.00: Norrvidinge Maskinstation, Billeberga

Kontakt: Martin Nilsson

Delägare: Martin Nilsson, Tobias Vegehall och Anders Olsson

Det är första året man kör halmbärgningen i fullskala. Rolf Leire (se nedan: Svalövs värmeverk) skötte tidigare detta.

Verksamhet

Pressar halm från 2500 ha vilket ger ca 16 000 balar. Denna halm består till ca 90 % av vete-halm, resten kommer till lika delar från rågvete och råg. Man har 9 st. halmpressar som ger storbalar av hesstontyp. 2-6 traktorer med långa lastbilssläp som lastar 20 balar/styck samlar ihop och kör balarna till 2 mellanlager. Balarna lastas av 1 st. hjullastare och 2 st. dragtraktorer som är försedda med frontlastare. Vid behov används lastbilar som lastar 28 st. balar till transporten av dessa. Hälften av traktorerna är inhyrda medan resten är egna.

Med ovan nämnda maskinpark tar det 2-3 veckor att pressa och samla ihop halmen. Halmen körs till 2 st. stora mellanlager vid ett senare tillfälle.

10 st. personer är säsongsanställda och 8 personer är ordinarie. De säsongsanställda sysslar i huvudsak med halmbärgningen.

Man har både nya och 15 år gamla pressar. Kapaciteten är nästan dubbelt så hög med de nya pressarna främst beroende på färre driftsavbrott och att presskolven går fortare, 50 slag per minut jämfört med 35-40 tidigare. De nya pressarna har dessutom elektronik som hjälper föraren att få jämna och fina balar. De har även en balvagn bak som samlar ihop tre balar och lägger av dessa på samma ställe. Detta sparar in en hel del tid vid hopsamlingen av balarna. Vid lastningen vänds balarna på sidan 90°. Vid stackningen är balarna tåligare i detta läge. Detta gör att fler balar kan lavas ovanpå varandra utan risk att tryckas sönder av trycket från ovanpå liggande balar. De nya pressarna klarar av att pressa ungefär en bal i minuten. Vid stackningen kan man lava 8 balar på höjden.



Bild A1. Press med balvagn, Norrvidinge Maskinstation.

Hinner man inte direkt att köra bort balarna från fälten, brukar man samla ihop dessa vid fältets kant där de senare är lätta att lasta. Med lastmaskinen vänder man först balarna 90°, staplar dem 2 på höjden och lägger dem i en stack vid fältets kant. På så sätt får man snabbt fältet fritt från halm och vid dåligt väder blir balarna mer skyddade och det blir mindre smuttsigt att lasta.

Det går åt ca 1 liter dieselolja per bal för pressning och hemtransport av balarna.

Vid studiebesöket framkom att man tror på självlastande vagnar i framtiden om dessa kan lasta tillräckligt många balar. Det är viktigt att ta stora lass för effektiva transporter.

Man har mellanlager med 8000 balar i Svalöv och Billeberga. Gårdslager med 1000 balar finns i Gårdstånga och dessutom finns ett lager vid Svalövs värmeverk.

Effektivitet och nöjda kunder (bönder) är det viktigaste för verksamheten. Det är viktigt att lova med omdöme och inte ta på sig mer än man klarar av.

Då det ej är halmsäsong har man 3-4 personer som kör grus, betong, betor m.m. med lastbilar.

Sjöö gods

20:e september kl. 15.00: Sjöö gods, Örsundsbro

Kontakt: Carl Banér

Ägare: Carl Banér

Odling: 1500 ha varav en del på en gård utanför Tierp. 500 ha höstvetete från vilken halm tas på 300-400 ha; 200 ha rågvete; 200 ha korn; 80 ha vårvete; 125 ha lin och 50 ha höstraps. Dessutom odlas en del havre. Man har 25 000 värphöns.

På Sjöö gods finns Danstokerpanna med matningssystem med mera från Linka. Denna panna eldas med riven halm. Halmpannan är på 800 kW och med rooster. En 700 kW oljepanna finns

som backup och reserv. Pannan används för att driva en tork (klarar att torka 22 ton spannmål från 20 till 16 % vatten per timme) och att värma ett slott, en verkstad, och flera bostadshus med totalt 12 inkopplingar genom 1200 m kulvert. Pannan eldas främst med vete-halm som pressats till 380 kg balar med en New Holland press. Varje år eldas 500-700 ton halm beroende av hur torr spannmålen är vid tröskningen. Man lagrar halm motsvarande 1,5 års förbrukning för att gardera sig mot våta år då inte så mycket halm kan bärgas. Totalt lagras 1000 ton halm inomhus, varav 600 ton i ladan på Sjöo gods. Halmmatningssystemet består av en transportör för max 18 balar, rivare, fläkt/sug-transportör, cyklon, cellhjul mot bakbrand och skruvinmatning till pannan. Uraskning av pannan sker med en skruv. Den aska som sintrar (smälter ihop till klumpar) måste tas ut ur pannan manuellt. Detta tar ungefär en timme och under denna tid måste pannan stängas av och eventuellt oljepannan köras istället. Sintring sker framförallt under torkningssäsongen då pannan körs på full effekt. Under vintersäsongen då 200-300 kW, maximalt 400 kW, värme tas ut är sintringsproblemen små. Stoff från rökgaserna urskiljs med ett textilfilter. Inga kända korrosionsproblem finns i anläggningen.



Bild A2. Halmeldad panncentral på Sjöo gods.

Hela anläggningen för eldning av halm inkl. panna, kulvertar och flamsäkert pannrum var en investering på 4 miljoner kronor 1998. Förutom halmen förbrukar man 5-10 m³ olja per år.

Den halm som ska pressas bör ligga på fältet i 3-4 dagar före pressning. Efter pressningen läggs balarna ihop tre och tre på höjden där den översta balen blir tak och skyddar mot nederbörd. Om regn faller kasseras den översta balen till eldningsändamål och säljs istället som strö till svinbönder. Rivaren, i halmmatningssystemet, klarar ej av halm som varit fuktig då denna bildar kakor. Rivaren klarar ej heller möglig halm och halm som innehåller kvickrot. Grön kvickrot ger mögel i balarna. Banden runt balarna tas bort manuellt innan dessa kan rivas. För att balarna då ska matas in mot rivaren placeras två balar i höjd på transportören, med balbanden kvar, bakom de balar som ska eldas. Dessa balar fungerar som påskjutare samt håller ihop de balar som inte har balbanden kvar.

Man eldar inte linhalm då halmrivaren ej klarar av denna halm. Linhalmen är annars energirik och brinner bra. Rapshalm fungerar bra i matningssystemet och pannan.

Man har observerat att halm från olika fält, med olika jordarter, har olika eldnings- och sintringsegenskaper.

Det viktigaste problemet med anläggningen är att halmaskan sintrar då den används till att driva torken. Detta orsakar mycket extra arbete samt ger en svårhanterlig aska i form av stora klumpar. Sintringsproblemet är det viktigaste att lösa vid halmeldning. Halmbärgningen är redan optimerad och fungerar bra. Halmen är ett lönsamt och ekonomiskt konkurrenskraftigt bränsle idag.

Vid studiebesöket på Såtenäs värmeverk (se nedan) framkom att sintringsproblemen med den ovan beskrivna pannan kan bero på för mycket primärluft. De gaser, som bildats under den del av förbränningen då brännbara lättflyktiga gaser avges från bränslet, förbränns då på ett ställe i pannan som är känsligt för asksintring. Att komma till rätta med detta kan kräva en hel del experimenterade med pannan, och det under en arbetstopp i jordbruket då man torkar spannmål och har ont om tid. För lite primärluft kan ge mycket oförbränt i askan.

Kvänum värmeverk

21:a september kl. 09.00: Kvänum värmeverk, Kvänum

Kontakt: Dan Fannygard

Ägare: Svensk Brikettenergi via Lantmännen

I Kvänum har man en 2,5 MW panna som eldas med spannmålsavrens och halm. Dessutom har man två oljepannor (1 MW och 2 MW) som reserv och backup. Man förser lantmännens tork med värme liksom stora delar av tätorten Kvänum. Halmen (fastbränslet) klarar av Kvänums värmebehov ner till -5°C, men fjärrvärmens byggs nu ut med ytterligare 20 enheter vilket medför att andelen olja kortsiktigt ökar.

Pannan är av modell Osby Parca med rörligt plattroster. Rostret är inte vattenkyllt. Halmen matas till pannan genom att balar med banden kvar placeras på ett transportband som för dem in i rivaren. Efter rivaren transporteras halmen med en fläkttransportör till pannrummet där den passerar en cyklon och ett cellhjul (mot bakbrand) innan den matas in i pannan. Fläkten i fläkttransportören är utformad för att även, till viss del, hacka halmen. Pannan är försedd med ett textilfilter som tar hand om flygaskan. Textilfiltrena rengörs med ljudpulser. Flygaskan blandas med bottenaskan. Bottenaskan från pannan går igenom ett vattenbad innan den matas ut. Askan går tillbaka till lantbrukarna och sprids på fälten.

Den halm man eldar, levereras av lantbrukarna som 250 kg fyrkantbalar (som halva hesstonbalar). Man eldar även rundbalar. Dessa brukar placeras ovanpå och mellan två fyrkantbalar på transportbandet till rivaren. Rundbalarna sjunker då ner och rivs upp då de kommer fram till rivaren. Detta är en lösning för att få balarna på det relativt korta balbandet att räcka under en hel natts eldning. Balbandet är försett med medbringare och därför behövs ej balar staplade ovanpå varandra som en motvikt längst bak på bandet. Man kan ej ta emot halm med mer än 20 % vatten då denna ställer till för mycket problem i bl.a. rivaren. För sur halm går tillbaka till leverantören. Man har inte problem med att leverantörerna försöker leverera allt för sur halm.

Kli och avrens har vid eldning gett mindre sintring än halm. Halm från oljeväxter har sintrat mindre än spannmålshalm. Man har även eldat mindre mängder hackad helsäd från rågvete. Denna sintrade mer i pannan än vanlig halm. Helsäden innehöll 22-25 % vatten vilket är lite surare än vad man normalt tolererar. Man hade inga problem med kärnor som oförbrända föll igenom pannans roster för att komma ut med askan vid eldning av helsäd.

Man har haft problem med att halmen fastnar i cyklonen och sedan sprids ut över hela gården. Detta problem tror man kan lösas med en annan dimensionering av cyklonen.

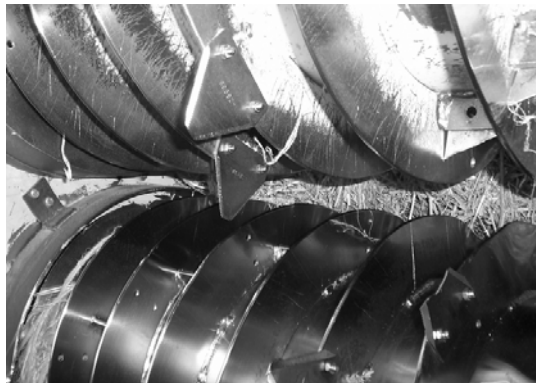


Bild A3. Balrivare, detalj i inskjutna bilden, Kvänum.

Man har ibland haft problem med sintring. Havrehalm är den typ av halm som ger mest sintningsproblem. Askkan ser vanligen ut som grus. Man har mest problem med sintring vid låglast.

Såtenäs värmeverk

21:a september kl. 11.00: Såtenäs värmeverk, Såtenäs

Kontakt: Sune Andersson

Ägare: Såtenärgeni via Svensk Brikettenergi och Lantmännen (91 %) och Lantbrukarnas stråförening (9 %).

Sune Andersson är anställd av Fortifikationsverket (myndighet som äger försvarets byggnader) men hyrs in av Såtenärgeni.

Såtenärgeni täcker 80 % av värmebehovet till flygflottiljen och närliggande bostäder med bioenergi. Man klarar i princip värmebehovet ner till 0°C, sedan går flygflottiljens oljepannor på 4*3 MW in och täcker resten alltefter behovet.

I Såtenäs har man en 4,0 MW panna som eldas med 4500 ton halm och 1000 ton kasserat spannmålsutsäde årligen. Halm från alla stråsedesslag (vete, korn, rågvete, råg och raps) utom havre (som sintrar för mycket) eldas. Balarna hanteras med en travers som automatiskt hämtar balar i lagret och placerar dessa en och en på ett band som leder in till en rivare i ett slutet utrymme. Rivaren är av samma typ som i Kvänum och klarar av att balarnas band sitter kvar då dessa rivs. Efter rivaren passerar halmen ett cellhjul som bl.a. ska hindra brand bakåt mot lagret. Halmen förs in i pannan med en dubbelskrub. Pannan är av modell Osby Parca HVTS 5000 IV med ett rörligt lutande roster som ej är vattenkyllt. Rökgaserna renas först i en cyklon och sedan i ett textilfilter. Tuberna i pannan och textilfiltret rengörs (sotas) med ljud. Strumpen i textilfiltret byts ut efter 2-3 år. Flygaskan blandas med bottenaskan. Bottenaskan går ut via ett vattenbad. Askkan går tillbaka till lantbrukarna och sprids på fälten vanligen med fastgödselspridare och i några fall blandad med flytgödsel.

De halmbalar som man tar emot väger 300 kg (Claas) eller 400 kg (New Holland). Halmen får maximalt ha en vattenhalt på 20 %, annars går den i retur till lantbrukarna. Ligger vattenhalten på 18-20 % får lantbrukarna bara halva priset för halmen. Orsaken till detta är att man har problem att hantera fuktig halm vid matningen av pannan samt att fuktig halm får ett lägre värmevärde. Halmen lagras ute hos lantbrukarna, oftast inomhus, men även utomhus i stackar täckta med plast. Lantbrukarna får vanligen 50 öre/kg för halmen vid leverans och ytterligare 1-2 öre/kg då de levererat sina kontrakterade kvoter. Det är sällsynt att lantbrukare försöker leverera alltför fuktig halm då man informerat och utbildat lantbrukarna i hur de ska producera halm med önskad kvalitet. Lantbrukarna levererar ca 2000 ton halm/år via Farmartjänst i Grästorp.

Traversen begränsar balarnas storlek (bredd). Vattenhalten i balarna mäts med ett spjut som sticks in i dessa.



Bild A4. Sätenäs värmeverk.

Man har sällan problem med sintring i pannan, men har observerat att halmens egenskaper varierar från olika fält med olika jordarter. Det är viktigt att man kan justera pannan allteftersom halmens egenskaper varierar. För att undvika sintring i pannan gäller det att tillföra primärluften så att den främst används till att förgasa halmen, och att sedan tillföra sekundärluften så att de bildade gaserna förbränns på ett annat ställe i pannan där risken för asksintring är mindre. Halm som legat ute ett tag brinner bättre och ger mindre oförbränt i askan. Man tror att en del problem med oförbränt och sintring i pannan beror på användningen av svampmedel, som t.ex. Tilt, vid odlingen av spannmålen. Dessa medel gör ibland så att halmen ej förbränns riktigt utan bara ligger och glöder i pannan.

Man har eldat helsäd i pannan. Helsäden levereras hackad i en container (5 ton/container om 30 m³). Man har inte märkt någon ökad sintring jämfört med halmeldning. Kärnorna brinner upp som tänkt och hamnar alltså inte oförbrända i askan. Efter studiebesöket i Sätenäs stannade vi till vid stacken med hackad helsäd. Denna lagras utomhus utan täckning då man förväntar sig att stackens storlek ska göra så att påverkan från nederbörd blir mycket ringa. Kärnorna i helsäden låg inbäddade i materialet utan synbar separation.

Bal & Bobcat

22:a september kl. 08.00: Bal & Bobcat, Löderup

Kontakt: Magnus Eriksson

Ägare: Magnus Eriksson

Magnus pressar 10 000 ton halm med 3 pressar av hesstontyp och får då ca 19 500 balar. Han har även en mindre press men balarna från denna går inte till förbränning. Av den halm som pressas kommer 65 % från höstvetete och 35 % från korn. En stor del av kornhalmen används

till att täcka morotsstackar. (Notera att pressar som ger balar av hesstontyp tillverkas idag som en och exakt samma maskin med namnen: Hesston, New Holland, Case IH och Massey Ferguson: bara färgen skiljer). 12 personer är anställda på Bal & Bobcat varav 10 på heltid.

Av de pressar som Magnus har är 2 st. försedda med en efterföljande balvagn som lägger av 3 st. balar på samma ställe.

Magnus har en vagn från engelska Heath Super Chaser som stackar halm. Vagnen stackar 10 balar, 5 balar högt. Halmpressarna lämnar normalt balarna liggande med kortsidan i färdriktningen. Stackningsvagnen körs normalt i samma riktning som pressen körts. Balarna måste då knuffas till, med ett kraftigt spröt eller liknande på traktorn, så att de vänds med långsidan mot vagnens hydrauliska lastare och då kan samlas in och lastas en och en från fältet. Två rader med fem balar vardera lastas ovanpå varandra. Då 10 balar lastats körs vagnen till stacken, flaket tippas 90° och balarna läggs av som två stycken kolumner med 5 balar ovanpå varandra. I tippningsmomentet vrids balarna 90° så att balbanden kommer att hålla ihop balen såsom mantelytan på en stående cylinder. Detta gör att balarna kan staplas högt ovanpå varandra med minskad risk för deformation. Stackningsvagnen är lätt att använda och sparar in mycket arbete vid hopsamlingen av balarna. Det är en fördel att vagnen gör stacken så hög som 5 balar högt då den översta balen kan skydda 4 underliggande balar från nederbörd. Stackningsvagnen är snabbare till att samla ihop och stacka balarna vid fältkanten än vad en lastmaskin är. Det är tveksamt om de balsamlingsvagnar som lägger av balarna tre och tre är till någon hjälp då balarna ska samlas in med ovan beskriven stackningsvagn. Man kör ju hela tiden framåt efter pressen och det är lämpligt att man når en ny bal just då föregående bal är färdiglastad.



Bild A5. Balstackningsvagn, Bal & Bobcat.

Halmen måste ligga ute och mogna ett tag innan den kan pressas. Rågvethalm måste ligga ute längre tid än vethalm innan den är mogen för pressning och eldning. Det är viktigt att man inte pressar för färsk halm då färsk halm fjädrar tillbaka vid pressningen och sedan sjunker ihop något dvs. blir dåligt formstabil vilket kan leda till ras om sådan halm stackas högt. Då halmen får ligga några dagar efter skörd dör stråna och vattenhalten sjunker. Stråna blir dessutom lättare att platta till vilket underlättar pressningen.

På pressarna finns vattenhaltsmätare (mäter den elektriska ledningsförmågan hos halmen), och man pressar vid vattenhalter upp till max 19 %. Med en 17 fots strängläggare kan två halmsträngar läggas ihop till en varvid kapaciteten ökar vid pressningen. En annan fördel är att man vänder halmen som då torkar bättre.

Då man har pressat halmen är det viktigt att få undan denna så snabbt som möjligt för att fältet ska bli ledigt för t.ex. höstsådd. Halmen kan i väntan på bortforsling stackas 5 balar högt, vid fältets kant, med ovan beskriven stackningsvagn. Det är viktigt att få undan halmen snabbt så lantbrukaren blir nöjd och om den då även blir stackad vid fältkanten kan de översta balarna skydda de underliggande. Halmen transporteras sedan till större stackar där den lagras

7 balar högt. Man lagrar halmen ofta i stora stackar utan täckning. Det översta lagret blir då blött.

Bal & Bobcat plastar årligen in ungefär 1500 ton halmbalar. Detta är en alternativ lagringsmetod som kostar 5-10 öre/kg halm. Balar som ska plastas in får maximalt ha en vattenhalt på 14 %, annars bildas kondens och då går inte balarna att elda i ett värmeverk annat än vid låglasttid. Inplastning av halmbalar ska ses som ett sätt att sprida riskerna vid lagringen.



Bild A6. Inplastare, Bal & Bobcat.

Magnus hyr in 50-60 % av de traktorer som bara används vid halmbärgningen.

Bal & Bobcat transporterar all halm med traktor i 40-45 km/tim. Man har 12 m långa vagnar som lastar 22-30 hesstonbalar. Den vagn som endast är 90 cm hög kan lasta 3 balar på höjden (30 st. = 15 ton). Om det vore tillåtet skulle det inte vara några problem att koppla 2 sådana vagnar efter en traktor.

Magnus har en egen 70 kW panna som matas med en stokerskruv. Halmbalarna rivs i en halmrivare från Linka och den rivna halmen transporteras med en fläkt via en cyklon och ett cellmatarhjul till pannans stokerskruv. Pannan kommer från Linka/Danstoker och har i oljeeldningsutförande en effekt på 200 kW. Askan matas ut automatiskt med en skruv. Man har inte problem med asksintring i denna panna. Någon ackumulatortank finns inte. Askan har använts vid vägbygge eller spridits på åkrarna med fastgödselspridare eller kalkspridare. Askan är grå och ser mestadels ut som fint grus.

Magnus anser att efterfrågan är det som behövs för att få igång halmeldning i större skala. Man måste informera lantbrukare och politiker på kommunal nivå om att halm fungerar bra som värmekälla. Tekniken finns, fungerar bra och har en hög utvecklingsnivå. Det största problemet är att i Sverige är kunskapen om halmeldning dålig, och det finns därför ett stort informationsbehov.

Närproduktion av biobränsle ger folk arbete och energi. Detta är beskattat och ger stat och kommun inkomster, därför tjänar de på att användningen av biobränsle ökar. Det arbete som utförs ger minst 30 % i skatt till kommunen. Kommunerna måste förstå att de tjänar mer pengar om man eldar med biobränslen såsom halm.

Det är viktigt att lantbrukare och lantmännen själva föregår med gott exempel och själva eldar med biobränslen för att man ska kunna övertala andra att göra detsamma.

T.ex. LRF skulle kunna bidra med långsiktiga lån för byggande av kulvert. Man måste få någon som tror på halmeldningen långsiktigt för att få folk att våga investera.

Det är viktigt att man får upp demonstrationsanläggningar som fungerar bra för att få folk som hakar på. Det är även viktigt att ta med lantbrukare, politiker m.m. på studiebesök till väl fungerande anläggningar, gärna med både stokereldning av riven halm och helbalseldning.

Priset på halmen styrs utifrån priset på träflis. En viktig sak med halmen är att den på ett sätt är gratis, den finns ju redan där, den måste bara tas till vara.

Inom en radie på 4 km runt Löderup finns 8 st. halmpannor, 3 st. av dessa eldas med riven halm och 5 st. eldas med hela balar.

En av dessa är Per-Anders Tufvesson:

Han värmer 3 bostäder, ett suggstall (48 suggor) och torkar ca 300 ton spannmål med en Skelhøje halmpanna från 1997. 24 m³ olja ersätts. I pannans vattensystem finns 11 m³ varav 9,5 m³ i ackumulatortanken. Balarna har måtten 1,2 m x 1,2 m x 1,6 m, alltså avkortade hesstonbalar som väger 300-350 kg. Ballängden, vid pressningen, kan lätt ställas in efter önskemål. Tufvesson har erfårit att halm som legat ute och fått regn på sig blivit bättre att elda. Det gäller att vara kall och inte ha för bråttom in med halmen. Skorstenen fick bytas efter 7 år och är nu ersatt av en skorsten i syrafast rostfritt stål.



Bild A7. Per-Anders Tufvessons helbalspanna.

Begagnade skorstenar, som ofta fungerar bra vid halmeldning, går ofta att få tag på från industrier eller liknande mycket billigt eller gratis. De korrosionsskador som finns i dessa skorstenar finns oftast i deras översta delar. Dessa delar kan lätt kapas bort om skorstenen ska användas till ett nytt ändamål, t.ex. halmeldning.

En anläggning lite längre bort var Högestad-Christinehof:

På Högestad-Christinehof finns en 1,4 MW panna som eldas med riven halm (kan köras tillfälligt, vid torkning av spannmål, på 1,8 MW med bra råvara) och används för att driva/värma en 40 tons spannmålstork, Stora slottet, flera bostadshus och ett mindre slott 2,5 km bort. Den halm som eldas här är pressad med en mindre press som delvis hackar halmen innan den pressas (liknande Magnus lilla press). Pannan har automatisk sotning av rökgastuberna. Detta görs med tryckluft. All halmhanteringsutrustning inklusive pannor och kulvertar kommer från Linka.

Årligen eldas 1000-1500 ton halm. Anläggningen är nu 2-3 år gammal. På Högestad-Christinehof finns även 90 kW halmpanna i inspektorns bostad.

Skurups värmeverk

22:a september kl. 12.00: Skurups värmeverk, Skurup

Kontakt: Sven-Olle Wallin

Ägare: Lantmännen

I Skurups värmeverk eldas ca 6000 ton halm per år, det mesta av denna är vetehalm. Man tillåter max 20 % vatten i halmen som kommer från tre leverantörer. År 2005 har halmens vattenhalt legat kring 12 %. Halmen levereras till Skurup som 500 kg:s hesstonbalar. Vid värmeverket kan man lagra 100 ton halm som motsvarar förbrukningen under en helg vintertid. 2 personer jobbar på värmeverket.

Pannan är på 4,5 MW och ger 23 GWh/år ut till fjärrvärmenätet. Från fjärrvärmenätet levereras 20 GWh värme, mellanskillnaden är förluster. Man eldar även 20 m³ olja/år vid service av halmpannan eller då det är kallt, under ca -8 - -10°C. Andelen olja ökar ty fjärrvärmen byggs ut i Skurup. Då andelen olja blir för hög kommer man att investera i ytterligare en halmpanna. Man värmer idag en tredjedel av tätorten Skurup men kan framöver bygga ut till det dubbla.

All utrustning i värmeverket är levererad av Linka. Balarna hanteras med en travers som automatiskt hämtar balar i lagret och placerar dessa en och en på ett band, som leder in till ett vippbord, där varje bal tippas 90° och 4 lika stora delar skärs ut från varje bal, och matas in i pannan på ett sätt som påminner om cigarreldning av hela hesstonbalar (se studiebesök Haslev Kraftvarmeværk) s.k. skiveldning. Rökgaserna kyls till 115°C innan de passerar en multicyklon och ett textilfilter där flygaskan frånskiljs. Bottenaskan frånskiljs torr till skillnad från de flesta andra halmvärmeverk. Askan går tillbaka till lantbrukarna och sprids på åkrarna. Den stora mängden vatten i fjärrvärmesystemet kan användas som en buffert, och fungerar som en ackumulatortank vid kortare driftsstörningar.



Bild A8. Automatisk travers, Skurups värmeverk.

Anläggningen är nu inkörd då antalet larm per månad minskat från 300 st. till 20 st. Pannan har en rostfri eldstad som ej klarade klorider i vattnet från början. Man fick problem med korrosion i svetsningar så dessa fick göras om. Panntillverkaren har nu löst detta problem. Man har haft en del sintringsproblem med gul (färsk) halm. Grå halm som legat ute på fältet ett tag ger inga sintringsproblem. Med gul halm har stråna brunnit sämre, bara glött och sedan smält ihop. Grå halm, däremot, brinner bra med riktig låga.

Botillelunds Gård

22:a september kl. 13.30: Botillelunds Gård, Lund

Kontakt: Hans-Wiggo Söltoft

Ägare: Hans-Wiggo Söltoft

På Botillelund odlas 150 ha av vilka 25 ha är sockerbetor och resten spannmål och raps.

Hans-Wiggo har en Skelhøje halmpanna från 1982 för eldning av hela storbalar samt säljer Passat-pannor för eldning av halm och spannmål. Hans egen panna har en 24 m³ ackumulatortank och är på 300 kW. Pannan har ett djup på 4 m och en diameter på 2,3 m. Den används för uppvärmning av 4 st. bostäder samt en spannmålstork där 800 ton spannmål torkas ner från 20 % vattenhalt under 3 veckor. 380-400 hesstonbalar brukar eldas per år. I pannan finns ingen keramik, och detta är en fördel vid halmeldning, då aska som sintrar ej kan bränna fast på vattenkylda ytor. Pannan blir då lätt att aska ur. Det är viktigt att vattnet i pannan kan cirkuleras och shuntas på ett sådant sätt att man aldrig leder in för kallt vatten i pannan då detta leder till korrosion. Vid uppstart kopplas inte pannan in på kulvertnätet förrän temperaturen i det vatten som lämnar pannan uppnått en temperatur på 90°C. Det är även viktigt att inte elda alltför fuktig halm i den här typen av pannor då detta leder till rost i rökgastuberna. Man eftersträvar en utgående rökgastemperatur på 250°C. Om ovan beskrivna panna eldas på rätt sätt anser Hans-Wiggo att den både är driftsäker och har en lång livslängd.



Bild A9. Helbalspanna, Botillelunds Gård.

Hans-Wiggo har även byggt en hemmagjord kulvert på 330 m i början av 1980-talet. Fram- och återledningarna, med rörskålar med 20 mm isolering, har lagts in i markavloppsrör med 200 mm diameter. Ovanpå dessa rör har en 100 mm markskiva placerats som isolering utöver den i rörledningen. I PVC-röret hålls fram- och återledningarna på plats av cirkulära spånskivor sågade efter rörledningarnas form. Fördelen med denna typ av kulvert är att värmeförlusterna blir små. Största nackdelen med kulverttypen är att den är mycket arbetskrävande att bygga.

Den största nackdelen med halmeldningen på Botillelunds Gård är att den kräver en hel del arbete att hålla igång. I vinter kommer en mindre havrepanna att installeras för uppvärmning av bostaden, halmpannan kommer sedan främst att användas till spannmålstorken. En begagnad skorsten av syrafast rostfritt stål kommer att användas.

Askan sprids på stubbåkern med en frontlastare genom att skopan hissas upp högt och sakta tippas i vinden.

Hans-Wiggo är återförsäljare för Skelhøje/Passat pannor avsedda främst för eldning av halm, spannmål och pellets. Han kan visa upp främst mindre havre- och spannmålspannor då halm-

pannorna är för stora och dyra att ha i lager. Han har bl.a. sålt 100 st. helbalspannor sedan 1985. Passat-pannorna är mycket lika konkurrenternas, Faust och Pilevang, pannor. Idag säljer man mest pannor avsedda för pellets och spannmålseldning. Dessa pannor har en eldstad av rostfritt syrafast stål samt keramik runt merparten av eldstaden. Under keramiken brukar man vid eldning få en blå låga. Vid spannmålseldning rekommenderas att man skaffar en ackumulatortank då denna behövs vid bl.a. rengöring av pannan. Man bör vara medveten om att effekten blir 20 % lägre vid eldning av havre jämfört med eldning av träpellets.



Bild A10. Konvektionsspiral för ökad värmeavgivning i rökgestuberna i en Skelhøje/Passat panna.

Spannmålen eller pelletsen matas in i pannan med en skraptransportör från en bränslebehållare bakom pannan. Denna bränslebehållare är satt under övertryck för att bakbrand ej ska vara möjlig. Pannorna har automatisk uraskning till en lufttät behållare av valfri storlek. Väljs en askbehållare stor som ett oljefat så räcker denna till ca en månads eldning av havre om pannan är på 40 kW.

Svalövs värmeverk

22:a september kl. 15.30: Svalövs värmeverk, Svalöv

Kontakt: Rolf Leire

Ägare: Svalövs Värmeverk AB

På Svalövs värmeverk har man 2 st. 2,5 MW halmpannor, med rörligt planrost, som varit i drift sedan 1986. I värmeverket eldas årligen 6000 ton halm som transporteras dit som hess-tonbalar. Balarna i Svalöv placeras på ett balband som matar dessa till en rivare för söderdelning och transport till pannan via en fläkttransportör, cyklon och cellhjul med gummivingar. Askan går genom ett vattenbad under pannan innan den med skruv går till en container. Rök-gaserna renas i en cyklon och ett textilspärrfilter. Bottenaskan och flygaskan blandas innan denna säljs tillbaka till lantbruket. Man har 2 st. 2,5 MW oljepannor som eldas med eldningsolja 1 i reserv.

En ny 5 MW panna med rörligt planrost (kylda av primärluften, ej vattenkylda) håller på att installeras för att ersätta de 2 ovan nämnda halmpannorna. I den nya pannan kommer bl.a. tubrören i rökgasvärmväxlaren och textilfiltret att automatiskt rengöras med tryckluft var 5:e minut.

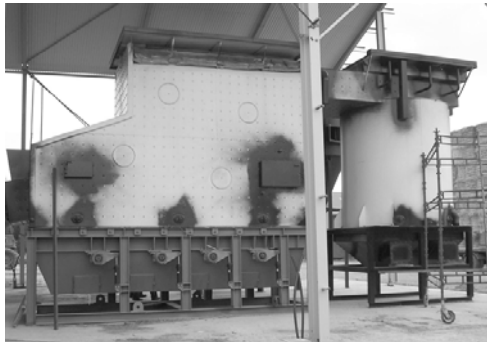


Bild A11. Ny halmpanna under installation, Svalövs värmeverk.

Halmen lagras i otäckta stackar som är 8 balar höga. Översta balen skyddar underliggande balar från nederbörd. Dessa balar går att använda som skydd under 2-4 år beroende av hur fort de får nederbörd på sig efter skörd och pressning. Balen blir mer tålig om den inte drabbas av nederbörd då den är nypressad.

Vid diskussionen i samband med besöket framkom att man anser att tekniken för bärning och eldning av halm numera är ganska optimerad. Vidare att man bör studera logistiken kring bärningen, hur jobbar man mest effektivt, med eller utan balvagnar, med balvagn som lägger av balarna 3 och 3 eller 1 och 1? Man bör med logistiska metoder studera olika bärningskedjor, lagring, transport och hantering av balarna fram till pannan. Skall balarna lagras vid värmeverket eller på olika platser runtom värmeverket, hur kan man optimera detta? Kan man komprimera balarna ännu mer än idag? Skall man lagra balarna utomhus eller inomhus, komprimerade till dubbel densitet mot vad man gör idag?

Vidare rådde viss tveksamhet när det gäller studier av asksintring, ty detta är idag ett känt problem som man kan hantera. Man vet att vete- och råghalm sintrar en del, kornhalm sintrar ännu mer, och att havrehalm är ett mycket besvärligt bränsle.

Brikettering eller pelletering i fält är nog inte rimligt ty detta kräver bl.a. en orimligt hög maskineffekt för att en rimlig bärningskapacitet ska uppnås.

Køge Biopillefabrik

23:e september kl. 8.00: Køge Biopillefabrik, Køge

Kontakt: Per Ottosen

Ägare: E2 A/S

Køge Biopillefabrik ska då det är fullt utbyggt kunna producera halmpellets från 150 000 ton halm. Idag har man en kapacitet på 110 000 ton halm och är i slutet av en ganska besvärlig inkörningsfas under 2 år. Man producerade halmpellets från 60 000 ton halm år 2004 och beräknas kunna producera halmpellets från 100 000 ton halm år 2005. Halmpelletsen används som bränsle i Amagerværket i Köpenhamn dit den transporteras med pråmar.

På Køge Biopillefabrik gör man även pellets av 400 000 - 500 000 m³ träflis årligen. Denna importerades vanligen från Ryssland eller Baltikum men kommer idag från Sverige i form av stormfällt virke.

Totalt jobbar 40 personer med produktionen av både halm- och träpellets.

Halmen kommer vanligen till pelletsfabriken på lastbilar som lastar 24 hesstonbalar (ca 12,5 ton). Halm till pellets tillåts maximalt ha en vattenhalt på 15 % vilket inte är några problem att nå på Själland (håller halmen denna vattenhalt behöver den inte torkas ytterligare före pelletering). Balarna lastas av med en travers som lyfter 12 balar åt gången och samtidigt väger dessa och mäter deras vattenhalt innan de läggs in i halmlagret som rymmer 600 ton. Från lagret matas balarna via en brandsluss in till 2 st. rivarlinjer där de även snöras av. Den automatiska avsnörningen före rivarna har vållat en hel del problem och krävt mycket justering för att fungera bra. Efter rivaren hackas halmen i en grovkvärv, som fungerar som en avfallskvärv, innan den mals i en hammarkvärv. Dessa maskiner är utrustade med gnistdetektorer som startar ett brandsläckningssystem med sprinkler om gnistor upptäcks. Man har 3 st. hammarkvärv med en kapacitet på 5 ton/timme. Dessa har visat sig vara en flaskhals då de har svårt att nå upp till utlovad kapacitet. I kvarnarna används 7 mm såll. Från kvarnarna transporteras halmen med skraptransportörer till 4 st. pelleteringsmaskiner. Man har totalt 12 pelleteringsmaskiner varav 8 pelleterar träflis och 4 pelleterar halm. Pelleteringsmaskinerna har en kapacitet på 3,5-4 ton halm per timme. Den pellets som produceras har en diameter på 8 mm och en vattenhalt på 7-10 % så en del vatten dunstar bort i processen. Varje pelleteringsmaskin har ett effektbehov på 200 kW. Vid pelletering tillsätts 0,25 % av ett additiv som bindemedel för att pelleterna ska bli fastare. Detta additiv är kalksåpa (ett tvålaktigt ljusgult pulver) som tillverkas av kalciumhydroxid och palmolja (den del av palmoljan som innehåller mättade fetter går att använda till detta ändamål, då sådana fetter inte oxiderar i pelleteringsprocessen, och därmed inte kan självantända såsom t.ex. rapsolja eller olivolja, som innehåller en stor andel omättat fett, kan göra). Additivet tillsätts även vid pelletering av trä. Efter pelletering transporteras pelletsen med en bandtransportör (av gummi) till ett lager 700 m bort. Detta band rullas (viks) ihop till ett rör under transporten för att skydda pelletsen mot väder och vind. Vid denna transport svalnar pelletsen av till lagringsbar temperatur.

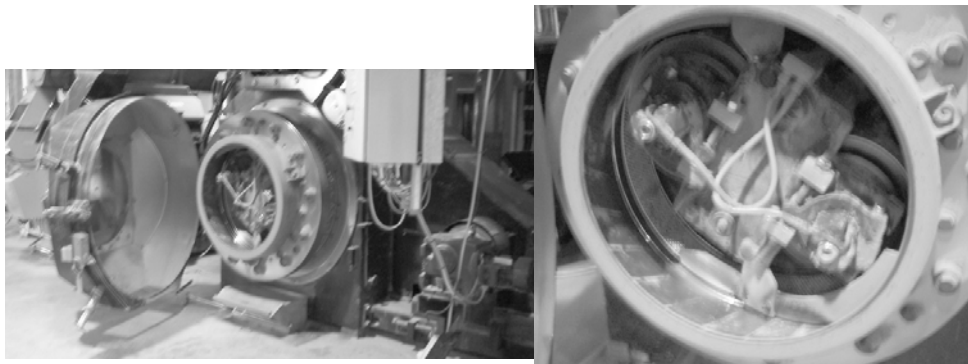


Bild A12. Pelleteringsmaskin, Køge Biopillefabrik.

Vid produktionen av pelletsen från halmbalarna går elenergi motsvarande 3-4 % av värmeenergin i pelletsen åt. En del av denna energi får man igen då man får ut 10 % mer värme från pellets än från obehandlad halm.

Avfallskvärvarna för förmalning av halmen kommer från: TK Energi AS i Gadstrup.

Hammarkvärvarna kommer från: Sprout-Matador i Esbjerg.

Pelleteringsmaskinerna kommer från: Bühler i Schweiz (Bühler har mest kunskap om pellete-

ring av djurfoder och saknar kunskap om pelletering av biobränslen, då särskilt halm, så denna kunskap har man själv fått förvärva genom att prova sig fram).

Haslev Kraftvarmeværk

23:e september kl. 11.00: Haslev Kraftvarmeværk, Haslev

Kontakt: Per Lingsø Nielsen

Ägare: E2 A/S

Haslev Kraftvarmeværk byggdes 1989. Kraftvarmeverket har en effekt på 5 MW el och 13-14 MW värme. Man eldar ca 26 000 ton halm som levereras som hesstonbalar. I lagret har man plats för 700 hesstonbalar och dessa räcker för knappt 3 dygns dvs. en helgs eldning vid fullast. Man klarar halm med maximalt 20 % vatten. En typisk vattenhalt i den levererade halmen är 12 %. Vattenhalten mäts med ett spjut. Halmen levereras som lass med vanligen 20 eller 24 balar. Avlastning från fordon till halmlager görs med en gaffeltruck. Dammsugare i taket tar hand om spillhalmen för att förbättra arbetsmiljön och minska risken för brand i den kombinerade avlastningshallen och halmlagret. Sprinkler med vatten finns om brand eller för hög temperatur skulle uppstå någonstans.

Till pannan, som är av cigarreldningstyp, matas halmbalarna på 4 olika linjer via en sluss var för att förhindra bakbrand. Halmbalarna hanteras i lagret till dessa matningslinjer med en automatisk travers. Pannan ger ånga med 65 bars tryck och 455°C till ångturbinen vilket ger en elverkningsgrad på 29 %, och klaras av utan problem med högtemperaturkorrosion med värmeväxlarrör av 13 krom Mo 44 stål. Rökrören, i pannan, rengörs med stålkulor som blåses runt.

Man producerar årligen 18 500 kWh el. Producerad värme lagras även i en ackumulatortank på 3000 m³ som sommartid laddas under 12-14 timmar vid fullast, och sedan stängs pannan av under ca 48 timmar medan ackumulatortanken laddas ur. Vintertid klarar ackumulatortanken kortare driftuppehåll för översyn och service. 65 000-70 000 MWh levereras årligen som fjärrvärme till Haslev (motsvarar 95 % av Haslevs värmebehov). Pannan tar 3 timmar att starta upp vilket sker manuellt. Vid fullast eldas 2,5 hesstonbalar per timme (ca 6 m hesstonbal/timme) och linje (4 st.) vilket motsvarar 10 balar per timme eller drygt 5 ton. Rökgaserna renas med cyklon och textilfilter. Askan går ner i ett vattenbad innan den med en skruv förs ut till en container.

Askan (8-10 % av eldad mängd halm) går tillbaka till lantbruket. Askan innehåller ofta en del oförbränd halm. Om flygaskan innehåller mer än 2,5 mg Cd/kg deponeras den, annars blandas den med bottenaskan och går tillbaka till åkermarken.

Man har vanligen inte problem med att askan sintrar i pannan. Halmens benägenhet att sintra varierar mellan olika år. Bäst att elda är halm som fått regn på sig och sedan torkat igen.

En nackdel med cigarreldningen är att den är känslig för hög vattenhalt i halmen. Den är därför ej rätt lösning i områden där det är svårt att få halmen tillräckligt torr.

I Haslev har man tidigare kört försök med pyrolys (förgasning) av halmen. Vid förbränning av pyrolysgasen har ångtrycket och ångtemperaturen kunnat höjas till ca 500°C utan risk för högtemperaturkorrosion. Detta var emellertid ett försök och all utrustning för detta revs då pengarna var slut.



Bild A13. Haslev Kraftvarmeværk, observera den stora ackumulatortanken.

Avedøreværket

23:e september kl. 15.00: Avedøreværket, Hvidovre, København

Kontakt: Jørgen Hansen och Henrik Frahm

Ägare: E2 A/S

Avedøreværket består av två block: I block 1 eldas stenkolk men även olja kan eldas. Produktionskapaciteten är 250 MW el och 330 MW värme. Block 2 eldas med naturgas, olja, träpellets och halm. Halmen eldas i en separat panna. Block 2 har en produktionskapacitet på 570 MW el och 570 MW fjärrvärme. Den nästan 70 m höga huvudpannan eldas med mald träpellets från Køge, olja och naturgas (inblandningen av vart och ett av dessa bränslen kan varieras mellan 0-100 % med undantag av träpelletsen som kräver stödeldning av 1-2 % naturgas eller olja) medan halmpannan, som är världens största halmpanna, enbart eldas med halm. Denna bidrar till 40 MW av den el som produceras och 50 MW av den värme som produceras från Avedøreværket. Den inmatade halmens värmevärde till pannan motsvarar då 100 MW. Halmpannan är årligen i drift ca 7000 timmar.



Bild A14. Travers för hantering av 12 halmbalar åt gången, Avedøreværket.

Huvudpannan ger 400 MW el och 450 MW fjärrvärme. Ångturbinen, som är gemensam för de två pannorna i block 2, ger ca 440 MW el ut. Block 2 består även av 2 gasturbiner som ger ca 60 MW el ut vardera. Överskottsvärmen från gasturbinerna blir till fjärrvärme. Ackumulatortankar på $2 * 20\,000\text{ m}^3$ finns i direkt anslutning till Avedøreværket. 140 personer (inklusive 6 vakter) jobbar på block 1 och block 2. Personalen flyttar runt mellan olika arbetsuppgifter varje dag.

150 000 ton halm eldas årligen och av detta kommer 80-90 % från höstvetete. Flera hundra lantbrukare på Själland, Falster och Lolland levererar halmen på kontrakt. Tillsammans med den halm som levereras till Køge Biopillefabrik är detta ungefär den mängd halm som det ovan nämnda området klarar av att leverera till större halmanläggningar. Maximalt 25 % vatten tolereras i balarna men normalt ligger vattenhalten kring 15 % beroende av årsmånen. Man kräver att lantbrukarna lagrar halmen under tak. Halmen levereras med lastbilar som vanligen lastar 24 balar. Halmen lastas av med en travers som tar 12 balar åt gången. Balarna vägs och deras vattenhalt mäts med mikrovågor vid avlastningen. Efter avlastningen dammsugs både lastbil och området omkring denna på lös överskottshalm, allt för att minska brandrisken. Halmlagret rymmer 3000 balar alltså ungefär 1500 ton, tillräckligt för att förse pannan med bränsle över ett veckoslut under vintern. Traversen sköter automatiskt lastningen av de 4 halmlinjerna som leder in till pannan. Det finns en brandsluss mellan halmlagret och pannan. En automatisk sprinkleranläggning aktiveras vid brand eller för höga temperaturer på oönskade ställen, En automatisk snöravskärare skär av snörena innan balarna rivs (snörena eldas tillsammans med halmen) (rivarna kommer från Vølund). Den rivna halmen trycks in i halmpannan av stora tryckare. I halmpannan eldas halmen på en rörlig snedrost. Vid fullast eldas 50 halmbalar per timme motsvarande ungefär 25 ton halm. Flygaskan samlas upp i ett textilfilter av påsfiltertyp som rengörs med tryckluft. Flygaskan (ett fint gråvitt pulver) går slutligen till en container där den samlas upp i storsäckar. Då flygaskan innehåller en för hög halt av tungmetaller så deponeras denna. De renade rökgaserna ut ur pannan håller en temperatur på 150-160°C. Bottenaskan går genom ett vattenbad innan den går ut ur pannan. Denna aska som består av klumpar av någon centimeters storlek går tillbaka till lantbrukarna som gödselmedel.

För att man inte ska riskera bakbrand eller att rökgaser ska tränga ut i pannrummet har man fläktar som suger ut rökgaserna ur pannan så att ett undertryck på 2 mbar hålls i pannan. Andra fläktar trycker in förbränningsluften i pannan. Det var från början meningen att rökgaserna skulle ge en ångtemperatur på 580°C men detta gav för snabb korrosion och ångrören skulle då ha behövt bytas ut varje år. Ångrören är av rostfritt austenitiskt stål. Nu har man fått nöja sig med en ångtemperatur på 540°C och 300 bars ångtryck för att undvika korrosionsproblemen. En del av rören i överhettaren har bytts ut på grund av högtemperaturkorrosion. Under 85°C får man problem med lågtemperaturkorrosion, vilket kan ske i förvärmaren där ingående luft till pannan och rökgaser värmeväxlas. Efter en del ombyggnader har dessa problem försvunnit. Hantering och eldning av halm och hantering av halmaska medför en hel del slitage på utrustningen, vilket kräver en hel del underhåll. Man har inte några allvarliga problem med sintring i pannan, men man brukar få gå in i pannan och hacka ut sintrad aska varannan månad. Halmens förbränningsegenskaper och sintringsbenägenhet varierar en hel del.

BILAGA B: FÖRUTSÄTTNINGAR I EKONOMISKA BERÄKNINGAR

Kostnaderna för de maskiner som använts i beräkningarna redovisas i tabell B1. För maskiner försedda med motor (traktorer och självgående fälthack) har kostnader ”Maskin+bränsle+förare” använts. För alla övriga maskiner har kostnader ”Endast maskin” använts.

Tabell B1. Maskiner med maskinkostnader för bärning av halm (Johansson et al., 2004)

	Effekt Hkr, ca	Återanskaffn. värde SEK	Kalkylperiod år	Endast maskin SEK/tim	Maskin+ bränsle SEK/tim	Maskin+bränsle+ förare SEK/tim
Traktorer, 4-hjulsdrivna						
Traktor 4 WD 70 kW	95	400000	12	92	161	351
Traktor 4 WD 100 kW	135	565000	12	130	228	418
Traktor 4 WD 120 kW	162	675000	12	155	273	463
Traktor 4 WD 140 kW	190	785000	12	180	318	508
Traktor 4 WD 160 kW	216	895000	12	205	363	553
Lastmaskiner						
Lastmaskin, 4-hjulsdriven, med redskap	110	575000	15	126	205	395
Lastmaskin, midjestyrd, ca 6 ton	95	700000	15	120	189	379
Lastmaskin, midjestyrd, ca 9 ton	110	900000	15	145	224	414
Teleskoplastare, lyfthöjd ca 5 m	90	530000	15	92	156	346
Teleskoplastare, lyfthöjd ca 7 m	110	650000	15	112	191	381
Frontlastare						
Frontlastare 1500 kg, inkl redskap		65000	12	33		
Balgrip		13000	15	24		
Vändare och strängläggare						
Rotorsträngläggare 7 m		140000	15	426		
Fälthack och hackvagn						
Fälthack, självgående, med 3,3 m pickup		1650000	10	906	1188	1378
Press						
Rundbalspress		220000	10	302		
Rundbalspress med snitt		280000	10	325		
Fyrkantspress, med snitt, medium		770000	10	748		
Fyrkantspress, stor		1000000	10	970		
Vagn						
Tippvagn 10 ton		75000	20	78		
Tippvagn 12 ton		100000	20	102		
Tippvagn 15 ton		150000	20	149		
Tippvagn 18 ton		200000	20	194		
Grönfoderutrustning, tillägg till tippvagn		20000	20	25		
Grönfoderkassett, tillägg till tippvagn		40000	20	50		
Storbalsvagn		40000	20	72		
Balgrip		13000	15	24		

En självgående fältbriketteringsmaskin antas kosta 3 gånger så mycket som en självgående hack (tabell B1), och ha 4 gånger så stort effektbehov dvs. $4 \cdot 600 \text{ hk} = 2400 \text{ hk}$. Kostnaden för denna maskin inklusive bränsle och förare blir då 4134 SEK/tim.

I maskinkostnadskalkylerna gäller följande (Johansson *et al.*, 2004):

Räntekostnaden beräknas på medelvärdet av maskinkapitalet under kalkylperioden. I en real kalkyl som den här, används realränta. Denna är, förenklat uttryckt, skillnaden mellan nomi-

nell ränta (låneränta) och inflationen. För år 2004 är 5 % realränta vald. I en enskild beräkning kan det finnas anledning att välja högre eller lägre räntesats, beroende av omständigheterna.

I exemplen räknas med att maskinerna köps nya och byts ut efter viss tid, kallad kalkylperiod i tabellen. Man har valt olika längd på kalkylperioden beroende på maskintyp och årlig användning. Restvärdet vid bytet bestäms av faktorer som maskintyp, årlig användning och kalkylperiodens längd.

Återanskaffningsvärdet är listpriset idag för en motsvarande ny maskin med likvärdig utrustning och prestanda.

Underhållskostnaden är rörlig och brukar därför anges per körd timme. Här ingår då reparationer, reservdelar, smörjmedel, gårdsverkstad samt eget arbete med reparationer och tillsyn. Underlaget i beräkningarna kommer från olika undersökningar, från erfarenhet och bedömningar. Underhållet varierar mycket med fabrikat, körsätt, jordart, stenighet, hur maskinen förvaras osv.

Bränsleåtgången varierar med typ av arbete. I exemplen har vi använt genomsnittsvärden, baserade på provningsresultat för blandad körning. Kostnader för smörj- och hydraulolja antas ingå i underhållskostnaden.

Drivmedelskostnad: 5,8 SEK/liter 2004.

Förare:

lantarbetarlön för själva maskinarbetet: 160 SEK/tim inklusive tillägg för bl.a. viss övertid och semester samt sociala kostnader.

inkl. tillägg 20 %: 190 SEK/tim för att täcka även viss ställtid för merarbete med koppling, tankning m.m.

Försäkring (brandförsäkring):

traktorer: 0,3 % av återanskaffningsvärdet,

redskap: 0,1 % av återanskaffningsvärdet.

Förvaring (medeltal mellan nya och äldre byggnader): 60 SEK/m².

Skrymdensiteter för beräkning av transportkostnader redovisas i tabell B2. Nedan förklaras hur dessa transportkostnader beräknats utifrån data i Johansson *et al.*, (2004).

Tabell B2. Kostnader för lagring av halm inomhus (Nilsson, 1991)

	Rundbal ^c	Fyrkantbal, hesston	Hackelse ^d	Briketter
Skrymdensitet, kg/m ³	85	115	85	450
Lagerkapacitet ^a , ton	210	350	210	950
Investering ^b , tusen SEK	575	575	980	1100
Lagringskostnad ^b , SEK/ton	212	147	414	102

^a Gäller för ett oisolerat nybyggt lagerhus med måtten 15 m * 40 m * 5 m (bredd*längd*höjd).

^b Kostnaderna i Nilsson (1991) har räknats upp genom multiplikation med faktorn (Konsumentprisindex 1991:1 / Konsumentprisindex 2004:12) (279,4/218,9) (SCB, 2005b).

^c Då Nielsen och Mortensen (2001a och 2001b) funnit att densiteten för rundbalar pressade med maskiner från senare år ökat från 100 till 121 kg/m³, ökas bruttodensiteterna i tabellen (Nilsson, 1991) i motsvarande grad, dvs. från 70 till 85 kg/m³.

^d Då Stridsberg och Christensson (1995) funnit att densiteten för hackelse som blåsts in med fläkt blivit 100 kg/m³ och hackelsen kan förmodas bli mer porös efter att ha grävts ut med hjullastare, antas densiteten för hackelsen på lastbilen bli 85 kg/m³, vilket kan jämföras med de 70 kg/m³ som Nilsson (1991) angivit.

Lastbilstransport 30 km: 35 kr/ton för 35 ton ger totalt: 1225 SEK/biltransport (Johansson *et al.*, 2004). Om kostnaden antas bli densamma oberoende av lastbilens last och denna lastar: 30 fyrkantbalar av hesstontyp som väger 500 kg/st blir den totala lasten 15 ton vilket ger: 81,7 SEK/ton transporterad halm.

Vid transport av rundbalar eller hackelse blir den genomsnittliga densiteten hos lasten: 85 kg/m³ jämfört med 115 kg/m³ vid transport av fyrkantbalar. Detta medför att lastbilen endast lastar (15 ton * (85 kg/m³ / 115 kg/m³)) = 11,1 ton, och därmed blir transportkostnaden då detta tal dividerats med den totala transportkostnaden (1225 SEK): 110,5 SEK/ton.

Vid transport av briketter blir den genomsnittliga densiteten hos lasten: 450 kg/m³ jämfört med 115 kg/m³ vid transport av fyrkantbalar. Detta medför att lastbilen nu lastar full last dvs. 35 ton, och därmed blir transportkostnaden då detta tal dividerats med totala transportkostnaden (1225 SEK): 35 SEK/ton.

Lastbilstransport 200 km: 89 kr/ton för 35 ton ger totalt: 3115 SEK/biltransport (Johansson *et al.*, 2004). Om kostnaderna beräknas på samma sätt och med samma antaganden som för lastbilstransport 30 km blir transportkostnaderna för transport av stora fyrkantbalar, rundbalar, hackelse och briketter: 207,7; 281,0; 281,0; respektive 89,0 SEK/ton.

Investeringsbehoven för de lagerbyggnader som antagits användas vid säsonglagringen av halmen, i scenarierna med inomhuslagring av halm, anges i tabell B2. Dessa värden har räknats upp från Nilsson (1991) med hjälp av konsumentprisindex (se fotnot, tabell B2). Nederst i tabellen anges lagringskostnaden som SEK per ton halm.

Den byggnad, vid värmeverket, där halmbalarna tas emot har antagits kräva en lika stor investering som säsonglagringsbyggnaden. Då 10 gånger mer halm antagits passera denna byggnad och kostnaden slås ut på denna halm så blir kostnaden per ton halm en tiondel av kostnaden för säsonglagret. Kostnaderna för halmrivare, balbana med mera hanteringsutrustning har, för fyrkantbalar, antagits vara de fyrdubbla mot för byggnaderna. Investeringsbehovet för denna utrustning är ca 372 000 SEK (Jensen, 2005) (om 1 dansk krona = 1,29 SEK (Riksbanken, 2005)) vilket motsvarar ca 65 % av byggnadens värde. Denna utrustning har kortare avskrivningstid (kanske 1/3 mot vad en byggnad har) samt har behov av driftsenergi och mer underhåll än en byggnad. Det är därför inte orimligt att kostnaden för denna utrustning kan antas vara ungefär det fyrdubbla jämfört med för byggnaden. Kostnaderna för rivning och hantering av rundbalarna har antagits vara desamma som för fyrkantbalarna. Det förhållandet att dessa, vid lagring, utnyttjar byggnaden sämre påverkar ju inte hur de betar sig i rivare m.m. hanteringsutrustning.

Halmens effektiva värmevärde (Nikolaisen *et al.*, 1998): 14 400 MJ/ton gul halm.

I tabell B3 (tabell B3a – B3e) redovisas resultaten från de ekonomiska beräkningarna för de 10 studerade halmbärgningssystemen.

Tabell B3a. Ekonomiska beräkningar, stora fyrkantbalar av hesstontyp

1: Balning, Fyrkantbal, inomhuslagring		2: Balning, Fyrkantbal, utomhuslagring	
Pressning:		Pressning:	
Fyrkantpress, stor	970 kr/tim	Fyrkantpress, stor	970 kr/tim
Traktor 4 WD 140 kW	508 kr/tim	Traktor 4 WD 140 kW	508 kr/tim
Summa pressning:	1478 kr/tim	Summa pressning:	1478 kr/tim
Kapacitet:	20 ton/tim	Kapacitet:	20 ton/tim
Kostnad:	73,9 kr/ton	Kostnad:	73,9 kr/ton
Kostnad:	18,475 kr/MWh	Kostnad:	18,475 kr/MWh
Ihopsamling av balar:		Ihopsamling av balar:	
Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim	Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim
Kapacitet:	15 ton/tim	Kapacitet:	15 ton/tim
Kostnad:	25,27 kr/ton	Kostnad:	25,27 kr/ton
Kostnad:	6,32 kr/MWh	Kostnad:	6,32 kr/MWh
Lastning transport inlagring 3 km:		Lastning transport inlagring 3 km:	
Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim	Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim
Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim	Teleskopplastare, 7 m	381 kr/tim
Traktor 100 kW (*4)	418 kr/tim	Traktor 100 kW (*4)	418 kr/tim
Storbalsvagn (10-11 ton halm)	72 kr/tim	Storbalsvagn (10-11 ton halm)	72 kr/tim
Summa:	2685 kr/tim	Summa:	2720 kr/tim
Kapacitet:	30 ton/tim	Kapacitet:	30 ton/tim
Kostnad:	89,5 kr/ton	Kostnad:	90,67 kr/ton
Kostnad:	22,375 kr/MWh	Kostnad:	22,67 kr/MWh
Lagring:		Lagring:	
Lagerkostnad	147 kr/ton	Lagringsförluster:	5 %
Kostnad:	36,75 kr/MWh	Delsumma:	189,83 kr/ton
		därav 5 %	9,49 kr/ton
		Kostnad:	2,37 kr/MWh
Utlastning och transport och avlastning:		Utlastning och transport och avlastning:	
Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim	Teleskopplastare, 7 m	381 kr/tim
Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim	Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim
Summa:	692 kr/tim	Summa:	727 kr/tim
Kapacitet:	30 ton/tim	Kapacitet:	30 ton/tim
Kostnad:	23,07 kr/ton	Kostnad:	24,23 kr/ton
Kostnad:	5,77 kr/MWh	Kostnad:	6,06 kr/MWh
Transport:	81,67 kr/ton	Transport:	81,67 kr/ton
Summa:	104,73 kr/ton	Summa:	105,9 kr/ton
Kostnad:	26,18 kr/MWh	Kostnad:	26,475 kr/MWh
Transport 200 km:	207,67 kr/ton	Transport 200 km:	207,67 kr/ton
Summa 200 km:	230,73 kr/ton	Summa 200 km:	231,9 kr/ton
Kostnad 200 km:	57,68 kr/MWh	Kostnad 200 km:	57,975 kr/MWh
Beredning vid värmeverk:		Beredning vid värmeverk:	
Byggnad:	14,7 kr/ton	Byggnad:	14,7 kr/ton
Rivare och balbana m.m.	58,8 kr/ton	Rivare och balbana m.m.	58,8 kr/ton
Summa:	73,5 kr/ton	Summa:	73,5 kr/ton
Kostnad:	18,375 kr/MWh	Kostnad:	18,375 kr/MWh
Totalsumma:	513,9 kr/ton	Totalsumma:	378,725 kr/ton
Totalkostnad:	128,475 kr/MWh	Totalkostnad:	94,68 kr/MWh
			+++
Totalsumma 200 km:	639,9 kr/ton	Totalsumma 200 km:	504,725 kr/ton
Totalkostnad 200 km:	159,975 kr/MWh	Totalkostnad 200 km:	126,18 kr/MWh
			++

Tabell B3b. Ekonomiska beräkningar, fyrkantbalar med snittning i samband med pressning

3: Snittning-balning, Fyrkantbal, inomhus		4: Snittning-balning, Fyrkantbal, utomhus	
Pressning:		Pressning:	
Fyrkantspress, snitt	748 kr/tim	Fyrkantspress, snitt	748 kr/tim
Traktor 4 WD 120 kW	463 kr/tim	Traktor 4 WD 120 kW	463 kr/tim
Summa pressning:	1211 kr/tim	Summa pressning:	1211 kr/tim
Kapacitet:	17 ton/tim	Kapacitet:	17 ton/tim
Kostnad:	71,24 kr/ton	Kostnad:	71,24 kr/ton
Kostnad:	17,81 kr/MWh	Kostnad:	17,81 kr/MWh
Ihopsamling av balar:		Ihopsamling av balar:	
Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim	Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim
Kapacitet:	10 ton/tim	Kapacitet:	10 ton/tim
Kostnad:	37,9 kr/ton	Kostnad:	37,9 kr/ton
Kostnad:	9,475 kr/MWh	Kostnad:	9,475 kr/MWh
Lastning transport inlagring 3 km:		Lastning transport inlagring 3 km:	
Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim	Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim
Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim	Teleskopplastare, 7 m	381 kr/tim
Traktor 100 kW (*4)	418 kr/tim	Traktor 100 kW (*4)	418 kr/tim
Storbalsvagn (10-11 ton halm)	72 kr/tim	Storbalsvagn (10-11 ton halm)	72 kr/tim
Summa:	2685 kr/tim	Summa:	2720 kr/tim
Kapacitet:	27 ton/tim	Kapacitet:	27 ton/tim
Kostnad:	99,44 kr/ton	Kostnad:	100,74 kr/ton
Kostnad:	24,86 kr/MWh	Kostnad:	25,19 kr/MWh
Lagring:		Lagring:	
Lagerkostnad	147 kr/ton	Lagringsförluster:	5 %
Kostnad:	36,75 kr/MWh	Delsumma:	209,88 kr/ton
		därav 5 %	10,49 kr/ton
		Kostnad:	2,62 kr/MWh
Utlastning och transport och avlastning:		Utlastning och transport och avlastning:	
Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim	Teleskopplastare, 7 m	381 kr/tim
Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim	Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim
Summa:	692 kr/tim	Summa:	727 kr/tim
Kapacitet:	27 ton/tim	Kapacitet:	27 ton/tim
Kostnad:	25,63 kr/ton	Kostnad:	26,93 kr/ton
Kostnad:	6,41 kr/MWh	Kostnad:	6,73 kr/MWh
Transport:	81,67 kr/ton	Transport:	81,67 kr/ton
Summa:	107,30 kr/ton	Summa:	108,59 kr/ton
Kostnad:	26,82 kr/MWh	Kostnad:	27,15 kr/MWh
Transport 200 km:	207,67 kr/ton	Transport 200 km:	207,67 kr/ton
Summa 200 km:	233,30 kr/ton	Summa 200 km:	234,59 kr/ton
Kostnad 200 km:	58,32 kr/MWh	Kostnad 200 km:	58,65 kr/MWh
Beredning vid värmeverk:		Beredning vid värmeverk:	
Byggnad:	14,7 kr/ton	Byggnad:	14,7 kr/ton
Rivare och balbana m.m.	58,8 kr/ton	Rivare och balbana m.m.	58,8 kr/ton
Summa:	73,5 kr/ton	Summa:	73,5 kr/ton
Kostnad:	18,375 kr/MWh	Kostnad:	18,375 kr/MWh
Totalsumma:	536,376 kr/ton	Totalsumma:	402,46 kr/ton
Totalkostnad:	134,094 kr/MWh	Totalkostnad:	100,62 kr/MWh
			++
Totalsumma 200 km:	662,376 kr/ton	Totalsumma 200 km:	528,46 kr/ton
Totalkostnad 200 km:	165,594 kr/MWh	Totalkostnad 200 km:	132,12 kr/MWh
			+

Tabell B3c. Ekonomiska beräkningar, rundbalar

5: Balning, Rundbal, inomhuslagring		6: Balning, Rundbal, utomhuslagring	
Pressning:		Pressning:	
Rundbalspress	302 kr/tim	Rundbalspress	302 kr/tim
Traktor 4 WD 70 kW	351 kr/tim	Traktor 4 WD 70 kW	351 kr/tim
Summa pressning:	653 kr/tim	Summa pressning:	653 kr/tim
Kapacitet:	12 ton/tim	Kapacitet:	12 ton/tim
Kostnad:	54,42 kr/ton	Kostnad:	54,42 kr/ton
Kostnad:	13,60 kr/MWh	Kostnad:	13,60 kr/MWh
Ihopsamling av balar:		Ihopsamling av balar:	
Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim	Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim
Kapacitet:	10 ton/tim	Kapacitet:	10 ton/tim
Kostnad:	37,9 kr/ton	Kostnad:	37,9 kr/ton
Kostnad:	9,475 kr/MWh	Kostnad:	9,475 kr/MWh
Lastning transport inlagring 3 km:		Lastning transport inlagring 3 km:	
Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim	Lastmaskin, 6 ton	379 kr/tim
Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim	Teleskopplastare, 7 m	381 kr/tim
Traktor 100 kW (*4)	418 kr/tim	Traktor 100 kW (*4)	418 kr/tim
Storbalsvagn (10-11 ton halm)	72 kr/tim	Storbalsvagn (10-11 ton halm)	72 kr/tim
Summa:	2685 kr/tim	Summa:	2720 kr/tim
Kapacitet:	20 ton/tim	Kapacitet:	20 ton/tim
Kostnad:	134,25 kr/ton	Kostnad:	136 kr/ton
Kostnad:	33,56 kr/MWh	Kostnad:	34 kr/MWh
Lagring:		Lagring:	
Lagerkostnad	212 kr/ton	Lagringsförluster:	5 %
Kostnad:	53 kr/MWh	Delsumma:	228,32 kr/ton
		därav 5 %	11,42 kr/ton
		Kostnad:	2,85 kr/MWh
Utlastning och transport och avlastning:		Utlastning och transport och avlastning:	
Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim	Teleskopplastare, 7 m	381 kr/tim
Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim	Teleskopplastare, 5 m	346 kr/tim
Summa:	692 kr/tim	Summa:	727 kr/tim
Kapacitet:	20 ton/tim	Kapacitet:	20 ton/tim
Kostnad:	34,6 kr/ton	Kostnad:	36,35 kr/ton
Kostnad:	8,65 kr/MWh	Kostnad:	9,09 kr/MWh
Transport:	110,49 kr/ton	Transport:	110,49 kr/ton
Summa:	145,09 kr/ton	Summa:	146,84 kr/ton
Kostnad:	36,27 kr/MWh	Kostnad:	36,71 kr/MWh
Transport 200 km:	280,96 kr/ton	Transport 200 km:	280,96 kr/ton
Summa 200 km:	315,56 kr/ton	Summa 200 km:	317,31 kr/ton
Kostnad 200 km:	78,89 kr/MWh	Kostnad 200 km:	79,33 kr/MWh
Beredning vid värmeverk:		Beredning vid värmeverk:	
Byggnad:	21,2 kr/ton	Byggnad:	21,2 kr/ton
Rivare och balbana m.m.	58,8 kr/ton	Rivare och balbana m.m.	58,8 kr/ton
Summa:	80,0 kr/ton	Summa:	80,0 kr/ton
Kostnad:	20,0 kr/MWh	Kostnad:	20,0 kr/MWh
Totalsumma:	663,66 kr/ton	Totalsumma:	466,57 kr/ton
Totalkostnad:	165,91 kr/MWh	Totalkostnad:	116,64 kr/MWh
Totalsumma 200 km:	834,13 kr/ton	Totalsumma 200 km:	637,04 kr/ton
Totalkostnad 200 km:	208,53 kr/MWh	Totalkostnad 200 km:	159,26 kr/MWh

Tabell B3d. Ekonomiska beräkningar, fälthackning

7: Hackning, ensilage-vagn, löst inomhus		8: Hackning, ensilage-vagn, stack utomhus	
Hackning:		Hackning:	
Fälthack, självgående	1188 kr/tim	Fälthack, självgående	1188 kr/tim
Summa hackning:	1188 kr/tim	Summa hackning:	1188 kr/tim
Kapacitet:	15 ton/tim	Kapacitet:	15 ton/tim
Kostnad:	79,2 kr/ton	Kostnad:	79,2 kr/ton
Kostnad:	19,8 kr/MWh	Kostnad:	19,8 kr/MWh
Transport till lager:		Transport till lager:	
Traktor 100 kW (*6)	418 kr/tim	Traktor 100 kW (*6)	418 kr/tim
Tippvagn, 12 ton (*12)	102 kr/tim	Tippvagn, 12 ton (*12)	102 kr/tim
Grönfoderutrustn.	25 kr/tim	Grönfoderutrustn.	25 kr/tim
Lastmaskin, 9 ton	224 kr/tim	Lastmaskin, 9 ton	224 kr/tim
Summa:	4256 kr/tim	Summa:	4256 kr/tim
Kapacitet:	15 ton/tim	Kapacitet:	15 ton/tim
Kostnad:	283,73 kr/ton	Kostnad:	283,73 kr/ton
Kostnad:	70,93 kr/MWh	Kostnad:	70,93 kr/MWh
Lagring:		Lagring:	
Lagerkostnad	414 kr/ton	Lagringsförluster:	5 %
Kostnad:	103,5 kr/MWh	Delsumma:	362,93 kr/ton
		därav 5 %	18,15 kr/ton
		Kostnad:	4,54 kr/MWh
Utlastning och transport och avlastning:		Utlastning och transport och avlastning:	
Lastmaskin, 9 ton	224 kr/tim	Lastmaskin, 9 ton	224 kr/tim
Kapacitet:	15 ton/tim	Kapacitet:	15 ton/tim
Kostnad:	14,93 kr/ton	Kostnad:	14,93 kr kr/ton
Kostnad:	3,73 kr/MWh	Kostnad:	3,73 kr kr/MWh
Transport:	110,49 kr/ton	Transport:	110,49 kr kr/ton
Summa:	125,42 kr/ton	Summa:	125,42 kr kr/ton
Kostnad:	31,36 kr/MWh	Kostnad:	31,36 kr kr/MWh
Transport 200 km:	280,96 kr/ton	Transport 200 km:	280,96 kr kr/ton
Summa 200 km:	295,89 kr/ton	Summa 200 km:	295,89 kr kr/ton
Kostnad 200 km:	73,97 kr/MWh	Kostnad 200 km:	73,97 kr kr/MWh
Beredning vid värmeverk: Ingen kostnad då befintlig utrustning används.		Beredning vid värmeverk: Ingen kostnad då befintlig utrustning används.	
Totalsumma:	902,36 kr/ton	Totalsumma:	506,50 kr/ton
Totalkostnad:	225,59 kr/MWh	Totalkostnad:	126,63 kr/MWh
Totalsumma 200 km:	1072,83 kr/ton	Totalsumma 200 km:	676,97 kr/ton
Totalkostnad 200 km:	268,21 kr/MWh	Totalkostnad 200 km:	169,24 kr/MWh

Tabell B3e. Ekonomiska beräkningar, fältbrikettering

9: Fältbrikettering, ensilage-vagn, löst inomhus		10: Fältbrikettering, ensilage-vagn, stack utomhus	
Fältbrikettering:		Fältbrikettering:	
Briketteringsmaskin, självgående	4134 kr/tim	Briketteringsmaskin, självgående	4134 kr/tim
Summa brikettering:	4134 kr/tim	Summa brikettering:	4134 kr/tim
Kapacitet:	15 ton/tim	Kapacitet:	15 ton/tim
Kostnad:	275,6 kr/ton	Kostnad:	275,6 kr/ton
Kostnad:	68,9 kr/MWh	Kostnad:	68,9 kr/MWh
Transport till lager:		Transport till lager:	
Traktor 100 kW (*2)	418 kr/tim	Traktor 100 kW (*2)	418 kr/tim
Tippvagn, 12 ton (*4)	102 kr/tim	Tippvagn, 12 ton (*4)	102 kr/tim
Grönfoderutrustn.	25 kr/tim	Grönfoderutrustn.	25 kr/tim
Lastmaskin, 9 ton	224 kr/tim	Lastmaskin, 9 ton	224 kr/tim
Summa:	1568 kr/tim	Summa:	1568 kr/tim
Kapacitet:	15 ton/tim	Kapacitet:	15 ton/tim
Kostnad:	104,53 kr/ton	Kostnad:	104,53 kr/ton
Kostnad:	26,13 kr/MWh	Kostnad:	26,13 kr/MWh
Lagring:		Lagring:	
Lagerkostnad	102 kr/ton	Lagringsförluster:	5 %
Kostnad:	25,5 kr/MWh	Delsumma:	380,13 kr/ton
		därav 5 %	19,01 kr/ton
		Kostnad:	4,75 kr/MWh
Utlastning och transport och avlastning:		Utlastning och transport och avlastning:	
Lastmaskin, 9 ton	224 kr/tim	Lastmaskin, 9 ton	224 kr/tim
Kapacitet:	35 ton/tim	Kapacitet:	35 ton/tim
Kostnad:	6,4 kr/ton	Kostnad:	6,4 kr/ton
Kostnad:	1,6 kr/MWh	Kostnad:	1,6 kr/MWh
Transport:	35 kr/ton	Transport:	35 kr/ton
Summa:	41,4 kr/ton	Summa:	41,4 kr/ton
Kostnad:	10,35 kr/MWh	Kostnad:	10,35 kr/MWh
Transport 200 km:	89 kr/ton	Transport 200 km:	89 kr/ton
Summa 200 km:	95,4 kr/ton	Summa 200 km:	95,4 kr/ton
Kostnad 200 km:	23,85 kr/MWh	Kostnad 200 km:	23,85 kr/MWh
Beredning vid värmeverk:		Beredning vid värmeverk:	
Ingen kostnad då befintlig utrustning används.		Ingen kostnad då befintlig utrustning används.	
Totalsumma:	523,53 kr/ton	Totalsumma:	440,54 kr/ton
Totalkostnad:	130,88 kr/MWh	Totalkostnad:	110,135 kr/MWh
			+
Totalsumma 200 km:	577,53 kr/ton	Totalsumma 200 km:	494,54 kr/ton
Totalkostnad 200 km:	144,38 kr/MWh	Totalkostnad 200 km:	123,635 kr/MWh
			+++

TIDIGARE PUBLIKATIONER

2003-07-01 skedde en sammanslagning av Institutionen för biometri och informatik och Institutionen för lantbruksteknik.

Biometri och teknik

Examensarbeten

- 2005:01 Hårsmar, D. Bättre enskilda avlopp i Sigtuna kommun – möjligheter för bebyggelse i Odensala socken.
- 2005:02 Svensson, M. Desalination and the environment: Options and considerations for brine disposal in inland and coastal locations.
- 2005:03 Jakobsson, D. Retention av tungmetaller i en anlagd våtmark – Studier av Vattenparken i Enköpings kommun.
- 2005:04 Leonardsson, J. & Östensson, E. Inverkan av torrsbstanshalt och temperatur på kompostens syrabildning.
- 2005:05 Ulf, D. Miljöpåverkansbedömning vid tillverkning av etanol från cellulosabaserade råvaror – Ekologisk gård självförsörjande med drivmedel.
- 2004:01 Ericsson, N. Uthållig sanitet i Peru – En förstudie i staden Picota.
- 2004:02 Ekvall, C. LCA av dricksvattendesinfektion – en jämförelse av klor och UV-ljus.
- 2004:03 Wertsberg, K. Behandling av lakvatten med kemiska oxidationsmedel för att delvis bryta ned oönskade organiska föreningar – En studie utförd vid Hovgårdens avfallsanläggning i Uppsala.
- 2004:04 Degaart, S. Humanurin till åkermark och grönytor: avsättning och organisation i Göteborgsområdet.
- 2004:05 Westlin, H. Utvärdering av ett silotorksystem för spannmål utrustat med omrörare.

Rapport – miljö, teknik och lantbruk

- 2005:01 Jönsson, H., Vinnerås, B. & Ericsson, N. Källsorterande toaletter. Brukarnas erfarenheter, problem och lösningar.
- 2005:02 Gebresenbet, G. Effect of transporttime on cattle welfare and meat quality.
- 2005:03 de Toro, A. & Rosenqvist, H. Maskinsamverkan – tre fallstudier.
- 2005:04 Vinnerås, B. Hygienisering av klosettatten för säker växtnäringåterförsl till livsmedelsproduktionen.
- 2005:05 Tidåker, P., Kärrman, E., Baky, A. & Jönsson, H. Wastewater Management Integrated with Farming.
- 2005:06 Sundberg, C. Increased aeration for improved large-scale composting of low-pH biowaste.
- 2004:01 Bernesson, S. Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – A comparison between large- and small-scale production.
- 2004:02 Elmquist, H. Decision-Making and Environmental Impacts.

Rapport – biometri

2004:01 Gustafsson, L. Tools for Statistical Handling of Poisson Simulation: Documentation of StocRes and ParmEst

Licentiatavhandling

02 Sundberg, C. 2004. Food waste composting – effects of heat, acids and size.

Kompendium

2004:01 Publicering 2000-2003.

2005:01 Publicering 2000-2003.

Biometri och informatik

Institutionsrapporter

- 80 Edlund, T. Pluripolar Completeness of Graphs and Pseudocontinuation. Licentiatavhandling.
- 79 Nilsson, K. Macrolide antibiotics – mode of action and resistance mechanisms. Licentiatavhandling.
- 78 Sahlin, U. Analysis of forest field data with a spatial approach. Examensarbete.
- 77 Seeger, P. Nested t by 2 Row-Column-Designs suitable for bridge competitions.

Lantbruksteknik

Institutionsrapporter

- 254 2003 Sundberg, C. Food waste composting – effects of heat, acids and size.
- 253 2003 Wikner, I. Environmental conditions in typical cattle transport vehicles in Scandinavia.

Institutionsmeddelanden

- 03:01 Sjöberg, C. Lokalt omhändertagande av restprodukter från enskilda avlopp i Oxundaåns avrinningsområde.
- 03:02 Nilsson, D. Production and use of flax and hemp fibres. A report from study tours to some European countries.
- 03:03 Rogstrand, G. Beneficial Management for Composting of Poultry Litter and Yard-Trimblings- Environmental Impacts, Compost Product Quality and Food Safety.
- 03:04 Lundborg, M. Inverkan av hastighet och vägförhållande på bränsleförbrukning vid körning med traktor.
- 03:05 Ahlgren, S. Environmental impact of chemical and mechanical weed control in agriculture. A comparing study.
- 03:06 Kihlström, M. Possibilities for intermodal grain transports in the Mälardalen region – environmental and economical aspects.

Denna rapportserie som utges av Institutionen för biometri och teknik, SLU, innehåller uppsatser som anses lämpliga att publicera i denna form. Tidigare nummer redovisas på de sista sidorna och kan i mån av tillgång anskaffas från institutionen.

This series is published by Department of biometry and engineering. It contains reports or papers considered suitable for publication in this form. Earlier issues are listed on the last pages and can be obtained - if still available - upon application to the department.

DISTRIBUTION:

SLU

Institutionen för biometri och teknik

Box 7032

750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 10 00

pdf.fil: www.bt.slu.se

SLU

Department of Biometry and Engineering

Box 7032

S-750 07 UPPSALA

SWEDEN

Phone +46 18 671000
