

**SVERIGES  
LANTBRUKSUNIVERSITET**

# **BÄRGNING, 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

**Daniel Nilsson**

---

**Institutionen för lantbruksteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Agricultural Engineering**

**Rapport 150  
Report  
Uppsala 1991**

ISSN 0283-0086

ISRN SLU-LT-R-150-SE

---

**DOKUMENTDATABLAD för rapportering till SLU:s lantbruksdatabas LANTDOK, Svensk lantbruksbibliografi och AGRIS (FAO:s lantbruksdatabas)**

Institution/motsvarande		Dokumenttyp	
Institutionen för lantbruksteknik		Rapport	
		Utgivningsår	Målgrupp
		1991	R, P
Författare/upphov			
Nilsson, Daniel			
Dokumentets titel			
Bärgning, 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			
Ämnesord (svenska och/eller engelska)			
Halm, energikällor, biobränslen, förnybar energi, halmbärgning, halmhantering, förädling, energibalanser, hanteringskostnad			
Straw, energy sources, biofuels, renewable energy, crop residues, straw harvesting, baling, straw handling, briquetting, pelleting, powder energy balances, handling costs			
Projektnamn (endast SLU-projekt)			
Halm som bränsle delprojekt 2: Logistik			
Serie-/tidskriftstitel och volym/nr			ISBN/ISRN
Examensarbete. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, rapportserien. Rapport 150			SLU-LT-R--150-SE
			ISSN
			0283-0086
Språk	Smf-språk	Omfång	Antal ref.
Svenska	Engelska	98 s + bilagor	91

Postadress

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET  
Uftunabiblioteket  
Förvärvssektionen/LANTDOK  
Box 7071  
S-750 07 UPPSALA  
Sweden

Besöksadress

Centrala Ultuna 22  
Uppsala

Telefonnummer

018-67 10 00 vx  
018-67 10 98  
018-67 10 97

Telefax

018-301006

VÄND!

## FÖRORD

Under 1990-91 har Inst. för lantbruksteknik i samarbete med Inst. för lantbrukets byggnadsteknik, båda vid Sveriges lantbruksuniversitet, utrett halmens lämplighet som bränsle, främst i framtidens elproduktionsanläggningar.

Denna rapport behandlar hanteringen av halm från stubbåker via säsongslager fram till pannheten. Kapacitet, arbetsbehov, energibehov och kostnader m m redovisas för ett antal existerande, samt ett par för framtiden intressanta hanteringskedjor och lagringssystem.

Undersökningen har utförts som ett examensarbete inom agronomlinjens tekniska inriktning.

De två andra områden som behandlats inom projektet är halmens bränsleegenskaper med speciell fokus på olika tekniker för kraftvärme, samt en analys av marknadssituationen för halm.

Undersökningen har i sin helhet finansierats av Vattenfall Utveckling AB.

Uppsala den 15/5 1991

Åke Axenbom  
Forskningsledare

## **ABSTRACT**

The purpose of this essay is to review straw conservation systems, from the swath until the straw has been unloaded at the heating plant.

Various straw harvesting systems are studied. The harvesting methods are described, as well as the capacities and the resulting material properties. In addition, a number of storage methods are investigated.

Procedures of making, conveying and storing briquettes, pellets and powder are investigated.

The direct and indirect energy requirements for different harvesting chains are evaluated. The estimates show, with regard to the energy requirements, that straw utilization is very profitable.

Cost calculations have been estimated. The figures suggest that a cost of about 0.35 SEK should be attainable for getting the straw delivered to the heating unit.

## Innehållsförteckning

1 SUMMARY .....	11
2 INLEDNING .....	13
2.1 Bakgrund .....	13
2.2 Syfte .....	13
3 TERMINOLOGI .....	14
4 BÄRGNINGSFÖRHÅLLANDEN .....	15
4.1 Antal dagar disponibla för bärgning .....	15
4.2 Kapacitetsbehov .....	16
5 BÄRGNINGSMETODER .....	17
5.1 Småbalar .....	17
5.1.1 Pressning .....	17
5.1.1.1 Konstruktion .....	17
5.1.1.2 Kapacitet .....	18
5.1.1.3 Balform .....	18
5.1.2 Insamling av småbalar .....	19
5.1.2.1 Hanteringskedjor .....	19
5.1.2.2 Kapacitet och arbetsåtgång .....	24
5.1.3 Transport .....	25
5.1.4 Avlastning och inlagring .....	25
5.1.5 Exempel på hanteringskedjor och deras arbetsbehov .....	26
5.2 Rundbalar .....	27
5.2.1 Pressning .....	28
5.2.1.1 Konstruktion .....	28
5.2.1.2 Kapacitet .....	29
5.2.1.3 Balform .....	29
5.2.2 Insamling och lastning av rundbalar .....	30
5.2.3 Transport .....	32
5.3 Rektangulära storbalar .....	35
5.3.1 Pressning .....	35
5.3.1.1 Konstruktion .....	35
5.3.1.2 Kapacitet .....	37
5.3.1.3 Balform .....	37
5.3.2 Insamling .....	38
5.3.3 Teknik för på- och avlastning .....	39
5.3.4 Transport .....	41
5.4 Fälthackning .....	42
5.4.1 Snittning .....	42
5.4.2 Densitet .....	45
5.4.3 Transport .....	47
5.4.4 Avlastning och inlagring .....	47
5.4.5 Uttagning ur lager .....	48
5.5 Fältbrikettering .....	49
5.6 Lös långhalm .....	51
6 LAGRING .....	52
6.1 Allmänt .....	52
6.2 Torkning .....	52
6.3 Lagring utomhus .....	53
6.3.1 Utan täckning .....	53
6.3.2 Plast .....	54
6.3.3 Presenning .....	54
6.3.4 Kemiska tillsatser .....	55

6.3.5 Stolplada .....	56
6.4 Lagring inomhus .....	56
6.4.1 Befintlig byggnad .....	57
6.4.2 Hall .....	57
<b>7 FÖRÄDLING .....</b>	<b>58</b>
7.1 Allmänt .....	58
7.2 Pressning av briketter/pelletter .....	59
7.2.1 Pressningsprocessen .....	59
7.2.2 Presstyper .....	60
7.3 Brikettering .....	61
7.3.1 Brikettpressar .....	61
7.3.2 Exempel på en anläggning .....	62
7.3.3 Lagring .....	63
7.3.4 Transport och distribution .....	63
7.3.5 Organisation .....	64
7.3.6 Mobila anläggningar .....	65
7.4 Pellettering .....	66
7.4.1 Pellettpressar .....	66
7.4.2 Exempel på en anläggning .....	67
7.4.3 Lagring .....	68
7.4.3.1 Lager hos tillverkare .....	68
7.4.3.2 Lager hos användare .....	68
7.4.4 Transport och distribution .....	69
7.4.4.1 Tryckluftsbehållare .....	69
7.4.4.2 Flakbilar med cellmatare .....	70
7.4.4.3 Flakbilar som tippas .....	70
7.4.4.4 Storsäckshantering .....	70
7.4.4.5 Containerhantering .....	70
7.4.5 Organisation .....	71
7.5 Pulvrisering .....	71
7.5.1 Tillverkning .....	71
7.5.2 Transport och lagring .....	72
7.5.3 Halmpulver .....	72
<b>8 ENERGIBALANSER .....</b>	<b>73</b>
8.1 Allmänt .....	73
8.2 Beräkningar .....	73
8.3 Energiåtgång för hela hanteringssystem .....	74
<b>9 EKONOMI .....</b>	<b>76</b>
9.1 Förutsättningar .....	76
9.1.1 Allmänt .....	76
9.1.2 Fasta kostnader .....	76
9.1.3 Rörliga kostnader .....	77
9.1.4 Traktorkostnader .....	77
9.2 Bärning .....	77
9.2.1 Uppsamling .....	77
9.2.2 Kontinuerliga hanteringskedjor .....	79
9.2.2.1 Småbalar .....	79
9.2.2.2 Bogserad exakthack .....	80
9.2.2.3 Lastarvagn .....	80
9.2.2.4 Känslighetsanalys för olika transportavstånd .....	81
9.2.3 Diskontinuerliga hanteringskedjor .....	82
9.2.3.1 Rundbalar .....	82
9.2.3.2 Rektangulära högdensitetsbalar .....	83

9.3 Lagring .....	84
9.3.1 Inomhus .....	84
9.3.2 Stolplada .....	84
9.3.3 Presenning och plast .....	85
9.4 Transport från lager till värmeverk .....	85
9.5 Förädling .....	86
9.6 Övriga kostnader .....	87
9.6.1 Strängläggning .....	87
9.6.2 Växtnäringsvärde .....	87
9.7 Sammanställning .....	87
10 DISKUSSION .....	89
11 SAMMANFATTNING .....	91
12 LITTERATUR .....	93
13 BILAGOR .....	99
13.1 Bilaga 1 .....	
13.2 Bilaga 2 .....	
13.3 Bilaga 3 .....	
13.4 Bilaga 4 .....	

## 1 SUMMARY

The purpose of this essay is to review straw conservation systems from the swath until the straw has been unloaded at the heating plant.

Various straw harvesting systems are studied. The harvesting methods are described, as well as the capacities and the resulting material properties. Some results are shown in table 1.

Table 1. Facts about straw harvesting systems

	conven- tional bales	round bales	big bales	chopped straw	in-field wafering
Bale dimensions, cm <sup>3</sup>	46*36* 100	120*Ø90- 180	120*130* 250	-	-
Individual density, kg/m <sup>3</sup>	90-100	100-110	130-160	-	500-600
Bulk density, kg/m <sup>3</sup>	70-90	70-90	120-150	40-70	300-350
Gross capacity (baling/chopping/wafering), tons per hour	4-6	4-6	10-14	3-6	3-5
Manpower requirement <sup>1)</sup> , man- minutes per ton	40-50	20-25	12-16	20-40	15-25
Total energy requirement <sup>2)</sup> , MJ/ton	130	170	170	230	650

1) Including baling, carting, transport and unloading at the on-farm storage

2) Direct and indirect mechanical energy requirements from the swath to the on-farm storage

A number of storage methods have been investigated. Cost calculations show considerable differences between outdoors storage and indoors storage. Hence, development of successful outdoor storage methods could substantially reduce the total cost.

The process of briquetting/pelleting renders an increase in energy density, lower transport costs and easier handling. In this study, procedures of making, conveying and storing briquettes/pellets are investigated. Experiences from briquetting of woody materials as well as pelleting of animal fodder, might to some extent be applied to straw processing. However, the estimated costs are high, and therefore neither briquetting nor pelleting of straw are competitive at present. Grinding of straw for energy utilization is a possible alternative which is seldom used in practice, primarily depending on high energy requirements and high processing costs.



The direct and indirect energy requirements for different harvesting chains are evaluated. The estimates show that 2-8 % of the heating value of the straw is required for harvesting, storage and transport to the heating plant. Therefore, with regard to the energy requirements, straw utilization is very profitable.

Cost calculations have been estimated to make it possible to compare straw conservation systems. Some results are shown in fig 1. The figures suggest that a cost of about 0,35 SEK/kg should be attainable for getting the straw delivered to the heating unit.

Total cost (SEK/kg)

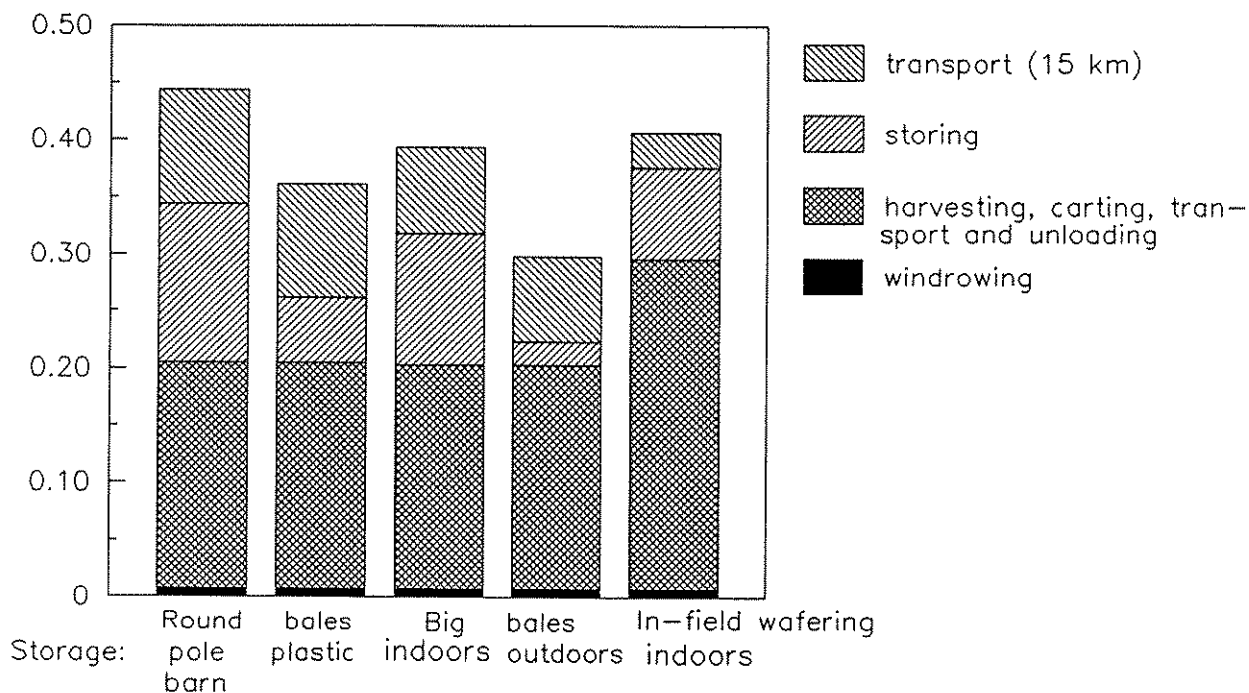


Figure 1. Total cost of harvesting, storing and transporting straw (exl. value of nutrients, and costs of administration and profit).

In large-scale straw harvesting, and when the straw is transported to central heating plants, round bales and big bales appear to be most suitable at present. In the future, in-field wafering and chopping might be advisable methods.

## 2 INLEDNING

### 2.1 Bakgrund

Idag pågår en livlig debatt om Sveriges framtida energiförsörjning. Biobränslen från jordbruket är ett alternativ som diskuteras. Halm, som ibland har betraktats som ett nödvändigt ont i spannmåls- och oljeväxtodlingen, utgör en viktig energiresurs. I Danmark har halm använts som bränsle i fjärrvärmeverk en längre tid. Där finns erfarenheter och teknik som även skulle kunna användas i Sverige.

Beräkningar visar att den tillgängliga mängden halm för energiproduktion uppgår till ca 3 miljoner ton per år (Lundin, 1984). Eftersom halm till större förbrukare är mest intressant i slättbygder med halmöverskott, bedöms drygt 2 miljoner ton vara disponibelt som bränsle (Projekt Agrobioenergi, 1986). Detta motsvarar ungefär 10 TWh, eller tio procent av energibehovet för uppvärmning. För närvarande är troligen den tillgängliga mängden bränslehalm mindre, eftersom spannmålsarealen har minskat och ströbäddar används alltmer inom djurhållningen. Dessutom hackas halmen på vändtegarerna i allt större utsträckning.

Tillvaratagande av halm skapar arbetstillfällen på landsbygden, samtidigt som landets behov av importerad olja minskar. Förbränning av halm ger låga utsläpp av svavelföreningar och medför ingen ökning av atmosfärens koldioxidhalt.

Halm är ett skrymmande bränsle med lågt energiinnehåll per volymsenhet. Detta medför att den blir dyr att transportera och lagra. En förutsättning för att halm ska kunna bli ett konkurrenskraftigt bränsle är därför att hanteringen blir så rationell och billig som möjligt.

Hantering av halm kan i teorin vara mycket enkelt och logiskt. Utveckling av bärnings- och förädlingssystem har engagerat många forskare. Man har t ex satsat avsevärda summor på att utveckla brikettpressar, som sedan inte använts p g a att briketterna blivit för dyra. Det är mycket viktigt att man skaffar sig en helhetsbild över hela hanteringskedjan, om fruktbara resultat ska uppnås.

### 2.2 Syfte

Syftet med denna studie har varit att kartlägga de metoder som finns för tillvaratagande av halm för energiproduktion. Kartläggningen omfattar halmens väg från fältet fram till förbränningsanläggningen.

Teknik för bärning, lagring, transport och förädling redovisas översiktligt. Dessutom har energibalanser för olika hanteringskedjor beräknats. Kostnaderna för halmens hantering bestämmer huvudsakligen dess pris, och därför har enkla kalkyler för olika hanteringsalternativ beräknats.

En målsättning har varit att utröna vilka hanteringsmetoder som är lämpliga för storskalig halmförbränning. Utvecklingsmöjligheter och framtida bärningsteknik diskuteras.

### 3 TERMINOLOGI

Halm kallas de ovanjordiska delar av den mogna säden som blir kvar då kärnorna tröskats ur. Den består av strå, blad, stubb samt de delar som omger kärnorna (agnar, boss m m). Vid halmbärgningen kvarlämnas en del på fältet, eftersom all halm av tekniska skäl inte kan samlas upp. Detta gäller stubben, men även agnar och andra mindre delar av strå och blad. Detta "spill" utgör mellan en tredjedel och hälften av den totala halmproduktionen (Fodgård, 1985).

Vid halmens tillvaratagande förekommer i denna studie några termer som förklaras nedan.

Bärgning omfattar halmens väg från fältet till lagret, d v s;

Uppsamling är den arbetsoperation som utförs på fältet.

Pressning innebär upptagning av halm från fältet och pressning till balar.

Fälthackning omfattar upptagning av halm från marken och sönderdelning till delar på 3-10 cm längd.

Fältbrikettering innebär att halmen pressas till briketter på fältet.

Insamling, då de utspridda balarna samlas tillhopa.

Transport till gårdslager.

Inlagring.

Transporter kan utföras två gånger i hanteringskedjan; dels transporten från fältet till lagret, och dels transporten från lagret till förbränningsanläggningen (ibland kallad fjärrtransport).

Förädling innebär att halmen pressas till briketter/pelletter eller pulvreras.

## 4 BÄRGNINGSFÖRHÅLLANDEN

Hösten är en mycket intensiv tid för många lantbrukare. Halmbärgningen konkurrerar med många arbeten som utförs under samma period; skördetröskning, höstsådd, djurskötsel, höstplöjning etc.

Möjligheterna till att bärga halm påverkas av:

\* Antal dagar disponibla för bärgning

\* Bärgningskapacitet

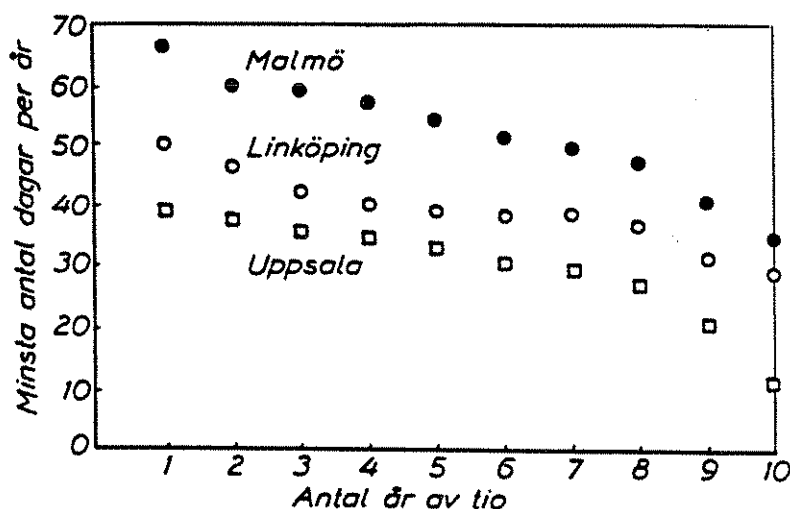
### 4.1 Antal dagar disponibla för bärgning

Lundin (1984) menar att den genomsnittliga bärgningsperiodens längd för Östergötlands, Uppsala och Skaraborgs län är 60 dagar. För Malmöhus län är bärgningssäsongen drygt 80 dagar om oljeväxthalmens bärgning inräknas. Om halmen ska bärgas i la-gringsdugligt skick, d v s med en vattenhalt ej överstigande 18 %, kan inte alla dessa dagar utnyttjas för bärgning. Nederbörd och avdunstning är viktiga faktorer för halmens upptorkning. Då hänsyn tagits till detta, fann Lundin att det genomsnittliga antalet dagar som var lämpliga för halmbärgning under åren 1975 till 1980 var:

Linköping	40
Uppsala	36
Skara	41
Malmö	55

För Uppsala gällde sålunda, att av bärgningsperiodens längd på 60 dagar, var 36 dagar lämpliga för halmbärgning.

Figur 2 ger en uppfattning om variationerna i antalet tillgängliga bärgningsdagar under en längre period. Med hjälp av figuren kan man uppskatta den kapacitet som behövs för att bärga en viss mängd halm per år. Om man kräver att med säkerhet hinna med bärgningen sju år av tio, måste man i Uppsala-regionen räkna med högst 29 "säkra" bärgningsdagar per år.



Figur 2. Antal tillgängliga dagar för bärgning av halm beräknat utifrån väderdata från perioden 1975-1985. Källa: Projekt Agrobioenergi, 1986.

Om man investerar i en maskinkapacitet som hinner med önskad mängd i sju år av tio, har man kapacitet att bärga mer än vad man behöver i sex år av dessa tio. Ofta finns det samtidigt mer halm tillgänglig. Eftersom man kan välja att låta skördetröskan antingen sprida halmen i hackad form över fältet eller lägga den i strängar för bärgning, finns det möjlighet att utnyttja denna överkapacitet.

Vid Jordbrukstekniska institutet (Brundin, 1988) har man tagit fram en funktion, med vars hjälp antalet tillgängliga bärgningsdagar kan beräknas;

$$y = k - 11,1x + 1,90x^2 - 0,121x^3$$

där  $y$  = antalet tillgängliga arbetsdagar

$x$  = antal år av tio som man önskar kunna bärga halmen torr

$k$  = konstant för geografiska och klimatiska förutsättningar

Vid bra förutsättningar, som anses gälla för t ex Malmö, är  $k=74$ , och vid sämre förutsättningar (t ex Uppsala), är  $k=53$ . Ett representativt värde, som kan gälla för stora delar av södra Sverige, är  $k=64$ .

## 4.2 Kapacitetsbehov

Lantbrukaren kan låta en entreprenör bärga och transportera halmen till en uppköpare. Lantbrukarens önskemål är då att få bort halmen snarast för att kunna bereda för nästkommande gröda, medan entreprenören vill bärga så mycket halm som möjligt för att minimera sina maskinkostnader. I avtalet mellan dessa utkristalliserar sig de motsatta intressena mellan entreprenör och lantbrukare i en tidsgräns för halmens borttagande. Denna "deadline" kan uttryckas som en tillåten försening av halmbärgningen efter tröskningen. Den här kompromissen i avtalet speglar effekten av bärgningskostnaderna gentemot minskningen av halmens värde och förseningen av efterkommande gröda. Det är således viktigt att entreprenörens maskinkapacitet är hög, samtidigt som hans fasta maskinkostnader är så låga som möjligt (de Koning & van Elderen, 1981).

Om lantbrukaren väljer att bärga halmen själv, uppstår det konkurrens mellan halmbärgningen och andra arbeten, eftersom tillgången på arbetskraft och maskiner är begränsad. Detta medför att man bör ta läglighetskostnaden i beaktande.

Läglighetskostnaden är ett uttryck för det inkomstbortfall som uppstår om kapaciteten inte är tillräckligt hög. Lantbrukaren kan t ex tvingas att prioritera skördetröskning på bekostnad av halmbärgning. Halmen får då ligga längre på fältet, och dess värde som bränsle kan försämrats. Är kapaciteten för halmens bärgning för låg, kan det därför uppstå ett inkomstbortfall. Den önskade bärgningskapaciteten bestäms utifrån de bärgnings- och läglighetskostnader som lantbrukaren kan acceptera.

## 5 BÄRGNINGSMETODER

### 5.1 Småbalar

Småbalar har hittills varit den mest använda hanteringsformen för halm. Balarna kan hanteras överallt med eller utan användning av tekniska hjälpmedel, och de kan därför även lagras där det är svårt att utnyttja platskrävande teknik. Arbetsbehovet är emellertid stort, och det krävs ofta en väl fungerande organisation vid bärgningen.

#### 5.1.1 Pressning

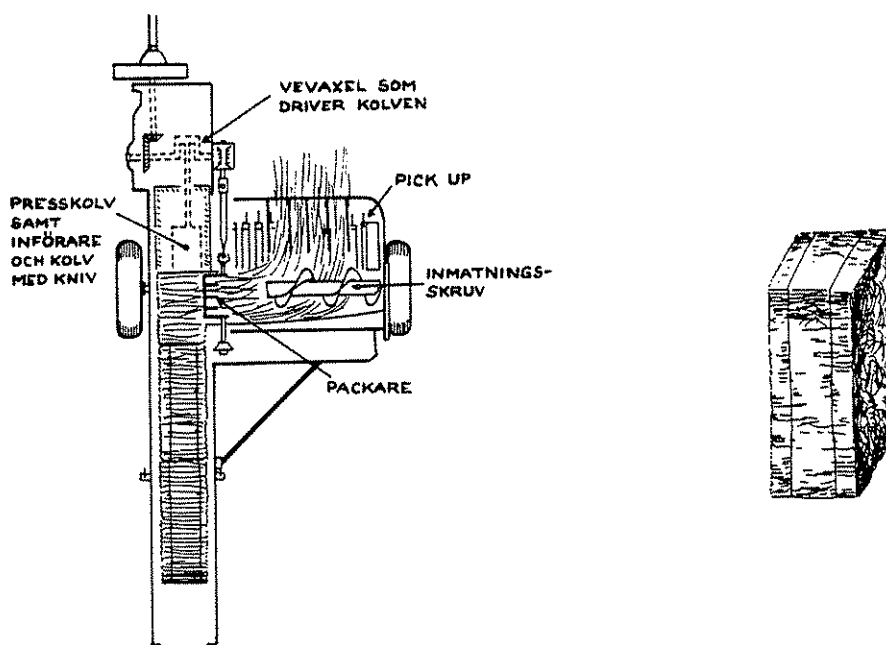
##### 5.1.1.1 Konstruktion

Konstruktionsmässigt kan pressarna för småbalar indelas i :

- \* svängkolvpressar
- \* glidkolvpressar

Pressar av svängkolvtyp kallas lös- eller mediumpressar. På grund av balarnas låga skrymdensitet (ca  $50 \text{ kg/m}^3$ ) och otympliga form, har denna baltyp nästan helt försvunnit som hanteringsform för halm.

Hårdpressen, som är av glidkolvtyp, används ofta till halmbärgning. Presskolven är försedd med en kniv som skär av materialet vid varje kolvslag. Hårdpressen har i regel sin pick-up placerad bredvid presskanalen, och materialet förs från sidan in i presskanalen. Pressningen sker med en glidkolv, styrd av glidskenor, i en horisontell kolvbana. Balarna binds ihop med sisal- eller propylensnören. Pressstrycket är 2-3 bar, och pressarnas effektbehov 25-50 kW (Wolf, 1986).



Figur 3. Hårdpress (glidkolvpress) t v, och en hårdpressad bal t h. Källa: Eriksson & Zetterberg, 1981.

### 5.1.1.2 Kapacitet

Vid pressningen kan balarna antingen släppas ner på marken eller samlas upp i en vagn. När balarna läggs på marken ökar pressens kapacitet eftersom man slipper omkoppling av vagnar. I tabell 2 visas kapaciteten vid pressning av småbalar. Nettokapaciteten, som är ett uttryck för maskinens kapacitet då den arbetar i halmsträngen, är för en mellanstor press ungefär 7 ton/timme. Variationer inom intervallet 6-8 ton/timme är vanliga. Bruttokapaciteten omfattar pressning (nettokapaciteten), vändning, mekaniska stopp m m. Bruttokapaciteten påverkas av många faktorer, bl a halmskördens storlek. Ett lågt utbyte medför normalt en lägre kapacitet. Detta kan delvis förhindras genom att man kör ihop flera strängar, men införingskapaciteten minskar då strängen inte blir lika jämn som efter en skördetröska. Värdena i tabellen är generella, och därför kan stora skillnader föreligga vid andra förhållanden.

Tabell 2. Pressning av halm med hårdpress (Källa: Nielsen, 1985)

Utbyte ton/ha	2	3	4	5	6	7
Ton/h, netto	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Ton/h, brutto	4,9	5,3	5,5	5,7	5,8	5,9
Körhastighet, km/h	8,8	5,8	4,4	3,5	2,9	2,5
Manmin/ha	28	39	50	61	72	83
Manmin/ton	13,9	12,9	12,5	12,1	11,9	11,8

### 5.1.1.3 Balform

I tabell 3 finns en sammanställning över dimensioner, densitet och vikt för halmbalar såsom de anges i litteraturen. Balarnas bredd och höjd är ofta fasta eftersom de beror på balkanalens mått, medan balarnas längd kan varieras.

Tabell 3. Småbalars mått, vikt och densitet

Källa/maskintyp	bredd*höjd*längd (cm <sup>3</sup> )	vikt (kg)	densitet (kg/m <sup>3</sup> )
Björklöf (1978)	40*35*90	15-20	90-100
de Koning (1981)	46*41*110	23	110
Neale (1989)	46*36*100	17	103
Busse (1986)	46*36*80	16	120
John Deere 359	46*36*30-130	5-21	100
Claas Markant 65	46*36*40-110	9-25	135

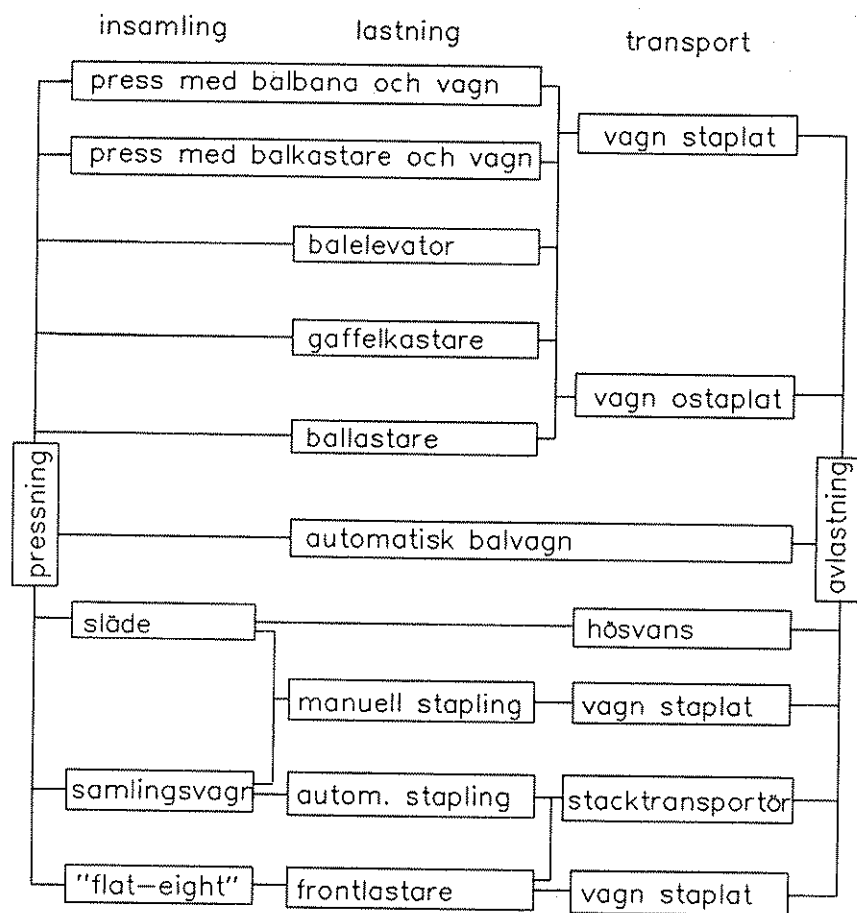
I tabellen ovan framgår att de konventionella småbalarna är ca 46\*36\*100 cm<sup>3</sup>, väger ungefär 15 kg och har en densitet på 100 kg/m<sup>3</sup>. Det har genomförts många försök för att höja småbalarnas densitet. Klinner (1978) rapporterar t ex om ett experiment vid NIAE i England. Genom att modifiera en hårdpress uppnåddes densiteter på 170 kg/m<sup>3</sup>. Senare experiment (Neale, 1986) har visat att det är möjligt att få densiteter över 200 kg/m<sup>3</sup>.

I Europa och USA förekommer en bärgningsmetod som kallas Freeman-systemet. Balarna har måtten 58\*44\*123 cm<sup>3</sup>, och densiteten är mellan 110-160 kg/m<sup>3</sup>. Balarnas vikt är 35-50 kg (de Koning, 1981).

## 5.1.2 Insamling av småbalar

### 5.1.2.1 Hanteringskedjor

Insamling och lastning av småbalar på fältet kan ske på många sätt. Sättet att transportera balarna från fältet är avhängigt av insamlingsmetoden. I figur 4 visas olika hanteringssystem för småbalar.

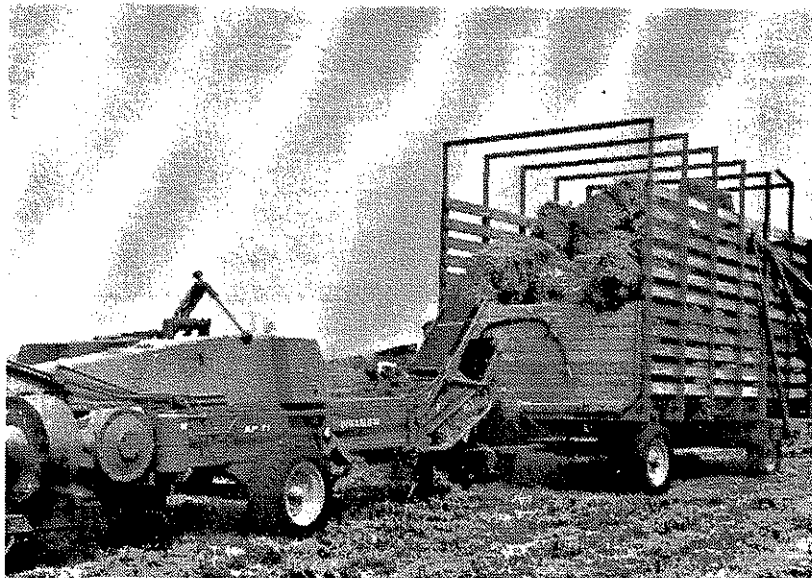


Figur 4. Hanteringskedjor för småbalar.

Lastning av balar kan utföras efter två olika principer; direkt lastning och lastning från marken (Nielsen, 1985). Vid direkt lastning lastas balarna direkt i en vagn kopplad efter pressen, och transporteras sedan i vagnen bort från fältet. Principen med lastning från marken innebär att pressen lämnar balarna på fältet, antingen utspridda eller buntvis. Balarna samlas sedan upp och transporteras bort från fältet. Detta medför att pressning och insamling kan utföras oberoende av varandra.

De två första metoderna i figur 4 beskriver direkt lastning. Med en balbana trycks balarna upp i vagnen. En balkastare monteras på presskanalen och kastar över balarna till den efterföljande vagnen. Med balkastare är det möjligt att ändra kastlängden och därmed utnyttja vagnens volym bättre.





Figur 5. Lastning med balkastare. Källa: Nielsen, 1985.

Balelevatorn är en lastmaskin som går på egna hjul och monteras på vagnens ena sida. Traktorn körs med jämn fart vid balraden, och balarna förs upp i vagnen av en vertikal transportkedja, som drivs av elevators egna hjul. Balarna faller ned i vagnen på samma plats, och föraren bör därför stanna traktorn och fördela balarna i vagnen. När vagnen är full, kopplas elevatoren loss från vagnen.

Gaffelkastaren kan vara svår att använda, och kräver stor koncentration vid användning. Den medför även en stor belastning på traktorns hydraulik.



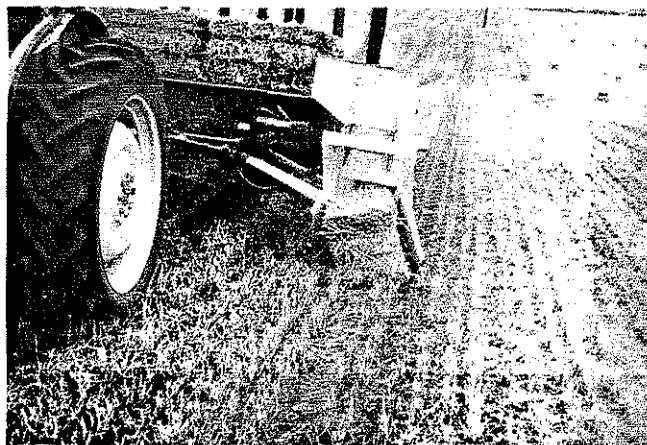
Figur 6. Lastning med gaffelkastare. Källa: Nielsen, 1985.

Ballastaren är placerad vid traktorns sida. Roterande remmar griper tag i balarna och kastar dem upp i vagnen. Kastlängden regleras med traktorns varvtal.



Figur 7. Lastning med ballastare. Källa: Nielsen, 1985.

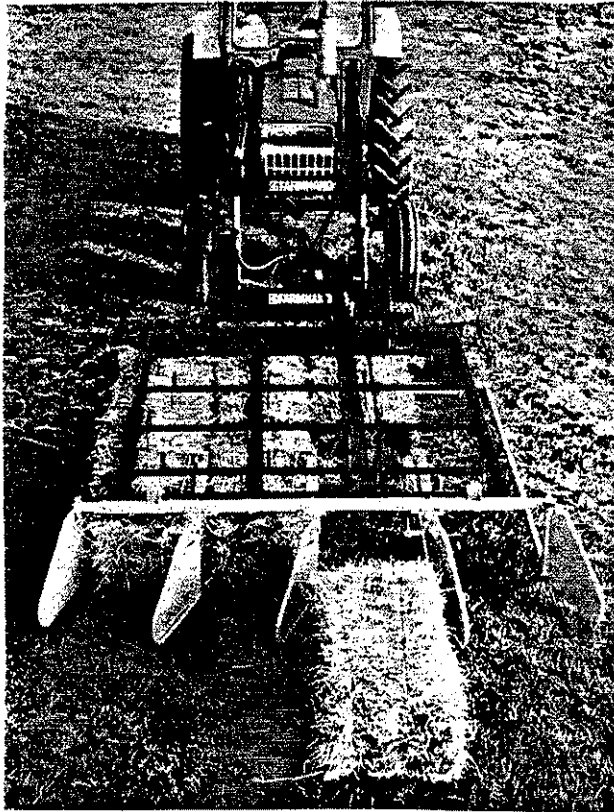
Den automatiska balvagnen plockar upp balarna med en pick-up. Balarna förs sedan in på en transportkedja som går runt i vagnen i fyra våningar. Kedjan rör sig en kort sträcka för varje bal som plockas upp tills kedjan är full av balar. Vid avlastning körs kedjan kontinuerligt. Vissa vagnar kan även stapla balarna i stackar.



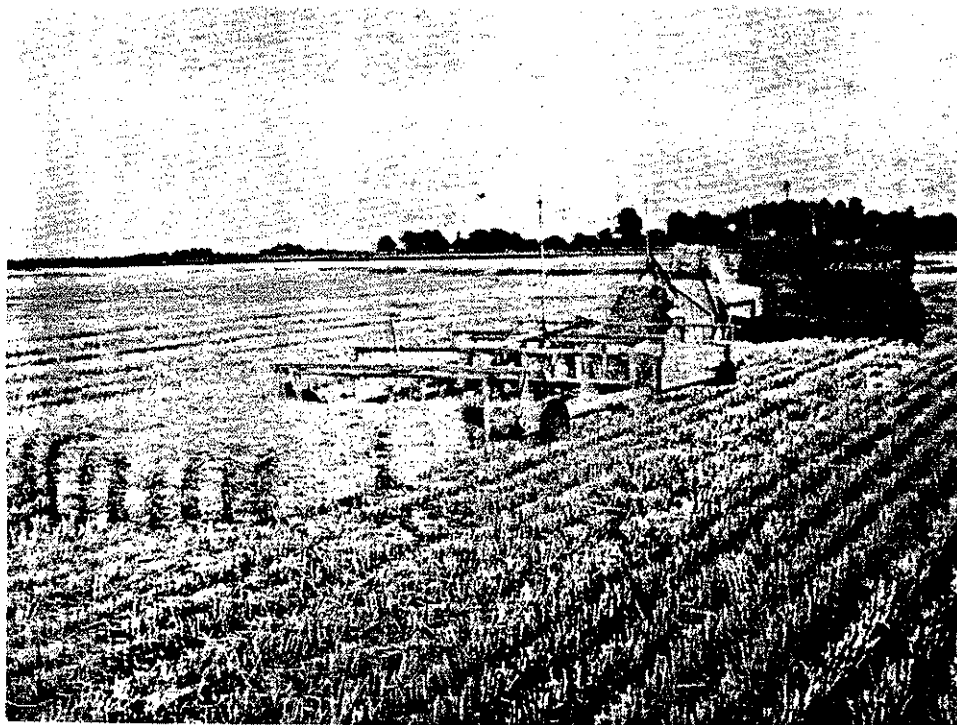
Figur 8. Insamling av småbalar med automatisk balvagn. Källa: Nielsen, 1985.

Släde och samlingsvagn kopplas bakom pressen. Med dessa metoder samlas balarna ihop buntvis och läggs sedan på fältet. Vidare hantering sker oftast med frontlastare.

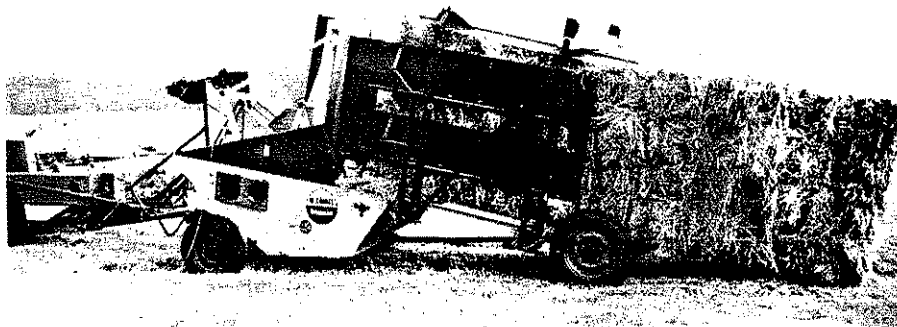
En lastargrind är en ram med klor som hydrauliskt kan gripa tag i balarna som ligger under ramen. Lastargrinden monteras på traktorns frontlastare. Man kan hantera kvadratisk ordnade grupper innehållande åtta balar, s k "flat-eight". Insamling och ordning av balarna i grupper kan ske med en speciell utrustning på lastargrinden, eller med en balsamlare som är kopplad efter pressen.



Figur 9. Insamling av balar vid "flat-eight"-metoden. Detta system används flitigt i USA och Storbritannien. Källa: de Koning et al, 1978.



Figur 10. Bakom pressen har man här kopplat en balsamlare, som ordnar balarna i grupper innehållande åtta balar. Källa: de Koning et al, 1978.



Figur 11. Maskin som formar 16 balar i ett paket och sedan binder samman dessa. Balpaketen får en vikt som motsvarar vikten hos rundbalar. Källa: Bengtsson, 1979.

I figur 11 visas en balstaplingsmaskin, vilken binder samman balarna i större paket. Tekniken har inte någon utbredning i Sverige, men har i viss utsträckning använts på kontinenten. En fördel med detta system är att man får stack- eller storbalshantering, men behåller småbalens möjligheter i senare led.

Vid Freeman-systemet stackar en självgående baluppsamlare automatiskt balarna i stackar med 56 balar. Stacken består av sju lager med åtta balar i varje lager. Stackarna är 2,50 m breda, 2,50 m långa och 3,10 m höga. Dessa stackar hanteras sedan av truckar utrustade med en klämgräp, som klämmer ihop stackens sidor.

#### 5.1.2.2 Kapacitet och arbetsåtgång

Många av de ovan nämnda insamlingsmetoderna är mycket ovanliga i Sverige. Direkt lastning med balbana eller balkastare dominerar. Som framgår nedan blir det totala arbetsbehovet för bärgning mindre vid direkt lastning. Nielsen (1985) redovisar arbetsbehovet för de vanligaste insamlingsmetoderna i tabell 4.

Tabell 4. Arbetsbehov vid lastning av hårdpressade balar för olika halmmängder (Källa: Nielsen, 1985)

	manminuter per ha							
	lastkapacitet		utbyte ton halm per ha					
	antal balar	kg	2	3	4	5	6	7
Balkastare	125	1500	7	10	14	17	20	24
Balbana	90	1080	10	14	19	24	29	34
Ballastare	90	1080	16	25	33	41	49	57
Gaffelkastare	90	1080	21	31	41	52	62	72
Aut. balvagn	96	1540	15	22	29	37	44	51

För tabell 4 gäller följande förutsättningar: balvikten är 12 kg (förutom den aut. balvagnen där balvikten är 16 kg), fältstorleken är 4 ha och för personliga pauser görs tillägg med 5 %. Tiden för balkastare och balbana innefattar endast lastning av balar som fallit av, transport på fältet samt omkoppling av vagnar. Själva pressningen är alltså ej medräknad. Siffrorna för balbana blir annorlunda om en man står i vagnen och travar. Detta höjer arbetsförbrukningen avsevärt, men man kan å andra sidan rymma fler balar per lass. Enligt Bengtsson (1979) är stapling av balar mycket vanligt i praktiken, men detta ger ingen större ökning av kapaciteten.

Som framgår av tabellen reduceras lastningstiden till nära hälften vid direkt lastning i vagnen. Lastning med automatisk balvagn kräver minst arbete vid lastning från fältet.

Kapaciteten för ett "flat-eight"-system är vid lastning 18 manminuter per ton (Butterworth, 1985). Detta gäller då balarna samlas ihop i stackar (med 8 balar i varje stack) vid pressningen. Detta medför att pressningen tar längre tid, vilket man bör ta hänsyn till.

Användning av släde efter pressen ger en arbetsförbrukning på 22 manminuter per ton (Björklöf, 1978). En man står då på släden och stackar balarna. Stackarna hanteras sedan med en hösvans. Presskapaciteten blir låg med denna metod.

Kapaciteten vid stackhantering kan variera starkt beroende på hur stora stackarna är. Enligt Björklöf (1978) åtgår 7 manminuter per ton vid lastning med ett trepunktskopplat redskap. Man bör dock även räkna med att presskapaciteten reduceras.

de Koning (1981) anger mycket höga kapaciteter för den självgående stackningsmaskinen i Freeman-systemet. Vid optimala förhållanden kan den stacka ett ton per minut. Ett mer realistiskt värde torde vara ca 5 manminuter per ton. Lastning av stackarna, som väger 2,0-2,8 ton, sker med en truck. Några uppgifter om tidsåtgång för lastning har ej hittats i litteraturen. Kapaciteten bör dock vara hög på stackarnas höga vikt.

### 5.1.3 Transport

Ostaplade småbalar utnyttjar lastvolymen dåligt. Enligt Wolf (1986) är densiteten för ett ostaplat lass ungefär 70 % av balarnas densitet. Nielsen (1985) anger densiteten för ostaplade småbalar till 50-60 kg/m<sup>3</sup>. De vagnar som används vid insamling av balarna är ofta små. Allt detta medför att långa transporter av ostaplade småbalar sällan görs av ekonomiska skäl.

Om småbalar ska transporteras längre sträckor bör de staplas. Arbetskapaciteten vid stapling är ungefär fem ton per timme och person (Brundin, 1986). Eftersom lastning och lossning av småbalar kan vara tidskrävande, bör endast traktortransporter komma ifråga (se följande kapitel 11.3). En vanlig lantbruksvagn rymmer ca 150 balar, dvs lassvikten är ungefär 2,3 ton. Ett lastbilsläp (12 m långt) kan transportera drygt femhundra balar, eller ungefär sju ton halm (Neale, 1986).

Skrymdensiteten för staplade balar är enligt många författare (t ex Wolf (1986)) lika stor som balarnas absoluta densitet. Det torde emellertid vara realistiskt att anta att skrymdensiteten är något lägre än den absoluta densiteten.

Vid stackhantering kan man få en hög på- och avlastningskapacitet, samtidigt som transportdensiteten blir hög.

### 5.1.4 Avlastning och inlagring

Val av metod för avlastning och inlagring görs med utgångspunkt från bl a följande faktorer: tillgång till arbetskraft, lagringsbyggnadens utformning, tidigare använd teknik i hanteringskedjan etc. Nedan anges i punktform de vanligaste sätten;

\* Balarna lastas av en efter en på en elevators och inlägges löst i lagret. Detta utföres normalt av samma person som kört hem lasset. Arbetsåtgången är 15 manminuter per ton (Björklöf, 1978). Balarna kan även staplas i lagret, och då krävs ytterligare en person. För att erhålla spridning av balarna i lagret, förses balbanan med ett flyttbart hinder som ser till att balarna glider av på önskad plats.

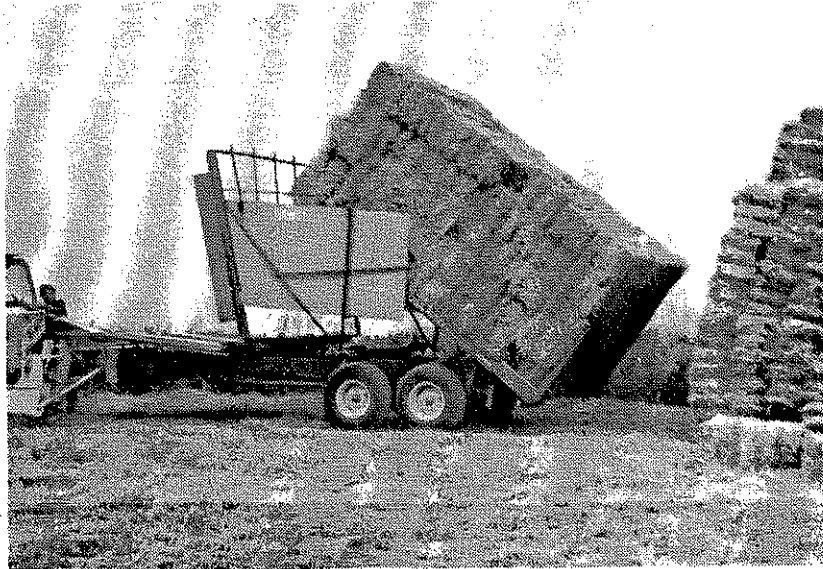
\* Balarna tippas av från vagnen. Detta ökar transportkapaciteten. Inlagring sker enligt ovan.

\* Avlastning sker med hiss, och balarna inlägges löst i lagret. Arbetsåtgången är ca 10 manminuter per ton (Björklöf, 1978).

\* Stackar hanteras med frontlastare eller trepunktskopplat redskap. Det krävs rymliga lager för att traktorn ska kunna arbeta effektivt.

\* Den automatiska balvagnen lastar av med sin transportör. Inlagring kan sedan ske med t ex en elevator. Det behövs därför endast en man som tar emot balarna i lagret.

\* Automatisk balvagn som stackar balarna, har liten tidsåtgång för avlastning. Stacken tippas av, och det tar endast 2,6 manminuter per ton (Nielsen, 1985).



Figur 12. Avlastning med automatisk balvagn. Det kan vara svårt att erhålla en välformad stack, eftersom det krävs en jämn yta och en rak "vägg" att ställa stacken mot. Källa: Nielsen, 1985.

Arbetsbehovet för avlastning är starkt beroende av hur mekaniserad hanteringen är. Vid mycket manuell hantering blir arbetsbehovet stort.

#### 5.1.5 Exempel på hanteringskedjor och deras arbetsbehov

Nielsen (1985) ger exempel på några intressanta hanteringskedjor. Vilka kedjor som är "intressanta" bedöms naturligtvis av läsaren. Arbetsorganisatoriska och ekonomiska skäl har dock gjort att flera av dessa metoder är vanliga för bärgning av småbalar. Hanteringssystemen jämförs ifråga om arbetsbehov och kapacitet.

Kedja 1. Pressning utförs av en person. Balarna läggs på fältet efter pressen, och samlas sedan ihop av två personer med hjälp av vanliga högafflar. Balarna staplas på en vagn som rymmer 150 balar. De två personerna lastar av lasset, och inlagring sker med hjälp av en transportör (inlagring sker med transportör för alla kedjor).

Kedja 2. Pressning sker med balbana och tillkopplad vagn. Vagnen rymmer 90 balar eftersom balarna ej staplas. Två personer ombesörjer hemtransport, avlastning och inlagring medan pressning pågår. Härvid uppstår väntetider vid transport och avlastning.

Kedja 3. Samma hantering som kedja 2, men pressen är istället utrustad med en balkastare. Vagnen rymmer 125 balar och avlastas medelst tippning.

Kedja 4. Samma hantering som i kedja 2, men endast en person sköter hemtransport och inlagring. Det uppstår därför väntetider vid pressningen. Vagnen är en V-formad balvagn, vilken avlastas genom tippning.

Kedja 5. Vid pressningen läggs balarna på marken. Balarna samlas upp av en ballastare i en vagn som rymmer 90 balar. Samtidigt lastar en person av balarna vid lagret. Totalt engageras tre personer.

Kedja 6. Balarna placeras på marken vid pressningen. En person samlar ihop dem med en gaffelkastare, transporterar hem lasset och lastar av.

Kedja 7. Samma hantering som kedja 6, men en automatisk balvagn används istället för gaffelkastare.

I tabell 5 visas arbetsbehov och kapacitet för de olika kedjorna. Transportavståndet är 500 m, och halmutbytet 3 ton/ha. Tillägg för översyn av utrustning m m har gjorts med 10 %.

Tabell 5. Totalt arbetsbehov för några hanteringskedjor för småbalar, då utbytet är 3,0 ton/ha (Källa: Nielsen, 1985)

Kedja	Manminuter per ha					Kapacitet ton/h			
	Press- ning	Last- ning	Tran- sport	Av- last- ning	Vän- tetid	Man- tim/ ha inkl 10 %	Man- min/ ton inkl 10 %	Press- ning	Insaml. + trans- port + avlastn.
1	34	75	5*2	32	32	3,4	67	5,3	2,4
2	41	14	9	36	23	2,3	45	4,4	4,4
3	39	10	6	29	33	2,2	43	4,6	4,6
4	41	14	9	31	13	2,0	40	3,3	3,3
5	34	25	9	36	2	1,9	39	5,3	5,0
6	34	31	9	36	-	2,0	40	5,3	2,4
7	34	22	6	8	-	1,3	26	5,3	5,0

Det totala arbetsbehovet varierar mellan 26 och 67 manminuter per ton. Kapaciteten är mellan 2,5 och 3,5 ton per timme för insamling, transport och avlastning när arbetet utförs av en person. Om två personer engageras är kapaciteten 4,5 till 5,0 ton per timme.

Arbetsbehovet för en bärgningskedja med "flat-eight"-metoden är ungefär 40 manminuter/ton (Butterworth, 1985).

Man bör vara försiktig med siffrorna eftersom de gäller för vissa förutsättningar. Värde-  
nas storleksordning ger dock vägledning vid val av bärgningsmetod.

## 5.2 Rundbalar

Det har gjorts många försök att förenkla hanteringen av småbalar för att minska arbetsbehov och kostnader. Detta arbete blev mindre intressant när rundbalarna kom. Hanteringen blev både billigare och mindre arbetskrävande. Det har därför blivit allt vanligare att bärga halmen med rullpress.



## 5.2.1 Pressning

### 5.2.1.1 Konstruktion

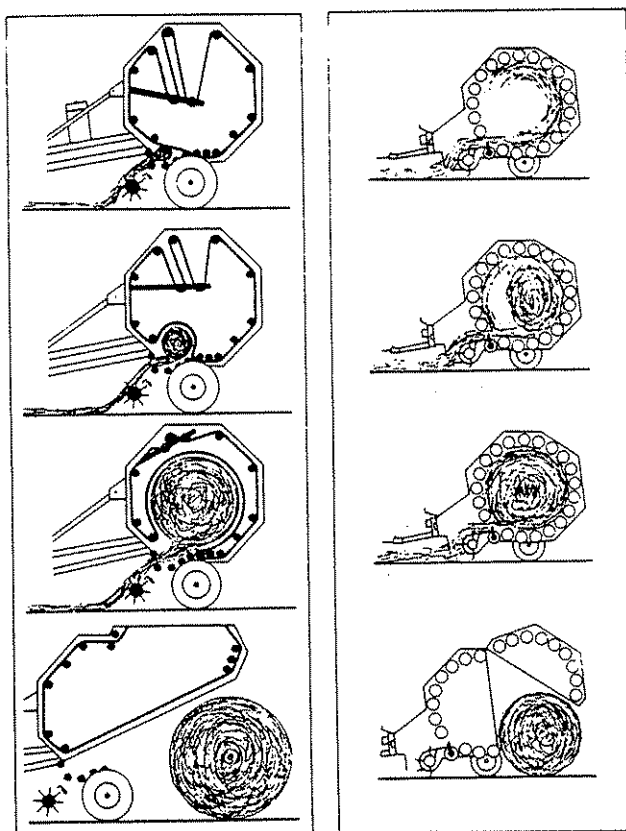
Principen med pressning av rundbalar uppstod under 40-talet i USA. En av de första pressarna tillverkades av företaget Vermeer, vars balar hade en densitet på ungefär  $80 \text{ kg/m}^3$  (Neale, 1989).

Det finns idag två huvudtyper av rullpressar; dels flex- och dels fixkammarpresrar. En flexkammarpres har en flexibel pressvolym, d v s rullen blir pressad från kärnan ut till manteln. Densiteten är därför densamma i hela balen. Balens diameter och densitet kan varieras.

En fixkammarpres har en fixerad pressvolym, där rullen pressas först när kammaren är full. Balens kärna blir lös, medan ytskiktet blir hårt pressat.

Numera finns det pressar som kan arbeta enligt både flex- och fixkammarpincipen (Hemming, pers. medd., 1991).

När transport- och lagringsekonomi prioriteras, t ex för halm till värmeverk, är flexkammartypen mest lämplig eftersom pressningsgraden är något högre (Hemming, 1986). Rundbalspressarnas effektbehov är 30-55 kW, och de arbetar med presstryck understigande 1,0 bar (Wolf, 1986).



Figur 13. Rundbalspress av flexkammartyp (t v) och fixkammartyp (t h). Källa: John, 1989.

Rullpressarna har en indikator som visar när kammaren är fullmatad. När balen är färdig, 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 ungefär 60 % mindre (Uebe, 1990). De senaste rundbalspressarna har en reservkammare, så att maskinen inte behöver stannas då balen binds och släpps ut. Priset stiger dock till det dubbla (Power Farming, 1989).

Rullpressar kan förses med en hack, som snittar halmen i lämpliga längder. Detta underlättar sönderdelning av balarna och hantering i senare skeden (Hemming, pers. medd., 1991).

### 5.2.1.2 Kapacitet

I tabell 6 visas arbetsbehov och kapacitet vid pressning med rundbalspress. Nettokapaciteten är i genomsnitt 9,9 ton per timme, medan bruttokapaciteten varierar mellan 5,1 och 5,7 ton per timme, beroende på halmmängden per ha. Observera att bruttokapaciteten ej skiljer nämnvärt från småbalspressens bruttokapacitet. Den stora skillnaden mellan nettokapacitet och bruttokapacitet beror på att pressen måste stannas vid bindning. För själva pressningen åtgår 50-59 % av arbetstiden, medan bindningen av balen tar 21-32 %. Resterande tid används till vändningar, personliga pauser m m. Kapaciteten är 20-25 balar per timme (Nielsen, 1985).

Följande förutsättningar gäller: fältstorlek 4 ha, strängavstånd (skördetröskans skärbrödsbredd) 4 m, baldiameter 1,58 m, balbredd 1,22 m, balvikt 244 kg.

Tabell 6. Genomsnittlig kapacitet och arbetsbehov vid pressning med rundbalspress (Källa: Nielsen, 1985)

Utbyte ton/ha	2	3	4	5	6	7
Ton/h, netto	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Ton/h, brutto	5,1	5,4	5,5	5,6	5,6	5,7
Körhastighet, km/h	12,3	8,2	6,2	4,9	4,1	3,5
Manmin/ha	24	34	44	54	64	74
Manmin/ton	11,8	11,2	10,9	10,8	10,7	10,6

Genom att binda balarna med nät (eller plast) istället för med garn, kan kapaciteten öka med upp till 30 %. Tiden då pressen står stilla för bindning är nämligen bara en tiondel mot vad som är fallet vid garnbindning. Nackdelen med nät är att kostnaderna stiger avsevärt. Detta medför att nätbindning blir mest intressant för maskinstationer o dyl, som bättre kan utnyttja den högre kapaciteten och på så sätt minska maskinkostnaderna (Schulz, 1985).

### 5.2.1.3 Balform

Rundbalarnas bredd är numera oftast 1,20 m, medan diametern varierar hos olika tillverkare. Äldre maskintyper pressade balar med bredden 1,50 m och diametern 1,80 m.

Är pressen av flexkammartyp, kan baldiametern variera mellan 0,9-1,8 m. Balarnas densitet är drygt 100 kg/m<sup>3</sup>.

Tabell 7. Rundbalaras mått, vikt och densitet

Källa/maskintyp	balbredd (m)	diameter (m)	vikt (kg)	densitet (kg/m <sup>3</sup> )
Nielsen (1985)	1,22	1,58	244	102
Björklöf (1978)	1,20	1,50	210	98
John Deere 550	1,17	1,80	330	110
New Holland 841	1,20	1,68	290	110
Welger RP 12	1,20	1,20	150	110

Det finns dock maskiner i utlandet som ger rullar med andra dimensioner. New Holland tillverkar t ex en press som gör balar med bredden 2,25 m och diametern 1,65 m.

Nät- och plastlindade balar har en tendens att svälla, vilket minskar deras densitet (Hadders, 1988c).

### 5.2.2 Insamling och lastning av rundbalar

Hantering av rundbalar sker vanligen med frontlastare. Om balarna hanteras med vågrät axel, används ett spjut eller en gödselgrep där några pinnar tagits bort. Avlägsnas alla pinnar utom de två yttersta 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 rullar samtidigt. Balarna placeras då ovanpå varandra. Gripen måste förses med lodräta stöttor vid bakkanten, som den övre rullen kan stödja sig mot (Hemming, 1990). Kapaciteten för insamling med frontlastare är 9-13 ton/timme (Nielsen, 1985).

Spjut och hydraulisk grip kan även kopplas till traktorns trepunktslyft.



Figur 14. Grip monterad på frontlastare. Källa: Hemming, 1990.

En automatvagn är lämplig vid korta transportavstånd (figur 15). De kan ta 4-8 balar per lass. Vagnen lastar av balarna en efter en stående med lodrät axel, men det finns även vagnar som lastar av balarna stående i en pelare. Enligt Hemming (pers. medd., 1991) är det svårt att bygga en pelarstack med den sistnämnda typen, eftersom det krävs ett jämnt underlag. Dessutom skymms sikten, och det blir därför svårt att lasta av pelaren på rätt plats.



Figur 15. En automatvagn är effektiv vid korta transportavstånd. Källa: BALA broschyr, 1991.

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

Om en balsamlingsvagn eller släde kopplas bakom pressen, kan mycket tid och arbete sparas. Vagnen samlar upp balarna bakom pressen, och släpper dem sedan vid fältkanten. Insamlingen av balar underlättas avsevärt med detta system. Balarens kapacitet minskar obetydligt (Power Farming, 1989).

Rundbalarna tål, till skillnad mot småbalarna, en viss mängd nederbörd. Detta gäller särskilt balar som pressats med fixkammarpres, där balens mantelyta är hårt pressad och därför relativt vattenavvisande (Fodgård, 1985).

Eftersom balarna lämnar pressen liggande, är det kanske enklast att hantera dem med vågrät axel. Praktiska erfarenheter samt några kalkyler visar emellertid att insamling och transport av balar i pelare kan utföras med högre kapacitet än när balarna hanteras liggande (Hadders, 1988a). Hantering av stående balar har en rad fördelar. Man kan stapla balarna högre i lagret; upp till 7 m är möjligt. Balarna behåller också sin runda form, och garnen angrips mindre av gnagare.

### 5.2.3 Transport

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

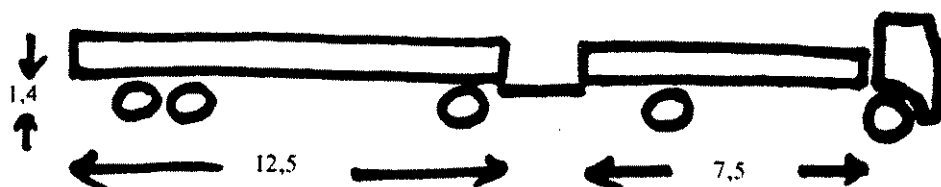
De rullpressar som marknadsförs i Sverige ger rundbalar med bredden 1,20 m. Eftersom tillåten lastbredd på väg är 2,6 m, går det bra att lasta två rullar i bredd. Man kan då lasta två rader rullar med sina axlar vågrätt och tvärs över flaket. Är rullarna välgjorda, kan ytterligare två rader lastas ovanpå i svackorna mellan de undre rullarna. Ofta används ett lastbilssläp draget av en traktor på ca 100 hk. Vägtrafikförordningen kräver att lasten är säkrad, vilket kan ordnas med olika typer av förstängningar och band längs flakets sidor (Hemming, 1990).



Figur 16. Transport av rundbalar staplade i tre våningar. Källa: Hemming, 1990.

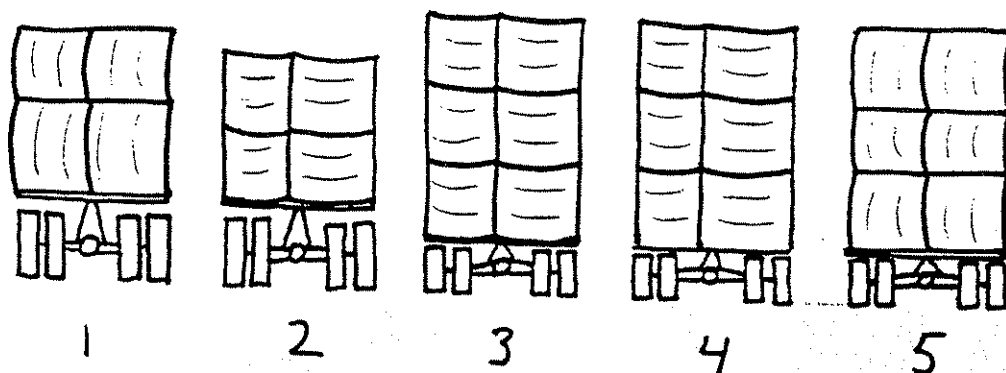
I figur 17 visas ett lastbilsekipage med maximalt tillåten längd 24,0 m. Lastbredden är 2,6 m och höjden 4,5 m; dvs de maximalt tillåtna mått som gäller idag. Detta ekipage får då transportera högst 32 ton nyttig last.

Rullarna kan transporteras med vertikal eller horisontal axel. Vidare kan de staplas enradigt, i kvadratförband eller i triangelförband. För enradig stående stuvning blir flakets bredd = rullens diameter, och flakets utnyttjandegrad  $\pi/4 = 78,5\%$ . Vid tvåradig stuvning är utnyttjandegraden densamma, men flakbredden blir nu  $2 \cdot$  rullens diameter. Vid tvåradig stuvning i triangelförband är flakets bredd  $= (2 + \sqrt{3}) \cdot$  rullens radie. Då



Figur 17. Skiss på ett lastbilskeppage med angivna mått. Källa: Hemming, 1979.

hänsyn tas till att det blir outnyttjade utrymmen vid flakets början och slut, blir flakets utnyttjandegrad 78,6 %. Det har således ingen betydelse för flakets utnyttjandegrad om man stuvar en- eller tvåradigt, eller i kvadrat- eller triangelförband (Hemming, 1979).



Figur 18. Olika stuvningsmodeller.

Figur 18 visar stuvningsmodeller för lastbilskeppet ovan. I tabell 8 redovisas hur de olika modellerna utnyttjar lastförmågan. I första skissen staplas balarna liggande i två rader ovanpå varandra, medan de i den andra skissen staplas stående. I de tre följande alternativen antas fordonets flakhöjd vara 0,9 m, vilket möjliggör stapling i tre våningar.

Tabell 8. Utnyttjande av lastförmåga vid olika stuvningsmodeller och balstorlek när densiteten är  $100 \text{ kg/m}^3$  (Källa: delvis Hemming, 1979)

stuvningsmodell	balarnas diam.* bredd (m)	antal balar	lastens höjd (m)	volyms- utnyttjande (%)	vikts- utnyttjande (%)
1	1,5*1,2	50	2,74	66	33
2	1,4*1,2	50	2,40	57	29
3	1,4*1,2	75	3,60	74	43
4	1,5*1,2	60	3,60	68	40
5	1,32*1,25	86	3,60	82	46

Som framgår ovan utnyttjas lastvolymen bättre än lastvikten, vilket leder till att man bör försöka öka balarnas densitet i första hand. Stuvningsmodell 5 ger det bästa viktsutnyttjandet. Här har lastfordonets mått ändrats så att hela flaket kan utnyttjas. Detta lastningssätt är exempel på ett framgångsrikt försök att anpassa balarnas och fordonets mått till varandra.

Teoretiskt utnyttjar månggradiga triangelförband utrymmet bäst (Kudsk, 1985). Balarna blir då emellertid små, vilket medför fler moment vid lastning och svårigheter att säkra lasten.

Om balarnas diameter överstiger 1,4 m stuvas de bäst liggande eller stående glest i vagnens längdriktning. Är diametern högst 1,4 m får det plats lika många rullar stående, som det ryms liggande om balarna staplas två balar högt (Hemming, 1990).



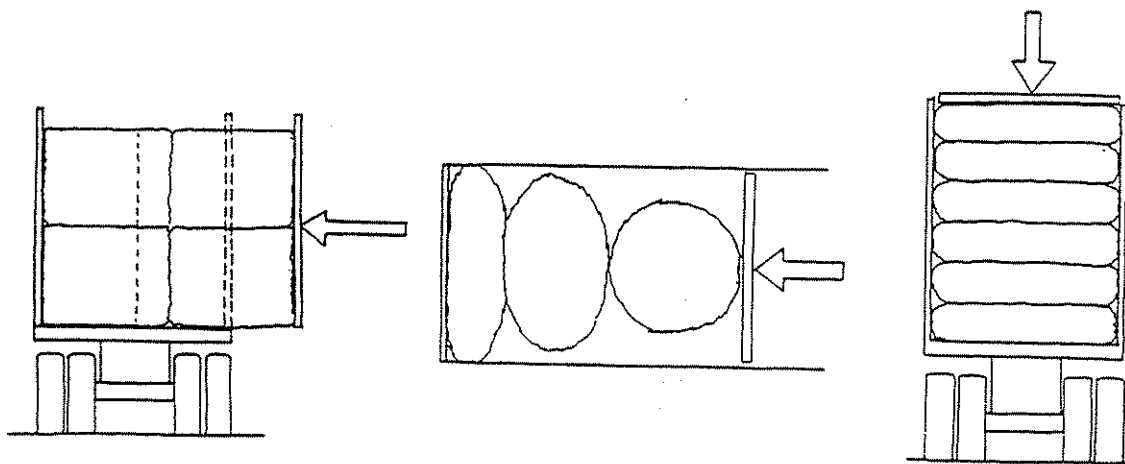
Figur 19. Timmerbil kan användas för rundbaltransporter. Källa: Hemming, 1990.

Hadders (1988b) föreslog komprimering av rundbalar vid transporten för att öka lastfordonens kapacitet. Tekniken tillämpas inte f n, men skulle annars vara genomförbar.

Lastningen beräknas ta dubbelt så lång tid, och kräva två personer. Trots högre kostnader för arbetskraft och maskinell utrustning, är metoden ekonomiskt försvarbar vid transporter längre än två mil (Hadders, 1988b).

Balarna komprimeras företrädesvis i radiell led, och detta kan göras i fordonens sid-, längd- eller höjddled (figur 20).

Vid komprimering i sidled lastas flaket på ena långsidan. Två pelare av balar med en diameter större än 1,3 m komprimeras sedan tills de ryms inom den tillåtna lastbredden 2,6 m. Om balarna har diametern 1,6 m, är det möjligt att öka lassvikten med 60-80 %.



Figur 20. Komprimering av rundbalar i bilens sid-, längd- och höjddled. Källa: Hadders, 1988b.

Vid komprimering i längdled placeras en rad pelare mitt på flaket och trycks ihop så att de fyller ut hela flakets bredd. Komprimering i höjddled kan vara svårt att utföra i praktiken, eftersom det bl a krävs kraftiga sidostöd.

### 5.3 Rektangulära storbalar

De första rektangulära storbalarna pressades med sk Howard-pressar, vars balar hade en densitet runt  $65 \text{ kg/m}^3$  (Neale, 1989). Högdensitetspressarna har annars funnits på marknaden lika länge som rundbalspressarna. Det var dock först i början på 80-talet, i samband med att Hesstons modell 4800 kom, som intresset ökade. Pressen ger rektangulära balar med hög densitet, vilket underlättar transport och lagring. Dessutom är pressningskapaciteten hög. Största nackdelen är kanske det höga priset. (Högdensitetsbalar är en något oegentlig benämning på denna baltyp, eftersom det förekommer andra balformer med "hög" densitet. I denna studie är dock "högdensitetsbalar" liktydigt med rektangulära storbalar.)

#### 5.3.1 Pressning

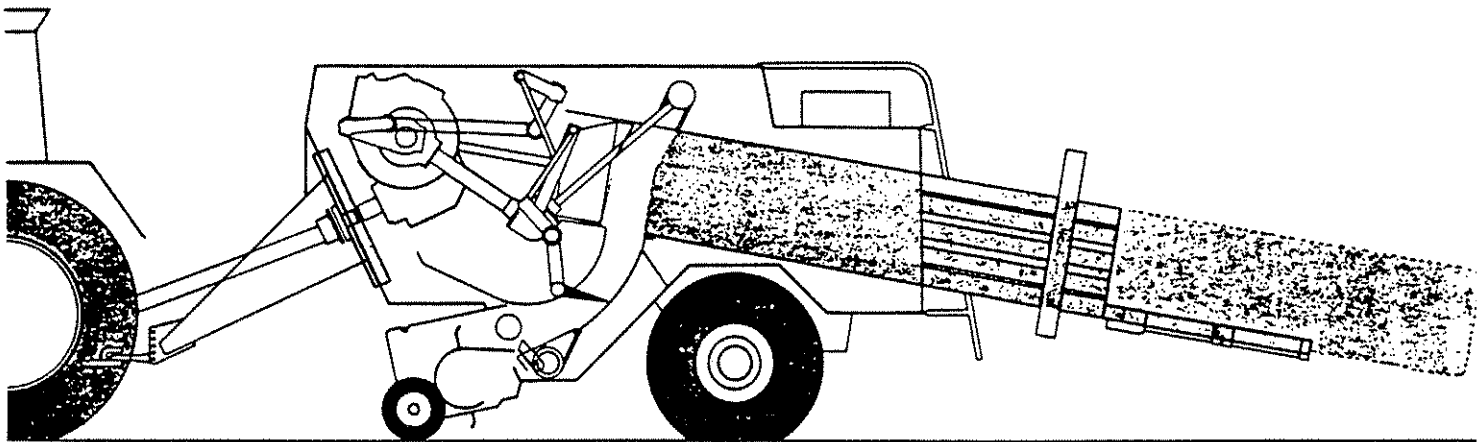
##### 5.3.1.1 Konstruktion

De flesta högdensitetspressar har en likartad konstruktion. I figur 21 ges ett exempel på hur de kan vara konstruerade.

Upptagning sker med en pick-up, och via tvärmatarskruvar förs halmen till inmatningskanalen. I denna förkomprimeras materialet genom att det matas in portionsvis i kanalen, vars utlopp är stängd 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 förstnämnda principen kan variera pressningsgraden med hjälp av hydraulkolvar, vilka påverkar presskanalens väggar. De enda fabrikat som har sluten presskammare är Howard och Vicon (John, 1989).



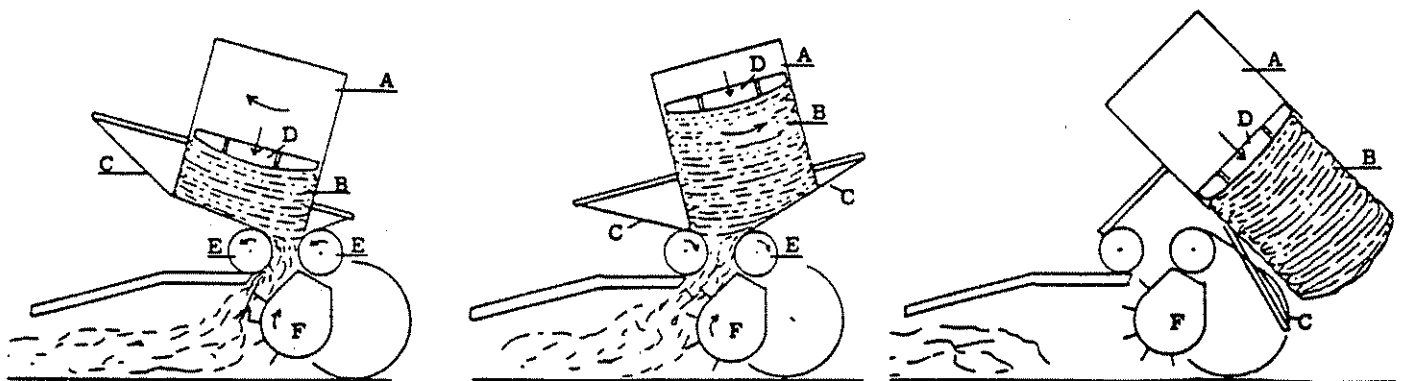


Figur 21. Claas Quadrant 1200 i "genomskäring". Källa: Claas broschyr, 1991.

Sisalgarn (minst 70 m/kg), syntetgarn (minst 100-150 m/kg) eller stålband (Vicon HP 1600) används för att binda balarna. På nyare maskiner finns ofta elektroniska hjälpmedel; t ex givare som känner av pressningsgraden, indikatorer för fel vid knytningen etc. Effektbehovet är 60-110 kW, och pressarnas vikt är omkring 5-6 ton. Presstrycket är 3-5 bar (Wolf, 1986).

I Danmark förekommer pressar utrustade med hack, vilka grovhackar halmen innan den pressas (Effektivt Landbrug, 1990).

Det har utvecklats en ny presstyp som är en kombination mellan rullpressar och fyrkantspressar (Molitorisz & Buchele, 1987). Pressen arbetar utan kolv, vilket medför att maskinen har ungefär samma effektbehov som rullpressarna. Balarna har måtten  $1,2 \times 1,2 \times 2,4 \text{ m}^3$ , och för halm är densiteten ca  $130 \text{ kg/m}^3$  (Agropack broschyr, 1991). Pressens vikt är 2,5 ton, och inköpspriset något högre än rullpressarnas.



Figur 22. Funktion hos en press utan kolv, vilken gör rektangulära storbalar. Matarvalsarna (E) byter hela tiden rotationsriktning och får därmed balkkammaren (A) att svänga fram och tillbaka, samtidigt som halm matas in i kammaren. Balarna blir fyrkantiga, men får rundbalarnas "rullkomprimering" (Källa: Agropack broschyr, 1991).

### 5.3.1.2 Kapacitet

Nielsen (1985) redovisar i tabell 9 arbetsbehov och kapacitet för Hesston 4800. Nettokapaciteten har varierat från 12,8 till 23,0 ton per timme, med ett genomsnitt på 17,9 ton/timme. Den högre kapaciteten uppnås vid stor halmskörd, medan den lägre kapaciteten förekommer vid pressning av kornhalm med lågt utbyte. Vid mindre halmmängder än 3 ton/ha och ett avstånd mellan halmsträngarna understigande 4 m, är det nödvändigt att först köra samman två strängar om pressens kapacitet ska utnyttjas. Ökande utbyte höjer bruttokapaciteten från 11 till 14 ton per timme; en ökning med 27 %! Arbetsbehovet varierar mellan 3,8 och 5,9 manminuter per ton, beroende på skördenivån. Fältform och fältstorlek har också stort inflytande på kapaciteten. Det är således inte likgiltigt under vilka förhållanden pressen arbetar, om kapaciteten ska vara hög och kostnaderna kunna hållas på rimlig nivå (Nielsen, 1985).

Tabell 9. Arbetsbehov och kapacitet vid halmpressning med Hesston 4800 (Källa: Nielsen, 1985)

Utbyte ton/ha	2	3	4	5	6	7
Ton/h, netto	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9
Ton/h, brutto	11,1	12,4	13,1	13,6	13,9	14,1
Körhastighet, km/h	-	14,9	11,2	9,0	7,5	6,4
Manmin/ha	11	15	18	22	26	30
Manmin/ton	5,4	4,8	4,6	4,4	4,3	4,3

Följande förutsättningar gäller för tabell 9: fältstorlek 4 ha, arbetsbredd (skördetröskans skärbordsbredd) 4 m, traktorstorlek 136 hk, balvikt 460 kg. För personliga pauser görs tillägg med 5 %.

Petterson (1984) gjorde tidsstudier vid pressning med en Hesston 4800. Han menar att tidsbehovet för pressning av stråsädeshalm (3,4 ton/ha) är 6,6 manmin per ton, varav 1,8 min åtgår för framkörning och stoppar av olika slag. Framkörning och skötsel ger således minst 30 % tillägg på den effektiva pressningstiden. För ojämna och oregelbundna fält med liggsäd, där halmen måste vändas, kan det ta upp till 12 manmin/ton.

För raps var arbetsbehovet 9 manmin/ton. Det tar längre tid att pressa raps eftersom skördenivån är lägre (Petterson, 1984).

Slutligen kan nämnas att världsrekordet i halmpressning med en Hesston 4800 lär vara 200 ton halm under en tio timmars arbetsdag (Teknik i jord och skog, 1988).

### 5.3.1.3 Balform

De rektangulära högdensitetsbalarnas mått, vikt och densitet redovisas i tabell 10. Balarnas längd kan varieras upp till ca 2,5 m, och densiteten är ungefär 150 kg/m<sup>3</sup>. Pressar med slutna presskammare har fast ballängd (t ex Vicon HP 1600).

Hesston 4700, MF 5, New Holland D 1000 gör mindre balar. Dessa maskiner uppges även vara lämpliga för ensilering (Bull, 1986). Welger Delta 5000 pressar balar som endast är 400 mm höga. Maskinen har emellertid en balsamlare, som stackar tre balar och sedan placerar stacken på fältet.

Tabell 10. Mått, vikt och densitet hos högdensitetsbalar (Källa: Bull, 1986)

Maskin	bredd*höjd*längd mm <sup>3</sup>	vikt kg	densitet kg/m <sup>3</sup>
Hesston 4800	1220*1295*2438	500	130
Hesston 4700	800*850*1600-2400	175-200	160-180
Welger Delta 5000	1200*400*1500-2500	80-200	110-170
Massey Ferguson 5	800*800*900-2500	110-225	140-190
New Holland D 1000	600*900*1200-2500	100-200	150
Vicon HP 1600	1600*700*1200	200	150
Freeman 1500	1168*965*1200-2500	430	150

### 5.3.2 Insamling

Pressen släpper av balarna på fältet under gång. De måste därför flyttas till fältkanten eller till lastfordonet. Detta kan ske med frontlastare eller lastmaskin. Pressning och insamling av balar kan ske i två av varandra oberoende moment. Det behöver därför ej uppstå väntetider vid bärgningen.

Balarna lastas i två lager på antingen en lantbruksvagn eller ett lastbilssläp. Frontlastaren ska självfallet vara så stark att den kan lyfta balarna.

Hopsamling och lastning kan organiseras på två sätt:

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

Petterson (1984) undersökte arbetsbehovet vid hopsamling av halmbalar pressade med Hesston 4800. Balarna kördes till en vägkant. När en man utförde arbetet var arbetsbehovet 5,4 minuter per ton. Då två personer samlade ihop balarna, d v s alternativ 2 ovan, tog det 7,8 manmin/ton. Variationen mellan enskilda värden var dock stor. Petterson drar slutsatsen att hopkörningen kräver lika mycket tid som pressningen, men kostnaden blir lägre eftersom maskinerna är billigare.

Nielsen (1985) redovisar arbetsbehovet när en person utförde hopsamling och lastning på en vagn. Då balarna vägde 460 kg och vagnens lastkapacitet var 10 balar, tog det ca 4 manminuter per ton.

Enligt Nielsen (1986) finns det en balsamlare som kan kopplas bakom en Hesston 4800. Balsamlaren lastar tre balar, och lägger sedan balarna i en mindre stack på fältet. Härvid underlättas insamlingen av balarna. Författaren är dock tveksam till metoden, eftersom pressens kapacitet minskar och fördelarna inte blir så stora vid små fält.



Figur 23. Frontlastare med specialgrip används med fördel vid insamling och lastning av högdensitetsbalar. Källa: Nielsen, 1985.

### 5.3.3 Teknik för på- och avlastning

Till både lastning och avlastning används frontlastare, hjullastare, teleskoplastare eller liknande, vilka kan gripa balen och lyfta upp den på en vagn. Det är en fördel om lastaren är utrustad med parallellföring av grepen. Eftersom belastningarna på framaxeln kan bli höga - särskilt om man lyfter två balar på en gång - kan det vara lämpligt att använda framhjulsdrevna traktorer (Kudsk, 1985). Det finns numera gripar som kan ta fyra balar på en gång (Axenbom, pers. medd., 1991).



Figur 24. Lastbil utrustad med kran. Chauffören kan själv lasta både bil och släp, förutsatt att balarna finns inom räckhåll. Systemet kan även användas i byggnader, om utrymmet tillåter det. Källa: Nielsen, 1986.



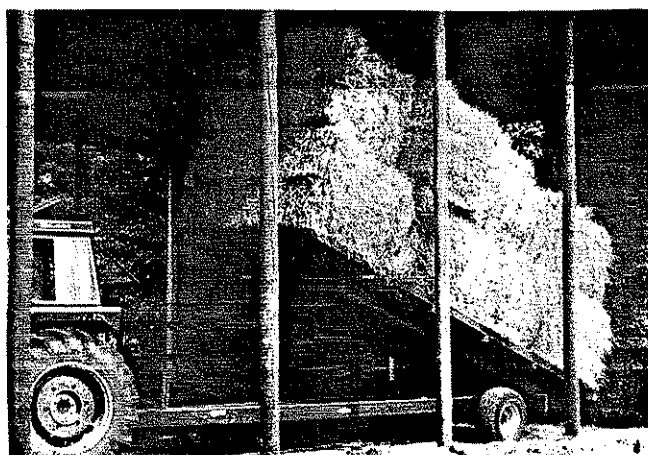
Figur 25. Med lämplig utrustning kan frontlastaren stapla 4-5 balar ovanpå varandra.  
Källa: Nielsen, 1986.



Figur 26. Hjullastare kan användas till både lastning och avlastning. Här är lastaren utrustad med en speciell gripklo. Källa: Nielsen, 1986.



Figur 27. Teleskopplastaren kan stapla balarna mycket högt, och den är lämplig till både på- och avlastning såväl inomhus som utomhus. Källa: Hadders, 1989.



Figur 28. Specialbyggd vagn för transport av högdensitetsbalar. Vid avlastning tippas vagnen till lodrät ställning, och därmed är balarna avlastade och staplade. Källa: Nielsen, 1986.

#### 5.3.4 Transport

Transporterna sker med lantbruksvagnar eller lastbil. För kortare transporter till lager nyttjas oftast lantbrukarens egna vagnar, medan det vid fjärrtransporter kan lämpa sig bäst med lastbil. För att erhålla hög transportkapacitet, bör transportfordonen utnyttja de maximala mått som vägtrafikförordningen tillåter. Då balarna är stora och tunga, är det mycket viktigt att lasten säkras ordentligt.

Balarnas densitet är 1,5 gånger högre än rundbalarnas densitet. Deras volymsutnyttjande är  $4/\pi = 1,27$  gånger större än rullarnas. Totalt utnyttjar fyrkantbalarna volymen 91 % ( $1,5 \cdot 1,27 = 1,91$ ) bättre än rundbalarna, vilket ger stora fördelar vid lagring och transport.

Pressar med variabel ballängd kan anpassa ballängden med hänsyn till flakets längd. Dessa balar kan utnyttja flakets yta maximalt om balbredden utgör en hel multipel av flakets bredd. Är dessutom balhöjden en hel multipel av lasthöjden, utnyttjas lastvolymen maximalt (Kudsk, 1985).

Anta att transport av balar pressade med en Hesston 4800 sker med det lastbilskeppage som visades i avsnitt 7.2.3. Om balarna har måtten  $122*129*240 \text{ cm}^3$  och staplas i två rader med lastbredden  $2*130 \text{ cm}$ , rymmer ekipaget 32 balar. Utnyttjandet av tillgänglig volym (om lasthöjden maximalt får vara 4,5 m) är då 74,5 %. Med en densitet på  $150 \text{ kg/m}^3$  väger lasten 17,9 ton; d v s 56 % av fordonets lastförmåga utnyttjas.

Om flakhöjden är 0,9 m, skulle det vara teoretiskt möjligt att utnyttja 96 % av volymen med ovan nämnda stuvning. Balarna staplas då i tre lager. Med en densitet på  $150 \text{ kg/m}^3$  blir viktsutnyttjandet 84 %. För att ytterligare höja lastkapaciteten måste man höja balarnas densitet. Vid en densitet på ungefär  $170 \text{ kg/m}^3$  utnyttjas hela ekipagets lastförmåga.

Räkneexemplen ovan kan vara svåra att tillämpa i praktiken, eftersom det förutsätts att balarna vänds för att passa fordonets lastmått. Dessutom är skrymdensiteten något lägre än balarnas absoluta densitet. Exemplet visar ändå att anpassning av måtten är en framkomlig väg för att höja transportkapaciteten.

Antalet enheter (balar) har stor betydelse för lastningstiden och därmed transportkostnaderna. Högdensitetsbalarnas rationella på- och avlastning, samt höga densitet gör dem mycket lämpliga för transport.

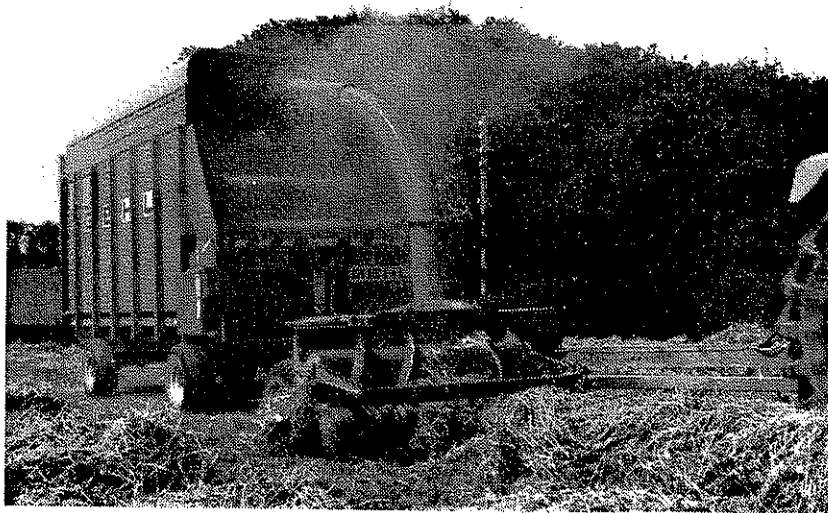
## 5.4 Fälthackning

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. Om halmen måste hackas, t ex vid tillverkning av pelletter och briketter, kan det vara en fördel att hacka den redan på fältet. Man behöver då inte först bärga den i balar, och sedan lösa upp balarna igen. Låg densitet och relativt komplicerad hanteringsteknik gör emellertid att transport och lagring blir dyrt. Brundin (1988) menar att fälthackning framförallt är intressant i kombination med brikettering på gården.

### 5.4.1 Snittning

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 används, vilket reducerar spillet. Vagnens volym har, liksom halmskördens storlek, en viss betydelse för kapaciteten. I tabell 11 visas arbetsbehovet vid olika halmmängder för en bogserad exakthack. Förutsättningarna är följande: fältstorlek 4 ha, arbetsbredd 4 m samt traktoreffekt 136 hk.



Figur 29. Snittning med bogserad exakthack, och lastning i vagn utrustad med höga sidor och tak. Vagnen är försedd med doseringsutrustning för avlastning i t ex fläkttransportör. Källa: Nielsen, 1985.

Tabell 11. Arbetsbehov och kapacitet för bogserad exakthack (Källa: Nielsen, 1985)

Utbyte, ton/ha	2	3	4	5	6
Ton/h, netto	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
Körhastighet, km/h	8,5	5,7	4,3	3,4	2,8
Manmin/ha inkl omkoppling	30	41	53	65	77

Nettokapaciteten, d v s då vändningar och stopp ej medräknas, är genomsnittligt 6,8 ton/ha. Stora variationer kan självfallet förekomma, beroende på omständigheterna. Värdena i tabellen ovan gäller vid en lassvikt på 1050 kg.

I tabell 12 redovisas exempel på arbetsbehov och kapacitet för en självgående exakthack. Förutsättningarna vid tidsstudierna var samma som för den bogserade hacken ovan. Nettokapaciteten var högre (10,5 ton/timme), men lassvikten lägre (800 kg). Vanligen används tippvagnar efter hacken. Dessa töms direkt i lantbrukarens vagnar, och omkoppling behöver därför ej ske. Det finns även maskiner med påbyggda kassar, där avlastning sker med en bottenmatta (Nielsen, 1985).





Figur 30. Självgående hack där hackelsen blåses över i en högtippande vagn med tak. Materialet tippas över i en annan vagn för hemtransport. Källa: Nielsen, 1985.

Tabell 12. Arbetsbehov och kapacitet för självgående exakthack (Källa: Nielsen, 1985)

Utbyte, ton/ha	2	3	4	5	6
Ton/h, netto	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Körhastighet, km/h	-	8,8	6,6	5,3	4,4
Manmin/ha inkl omlastning	20	28	36	45	53

Vid lågt utbyte blir körhastigheten orealistiskt hög. Man bör då överväga att köra ihop två strängar. Man ska emellertid vara medveten om att risken för sönderkörning p g a sten ökar.

Nettokapaciteten för en lastarvagn (tabell 13) är av ungefär samma storlek som för den självgående hacken. Arbetsbehovet är mindre då omkoppling eller omlastning ej görs på fältet. Lasset körs direkt till lagret för avlastning, och fälthanteringen utförs därför av endast en person.

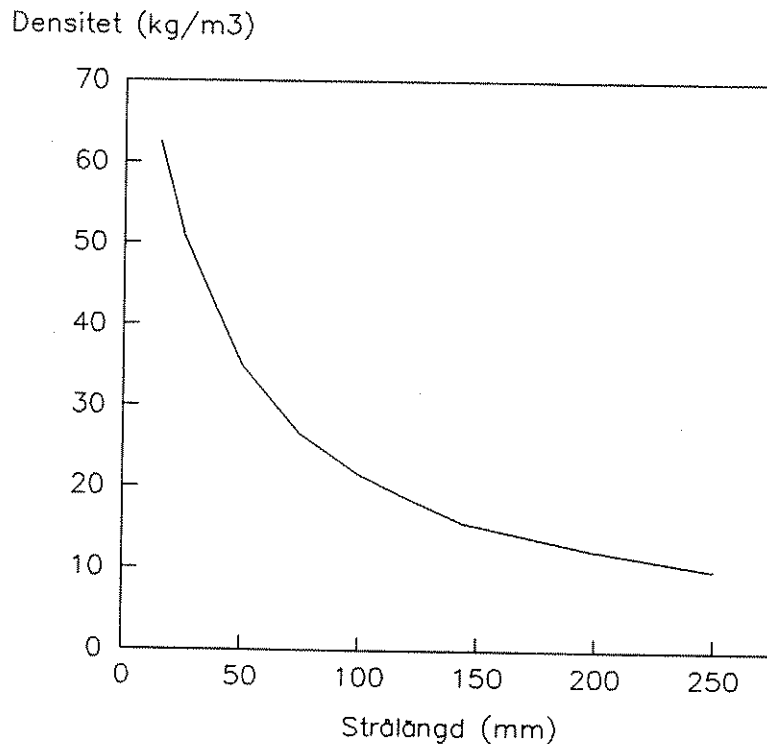
Tabell 13. Arbetsbehov och kapacitet vid fälthackning med en lastarvagn (Källa: Nielsen, 1985)

Utbyte, ton/ha	2	3	4	5	6
Ton/h, netto	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Körhastighet, km/h	13,1	8,8	6,6	5,3	4,4
Manmin/ha	15	22	28	34	40

Värdena i tabellen gäller för en lastarvagn med fast hack. Lassvikten är 1470 kg.

### 5.4.2 Densitet

Hackelsens densitet beror på vattenhalten, hacksel längden och packningsgraden. Figur 31 visar densiteten för lös vete halm vid olika snittlängder. Med "lös halm" menas att halmen utsatts för ett tryck på 100 Pa. Torr ohackad halm har en densitet på omkring  $10 \text{ kg/m}^3$ . Snittning till längder mindre än 100 mm medför en avsevärd ökning av densiteten. Voss (1970) redovisar betydligt högre densiteter för lös halm. Torr långhalm har enligt honom en densitet på  $35 \text{ kg/m}^3$ .



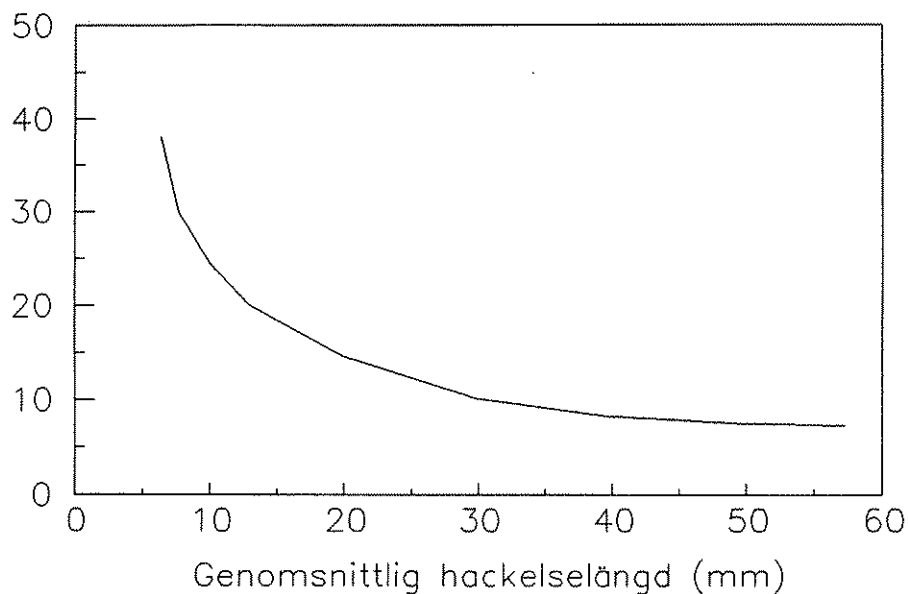
Figur 31. Densiteten för lös vete halm vid olika snittlängder. Källa: O'Dogherty & Gilbertson, 1988.

Kortare snittlängder medför dock högre energiförbrukning. Ur figur 32 framgår att energibehovet stiger kraftigt vid 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 i avsnitt 5.4.1 blir hackelsens densitet i transportvagnarna  $40\text{-}50 \text{ kg/m}^3$  (Nielsen, 1985).

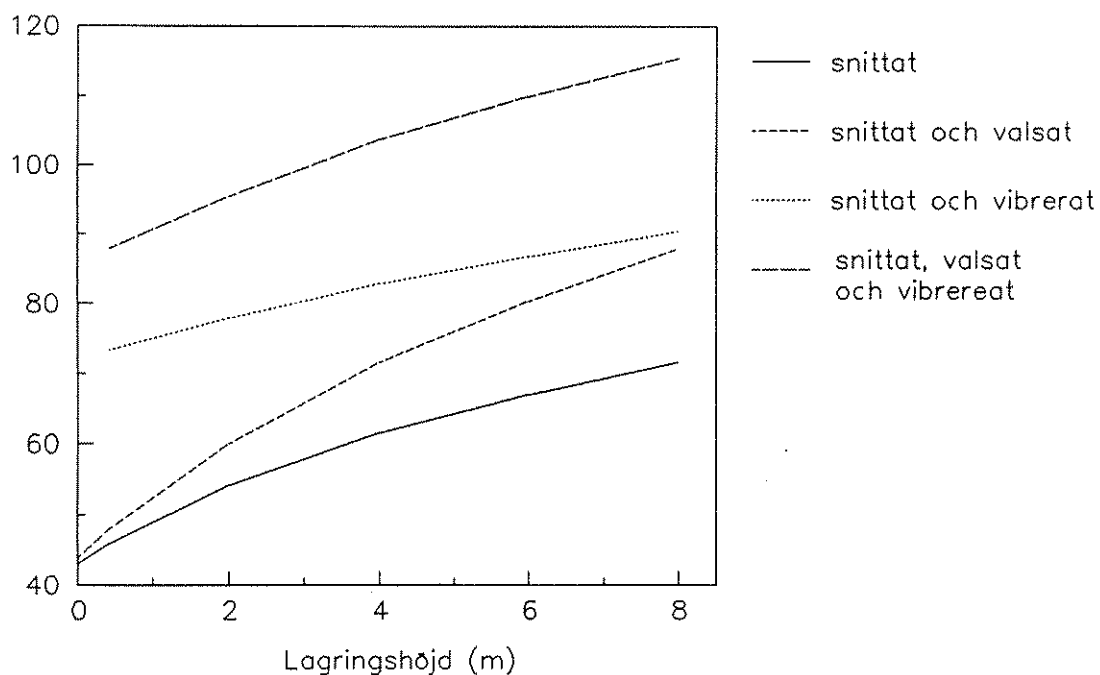
Hackelsens lagringsdensitet bestäms av lagringshöjden och eventuell packning. Figur 33 visar den genomsnittliga lagringsdensiteten vid olika lagringshöjder och belastningar.

Energiförbrukning (kJ/kg)



Figur 32. Energiförbrukningen som funktion av halmens genomsnittliga hackselälgd. Källa: Person & Have, 1980.

Genomsnittlig lagringsdensitet (kg/m<sup>3</sup>)



Figur 33. Genomsnittlig lagringsdensitet vid olika lagringshöjder och belastningar, när den genomsnittliga hackselälgden är 18 mm. Källa: Persson & Have, 1980.

Valsning av halm, d v s sammanpressning av stråna, ökar som väntat densiteten. Vibrering och valsning medför att densiteten kan höjas med ungefär 60 %. Det kan dock vara svårt att använda dessa metoder i praktiken.

Inlagring med teleskopfördelare innebär en höjning av densiteten, eftersom stråna orienterar sig horisontellt. Vissa uppgifter tyder på att densiteten kan öka med 10% (Sundberg, 1986).

#### 5.4.3 Transport

Då hackelse har låg transportdensitet, krävs stora lastvolymmer för att få en hög transportkapacitet. I tabell 14 visas de vanligaste vagnstorlekarna som används vid transport av hackad halm.

Tabell 14. Lastkapacitet hos vagnar inom lantbruket (Källa: Nielsen, 1985)

Vagn typ	Volym m <sup>3</sup>	Lastvikt (hackelse) kg
Tippvagn	17-22	800-1000
Avlastarvagn	17-22	800-1000
Fördelarvagn	23-29	1100-1400
Mindre lastarvagn	16-20	700-900
Större lastarvagn	28-35	1300-1500
Stor, specialbyggd tippvagn	35-50	1700-2300

Vid en halmmängd på 3,0 ton/ha ryms hackelsen i 3,3 lass/ha hos en tippvagn, medan det åtgår 2,1 lass/ha för en större lastarvagn. Den stora specialbyggda vagnen rymmer 1,5 lass per ha. Lastarvagnarnas lastvolym spelar stor roll för metodens bärgningskapacitet.

#### 5.4.4 Avlastning och inlagring

Inlagring av hackelse kan ske med fläkt och teleskopfördelare, transportör eller direkt tippning i lagret (Nielsen, 1985).

Teleskopröret bör vara utrustat med automatisk reglering. Om röret inte styrs automatiskt, blir det nödvändigt att stanna fläkten och flytta röret manuellt allt eftersom lagret fylls. För att erhålla ett jämnt flöde till fläkten, används vid avlastningen 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 däremot en fördel om fläktens kapacitet är stor, eftersom avlastningstiden minskar.

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

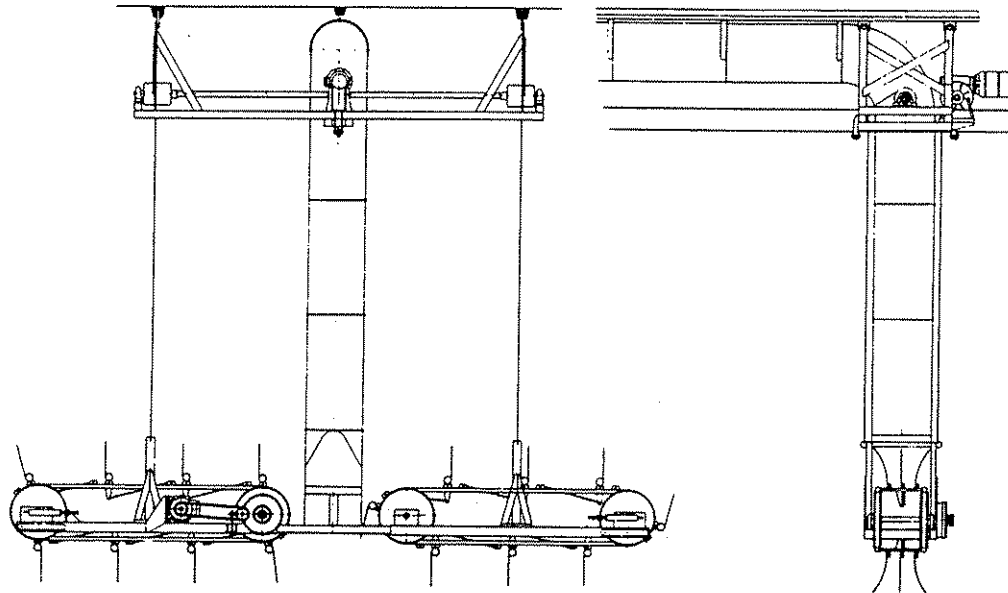
Vid lagring i hall eller plansilo kan inlagring ske med frontlastare. Denna metod går snabbast, och den ställer inga särskilda krav på transportfordonen. Lagringshöjden blir dock begränsad.

Kapaciteten vid inlagring är naturligtvis beroende av fläktens/transportörens kapacitet. Arbetsbehovet vid inlagring kan variera mellan 3-12 manminuter/ton (Nielsen, 1986).

#### 5.4.5 Uttagning ur lager

Tömning av ett lager med hackelse kan ske med lastare, blockuttagare, transportör etc. Nedan redovisas några andra intressanta uppslag från Danmark.

Persson och Have (1980) provade två system för uttagning av lagrad hackelse. Bägge metoderna baserar sig på pneumatisk transport i teleskopfördelare, vilka även används för inlagring.

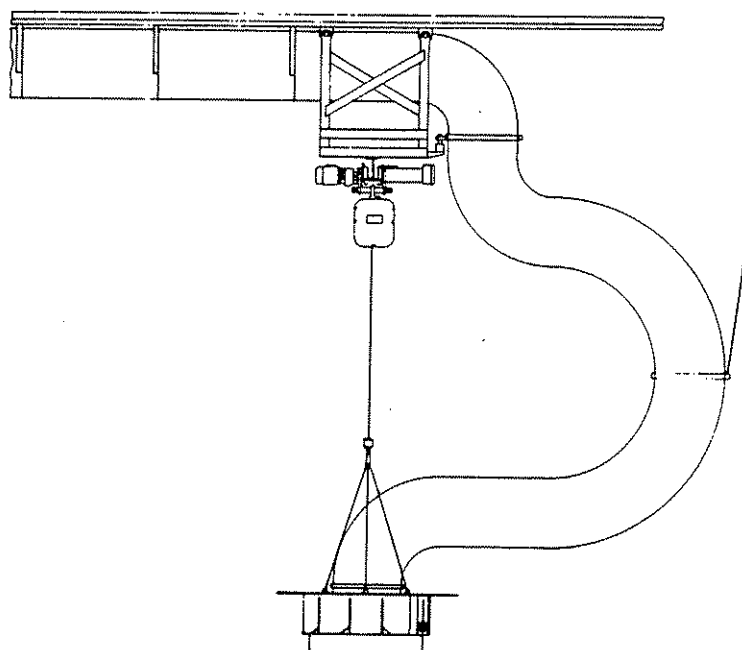


Figur 34. Tömning av lager med hjälp av räfsa och teleskoprör. Källa: Pedersen, 1983.

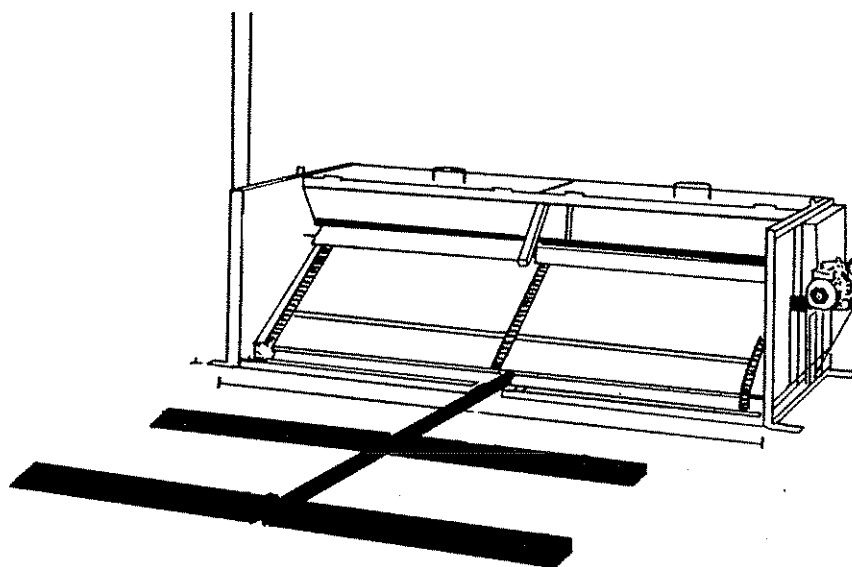
I det ena systemet används en räfsa och en suganordning, vilka är förbundna med teleskopröret via en slang. Vid uttagning förs räfsan fram och tillbaka, och sänks ett stycke vid varje vändning.

Den andra metoden använder ett sugmunstycke fastsatt på slangens ände. Sugmunstycket består av en upprivningsanordning som omger sugöppningen. Vid tömning förs munstycket fram och tillbaka över lagret.

Metoderna uppges fungera tillfredsställande, och kapaciteten är 4-5 ton/timme (Persson & Have, 1980). Energiförbehovet torde emellertid bli högt. Bägge systemen kan, enligt Pedersen (1983), styras automatiskt.



Figur 35. Tömning av lager med hjälp av sugmunstycke. Källa: Pedersen, 1983.



Figur 36. Tömning med hjälp av skrapor och doserare. Källa: Lin-ka broschyr, 1991.

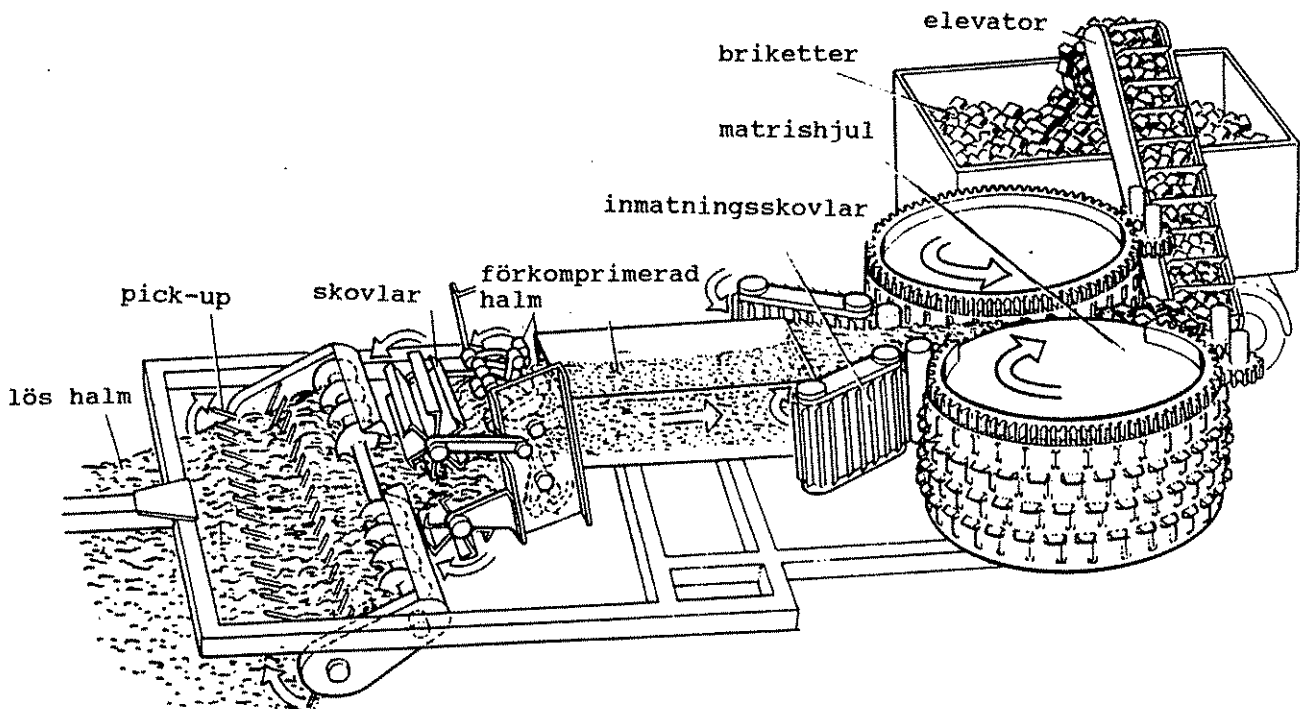
I figur 36 visas en maskin som för till sig hackelsen med hjälp av skrapor. Halmen transporteras sedan via doseraren till sugröret.

### 5.5 Fältbrikettering

I England har man vid AFRC Engineering Institute utvecklat en ny maskin för fältbrikettering (Blackbeard, 1990). Genom att tillverka briketter av halmen redan på fältet,

uppnås fördelar såsom hög densitet och bulkvaruhantering på ett tidigt stadium i hanteringskedjan. Försök visar att endast 1-2 % av halmens totala energiinnehåll går åt för att tillverka briketterna. Maskinens kapacitet är upp till fem ton per timme.

Halmen tas upp av en pick-up, förkomprimeras och passerar två stora matrishjul, där den komprimeras till briketter. Briketterna förs sedan via en elevators till en vagn som körs bredvid, se figur 37.



Figur 37. Maskin för fältbrikettering av halm. Källa: Blackbeard, 1990.

Matrishjulen, vilka väger 1,6 ton vardera, drivs av en 6-cylindrig dieselmotor på 239 hk via fyra hydraulmotorer. Pick-up och förkomprimering drivs av traktorns kraftuttag. Maskinen kräver en traktor på minst 80 hk.

De stora krafterna mellan rullarna höjer initialt halmens densitet till över  $1500 \text{ kg/m}^3$ , och efter komprimeringen är briketternas absoluta densitet mellan  $500\text{-}600 \text{ kg/m}^3$ . Detta motsvarar en bulkdensitet på  $300\text{-}350 \text{ kg/m}^3$ . Varje enskild brikett väger ca 100 g, och har måtten  $3'' * 3'' * 1 \frac{1}{4}''$ . Vid traditionell halmbrikettering hackas oftast halmen, men det behövs ej här, enligt Blackbeard (1990). Energiförbrukningen 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. Enligt Blackbeard (1990) blir briketterna 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.

Erfarenheter från hösten 1990 visar att maskinen ännu inte är färdigutvecklad. Man hade problem med bl a briketternas hållfasthet (Neale, pers. medd., 1991).

I USA finns maskiner för fältbrikettering av lusern. Dessa fungerar inte tillfredsställande vad gäller brikettering av halm (Neale, pers. medd., 1991).

Vid Jordbrukstekniska institutet utfördes försök med en fältgående rullbrikettpress till energigräs (Andersdotter, 1984). Den högsta densiteten som uppnåddes var 160 kg ts/m<sup>3</sup>. Briketternas yttre delar var lösa, och det uppstod mycket spill vid hanteringen.

## **5.6 Lös långhalm**

I Östeuropa är det vanligt att man bärgar halmen som lös långhalm eller hackelse (Hemming, pers. medd., 1991). Här har det utvecklats teknik för bärgning och utomhuslagring som är förhållandevis rationell. Huruvida denna teknik skulle kunna vara lämplig för våra förhållanden har inte undersökts i denna studie.



## 6 LAGRING

### 6.1 Allmänt

De krav man bör ställa i samband med lagring av halm är följande:

- \* 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 ska vara så låga som möjligt.

Förlusterna under lagringen består dels av förluster orsakade av mikrobiell aktivitet, dels av material som efter lagringen måste kasseras. Till lagringsförlusterna hör även spillet som uppstår vid hanteringen av halmen (Hadders, 1989).

Mögelsvampar och vissa bakterier förökar sig genom att bilda sporer. Sporererna kan följa med inandningsluften in i lungorna. Om man andas in stora mängder sporer riskerar man att drabbas av lungsjukdomen alveolit (lantbrukslunga 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 för damm. Risken för att insjukna i alveolit kan minskas om halmen hanteras i slutna system. Detta skulle emellertid bli mycket dyrt, och mögelbildning ska därför alltid 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 (Hadders, 1989).

Halmens användbarhet påverkas av lagringsbetingelserna. Stiger halmens vattenhalt försämras dess värde som bränsle. Vissa erfarenheter tyder även på att balar med mögel i skulle vara svårare att sönderdela, vilket ger ytterligare ett skäl till att eftersträva mögelfri halm (Hadders, 1989).

När mögelsvampar och bakterier bryter ner halmen bildas värme och vatten. 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 (Hadders, 1989).

Hanteringen bör vara rationell och enkel, eftersom inlagringen sker i en bråd tid för lantbrukaren. Eftersom halm är ett skrymmande bränsle, blir volymsbehovet per kg bränsle stort. Kostnaderna för t ex inomhuslagring kan därför bli höga.

### 6.2 Torkning

Det svenska höstklimatet kan ibland göra det vanskligt att bärga halm med tillräckligt låg vattenhalt. Vilken vattenhalt bör man då eftersträva? Jonsson, N. (1985), anser att bränslehalm bör kunna betraktas som lagringsduglig vid en vattenhalt på maximalt 18 %. En finsk källa (Ahokas et al, 1983) anger att en vattenhalt mellan 15 och 18 % ger det bästa förbränningsresultatet. I Danmark klassas halmen efter vattenhalten; halm med en vattenhalt upp till 18 % är prima, och 18-22 % klassas som sekunda (Gavelin, 1979).

Det har utförts flera försök att torka halm. Nedan redovisas några försöksresultat.

Försök vid JTI (Jonsson N., 1985) visade att det är möjligt att torka ned halmbalar från 30 % till 18 % vattenhalt med kallluft under september månad ett " normalt " år. Balarnas densitet bör ej överstiga 80-90 kg/m<sup>3</sup>, och de bör staplas noga på torken. Luftens vattenupptagande förmåga avtar snabbt under höstmånaderna. Kallluftstorkning av halm bör därför ske senast under september månad. Balar 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.

Plue (1990) försökte torka rundbalat hö placerat ovanpå grenkanaler. Preliminära data visade att metoden kan vara lämplig, men torkning av halm blir troligen för dyrt.

Brandemuehl et al (1988) undersökte torkning av rundbalar i radiell led, vilket fungerade bättre än torkning i axiell led.

Vid nybyggnad av lager för rundbalar bör man överväga att förse lagret med ett luftkonditioneringsystem. 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 emellertid inte att köra in mycket fuktig halm och sedan torka på ovan nämnda sätt. Halmen måste redan vid bärgningen vara i stort sett tillräckligt torr för lagring (Hadders, 1988).

### 6.3 Lagring utomhus

Utomhuslagring medför relativt låga kostnader, men det finns ingen garanti för att den ska lyckas. Investeringen är emellertid liten, och man binder ej upp sig. Detta kan ha betydelse om marknaden för halm är osäker.

Utomhuslagring kan dock förekomma som ett komplement till inomhuslagring. De första månadernas förbrukning kan lagras utomhus, om man vill undvika att uppföra lagerbyggnader som bara används kort tid. Under år med stora halmskördar kan mer halm bärgas för att kompensera mot eventuella "sämre" år. Denna extra lagringskapacitet kanske ej motiverar ett nybyggt lager, och man kan då lagra viss del av överskottet utomhus.

Det är främst rundbalar som varit aktuella för utomhuslagring. Jenkins et al (1982) menar att rundbalar är mer motståndskraftiga mot nederbörd än rektangulära högdensitetsbalar. Utländska undersökningar (Stromeyer, 1990) visar att utomhuslagring av högdensitetsbalar är direkt olämpligt. Balarnas höga känslighet för nederbörd gör att de bör komma under tak snarast möjligt.

#### 6.3.1 Utan täckning

Lagring utomhus utan täckning är den absolut billigaste, men mest riskfyllda lagringsmetoden. Ibland kan metoden rentav bli den dyraste om kassationsförlusterna inräknas.

Vid värmeverket i Svalöv lagras högdensitetsbalar utomhus i stora stackar (Leire, pers. medd., 1991). Stackarna är ungefär 10 m höga, och byggda enligt konceptet "ju högre stackar, desto mindre andel balar drabbas av nederbörd ovanifrån". Underlaget består av asfalt, och hanteringen sker med teleskopplastare. Enligt Leire (pers. medd., 1991) kasseras endast tio procent av balarna i det översta lagret. Det kan dock uppstå problem vid rivningen av balarna om dessa har för hög vattenhalt.

Uebe & Sorge (1979) undersökte lagring av hackelse utomhus utan täckning. Visserligen blev det yttre lagret, ungefär 20 cm tjockt, kasserat, men stacken i övrigt var förhållandevis opåverkad. Dessa resultat bekräftas av liknande försök i Storbritannien (Wilton, 1984). Tjockleken på det våta skiktet var sällan mer än 20 cm. Den främsta orsaken till dessa något överaskande resultat var att hackelsen var finhackad, vilket medförde att packningsgraden ökade kraftigt i stacken.

### 6.3.2 Plast

Övertäckning av utomhusstackar med plast kan vara ett billigt alternativ, men det finns även nackdelar. 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 t ex ett fisknät. Nätet kan sedan hållas på plats med sandsäckar, bildäck etc. En bättre metod är att lägga rep under stacken och sedan binda ihop tamparna med nätet (Fodgård, 1985).

Täckning med s k Nicosilnät istället för med fisknät blir dyrare. Nicosilnät har mindre maskor, och är försett med invävda band som kan bindas fast vid sandsäckar. Nätet håller för relativt hårda belastningar såsom snö och jord (Fodgård, 1985).

Hadders (1988c) undersökte väderkänsligheten hos rundbalar som lagrades utomhus. Han jämförde då balar lindade med nät, plast respektive balar som lindats med garn.

Plastfolie lindad runt rundbalar fungerade som ett relativt bra väderskydd när balarna lagrades med horisontell axel. Det samlades dock en del kondens och nederbörd innanför plasten på balens undersida. Plastlindade balar bör inte lagras i större stackar. Om de staplas liggande blir vattenupptagningen inte försumbar, och för pelarstaplade balar är plastlindning onödig.

Nätlindning medförde ingen förbättring av vädertåligheten hos rundbalarna. Plastlindning är ett bättre väderskydd, som medför att balarna kan ligga längre på fältet. Lantbrukaren kan då utnyttja tiden till tröskning (Hadders, 1988c)

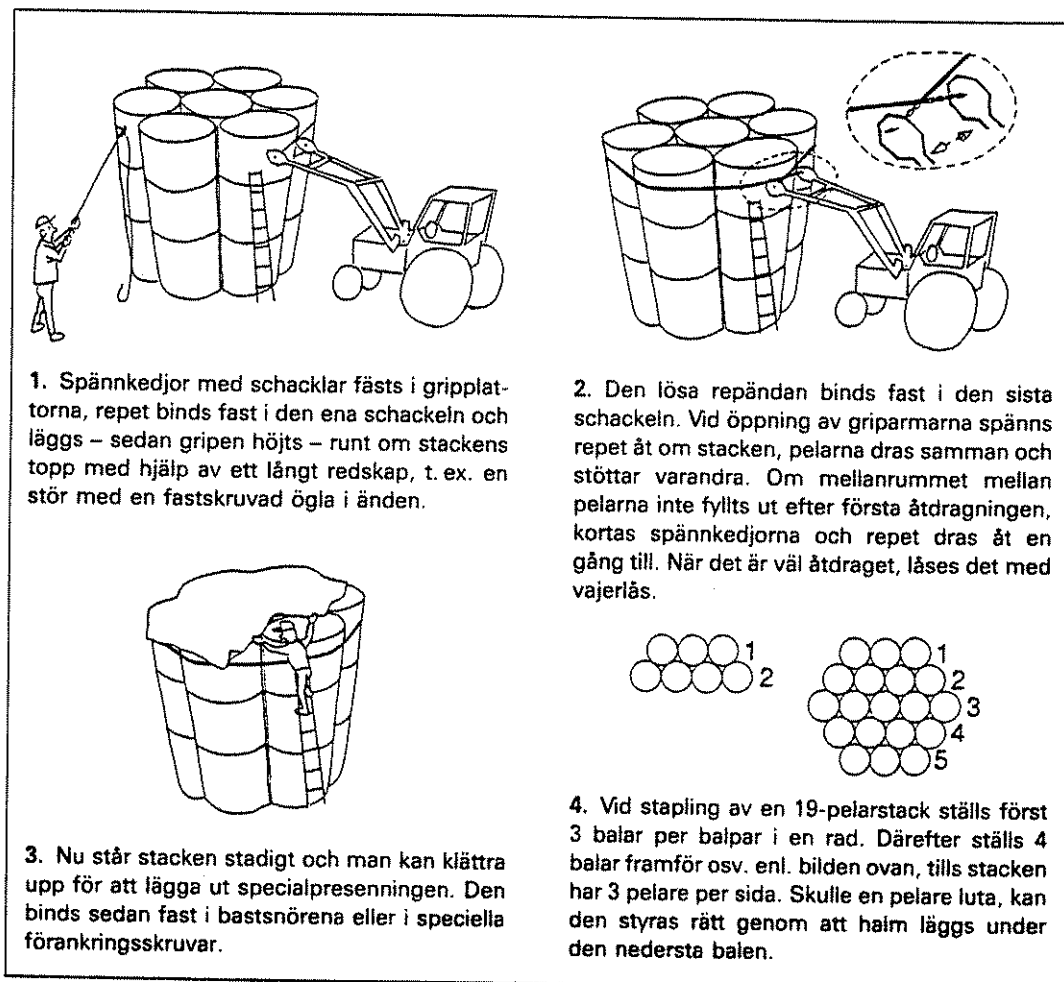
Det har genomförts många försök att lagra högdensitetsbalar utomhus täckta med plast (Stromeyer, 1990). Försöken har inte varit framgångsrika då det ställs stora krav på plastens kvalitet och säkring.

Från Storbritannien kommer en maskin som plastar in halmbalarna, en s k tube-liner (Grays broschyr, 1991). Balarna lyfts upp på en ställning med frontlastare, och plastas sedan in i en lång "korv" efterhand som de fylls på.

### 6.3.3 Presenning

En presenning skadas mindre av djur, och påverkas inte lika mycket av vinden eftersom den är tyngre. Materialet är den mest hållbara och väderbeständiga typen, d v s PVC-polyester. Nackdelar är att det finns risk för avblåsning och att stacken kräver tillsyn. Stacken bör placeras högt, och som underlag kan man ha ett lager med lös halm, vilket suger upp markfukten (Fodgård, 1985).

En rundbals mantelyta tål en viss mängd nederbörd, vilket medför att en pelarstacks sidor inte behöver täckas (Hadders, 1988a). Andra fördelar med pelarstackar är att de exponerar minimal yta mot omgivningen, och att de är lätta att stadga. Det finns därför speciella presenningar som passar runda stackar. Hörnen på presenningen fästs med krokar som borras in i halmen. Antalet pelare i stacken är oftast 7 eller 19, men stackar med 37 pelare förekommer. Pelarna placeras i ett mönster enligt figur 38.



Figur 38. Uppbyggnad av pelarstack. Källa: BALA broschyr, 1991.

#### 6.3.4 Kemiska tillsatser

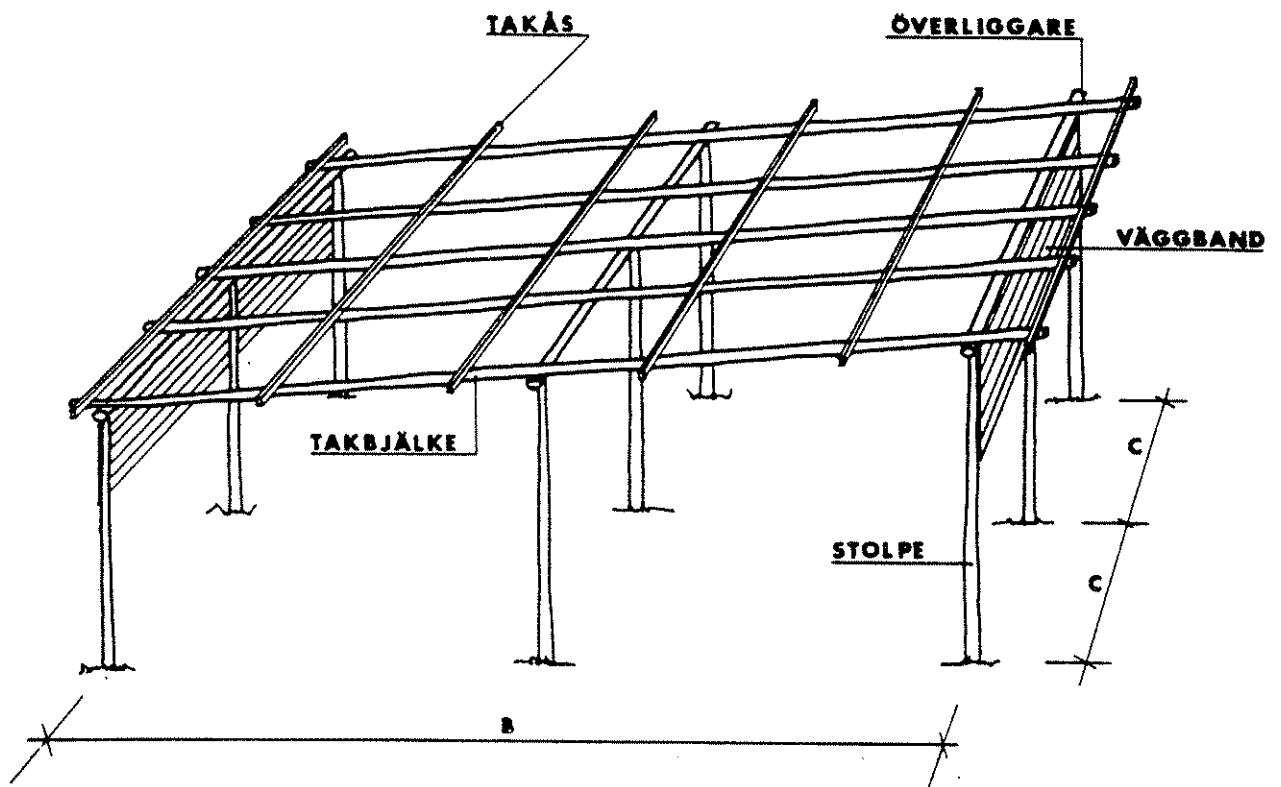
Vid JTI (Hemming & Lundin, 1986) undersöktes om man med urea som konserveringsmedel kan erhålla ett tillfälligt skydd för halm med hög vattenhalt tills den självtorkat eller kylts ned över vintern. Analyser visade att detta ej lyckades under de betingelser som rådde under försöket. Med lägre temperatur under lagringssäsongen är det möjligt att urea skulle kunna förhindra mögelbildning. Metoden kan eventuellt vara lämplig vid norrländska förhållanden, där bärgningsvattenhalten ofta är hög och vinterkylan kommer tidigt.

Utländska försök (Sumner et al, 1984) med tillsatser såsom olja, tjära och asfalt ovanpå stackarna gav nedslående resultat. Balarnas vattenabsorption påverkades ej; de tog upp lika mycket vatten som de hade gjort utan någon täckning alls.

Det ska betonas att vissa kemiska tillsatsmedel kan ge skadliga miljöeffekter. Konservering med urea kan t ex medföra utsläpp av  $\text{NO}_x$ -föreningar vid förbränning (Hemming, pers. medd., 1991).

### 6.3.5 Stolplada

En del lantbrukare har själva byggt enkla och billiga stolplador. Stolparna kan vara impregnerade telefonstolpar. Genom att ha ett tillräckligt takutsprång, t ex 1 m, skyddas halmen nöjaktigt. För att få större lagringssäkerhet kan man ha väggar på en eller flera sidor, förslagsvis på väst- och nordsidan. Vid lagring av lösa halmbalar och hackelse krävs väggar på alla sidor. Konstruktionen gör det lätt att köra in med halmen, och det behövs ingen port. Byggnaden kan göras hög, och medger då stapling av t ex fem storbalar ovanpå varandra. Man bör observera att stolplador klassas som halmstäckar av brandmyndigheterna (Fodgård, 1985).



Figur 39. Vägglös stolplada med tre stolprader. Källa: Holmqvist, 1976.

För större lager kan stolpladan istället utrustas med stålramar och betonggolv. Om balarna staplas, kan det vara tillräckligt med en eller två väggar.

### 6.4 Lagring inomhus

En byggnad ger många fördelar vid halmlagring. 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.

### 6.4.1 Befintlig byggnad

Finns det lediga byggnader är det naturligtvis nära till hands att utnyttja dem. 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 annat, kan det med hänsyn till brandrisken vara lämpligt att uppföra en brandmur. Vidare bör byggnaden vara lätt tillgänglig, så att transport till förbrukaren kan ske med större transportfordon, t ex lastbil (Fodgård, 1985).

### 6.4.2 Hall

I Danmark förekommer en halvcirkelformad byggnad för lagring av halm (Fodgård, 1985). Dess bärande konstruktion består av halvcirkelformade stålbågar, och mellan bågarna har man monterat plattor av plåt. Volymsutnyttjandet är sämre än hos traditionella byggnader, eftersom väggarna är rundade. Det kan även vara svårare att köra med en traktor. Hallen används endast för staplade balar då väggarna inte tål någon belastning.

Maskinhallar är utmärkta halmlager. En nackdel kan dock vara att takhöjden är för liten. Hemming (1990) menar att nybyggda hallar ska ha en lagringshöjd på minst 7,2 m, d v s möjliggöra pelarstapling av minst sex rundbalar ovanpå varandra. Vidare anser han att golvet 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 nedgrävna kanaler och körbart ribbgolv.

## 7 FÖRÄDLING

### 7.1 Allmänt

Halm kan förädlas genom tillverkning av briketter, pelletter eller pulver. Dessa processer ger högre densiteter än vid balhantering. Halmen kan hanteras som en bulkvara, och det blir då möjligt att förenkla hanteringen vid transport, lagring och förbränning. Andra fördelar är att man kan elda i billigare pannor, samt att högre verkningsgrad kan uppnås vid förbränningen (Brundin, 1988).

Nackdelen är att det tillkommer ytterligare ett hanteringsled som kräver arbetskraft och maskinell utrustning. Den tillförda energimängden i hanteringskedjan ökar, och priset på den färdiga produkten stiger.

De olika former på halm som erhålls vid förädling definieras av Svensk Standard SS 18 71 06 (SMS 1984):

bränslebrikett - rektangulär eller cylindrisk platta avsedd för eldning och framställd genom pressning av finfördelat material

bränslepellett - kort cylinder avsedd för eldning och framställd genom pressning av hackat, malet eller pulveriserat material

bränslepulver - bränsle som malts så att huvuddelen av materialet har partikelstorlekar mindre än 1 mm.

Jonsson (1985) anger att bränslebriketter har en diameter eller bredd större än eller lika med 25 mm, medan pelletters diameter är mindre än 25 mm.

I tabell 15 görs en jämförelse mellan pelletter och briketter. Pellettpressar har ofta högre kapacitet, men det totala energibehovet är högre eftersom halmen måste vara finfördelad. Vidare medger pellettering ett bredare vattenhaltsintervall, samt möjligheter till automatisering av förbränningsanläggningen. Pelletter kan transporteras med luft, och kan därmed distribueras i helt slutna bulkvarusystem.

Tabell 15. Jämförelse mellan pellettering och brikettering (Källa: Wilén et al, 1984)

	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 stycktorv och ved

Råmaterialet till briketter behöver ej vara lika finfördelat som för pelletter. Utrustningen för tillverkningen blir därför billigare.

Eldning enbart med halm i form av pulver har aldrig varit intressant i Sverige. Enligt Axenbom (pers. medd., 1991) ger bränslepulver höga förbränningstemperaturer och slaggproblem. Dessutom ökar energibehovet väsentligt om halmen ska malas. I de två kommersiella halmeldade panncentraler där "pulvereldning" tillämpats, har man därför nöjt sig med att finhacka halmen.

Det har utförts försök med att använda en blandning av olja och halmpulver som bränsle (Haag, 1987). Man fann att den högsta möjliga halten pulver i blandningen var 25 %. Vid större andel halmpulver uppstod problem vid tillredning och pumpning. Slutsatsen blev att blandningen halmpulver-olja inte är intressant av kostnadsskäl, trots att eldningen fungerar bra.

## **7.2 Pressning av briketter/pelletter**

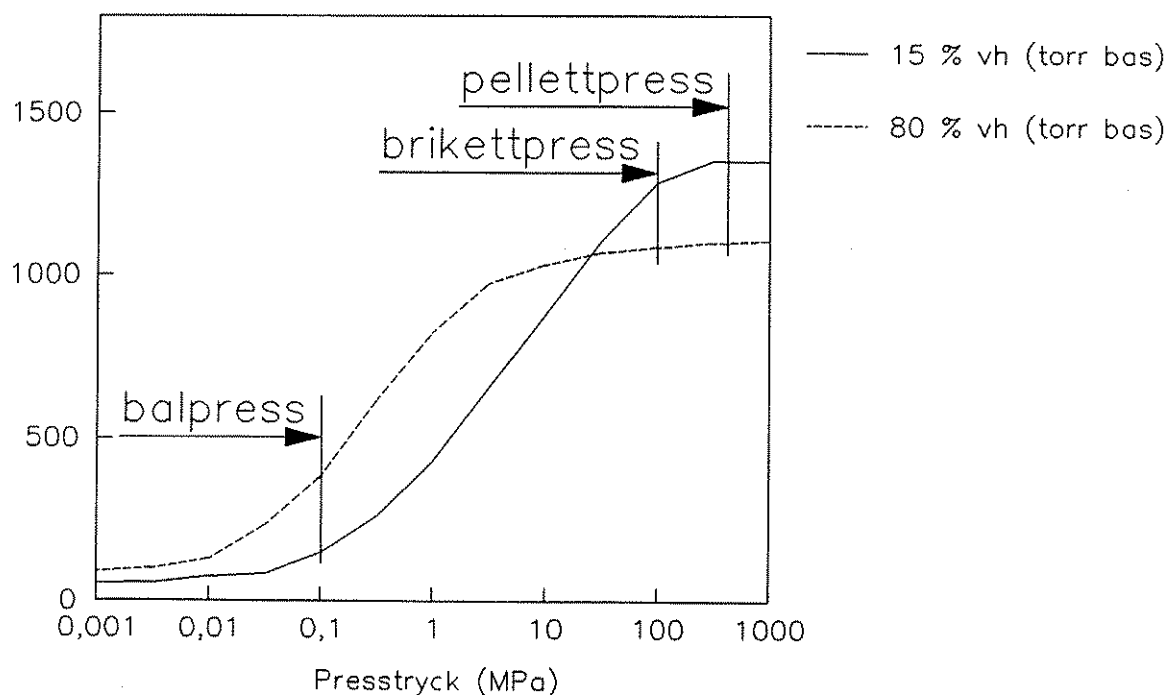
### **7.2.1 Pressningsprocessen**

Genom brikettering kan halmens densitet öka med upp till tio gånger så mycket som vid balhantering. Vid brikettering används ett presstryck på ungefär 100 MPa, medan det vid pellettering är ännu högre. Som framgår av figur 40 stiger densiteten kraftigt i tryckområdet mellan 0,05 MPa och 100 MPa. Vid dessa höga tryck pressas merparten av luften i materialet ut. Höjs trycket till 100-150 MPa pressas all luft ut, och materialet består nu endast av inkompressibel vätska och organisk substans. Den högsta densiteten som kan förekomma hos halm är ca 1500 kg/m<sup>3</sup>. För att uppnå detta krävs att materialet är helt fritt från luft och vatten, och det är därför omöjligt att uppnå i praktiken (Gylling, 1983).

Den absoluta densiteten hos briketter/pelletter när de lämnar pressen är mellan 1100-1300 kg/m<sup>3</sup>. Av erfarenhet vet man att de utvidgar sig något, och densiteten sjunker således ytterligare. Beroende på briketternas/pelletternas form är skrymdensiteten 400-700 kg/m<sup>3</sup> (Gylling, 1983).



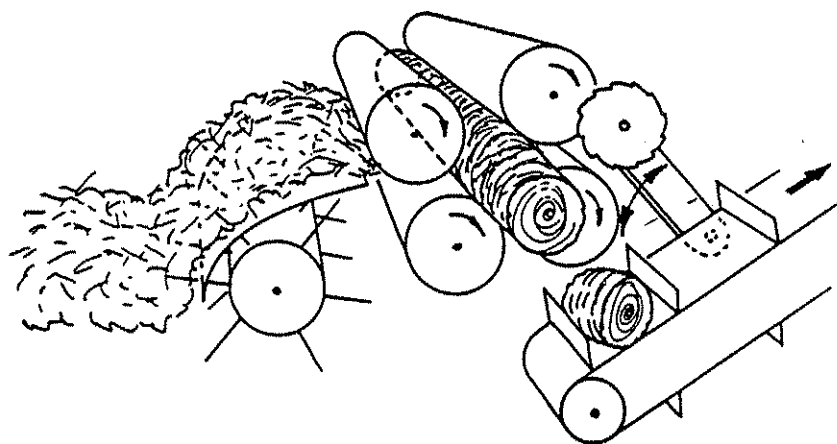
Genomsnittlig densitet (kg/m<sup>3</sup>)



Figur 40. Sambandet mellan presstryck och densitet. Källa: Busse, 1966.

### 7.2.2 Presstyper

Det har utvecklats många olika pressmetoder för framställning av briketter och pelletter. Svensson (1971) indelar pressmetoderna i två huvudgrupper; normaltrycks- och radialtrycksmetoden (figur 41). Normaltrycksmetoden indelas i sin tur i två huvudtyper, nämligen pressning mot fast eller vikande underlag.



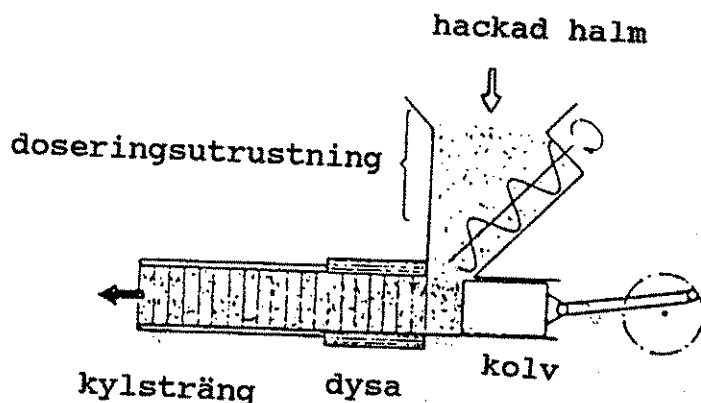
Figur 41. En rullbrikettpress, som arbetar enligt radialtrycksmetoden, tvinnar ihop materialet till en massiv cylinder. Källa: Andersdotter, 1984.

## 7.3 Brikettering

### 7.3.1 Brikettpressar

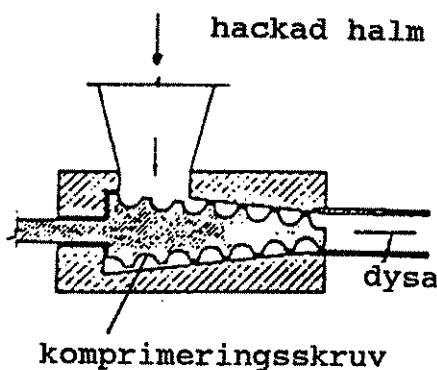
Vid brikettering har både hackselämgd och vatteninnehåll stor betydelse för briketternas kvalitet. Enligt Schmidt et al (1984) är den optimala vattenhalten omkring 16 %. Andra författare anger dock lägre vattenhalter; Wilén et al (1984) uppger t ex 10-15 %. För långa halmstrån ger en lös och lätt sönderfallande brikett. Snittning av halm är dock energikrävande, och man försöker därför uppnå en kompromiss mellan energiförbrukning och brikettkvalitet (Schmidt et al, 1984).

Den vanligaste presstypen för brikettering är kolvpressen, men skruvpressar förekommer också.



Figur 42. Principskiss på en kolvpress. Källa: Gylling, 1983.

Kolvpressen i figur 42 arbetar enligt normaltrycksmetoden med vikande underlag. Den består av en kolv som pressar materialet genom en justerbar dysa. Matning och förkomprimering sker med en skruv. Det är relativt enkelt att ansluta en temperaturgivare till den justerbara dysan och därmed reglera presstrycket. Det fordras en snittlängd på 30-60 mm, och energibehovet är ca 140-180 MJ per ton briketter (Gylling, 1983).



Figur 43. Principskiss på en skruvpress. Källa: Gylling, 1983.

I skruvpresen komprimeras materialet med en konisk skruv. Inmatning och pressning sker kontinuerligt. Även här är det möjligt att reglera presstrycket och temperaturen medelst dysan. Presstypen kännetecknas dock av stort slitage och högt energibehov, liksom högre krav på finfördelat material. Energiförbrukningen för pressningen är 250-290 MJ per ton, och snittlängden bör vara 30-40 mm (Gylling, 1983).

Energiförbrukningen för briketteringen, d v s rivning och pressning, är 300-360 kJ/kg. Detta motsvarar 2-2,5 % av halmens bränslevärde (Gylling, 1983).

Vetehalm lämpar sig bäst för brikettering, följt av råg- och kornhalm. Vid brikettering av havrehalm kan man bli tvungen att minska kapaciteten med 20 % för att få normal kvalitet och densitet (Schmidt et al, 1984).

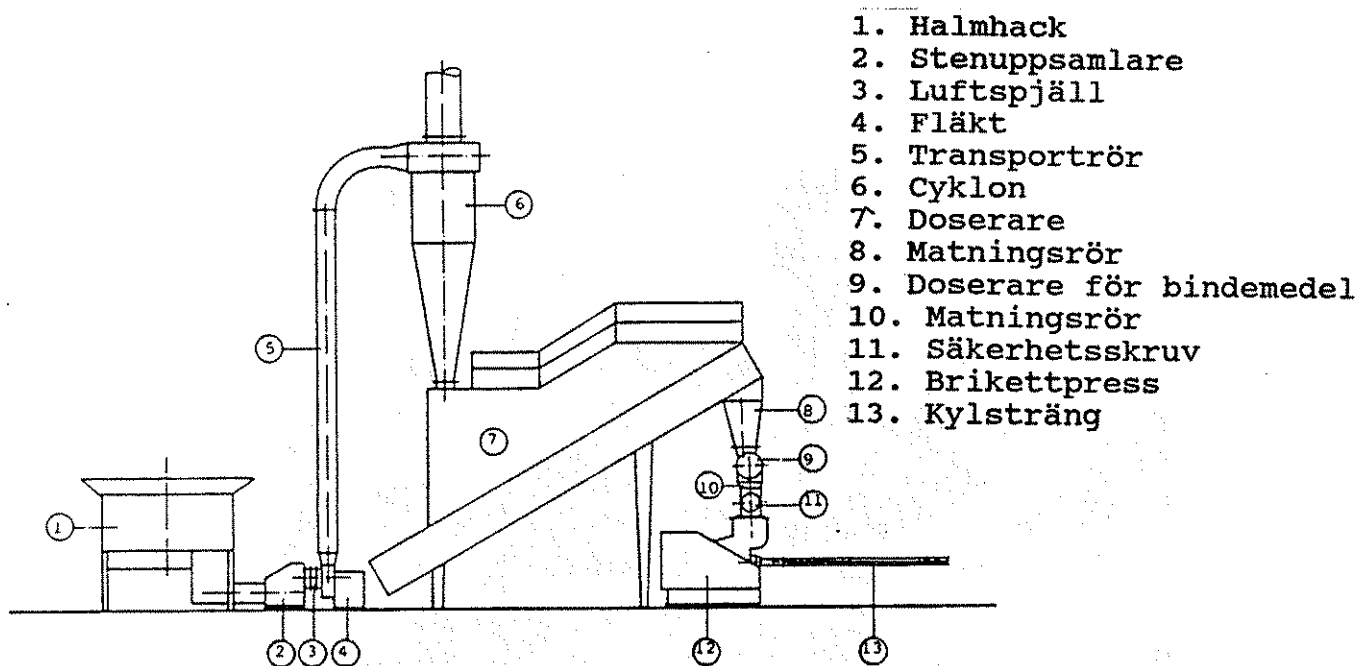
### 7.3.2 Exempel på en anläggning

Kapaciteten hos briketteringsanläggningar kan variera från några hundra kg till flera ton per timme. De mindre och mellanstora anläggningarna kan vara stationära eller mobila. Dessa är mest intressanta för gårdar och maskinstationer. De större stationära anläggningarna finns i särskilda brikettfabriker.

I figur 44 visas ett exempel på hur en stationär briketteringsanläggning kan se ut. De enskilda komponenterna kan variera mellan olika anläggningar och fabrikat, men av figuren framgår ändå huvudprinciperna.

Halmen snittas i en hack och transporteras sedan med luft förbi en stenficka till cyklo- nen. Härifrån förs halmen till doseraren som ser till att halmen matas i en jämn ström till brikettpressen. Omedelbart före pressen tillsätts eventuellt bindemedel. Som bindemedel kan t ex melass, sulfitlut, vattenånga eller fett användas (Andersdotter, 1984). Numera framställs briketter ofta utan bindemedel. Dessa anläggningar har dock något högre energiförbrukning och lägre kapacitet (Schmidt et al, 1984).

De heta briketterna kyls i den efterföljande kylsträngen. Briketterna får först i samband med kylningen sin slutliga fasthet och hållbarhet, och det är därför viktigt att kylningen får ta den tid som krävs (Gylling, 1983).



1. Halmhack
2. Stenuppsamlare
3. Luftspjäll
4. Fläkt
5. Transportrör
6. Cyklon
7. Doserare
8. Matningsrör
9. Doserare för bindemedel
10. Matningsrör
11. Säkerhetsskruv
12. Brikettpress
13. Kylsträng

Figur 44. Skiss på en briketteringsanläggning med en kolvpress, vars kapacitet är 1,2 ton/h. Källa: Gylling, 1983.

### 7.3.3 Lagring

Halmbriketter är mycket känsliga för fukt. Vatten medför att briketten sväller, och en längre tids fuktpåverkan kan förstöra den helt. Briketter ska därför hanteras och lagras med omsorg. Vattenfasta briketter kan framställas om vattenfasta bindemedel används, eller vid pressning med mycket höga tryck. Detta blir emellertid mycket dyrt (Schmidt et al, 1984).

Briketter lagras vanligen i hallar med hårdgjort golv, t ex asfalt. Ett företag som tillverkar briketter av skogsavfall, lagrar i en stor hall (Biobrik, pers. medd., 1991). Briketterna förs efter kylningen med transportör till lagret, som har en lagringshöjd på ungefär 7 m. Uttagning ur lagret och lastning sker med hjullastare.

Briketter har större tendens att bilda valv än pelletter (Praks & Hadders, 1991).

### 7.3.4 Transport och distribution

Från fabriken transporteras briketter oftast med lastbil, eftersom lastning och lossning kan ske snabbt och godsets densitet är relativt hög. En flakbil kan t ex utnyttja hela sin tillåtna lastförmåga.

Svensk Brikettenergi (PoD-rapportering, 1985) har utvecklat ett transportsystem som kombinerar container- och silohantering. Vid transport används containrar, vilka rymmer 20 m<sup>3</sup> eller 10-12 ton briketter. De fylls med en hjullastare vid fabriken, och körs på lastbilar med lastväxlare. En lastbil med släp kan ta tre containrar med upp till 35 ton briketter.

Vid panncentralen ställs containern på högkant, och fungerar nu som en silo. Ett spjäll reglerar tömningen, och briketterna rinner ner av sin egen tyngd. Fördelar med systemet är att byte av containrar går snabbt och att det är dammfritt.



Figur 45. Leverans av container fylld med briketter. Källa: PoD-rapportering, 1985.

### 7.3.5 Organisation

Brikettering kan ske på fältet, decentraliserat på gårdar eller centraliserat vid fabriker (Brundin, 1988). Brikettering på fältet behandlas utförligare i avsnitt 5.5.

Om briketteringen ej utförs på fältet, måste halmen först bärgas som balar eller hackelse. Transporter, mellanlagring, eventuell torkning och brikettpressning gör att hanteringskedjan blir relativt omständlig. Brikettering kräver därför en väl fungerande organisation.

Decentraliserad brikettering kan ske med stationära eller mobila anläggningar. Den stationära brikettpressen utnyttjas av kringliggande gårdar, och transporten av halm från lager till pressen blir relativt kort. Mobila brikettpressar körs ut till lagren och används sålunda där halmen finns.

Decentraliserad brikettering medför lägre transportkostnader, eftersom halmen huvudsakligen transporteras i form av briketter. Arbetet kan dessutom utföras när gården har låg arbetsbelastning. De färdiga briketterna kan eventuellt lagras i outnyttjade byggnader på gårdarna.

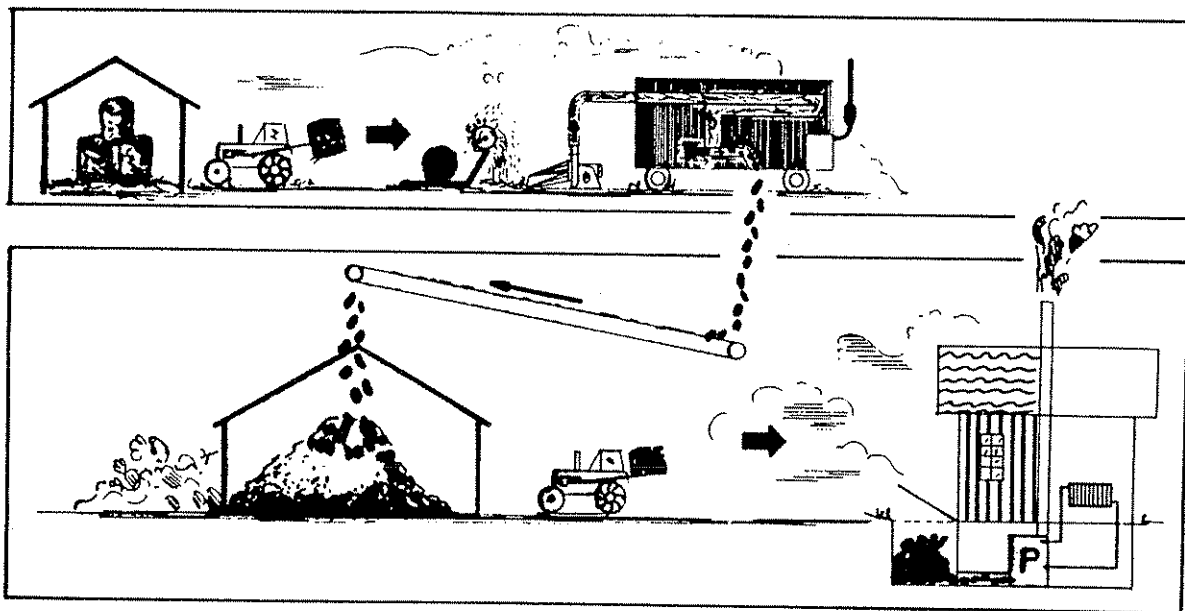
Vid centraliserad brikettering försöker man utnyttja de stordriftsfördelar som finns vid själva pressningen. Härvid anlägger man en fabrik med anställd personal. Fabriken kan drivas året runt, och man kan eventuellt använda andra råvaror.

### 7.3.6 Mobila anläggningar

Om mindre förbränningsanläggningar (<1 MW) ska kunna eldas med halm, är det en stor fördel om bränslet är i form av briketter. Trots att kostnaderna stiger, överväger ofta fördelarna med mindre tillsyn, enklare transporter och hantering, mindre lagringsutrymmen etc. Mobila anläggningar, vilka kör runt hos lantbrukarna och tillverkar briketter, erbjuder möjligheter till småskalig bränsleförädling.

Vid stationära anläggningar utgör transporterna av balad halm en icke oväsentlig kostnad, och det blir därför oftast de närmast belägna lantbrukarna som levererar halm för brikettering. Om mobila anläggningar används, torde fler lantbrukare bli intresserade. Förutom att tillgodose lantbrukarnas egna bränslebehov, kan även externa förbrukare i området utgöra en marknad. Flera lantbrukare kan t ex leverera briketter till en närbelägen storförbrukare enligt en leveransplan (Nilsson & Westgren, 1986).

I figur 46 visas en skiss på hur ett system med mobila anläggningar kan utformas. Halmen pressas till rundbalar och lagras hos lantbrukaren. Vid briketteringen sönderdelas balarna på ett avlastarbord, och matas sedan direkt till en mindre halmhack med såll. Med avlastarbordet kan flödet regleras, och matningen blir jämn. Är halmen inte tillräckligt torr för brikettpressning, kan den torkas med drivmotorns kyl Luft. Torkning sker då efter hackningen. Efter brikettpressningen sker transport till lagret med en vagn eller bandtransportör (Nilsson & Westgren, 1986).



Figur 46. Schematisk bild på hur en mobil briketteringsanläggning kan fungera. Källa: Nilsson & Westgren, 1986.

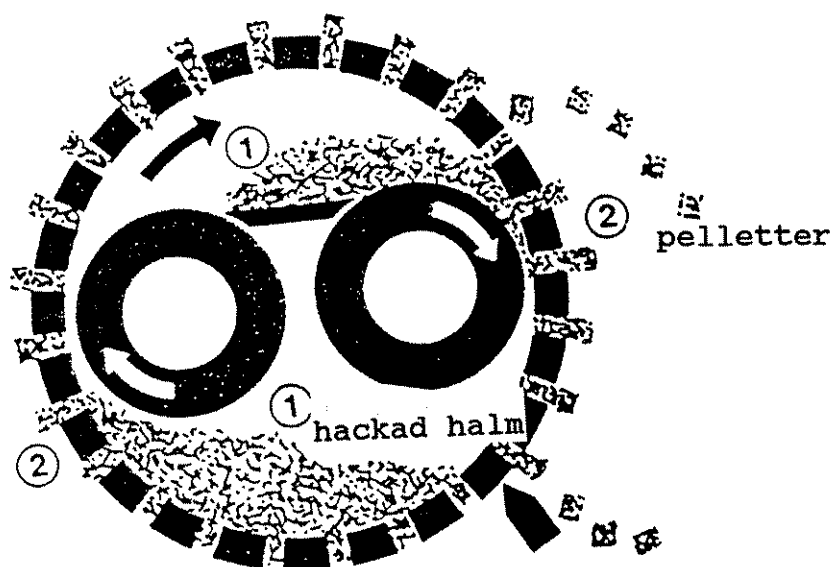
En mobil anläggning väger ofta minst 10 ton, och kräver därför hög standard på vägar och uppställningsplats (Praks & Hadders, 1991). Brikettering inomhus minskar väderberoendet och förbättrar arbetsmiljön. Anläggningar som drivs av el kräver säkringar i storleksordningen 200 A. Denna säkringsstorlek är mycket ovanlig på gårdar, och ett alternativ är därför dieseldrivna generatorer.

Enligt Praks och Hadders (1991) bör halmens vattenhalt ej överstiga 18 %. Skruvpressar kan tåla högre vattenhalter, eftersom en viss mängd vatten förångas vid kompressionen. Vissa tillverkare anger dock att deras maskiner klarar halm med upp till 25 % vattenhalt. Anläggningarnas kapacitet kan vara upp till 1500 kg per timme. Dessa maskiner har ett effektbehov på 125 kW.

## 7.4 Pellettering

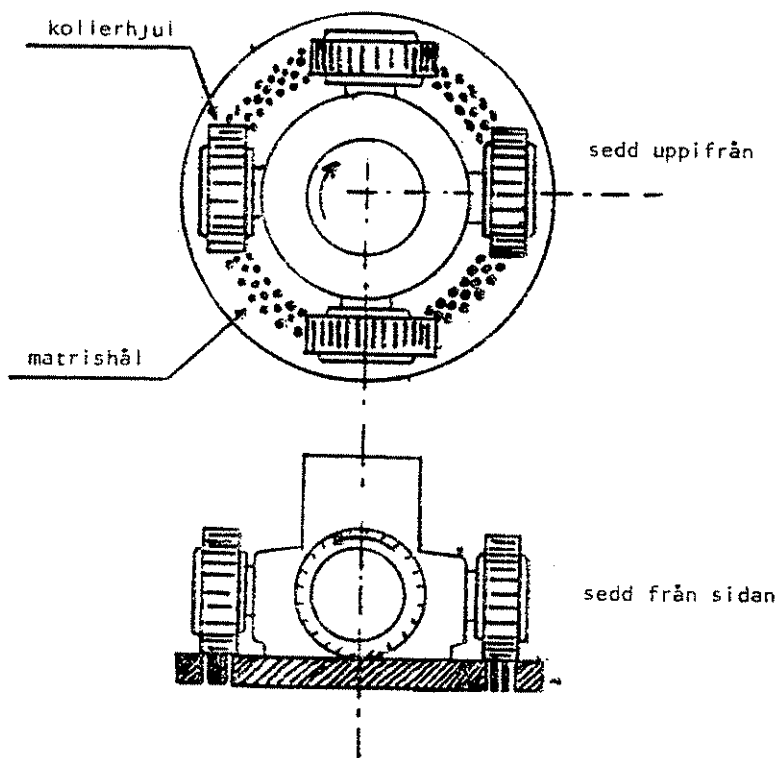
### 7.4.1 Pellettpressar

Pelletter tillverkas med matrispressar. I figur 47 visas en ringmatrispress bestående av en roterande matrisring och två tryckrullar. Den hackade halmen förs in i matrisen med skruvar, och pressas sedan av tryckrullarna ut genom matrisens presskanaler. Halmen bör vara finfördelad; snittlängden ska helst inte överstiga 20 mm. Energibehovet för pressningen är 160-200 MJ per ton (Gylling, 1983).



Figur 47. Principskiss av en ringmatrispress. Källa: Gylling, 1983.

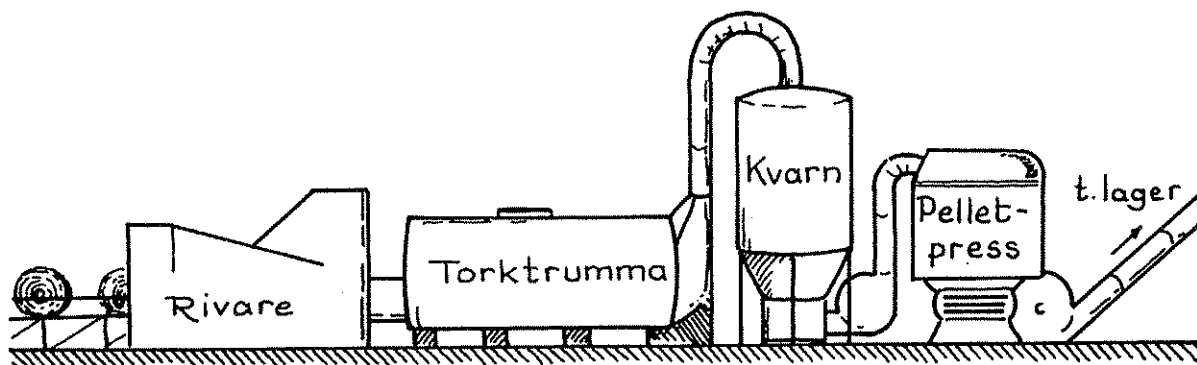
Skivmatrispressen har en stålmatris som är perforerad med täta hålrader. Mot matrisen roterar 2-5 kollerhjul som under högt tryck pressar halmen genom matrishålen. Diametern på hålen är 8-12 mm, och tjockleken på matrisen 47-70 mm. En tjockare matris ger hårdare pelletter, men å andra sidan ökar energibehovet. Pelletterna skärs av i lämpliga längder med en kniv som rör sig på matrisens baksida (Jonsson H., 1985). Halmen bör vara mycket finsnittad, helst 10-15 mm, och energibehovet för pressningen är 160-200 MJ per ton (Gylling, 1983).



Figur 48. Principskiss av en skivmatrispress. Källa: Jonsson H., 1985.

#### 7.4.2 Exempel på en anläggning

F n sker ingen tillverkning av halmpelletter i större skala i Sverige. Sockerbolaget hade en anläggning i gång under 80-talet, vilken visas i figur 49.



Figur 49. Processen för tillverkning av pelletter vid Sockerbolagets fabrik. Källa: Elias-son & Nilsson, 1985.

Halmen, som levererades i rundbalar, revs till en strålängd på ca 30 mm. Torkning skedde sedan i en torktrumma till en vattenhalt på ungefär 10 %. I hammarkvarnen maldes halmen till en strålängd på 10 mm, och blandades sedan med bindemedel och vattenånga. Pressning utfördes i en ringmatrispress (PoD-rapportering, 1985).



### 7.4.3 Lagring

Vid lagring är planmagasin och silor de mest intressanta alternativen. Planmagasin har större lagringskapacitet och förekommer mest hos tillverkaren, medan silor används av förbrukaren.

#### *7.4.3.1 Lager hos tillverkare*

Andersson och Eliasson (1985) rapporterar om ett försök med lagring i en plasthall. För att kunna utnyttja lagrets höjd bättre var det nödvändigt att montera väggar längs långsidorna. Lagret fylldes med en hjullastare utrustad med en rymlig skopa. Detta medförde emellertid att lastarens hjul krossade pelletter som låg på golvet.

Det är mycket viktigt att golvet är jämnt och hårt så att det tål hjultrycket från lastaren. Är golvet ojämnt finns stor risk att sten, asfaltklumpar o dyl blandas med pelletterna och förorsakar stopp i de pneumatiska hanteringssystemen. Andersson och Eliasson drar slutsatsen att lagring i plasthallar är tänkbart; men man bör främst se dem som ett tillfälligt alternativ vid brist på lagringsutrymme.

Det utfördes även försök med lagring i ett magasin med korrugerad plåt som väggar och tak (Andersson & Eliasson, 1985). Magasinet hade asfaltgolv. Här liksom i andra lager är det viktigt att väggarna tål de sidokrafter som uppstår då man vill lagra högt. Lastbilarna tippade pelletterna på en asfalterad yta utanför magasinet, och en hjullastare förde sedan in dem i lagret.

Det är fördelaktigt om avlastningen går så snabbt som möjligt. I början kan avlastningen ske inomhus, men efterhand som lagret fylls vill man undvika att köra sönder pelletter. Avlastning på asfalt utomhus kräver dock att asfalten är absolut jämn, samt att vädret är passande. Efter tio månaders lagring uppmättes andelen smul till ca 6 %.

Utifrån de erfarenheter man erhållit byggde Sockerbolaget en ny lagerbyggnad i anslutning till produktionsplatsen (Andersson & Eliasson, 1985). Golvet är av asfalt, och man har flyttbara mellanväggar i byggnaden. Mellanväggarna medger lagring av olika pellettkvaliteter.

Transporten mellan pressarna och lagret sker med en hjullastare. För att kunna lagra högt används ett transportband, vilken flyttas efterhand som lagret fylls. Längst ner vid bandets början finns en lagringsficka.

Transportbandet används även vid lastning av bulkbilar. Hjullastaren fyller då lagringsfickan. Ett intressantare alternativ vore kanske en utlastningssilo, som rymmer t ex ett dygns behov. Lastaren kan då snabbare fylla silon, och lastbilschauffören kan sköta lastningen ensam även under icke ordinarie arbetstid.

Lagring i silor torde vara mest intressant för mindre lager. Lagring i silor förekom hos en pellettillverkare i Mora (Jonsson H., 1985). Dessa rymde vardera 1000 m<sup>3</sup>. Botten på silorna var så högt placerad att lastning av transportfordonen skedde direkt från silon till bilen.

#### *7.4.3.2 Lager hos användare*

Silon placeras så nära pannan som möjligt, samtidigt som den ska vara lätt tillgänglig för bulkbilarna. Vid pneumatisk hantering är det viktigt att transporten i inblåsnings-

röret sker vertikalt, eftersom detta kräver mindre luftflöden (Andersson & Eliasson, 1985). Matningen från silon till pannan sker med skruv. Pelletter har liten benägenhet för valvbildning, vilket medför att bottenkonans lutning kan vara liten (Jonsson H., 1985).

En annan metod är att lagra i fickor (Jonsson H., 1985). Lastbilarna tippas pelleterna i fickorna, och transportererna till pannan sker sedan med skruv. För att skydda mot nederbörd erfordras ett tak, som måste vara så högt att tippning är möjlig.

#### 7.4.4 Transport och distribution

Det finns idag ett väl fungerande distributionssystem för foderpelletter. Det ligger då nära till hands att utnyttja dessa erfarenheter vid hanteringen av bränslepelletter. Man ska dock vara medveten om att bränslepelletterna genomgår en ganska hårdhänt behandling, vilket medför att andelen smul kan bli hög. Mycket smul förorsakar problem med valvbildning i silor och svårigheter vid förbränningen (Andersson & Eliasson, 1985).

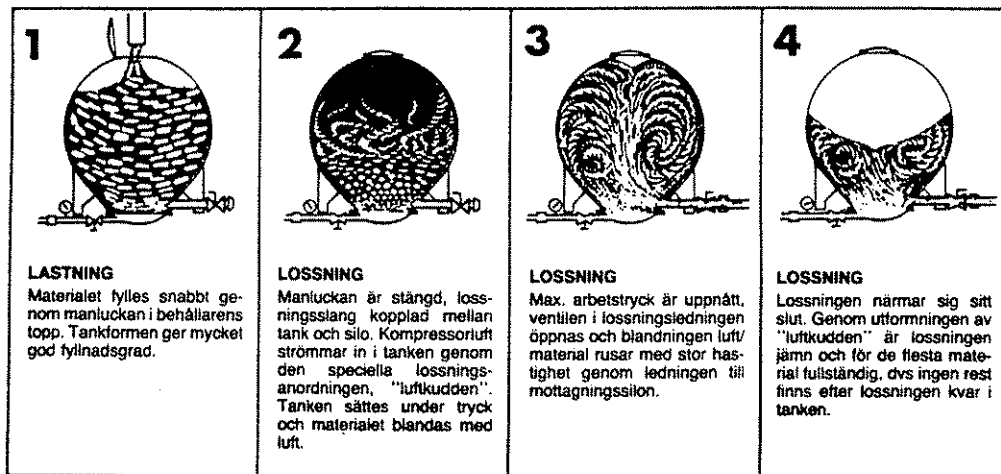
En viktig skillnad mellan foder- och bränslepelletter är att bränslepelletterna endast representerar en tredjedel av foderpelletternas värde. Detta bör man ta hänsyn till vid utformningen av distributionssystem.

För transport av bränslepelletter är följande system tänkbara:

- \* tryckluftsbehållare (s k behållarbilar) som lossas pneumatiskt
- \* öppna flakbilar som lossas med cellmatare (sluss) och blåsmaskin
- \* öppna flakbilar som lossas medelst tippning
- \* storsäckshantering
- \* containerhantering

##### *7.4.4.1 Tryckluftsbehållare*

Fordonen är utrustade med en kompressor. Via en slang ansluts kompressorn till användarens mottagningsrör, och pelleterna blåses sedan genom röret till lagret. Fördeklar med systemet är att det är okänsligt för väder, och att all hantering sker i ett slutet system. Vidare kan silor användas som bränslelager, och man kan beställa en väl definierad mängd pelletter. Nackdelar är att lastningen är tidskrävande, att det bullrar kraftigt vid lossningen, samt den begränsade lastkapaciteten; 25-30 ton (Jonsson H., 1985).



Figur 50. Lastning och lossning av en tryckluftsbehållare. Källa: PoD-rapportering, 1985.

#### 7.4.4.2 Flakbilar med cellmatare

Fordonen har en blåsmaskin, och längst bak på bilen finns en cellmatare (sluss). Pelletterna tippas från flaket ned i cellmataren. Luften från blåsmaskinen passerar genom cellmataren och transporterar pelletterna genom lossningsslangen till silon. Lossningskapaciteten är ungefär densamma som för behållarbilar. Fordonen kan utnyttjas för längre transporter, eftersom de kan ta andra tippbara material som returgoods (Andersson & Eliasson, 1985).

#### 7.4.4.3 Flakbilar som tippas

Stora förbrukare kan använda lager med mottagningsficka. Detta gör det möjligt att transportera pelletterna med flakbil, vilka tippas direkt i fickan. Lastbilarnas större lastkapacitet, 35 ton, och kortare lastnings- och lossningstider kan minska transportkostnaderna betydligt (Jonsson H., 1985).

#### 7.4.4.4 Storsäckshantering

Socketbolaget (Andersson & Eliasson, 1985) provade distribution av pelletter i storsäckar. Metoden är mest intressant för mindre förbrukare, t ex villor. Systemet förekommer vid hantering av handelsgödsel, och teknik för hanteringen är därför utprovad. Distributionen skulle kunna ske via ett depå- eller terminalsystem (Andersson & Eliasson, 1985).

#### 7.4.4.5 Containerhantering

Detta system finns för briketter, och skulle även vara tänkbart för pelletter. Containern fylls hos tillverkaren och körs ut till förbrukaren. Containern placeras sedan vertikalt över en transportör. Ett spjäll reglerar tömningen, och innehållet rinner ner av sin egen tyngd. För att ha tillgång till pelletter även när containern är tom, krävs antingen ett mellanlager eller möjlighet att ha två containrar samtidigt (Jonsson H., 1985).

#### 7.4.5 Organisation

Pelletteringen innebär att två olika transporter krävs; dels råvaru- och dels färdigvaru-transporter. Dessa båda transporter kräver helt skilda hanteringssystem.

P g a de storleksfördelar som finns vid tillverkningen - t ex ifråga om lagring av råvara och färdig produkt, transporter m m - är det troligen mest fördelaktigt om tillverkningen koncentreras till fabriker. Är även användarna stora, bör leverans ske direkt från fabriken till köparen.

Om det finns mindre förbrukare koncentrerade till ett område, är det tänkbart att använda en terminal (Jonsson H., 1985). Leverans till terminalen sker då med flakbil, och för den kortare sträckan mellan terminalen och användaren nyttjas bulkbilar. Väntetiden för leverans förkortas, eftersom man slipper att vänta med leveransen tills man fått tillräckligt många beställningar från samma område.

Andersson och Eliasson (1985) påpekar att man ofta förbisett distributionen vid utformningen av pellettanläggningar. Ett bättre samarbete mellan producenter, logistik och tillverkare av förbränningsanläggningar skulle leda till fruktbara resultat angående försöken att nedbringa distributionskostnaderna.

### **7.5 Pulvrisering**

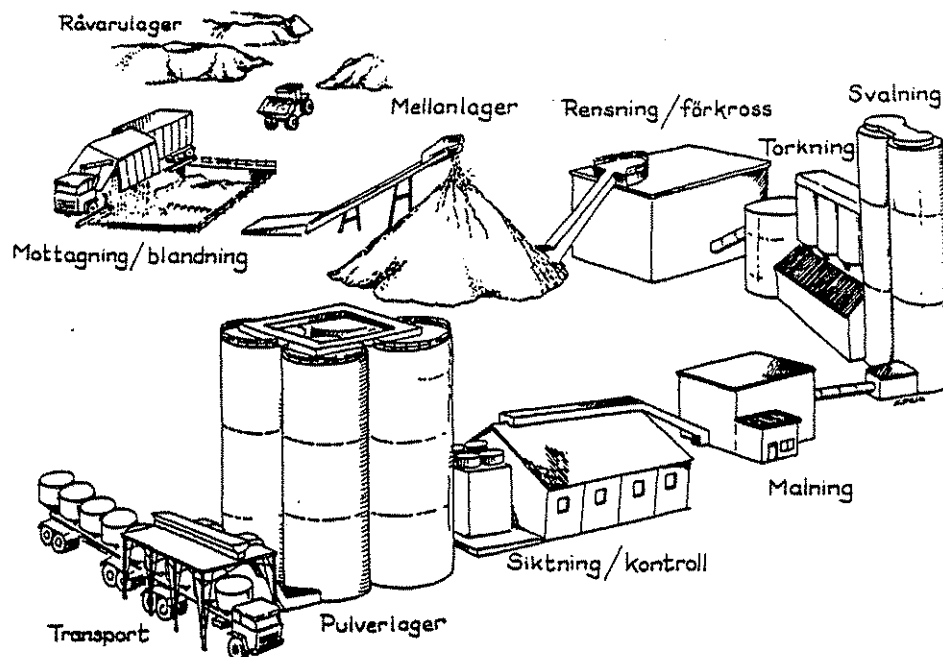
I Sverige förekommer idag ingen storskalig tillverkning av bränslepulver med halm som råvara. Däremot tillverkas pulver av träbränslen. Pulver är ett högförädlat bränsle med låg vattenhalt och hög energitäthet.

#### 7.5.1 Tillverkning

I Ulricehamn finns landets enda fabrik för tillverkning av träpulver (Marks, 1990). Tillverkningsprocessen inleds med att olika råvaror blandas för att ge pulvret sådana egenskaper att hanteringen underlättas. Råvarornas partikelstorlek är maximalt 50 mm före mellanlagring i stack. Främmande föremål avlägsnas med hjälp av magneter och siktar.

Råvaran grovmals med en hammarkvarn till partikelstorleken 12 mm, och förs sedan till torkanläggningen, där nedtorkning sker till vattenhalten 5 %. Från och med grovmalningen sker all hantering i ett helt slutet system. Finfördelning sker i en kvarn, där materialet under kraftig turbulens nöts och slits sönder av slagor och slitytor. Efter passage genom ett fast såll transporteras pulvret till silo för senare leverans. P g a friktionsvärmets som bildas vid finmalningen torkar pulvret ytterligare, vilket ger en slutlig vattenhalt på 3-4 % (Marks, 1990).

Vid tillverkningen bildas damm, som vid höga koncentrationer ( $> 5 \text{ mg/m}^3$  luft) utgör en hälsofara (Andersdotter, 1983). Dessutom finns det risk för dammexplosioner. Vid malningen finns en uppenbar fara för brand, eftersom främmande föremål såsom stenar och metallbitar kan förorsaka gnistbildning. Det är mycket viktigt att fabriken är utrustade med sprinklersystem, automatlarm, temperaturvakter och andra brandskyddstekniska anordningar.



Figur 51. Exempel på utformning av en pulverfabrik. Källa: Marks, 1990.

### 7.5.2 Transport och lagring

Transport av träpulver sker med specialbyggda bulkfordon. Pulvret töms snabbt och dammfritt genom att det fluidiseras med hjälp av tryckluft. En lastbil med släp kan ta nio pulvertankar innehållande totalt ca  $60 \text{ m}^3$ . Vid eldning i villapannor kan transporten ske i stora plastsäckar, vilka är utrustade med öppningsbar botten. Säckarna transporteras på lastbilar försedda med kran. Beträffande längre transporter kan nämnas att det finns färdigutvecklade system för järnvägs- och sjötransporter (Åbom, 1982).

Pulver lagras vanligen i silor, antingen som leveranslager vid fabrik eller i större terminaler. Hos användaren mellanlagras pulvret i silo, och transporteras sedan med luft till förbränningsanläggningen. Pulver lagras med så låga vattenhalter att bildning av skadliga mögelsporer förhindras (Andersdotter, 1983).

### 7.5.3 Halmpulver

Haag (1987) utförde försök med framställning och eldning av halmpulver. Halmbalarna hackades först och maldes sedan i en hammarkvarn utan föregående torkning. Pulvrets vattenhalt blev ungefär 10 %, vilket visade att vattenavgången under förädlingsprocessen var åtta procentenheter. Densiteten för opackat pulver varierade mellan  $220\text{-}240 \text{ kg/m}^3$ , medan transportdensiteten i bulk var ungefär  $250 \text{ kg/m}^3$ . Det mest lämpliga pulvret för förbränning erhöles då malningen utfördes med 1 mm såll i kvarnen. Elbehovet för rivning och malning av halmen var  $900 \text{ MJ/ton}$  mald halm.

## 8 ENERGIBALANSER

### 8.1 Allmänt

Olika hanteringssystem kan jämföras genom att man beräknar deras energibalanser. Härvid beräknas hur mycket energi som åtgår för att få halmen levererad fram till förbränningsanläggningen. Är detta energibehov större än halmens energiinnehåll är halmeldning självfallet ingen vinst ur energisynpunkt.

Vid upprättandet av energibalanser bör man vara medveten om att olika energiformer har olika energikvalitet. En elmotor ger t ex mer nyttig mekanisk energi, än en motor som tillförs samma energimängd i form av dieselbränsle.

Som framgår nedan åtgår en ringa del av halmens energivärde till dess bärgning. Vanligen är energibehovet mindre än fem procent, och tillvaratagande av halm för förbränning är därför ur energisynpunkt mycket lönsamt.

### 8.2 Beräkningar

Energiförbrukningen har beräknats för olika moment i hanteringskedjorna. En uppdelning har gjorts mellan direkta och indirekta energibehov. Den energi som behövs i form av arbetskraft har ej medtagits, varken för direkta eller indirekta energibehov.

Direkt energi är den energimängd som direkt sätts in i produktionen och t ex krävs för att utföra ett mekaniskt arbete. Vid pressning till balar behövs diesel till traktorn, en baltransportör kräver elenergi osv. I beräkningarna tas även hänsyn till att det åtgår energi för att utvinna och förädla bränslena. För att t ex erhålla en MJ i form av ett dieselbränsle, krävs ytterligare 0,21 MJ direkt och indirekt energi vid lokalisering, utvinning, transport och förädling av råvaran (Renborg & Uhlin, 1975).

Indirekt energi är den energimängd som finns "bakom" produktionsfaktorerna, t ex maskiner och byggnader. För tillverkning av en maskin krävs energi från brytning av järnmalm till leverans av den färdiga produkten till köparen. Den indirekta energin kan schablonmässigt beräknas genom att man multiplicerar produktionsfaktorns vikt med en faktor, som representerar energiåtgången per viktsenhet för att tillverka produkten (Renborg & Uhlin, 1975).

I tabell 16 redovisas energibehovet för olika delar i hanteringssystemen. För själva bärgningsmomentet antas ett utbyte på 3,0 ton/ha. Det direkta energibehovet utgörs här endast av traktorns dieselbehov. Eftersom traktorer och vissa maskiner även används till annat än halmbärgning, beräknas den indirekta energiåtgången utifrån den andel av livstiden som antas belöpa sig på halmbärgning.

Transporterna sker enligt två alternativ: 2 km tur och retur med traktor och lantbruksvagn, samt 40 km tur och retur med ett lastbilsekipage. Lassvikterna spelar en avgörande roll för energiåtgången vid transport. Vid traktortransporten antas ett lass högdensitetsbalar väga nio ton, medan ett lass hackelse endast beräknas väga drygt ett ton. Detta återspeglas i energiåtgången.

För lagring antas att endast indirekta energibehov föreligger. Energiåtgången för eventuella hjälpmedel för inlagring och uttagning ingår i "avlastning/inlagring". Man bör lägga märke till att det åtgår mycket indirekt energi för lagring i nyuppförda byggnader.

Många av värdena bygger på uppskattningar och antaganden. Man bör därför se siffrorna som det de är; ett försök att ge en uppfattning om storleksordningen av de energibehov som förekommer vid halmhantering.

Tabell 16. Energibehov för olika moment i halmens hanteringskedjor, MJ/ton halm. (Källor: Axenbom et al, 1988; Brundin, 1986; Databoken, 1989; Gunnarsson & Lundin, 1984; Nielsen, 1985; Renborg & Uhlin, 1975)

	småbal	rundbal	fyrkantbal	fälthackning	fältbrikettering	brikettering
uppsamling						
direkt	75	64	68	150	450	-
indirekt	27	21	32	36	190	-
insamling						
direkt	-	31	23	-	-	-
indirekt	-	6	5	-	-	-
transport, 1 km						
direkt	17	8	6	20	3	-
indirekt	8	7	5	6	4	-
transport, 20 km						
direkt	-	72	58	-	41	29
indirekt	-	5	4	-	3	2
avlastn./inlagr.						
direkt	4	31	23	17	-	-
indirekt	2	6	5	3	-	-
torkning						
direkt	79	-	-	86	-	-
brikettering						
direkt	-	-	-	-	-	680
indirekt	-	-	-	-	-	27
lager presenning						
indirekt	-	20	-	-	-	-
lager stolplada						
indirekt	-	90	60	-	-	-
lager maskinhall						
indirekt	700	530	360	700	250	160

### 8.3 Energiåtgång för hela hanteringssystem

Med hjälp av tabellen kan det totala energibehovet för en hanteringskedja beräknas. Antag att halmen pressas till rundbalar som lagras i pelarstackar vid fältkanten. Transporten till förbränningsanläggningen (20 km) sker med lastbil. Det direkta energibehovet är:  $(64 + 31 + 72 + 31)$  MJ/ton = 198 MJ/ton. Den indirekta energiåtgången är:  $(21 + 6 + 20 + 5 + 6)$  MJ/ton = 58 MJ/ton. Det totala energibehovet är sålunda ungefär 260 MJ/ton. Halmens energiinnehåll före förbränningen är 14000 MJ/ton. Energibehovet för ovan nämnda bärgningsmetod motsvarar alltså 1,8 %  $(256/14000)$  av halmens totala energiinnehåll.

På liknande sätt kan energibalanserna för andra hanteringskedjor uppskattas. Följande uppställning ger en uppfattning om hur stor del av halmens energiinnehåll som krävs för att få den till pannanläggningen. Observera att det tillkommer energi för lagring vid pannan, samt inmatning i densamma.

Tabell 17. Total energiåtgång för några hanteringskedjor fram till förbränningsanläggningen

Hanteringsmetod	Total energiåtgång
	(% av halmens energiinnehåll)
Högdensitetsbalar, lagring i stolplada hos lantbrukaren, lastbilstransport till pannanläggningen	2,5
Pressning till rundbalar, lagring i stolplada hos lantbrukaren, traktortransport till briketteringsfabrik, lastbilstransport av briketter till pannan	8,2
Fältbrikettering, traktortransport, lagring i hall, lastbilstransport till panna	6,7

Det framgår ovan att inget hanteringssystem bör avskräcka om hänsyn tas till energiåtgången. Den mest energikrävande hanteringen sker vid brikettering. Detta system är svårare att genomföra organisatoriskt, och kräver dessutom mycket arbetskraft, vilket inte syns i värdena ovan. De vanligast förekommande metoderna med rundbalar och fyrkantbalar befäster sin ställning som passande hanteringsalternativ.



## **9 EKONOMI**

### **9.1 Förutsättningar**

#### 9.1.1 Allmänt

Kalkylerna är generella och översiktliga. Avvikelser mellan dessa beräkningar och beräkningar för det enskilda fallet ska därför snarare ses som regel än undantag. Uppgifter om kapaciteter, arbetsåtgång, kostnader etc har erhållits från litteraturen och genom personliga samtal, samt genom egna uppskattningar. Huruvida dessa uppgifter överensstämmer med verkligheten återstår att se.

Beräkningarna gör inte anspråk på att ge den fulla sanningen om hur mycket halmbärgningen kostar. De ska endast ses som ett underlag för vidare diskussioner.

Kostnaderna beräknas såsom genomsnittliga årliga kostnader under en tidsperiod, uttryckta i fasta priser. Det strävas efter full kostnadstäckning, d v s fasta och rörliga kostnader inräknas, liksom arbetslön. Prisnivån är den som gäller under mars 1991.

Många av arbetena inom halmbärgningen kan utföras av lantbrukarna själva. Kostnaderna beräknas därför utifrån lantbrukarnas förutsättningar. Transportkostnaderna för traktortåg beräknas t ex kalkylmässigt, medan kostnaderna för lastbilstransporter baseras på vad åkeriet debiterar.

Ersättning till företaget för administration, driftledning, vinst etc ingår EJ i kalkylerna. Enligt danska uppgifter (Landsforeningen Danske maskinstationer, 1989) bör det göras ett tillägg på 15 % för att täcka dessa kostnader.

De flesta maskiner kan användas även för andra arbeten inom lantbruksföretaget. Liknande hanteringskedjor förekommer t ex vid skörd av grovfoder. För att förenkla beräkningarna antas att maskinerna endast används för halmbärgning. Utnyttjas maskinerna även till annat, bör man alltså ha i åtanke att den fasta kostnaden blir mindre.

Den mängd halm som praktiskt kan bärgas är ungefär 2,0-3,5 ton/ha för vårsäd, och 2,5-5,0 ton/ha för höstsäd (Fodgård, 1985). I kalkylerna antas ett halmutbyte på 3,0 ton/ha för alla bärgningssystemen.

Beräkningarna redovisas mer utförligt i bilagorna 1-4.

#### 9.1.2 Fasta kostnader

De fasta kostnaderna utgörs av värdeminskningar, räntor samt skatt och försäkring.

Värdeminskningen beräknas genom konstant avskrivning. Maskinerna antas ha ett högt utnyttjande, vilket medför relativt korta avskrivningstider. Restvärdet för maskinerna är fastställt till 10 % av återanskaffningsvärdet, medan byggnaderna värderas till noll kronor efter den förväntade livstiden.

Räntekostnaden beräknas på det medelkapital som är bundet i maskinen. Realräntan är satt till 6 %.

Skatt och försäkring utgör en relativt liten del av de totala kostnaderna, och här används därför en schablonmetod (Axenbom et al, 1988). Kostnaden anges som ett visst belopp per 1000 kr återanskaffningsvärde, och bestäms av den s k försäkringsfaktorn, vilken varierar för olika maskintyper.

### 9.1.3 Rörliga kostnader

De rörliga kostnaderna ska bl a täcka utgifterna för arbete, underhåll samt driv- och smörjmedel.

Arbetskostnaden är i alla kalkyler 113 kr/timme. Man bör dock vara medveten om att arbetskostnaden kan vara högre under bärgningssäsongen, beroende på övertidstillägg och lejd arbetskraft.

Kostnaden för smörjmedel utgör enligt Axenbom et al (1988) ungefär 10 % av drivmedelskostnaden, vilket beaktas i kalkylerna.

Undersökningar har visat att underhållskostnaderna är avhängiga av maskinernas återanskaffningsvärden och årliga användningstider (Axenbom et al, 1988). Kostnaderna bestäms av en s k underhållsfaktor, vilken uttrycks i kr/timma och 1000 kr återanskaffningsvärde.

### 9.1.4 Traktorkostnader

I kalkylerna används följande traktorstorlekar (timkostnad exkl förare och bränsle):

55 hk: används för transport av småbalar. Timkostnad: 56 kr/timme.

70 hk: används till pressning av små- och rundbalar, till lastarvagnen samt för insamling och lastning av storbalar. Timkostnad: 73 kr/timme

100 hk (fyrhjulsdriven): används vid fältbrikettering, fälthackning samt transport av storbalar. Timkostnad: 119 kr/timme.

140 hk (fyrhjulsdriven): används till pressning av högdensitetsbalar. Timkostnad: 148 kr/timme.

Kostnadsberäkningarna redovisas närmare i bilaga 1.

## **9.2 Bärgning**

### 9.2.1 Uppsamling

Kostnaderna för halmens uppsamling framgår av tabell 18. Om det bortses från fältbrikettering, är skillnaderna mellan metoderna inte särskilt stora. Högdensitetspressarnas högre investeringskostnad kompenseras delvis av maskinernas högre kapacitet. Beräkningarna redovisas närmare i bilaga 2.

Uppgifterna om maskinernas kapacitet gäller för själva fältarbetet. Det åtgår även tid för daglig skötsel, transport till fältet m m, och man bör därför inte räkna med mer än 6-7 timmars effektivt fältarbete per dag.

Tabell 18. Kostnader för olika uppsamlingsmetoder vid en årlig driftstid på 150 timmar

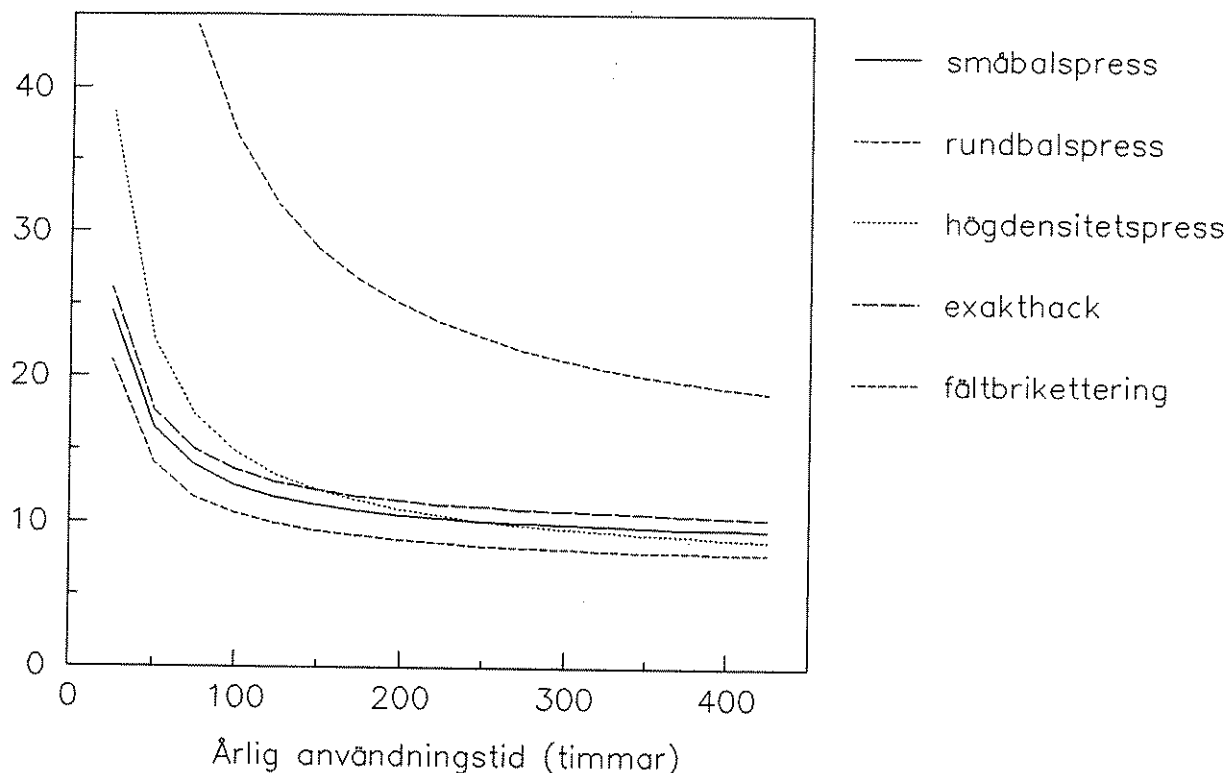
Uppsamlingsmetod	småbalar	exakt- hack	rund- balar	högdens.- balar	fältbrikettering
Kapacitet ton/timme	4,6	4,9	5,4	12	4,0
Investering 1000 kr	125	140	130	510	500
Kostnad öre/kg	11,2	12,2	9,4	12,2	28,8

I investeringsbehovet för småbalspressning ingår även balkastare och balvagn. Kostnaderna för fälthackning innefattar även den medföljande vagnen. Kapaciteten för pressning av småbalar och fälthackning är något lägre än vad som uppgavs i kapitel 5, eftersom det åtgår tid för omkoppling. Vid fältbriketteringen antas att briketterna samlas i en behållare, vilken töms i en vagn vid fältkanten. Eftersom tabellen endast gäller för själva uppsamlingsmomentet, utförs arbetena av en person.

Den årliga driftstiden påverkar kostnaderna starkt. Ju fler timmar maskinerna används per år, desto fler ton kan den fasta kostnaden fördelas på. Vid mycket höga årliga användningstider består kostnaderna till största delen av de rörliga kostnaderna.

Figur 52 visar uppsamlingskostnadens beroende av den årliga användningstiden. Det framgår att fältbrikettering är möjlig vid en kostnad av ca 25 öre/kg för mycket höga användningstider. Kostnaden för pressning till högdensitetsbalar blir ca 10 öre/kg vid en årlig driftstid på 250 timmar. Detta höga utnyttjande är mycket svårt att uppnå i praktiken om maskinen endast används för halmbärgning.

Kostnad (öre/kg)



Figur 52. Sambandet mellan uppsamlingskostnad och årlig användningstid.

### 9.2.2 Kontinuerliga hanteringskedjor

En kontinuerlig hanteringskedja kännetecknas av att uppsamling och inkörning sker samtidigt. Ofta är flera personer engagerade, och det krävs därför en väl fungerande organisation. Väntetider uppstår annars lätt, och en sönderkörning i ett hanteringsled kan medföra dyrbara stillestånd.

#### *9.2.2.1 Småbalar*

I tabell 19 redovisas kostnaderna för att bärga halm i form av småbalar. Pressen är utrustad med balkastare, och den efterföljande vagnen rymmer 1,5 ton halm. Pressningskapaciteten är något lägre än vad som skulle vara fallet om balarna lades på fältet. Pressens årliga driftstid är 150 timmar.

Avståndet till lagret är 500 m. Avlastning sker med hjälp av en fjärrmanövrerad hiss. Transport och inlagring utförs av två personer, vilka staplar balarna i lagret om det uppstår väntetider.

De fasta kostnaderna innefattar till största delen värdeminskningar och räntor för hiss och vagnar, medan den rörliga delen består av arbets- och traktorkostnader.

Det skulle även vara möjligt att utföra bärgningen med endast två man. Den totala kostnaden reduceras då till 20,8 öre/kg. Detta kräver att lagerbyggnaden är rymlig och medger en "smidig" hantering. Halmen lagras då ostaplade. Det finns en viss risk att det uppstår väntetider vid pressningen.

Tabell 19. Kostnader för en hanteringskedja med småbalar

Bärgningsmoment	Antal personer	Kapacitet (ton/timme)	Kostnad (öre/kg)
Pressning	1	4,6	11,2
Insamling, transport och inlagring	2	4,6	
fasta kostnader			3,6
rörliga kostnader			7,2
Summa			22,0

Om pressen används till hörbärgning (100 timmar/år) minskar pressningskostnaden till 10,1 öre/kg.

#### 9.2.2.2 Bogserad exakthack

Kostnaden för bärgning med en bogserad exakthack blir ganska hög. Två personer är engagerade; en som kör hacken och en som ombesörjer hemtransport och inlagring.

Inlagringen sker med hjälp av avlastarbord, fläkt och teleskopfördelare. Utrustningen har ett högt investeringsbehov, vilket förklarar den höga fasta kostnaden. Dess kapacitet är dock hög, och det uppstår därför en kort väntetid för personen som utför transporten och inlagringen. Systemet är, liksom övriga kontinuerliga hanteringskedjor, mycket känsligt för transportavståndet. Ökar avståndet med några hundra meter, måste det avdelas ytterligare en person för inlagringen, om hackens kapacitet ska utnyttjas till fullo.

Tabellen gäller för ett transportavstånd på 500 m och lassvikten 1330 kg. Den årliga drifttiden är 150 timmar.

Tabell 20. Kostnader för en hanteringskedja med bogserad exakthack

Bärgningsmoment	Antal personer	Kapacitet, ton/timme	Kostnad, öre/kg
Hackning	1	4,9	12,2
Insamling, transport och inlagring	1	4,9	
fasta kostnader			5,1
rörliga kostnader			5,9
Summa			23,2

Om hacken även används till ensilering (100 timmar/år), reduceras kostnaden för uppsamlingen till 11,0 öre/kg, och den totala kostnaden till 22,0 öre/kg.

#### 9.2.2.3 Lastarvagn

Bärgning med lastarvagn är en relativt billig metod om transportavståndet är kort. Kapaciteten per person är förhållandevis hög; 4,4 ton/timme. Detta gäller då avlastning

sker på golvet, och inlagring sedan utförs med en frontlastare. En annan fördel med systemet är att endast en person utför hela kedjan. Ofta används lastarvagnar även till andra arbeten inom lantbruket, och kostnaderna kan då sjunka ytterligare.

Den årliga driftstiden är 150 timmar, och lassvikten 1470 kg. Transportavståndet är 500 m.

Används lastarvagnen till andra arbeten inom grovfoderhanteringen (100 timmar/år) sjunker den totala kostnaden till 12,3 öre/kg.

Det bör påpekas att lagringshöjden blir ganska låg med denna inlagringsmetod. Detta ökar lagringskostnaden avsevärt.

Tabell 21. Kostnader för en hanteringskedja med lastarvagn

Bärgningsmoment	Antal personer	Kapacitet ton/timme	Kostnad öre/kg
Uppsamling, transport, avlastning... samt inlagring.	1	4,4	10,4 3,1
Summa			13,5

#### 9.2.2.4 Känslighetsanalys för olika transportavstånd

En känslighetsanalys har gjorts för kontinuerliga kedjor avseende transportavståndet till lagret (figur 53).

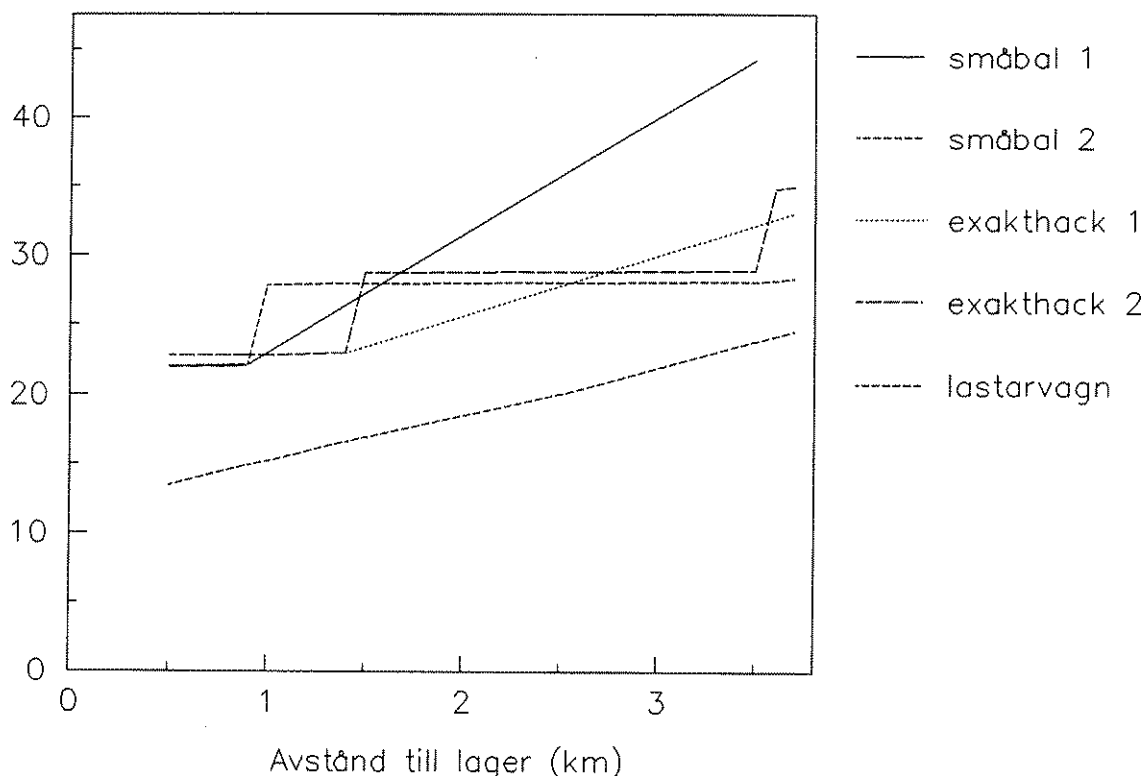
För bärgning av småbalar är tre personer sysselsatta; en som pressar och två som kör hem och lagrar in halmen. Vid avståndet en kilometer uppstår väntetider för pressen, och ett alternativ är då att engagera ytterligare en person för hemkörning. Fortsätter man med tre personer sjunker bärgningskapaciteten och kostnaderna stiger då proportionellt med avståndet, eftersom kostnaderna fördelas på mindre ton bärgad halm (kurva 1). Väljer man att tillsätta ytterligare en person för hemkörning, stiger kostnaden till en nivå och håller sig sedan nästan konstant tills det uppstår väntetider för pressen (kurva 2).

Exemplet visar att det ofta är mer lönsamt att engagera fler personer för hemtransport och inlagring, än att inte låta pressen få arbeta med full kapacitet.

Motsvarande resonemang kan föras vad gäller den bogserade exakthacken. Metoden är emellertid inte lika känslig för väntetider för fältarbetet, eftersom kurva 2 har mindre lutning. Detta kan delvis förklaras med att antalet manminuter/ton bärgad halm är mindre; kedjan är således mindre arbetsintensiv jämfört med en kedja med småbalar.

Lastarvagnens kapacitet halveras när avståndet ökar från 0,5 till 3,5 km. Bärgningen blir inte billigare om ytterligare en person med lastarvagn tillsätts, men kapaciteten fördubblas.

Bärgningskostnad (öre/kg)



Figur 53. Bärgningskostnader vid olika transportavstånd (kurva 1 betecknar kostnaden för oförändrad arbetsstyrka, och kurva 2 kostnaden då ytterligare en person tillsätts för hemkörning och inlagring).

De kontinuerliga hanteringskedjorna används idag mycket sällan vid storskalig halm-bärgning. Orsakerna är främst det stora arbetsbehovet och den relativt låga bärgningskapaciteten, samt kravet på en väl fungerande organisation. Dessutom blir halmens densitet låg och medger därför inga långa transportavstånd. Lagringen blir dyr eftersom det ofta fordras att halmen lagras inomhus. Slutligen finns det inga billiga tekniska lösningar för den fortsatta hanteringen fram till pannanläggningen (möjligen gäller detta dock ej för hackelse). En fördel med dessa system är dock att de möjliggör torkning av halmen.

### 9.2.3 Diskontinuerliga hanteringskedjor

Hos de diskontinuerliga kedjorna utförs arbetsoperationerna oberoende av varandra. De dagar då vädret är lämpligt, pressas halmen med hög kapacitet. Insamling och transport kan sedan utföras av en person vid passande tidpunkt. Dessa fördelar hos de diskontinuerliga kedjorna underskattas ofta i dagens lantbruk, där tillgången till arbetskraft inte sällan är en begränsande faktor.

#### *9.2.3.1 Rundbalar*

I tabell 22 redovisas kostnader för bärgning av halm som rundbalar. De olika bärgningsmomenten utförs av en person. Pressen används 150 timmar per år, och den årliga bärgningskapaciteten fastställs därför till 810 ton. Transportavståndet mellan fältet och

mellanlagret är femhundra meter. Transporten görs med traktor och ett begagnat lastbilssläp, vilken lastar 6,3 ton/lass. Avlastning och inlagring antas kosta lika mycket som insamling och lastning (i praktiken är kanske avlastning och inlagring något billigare).

I posten "stilleståndskostnader m m" tas hänsyn till kostnader för att vagn (och ev traktor) står stilla vid på- och avlastning. Dessutom kan generella kostnader för hela bärgningssystemet inräknas här. Eftersom hanteringskedjan är diskontinuerlig, uppstår stilleståndskostnader vid byte av arbetsuppgifter m m, vilket jag ej tagit hänsyn till i de enskilda bärgningsmomenten. Danska beräkningar (Videncenter for halm- og flisfyring, 1989) anger att denna post är 2-4 öre/kg för hela hanteringskedjan.

Tabell 22. Kostnader för halmbärgning med rundbalar

Bärgningsmoment	Antal personer	Kapacitet ton/timme	Kostnad öre/kg
Pressning	1	5,4	10,0
Insamling och lastning	1	11	3,2
Transport	1		1,3
Avlastning och inlagring	1	11	3,2
Stilleståndskostnad m m			2,0
Summa			19,7

Om rundbalspressen även används till skörd av grovfoder (100 timmar/år), sjunker pressningskostnaden till 8,9 öre/kg.

#### 9.2.3.2 Rektangulära högdensitetsbalar

Bärgning av rektangulära högdensitetsbalar kostar ungefär lika mycket som bärgning av rundbalar. Visserligen är själva pressningen dyrare, men detta kompenseras av en billigare hantering i senare skeden.

Förutsättningarna är identiska med dem som gäller för rundbalar ovan, förutom den högre årliga bärgningskapaciteten (1800 ton) och högre lassvikten (9,2 ton).

Tabell 23. Kostnader för halmbärgning med rektangulära högdensitetsbalar

Bärgningsmoment	Antal personer	Kapacitet ton/timme	Kostnad öre/kg
Pressning	1	12	12,2
Insamling och lastning	1	15	2,2
Transport	1		0,9
Avlastning och inlagring	1	15	2,2
Stilleståndskostnad m m			2,0
Summa			19,5



## 9.3 Lagring

### 9.3.1 Inomhus

Kostnaderna för lagring inomhus har beräknats för ett oisolerat nybyggt lagerhus med måtten 15\*40\*5 m<sup>3</sup> (bredd\*längd\*höjd). Utrustning för uttagning ur lagret är medtaget i investeringsbehovet (det som tillkommer utöver vad som behövs för inlagring). Teleskopfördelare, lastare o dyl som behövs för inlagring, samt arbetslön för inlagring och uttagning ingår ej i kostnaderna.

Balad halm lagras staplad i en maskinhall med ett grusat golv.

Hackelse och briketter lagras i samma byggnad, men väggarna är förstärkta för att tåla sidokrafterna. Dessutom är golvet belagt med asfalt av hög kvalitet. Hackelsen inlagras med fläkt och teleskopfördelare, varför den genomsnittliga densiteten är 70 kg/m<sup>3</sup>. Briketter inlagras med en transportör till lagringshöjden 3,5 m.

Tabell 24. Kostnader för lagring av halm inomhus

	småbal	rundbal	högdens. bal	hackelse	briketter
Skrymdensitet, kg/m <sup>3</sup>	80	70	115	70	450
Lagerkapacitet, ton	240	210	350	210	950
Investering, tusen kr	450	450	450	770	860
Lagringskostnad, öre/kg	16,6	18,9	11,5	32,4	8,0

Det framgår, inte oväntat, att höga lagringsdensiteter ger lägst kostnader. Hackelsen blir mycket dyr eftersom densiteten är låg och det krävs dyrbar hanteringsutrustning. Lagring av briketter blir, trots den höga densiteten, relativt dyrt. Detta beror på att väggarna måste förstärkas om man ska kunna få tillräcklig lagringshöjd.

### 9.3.2 Stolplada

Kostnaderna för lagring i stolplada utan väggar framgår av tabell 25. Stolpladan är fem meter hög, samt har en yta på 150 m<sup>2</sup>. Stommen är uppbyggd av "telefonstolpar", och taket täckt med plåt. Investeringskostnaden kan vara mycket skiftande, beroende på vilket pris lantbrukaren får betala för byggnadsmaterialet. Siffrorna är därför osäkra, men utgör ändå en rimlig uppskattning.

Kostnaderna är kanske högre än vad man skulle kunna förvänta sig. Den beräknade livslängden är femton år. Om lantbrukaren kan få tag på billigt byggnadsmaterial och livstiden förlängs, kan kostnaderna minskas avsevärt.

Tabell 25. Kostnader för lagring av halm i stolplada

	småbal	rundbal	högdensitetsbal
Skrymdensitet, kg/m <sup>3</sup>	80	70	115
Lagerkapacitet, ton	60	53	86
Kostnad, öre/kg	12,2	13,9	8,5

### 9.3.3 Presenning och plast

Kostnaderna för lagring under presenning och plast har beräknats för några alternativ. Kostnaderna täcker ej arbetet vid stapling och uttagning, men däremot arbetet vid täckning av stacken, samt tillsyn.

Lagring av rundbalar i en nittonpelarstack kostar 5,6 öre/kg. Stackarna staplas fyra balar högt, och innehåller ungefär 18 ton. Presenningen antas vara av hög kvalitet och beräknas hålla i fem år.

Kostnaderna för lagring av högdensitetsbalar under presenning uppgår till 2,3 öre/kg. Stackarna innehåller 100 ton halm, och täcks på ovansidan av en presenning på 12\*20 m<sup>2</sup>. Även här beräknas presenningen hålla i fem år.

Lagring under plast kan vara en osäker metod. Plasten beräknas ha en livslängd på endast ett år. Lagring av balad halm kostar 5,5-6,3 öre/kg; där den undre gränsen gäller för högdensitetsbalar och den övre för rundbalar. Plasten täcker hela stacken, och förankras medelst ett lager jord vid stackens nedre sidor.

Lagring av högdensitetsbalar utomhus utan täckning är en billig metod. Om man antar att den enda kostnaden utgörs av oljegrusning av underlaget, blir kostnaden ungefär två öre/kg.

Lagring utomhus kan vara riskabelt och leda till kassation av halmen. I kalkylerna ovan har eventuella lagringsförluster ej inräknats.

### 9.4 Transport från lager till värmeverk

Halm är ett bränsle som produceras över stora arealer. Transportbehovet blir därför mycket stort, särskilt för värmeverk med stora halmbehov. Frågan man då bör ställa sig är vilket alternativ som blir billigast; traktortåg eller lastbil?

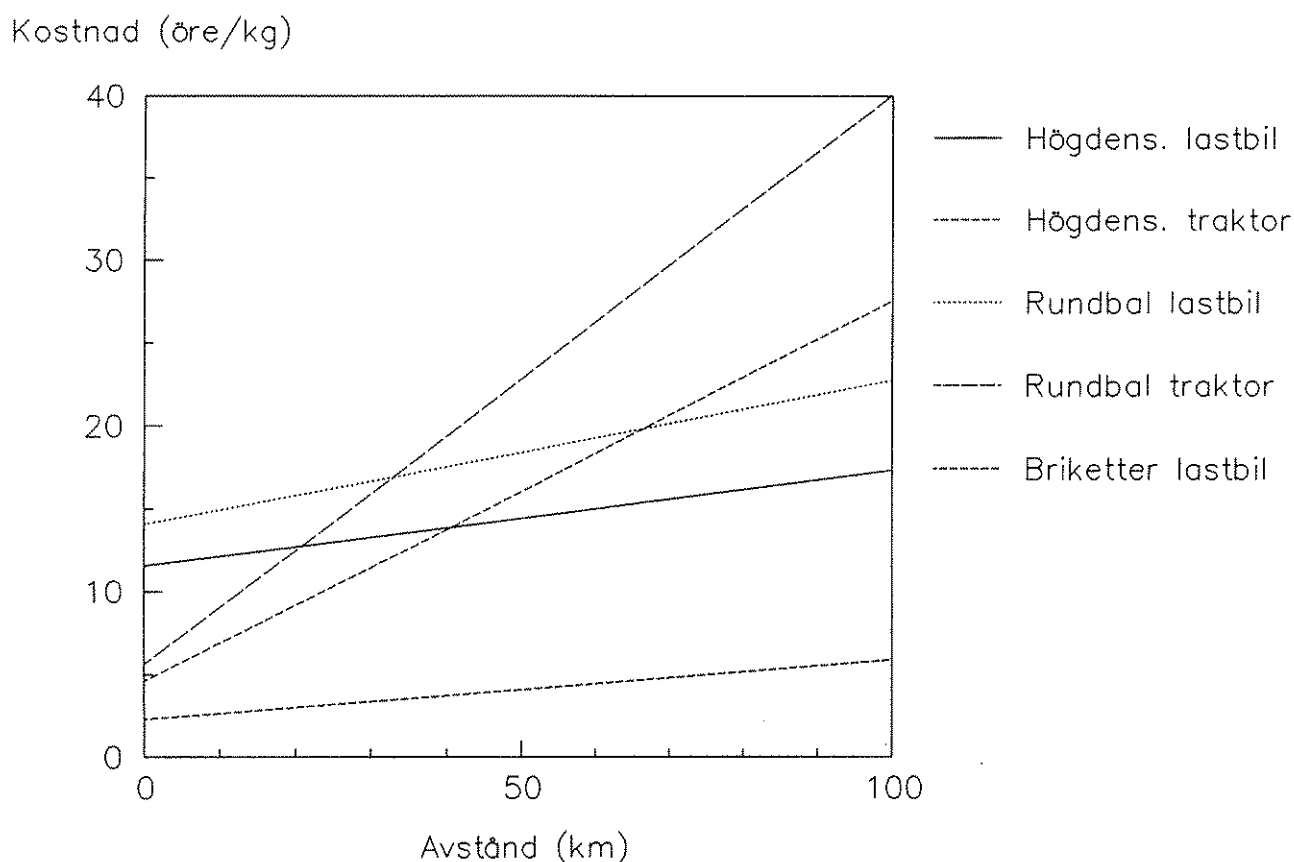
Äldre beräkningar visar att traktor är att föredra om balad halm transporteras sträckor understigande 30-35 km (Projekt Agrobioenergi, 1986). Lastbilstransport har en låg kostnad per kilometer och en hög kostnad per tidsenhet som fordonet är bundet. Lastbilstransporter blir därför billigare vid långa transportavstånd och när på- och avlastning kan ske snabbt. En möjlighet till minskning av bilarnas stilleståndskostnad är att använda växelflak. Då kan lastning och lossning utföras utan att bilen behöver vara på plats.

Lastbilen är dock lämplig vid transport av briketter, eftersom lastning och lossning kan ske snabbt och densiteten är hög.

Axenbom & Kristensson (1991) menar att traktortransporter är det mest intressanta för halm. En cirkel med radien 30 km omfattar 280000 ha. Om fem procent av den arealen används för tillvaratagande av halm, blir den årliga energiproduktionen 112 GWh. Detta motsvarar mer än vad det största danska halmvärmeverket konsumerar (Axenbom & Kristensson, 1991).

Figur 54 visar transportkostnaderna för traktor och lastbil vid olika transportavstånd. Till traktortransporterna används två flakvagnar (8\*2,5 m<sup>2</sup>). Transport av briketter med lastbil sker med containrar. Kostnaderna inkluderar uttagning ur lager och lastning.

Av diagrammet framgår att transport av balad halm är billigast med traktortåg om avståndet understiger 30-40 km. Det är dock troligt att kostnaderna med lastbil kan sjunka om på- och avlastningen utförs effektivare (det antas här att stilleståndet är en timme) (Axenbom, pers. medd., 1991).



Figur 54. Transportkostnader med lastbil och traktor för olika former på halmen. Källa: Efter Axenbom & Kristensson, 1991.

## 9.5 Förädling

Kostnaderna för förädling har inte beräknats i detta arbete. Andra författare (Kollch et al, 1988; Brundin, 1988) uppger att kostnaderna blir höga, och förädling är därför knappast konkurrenskraftigt idag.

Brundin (1988) redovisar resultat som visar att briketterad halm levererat till förbränning kostar 75-100 öre/kg (indexuppräknat till dagens prisnivå). Denna halm bärgades som rundbalar, och pressades sedan till briketter i stationära eller mobila anläggningar. Det som påverkade kostnaderna mest var den årliga driftstiden; skillnaderna mellan stationär och mobil pressning, liksom pressarnas kapacitet, hade mindre betydelse.

Det är troligt att pellettering och pulvrisering är dyrare processer än brikettering.

## **9.6 Övriga kostnader**

### **9.6.1 Strängläggning**

Om skördenivån är låg eller skördetröskans skärvidd mindre än 16 fot bör halmen strängläggas. En liten halmmängd kan bara delvis kompenseras genom högre körhastighet. Lägre körhastighet vid uppsamling av en optimal sträng ger högre kapacitet. Ofta fordras dessutom en välformad sträng vid användning av storbalspressar. Det är dock svårt att forma en regelbunden sträng som innehåller mer än ca 2 kg halm per meter (Nilsson & Ekström, 1982).

Kostnaden för strängläggning vid en kapacitet på 12 ton/timme efter en 15 fots skördetröska är 2,3 öre/kg. Om det antas att i genomsnitt en tredjedel av halmen strängläggs varje år, blir kostnaden 0,8 öre/kg.

### **9.6.2 Växtnäringsvärde**

Vid halmbärgningen avlägsnas en rad växtnäringsämnen från fältet, vilka annars efterföljande grödor skulle kunnat utnyttja. Värdet av de bortförda näringsämnena kan därför betraktas som en kostnad vid halmbärgning. Denna kostnad kan uppskattas genom att värdera den mängd handelsgödsel som motsvarar den bortförda mängden näringsämnen.

Om endast halmens kväve, fosfor och kalium ersätts med handelsgödsel (N 28 samt PK 5.16) blir växtnäringsvärdet ungefär 10 öre/kg halm. Halm innehåller dock även vissa mängder kalcium, magnesium, koppar och mangan. Om även dessa ämnen inräknas, stiger halmens växtnäringsvärde ytterligare. Växtnäringen är emellertid inte tillgänglig omedelbart, eftersom halmens nedbrytning tar några år. Man bör heller inte glömma att halm har en viss strukturbevarande effekt på jorden.

Om halmaskan strös ut på fältet, tillförs marken ett växtnäringsvärde motsvarande hälften av det som förs bort vid bärgningen (Kolloch et al, 1988).

Alternativet till halmbärgning är nedbrukning av halmen. Detta kan medföra en extra kostnad för lantbrukaren. Danska uppgifter tyder på att denna kostnad är av ungefär samma storleksordning som växtnäringsvärdet (Videncenter for halm- og flisfyring, 1989; Pedersen, 1983).

## **9.7 Sammanställning**

Vilken hanteringskedja blir då billigast?

Det är enkelt att med hjälp av de tabeller som redovisas ovan beräkna kostnaderna för olika system. Några av de mest attraktiva systemen för storskalig halmförbränning redovisas i tabell 26.

Transportavståndet mellan lager och värmeverk är 15 km. Dessa transporter utförs med traktor för all balad halm, medan briketterna transporteras med lastbil. Briketterna förutsätts transporteras direkt till användaren och lagras sedan där. Jämförelser med balad halm blir därför något orättvis, eftersom eventuella lagringskostnader vid värmeverket ej inräknats för dessa system.

Tabell 26. Kostnader för hela halmbränslesystem exklusive hantering vid förbränning

	rundbal stolplada	rundbal pelarstack	högdens. hall	högdens. 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

Halmens växtnäringsvärde är ej medtaget här, eftersom jag antar att detta värde motsvarar kostnaden för hackning och nedbrukning. Observera att eventuella anspråk på betalning för administration, driftledning, vinst etc ej medtagits.

## 10 DISKUSSION

De kapaciteter och arbetsbehov som nämns i studien kan uppfattas som förträffliga, och svåra att uppnå i praktiken. Många av dessa uppgifter gäller för danska förhållanden, där förutsättningarna är annorlunda än i Sverige. Det ska dock betonas att jag förutsätter att bärgningen sker i stor skala med en väl trimmad organisation, och här för avsedd utrustning.

Småbalarna tillkom främst för att underlätta manuell hantering vid utfodring av djur. Vid halmbärgning eftersträvas ofta maskinella och automatiska system vid både bärgning och förbränning. Det finns därför inga skäl att använda detta bärgningssystem i framtiden, möjligen undantaget vid småskalig förbränning.

Högdensitetsbalarnas dimensioner gör dem lämpliga för hantering med traktor, och medger stapling vid transport och lagring med högsta möjliga volymsutnyttjande. Presskapaciteten är hög samtidigt som arbetsbehovet är lågt. Investeringskostnaden är emellertid ansevärd, och denna maskin är således mest aktuell för större användare, t ex maskinstationer. Det finns numera maskiner som även kan användas till ensilerings, vilket ökar deras utnyttjande. Bärgning med högdensitetspressar kan vara känslig för driftsafbrott, eftersom det är ett fåtal maskiner som ska utnyttjas maximalt under kort tid. Med den teknik som finns idag är denna metod den mest passande för storskalig bärgning, åtminstone i södra Sverige.

I övriga delar av landet är bärgningsförhållandena sämre med kortare bärgningsperiod och större nederbörds mängder. En rundbalspress har lägre vikt och kan tolerera något högre vattenhalter, samtidigt som den har lägre krav på årliga användningstider. Dessutom kan den användas för skörd av hö och ensilage. Med hänsyn till dessa faktorer, är det troligen bäst med rullpressar i Mellansverige och Norrland.

Beträffande förbrännings- och reglertekniska aspekter, är det en fördel att elda med hackad halm. Hansen et al (1987) menar att det kan vara billigare att hacka halmen redan på fältet istället för att pressa balar som sedan snittas vid värmeverket. Detta resonemang torde inte vara orealistiskt om transportavstånden är korta. Nuvarande hanteringsteknik har sina begränsningar, men jag tror att hantering av hackelse har en viss utvecklingspotential.

Enligt Clegg & Noble (1987) är en ökning av densiteten den mest effektiva metoden för att minska kostnaderna. En fördubbling av densiteten reducerar kostnaderna med 20-30 %. De största besparingarna görs för insamling, transport och lagring (Clegg & Noble, 1987).

Med den teknik som används i dagens balpressar kan man troligen inte erhålla så mycket högre densiteter. Även om dessa maskiner ännu inte är "färdigutvecklade", kan man nog inte förvänta sig en större ökning av densiteter och kapaciteter.

Ett intressant alternativ härvidlag är fältbrikettering. Med denna metod uppnås en hög densitet på ett tidigt stadium i hanteringskedjan. Trots att kapaciteten är relativt låg jämfört med balpressarna, blir kostnaderna inte avskräckande. Det återstår dock mycken forskarmöda innan maskinen fungerar tillfredsställande. Andra tveksamheter är om den blir för tung för våra blöta höstfält, och kravet på optimal vattenhalt.

Det ska påpekas att kostnaderna för fältbrikettering är osäkra, eftersom maskinen inte har prövats i praktisk drift någon längre tid. Underlaget för beräkningarna bygger på många uppskattningar. Siffrorna ska därför kanske tas med en "nypa salt", åtminstone tills man kunnat göra en mer noggrann kostnadsanalys.

Även om viljan och intresset för halmbärgning finns hos många lantbrukare, tror jag att bärgningen bör utföras av en entreprenör. Detta av främst två skäl; många av lantbrukarna har inte tid för halmbärgning i denna bråda höstperiod, och maskinerna kan utnyttjas mer av en entreprenör, vilket sänker kostnaderna. Enligt figur 52 i kapitel 9 sjunker pressningskostnaden kraftigt vid 100-150 timmar per år. Längre årlig drifttid minskar kostnaderna endast marginellt.

Kalkylerna för de olika lagringsmetoderna uppvisar stora skillnader. Det skiljer t ex 9,5 öre/kg mellan lagring utomhus och lagring i hall för högdensitetsbalar (ev kassationsförluster ej medräknade). Lagring utomhus är därför ett alternativ som borde utredas mera.

Vid beräkningarna av lagringskostnaderna antogs det att väggarna krävde förstärkning för att tåla sidkrafterna vid lagring av hackelse och briketter. Det går naturligtvis att lagra hackelse och briketter utan förstärkta väggar, men utrymmet utnyttjas då sämre. Det är möjligt att kostnaderna blir lägre om lagring sker utan förstärkta väggar.

De erfarenheter som finns inom träbrikett- och foderpellettindustrin visar att det tekniskt sett inte finns några hinder för förädling av halm. Kostnaderna blir emellertid höga, och man får nog tillstå att dessa processer inte är konkurrenskraftiga idag.

Vid bedömning av det mest lämpliga hanteringssystemet finns det många faktorer att ta hänsyn till. Det gäller att försöka skaffa sig en helhetsbild över kostnader, arbetsbehov, kapacitet etc. Beräkningarna av energibalanserna visar att energiåtgången för halmens bärgning har en underordnad betydelse vid utformningen av den mest lämpliga hanteringskedjan.

Växtnäringsvärdet visavi kostnaderna för nedbrukning har diskuterats tidigare i denna studie. Är halmskörden låg och man ändå har en hack på trösken, kan det ifrågasättas om kostnaderna för nedbrukning motsvarar växtnäringsvärdet. Om man å andra sidan antar att växtnäringsvärdet är lika stort som kostnaderna för nedbrukning, kan det ge motivering för att inte betala lantbrukaren för halmen. Detta skulle medföra att intresset för att leverera halm minskar. Om lantbrukaren upplåter fältet för halmbärgning, riskerar han att få höstsådden försenad. Det vore kanske bättre att betala lantbrukaren för den risk han tar då halmen lämnas för bärgning?

Till sist: halm är en viktig energiresurs som vi inte får förbise!

## 11 SAMMANFATTNING

Syftet med denna studie har varit att kartlägga halmens väg från fältet till värmeverket.

Olika system för bärning av halm har studerats. Teknik för bärning beskrivs, liksom kapaciteter och resulterande materialformer. I tabell 27 visas en sammanställning över de mest intressanta bärningsmetoderna.

Tabell 27. Fakta om olika system för bärning av halm

	småbal	rundbal	högdens.- bal	hackelse	fält- brikett
Balmått, cm <sup>3</sup>	46*36* 100	120*Ø90- 180	120*130* 250	-	-
Absolut densitet, kg/m <sup>3</sup>	90-100	100-110	130-160	-	500-600
Skrymdensitet, kg/m <sup>3</sup>	70-90	70-90	120-150	40-70	300-350
Presskapacitet, ton/timme	4-6	4-6	10-14	3-6	3-5
Arbetsbehov <sup>1)</sup> , manminuter/ton	40-50	20-25	12-16	20-40	15-25
Totalt energibehov <sup>2)</sup> , MJ/ton	130	170	170	230	650

1) Gäller fram till säsongslagret

2) Direkt och indirekt mekanisk energi fram till säsongslagret

En översikt över de vanligaste sätten att lagra halm inom- och utomhus presenteras. Kostnaderna har beräknats, och resultaten visar att det föreligger stora skillnader mellan lagringsmetoderna. Utveckling av lämpliga metoder för utomhuslagring kan därför medföra en icke oväsentlig minskning av de totala kostnaderna.

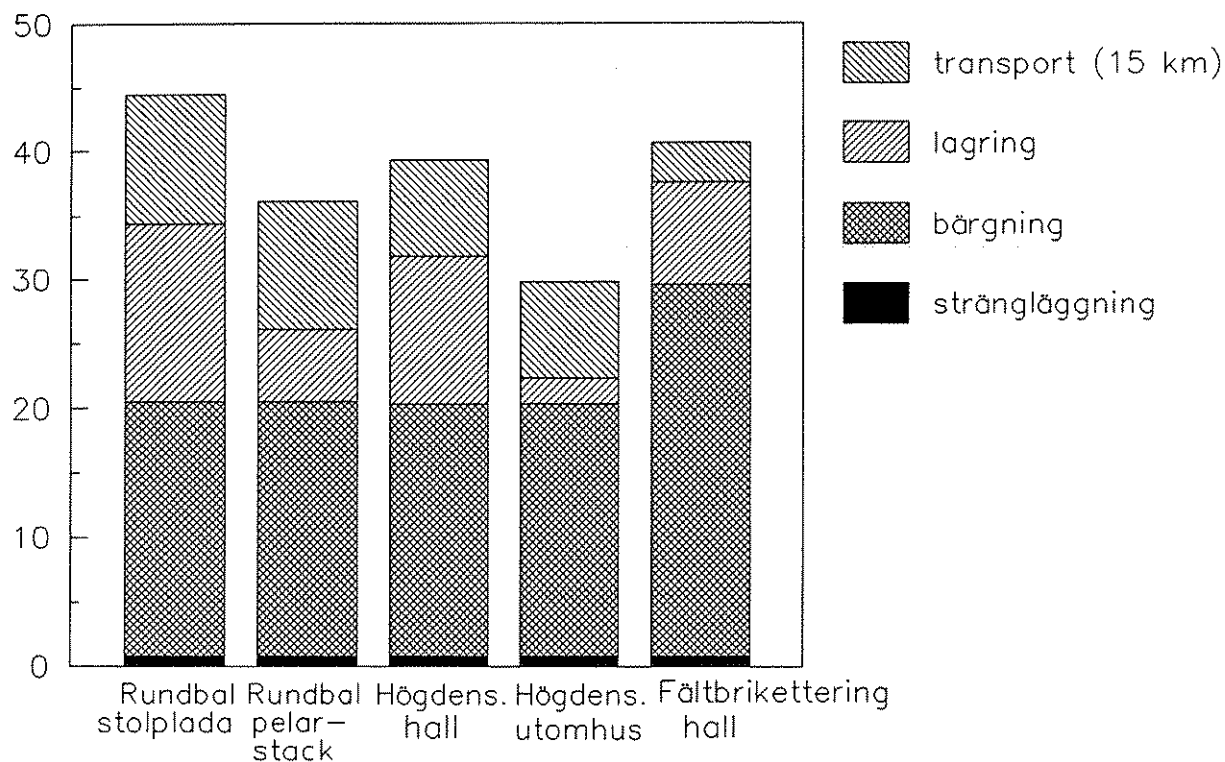
Förädling av halm syftar till att ge bränslet sådana egenskaper att transport, lagring och förbränning förenklas. Teknik för tillverkning, transport och lagring av briketter och pelletter redovisas översiktligt. Studien visar att de erfarenheter som finns inom träbrikett- och foderpellettindustrin går att tillämpa även för tillverkning av briketter/pelletter av halm. Pulvrisering är även ett tänkbart alternativ som hittills inte varit aktuellt för halm. Uppskattningar av kostnaderna visar dock att förädlingsprocesserna knappast är aktuella idag.

Direkta och indirekta energibehov har beräknats för olika led i hanteringskedjorna. Beräkningarna visar att det totala energibehovet för att få halmen levererad till förbrukaren motsvarar 2-8 % av halmens värmevärde. Det är således ur energisynpunkt synnerligen lönsamt att bärga halm.

Kostnadskalkyler har upprättats för att utröna vilka metoder som kan vara lämpliga för storskalig halmbärning. Beräkningarna visar att det är möjligt att leverera halm till värmeverk för ca 35 öre/kg (exkl växtnäringvärde och vinst). I figur 55 redovisas kostnader för några halmbärningssystem.



Kostnad (öre/kg)



Figur 55. Kostnader för hela halmbärningssystem vid olika lagringsalternativ (exklusive ev växtnäringsvärde, påslag för administration och vinst samt hantering vid värmeverk).

För närvarande dominerar rundbalar och rektangulära högdensitetsbalar som hanteringsformer vid storskalig halmbärning. Fältbrikettering, men även lös halm i form av hackelse, är intressanta alternativ inför framtiden.

## 12 LITTERATUR

- Ahokas, J. 1983. cit. Jonsson, N. 1985. Kalluftstorkning av halm. Uppsala. Jordbruks-  
tekniska institutet. JTI-rapport 64. 82 s.
- Agropack broschyr. 1991. Finn Andresen, Odense.
- Andersdotter, M. 1983. Pulverbränslen. Framställning och användning. Uppsala. Sveri-  
ges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Seminarieuppsats Tt  
4, opubl.
- Andersdotter, M. 1984. Brikettering och torkning av energigräs. Inledande studier år  
1983. Uppsala. Jordbrukstekniska institutet. JTI-rapport 55. 71 s.
- Andersson, K.G. & Eliasson, S.-E. 1985. Tillverkning, lagring, distribution och eldning  
av halmpellets. Stockholm. Statens energiverk. Projektrapporter EO-85/7.
- Axenbom, Å., Claesson, S., Nilsson, B. & Roos, J. 1988. Handla med beräkning - en enkel  
metod att välja rätt maskin. Uppsala. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen  
för lantbruksteknik. Institutionsmeddelande 88:01. 17 s + bilagor.
- Axenbom, Å. & Kristensson, N. 1991. Transportkostnaderna påverkar ekonomin för  
leverantörer och för värmeverk. Uppsala. Sveriges lantbruksuniversitet, Institu-  
tionen för lantbruksteknik. Opublicerat.
- BALA broschyr. 1991. BALA industri, Nossebro.
- Bengtsson, N. 1979. Höhantering. Inkörning - avlastning - fördelning. Uppsala. Jord-  
brukstekniska institutet. Meddelande nr 381.
- Björklöf, L. 1978. Halm, användning, bärgning, lagring och transport. Helsinki. Työte-  
hoseuran julkaisu nr. 209. 165 s.
- Blackbeard, J. 1990. Wafering could extend use of straw. *Arable Farming*, 17(2). s. 38.
- Brandemuehl, S.L., Straub, R.J., Koegel, R.G., Shinnors, K.J. & Fronczak, F.J. 1988.  
Radial drying of high moisture, large round hay bales. St. Joseph, Michigan. ASAE  
paper no 88-1066.
- Brundin, S. 1986. Fastbränslesystem för halm och energigräs. Beskrivning av beräk-  
ningsmodeller. Uppsala. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekonomi  
och statistik. Småskriftserien nr 24.
- Brundin, S. 1988. Fastbränslen från jordbruket. Kostnadsberäkningar för halm- och  
gräsbränslesystem. Uppsala. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för eko-  
nomi. Rapport 2. 63 s.
- Bull, D.A. 1986. Straw densification for transport and use: baling and handling straw.  
*The Agricultural Engineer* 41(4), s. 131.
- Busse, W. 1966. Das Verdichten von Halmgut mit hohen Normaldrucken. Düsseldorf.  
VDI-Tagungsbericht R 14, nr 1.
- Busse, W. 1986. Was kostet die Strohbergung? *Landtechnik* 41(1986)6, s. 272.

- Butterworth, B. 1985. The straw manual. A practical guide to cost-effective straw utilization and disposal. London. E. & F.N. Spon.
- Claas broschyr. 1991.
- Clegg, J.M. & Noble, D.H. 1987. A cost model of straw conservation systems. The Agricultural Engineer, 42(1987)1, s. 15.
- Databok för driftsplanering. 1989. Uppsala. Sveriges lantbruksuniversitet. Speciella skrifter 37.
- Effektivt Landbrug. 1990. Nr 23, 1990, s. 4.
- Eliasson, S.-E. & Nilsson, C. 1985. Som pelletter blir halmen hanterlig. Sveriges lantbruksuniversitet, Biomassa & energi, (1985)3, s. 5.
- Eriksson, I. & Zetterberg, G. 1981. Fältmaskiner i jordbruket. Stockholm. LTs förlag.
- Fodgård, S. 1985. Økonomien ved bjærgning og lagring af halm. Fredriksberg. Statens Jordbrugsøkonomiske Institut. Rapport nr 24. 107 s.
- Gavelin, G. 1979. Halm som råvara inom skogsindustrin. Stockholm. Ingenjörsvetenskapsakademien. Rapport 169. s. 15-31.
- Grays broschyr. 1991. Grays of fetterangus, Aberdeenshire, Storbritannien.
- Gunnarsson, S. & Lundin, G. 1984. Fastbränslen från jordbruket. Delrapport: Databaser för energihalm, energigräs och energiskog. Uppsala. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för ekonomi och statistik. Rapport 229.
- Gylling, M. 1983. Brikettering af halm til brændselsformål. Tåstrup. Den kgl. veterinær- og landbohøjskole, Jordbrugsteknisk institut. Meddelelse nr 42. 82 s.
- Haag, A. 1987. Halmeldning SL. Stockholm. Statens energiverk. Projektrapporter FBT-87/20.
- Hadders, G. 1988a. Hantering av rundbalar i pelare. Uppsala. Jordbrukstekniska institutet. Teknik för lantbruket 13.
- Hadders, G. 1988b. Komprimering av halm i rundbalar. Uppsala. Jordbrukstekniska institutet. JTI-rapport 98. 32 s.
- Hadders, G. 1988c. Väderkänsligheten hos halm i rundbalar lindade med garn, nät och folie. Uppsala. Jordbrukstekniska institutet. JTI-rapport 89. 36 s.
- Hadders, G. 1989. Skörd, lagring och hantering av gräs för förbränning. Uppsala. Jordbrukstekniska institutet. Meddelande nr 426. 59 s.
- Hansen, M.W., Hansen, A., Jensen, L.R. & Nielsen, C. 1987. Forundersøgelse af halmfyrede kraftvarmeværker. DK-teknik, Danmark. 78 s. + bilagor.
- Hemming, J.-G. 1980. Lastbilstransport av rundbalad halm. Stuvningsgeometri och lastförmåga. Skaraborgs läns hushållningssällskaps tidning, (1980)2, s. 20.

- Hemming, J.-G. & Lundin, G. 1986. Vinterlagring i det fria av ureabehandlade fuktiga halmrullar. Jordbrukstekniska institutet. JTI-rapport 73. 44 s.
- Hemming, J.-G. 1990. Halm för energi och industri. Praktiska erfarenheter av bärgning och lagring. Uppsala. Sveriges lantbruksuniversitet, Konsulentavdelningen. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 386.
- Holmqvist, R. 1979. Vägglös stolplada. Uppsala. Lantbrukshögskolan. Aktuellt från lantbrukshögskolan 233.
- Jenkins, B.M., Toenjes, D.A., Dobie, J.B. & Arthur, J.F. 1982. Large bale systems for harvesting rice straw. St. Joseph, Michigan. ASAE paper no 82-3588.
- John, G. 1989. Systematik und Tendenzen der Press- und Bindeverfahren für die Halmguternte. Agrartechnik 39(1989)1, s. 17.
- Jonsson, H. 1985. Pelletering av biobränsle. En nulägesrapport. Uppsala. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik. Rapport 103. 54 s.
- Jonsson, N. 1985. Kalluftstorkning av halm. Uppsala. Jordbrukstekniska institutet. JTI-rapport 64. 82 s.
- Klinner, W.E. 1978. Some practical problems of straw densification and recovery. Published in Conf. Rep. Straw Utiliz., Oxford, 1978 pp 7-10.
- Kolloch, P., Ortmaier, E. & Schmittinger B. 1988. Die Wirtschaftlichkeit der Herstellung von Presslingen aus Stroh, Rinde etc. zur Verfeuerung in kleineren Heizungsanlagen. Berichte über Landwirtschaft 66(1988)4, s. 610.
- de Koning, K., Edens, F.J. & Leeuwerke, H.B. 1978. Werkmethoden bij het verzamelen van stro- en hooipakken. Wageningen. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen. Publikatie 111. 48 s.
- de Koning, K. 1981. The Freeman system: a fully mechanized harvesting system for straw bales. Wageningen. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen. Research Report 81-5. 28 s.
- de Koning, K. & van Elderen, E. 1981. Delay of straw baling caused by the ratio of baler to combine capacities. Wageningen. Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen. Research Report 81-2. 6 s.
- Kudsk, K. 1985. Optimal pladsudnyttelse ved transport af storballer. Jordbrugsteknisk institut K.V.L. København.
- Landsforeningen danske maskinstationer. 1989. Halmbjærgning 1989.
- Lin-ka broschyr. 1991. Danmark.
- Lundin, G. 1984. Underlag för bestämning av leveranssäkerhet och erforderlig maskinsats vid halmbärgning. Uppsala. Jordbrukstekniska institutet.
- Marks, J. 1990. Träpulver - ett förädlad trädbränsle. Garpenberg. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och resultat nr 182. 24 s. + bilagor.

- Molitorisz, J. & Buchele, W. 1987. The plungerless large rectangular baler. St. Joseph, Michigan. ASAE paper no 87-1072.
- Neale, M. 1986. Straw compaction research. *The Agricultural Engineer*, 41(1986)4, s 126.
- Neale, M. 1989. Research and development for on-farm straw packaging machines. *Agricultural progress. The Journ. of the Agric. Educ. Ass.*, Volume 64.
- Nielsen, V. 1985. Håndtering af halm. Horsens. Statens jordbrugstekniske forsøg. Beretning nr 25. 68 s.
- Nielsen, V. 1986. Bjaergning af halm. Köpenhamn. Halmens Hvem-Hvad-Hvordan. Udgivet af Tolvmandsforeningerne.
- Nilsson, C. & Westgren, L. 1986. Mobil halmbriketteringsanläggning. Stockholm. Statens energiverk. Projektrapporter EO-86/11.
- Nilsson, C. & Ekström, N. 1982. Halm som bränsle. Bakgrund och systemlösningar. Lund. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik. Specialmeddelande 114.
- O'Dogherty, M.J. & Gilbertson, H.G. 1988. The relationship between bulk density and median chop length of chopped wheat straw samples. *Journal of Agric. Engineering Research* 40(1988)4, s. 245.
- Pedersen, T. 1983. Supply and harvesting of straw. Energy management and agriculture - Proceedings of the first international summer school in agriculture, July 1981, Dublin, Irland.
- Persson, K. & Have, H. 1980. Håndtering og lagring af snittet halm til fyringsformål. Tåstrup. Den kgl. vetrinär- og landbohøjskole, Jordbrugsteknisk institut. Meddelelse nr 38. 71 s.
- Petterson, I. 1984. Halmhantering - Helsingborg. Stockholm. Statens energiverk. Projektrapporter EO-84/2.
- Plue, P.S. & Bilanski, W.K. 1990. Results of on-farm drying of large round bales. St. Joseph, Michigan. ASAE paper no 90-1051.
- Praks, O. & Hadders, G. 1991. Mobil anläggning för halmbrikettering. Stockholm. Statens energiverk. Projektrapporter EO 91/2.
- Projekt Agrobioenergi. 1986. Uppsala. Sveriges Lantbruksuniversitet & Jordbrukstekniska institutet. Bränslen från jordbruksgrödor. Rapport för etapp 5. 125 s.
- PoD-rapportering. 1985. Statens energiverk. Nr 3/85.
- Power Farming. 1989. November 1989, s. 51.
- Renborg, U. & Uhlin, H.-E. 1975. Resursflöden i svenskt jord- och skogsbruk 1956 och 1972 med tonvikt på energiströmmar. Uppsala. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekonomi och statistik. Rapport nr 64 och 65.

- Schmidt, F., Mogensen, S. & Bentsen, Th. 1984. Briketter af halm. Kolding. Bioteknisk institut. Beretning nr 116. 21 s.
- Schulz, H. 1985. Ein Drittel mehr Leistung durch Rundballen im Netz. Top agrar 6/1985, s. 64.
- SMS. 1984. Svensk Mekanstandardisering. Svensk standard SS 18 71 06. SMS reg. 120.0106.
- Stromeyer, H. 1990. Lagerung und Konservierung von Quadergrossballen aus Halmgut. Agrartechnik 40(1990)3, s. 120.
- Sumner, H.R., Hellwig, R.E. & Monroe, G.E. 1984. Storage of biomass fuels in round bales. St. Joseph, Michigan. ASAE paper no 84-3067.
- Sundberg, M. 1986. Resultat från datorsimulering av skulltorkning. Uppsala. Jordbrukstekniska institutet. Rapport 74.
- Svensson, K. 1971. Pressmetoder. Uppsala. Lantbrukshögskolan, Inst. för arbetsmetodik och teknik. Kurs-PM, Tm 3, opubl.
- Teknik i jord och skog. 1988. Nr 10, s. 6.
- Uebe, N. 1990. Praktische Erfahrungen bei der Strohernte mit Rundballenpressen. Agrartechnik 40(1990)3, s. 116.
- Uebe, N. & Sorge, R. 1979. Erste Untersuchungsergebnisse zur Lagerung und Pelletierung von Kurzhäckselstroh. Agrartechnik 29(1979)10, s. 441.
- Videncenter for halm- og flisfyring. 1989. Halmhåndtering. Teknik, økonomi og organisation. Danmark.
- Voss, H. 1970. Ermittlung von Stoffgesetzen für Halmgut. Dissertation, Technische Hochschule, Braunschweig.
- Wilen, C., Ståhlberg, P., Sipilä, K. & Ahokas, J. 1984. Pelletization of straw. Proceedings of Bioenergy 84 in Gothenburg. Volume III.
- Wilton, B. 1984. The development of furnace/heat exchanger systems in which chopped cereal straw is the fuel. Energy from biomass - Proceedings of the workshop and EC contractors meeting, Capri, 7-8 June 1983. Series E, Volume 5.
- Wolf, K. 1986. Rund oder eckig - klein oder gross? Agrartechnik, 1986 (4), s. 169.
- Åbom, J. 1982. Träpulver. Stockholm. Nämnden för energiproduktionsforskning. Projektresultat NE 1982:18. 57 s.

Personliga meddelanden och korrespondens:

- Axenbom, Åke. 1991. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, Uppsala.
- Biobrik. 1991. Herrljunga.

Hemming, J.-G. 1991. Lantbruksnämnden, Skara.

Neale, Mike. 1991. AFRC, Silsoe, Storbritannien.

Leire, Rolf. 1991. Lantbruk Värme AB, Svalöv.

### 13.1 Bilaga 1

#### Traktorkostnader

	55 hk	70 hk	100 hk (4-W)	140 hk (4-W)
Återanskaffningsvärde, kr	150000	220000	360000	450000
Användningstid, timmar/år	500	600	600	600
Kapitalkostnader, kr/år	18450	27060	44280	55350
Skatt, försäkring och underhåll, kr/år	9450	16500	27000	33750
Timkostnad (exkl bränsle och förare), kr/timme	56	73	119	148

För samtliga traktorer gäller följande:

Avskrivningstid: 10 år

Realränta: 6 %

Restvärde: 10 % av återanskaffningsvärdet

Källor:

Lantbruksnämndens kalkylexempel för maskinarbeten, 1990.  
Axenbom et al, 1988.



## 13.2 Bilaga 2

### Uppsamlingskostnader

	Hög- dens.	Rundb.	Småb.	Last.v.	Exakth.	Fältbr.
Återanskaffn.värde, kr	510000	130000	125000 <sup>1</sup>	130000	140000	500000
Avskrivn.tid, år	6	8	8	8	8	6
Kapacitet, ton/timme	12	5,4	4,6	4,4	4,9	4,0
Bränslebehov, liter/timme	19	8	8	10	15	47
Skatt och försäkringsfak- tor	1	1	1	1	1	2
Underhållsfaktor	0,75	0,75	0,75	0,85	0,70	0,30
Traktorkostnad, kr/timme	148	73	73	73	199 <sup>2</sup>	119
Arbetskraft, antal pers.	1	1	1	1	1	1
Garnkostnad, kr/ton	11	13	19	-	-	-
Kostnad, öre/kg vid 150 timmars användn./år	12,2	9,4	11,2	10,4	12,2	28,8

1) inkl balkastare och vagn

2) inkl en vagn

Följande förutsättningar gäller:

Realränta: 6%

Restvärde: 10 %

Arbetskostnad: 113 kr/timme

Bränslepris: 3 kr/liter

Källor:

Axenbom et al, 1988.

Blackbeard, 1990.

BP, 1991.

Fiatagri, 1991.

Fodgård, 1985.

Lantbruksnämndens maskinkalkyler, 1990.

Leire, 1991.

Konsulenttjensten, 1989.

Neale, 1991

Nielsen, 1985.

### 13.3 Bilaga 3

#### Insamling av storbalar

Återanskaffn. värde (kr):	72000 (högdens.balar), 65000 (rundbalar)
Avskrivningstid (år)	8
Realränta (%)	6
Försäkringsfaktor	1
Underhållsfaktor	0,3
Kapacitet (ton/timme)	15 (högdens.balar), 11 (rundbalar)
Traktorkostnad (kr/timme)	73
Arbetskostnad (kr/timme)	113
Bränsleåtgång (liter/timme)	8
Restvärde (%)	10
Kostnad, öre/kg	2,2 (högdens.balar), 3,2 (rundbalar)

#### Källor:

Axenbom et al, 1988.

BP, 1991

Lantbruksnämndens maskinkalkyler, 1990

Nielsen, 1985

## 13.4 Bilaga 4

### Lagringskostnader

	högden sbalar	rundba lar	småbal	hackel- se	briket- ter
lagringsdensitet	115	70	80	70	450

Hall. 15\*40\*5 m<sup>3</sup>. Oisolerad 550 kr/m<sup>2</sup> inkl montering. Grusgolv 200 kr/m<sup>2</sup>. Avskrivningstid 30 år. Försäkring 1 % av invest.kostnaden. Underhåll 1,5 % av invest.kostnaden.

Stolplada. 10\*15\*5m<sup>3</sup>. Investering 60000 kr. Avskrivningstid 15 år. Underhåll mm 2,5 % av invest.kostnaden.

Presenning. PVC-belagd polyesterväv, investering 37 kr/m<sup>2</sup>. Avskrivningstid 5 år. Nit-tonpelarstack, rymmande 18 ton; arbete tillsyn och täckning 0,15 timme/ton (exkl stapling). Högdensitetsbalar, stack innehållande 100 ton; arbete tillsyn och täckning 0,02 timme/ton (exkl stapling).

Plast. Täckfolie, 3,0 kr/m<sup>2</sup>. Håller ett år. Arbete tillsyn och täckning (exkl stapling) 0,15 timme/ton.

Utomhus. Underlag 500 kr/m<sup>2</sup>. Avskrivningstid 20 år. 1100 kg/m<sup>2</sup>.

För alla alternativ gäller:

Ränta: 6%.

Arbetskostnad: 113 kr/timme.

Källor:

Andersson & Eliasson, 1985.

BALA, 1991.

Brundin, 1986.

Databoken, 1989.

Fodgård, 1985.

Fredriksson, 1991.

Lantbruksnämnden, 1990.

Meko byggplåt, 1991.

Mälardalens lantmän, 1991.

Thellesen & Jams, 1989

Videncenter, 1989.