



Rapport



# Pelletering och brikettering av jordbruksråvaror - En systemstudie

*Processing biofuels from  
farm raw materials  
- A systems study*

Daniel Nilsson  
Sven Bernesson

Institutionen för energi och teknik  
Department of energy and technology

Report 001  
ISSN 1654-9406  
Uppsala 2008





Rapport



# Pelletering och brikettering av jordbruksråvaror - En systemstudie

*Processing biofuels from  
farm raw materials  
- A systems study*

Daniel Nilsson  
Sven Bernesson

Institutionen för energi och teknik  
Department of energy and technology

Report 001  
ISSN 1654-9406  
Uppsala 2008



## SAMMANFATTNING

Förädlade bibränslen, såsom pellets och briketter, har haft en mycket stark utveckling i Sverige under de senaste decennierna, främst som ersättning för fossila bränslen i större pannor, till exempel i kolpulverpannor. Under senare år har även villa- och närvärme-marknaderna ökat mycket starkt beroende på konvertering från eldningsolja. Det ökade intresset för att elda med pellets och briketter har lett till att det börjat bli brist på de traditionella råvarorna sågspån och kutterspån. Det har därför blivit intressant att använda olika jordbruksprodukter som råvaror. Exempel på sådana råvaror är odlade energigrödor (salix, rörflen, hampa), och rest- och biprodukter från jordbruket (halm, spannmålsavrens, rapsmjöl, drank).

Syftena med denna studie var: att beskriva typiska system som används idag för produktion av pellets och briketter, att undersöka möjligheterna att använda energigrödor (salix, rörflen, hampa) och olika rest- och biprodukter från jordbruksprodukternas vidareförädling (halm, avrens, rapskaka/rapsmjöl, drank) som råvaror, att undersöka tidigare erfarenheter från pelletering och brikettering av dessa råvaror och att översiktligt identifiera eventuella förbränningsproblem som kan uppkomma, samt att ge förslag på tänkbara produktionssystem i ett 5-års perspektiv och beräkna kostnaderna och energiåtgången för dessa system. Dessa framtids-scenarier innefattar såväl storskaliga anläggningar som ”miniskaliga” med stationär och mobil utrustning.

De fem viktigaste slutsatserna från studien är:

- De mest intressanta jordbruksråvarorna för storskalig produktion av pellets är salix och rörflen. De har konkurrenskraftiga priser och acceptabla bränsleegenskaper och bör med fördel kunna blandas in med sågspån i befintliga storskaliga pelletsfabriker i landet.
- Halm har låg produktionskostnad men kan ge allvarliga ask-relaterade problem. Hampa har för höga produktionskostnader för att vara kommersiellt intressant, medan drank och rapsmjöl för närvarande har ett betydligt högre alternativvärde som proteinfoder. Avrens kan vara en lämplig råvara, förutsatt att den endast utgör en mindre andel i en mix med andra mer problemfria råvaror.
- Produktionsskalan har stor betydelse för produktionskostnaderna. I de storskaliga anläggningarna utnyttjas bl a den maskinella utrustningen mycket mer effektivt än i mindre anläggningar, vilket innebär att kostnaderna blir lägre.
- Småskalig pelletering, både stationär och mobil, förutsätter billiga råvaror och ett högt utnyttjande för att vara lönsam. I de flesta fall är det mer kommersiellt gångbart att brikettera istället.
- Energiåtgången för att tillverka pellets från torra jordbruksprodukter är generellt inte högre än när fuktig sågspån används som råvara. Visserligen krävs mer energi för odling och transporter, men utebliven torkning gör att den totala energiåtgången ofta blir lägre. Blöta råvaror som direktskördad salix och drank kan däremot ge högre energiåtgång.



## ABSTRACT

Use of processed biofuels (pellets, briquettes) has greatly increased in Sweden in recent decades, mainly to replace fossil fuels in large boilers, e.g. in coal powder boilers. More recently, the demand from private households and residential heating systems has also increased, mainly due to conversion from fossil heating oil. This increased interest in pellets and briquettes for heating is beginning to cause a shortage of the traditional raw materials, sawdust and wood shavings, and therefore attention is turning to using a variety of agricultural products as raw material. Such raw materials include cultivated energy crops and wastes and by-products from agriculture.

This study describes the typical systems currently used for production of pellets and briquettes and investigates the possibility of using energy crops (Salix, reed canary-grass and hemp) and various wastes and by-products from processing of farm products (straw, cereal screenings, rape-seed meal and distiller's waste) as raw materials. Previous experiences of pelleting and briquetting of these raw materials are reviewed in order to comprehensively identify possible combustion problems that may occur. On the basis of the results obtained, scenarios for possible production systems in a five-year perspective are presented and the costs and energy demands for these systems calculated. These future scenarios include large-scale plants and micro-scale plants, as well as static and mobile equipment.

The five main conclusions from the study are:

- The farm raw materials of greatest interest for large-scale production are pelleted Salix and reed canary-grass. They have competitive prices and acceptable fuel properties and could be mixed with sawdust in existing large-scale pelleting factories in Sweden.
- Straw has low production costs but can cause serious ash-related problems. Hemp has too high production costs to be of commercial interest, while distiller's waste and rape-seed meal currently have a higher alternative value when used as protein feed. Cereal screenings can be a suitable raw material provided that they only make up a minor proportion in mixtures with other more problem-free raw materials.
- The scale of production has a great influence on production costs. In large-scale plants, the machinery and equipment, etc. are used much more efficiently than in smaller plants, which results in lower costs.
- Small-scale pelleting, both static and mobile, requires cheap raw materials and a high through-put to be profitable. In most cases, briquetting would be more commercially viable.
- The energy consumption in manufacturing pellets from dry farm by-products is generally no higher than when moist sawdust is used as the raw material. More energy is admittedly required for cultivation and transport of farm by-products, but since there is no need for drying the total energy consumption is often lower. However, wet raw materials such as fresh Salix and distiller's waste can increase the total energy consumption.





## **FÖRORD**

Intresset för att elda med pellets och briketter har ökat kraftigt under senare år. Efterfrågan har varit så stark att det har uppstått en bristsituation när det gäller de traditionella råvarorna sågspån och kutterspån. Detta har lett till att nya råvaror från bl a jordbruket har börjat bli intressanta. Föreliggande kunskapssammanställning av kostnader och energiåtgång vid pellettering och brikettering av jordbruksråvaror har därför tagits fram för att finna den råvarubas och de produktionssystem som har potential att bli konkurrenskraftiga i framtiden.

I projektet har Lars Lindquist, Lantmännen Agroenergi AB, och Per-Anders Hansson, Institutionen för energi och teknik, SLU, medverkat. Vi vill tacka dem för deras insatser. Vi vill även framföra ett tack till Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF), som har finansierat studien.

Uppsala i mars 2008

Daniel Nilsson och Sven Bernesson



## INNEHÅLL

1. INLEDNING .....	11
1.1. Bakgrund .....	11
1.2. Syfte och avgränsningar .....	12
2. MARKNADSÖVERSIKT .....	13
2.1. Pellets i Sverige .....	13
2.2. Briketter i Sverige .....	15
2.3. Förädlade bränslen i andra länder .....	15
3. PELLETS OCH BRIKETTER FRÅN SKOGSRÅVAROR .....	18
3.1. Definitioner och standarder .....	18
3.2. Råvaruframställning .....	19
3.3. Tillverkning av pellets .....	21
3.3.1. Tillverkningsprocesser .....	21
3.4. Tillverkning av briketter .....	28
3.5. Bränsleegenskaper .....	30
3.6. Råvarukostnader och energiåtgång .....	31
4.1. Odling, skörd och hantering .....	33
4.2. Bränsleegenskaper .....	34
4.3. Pelletering/brikettering av salix .....	35
4.4. Råvarukostnader och energiåtgång .....	36
5. HALM SOM RÅVARA .....	39
5.1. Skörd och hantering .....	39
5.2. Bränsleegenskaper .....	40
5.3. Pelletering av halm .....	42
5.3.1. Erfarenheter av halmpelletering i Sverige .....	42
5.3.2. Utländska erfarenheter .....	43
5.4. Brikettering av halm .....	45
5.4.1. Erfarenheter från halmbrikettering .....	45
5.4.2. Fältbrikettering .....	47
5.5. Råvarukostnader och energiåtgång .....	48
6. RÖRFLEN SOM RÅVARA .....	52
6.1. Odling, skörd och hantering .....	52
6.2. Bränsleegenskaper .....	53
6.3. Pelletering av rörflen .....	55
6.4. Brikettering av rörflen .....	56
6.5. Råvarukostnader och energiåtgång .....	57
7. HAMPA SOM RÅVARA .....	60
7.1. Odling, skörd och hantering .....	60
7.2. Bränsleegenskaper .....	61
7.3. Pelletering/brikettering av hampa .....	62
7.4. Råvarukostnader och energiåtgång .....	63
8. AVRENS SOM RÅVARA .....	66
8.1. Produktion och tillgångar .....	66
8.2. Bränsleegenskaper .....	66
8.3. Pelletering/brikettering av avrens .....	67
8.4. Råvarukostnader och energibehov .....	68
9. RAPSRESTER SOM RÅVARA .....	69
9.1. Produktion och tillgångar .....	69
9.2. Bränsleegenskaper .....	70

9.3. Pelletering av rapskaka/rapsmjöl .....	71
9.4. Råvarukostnader och energiåtgång .....	72
10. DRANK SOM RÅVARA .....	74
10.1. Produktion och tillgångar .....	74
10.2. Bränsleegenskaper .....	74
10.3. Pelletering av drank .....	76
10.4. Råvarukostnader och energibehov .....	77
11. RÅVARUTRANSPORTER .....	78
11.1. Beräkning av transportavstånd .....	78
11.2. Traktortransporter .....	79
11.3. Lastbilstransporter .....	80
11.4. Containertransporter .....	82
12. ASKEGENSKAPERNAS INVERKAN PÅ VAL AV SYSTEM .....	84
12.1. Askrelaterade förbränningsproblem .....	84
12.2. Askans kemiska innehåll .....	84
12.3. Riskbedömning med hjälp av nyckeltal .....	86
12.4. Riskbedömning med hjälp av tillståndsdigram .....	89
13. ANALYS AV NÅGRA FRAMTIDSSCENARIER .....	91
13.1. Allmänna förutsättningar .....	91
13.2. Storskaliga system (A) .....	92
13.2.1. Systembeskrivning och val av råvaror .....	92
13.2.2. A0. Referensscenario - sågspån och kutterspån som råvaror .....	93
13.2.3. A1. Sågspån och direktskördad salix som råvaror .....	96
13.2.4. A2. Sågspån och drank som råvaror .....	97
13.2.5. A3. Sågspån och rörflen som råvaror .....	98
13.2.6. Sammanställning .....	99
13.3. Mellanskaliga system (B) .....	100
13.3.1. Systembeskrivning och val av råvaror .....	100
13.3.2. B0. Referensscenario - kutterspån som råvara .....	101
13.3.3. B1. Kutterspån och rörflen som råvaror .....	103
13.3.4. B2. Kutterspån och rapsmjöl som råvaror .....	104
13.3.5. B3. Skottskördad salix och halm som råvaror .....	105
13.3.6. Sammanställning .....	106
13.4. Småskaliga system (C) .....	106
13.4.1. Systembeskrivning och val av råvaror .....	106
13.4.2. C0. Referensscenario - kutterspån som råvara .....	108
13.4.3. C1. Rörflen som råvara .....	109
13.4.4. C2. Hampa och rapskaka .....	109
13.4.5. C3. Hampa och avrens som råvaror .....	110
13.4.6. Sammanställning .....	110
13.5. Miniskaliga system inkl mobila anläggningar (D) .....	111
13.5.1. Systembeskrivning och val av råvaror .....	111
13.5.2. D0. Referensscenario - kutterspån som råvara .....	112
13.5.3. D1. Stationär pelletering av hackad halm, rörflen och hampa .....	113
13.5.4. D2. Stationär brikettering av hackad halm, rörflen och hampa .....	114
13.5.5. D3. Mobil pelletering av hackad halm .....	115
13.5.6. Sammanställning .....	117
14. SAMMANFATTANDE DISKUSSION .....	118
14.1. Potential för jordbruksråvaror .....	118
14.2. Förbränningsrelaterade problem .....	118

14.3. Val av råvaror.....	119
14.4. Produktionsformer.....	120
14.5. Energiåtgång.....	122
15. SLUTSATSER.....	124
REFERENSER.....	125
BILAGA 1. MASKINKOSTNADER.....	135
BILAGA 2. ENERGI I HANDELSGÖDSEL, BEKÄMPNINGSMEDEL OCH DRIVMEDEL .....	138
BILAGA 3. LAGERBYGGNADER.....	139
BILAGA 4. SALIX.....	141
BILAGA 5. HALMBÄRGNING.....	148
BILAGA 6. RÖRFLEN.....	153
BILAGA 7. HAMPAN.....	159



# 1. INLEDNING

## 1.1. Bakgrund

Biobränslen framstår som ett av de främsta alternativen till fossila bränslen med tanke på den stigande oron för följderna av växthuseffekten. Biobränslen betraktas som koldioxidneutrala, eftersom den koldioxid som frigörs vid förbränningen ”återanvänds” vid växternas fotosyntes. Andra fördelar med biobränslen är minskat beroende av importerade bränslen, ökad sysselsättning på landsbygden, stimulans av regionala/lokala ekonomier, etc.

Förädlade biobränslen, såsom pellets och briketter, har haft en mycket stark utveckling i Sverige under de senaste decennierna, främst som ersättning för fossila bränslen i större pannor, t ex i kolpulverpannor. Under senare år har även villa- och närvärmemarknaderna ökat mycket starkt beroende på konvertering från eldningsolja (Pelletsindustrin, 2008).

Fördelarna med att använda förädlade biobränslen istället för oförädlade är många. Några exempel är:

- \* högre energiinnehåll per volymenhet.
- \* mindre lagringsutrymmen krävs.
- \* lägre transport- och lagringskostnader.
- \* minskade variationer i bränslekvalitet, t ex när det gäller vattenhalt.
- \* en billigare och mindre komplicerad inmatningsutrustning kan användas.
- \* lättare att styra förbränningshastigheten.
- \* en jämnare inmatning, vilket leder till lägre emissioner av farliga ämnen.
- \* eldningen kan automatiseras i hög grad och innebär därför mindre skötsel och tillsyn.
- \* lättare att nedreglera pannan (ned till 10%) och därmed möjlighet till längre årliga driftstider.

Det ökade intresset för att elda med pellets och briketter har lett till att det redan börjat bli brist på de traditionella råvarorna sågspån och kutterspån. Utbudet av dessa råvaror, som är biprodukter från sågverk, snickerier, m m, beror bl a av konjunkturen inom sågverksbranschen. Idag utnyttjas praktiskt taget all sågspån och kutterspån i landet. Förutom för tillverkning av pellets och briketter, används dessa råvaror även för tillverkning av spånskivor och träfiberskivor, som strömedel för djur, samt för direkteldning vid sågverken (Energimyndigheten, 2003).

Den begränsade mängden skogsråvaror har, i kombination med stigande priser på pellets och briketter, medfört att det blivit intressant att använda olika jordbruksprodukter som råvaror. Exempel på sådana råvaror är odlade energigrödor (salix, rörflen, hampa), och rest- och biprodukter från jordbruket (halm, spannmålsavrens, rapskaka, drank).

Det finns dock många problem förknippade med dessa råvaror. De har t ex ofta en hög askhalt, och askan har dessutom ofta ett högt innehåll av t ex alkalimetaller och klor, vilket kan leda till problem med asksintring, korrosion och beläggningar. Råvarukostnaderna är också jämförelsevis höga, särskilt för de odlade grödorna, eftersom de kräver insatser i form av maskinell utrustning, gödsling, m m. En annan nackdel är att bulkdensiteten ofta är låg, vilket innebär att lagring och transporter blir dyra. Energiinsatsen för odling, hantering och förädling, i förhållande till det slutliga energiutbytet, är också en viktig faktor som man bör ta hänsyn till, inte minst ur resurssynpunkt. Innan man börjar använda dessa råvaror, är det därför

viktigt att man undersöker vilka möjligheter det finns att på ett mer optimalt sätt utnyttja dem, utgående från deras produktionskostnader, bränsleegenskaper och energibehov.

## 1.2. Syfte och avgränsningar

Syftet med denna studie var:

- att beskriva typiska system som används idag för produktion av pellets och briketter,
- att undersöka möjligheterna att använda alternativa råvaror för pelletering och brikettering. De råvaror som studerats är olika energigrödor (salix, rörflen, hampa) och olika rest- och biprodukter från jordbruksprodukternas vidareförädling (halm, avrens, rapskaka, drank),
- att undersöka tidigare erfarenheter från pelletering och brikettering av dessa råvaror, och att översiktligt identifiera eventuella förbränningsproblem som kan uppkomma, samt
- att ge förslag på tänkbara produktionssystem i ett 5-årsperspektiv och beräkna kostnaderna och energiåtgången för dessa system. Dessa framtidsscenarioer innefattar såväl storskaliga anläggningar som ”miniskaliga” med stationär och mobil utrustning.

Studien avgränsas till att endast omfatta råvaror från jordbruket, med de traditionella råvarorna sågspån och kutterspån som jämförelse. Alternativa råvaror från skogsbruket, t ex bark, grot, klenstammar, m m, ingår således inte. Vidare är studien inriktad på produktionssystemen. Distribution till slutkonsument, själva förbränningstekniken och val av panntyp (FB-panna, roster-panna, brännare, m m) behandlas endast när det är relevant med hänsyn till valet av produktionssystem.

Det finns en mängd olika variabler att ta hänsyn till, exempelvis olika råvaror (halm, rörflen, hampa, salix, avrens, rapskaka, drank), olika materialformer (högdensitetsbalar, rundbalar, hackat material, flis, buntar), olika lagringsformer (inomhus, utomhus utan täckning), olika produktionsskalor (storskalig, småskalig), olika anläggningstyper (stationär, mobil) och olika produkter (pellets, briketter). En strävan har därför varit att presentera resultaten så att man själv kan gå in och komponera en egen anläggning efter de lokala förutsättningarna och på så sätt få en grov uppskattning av kostnaderna och energiåtgången.

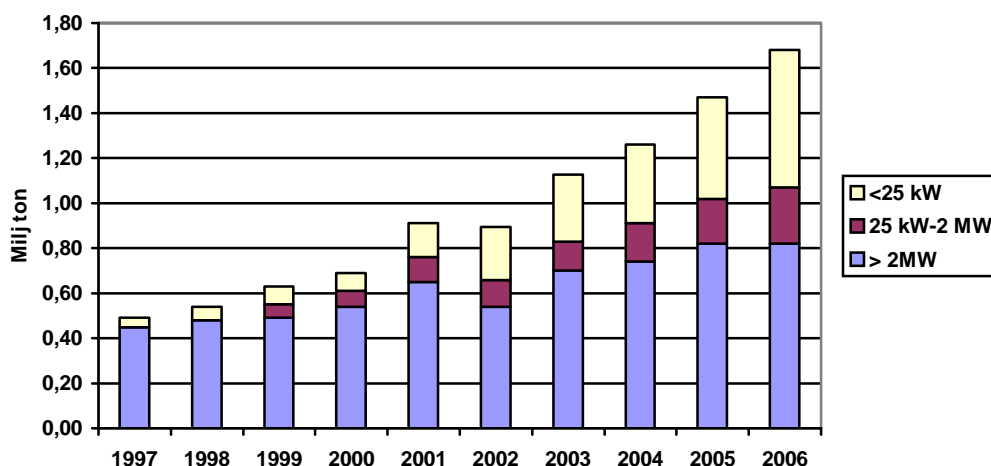


## 2. MARKNADSÖVERSIKT

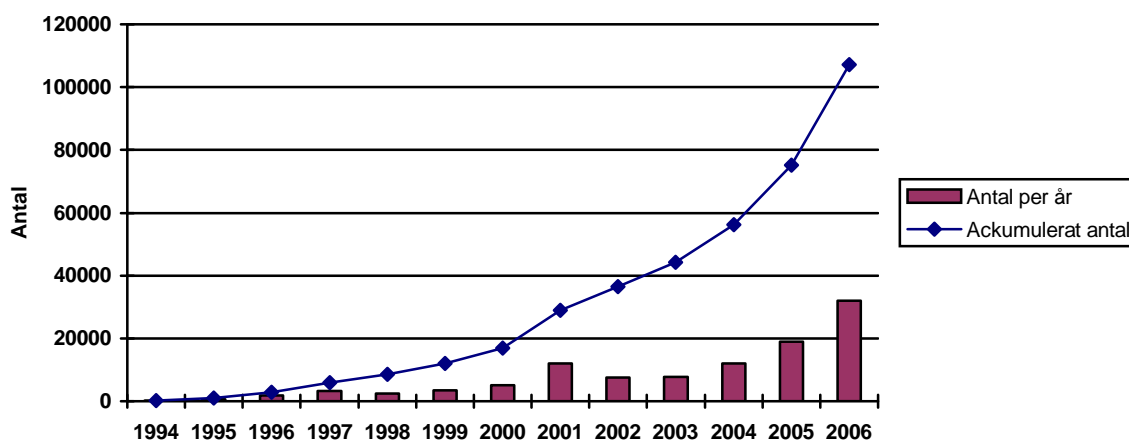
### 2.1. Pellets i Sverige

Under säsongen 1984-85 tillverkades totalt 14 000 ton pellets i Sverige av Bobergs valltork i Fornåsa, Mora Pellets AB i Mora, Nydo Energi i Vårgårda, Svenska Sockerfabriks AB i Köpingsbro, samt av Rydsgårds Jordbruks AB i Rydsgård (Jonsson, 1985). Produktionskapaciteten var 80 000 ton. Pelletsen användes främst i konverterade pannor i storleksklassen 0,15-1 MW. Tillverkningskostnaden var ca 570 kr/ton (efter pressen), och priset hos konsument knappt 800 kr/ton (Jonsson, 1985).

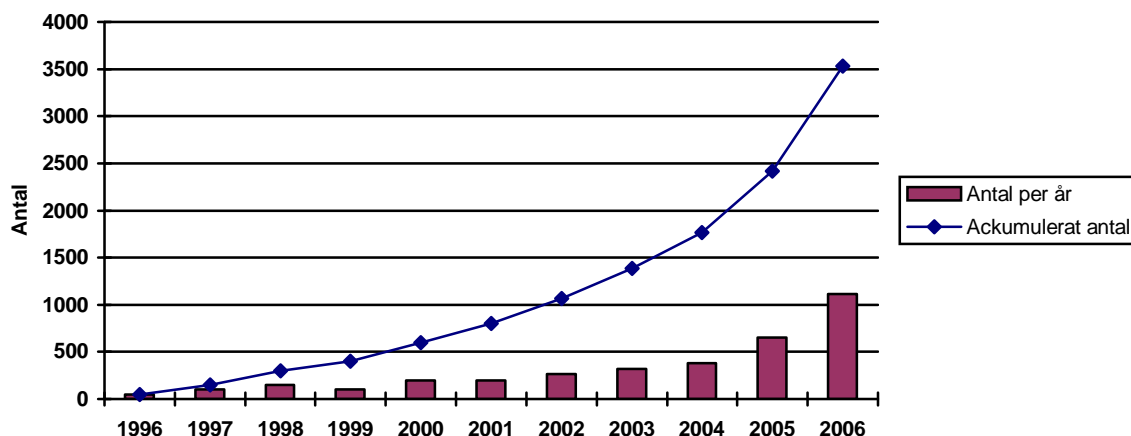
Under år 1996 hade förbrukningen stigit till ca 0,5 miljoner ton, medan den under år 2006 hade ökat till ca 1,7 miljoner ton (se figur 1). Fram tills för några år sedan dominerades marknaden helt av storskaliga förbrukare (>2 MW), t ex i kolpulverpannor som konverterats till biobränslen. På senare år har dock användningen ökat starkt i både den mellanskaliga sektorn (25 kW-2 MW), t ex i närvärmecentraler, och i småhussektorn (<25 kW). I figurerna 2 och 3 visas hur försäljningen av villabrännare och fastighetsbrännare har ökat under senare år.



Figur 1. Användningen av bränslepellets i Sverige. Källa: Pelletsindustrin (2008); Stenegard (1997).



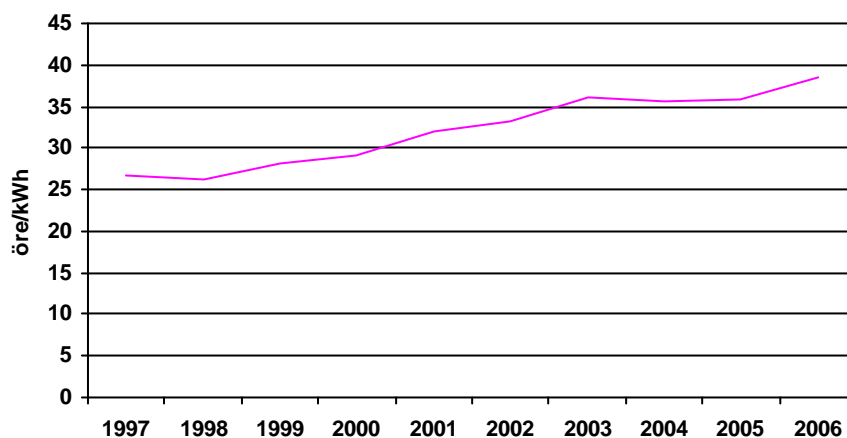
Figur 2. Antalet sålda pelletsbrännare ( $\leq 25$  kW) i Sverige från år 1994 t o m år 2006. Källa: Davidsson (2007).



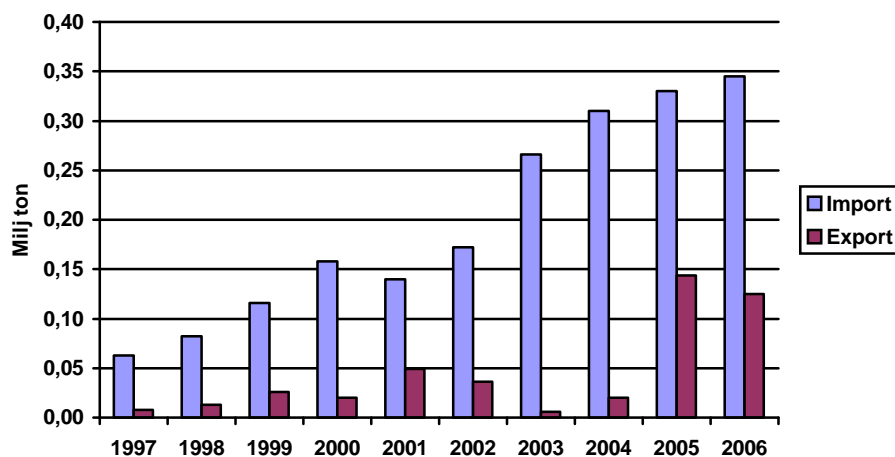
Figur 3. Antalet sålda fastighetsbrännare (26-500 kW) i Sverige från år 1996 t o m år 2006. Källa: Davidsson (2007).

Priset på pellets har legat relativt stabilt fram tills för ca 5 år sedan, då man kunde se en stigande trend, bl a beroende på en starkt ökad efterfrågan. I figur 4 visas hur priset har stigit för en pelletskund vid inköp av minst tre ton i bulk. Under 2006 närmade sig detta pris 40 öre/kWh (inkl moms), vilket motsvarar ca 1,90 kr/kg. För privatkund med mindre leveranser, t ex i säckad form, passerades priset 2,00 kr/kg med råge. Priset på pellets har dock en relativt stor säsongvariation (se Energimyndighetens prisfaktablad, [www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se), Energimyndigheten, 2007b; 2008), och för värmeverk kan skillnaden vara 20-25% mellan låg- (sensommar) och högsäsong (vårvinter).

Sverige är en stor nettoimportör av pellets. Under år 2006 exporterades ca 0,12 milj ton, medan importen var knappt 0,35 milj ton (se figur 5). Importen skedde bl a från Baltikum och Kanada.



Figur 4. Årligt genomsnittligt pris för pellets (inkl moms) från 1997 till 2006 (jan-mars). Priset gäller vid köp av minst tre ton i bulkform. Källa: Energimyndigheten (2007a). Aktuella siffror publiceras kontinuerligt i Energimyndighetens prisfaktablad på [www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se).



Figur 5. Sveriges import och export av bränslepellets. Källa: Pelletsindustrin (2008); Stenegård (2007).

## 2.2. Briketter i Sverige

Under år 2000 tillverkades ca 200 000 ton briketter i Sverige, medan produktionskapaciteten var runt 450 000 ton/år (Hirsmark, 2002; Forsberg m fl, 2006). Under år 2006 uppskattades produktionen ha ökat till ca 250 000 ton/år (Forsberg m fl, 2006). Idag säljs ett tiotal brikettmaskiner per år motsvarande en produktion på 20 000-30 000 ton/år. Den största brikettproducenten i landet är Härjedalens Mineral AB (HMAB), som har en produktionskapacitet på 300 000 ton briketter per år. Liksom övriga större producenter tillverkar man både pellets och briketter, och fördelningen mellan dessa bränslen beror på efterfrågan. Under vintersäsongen 2005-06 producerade HMAB ca 130 000 ton briketter, varav ca hälften tillverkades av torv och hälften av sågspån (Forsberg m fl, 2006). Intresset för småskalig brikettpressning har även ökat inom lantbruket, och f n finns det t ex minst två företag som producerar hampabriketter (Gudhems Kungsgård och Österlenhampa).

De största brikettkunderna är värme- och kraftvärmeverken, framförallt i den mellanstora effektklassen (Forsberg m fl, 2006). Denna kundkategori förbrukar 90-95% av de briketter som tillverkas i landet. Ofta används bränslet i pulverpannor, och briketterna mals då ned innan de matas in i pannan. Den viktigaste faktorn som styr värmeverkens val mellan pellets eller briketter är priset. I Mellansverige betalade värmeverken 1 100-1 200 kr/ton briketter under 2006. En ökande användarsektor är närvärmecentraler och privata hushåll. I hushållen används briketter framförallt i vedpannor, och det vanligaste skälet är ökad bekvämlighet, eftersom briketter kräver mindre arbete än ved. Ett annat användningsområde i hushållen är lokala eldstäder, t ex braskaminer, för att minska på användningen av t ex el i eluppvärmda hus. Under år 2006 var priset för förpackade spånriketter 1 800-2 500 kr/ton inkl moms (Forsberg m fl, 2006).

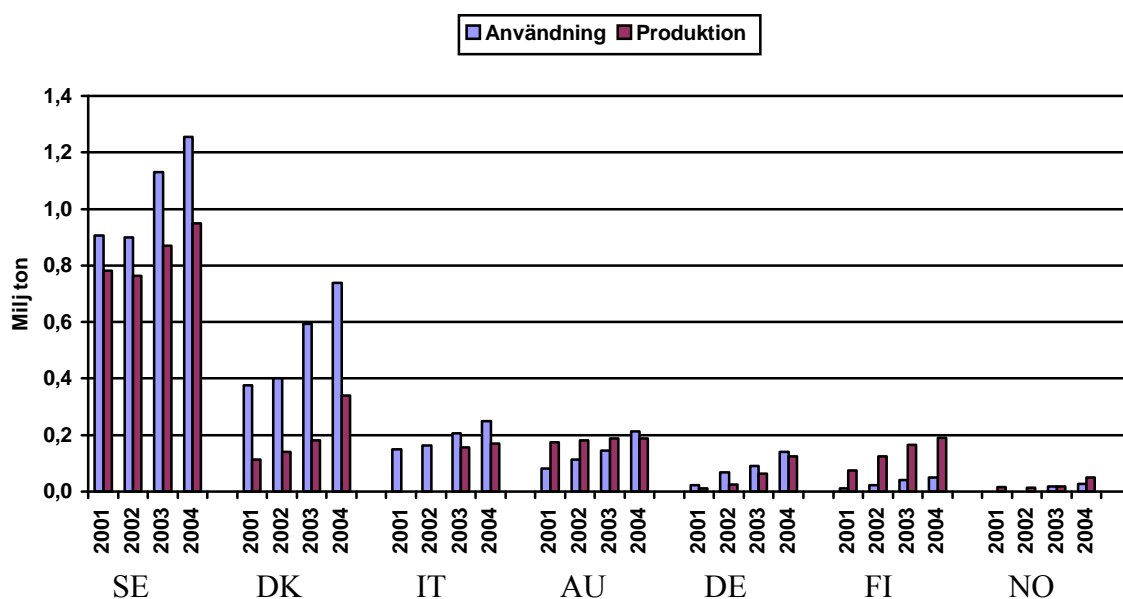
## 2.3. Förädlade bränslen i andra länder

I ett europeiskt perspektiv är Sverige ett ledande land när det gäller tillverkning och användning av pellets. Andra ledande länder, där en mycket snabb ökning har skett de senaste åren,

är Danmark, Italien, Österrrike och Tyskland (se figur 6). Länder med ett stort importbehov är, förutom Sverige, även Danmark, Italien och Tyskland. Ett visst importbehov finns även i Nederländerna, Storbritannien och Belgien (visas ej i figur 6). Till skillnad mot vad som är fallet i de nordiska länderna, används pellets framförallt i småskaliga pannor (<100 kW) i Central- och Sydeuropa (IE, 2006). Vissa bedömare tror att den totala efterfrågan på pellets kommer att tredubblas i Europa under de närmaste fem åren, och att råvaror från jordbruket kommer att få en allt större roll, framförallt i länder med liten tillgång på skogsråvaror (Jones, 2006).

Pellets är ett högförädlat bränsle som har blivit en internationell handelsvara. De västeuropeiska länderna importerar t ex stora mängder pellets från Östeuropa (Estland, Lettland, Ryssland, Polen, m fl), som än så länge har en relativt liten inhemsk förbrukning. Under år 2005 producerades 0,75 milj ton pellets i Ryssland, 0,35 milj ton i Polen, och 0,34 milj ton i både Estland och Lettland (Jones, 2006). Den kvantitet som exporteras skeppas bl a med båt till Sverige, Danmark, Nederländerna, m fl. Denna pellets har ofta en något lägre kvalitet och används därför främst i stora förbränningsanläggningar.

De två största utomeuropeiska pelletsmarknaderna finns i USA och Kanada, och det senare landet exporterade t ex 317 000 ton pellets till Europa under år 2004 (IE, 2006). Produktionen av pellets i USA och Kanada under år 2005 var 0,6 resp 1,0 milj ton. I Kanada planerar man för en mycket kraftig utökning, och enbart i delstaten British Columbia förväntas produktionen uppgå till 3 milj ton år 2010 (Jones, 2006).



Figur 6. Användning och produktion i de viktigaste pelletsländerna i Europa under åren 2001-04. Källa: IE (2006).

Ett exempel på ett europeiskt land med en dramatisk ökning av pelletsanvändningen är Danmark. För tjugo år sedan var användningen i praktiken obefintlig, men i början på 90-talet ökade den till drygt 100 000 ton/år, främst inom fjärrvärmesektorn (Dahl, 2007). Användningen steg sedan svagt fram till början av 2000-talet, då försäljningen satte ordentlig fart med en ökningstakt på ca 100 000 ton pellets per år. Det var framförallt inom hushålls- och kraftvärmesektorerna som ökningen skedde. År 2005 uppgick användningen av träpellets till 820 000 ton. Under samma år var den inhemska produktionen knappt ca 200 000 ton, medan

importen var ca 630 000 ton, framförallt från Baltikum (ca 440 000 ton). Importen av träpellets från Sverige var ca 30 000 ton. I Danmark har man liten tillgång på trädråvara, och man har därför bl a satsat på en fabrik i Køge för pelletering av halm. Fabriken har en produktionskapacitet på 150 000 ton halmpellets per år (se även kapitlet om halm som råvara). Halmpelletsen skeppas med båt till ett större kraftvärmeverk (Amagerverket) i Köpenhamn. I Danmark var priset för träpellets i bulk till privata hushåll, inklusive leveransavgift och moms, ca 2,70 SEK/kg i januari 2007 (Dahl, 2007).

Ett land som förväntas öka sin användning av förädlade bibränslen är Kina (Jiping m fl, 2006). I landet uppskattades t ex mängden biprodukter från växtodlingen vara runt 620 milj ton under år 2002, varav mängden majshalm var 242 milj ton, mängden vetehalm 121 milj ton och mängden rishalm 109 milj ton (Zeng m fl, 2007). Av den totala mängden användes ca 54% för energiändamål, främst genom direkt förbränning och biogasproduktion, men även via småskalig förädling till briketter. Fram till år 2020 planerar Kina att komma upp i en produktion av 50 miljoner ton pellets per år, och man planerar att bygga 50 kraftvärmeverk som eldas med olika typer av halmpellets (Jones, 2006).

### 3. PELLETS OCH BRIKETTER FRÅN SKOGSRÅVAROR

#### 3.1. Definitioner och standarder

Bränslepellets definieras enligt svensk standard (SS 187120: SIS, 1998a) som kompakterad biomassa i cylinderform med en diameter på maximalt 25 mm. I Sverige används vanligen pellets med diametrar på 6 eller 8 mm. Kvaliteten hos pellets klassificeras i tre grupper enligt tabell 1, där grupp 1 har de bästa egenskaperna.

Tabell 1. Krav för de olika kvalitetsgrupperna för bränslepellets enligt SS 187120 (SIS, 1998a)

Egenskap	Testmetod	Enhet	Grupp 1	Grupp 2	Grupp 3
Diameter <sup>a</sup>	minst 10 pellets	mm	anges	anges	anges
Längd <sup>a</sup>	minst 10 pellets	mm	max 4xØ	max 5xØ	max 5xØ
Skrymdensitet	SS 187178	kg/m <sup>3</sup>	=>600	=>500	=>500
Hållfasthet <sup>a</sup>	SS 187180	finandel <3 mm, %	<=0,8	<=1,5	>1,5
Eff värmevärde <sup>b</sup>	SS-ISO 1928	MJ/kg kWh/kg	=>16,9 =>4,7	=>16,9 =>4,7	=>15,1 =>4,2
Askhalt	SS 187171	% av ts	<=0,7	<=1,5	>1,5
Total fukthalt <sup>b</sup>	SS 187170	%	<=10	<=10	<=12
Total svavelhalt	SS 187177	% av ts	<=0,08	<=0,08	anges
Halt tillsatsmedel		% av ts	typ o halt anges	typ o halt anges	typ o halt anges
Klorider	SS 187185	% av ts	<=0,03	<=0,03	anges
Asksmältförlopp	SS 187165/ ISO 540	°C	initialtemp anges	initialtemp anges	initialtemp anges

<sup>a</sup> I producentens lager.

<sup>b</sup> Vid leverans.

En bränslebrikett består av kompakterad biomassa i cylindrisk (eller rektangulär) form med en diameter på minst 25 mm (187123: SIS, 1998b). I Sverige är diametern vanligen 50-80 mm (Forsberg m fl, 2006). Kvaliteten hos briketter klassificeras i tre grupper enligt tabell 2. Grupp 1 är avsedd för privata konsumenter, grupp 2 för större eldningsanläggningar med automatisk inmatning, och grupp 3 för andra råmaterial än trädråvaror (t ex torv).

Tabell 2. Krav för de olika kvalitetsgrupperna för bränslebriketter enligt SS 187123 (SIS, 1998b)

Egenskap	Testmetod	Enhet	Grupp 1	Grupp 2	Grupp 3
Diameter <sup>a</sup>	minst 10 brik	mm	anges, min 25	anges, min 25	anges, min 25
Längd <sup>a</sup>	minst 10 brik	mm	0,5xØ<X= 300	10<=X<=100	
Skrymdensitet	SS 187178	kg/m <sup>3</sup>	=>550	=>450	=>450
Hållfasthet <sup>a</sup>	SS 187180	finandel <15 mm, %	<=8	<=10	>10
Eff värmevärde <sup>b</sup>	SS-ISO 1928	MJ/kg kWh/kg	=>16,2 =>4,5	=>16,2 =>4,5	anges anges
Askhalt	SS 187171	% av ts	<=1,5	<=1,5	anges
Total fukthalt <sup>b</sup>	SS 187170	%	<=12	<=12	<=15
Total svavelhalt	SS 187177	% av ts	<=0,08	<=0,08	anges
Halt tillsatsmedel		% av ts	typ o halt anges	typ o halt anges	typ o halt anges
Klorider	SS 187185	% av ts	<=0,03	<=0,03	anges
Asksmältförlopp	SS-ISO 540	°C	initialtemp anges	initialtemp anges	initialtemp anges

<sup>a</sup> I producentens lager.

<sup>b</sup> Vid leverans.

Inom EU har man nyligen arbetat fram förslag på en ny standard (CEN TC 335). Vissa av egenskaperna är normativa (obligatoriska), medan andra är informativa (frivilliga). Egenskaper som ska beskrivas för pellets är råvarans ursprung, pelletarnas dimensioner, vattenhalt, askhalt, mekanisk hållfasthet, finandel samt innehåll av additiver. Innehållet av svavel och kväve är obligatoriska uppgifter om kemiskt behandlad biomassa utgör råvaran. Frivilliga uppgifter är bl a effektivt värmevärde, bulkdensiteten och klorinnehållet. CEN-standarden är ännu inte slutgiltigt antagen, utan den är föremål för utvärdering och löper parallellt med den svenska SS-standarden. I praktiken är det därför fortfarande den svenska SS-standarden som gäller för tillverkarna (Lindquist, pers medd, 2007).

### 3.2. Råvaruframställning

Inom den svenska pellets- och brikettproduktionen används i princip enbart råvaror som härör från skogen, framförallt sågspån, torrflis och kutterspån. I takt med en ökad efterfrågan på pellets, har dock även skogsråvaror såsom bark, grot (grenar och toppar) och klenstammar blivit aktuella.

I Sverige producerades knappt 2,2 milj ton sågspån (ca 1,1 milj ton ts) under år 2006, medan produktionskapaciteten för pellets var ca 1,3 milj ton (Johansson, 2007). Konkurrensen om råvaran har ökat starkt i takt med den ökade efterfrågan på sågspånpelletts. I början på 2000-talet användes 55% av den tillgängliga sågspånskvantiteten (inkl kutterspån) för tillverkning av förädlade bränslen, 14% för tillverkning av spånskivor, 13% för direkteldning, 9% som bränsle vid sågen, 4% som strö och 3% för tillverkning av träfiberskivor (Energimyndigheten, 2003).

Sågspån består främst av barrstamved och har därför högt energiinnehåll, låg askhalt och hög asksmälttemperatur (se tabell 4). Detta innebär att råvaran har mycket goda förbränningsegenskaper. En stor del av sågspånpelletsen eldas idag i storskaliga pannor (se figur 1). Större pannor har bättre möjligheter att styra och automatisera förbränningen, vilket gör att även mer besvärliga bränslen kan användas, och detta tillsammans med en ökad efterfrågan kommer troligen att leda till att sågspånsråvaran mer och mer kommer att användas i mindre pannor.

Sågspån har en vattenhalt på 40-55% och den torkas därför ned till en vattenhalt på ca 10-15%.

Kutterspån och torrflis är biprodukter vid bearbetning av torkat virke (Näslund, 2003). Enligt Hirsmark (2002) var mängden kutterspån som producerades i svenska sågverk runt år 2000 ca 440 000 ton ts/år. Dessutom tillkommer en viss mängd kutterspån från snickerier. En stor andel pelleteras, ca 150 000 ton/år (Näslund, 2003), men det mesta används för brikettering, djurströ och för förbränning i oförädlad form. Vid pelletering/brikettering behöver råvaran normalt inte torkas (ibland kan man t o m behöva tillsätta extra ånga/vatten för att höja vattenhalten). Detta innebär att kutterspån är en lämplig råvara vid mer småskaliga system. Det har därför blivit vanligt med mindre pellets/brikettpressar vid snickerier och mindre sågverk (Näslund, 2003).

I landet ”frigörs” bark i sågverk och massaindustri motsvarande ca 3 milj ton ts eller 16 TWh (Näslund, 2003), varav knappt hälften härrör från sågverken (Hirsmark, 2002). All bark som tillhandahålles används som bränsle i virkestorkar, massaindustrier och värmeverk, och det finns därför i princip inget överskott. Marknadspriiset för bark är i samma storleksordning som för sågspånspelletts (Näslund, 2003). Bark har ett högt kalorimetriskt värmevärde, hög fukt-halt, samt ett relativt högt askinnehåll (se tabell 4), vilket delvis beror på hög andel föroreningar (sand, jord, m m). Den enda kommersiella produktionen av barkpellets (100% bark) sker vid Mönsterås bruk (Näslund, 2003). Den framställda mängden, ca 50 000 ton/år, eldas i pulverform på bruket. I Sverige finns också fabriker där mindre mängder bark blandas med sågspån. Jämfört med sågspån, har bark en högre vattenhalt, en mer ojämn partikelstorlek, samt en högre andel aggressiva extraktivämnen. Torkning av bark, som görs ned till en vattenhalt på ca 10%, är därför mer krävande. Det högre innehållet av sandpartiklar kan ge större slitage i kvarnar och i pressar. Som ett resultat av den högre askhalten och lägre asksmältemperaturen, passar råvaran bäst för eldning i större pannor.

Grot används i stor utsträckning i flisad form som bränsle i större värmeverk. Många tror dock att grot även kan bli en viktig råvara i framtiden för pelletering och brikettering, men å andra sidan finns det alltså redan idag en stor efterfrågan på grot som bränsleflis. Jämfört med t ex sågspån, har grot ett högre innehåll av ämnen (kalium, klor, kväve, m m) som kan orsaka problem vid förbränningen, t ex sintring och beläggningar i pannan. Dessutom är askhalten högre. Denna råvara passar därför bättre i större anläggningar som kan hantera dessa problem. Några nackdelar med grot är att det är skrymmande och därför dyrt att transportera längre sträckor, samt att det kan innehålla ganska höga halter av föroreningar (jord m m) som kan orsaka stort slitage på pressningsutrustningen (Martinsson, 2003). Försök med pelletering av grot har visat lovande resultat; Martinsson och Österberg (2004) visade t ex att råvaran är ”lättpelleterad” och att hållfastheten och bulkdensiteten är hög. I dessa försök var dock både askhalten och kväveinnehållet ca 8 gånger högre än i referensen (kutterspånspelletts).



Tabell 3. Sammanställning över råvaror från skogen enligt Näslund (2003)

	Sågspån	Kutterspån	Bark	Grot	Klenstammar
Tillgångar, TWh/år	5	2-2,5	16	1)	Okänd
Pelleteras, TWh/år	2,5	0,75	0,25	-	-
Potential, TWh/år	Ökande p g a ökad avverkning	Ökande p g a ökad avverkning och träförädling.	Ökande p g a ökad avverkning.	62-77	7
Marknads- situation	Konkurrens med spånskiveindus- tri och värme- verk. Ej över- skott.	Konkurrens med stallströ, briket- tering och värme- verk. Ej över- skott.	Konkurrens- utsatt, eldas vid massaindustrier, virkestorkar och värmeverk. Ej överskott.	Kan tas ut i mycket större omfattning. Dyra tran- sporter. Kon- kurrensutsatt nära värme- verk.	Konkurrens med massa- industri och värmeverk.
Pelletering	Kräver torkning.	Kräver ej torkning.	Kräver mycket torkenergi. Ger stort slitage.	Kräver tork- ning. Föro- reningar måste avskiljas. Risk för stort slitage.	Kräver torkning. Risk för slitage om bark ingår.
Pellets-kvalitet	Grupp 1.	Grupp 1.	Högt energi- värde, 2-4% askhalt.	2-6% askhalt.	Grupp 1. Ev högre askhalt om bark ingår.

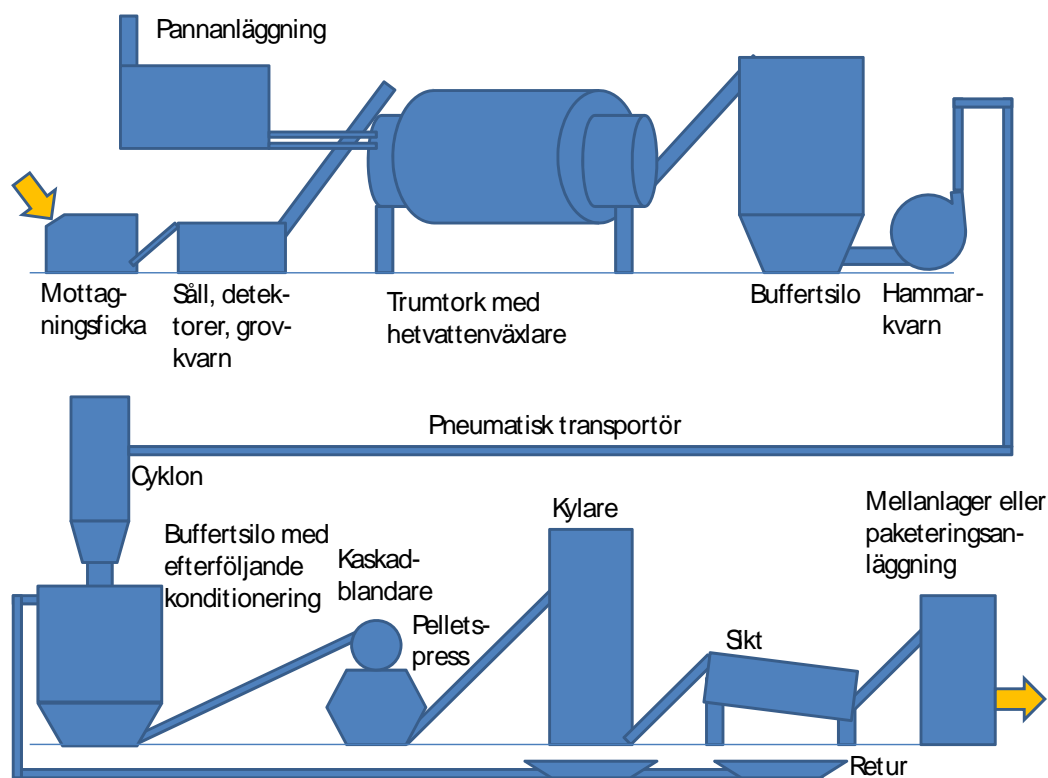
1) Uttaget av grot är i storleksordningen 10 TWh/år.

På många håll i landet är röjningarna och gallringarna eftersatta, och potentialen för att använda klenstammar som biobränsle är ca 7 TWh/år (Lönner m fl, 1998). Detta bränslesortiment innehåller en större andel stamvirke än t ex grot, och skulle därför kunna vara en lämplig råvara för tillverkning av pellets och briketter p g a lägre askhalt, m m (Näslund, 2003). Klenstammarna har dock hög fukthalt och kräver torkning, vilket innebär att storskalig teknik behövs. Å andra sidan är transportekonomin dålig eftersom råvaran är skrymmande. Mycket tyder därför på att låginblandning i större fabriker med sågspån som råvara kan bli ett intressant alternativ i framtiden. Försök med pelletering och förbränning av klenstamps pellets har visat goda resultat (Larsson, 2004). Pelletsen fick en god hållfasthet och hög bulkdensitet ( $630 \text{ kg/m}^3$ ). Förbränningstesterna visade emellertid förhöjda NO<sub>x</sub>-utsläpp för okvistad råvara, vilket sannolikt berodde på det högre kväveinnehållet i kvistarna.

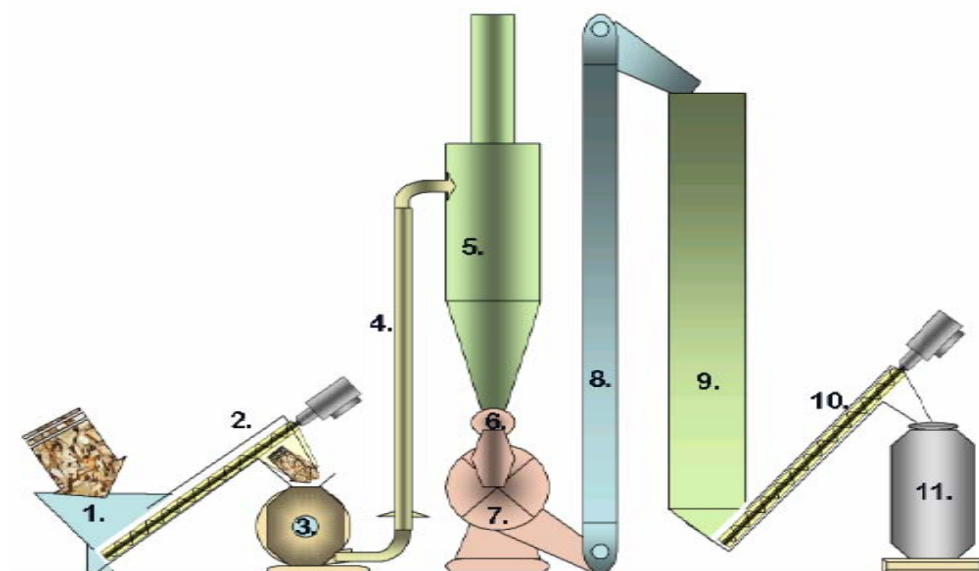
### 3.3. Tillverkning av pellets

#### 3.3.1. Tillverkningsprocesser

Pellets kan tillverkas i såväl storskaliga fabriker som i småskaliga. De senare anläggningarna kan vara både stationära och mobila. Vid storskaliga anläggningar använder man vanligen fuktiga råvaror (t ex sågspån) som ofta är billigare i inköp, men som också kräver torkning, vilket blir billigare med större anläggningsstorlekar. I de storskaliga anläggningarna har man ofta produktionslinjer för både pellets och briketter, och man kan därmed välja produkt beroende på priser och efterfrågan. Vid småskalig pelletering används ofta råvaror som är tillräckligt torra från början, eller som endast kräver liten torkning, och som också kan vara dyrare att transportera längre sträckor (t ex kutterspån). I figurerna 7, 8 och 9 visas exempel på systemdesign för olika typer av anläggningar. I de följande avsnitten kommer de olika delprocesserna att beskrivas mer ingående.



Figur 7. Exempel på flödesschema för en anläggning med storskalig produktion av pellets.



Figur 8. Exempel på en mindre anläggning för pelletering av torkad träflis. 1 – inmatnings-silo, 2 – transportskruv, 3 – slagkvarn, 4 – fläkttransportör, 5 – cyklon, 6 – matarskruv med ev ångtillsats, 7 – pelletspress, 8 – elevator, 9 – pellets kylare, 10 – transportör, 11 – storsäck. Källa: Granö (2007b) (publ med tillstånd från författaren).



Figur 9. Exempel på en mobil pelleteringsanläggning monterad på en traktorvagn. A – dieselmotor på 370 hk, 1 – torkad träflis, 2 – inmatningstratt med skruv, 3 – slagkvarn med motsäll, 4 – transportfläkt, 5 – cyklon, 6 – matnings- och blandningsskruv, 7 – pelletspress, 8 – bandtransportör. Källa: Granö (2007b) (publ med tillstånd från författaren).

### 3.3.1.1. Sönderdelning

När råvaran kommer till fabriken rensas den från föroreningar såsom sten, grus och metallskrot genom att den passerar olika såll och metalldetektorer. Om råvaran t ex innehåller sand, kan detta medföra ett stort slitage på exempelvis pelletspressen. För att få en enhetlig partikelstorlek före torkningen, går råvaran sedan vidare till en flishugg eller en förmalningskvarn. Om det är ett grövre material, t ex grot och klenstammar, används först flishuggar, medan hammarkvarnar används direkt för mer finfördelade råvaror. Sågspån behöver ofta inte sönderdelas, utan den kan gå vidare direkt till mellanlagret/torken (Zakrisson, 2002; Näslund, 2003).

### 3.3.1.2. Torkning

Sågspån har en fukthalt som ligger runt 50-57% och den måste därför torkas ned till en fukthalt på 8-12%. Den vanligaste metoden i landet för storskalig torkning är trumtorkning (figur 10). Med denna teknik låter man heta rökgaser (eller het luft) strömma genom en roterande trumma, samtidigt som materialet som ska torkas strömmar i motsatt riktning. Det finns både enstråks-trummor, där rökgaserna passerar en gång, och trestråks-trummor, där rökgaserna rör sig fram och tillbaka flera gånger. Rökgaserna kan komma från en brännare som eldas med t ex pulver som siktats bort från färdig pellets (se nedan), eller från en panna som t ex eldas med bark. Vid trummans slut separeras torkningsgaserna från materialet med hjälp av cykloner. Energin i de fuktiga rökgaserna återvinns oftast med rökgaskondensering.



*Figur 10. Roterande trumtork vid Lantmännen Agroenergi AB:s pelletsfabrik i Malmbäck.  
Foto: Sven Bernesson.*

I stället för rökgaser kan man använda överhettad ånga för torkningen. Överhettad ånga har fördelar som snabbare torkning, ingen risk för oxidation (förbränningsprocesser), mm (Ståhl, 2005). En risk med att använda rökgaser är att man kan få pyrolys och förgasning på en hög ingångstemperatur och lång uppehållstid. För bränslen med hög halt av energirika extraktiva ämnen, t ex salix, är det särskilt viktigt att inte hålla för höga torkningstemperaturer (Näslund, 2003). Trumtorkar med rökgastorkning är dock billigare och klarar av ett större storleksintervall på partiklarna, även om det är viktigt att ha en jämn storleksfördelning på partiklarna för att få en jämn nedtorkning.

Andra alternativ för torkning är bäddtorkar, där godset matas fram över en bädd i rökgas eller ånga, samt strömtorkar och fluidbäddtorkar, där godset strömmar genom t ex rörformade utrymmen tillsammans med rökgaser eller ånga (Granqvist, 1997).

Torkningen är den mest energikrävande processen vid tillverkning av pellets, och den kan kräva upp till ca 10% av pelletsens energivärde (Granqvist, 1997). Torkningen är även den dyraste processen vid tillverkningen. Torkningen svarar för ca 27% av de totala tillverkningskostnaderna, vilket är den näst högsta kostnadsposten efter råvarukostnaden (38%) (Thek & Obernberger, 2004). För att förbättra ekonomin och energibalansen vid en bibränsletork, försöker man optimera energianvändningen på en mängd olika sätt. Det finns t ex ett par fabriker i Sverige som låter överskottsvärmen från torken gå till fjärrvärmenäten (Hirsmark, 2002). Vid elproduktion kan torken dessutom utgöra en viktig värmesänka när uppvärmningsbehovet är lågt.

### *3.3.1.3. Malning*

Innan materialet pelleteras, mals det ned i hammarkvarnar till en lämplig partikelstorlek (Näslund, 2003). Ju finare partiklar desto bättre blir pelleternas hållfasthet, men å andra sidan blir energibehovet högre och problemen med damning värre. Malningen fungerar bättre med ett torrt material, och under själva malningen sjunker vattenhalten med ytterligare någon pro-

centenhet. Fraktionsstorleken bestäms av sållets maskvidd. En vanlig maskvidd hos de flesta svenska pelletsfabriker är 3 mm.

#### *3.3.1.4. Bindemedel och konditionering*

Olika typer av bindemedel kan tillsättas i pelleteringsprocessen för att öka pelleternas hållfasthet och för att minska friktionen vid pressningen. Om pelleterna har hög hållfasthet, blir det lättare att transportera och lagra dem med bibehållen kvalitet fram till slutkonsument. Om friktionen minskas vid pressningen, blir kapaciteten högre, energibehovet lägre och slitaget mindre. De vanligaste bindemedlen är vatten/ånga, kemiska bindemedel (t ex lignin, LignoBond, Wafolin och stärkelse) och naturliga bindemedel (t ex spannmål och gräs) (Cronholm m fl, 1999).

Lignin finns naturligt i ved och bark och fungerar som ett limämne som smälter när det upphetas (Cronholm m fl, 1999). I pressningsögonblicket höjs temperaturen på materialet, och om råvaran innehåller tillräckligt med lignin, behöver man inte tillsätta något ytterligare bindemedel för att få en hållfast pellet. Vid användning av träråvara är det därför ganska ovanligt att man idag tillsätter något kemiskt bindemedel. Däremot är det vanligt att man konditionerar råvaran med vattenånga. Denna ångtillsats gör att materialet mjuknar och därmed ger minskad friktion i pressen. Vid konditionering bör partikelstorleken vara jämn, eftersom stora partiklar får sämre konditionering, vilket kan orsaka spänningar i pelleten vid torkningen (Näslund, 2003).

LignoBond och Wafolin är lignosulfonater som utvinns ur sulfitmassa vid pappersmassafabriker. Dessa tillsatser är främst framtagna som bindemedel i djurfoder, men används också vid tillverkning av bränslepellets. LignoBond och Wafolin innehåller relativt mycket svavel, natrium och kalcium, och de har också ganska hög askhalt. Sannolikt innebär detta att man kan få problem med igensättning i kvarnsiktar och påslag på panntuberna vid förbränning. Den stärkelse som används som bindemedel, s k dammstärkelse, är en biprodukt vid tillverkning av potatisstärkelse (Cronholm m fl, 1999).

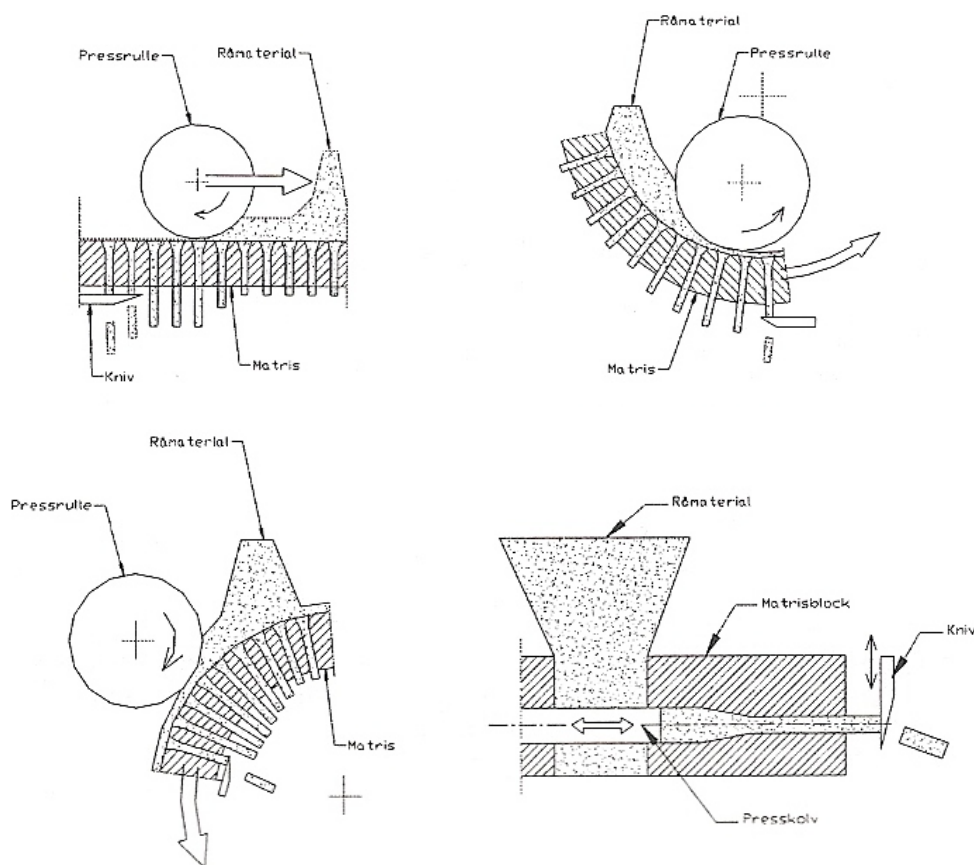
#### *3.3.1.5. Pelletering*

Vid pelletering pressas råvaran av en presskraft genom en avsmalnande kanal. Under den tid materialet pressas ihop stiger temperaturen, och denna förhöjda temperatur i kombination med det höga trycket medför att partiklarna sammanfogas. Det är inte helt klart vilka mekanismer som är inblandade i sammanfogningsprocessen, men det finns teorier om att den beror på s k glastransition, d v s att lignin och hemicellulosa mjuknar och får en gummiliknande konsistens vid temperaturer runt 150°C. Andra förklaringar är att kådan limmar ihop partiklarna, att det bildas väte- eller kovalenta bindningar mellan reaktiva grupper i partiklarna, och att det finns mekaniska bindningar mellan partiklarna (Näslund, 2003). Uppehållstiden, som bl a beror av presskanallängden, måste vara tillräckligt lång för att sammanfogningen ska hinna ske. Ju längre presskanalen är, desto längre blir uppehållstiden, och desto högre blir friktionen, temperaturen, vattenavgången och pelletens hårdhet, men å andra sidan blir kapaciteten lägre och energibehovet större.

Det finns olika typer av pressar för pelleteringen (figur 11). Den typ som dominerar är ringmatrispressar med roterande matris där pressrullarna är placerade invändigt. I en sådan press trycks alltså materialet inifrån och utåt genom matrisen. På utsidan skärs pelletsen till lämpliga längder med hjälp av en kniv. En fördel med ringmatrispressar är att de har större pressarea än planmatrispressarna (se figur 12). En fördel med roterande matriser jämfört med fasta matriser är att inmatningen blir jämnare då centrifugalkraften fördelar råvaran över hela den

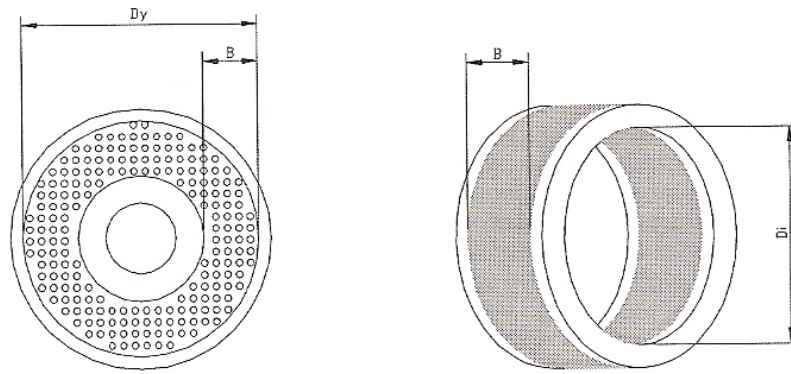
inre matrisytan. Fasta matriser får dock bättre stöd mot presskrafterna och det är lättare att byta dem, och denna typ av press är vanligare i mindre anläggningar. Det finns också ringmatrispressar med utvändiga pressrullar, men för sådana maskiner blir inmatningen mer komplicerad (Näslund, 2003).

Planmatrispressar har antingen en fast eller en rörlig matris (Näslund, 2003). En fast matris används oftast vid pelletering av träråvara för att stötta upp den bättre. Planmatrispressar har något lägre krav på partiklarnas finfördelning, eftersom råvaran nöts sönder i högre grad med denna typ av press. Vidare kan man uppnå en högre pelletsdensitet med denna press, men å andra sidan är energiförbrukningen något högre jämfört med ringmatrispressar. En tredje typ av pelletspressar är de som arbetar enligt kolvpressningsprincipen (se även avsnittet om brickettering). Eftersom pressningen inte sker kontinuerligt utan stötvis, är underhållskostnaderna troligen ganska höga för denna presstyp (Näslund, 2003).



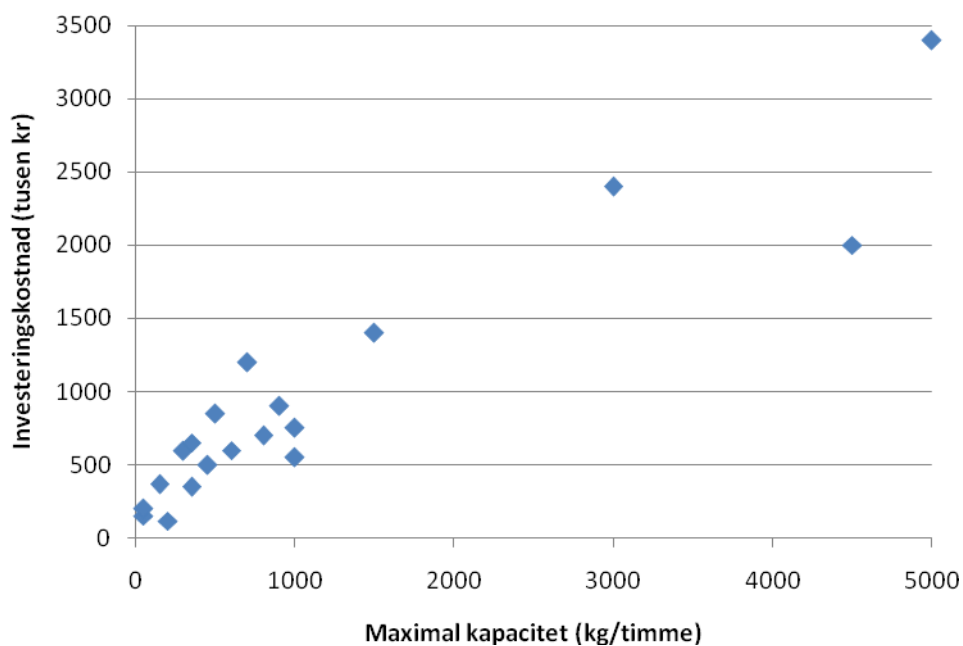
Figur 11. Funktionen hos en planmatris (överst t v), ringmatris med invändig pressrulle (överst t h), hos en ringmatris med utvärdig pressrulle (nederst t v) och hos en kolvpress (nederst t h). Källa: Näslund (2003) (publ med tillstånd från författaren).





Figur 12. Pelleteringsarean för en planmatrispress (t v) och en ringmatrispress (t h). Källa: Näslund (2003) (publ med tillstånd från författaren).

Investeringskostnaden för några pelletspressar som saluförs i landet visas i figur 13. De minsta pressarna med en kapacitet på 50 kg/tim kostar runt 200 000 kr, medan de största kostar runt 3 milj kr. Större pressar än 5 ton/timme är ovanliga. I större anläggningar sätter man hellre in två mindre än en stor, eftersom följderna vid eventuella driftsavbrott då blir mindre allvarliga.



Figur 13. Investeringskostnaden för pelletspressar enligt uppgifter från olika leverantörer i Sverige.

### 3.3.1.6. Kylning

Syftet med kylningen är att ge pelleterna en hög hållfasthet, att undvika självantändning i lagret, samt att undvika kondensbildning. Om pelleten kyls ned snabbt efter pressningen, bevaras dess hållfasthet bättre genom att trycket sjunker i de ihoppressade luft- och ångfyllda porerna, vilka annars riskerar att spränga sönder pelleten i mindre fraktioner. Efter pelleteringen kan temperaturen hos torkad och konditionerad råvara vara upp till 150°C (otorkad råvara kan ge

temperaturer på 70-100°C), och det finns därför risk för självantändning i lagret om inte pelletsen kyls ned. Slutligen kan det bli kondensbildning, och därmed risk för mögelbildning, när okyld pellets kommer i kontakt med kallare material. Vid kylningen kan man därför under kontrollerade former bortföra den fukt som annars skulle kondensera vid pelletens yta (Näslund, 2003).

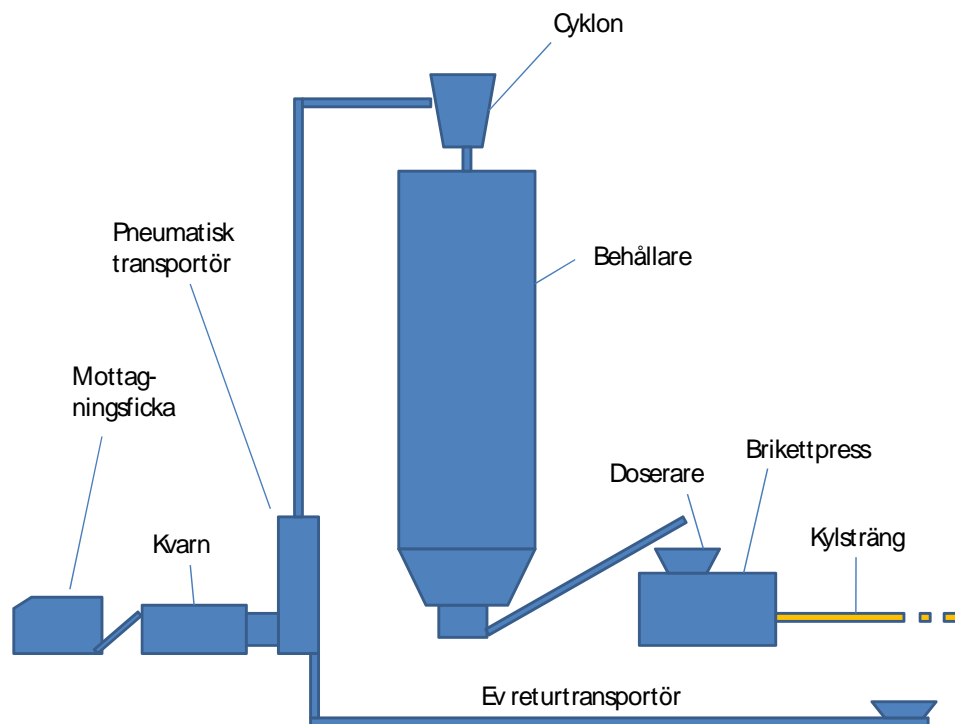
Kylningen sker oftast i olika typer av motströmskylare. I en vanlig typ matas kylaren med pellets i toppen (kyltorn), och under tiden pelletarna rör sig nedåt till utmatningen vid kylarens botten, möter de en uppåtgående luftström. Uppehållstiden kan vara upp till en timme, och efter kylaren är sluttemperaturen ca 5°C över omgivningstemperaturen. Kylningen kan också ske horisontellt (bandkyl), då pelletsen transporteras på ett perforerat transportband, samtidigt som luft blåses upp genom bandet underifrån. Den luft som används vid kylningen fångar upp en del finfraktioner och den rensas därför med hjälp av cykloner. Denna fraktion kan återföras till pelletspressen eller eldas i torken (Näslund, 2003).

Efter kylningen brukar man sålla bort finfraktioner från pelletsen, särskilt om den ska användas i t ex villabrännare. En vanlig metod är skakning över ett lutande siktplan. Uppehållstid och avskild mängd ställs in genom att välja lämplig längd och lutning på sikten, samt genom att ha en lämplig intensitet i skakrörelserna.

### **3.4. Tillverkning av briketter**

Ett exempel på ett flödesschema för tillverkning av briketter visas i figur 14. Vid brikettering använder man ofta torra råvaror, t ex kutterspån, vilket innebär att man vanligen inte torkar materialet. Om man har råvaror med större partiklar kan man behöva finfördela eller mala materialet. Liksom pelletter behöver briketter kylas ned efter pressningen. Detta görs genom en brikettsträng, som kan vara ca 30 m lång, innan briketterna kapas i lämpliga längder och sedan paketeras eller förs till lagersilo.





Figur 14. Exempel på ett flödesschema för tillverkning av briketter.

Brikettpressarna kan delas in i tre olika huvudtyper: mekaniska kolvpressar, hydrauliska kolvpressar och hydrauliska matrispressar. I mekaniska kolvpressar pressas materialet av en fram- och återgående kolv genom en avsmalnande matris (t ex cylinderformad). Kolven får sin kraft via svänghjul, som i sin tur är kopplade till elmotorer. Ofta förkomprimeras materialet i pressmaskinen, särskilt om det är bulkiga råvaror, med syfte att få en så hög effektivitet som möjligt. En nyckelkomponent hos kolvpressar är inmatningen, som måste vara kontinuerlig och noga anpassad efter egenskaperna hos råvaran. Efter pressningen får briketterna en temperatur på 150-300°C. Själva pressmaskinen är oftast robust och har lång livslängd, medan kolvhuvudet och cylindern kan ha en livslängd på 500-1000 timmar för sågspån, och ofta betydligt kortare för andra råvaror (Pettersson, 1999).

Den viktigaste skillnaden mellan mekaniska och hydrauliska kolvpressar är att presskraften överförs hydrauliskt i den senare typen. Hydrauliska pressar har lägre vikt och är mer kompakta, eftersom presskrafterna balanseras ut i själva cylindern. Kolvhastigheten och pressstrycket är dock lägre, vilket ger en lägre presskapacitet. Vid småskalig tillverkning kan den lägre kapaciteten dock vara en fördel. Det lägre pressstrycket innebär också att man kan använda råvaror med högre vattenhalt jämfört med mekaniska kolvpressar (Pettersson, 1999).

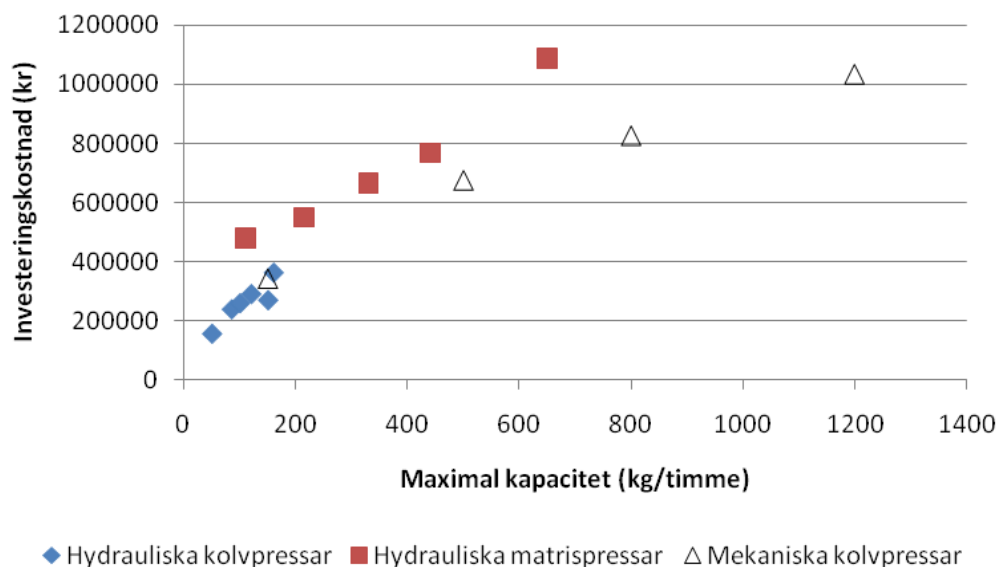
I skruvpressar pressas råvaran kontinuerligt in i presscylindern med hjälp av en skruv. Det finns tre huvudtyper av skruvpressar (Nilsson m fl, 2001); skruvpressar med konisk pressmatris, skruvpressar utan uppvärmd pressmatris, samt skruvpressar med uppvärmd pressmatris. En fördel med skruvpressar är att investeringskostnaden är lägre än för kolvpressar.

Lämplig vattenhalt vid brikettering är 10-20% (Pettersson, 1999). När det gäller halm, är en lämplig vattenhalt 10-15% (Wilén m fl, 1987), och för hampa bör vattenhalten inte överstiga 12% för att undvika för dålig hållfasthet (Forsberg m fl, 2006). Vattenhalten får å andra sidan

inte vara för låg vid briketteringen, eftersom vattnet i hög grad är inblandad i de kemiska/ fysikaliska limningsprocesser som gör att briketten håller ihop med hjälp av det lignin som finns naturligt i råvaran.

Enligt Petterssons (1999) litteraturstudie finns det de som menar att partikelstorleken hos råvaran inte bör överstiga 25% av brikettens diameter. Ju finare partiklar, desto bättre håller briketten ihop och desto högre blir kapaciteten p g a högre bulkdensitet (råvarans bulkdensitet är en viktig faktor för presskapaciteten, och detta är en förklaring till varför kapaciteten blir högre när sågspån används som råvara än när stråformiga jordbruksråvaror används). Alltför små partiklar (<1 mm) är dock inte lämpliga för brikettering p g a låg densitet, dåliga flödesegenskaper, damningsproblem, etc.

Investeringskostnaderna för småskaliga brikettpressar (exkl kringutrustning) visas i figur 15. De billigaste kostar runt 150 000 kr, medan pressar med en kapacitet på 1 ton/timme kostar runt en miljon kronor.



Figur 15. Investeringskostnader för brikettpressar i mellan- och småskaliga anläggningar. Värdena baseras på uppgifter från de största leverantörerna i Sverige. Källa: Forsberg m fl (2006) (priserna har räknats upp med producentprisindex från okt 2006 (PPI= 135,4) till nov 2007 (PPI=140,6)).

### 3.5. Bränsleegenskaper

Förbränningsegenskaper och bränsleinhåll för några viktiga träbränslen visas i tabell 4. Bränslen som härrör från stamved från skogsindustrin, t ex kutterspån, torrflis, briketter, pellets och pulver, betecknas vanligen som torra och har en fukthalt på runt 10% (sågspån kan dock ha en fukthalt på runt 50%). Deras askhalt är också mycket låg; 0,5-1%, liksom innehållet av klor och svavel. Vidare är askans innehåll av kalcium hög. Askans initiala deformationstemperatur är hög (oftast över 1 200°C), och man får därför sällan problem med t ex sint-ring. Bark och grot har däremot betydligt högre fukthalt (runt 50% om otorkat), askhalt (2-

3%) och kvävehalt (0,1-0,8%). Risken för sintring, korrosion och påslag är också högre, bl a beroende på ett högre innehåll av bl a föroreningar och kalium.

Tabell 4. Bränsleegenskaper för trädbränsle, bark och grot (med trädbränsle avses här spån, flis, pulver, pellets och briketter; enligt definitionen är egentligen även bark och grot trädbränslen). Median- samt min- och maxvärden från olika provtagningar, samt ett exempel på ett prov för pellets, visas. Källa: Strömberg, 2005

	”Trädbränsle” Median (min-max)	Exempel pellets	Bark (från barrträd) Median (min-max)	Grot Median (min-max)
Fukt, %	8 (7,2-12,4)	9,4	57,1 (49,7-64,7)	51,2 (47,9-54,8)
Aska, % torrt	0,6 (0,5-2)	0,6	3,0 (1,7-4,0)	2,6 (1,7-2,8)
Flykt ämnen, % torrt askfritt	84,2 (81-84,5)	84,4		
Kal värmev, MJ/kg torrt askfritt	20,3 (19,4-20,7)	20,4	21,5 (19,9-22,4)	20,6 (20,0-21,2)
Eff värmev, MJ/kg fuktigt	16,9 (16,3-17,6)	16,9	7,1 (4,9-8,9)	7,7 (8,9-10,7)
<i>Elementaranalys, % torrt askfritt</i>				
Kol	50,6 (49,6-51,5)	50,8	53,7 (49,3-55,4)	50,6 (49,6-53,1)
Väte	6,2 (5,8-6,4)	6,2	6,1 (5,8-6,7)	6,0 (5,8-6,2)
Syre	42,9 (42,3-44,2)	42,8	39,9 (38,3-44,1)	39,0 (38,1-40,8)
Kväve	0,1 (<0,1-0,2)	0,1	0,31 (0,02-0,52)	0,7 (0,3-0,8)
Svavel	0,03 (<0,01-0,31)	0,01	0,03 (0,00-0,10)	0,05 (0,04-0,06)
Klor	0,01 (<0,1-0,64)	0,01	0,01 (0,00-0,02)	0,03 (0,02-0,03)
<i>Askanalys, decigram/kg</i>				
Aluminium	1,60 (0,42-4,02)	2,60	2,01 (0,46-5,35)	2,00
Kalcium	23,87 (9,86-26,16)	19,30	26,30 (5,93-34,94)	19,21
Järn	1,19 (0,87-2,48)	2,48	0,93 (0,17-5,81)	0,83
Kalium	8,07 (6,75-8,97)	8,30	4,05 (0,50-6,42)	7,63
Magnesium	3,14 (1,66-3,36)	3,05	1,86 (0,20-3,96)	2,10
Natrium	0,46 (0,25-0,73)	0,44	0,48 (0,46-0,71)	0,86
Fosfor	1,24 (1,02-10,04)	1,02	1,30 (0,60-2,10)	1,71
Kisel	7,39(5,70-23,51)	11,55	7,27 (0,60-24,50)	11,31
Titan	0,06 (0,04-0,13)	0,11	0,07 (0,00-0,59)	0,11

### 3.6. Råvarukostnader och energiåtgång

Marknadspriset för sågspån har ökat starkt under senare år som en följd av efterfrågeökningen. Under år 1999 var priset ca 30 kr/m<sup>3</sup>s, under år 2005 var det 45-75 kr/m<sup>3</sup>s, och under år 2007 hade det i vissa regioner stigit till över 100 kr/m<sup>3</sup>s (TMF, 2007). Sågspån är en vara som har höga transportkostnader, och det lönar sig därför sällan att transportera den längre än i storleksordningen 10 mil. Detta innebär att marknadspriset speglar utbudet/efterfrågan på lokal/regional nivå, snarare än på nationell nivå. Ett riktvärde som används i de kalkyler som görs i denna studie för fuktig sågspån (vh 55%, densitet 320 kg/m<sup>3</sup>) är 100 kr/m<sup>3</sup>s fritt fabrik.

Kutterspån har mycket låg transportdensitet, vilket ger höga transportkostnader. Detta betyder att det inte finns något etablerat nationellt marknadspris, utan priset beror på utbud och efterfrågan i den specifika tillverkningsorten. Vid en sökning på internet varierade priserna från 0 till flera hundra kr per m<sup>3</sup>. Ett rimligt värde för tillverkning av pellets och briketter torde vara kring 100 kr/m<sup>3</sup>s (densitet 140 kg/m<sup>3</sup>) fritt fabrik.

Sågspån och kutterspån är biprodukter, och det är därför rimligt att anta att energibehoven för att framställa dem helt allokeras till huvudprodukterna. Energiförbehovet för hantering och transport från träindustrin till förädlingsfabriken bör dock hänföras tillverknings av pel-

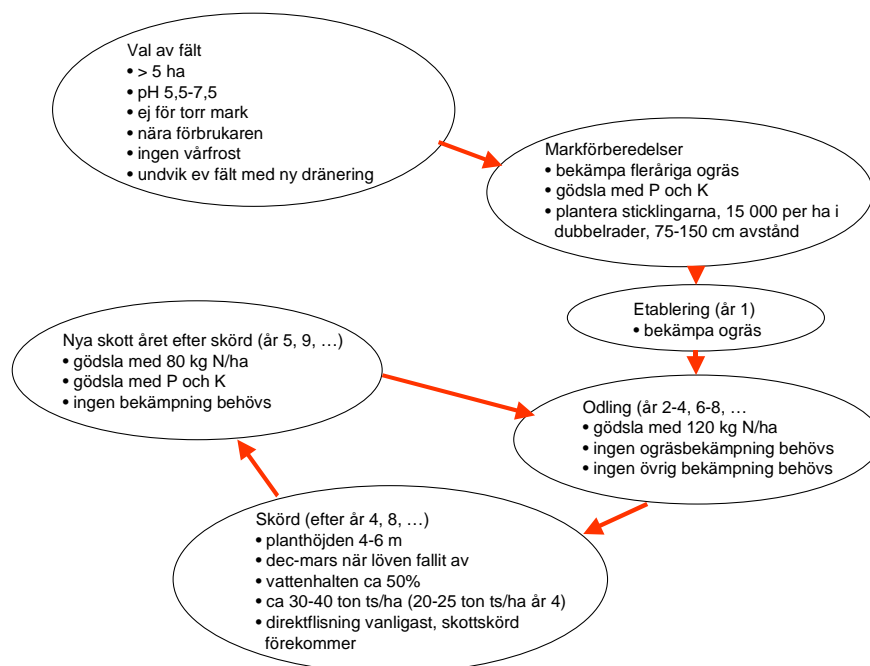
lets/briketter. Om man antar att transportavståndet i genomsnitt är 30 km, och att transportdensiteten för respektive råvara är  $320 \text{ kg/m}^3$  och  $140 \text{ kg/m}^3$ , blir energibehoven 33 MJ/ton resp 55 MJ/ton (beräknat med hjälp av figurer i kapitel 11, med en lastkapacitet på 40 ton för sågspån och 20 ton för kutterspån).

## 4. SALIX SOM RÅVARA

### 4.1. Odling, skörd och hantering

Salix är det latinska namnet för olika arter av pil, sälg och vide. I energisammanhang avses främst korgpil (*Salix viminalis*) och vattenpil (*Salix dasyclados*), men det är främst korgpil som numera odlas som energigröda. Den totala salixodlingen i landet uppgår idag till ca 16 000 ha. Intresset för att använda salix som energigröda väcktes på 70-talet, och de stora fördelarna med denna gröda är att den ger hög avkastning och att man kan skörda flera gånger utan nyplantering. Grödan berättigar till både energigrödestödet och ett särskilt anläggningsstöd på 5 000 kr (Jordbruksverket, 2007), som täcker en stor del av etableringskostnaderna.

Före etableringen av grödan är det viktigt att man väljer lämpliga fält (Danfors m fl, 1997; Agrobränsle, 2007a), se figur 16. Eftersom grödan behöver en lång vegetationsperiod, passar den bättre i de södra delarna av landet. Salix är känslig för vårfrost, och man brukar därför inte rekommendera plantering på frostutsatta lägen i Svealand och norrut. Vid val av fält bör man vara medveten om att rötterna växer in i dräneringsledningarna, och att det kan bli nödvändigt att byta ut dräneringen efter att odlingen brutits.



Figur 16. Flödesschema för en salixodling. Källor: Sennerby-Forsse & Johansson (1989), Danfors m fl (1997) och Agrobränsle (2007a).

Under etableringsåret måste ogräsen hållas efter, men därefter behövs vanligen inga herbicider. Dagens sorter har god resistens mot insekter och bladsvampar, och normalt behöver man inte heller använda några insekticider eller fungicider i odlingarna. Kvävebehovet är ca 120 kg/ha (80 kg/ha året efter skörd), se figur 16. Kvävet tillförs ofta via kommunalt slam, som kompletteras med handelsgödsel. Slammet tillgodoser ofta även behoven av fosfor och kalium. Salix är vattenkrävande, samtidigt som det tar upp vissa tungmetaller, t ex kadmium, ur marken. I en del kommuner används därför grödan som bio- eller vegetationsfilter i syfte att rena avlopps- och lakvatten. För dessa kommuner kan detta innebära minskade kostnader för

omhändertagande av avloppsvatten. Odlingen kan i princip brytas när som helst, men av ekonomiska skäl antas en lämplig tidpunkt vara efter ca 25 år (Agrobränsle, 2007a).

Efter 4-5 år sker den första skörden. Den helt dominerande skördemetoden är direktflisning, då stammarna kapas och flisas direkt med samma maskin. Därefter hanteras flisen i containrar fram till värmeverket. Avkastningen från den första skörden är normalt 20-25 ton ts/ha, och därefter 30-35 ton ts/ha vid de efterföljande skördetillfällena (Agrobränsle, 2007a). Direktskördad salixflis har en vattenhalt på drygt 50%, och därför används direktskördad salix endast i större värmeverk som kan elda med fuktiga bränslen. För närvarande eldar ett femtontal värmeverk i landet med salixflis uppblandat med andra bränslen (Agrobränsle, 2007a).

En alternativ skördemetod är skottskörd. Istället för att flisa de avkapade stammarna direkt, buntas de ihop eller läggs i högar för senare flisning. En fördel med denna metod är att bränslet blir lagringsbart utan någon större mögelbildning, och att man kan flisa det när fukthalten har sjunkit, t ex under sommaren. Vanligt är att fukthalten sjunker till ca 30%, och därmed kan man använda det i mindre pannor avsedda för torrare bränslen. Skottskördad salix blir dock dyrare än direktskördad.

## 4.2. Bränsleegenskaper

Direktskördad salix kan ha en vattenhalt på 56%, medan askhalten normalt är ca 1,6% (av ts), se tabell 5. Det angivna värmevärdet i tabellen är 19,2 MJ/kg ts (5,3 kWh/kg ts). Salix har en hög andel lättflyktiga extraktivämen (5-6% av ts, jämfört med t ex 1,5% för skogsflis), som normalt avgår med vattnet vid vattenhaltsbestämningar (Agrobränsle, 2007a). Dessa ämnen är inräknade i det redovisade värmevärdet i tabellen. Bränsledata för skottskördad salix har inte hittats i litteraturen, men det kalorimetriska värmevärdet är troligen något lägre beroende på förluster av extraktivämen.

Tabell 5. Egenskaper och sammansättning hos salixflis

	Medelvärde för direktskördad flis (intervall inom parentes) (Agrobränsle, 2007a)	Bränsleanalyser enligt Bränslehandboken, median (min och max inom parentes) (Strömberg, 2005)
Fukthalt, %	51,5 (45-56)	56 (51-61)
Aska, % av ts	1,6 (1,3-2,1)	2,9 (1,9-4,2)
Eff värmevärde, MJ/kg ts	19,2	18,62 (18,15-20,01)
Kväve, % av ts	0,4 (0,3-0,7)	0,39 (0,21-0,61)
Svavel, % av ts	0,04 (0,02-0,08)	0,033 (0,02-0,05)
Klor, % av ts	0,005 (0,002-0,014)	0,026 (0,02-0,41)
Fosfor, % av ts	0,05 (0,03-0,08)	
Kalcium, % av ts	0,44 (0,25-0,70)	
Magnesium, % av ts	0,045 (0,025-0,080)	
Mangan, % av ts	0,006 (0,004-0,008)	
Kalium, % av ts	0,25 (0,15-0,40)	
Koppar, mg/kg ts	4	
Aluminium, % av ts	0,004	
Kadmium, mg/kg ts	1,7 (0,9-2,4)	
Natrium, % av ts	0,0025 (0,001-0,004)	

Salix har ett relativt högt innehåll av bl a kalium och klor, vilket kan leda till problem med sintring, påslag och korrosion. I en del anläggningar, både i CFB/BFB- och rosterpannor, har

man dock eldat med upp till 100% salix utan större problem (Strömberg, 2005). Normalt rekommenderas dock blandningar på 10-15%. Salix har också högre halter av tungmetaller jämfört med de flesta andra biobränslen. Detta gäller särskilt för kadmium, där halten kan vara en tiopotens högre per kg ts jämfört med t ex skogsbränslen och halm (Strömberg, 2005).

### 4.3. Pelletering/brikettering av salix

I litteraturen har det hittats ett fåtal studier som handlar om pelletering av salix. Från Nordirland rapporterar t ex McElroy och Dawson (1986) om lyckade försök med att pelletera salix i en hydraulisk skruvpress. Resultatet i deras orienterande studie blev salixpellets med en densitet på 1 160 kg/m<sup>3</sup> och ett värmevärde på 5,4 kWh/kg. I Sverige har pelletering av salix provats vid Bobergs Valltork ek för (Näslund, 2003). I dessa försök pelleterades 500 ton under år 1999. Råvaran hackades först och torkades sedan i en trumtork, varefter den maldes i en hammarkvarn och sedan pelleterades. Pelleterna hade ungefär samma hållfasthet och densitet som sågspånpellets. Produktionskostnaderna var 550-580 kr/ton (exkl råvara, varav kostnaden för olja till torken uppgick till ca 200 kr/ton. Den höga halten av lättflyktiga extraktivännen i salix kan medföra energiförluster vid torkning i hög temperatur.

Pelletering av salix har också undersökts av Martinsson och Österberg (2004). De jämförde pelletering av salix (flis som legat i stack under 10 mån), grot (som legat i täckt stack under 6 mån), vrakad massaved (rötskadad, obarkad gran), gallringsvirke (kvistad men ej barkad smågran) med en referens (barkfri kutterspån). De undersökta råvarorna hade en fukthalt på 50% (salix, massaved, gallringsvirke) respektive 35% (grot), och före pelleteringen torkades de därför ned till en vattenhalt mellan 11-16%. Själva pelleteringen genomfördes i en mindre ringmatrispress med fast matris och med en produktionskapacitet på 150 kg/tim.

Pellets med salix som råvara fick i försöken en mycket hög hållfasthet (tabell 6). Trots detta var de ”lättpressade”, även med en så lång presskanallängd som 50 mm. En trolig anledning till att dessa pellets var ”lättpressade” var, enligt Martinsson och Österberg (2004), att den mikrobiologiska nedbrytningen av dessa råvaror hade tagit fart. Salixflisen avgav t ex en kraftig lukt vid torkningen, malningen och pelleteringen. Förutom hög hållfasthet, hade salixpelleterna också en hög densitet och ett högt effektivt värmevärde, och alla dessa egenskaper klarar kvalitetskraven för Grupp 1 (se tabell 1). Däremot var fukthalten relativt hög, men detta kan bero på att pelletarna var ”lättpressade”, och att en mindre andel vatten därför drevs av vid pelleteringen. Vidare hade salixpellets höga halter av aska och kväve. En slutsats som författarna drar, är att pellets med salix som råvara endast bör användas i större pannor som kan hantera stora mängder aska, och ev även höga emissioner av kväveoxider.

Fredriksson m fl (2004) pelleterade salix för användning i pulverbrännare. Två viktiga observationer i deras studie var att malning av salix är mycket effektkrävande (kräver ca 60% högre effekt jämfört med träråvara) och att mald salixpellets är svårmatad.

Pelletering av salix har provats i flera av Lantmännen Agroenergis anläggningar i Sverige (Lindquist, pers medd, 2007). Erfarenheterna har varit goda och en större satsning på produktion med salix som råvara skulle ur pelleteringsteknisk synpunkt troligen fungera bra.

Tabell 6. Resultat från pelleteringsförsök med salix, grot, vrakad massaved, klen gallringsvirke och en referens (kutterspån) som råvaror (Martinsson & Österberg, 2004)

	Salix, stackad 10 mån	GROT, gran stackad 6 mån	Vrakad massaved av gran	Gallrings- virke, klen gran	Referens (kutter- spån)
Styckedensitet, kg/m <sup>3</sup>	1 230	1 260	1 250	1 240	1 240
Bulkdensitet, kg/m <sup>3</sup>	640	680	680	690	700
Finandel, % <3 mm	0,3	0,3	0,8	0,4	1,0
Fukthalt, %	11,0	11,1	7,5	7,2	5,7
Eff värmevärde, kWh/kg <sup>a</sup>	4,7	5,1	4,8	4,8	4,8
Askhalt, % av ts	3,6	2,4	0,7	0,6	0,3
Kol, % av ts	49,2	51,8	50,4	50,4	50,4
Väte, % av ts	5,7	6,0	6,0	6,0	6,1
Kväve, % av ts	0,54	0,69	0,08	0,09	0,08
Svavel, % av ts	0,05	0,05	<0,01	<0,01	<0,01

<sup>a</sup> Normerat till en fukthalt av 8%.

#### 4.4. Råvarukostnader och energiåtgång

Kostnaderna för att producera salix visas i tabell 7. I beräkningarna har det antagits att odlingsperioden är 22 år innan grödan bryts. Kostnaderna har fördelats mellan de olika åren enligt den annuitetsmetod som använts av Rosenqvist (1997). Skörd sker efter år 5, 9, 13, 17 och 21. Avkastningen antas vara 20 ton ts/ha första gången och sedan 30 ton ts/ha. I tabell 7 redovisas genomsnittliga kostnader för de år då odlingen pågår. Den genomsnittliga avkastningen per år blir 6,4 ton ts/ha (ca 13 ton/ha med en vattenhalt på 52%). År 2, 6, 10, 14 och 18 tillförs 80 kg kväve/ha, 40 kg fosfor/ha respektive 120 kg kalium/ha. Dessutom tillförs 120 kg kväve/ ha år 3, 7, 11, 15 och 19.

Kostnaderna har beräknats för två olika hanteringssystem: direktflisning och skörd av helskott för senare flisning. För direktskörd gäller produktionskostnaderna i tabell 7 fram till flisad vara i container vid fältkanten. För skottskördad salix gäller kostnaderna fram till flisning vid avlägg under sensommaren när skotten torkat till en fukthalt på 30%.



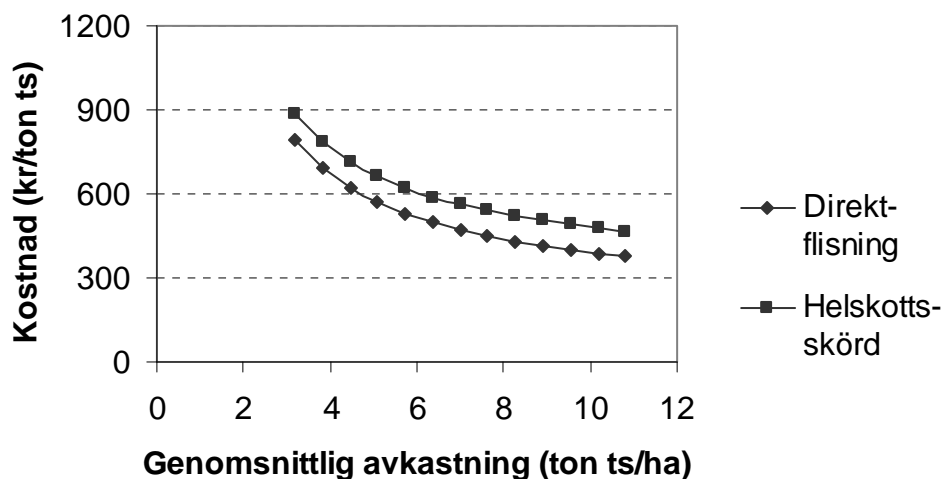
Tabell 7. Kostnad för direktskördad och helskottsskördad salix. Kostnaderna gäller exkl arrendavgifter och gårds-, anläggnings- och energigrödestöd. Detaljerade förutsättningar för beräkningarna redovisas i bilagorna 1, 2, 3 och 4

	Direktflisning, kr/ha	Helskottsskörd, kr/ha
Sticklingar inklusive plantering	622	622
Jordbearbetning, sådd, gödsling	171	171
Bekämpningsmedel	66	66
Gödsel N	439	439
Gödsel PK	278	278
Tillsyn, företagsgemensamma kostnader	300	300
Summa odling	1 876	1 876
Skörd direktflisning/helskott	991	358
Transport i fält, uppsamling	305	321
Flisning (inkl hantering vid flisning)		1 195
Summa, kr/ha	3 171	3 750
Summa, kr/ton ts	498	589
Summa, kr/ton (15% vattenhalt)	424	501
Summa, kr/ton (30% vattenhalt)	349	412
Summa, kr/ton (52% vattenhalt)	239	283
Summa, kr/MWh <sup>a</sup>	99	117

<sup>a</sup> Räknat på det effektiva värmevärdet baserat på salixens torrsubstans.

Med de ovan nämnda förutsättningarna har systemet med direktflisning lägst kostnad. Systemet med helskott kräver ett extra hanteringsmoment i samband med flisningen som utgör en stor kostnadspost. Detta innebär att skottskörd får högre totala kostnader trots att skördekostnaderna i fält är lägre än vid direktflisning. Ett alternativ för skottskördad salix är att buntarna efter torkning vid uppläggningsplats transporteras med timmerbil till en central flisningsanläggning. Ett system med sådana buntar (diameter 0,75 m, längd 3 m, vikt 0,5 ton) kan eventuellt medföra lägre totala kostnader för skottskördad salix (Forsberg m fl, 2007).

I figur 17 visas de totala produktionskostnaderna för salix som funktion av skördenivån. Då den årliga genomsnittliga avkastningen ökar från 3,2 till 10,8 ton ts/ha, i steg om 0,64 ton ts/ha, halveras kostnaderna (det antogs att avkastningen vid skörd efter år 5 ökar från 10 till 34 ton ts/ha i steg om 2 ton ts/ha, och att avkastningen vid skörd efter år 9, 13, 17 och 21 ökar från 15 till 51 ton ts/ha i steg om 3 ton ts/ha).



Figur 17. Produktionskostnaderna som funktion av ts-avkastningen för direkt- och skottsskördad salix.

Energiåtgången för att producera salix visas i tabell 8. I beräkningarna har behovet av dieselbränsle räknats om till primär energi, d v s även den energi som behövs för att producera bränslet ingår. För att få fram 1,0 MJ diesel (MK1) har det åtgått 0,06 MJ (Uppenberg m fl, 2001). Indirekt energi för maskinell utrustning, d v s energi för att tillverka maskiner, byggnader, m m, ingår ej. I tabellen ses att de arbetsoperationer som innehåller flisning är mest energikrävande. Direktflisning i fält blir mer energieffektiv än flisning av helskott från välta. En orsak till detta är ett arbetsmoment mer, samt att hacken matas med en jämn ström av helskott vid direktskörd, och att den då kan utnyttjas mer effektivt än en flishugg som arbetar vid en välta.

Tabell 8. Energiåtgång för att producera salix från odling till flisad produkt i containrar färdig för transport till värmeverk. Detaljerade förutsättningar för beräkningarna redovisas i bilaga 1, 2, 3 och 4

	Direktflisning, MJ/ha	Helskottsskörd MJ/ha
Sticklingar inklusive plantering	37	37
Jordbearbetning, sådd, gödsling	120	120
Bekämpningsmedel	49	49
Gödsel N	1 832	1 832
Gödsel PK	222	222
Summa odling	2 259	2 259
Skörd direktflisning/helskott	837	315
Transport i fält, uppsamling	397	390
Flisning (inkl hantering vid flisning)		951
Summa, MJ/ha	3 493	3 916
Summa, MJ/ton ts	549	615
Skörd av salix <sup>a</sup> , MJ/ha	114 936	114 936
Nettoskörd <sup>a</sup> , MJ/ha	111 443	111 021
Energikvot <sup>a</sup>	32,9	29,4

<sup>a</sup> Beräknat på det effektiva värmevärdet baserat på salixens torrs substans.

## 5. HALM SOM RÅVARA

### 5.1. Skörd och hantering

Halm är det åkerbränsle som bedöms ha den största potentialen, åtminstone på kort sikt. Idag används uppskattningsvis 0,1 milj ton halm som bränsle i Sverige, medan den praktiska potentialen bedöms vara minst 1,0 milj ton eller ca 4 TWh/år. Detta kan jämföras med situationen i Danmark, där man årligen använder 1,5 milj ton halm i ca 10 000 gårdspannor och i ca 120 värmeverk, varav ett tiotal är kraftvärmeverk (Bernesson & Nilsson, 2005).

Halm är en biprodukt vid odling av spannmål och oljeväxter och definieras som de ovanjordiska växtdelar som återstår när kärnor eller frön borttagits vid tröskningen. Nettohalmmängden, dvs när hänsyn har tagits till förluster i form av stubb, agnar, boss, skördespill, mm, kan variera stort mellan olika år och mellan olika spannmålsslag. För att uppskatta nettohalmmängden har man ofta använt en halm:kärn-kvot, vilken uttrycker viktsförhållandet mellan nettohalmmängden och skördad kärnmängd. För t ex höstvetete, korn, höstråg och oljeväxter är denna kvot 0,85:1, 0,65:1, 0,95:1 respektive 1,3:1 (Nilsson & Ekström, 1982). Enligt SCB är normskörden för höstvetete i t ex Uppsala län och i Skåne län 5,1 ton/ha respektive 8,0 ton/ha (SCB, 2007a), vilket innebär att halmskörden skulle vara 4,3 respektive 6,8 ton/ha. I praktiken är dock halmskörden lägre, eftersom växtförädlingen har inneburit att stråna är kortare idag samtidigt som kärnskörden är högre, och eftersom man tröskar med högre stubb idag för att öka tröskans kapacitet.

Det spannmålsslag som främst används för bränsleändamål är höstvetete, eftersom det i jämförelse med andra sädesslag har hög avkastning, goda bränsleegenskaper och mognar relativt tidigt, vilket möjliggör en längre skördeperiod. Ofta används även halm från råg, rågvete, korn och raps. För att långsiktigt bevara markens mullhalt och därmed dess avkastningsförmåga, brukar man rekommendera att man i spannmålsdominerade områden inte ska bärga halmen mer än en gång i växtföljden, och att bärgning bör undvikas helt om mullhalten understiger 4% (Nilsson, 1999).

Bärgningen utförs med pressar som antingen ger rundbalar, vilka vanligen är 1,20 m breda och väger 150-300 kg, eller fyrkantbalar, vilka kan vara upp till 2,50 m långa och väga upp till 520 kg (Nilsson, 1999). Densiteten hos rundbalar är runt 110 kg/m<sup>3</sup>, medan den är ca 150 kg/m<sup>3</sup> hos fyrkantbalar (kallas också för högdensitetsbalar). Rundbalspressar används oftast vid eldning på gårdsnivå, medan fyrkantpressarna används för bärgning i större skala. Visserligen är de senare pressarna dyrare, men de har högre kapacitet och ger balar med högre densitet och bättre staplingsegenskaper, vilket gör att transporter, lagringen och hanteringen vid värmeverket blir billigare. För att undvika mögelbildning och stopp vid inmatningen i pannan, måste halmen vara torr vid pressningen, dvs helst ha en vattenhalt som inte överstiger 18%.

Kraven på låg vattenhalt innebär att det kan bli svårt att bärga tillräckliga mängder med torr halm vissa höstar. Tiden mellan tröskning och höstbearbetning bör vara så lång och så vädermässigt fördelaktig som möjligt, samtidigt som man bör ha tillgång till hög maskinkapacitet. Därför lämpar sig storskalig halmbärgning bäst i de södra och östra slättbygderna i landet. För användning av halmbränsle på gårdsnivå kommer naturligtvis även andra regioner ifråga, men man bör ha ett buffertlager som säkerhet.

Eftersom bränslet är mycket skrymmande, bör transportavstånden hållas så korta som möjligt (det är myndigheternas bestämmelser om lastens höjd och längd som begränsar hur mycket som kan transporteras, inte lastens vikt). För kortare transporter kan man använda traktorekipage, medan lastbilekipage blir billigare för längre sträckor.

Halmen bör lagras under tak för att bevara dess kvalitet. Lagringen blir billigast om man kan utnyttja befintliga byggnader, t ex stolplador. I vissa fall lagras halmen utomhus i höga stackar, där det översta lagret används som ”tak”. Kassationsförlusterna blir dock större med denna lagringsmetod.

Försök har gjorts med att hacka halmen redan på fältet när den ligger i strängarna (Stridsberg & Christensson, 1995), och sedan lagras den i stora otäckta stackar utomhus (Stridsberg & Christensson, 1997) (man har även provat med hackad helsäd, se Bernesson & Nilsson, 2005). Fördelarna är bl a att man kan använda befintliga jordbruksmaskiner (som utnyttjas till annat under året), att lagringen blir billigare (det är endast ytlagret som blir fuktigt vid nederbörd) och att hanteringen vid pannan blir billigare (man slipper rivare m m). Transporterna blir dock betydligt dyrare, och detta är en viktig orsak till att hackad bränslehalm inte har slagit igenom. Fälthackning av halm kan dock vara intressant i kombination med förädling på gården (Brundin, 1988).

## 5.2. Bränsleegenskaper

Som bränsle karakteriseras halm av hög askhalt (4-8% av ts), låg asksmälttemperatur (800-1000°C), korrosivitet, samt av dess stråformighet, som bl a kan leda till problem vid inmatningen, särskilt om bränslet är fuktigt. Det är framförallt det höga innehållet av alkalimetaller (kalium, natrium m m) och klor som orsakar problemen med sintring och korrosion, antingen s k lågtemperaturkorrosion, som kan orsaka skador i bl a skorstenen, eller s k högtemperaturkorrosion, som kan orsaka skador i överhettaren vid elproduktion. Dessutom ger dessa ämnen beläggningar på tuberna, vilket försvårar värmeöverföringen (askrelaterade förbränningsproblem hos biobränslen diskuteras mer ingående i kapitel 12).

Man kan till viss del påverka halmens bränsleegenskaper genom att använda s k grå halm. Halm som nyligen har tröskats benämns gul halm, medan halm som legat ute ett tag och utsatts för nederbörd benämns grå halm. I tabell 9 visas hur bränsleegenskaperna varierar beroende på om det är gul eller grå halm. Grå halm har lägre askhalt, lägre innehåll av korrosiva ämnen, ett högre värmevärde och en högre asksmälttemperatur. Förklaringen till de förbättrade egenskaperna hos grå halm är att de ämnen som orsakar problemen vid eldningen är vattenlösliga och därför till viss del har lakats ut.

I Danmark har man provat att koka halmen vid en temperatur på 160°C för att minska halten av oönskade ämnen. Vid de efterföljande försöken upptäckte man att halten klor och kalium kan reduceras vid betydligt lägre vattentemperaturer (50-60°C) till en lägre kostnad (Nikolaisen m fl, 1998), men kostnaden för tvättning, torkning, förluster av organiska ämnen, m m, är ändå för hög för att det ska bli intressant. Även Jenkins m fl (1996) har undersökt om man kan laka ut oönskade ämnen ur bl a vete halm med hjälp av vatten. I laboratorieskala fick de mycket goda resultat, men de anser också att steget till kommersiell användning är mycket långt.

Tabell 9. Skillnaderna i bränsleinnehåll mellan gul och grå halm. Egenskaperna för skogsflis är medtagna som jämförelse (Nikolaisen m fl, 1998)

	Gul halm	Grå halm	Skogsflis
Vattenhalt, %	10-20	10-20	40
Flyktiga beståndsdelar, %	>70	>70	>70
Aska, %	4	3	0,6-1,5
Kol, %	42	43	50
Väte, %	5	5,2	6
Syre, %	37	38	43
Klor, %	0,75	0,2	0,02
Kväve, %	0,35	0,41	0,3
Svavel, %	0,16	0,13	0,05
Eff värmevärde, MJ/kg	14,4	15	10,4
Initial asksmälttemperatur, °C	800-1000	950-1100	1000-1400

I tabell 10 visas resultat från askanalyser. Dominerande ämnen i askan är kisel, kalium och kalcium. Askans innehåll påverkas dock starkt av sortmaterialet, jordarten, m m, och de som eldat länge med halm har ofta lokal kännedom om vilka områden och sorter som passar bäst för undvikande av sintringsproblem. Askans sammansättning vid förbränning i olika pannor visas i tabell 11. Bottenaskan lämpar sig väl för återföring till åkermarken, medan spridning av flygaska på åkermark bör undvikas p g a det höga innehållet av tungmetaller, t ex kadmium.

Tabell 10. Median och intervall för halmaskans innehåll beräknat från 6 referenser (decigram/kg), samt ett exempel på hur värdena kan se ut (Strömberg, 2005)

	Median	Intervall		Exempel
		Min	Max	
Aluminium	0,24	0,15	0,30	0,24
Kalcium	7,72	6,79	10,93	9,08
Järn	0,19	0,13	0,41	0,41
Kalium	5,65	0,91	15,27	15,27
Magnesium	1,21	1,21	2,05	2,05
Mangan	0,04	0,04	0,07	0,06
Natrium	0,69	0,56	0,74	0,67
Fosfor	1,66	1,40	0,74	2,36
Kisel	30,39	21,74	33,94	21,74

Tabell 11. Exempel på sammansättning i botten-, flyg- och blandaska från förbränning av oförädlad halm i olika pannanläggningar. Uppgifterna avser medelvärden för vete (V), korn (K), råg (R) och raps (Ra) (Hadders och Flodén, 1997)

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

Halmens förbränningsegenskaper beror också på spannmålsslaget; se exempel på provresultat för olika spannmålsslag i tabell 12. Havre har hög halt av bl a kalium, och därför undviker man ofta att använda havrehalm som bränsle, eftersom det medför större risk för sintring. Halm från oljeväxter ger däremot mindre sintringsproblem än spannmålshalm p g a högre asksmälttemperatur (Stridsberg & Christensson, 1994). Tidpunkten för skörd har liten betydelse för bränslekvalitén, förutom om den sker vid mycket tidiga mognadsstadiet (Hadders, 1994). Vid mycket tidig skörd ökar innehållet av klor, kalium, natrium och svavel, medan halten kisel däremot tycks bli lägre. Halm som behandlats med klorhaltiga bekämpningsmedel har ett högre innehåll av klor, vilket kan påverka förbränningsegenskaperna (Hadders, 1994).

Tabell 12. Exempel på skillnader i halmens askinnehåll för olika spannmålsslag (Wilén m fl, 1987)

Askkomponent, %	Vete	Råg	Korn	Havre
SiO <sub>2</sub>	78,2	61,7	44,7	37,3
K <sub>2</sub> O	6,6	19,2	37,1	40,3
CaO	5,0	7,4	9,3	12,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,3	3,7	3,8	4,1
MgO	3,6	2,8	2,5	3,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,0	2,1	0,4	0,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,5	1,5	0,5	0,5
SO <sub>3</sub>	1,4	1,3	1,4	1,4
Na <sub>2</sub> O	0,3	0,3	0,3	0,3
Initial asksmälttemp, °C	900-1050	800-850	730-800	750-850
Helt smält, °C	1400-1500	1300-1400	1050-1200	1150-1250

### 5.3. Pelletering av halm

#### 5.3.1. Erfarenheter av halmpelletering i Sverige

Idag förekommer ingen kommersiell tillverkning av halmpellets i Sverige. Under åren 1983-84 provade dock f d Sockerbolaget att pelletera halm i stor skala vid sin anläggning i Köpingsbro (Andersson & Eliasson, 1985). En viktig anledning var att det dåvarande sockerbruket var beläget i ett område med ett stort halmöverskott, vilket gav låga transportkostnader för råvaran. En annan viktig anledning var att sockerbruket var igång endast ca tre månader per år, och att den tork- och pelleteringsutrustning som användes för att tillverka betför stod stilla

en stor del av året. Därför letade man efter alternativ till att kunna utnyttja maskinkapaciteten bättre. En tredje anledning var att man hade stor erfarenhet av att lagra och hantera pelleterat material (betför).

Under år 1983 tillverkade man 65 ton halmpellets av vete-halm med olika additiv (Wafex som bindemedel och Poryclean för att förhindra slaggbildning), och under år 1984 tillverkade man 40 ton pellets av vete- och rapshalm med varierande inblandning av spån och bark (för att höja asksmälttemperaturen) samt kolvatten (som bindemedel och för att förbättra förbrännings-egenskaperna). Pelletsen hade diametrar på 12 och 16 mm. De olika pelletspartierna proveldades i två pannor på 20 resp 23 kW. Vidare genomförde man en omfattande systemstudie, där man provade och utvärderade olika sätt att lagra, hantera och distribuera bränslepelletsen från producent till konsument (Andersson & Eliasson, 1985).

Hela tillverkningsprocessen från halmbal via rivare, tork, kvarn och press till pellets fungerade bra utan större driftsstörningar. Man noterade också att rapshalm gick mycket lättare att riva än vete-halm. De lagrings- och distributionssystem som studerades kan med vissa mindre anpassningsåtgärder fungera väl för halmpellets. Lagring i planlager visade sig t ex vara ett bra alternativ, liksom distribution i behållarbil eller storsäck. Det största problemet vid eldningen var sintringen, speciellt för vete-halmpellets. Rapshalmpellets hade däremot mindre benägenhet att sintra. Tillsats av kolvatten ökade värmevärdet, askhalten och pelletsens hållbarhet, medan tillsats av spån och bark minskade askhalten. En slutsats i studien var att det torde gå att lösa de viktigaste förbränningsproblemen genom utveckling av pannor som är bättre anpassade för eldning av halmpellets (Andersson & Eliasson, 1985; PoD-rapportering, 1985).

Ett stort antal tillverkare av träpellets och tillverkare/leverantörer av utrustning har provat att pelletera halmpellets (några exempel på källor är Lindquist, pers medd, 2007; Svensson, pers medd, 2008; Arvidsson, pers medd, 2008; Wallin M, pers medd, 2008; Bühler, 2008; Biopress, 2008). Många uppger att det inte är några större skillnader i presskapacitet mellan halm och sågspån, och att stråformiga råvaror t o m kräver ett lägre effektbehov än sågspån. En nackdel med stråformiga material är att man behöver en mer komplicerad förbehandlingslinje med rivare, hack och kvarn med bl a större risk för gnistbildning och andra driftsstopp.

I Västergötland har man byggt en småskalig anläggning för gårdspelletering av bl a halm (Land Lantbruk, 2007). Genom att blanda halmen med hampa, blir askhalten lägre. För villapellets uppges att man behöver upp till 80% hampa för att pelletsen ska vara aktuell för villaägare. Man har också en viss inblandning av rapskaka, bl a som bindemedel och för att höja energiinnehållet.

Utsläppen vid småskalig förbränning av halmpellets har undersökts av Olsson (2006). Försöken visade att utsläppen av kolväten generellt sett är relativt låga. I gasförbränningsfasen, speciellt i den senare delen, är dock utsläppen av cancerogena polycykliska aromatiska kolväten (PAH) högre än för träpellets. Utsläppen av hälsofarliga kolväten minskar om man undviker att gå för långt ned i temperatur när värmebehovet minskar, och för villabrännare kan man eventuellt överväga att koppla till en ackumulatortank vid eldning av halmpellets.

### **5.3.2. Utländska erfarenheter**

Det finns en mängd utländska studier där man undersökt pelletering av halm. En inblick i studier genomförda i Finland, där man även byggde en mobil halmpelleteringsanläggning, ges av Wilén m fl (1987). I Tyskland förekommer produktion av halmpellets i viss utsträckning

(Strohpellets, 2008), och en kort sammanfattning av tyska erfarenheter av detta bränsle ges av Hiendlmeier (2006). Även i Danmark har man genomfört flera studier (Gylling, 1983; Andreasen, 1994; Nikolaisen m fl, 2002), och i Køge finns nu den största fabriken för kommersiell tillverkning av halmpellets.

Fabriken i Køge togs i bruk år 2003. Den har en årskapacitet på 150 000 ton halmpellets. Några fördelar med att tillverka halmpellets istället för träpellets är att råvaran finns i stor mängd inom relativt korta avstånd, och att den inte behöver torkas före pressningen. En annan fördel är att matriserna inte behöver bytas lika ofta som för träpellets (Bioenergy Research, 2004). En viktig nackdel är dock att kommersiell tillverkning av halmpellets är en ny företeelse, och man har därför haft en del problem med utrustningen och hur den ska ställas in för optimal drift (Bernesson & Nilsson, 2005).

Halmpelletarna som tillverkas i Køge skeppas med båt in till Amagerverket i Köpenhamn, där de mals ned och används i en f d kolpulverpanna (Bioenergy Research, 2004). Totalt sett blir det billigare att gå omvägen via pellets och pulver då man kan använda befintliga pannor, istället för att använda oförädlad halm i nybyggda förbränningsanläggningar. Vidare slipper man transporter av balad halm genom staden. En viktig nackdel med halm är att det är ett mer besvärligt bränsle att elda, men i sådana stora f d kolanläggningar som det rör sig om här, uppges att man kan hantera dessa problem. Dessutom blir verkningsgraden betydligt högre när man eldar med pulver istället för med riven halm.

I Danmark har man också genomfört en ingående studie av tillverkning och eldning av pellets av bl a halm-sågspånsblandningar avsedda för mer småskaliga pannor (Nikolaisen m fl, 2002). Ca 1,5 ton av olika blandningar med tillsatser av olika anti-slaggningsmedel och bindemedel studerades tillsammans med ett referensparti med träpellets (tabell 13). De parametrar man undersökte var bl a pelletskvalitet (volymvikt, hållfasthet, vattenhalt), askans benägenhet att sintra, slaggbildning vid förbränningskammarens väggar och luftmunstycken, beläggningar i panna och rökgastuber, samt förbränningskvalitet (bl a nivå och variationer i CO-utsläpp). Pelletsproverna eldades i en panna på 30 kW (Reka HKRST-FSK 30). I studien beräknade man också produktionskostnaderna för pelletsen.

*Tabell 13. Beskrivning av de olika provpartier som ingick i den danska studien. Ett parti med träpellets (R0) användes som referens. Som anti-slaggningsmedel användes aluminiumhydroxid ( $Al(OH)_3$ ), kaolin ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ), kalciumoxid ( $CaO$ ) och kalciumkarbonat ( $CaCO_3$ ) (Nikolaisen m fl, 2002)*

Prov-parti	Diameter, mm	Råvara 1	Råvara 2	Anti-slaggningsmedel	Bindemedel	Smörjmedel
R0	8	1/1 sågspån				
R1	12	1/1 vetehalm		1% $Al(OH)_3$		
R2	12	1/1 vetehalm		2% kaolin		
R3	12	1/1 vetehalm		1% $CaO$	3% melass	
R4	12	2/3 vetehalm	1/3 sågspån	5% $CaCO_3$		
R5	12	2/3 vetehalm	1/3 sågspån	5% $Al(OH)_3$	5% melass	
R6	12	2/3 vetehalm	1/3 sågspån	5% $CaCO_3$	5% melass	5% rapsolja

I tabell 14 redovisas resultaten från den danska studien. Referenspartiet med träpellets (R0) hade hög pellets-kvalitet, ingen sintring, ingen övrig slaggbildning, praktiskt taget inga beläggningar, och mycket god förbränning. Partierna med enbart vetehalm som råvara hade allvar-



liga problem med sintring, slaggbildning, beläggningar och höga CO-utsläpp. Proverna R4 och R5 hade inga problem med sintring och relativt god förbränning, men däremot kraftig slaggbildning vid luftmunstyckena, mycket beläggningar samt dålig pellets-kvalitet (hög finandel). Det bästa provpartiet där halm ingick var R6. Samtliga undersökta parametrar var relativt bra, förutom problem med slaggbildning vid luftmunstyckena. Nikolaisen m fl (2002) drog slutsatsen att detta var det enda bränslet som skulle kunna vara aktuellt för eldning i mindre pannor, men man får å andra sidan räkna med mycket arbete med rengöring av förbränningskammare och rökgastuber.

I tabell 14 redovisas också de beräknade produktionskostnaderna. Av tabellen framgår att samtliga halmpellets-partier, utom för partiet där man bl a tillsatte 5% aluminiumhydroxid (R5), var konkurrenskraftiga mot träpellets (under de danska förhållanden som gällde år 2002). Som en jämförelse kan nämnas att en kostnad på 26,8 öre/kWh för träpellets i tabell 19 motsvarar en kostnad på 2,09 SEK/kg (inkl moms).

*Tabell 14. Värdering av olika egenskaper hos de olika provpartierna i en tiogradig skala, där 1=bäst och 10=sämst, tillsammans med ett genomsnittligt totalbetyg, samt produktionskostnader (exkl moms) uttryckta i danska kronor/GJ och svenska ören/kWh (Nikolaisen m fl, 2002). 1,00 DKK=1,22 SEK (2007-02-03)*

Provparti	Pellets-kvalitet	Förbränning	Sintring	Slaggbildning	Beläggningar	Total värdering	Värmevärde, MJ/kg	Kostnad, DKK/GJ	Kostnad, öre/kWh
R0	1	1	1	1	1	1	17,3	79,2	26,8
R1	6	10	10	-	10	9	15,3	70,3	23,8
R2	7	6	10	-	10	8	15,1	71,7	24,3
R3	5	10	10	10	10	9	15,2	70,5	23,9
R4	10	4	2	10	8	7	15,4	75,1	25,5
R5	7	2	2	10	10	6	15,2	87,7	29,7
R6	3	3	2	9	3	4	16,2	79,2	26,8

En större undersökning av kvalitén hos olika typer av pellets från olika europeiska länder genomfördes av Obernberger & Thek (2004). Tyvärr hade man endast två prover med halmpellets, men dessa visade att halmpellets inte är lämpligt att använda som bränsle i dagens villabrännare p g a hög askhalt, högt innehåll av kväve, kalium och klor, samt dålig hållfasthet. Däremot menar författarna att halmpellets kan vara ett lämpligt bränsle i större anläggningar. Kvaliteten hos halmpellets tycks dock vara beroende av spannmålsslaget (Mani m fl, 2006). Hållfastheten för pellets från kornhalm är något högre än för vete-halmpellets, medan densiteten hos vete-halmpellets tycks vara mindre beroende av halmens partikelstorlek än vad som gäller för kornhalm. Mald majshalm kan pressas till hög pelletsdensitet med lägre tryck än vad som gäller för vete-halm, kornhalm och switchgrass. Detta kan bero på att majshalm har högre proteinhalt, och att proteinet fungerar som ett bindemedel då det smälter (Mani m fl, 2006).

## 5.4. Brikettering av halm

### 5.4.1. Erfarenheter från halmbrikettering

I Västergötland genomförde man i början på 80-talet några satsningar för att komma igång med brikettering av halm. Västsvenska Lantmän byggde t ex en stationär anläggning för brikettering av halm i Lidköping (Praks & Hadders, 1990). Anläggningen kallades för Agrobrik

(PoD-rapportering, 1985). Den lades dock ned efter ett par år på grund av tekniska problem och dålig efterfrågan (PoD-rapportering, 1985; Praks & Hadders, 1990). Av samma skäl lades en liknande satsning ned på Torsö något år senare. Här hade några personer bildat en ekonomisk förening och byggt en stationär brikettpress med halm och vass som råvaror. Provedningarna av briketterna gick bra, men som nämnts tidigare, lades projektet ned på grund av tekniska problem vid briketteringen och svag efterfrågan (PoD-rapportering, 1985).

Under 80-talet tog en lantbrukare i Skåne initiativ till att bygga en mobil briketterings-anläggning för halm (Nilsson & Westgren, 1986; Praks & Hadders, 1990). Enligt en förstudie av Nilsson och Westgren (1986), skulle briketterna kunna framställas till en kostnad av 13-16 öre/kWh. Maskinen skulle drivas av en dieselmotor, som via en generator producerar el till blanda hacken, och som via rökgaserna producerar värme för torkning av råvaran. Brikettpressarna skulle drivas hydrauliskt. Maskinens effektbehov skulle vara 85 kW, och kapaciteten 600 ton per år.

I en annan förstudie av Praks och Hadders (1990) skulle en mobil anläggning för brikettering av halm väga minst 10 ton och därför kräva hög standard på vägar och uppställningsplats. Gott om utrymme skulle dessutom behövas runt maskinen för hantering av balar och briketter. Vidare skulle anläggningar som drivs av el kräva säkringar i storleksordningen 200A, vilket inte är vanligt förekommande på gårdar. Författarna beräknade den totala kostnaden för mobil brikettering till 28-33 öre/kWh. Dessutom menade de att halmens vattenhalt inte bör överstiga 18% vid brikettering, men om skruvpressar används kan högre vattenhalter eventuellt tolereras, eftersom en viss mängd förångas vid kompressionen. Enligt den marknadsundersökning som gjordes, fanns det på marknaden två fabriker av mobila briketteringsanläggningar: Destec i Danmark och UWAS i Tyskland, med kapaciteter på upp till 1,5 ton/tim (Praks & Hadders, 1990).

Vid brikettering har både strållängd och vattenhalt stor betydelse för briketternas hållfasthet. För långa halmstrån ger en lätt sönderfallande brikett, och en för kort strållängd innebär att man har snittat råvaran mer än vad som behövs. För pressning i kolvpressar fordras en snittlängd på 30-60 mm, och i skruvpressar en snittlängd på 30-40 mm (Gylling, 1983). Enligt Schmidt m fl (1984) är den optimala vattenhalten omkring 16%. Andra författare anger dock lägre vattenhalter; exempelvis menar Wilén m fl (1984) att den är 10-15%. 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 m fl, 1984). En nackdel med halmbriketter kan vara att dessa har större tendens att bilda valv än halmpelleter (Praks & Hadders, 1990). Energiförbehovet i en kolvpress är 40-50 kWh/ton och 70-80 kWh/ton i en skruvpress (Gylling, 1983).

Det finns flera exempel på studier där man provat att brikettera blandningar av halm och andra råvaror. Wamukonya och Jenkins (1995) provade att brikettera sågspån och vetehalm, samt blandningar av dessa råvaror, i en kolvpress (utan bindemedel). Briketter tillverkade av enbart sågspån hade betydligt bättre hållfasthet än briketter tillverkade av enbart halm (82,6 resp 46,5 enheter enligt ASAE:s mätmetod, se Wamukonya & Jenkins (1995)). Blandningar med 50% halm och 50% sågspån förbättrade briketternas hållfasthet med 10% (51,5 enheter) jämfört med enbart halm, och blandningar med 25% halm och 75% sågspån resulterade i 45% bättre hållfasthet (67,6 enheter). Demirbas (1999) menade att det är svårt att tillverka hållbara halmbriketter utan bindemedel vid låga presstemperaturer. Genom att blanda in 20% avfallspapper som bindemedel, visade författaren att hållfastheten förbättras avsevärt, speciellt om

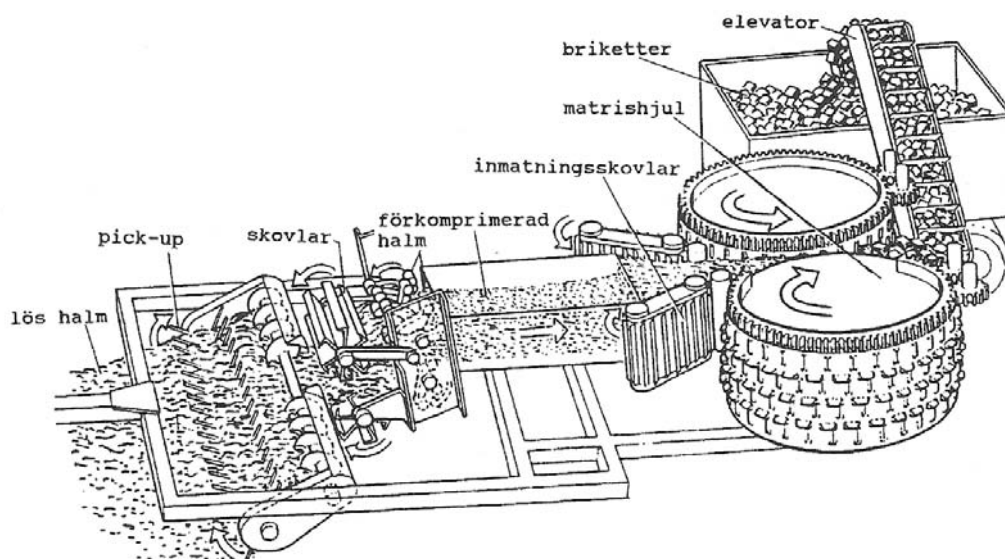
halmens vattenhalt är runt 18% och presstrycket runt 750 MPa. De bästa briketterna med enbart halm som råvara erhöles vid en presstemperatur på 112°C.

En omfattande litteraturgenomgång, som belyser svårigheterna vid halmbrikettering, gjordes bl a av O'Dogherty (1989). I sin studie tar han upp aspekter som rör halmens fysikaliska egenskaper och kompressionskaraktistika, och hur dessa bl a påverkar valet av presstryck, energibehovet, densiteten och hållbarheten hos halmbriketter. Även i Tyskland har man under flera år arbetat med att kompaktera halm till briketter, vilket inte minst framgår av litteraturlistan i en avhandling om halmbrikettering av Clauss (2006). Här har man bl a byggt fältgående maskiner för produktion av både rullbriketter (eller s k kompaktrullar, se Matthies & Wesche (1992)) och konventionella briketter (se nedan), men ingen av dessa maskiner har kommit till kommersiell användning.

#### 5.4.2. Fältbrikettering

Vid Silsoe Research Institute i Storbritannien utvecklade man i slutet av 80-talet en maskin för fältbrikettering av halm (Blackbeard, 1990), se figur 18. Komprimeringen skedde med hjälp av två stora matrishjul, vilka vägde 1,6 ton vardera. Dessa hjul drevs av en 6-cylindrig dieselmotor på 239 hk, medan själva maskinen krävde en traktor på minst 80 hk. Varje enskild brikett vägde ca 100 g och hade dimensionerna 3" x 3" x 1 1/4". Briketternas bulkdensitet uppgavs vara 300-350 kg/m<sup>3</sup>, och energibehovet 40-50 MJ/ton. Optimal vattenhalt var 12-15%, men intervallet 10-17% var acceptabelt. Om vattenhalten var för hög, expanderade briketterna efter komprimeringen, och om den var för låg, föll de sönder.

Maskinens beräknade kapacitet var 5 ton/tim, men detta nådde man inte upp till i praktisk drift. Dessutom höll inte briketterna ihop tillräckligt bra, maskinen var tung och otymplig, och man hade bl a tekniska problem med rullaxlar, m m (Hadders & Nilsson, 1993). En liknande maskin konstruerades också av det brittiska sockerbolaget ungefär samtidigt. Man hade dock en något annorlunda briketteringsprincip, där pressningstiden var längre i syfte att få mer hållbara briketter. Maskinen var emellertid mer effektkrävande, och kapaciteten lägre, än vad man hade förväntat sig (Hadders & Nilsson, 1993).



Figur 18. Maskin för fältbrikettering av halm. Halmen tas upp av en pick-up, förkomprimeras och passerar två stora matrishjul, där den komprimeras till briketter, som via en elevator förs till en bredvidgående vagn (Blackbeard, 1990).

Fältsbriketteringsmaskinerna som utvecklades i Storbritannien använde en typ av matrispressar med slutna presskammare, där briketterna ”stansades” ut mellan två pressrullar. Skälen till att man valde denna presstyp var att den ger en låg energiförbrukning i kombination med hög kapacitet. Den låga energiförbrukningen beror bl a på att halmen inte hackas före briketteringen. Med denna pressningsprincip blir briketternas hållfasthet nämligen bättre för halm som är ohackad och där stråna ligger ”huller om buller”, än där halmen är hackad och där stråna är orienterade i en viss riktning.

I en utvärdering av den använda pressmetoden konstateras dock att det är viktigt att materialet matas in i ett jämnt flöde, vilket kan vara mycket svårt under fältförhållanden (Stamford Consulting Group, 1999). Andra slutsatser från försöken var att hållfastheten ökar om man först ”skär” ut briketterna och sedan slutkomprimerar dem i ett efterföljande steg, samt att man inte ska pressa nytröskad halm, utan vänta några dagar, eftersom briketterna i sådana fall håller ihop betydligt bättre. Efter fältförsöken inriktade man sig i Storbritannien på att få fram mer grundläggande kunskaper om kompaktering av halm (Hadders & Nilsson, 1993).

Även i Tyskland byggde man under 90-talet en fältgående briketteringsmaskin som kallades för Biotruck 2000 (Nielsen, 2003). Maskinen var uppbyggd kring en självgående exakthack. Hålsäd, hö, halm och gräs kunde briketteras, och maskinen hade även en inbyggd torkningsanläggning. För hålsäd med en ingående vattenhalt på 15%, var kapaciteten 6 ton/timme och briketternas densitet  $500 \text{ kg/m}^3$ . Briketternas mått var 60 mm x 12 mm x 30-100 mm. Maskinen kunde även producera cylindriska pelleter med en diameter på 12 mm. Motorstyrkan var 354 kW och vikten ca 25 ton. Projektet lades dock ned eftersom maskinen blev för dyr i förhållande till dess kapacitet och korta årliga utnyttjandetid (Nielsen, 2003).

## 5.5. Råvarukostnader och energiåtgång

Kostnaden för halm som råvara vid tillverkning av pellets och briketter redovisas i tabell 15 (observera att endast kostnaderna fram till och med mellanlagret är medtagna här, övriga transportkostnader fram till pellets-/brikettfabrik redovisas i kapitel 11). Kostnaden har beräknats för fyra olika hanteringskedjor: balad halm i form av rundbalar ( $\text{Ø}1,5 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$ , 240 kg), rektangulära mediebalar (”mellanstora fyrkantbalar”) ( $0,7 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$ , 280 kg) och rektangulära storbalar (”stora fyrkantbalar”) ( $1,2 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$ , 520 kg), samt för hackad halm. Det har antagits att fältstorlek, arrondering, val av maskinsystem, m m, medger en förhållandevis rationell hantering. Mer detaljerad information om maskinkapaciteter, timkostnader och andra förutsättningar redovisas i bilaga 1.

I beräkningarna har det antagits att lantbrukaren får 100 kr/ton ts för halmen när den ligger oskördad på fälten, bl a som kompensation för näringsbortförelsen. Halmavkastningen är 3,0 ton ts/ha (3,7 ton/ha med 18% vh). Före pressningen har det antagits att 50% av halmen strängläggs/vänds innan den pressas. På fälten samlas balarna ihop av en lastmaskin och lastas sedan på transportfordonen (12 m långa), som exempelvis i fallen med rundbalar och stora fyrkantbalar, rymmer 30 resp 20 balar. För att beräkna transportavstånden har den metod som beskrivs i kapitel 11 använts. Med en lagrad mängd ( $S$ ) på 500 ton (410 ton ts), en slingerfaktor ( $\tau$ ) på 1,4, en ytandel ( $\phi$ ) på 10%, ett cirkulärt upptagningsområde där 75% kan utnyttjas ( $1/n=0,75$ ) och en hektaravkastning ( $M$ ) på 3,0 ton ts, blir det genomsnittliga transportavståndet 2,2 km. Balarna transporteras till ett inomhuslager, där de staplas med hjälp av en teleskopplastare. Varje lager består av en plåthall med hårdgjord yta (20 m bred, längden varierar

beroende av olika platsbehov vid lagring av halmen i olika former, och är: 44 m för stora och mellanstora fyrkantbalar, 58 m för rundbalar och 83 m för hackelse). Halmen tas kontinuerligt ut från lagret och det antas därför att den belastar lagerbyggnadskostnaden med 2/3.

Den hackade halmen skördas med hjälp av en självgående exakthack och transporteras sedan i genomsnitt 2,2 km till en lagerhall, där den lagras upp till en höjd av 3,0 m med hjälp av en lastmaskin. Det antas vara samma typ av hall som används för lagring av balarna (se ovan). I lagret har halmen en densitet på 100 kg/m<sup>3</sup>. I detta grundscenario lagras den hackade halmen under tak beroende på att det antas att det ställs höga krav på jämn kvalitet och liten kontamination av föroreningar när halmen ska pressas till briketter/pelleter.

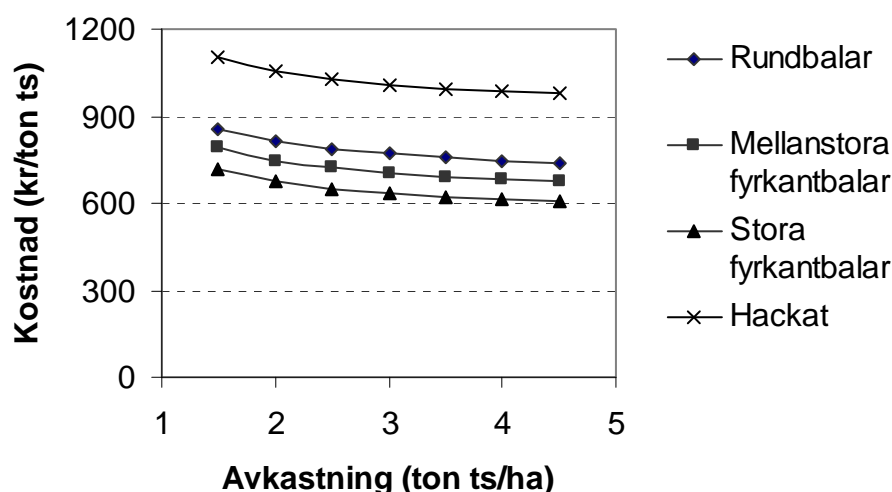
Tabell 15. Produktionskostnader för halm från fält till mellanlager. Detaljerade förutsättningar för beräkningarna redovisas i bilagorna 1, 2, 3 och 5

	Rundbalar, kr/ha	Mellanstora fyrkantbalar, kr/ha	Stora fyrkantbalar, kr/ha	Hackad halm, kr/ha
Halmkostnad	300	300	300	300
Strängläggning/strängluftning	248	248	248	248
Pressning/hackning	221	309	309	365
Ihopsamling/lastning	233	220	137	
Transport	260	223	130	337
Avlastning/inlastning	87	75	40	108
Lagring	959	736	736	1 668
Summa, kr/ha	2 309	2 110	1 900	3 027
Summa, kr/ton ts	770	703	633	1 009
Summa, kr/ton	631	577	519	827
Summa, kr/MWh <sup>a</sup>	166	152	137	218

<sup>a</sup> Räknat på det effektiva värmevärdet baserat på halmens torrsubstans.

Av tabell 15 framgår att produktionskostnaden blir lägst med stora fyrkantbalar (se Hesstonbalar). Detta beror på att kostnaderna för ihopsamling, lastning, transport och lagring blir mer effektiv än för de andra systemen på en högre densitet. Emellertid är pressningskostnaden för de stora fyrkantbalarna hög och dessutom är de känsliga för sjunkande kapacitet. Transportkostnaderna och lagringskostnaderna blir höga för alternativet med rundbalar beroende på att dessa utnyttjar transportvagnarnas och lagrets volym sämre än fyrkantbalarna. Dessutom är rundbalarna, beroende på sin lägre vikt, mer tidsödande att samla in. Rundbalspressarna kan dock användas även i andra maskinkedjor där man producerar grovfoder, vilket kan leda till ett större maskinutnyttjande och därmed lägre pressningskostnader. För systemet med hackad halm blir kostnaderna för hackning betydligt lägre än motsvarande kostnader för pressning och ihopsamling av balar. Emellertid blir kostnaderna för transporter och lagring betydligt högre, vilket gör detta alternativ mindre intressant, förutsatt att halmen inte förädlas på gårdsnivå.

De totala kostnaderna beror också på avkastningen per hektar. Av figur 19 framgår att kostnaderna sjunker med ökande avkastning. I beräkningarna har det tagits hänsyn till att transportavstånden ökar med sjunkande avkastning (se formel i kapitel 11); från 1,8 km för 4,5 ton ts/ha till 3,1 km för 1,5 ton ts/ha. Lagret rymmer 500 ton (vh 18%), såsom antagits tidigare, för alla avkastningsnivåer. Viss hänsyn har också tagits till att avkastningen och avstånden till lagret påverkar väntetider och hur hårt lastmaskiner, traktorer och vagnar kan nyttjas vid transporten till lagret.



Figur 19. Produktionskostnaderna som funktion av halmavkastningen per hektar.

Ett alternativ är att halmen lagras utomhus. Man slipper då ifrån kostnaden för en lagerbyggnad, men å andra sidan får man räkna med vissa kassationsförluster. Om man antar att rundbalar, mellanstora fyrkantbalar och stora fyrkantbalar lagras utomhus i höga staplade stackar, och att förlusterna är 10%, blir de totala kostnaderna 103 kr/MWh, 105 kr/MWh, respektive 88 kr/MWh. Om den hackade halmen lagras i otäckta stackar utomhus vid fältkanten, med en antagen kassationsförlust på 10%, blir kostnaden 95 kr/MWh. De flesta tillverkare av pellets och briketter kräver dock hög råvarukvalitet, och utomhuslagring är därför sällan ett alternativ.

Energiåtgången för att producera halmråvaran visas i tabell 16. Liksom för salix, har drivmedelsbehovet räknats om till primär energi, medan indirekt energi för tillverkning av maskiner, byggnader, m m, inte ingår. I beräkningarna har det inte heller tagits hänsyn till de ”energiförluster” man gör när man bortför näringsämnen via halmen. Däremot har det beaktats att man sparar energi när halmen inte hackas vid tröskningen.

Tabell 16. Energiåtgång för att hantera halm från fält till mellanlager. Detaljerade förutsättningar för beräkningarna redovisas i bilagorna 1, 2, 3 och 5

	Rundbalar, MJ/ha	Mellanstora fyrkantbalar, MJ/ha	Stora fyrkantbalar, MJ/ha	Hackad halm, MJ/ha
Inbesparad hackning	-70	-70	-70	-70
Strängläggning	112	112	112	112
Pressning/hackning	262	450	450	337
Ihopsamling/lastning	125	119	75	
Transport	85	72	51	306
Avlastning/inlastning	36	31	16	64
Summa, MJ/ha	550	714	634	750
Summa, MJ/ton ts	183	238	211	250
Skörd av halm <sup>a</sup> , MJ/ha	50 072	50 072	50 072	50 072
Nettoskörd <sup>a</sup> , MJ/ha	49 522	49 358	49 438	49 322
Energikvot <sup>a</sup>	91,0	70,1	79,0	66,8

<sup>a</sup> Beräknat på det effektiva värmevärdet baserat på halmens torrsubstans.

Pressningen respektive hackningen av halmen är de mest energikrävande momenten. Ju hårdare balarna är pressade ju mer energi går åt, men ju hårdare balarna är pressade, desto effektivare och därmed mindre energikrävande blir transporterna. Transporterna av hackelse blir energikrävande p g a låga lassvikter.

## 6. RÖRFLEN SOM RÅVARA

### 6.1. Odling, skörd och hantering

Rörflen (*Phalaris arundinacea* L.) är ett högvuxet vassliknande gräs som förökar sig med underjordiska utlöpare, s k rhizomer. Gräset har tidigare nyttjats som foder, men sedan 80-talet har det i huvudsak använts för energiändamål. Som energigröda har man främst använt sorten Palaton, som egentligen var avsedd för foderändamål. Under de senaste åren har man tagit fram en ny industrisort, Bamse, som bl a odlats i Röbbäcksdalen utanför Umeå (Larsson m fl, 2006). Idag uppgår odlingen av rörflen till runt 200 ha, varav en hel del odlas för försöksändamål. År 1992 var omfattningen som störst med 4 000 ha, men intresset för grödan minskade hos lantbrukarna eftersom det var få värmeverk som ville använda bränslet (Burvall, 1997b).

Rörflen trivs bäst på fuktiga marker, men ger hygglig avkastning även på torrare jordar. Man bör så det i rena bestånd, eftersom dess konkurrensförmåga är svag vid etableringen. Efter något år konkurrerar det dock snabbt ut ogräsen. Eftersom rörflen har en relativt långsam etablering, är det först under det tredje året som man kan räkna med full skörd. Vinterhärdigheten är mycket god, och grödan kan därför med fördel odlas i Norrland. Speciellt är mullrika och lerfattiga myrar i Norrland intressanta, eftersom skörden blir hög och askhalten låg på sådana marker.

Rörflen har god motståndskraft mot sjukdomar och skadedjur. Försök har gjorts i bl a Glommersträsk med att gödsla rörflen med slam och aska (Bioenergi Nord, 2007). Slam innehåller en hel del fosfor och kväve, medan aska bl a innehåller kalium, och en blandning av dessa gödselmedel kan därför vara fördelaktig ur näringssynpunkt. Förutsatt att gödselmedlen klarar gränsvärdena för bl a tungmetaller, är detta ett lönsamt alternativ ur ekonomisk synvinkel p g a rådande deponiavgifter (Olsson m fl, 2001b). Rörflen är också en effektiv upptagare av kväve, och grödan kan därför användas för kväverening av avloppsvatten.

Tidigare skördade man rörflen vid liknande tidpunkter som gäller för hö, t ex en skörd på sommaren och en på hösten, eller eventuellt en enda skörd på hösten. Vid dessa skördetidpunkter blir dock bl a askhalten höga och asksmälttemperaturerna låga, samtidigt som det kan vara svårt att få materialet tillräckligt torrt. I slutet på 80-talet inledde man därför försök med att skörda grödan under vårvintern. Fördelarna med detta är att bränsleegenskaperna förbättras avsevärt (eftersom bl a alkalimetaller och klor lakas ut), att en viss återcirkulation av växtnäring sker (eftersom de näringsrika bladen faller av under vintern), och att materialet torkar mycket snabbare (eftersom vattenbindningsförmågan är mycket låg i det döda växtmaterialet). Nackdelar med vårskörd är att avkastningen blir lägre och att skördeperioden mellan upptorkad mark och tillväxt av nya skott under vissa år kan bli mycket kort. Avslagning av nya skott har en negativ inverkan på det årsgamla gräset (hög vattenhalt, hög askhalt, m m) och det nya gräset (minskad tillväxt). Det finns också indikationer på att vårskörd av rörflen lämpar sig sämre i södra Sverige p g a högre vinterförluster som ett resultat av varmare vintrar (Olsson, 1997).

På senare tid har man provat att slå rörflenet sent på hösten när tillväxten avstannat, och sedan pressa strängarna direkt till balar under vårvintern. Några fördelar med denna metod är att risken för avslagning av årsskott minskar och att skördeperioden blir längre. Högre avkastning p g a mindre skördeförluster kan också förväntas, men preliminära studier tyder på att tiden för avslagning inte har någon större betydelse för skördeutfallet (Larsson m fl, 2006).



Under åren 2000-2004 genomfördes odlingsförsök vid SLU i Umeå med sorterna Palaton och Bamse. Den genomsnittliga avkastningen med konventionell vårskörd (avslagning och pressning till balar under våren) för dessa sorter var 4,0 resp 3,9 ton ts/ha (Larsson m fl, 2006). För Palaton var genomsnittsskörden endast ca 3,0 ton/ha under två första åren, medan den var ca 5,2 ton/ha de tre senare åren.

Samma typ av balpressar som används vid bärgning av halm kan även användas för bärgning av rörflen. Vid BTC i Umeå har man framförallt använt rundbalspressar, eftersom tillgängligheten är störst för dessa maskiner, och för att de väger mindre än fyrkantpressar och därmed ger mindre markskador (Larsson m fl, 2006). Dessutom har rundbalarna en mindre anliggningsyta mot marken, vilket medför mindre återfuktning av balarna från marken. Vid pressning av rörflen får man något högre baldensiteter jämfört med vad man får för halm. Den vidare hanteringen i form av transport och lagring sker på samma sätt som för halm.

Förutom rörflen finns det även andra gräs som i framtiden kan bli intressanta pellets- och briketråvaror. I Skåne provodlades exempelvis under år 2007 ett energigräs som uppges ha mycket hög avkastning. Gräset, som har försöksodlats i Ungern och heter szarvasi-1, beräknas ha en förstaskörd på minst 12 ton/ha och en askhalt på 3,6% (ATL, 2007a). Under hösten 2007 planerade två gods i Skåne att så 30 ha (ATL, 2007b). I Ystad har företaget Eastern Biofuels ansökt om att få bygga en ny pelletsfabrik med en årskapacitet på 90 000 ton, där detta gräs ska utgöra en råvara tillsammans med träråvara (Ystads Allehanda, 2007).

## 6.2. Bränsleegenskaper

En jämförelse av bränsleegenskaperna för sommar- och vårskördad rörflen visas i tabell 17. En fördel med vårskörd är att askinnehållet blir ca 10-15% lägre (Burvall, 1997a). Trots detta lägre innehåll bör man notera att rörflen har en askhalt som är 15-20 gånger högre än för träpellets (tabell 4). En annan fördel med vårskörd är att asksmälttemperaturen är betydligt högre, beroende på att de vattenlösliga alkalimetallerna lakats ur. Innehållet av kväve, som bidrar till ökade NO<sub>x</sub>-utsläpp, är lägre i vårskördad rörflen, eftersom de kväverika bladen fallit av från plantan. Likaså är halterna av klor och svavel lägre, vilket innebär mindre risk för bl a pannbeläggningar och korrosion, samt lägre emissioner av bl a dioxiner och SO<sub>x</sub>. Av tabellen framgår också att halten kisel i rörflen är runt tio gånger högre än i t ex träpellets. En slutsats är att vårskördad rörflen lämpar sig betydligt bättre än sommarskördad för förädling till pellets/briketter (Larsson m fl, 2006).

Förutom skördetidpunkten, har även jordarten stor betydelse för bränsleegenskaperna hos rörflen (Burvall, 1997a). I tabell 18 redovisas medelvärden för mätningar från 14 provtagningsplatser spridda över hela landet, samt för två extremfall: en styv lerjord och en mullrik (12%) sandjord. Askhalten var 4,6 gånger högre för lerjorden än för den mullrika sandjorden. Dessutom var bl a kväve-, kalium- och kiselhalterna betydligt högre för lerjorden, speciellt när det gäller kiselhalten. Lerjorden hade å andra sidan bättre egenskaper angående risken för asksmältning, men den lägre asksmälttemperaturen för den mullrika jorden är ändå så hög att den inte bör orsaka några problem.

Tabell 17. Bränsleegenskaper för sommar- och vårskördad rörfilen (Burvall, 1997a). Medelvärden för 14 olika provtagningsplatser i landet under 3 år (inom parentes anges standardavvikelsen). Dessutom visas medianvärden (min- och maxvärden inom parentes) från 9 referenser enligt Bränslehandboken (Strömberg, 2005)

	Sommarskörd (% av ts om inget annat anges)	Vårskörd (% av ts om inget annat anges)	Enl Bränslehandboken (% torrt askfritt om inget annat anges)
Fukt, %			14,4 (12,7-19,9)
Kal värmev, MJ/kg askfri ts			19,0(17,3-20,1)
Effektivt värmev, MJ/kg	17,9 (0,91) <sup>a</sup>	17,6 (0,85) <sup>a</sup>	13,8 (12,3-15,8)
Aska	6,4 (1,92)	5,6 (1,82)	5,9 (2,5-10) <sup>b</sup>
Initial asksmälttemperatur, °C	1074 (61)	1404 (183)	
Flyktiga ämnen	71 (1,9)	74 (1,0)	
Kol	46 (1,20)	46 (1,53)	48,6 (44,9-50,5)
Väte	5,7 (0,30)	5,5 (0,26)	5,9 (5,9-6,2)
Syre			43,7 (42,3-47,1)
Kväve	1,33 (0,42)	0,88 (0,22)	1,2 (0,9-1,2)
Svavel	0,17 (0,05)	0,09 (0,02)	0,2 (0,1-0,2)
Klor	0,56 (0,27)	0,09 (0,07)	0,8 (0,1-1,2)
Kalium	1,23 (0,46)	0,27 (0,17)	
Kalcium	0,35 (0,11)	0,20 (0,06)	
Magnesium	0,13 (0,05)	0,05 (0,02)	
Fosfor	0,17 (0,06)	0,11 (0,04)	
Kisel	1,2 (0,65)	1,85 (0,77)	
Natrium	0,02 (0,009)	0,02 (0,012)	
Kadmium, mg/kg	0,04 (0,02)	0,06 (0,05)	
Bly, mg/kg	1,0 (0,7)	2,1 (1,4)	
Kvicksilver, mg/kg	0,03 (0,01)	0,03 (0,01)	
Arsenik, mg/kg	0,11 (0,03)	0,22 (0,13)	

<sup>a</sup> Anges som MJ/kg ts.

<sup>b</sup> Anges som % av ts.

Tabell 18. Bränsleegenskaper hos vårskördad rörfilen för olika jordarter. Medelvärden från 14 provtagningsplatser i landet med två extremjordar: en lerjord och en mullrik sandjord (Burvall, 1997a)

	Medelvärde (% av ts om inget annat anges)	Lerjord (% av ts om inget annat anges)	Mullrik sandjord (% av ts om inget annat anges)
Effektivt värmevärde, MJ/kg	17,9	16,6	19,3
Aska	5,6	10,1	2,2
Initial asksmälttemperatur, °C	1 404	1 540	1 220
Kväve	0,88	1,3	0,6
Svavel	0,09	0,10	0,10
Klor	0,09	0,10	0,05
Kalium	0,27	0,30	0,12
Kalcium	0,20	0,17	0,15
Magnesium	0,05	0,06	0,04
Kisel	2,1	3,2	0,56

Den höga askhalten innebär att rörfilen måste eldas i pannor som kan hantera stora mängder aska. Enligt Larsson m fl (2006) betyder detta att rörfilenspellets inte är lämpligt som bränsle i mindre brännare för uppvärmning av villor. Rörfilensaska karakteriseras också av att vara voluminös och fluffig, vilket beror på att askpartiklarna har en mer oregelbunden form jämfört med t ex trädaska (Burvall, 1997b). Askan har därför en tendens att bilda valv, vilket leder till att bränslet inte brinner ut fullständigt då det stängs inne av dessa ”askskelett”, som bl a

består av kisel. Följaktligen kan verkningsgraden bli lägre och stoftutsläppen högre. Genom att konstruera pannan så att pellets/briketter av rörflen får en längre uppehållstid i pannan, blir det möjligt att uppnå en mer fullständig förbränning.

Askhalten är högre i bladen än i stjälkarna (tabell 19), vilket delvis förklarar varför vårskördad rörflen har lägre total askhalt. Askan hos rörflen innehåller en mycket stor andel kisel. Kvoten mellan innehållet av kisel och innehållet av de övriga dominerande ämnena kalium och kalcium (Si/(K+Ca)) tycks ha stor betydelse för asksmälttemperaturen (Paulrud m fl, 2001). Ju högre kvoten är, desto högre blir asksmälttemperaturen. Detta är troligen en förklaring till att rörflen med hög askhalt, dvs ett högt innehåll av kisel, har högre asksmälttemperatur än rörflen med låg askhalt. Eftersom andelen av SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O och CaO i askan ofta når upp till 90%, tycks man med god noggrannhet kunna förutsäga asksmälttemperaturen med hjälp av tillståndsdigram (se kapitel 12) (Paulrud m fl, 2001).

*Tabell 19. Exempel på askinnehåll (% av bränslets ts) och askans elementarsammansättning (% av askans ts) för fyra olika slag (A, B, C, D) av briketterad (b) och pelleterad (p) vårskördad rörflen (Paulrud m fl, 2001). Rörflenet A delades även upp i en fraktion som enbart bestod av blad och en fraktion som enbart bestod av stjälkar. Dessutom visas medianvärden (min- och maxvärden inom parentes) från 9 referenser enligt Bränslehandboken (Strömberg, 2005)*

	A (b)	A-blad (b)	A-stjälk (b)	B (b)	C (b)	A (p)	D (p)	Bränsle- handboken
Aska, % av bränslets ts	7,4	10,2	5,3	3,1	9,1	7,0	4,5	5,9 (2,5-10)
Kisel	40,1	39,6	40,0	30,6	42,1	40,3	29,3	21,8 (16,7-25,5)
Aluminium	0,32	0,90	0,15	1,01	0,14	0,21	0,88	0,28 (0,13-0,78)
Kalcium	1,82	2,29	1,65	6,55	1,30	2,05	8,34	6,65 (4,07-9,92)
Kalium	2,83	2,75	3,91	6,08	1,66	3,01	5,33	12,9 (5,7-18,9)
Magnesium	0,74	0,77	0,75	1,84	0,52	0,70	1,80	2,17 (1,45-2,65)
Natrium	0,18	0,32	0,10	0,30	0,10	0,56	0,61	0,70 (0,21-0,89)
Fosfor	1,18	1,19	1,33	2,55	0,79	1,28	3,09	3,23 (1,61-5,06)
Järn								0,32 (0,18-1,38)

### 6.3. Pelletering av rörflen

Ett omfattande arbete har gjorts vid Biobränsletekniskt Centrum (BTC), tillhörande Enheten för biomassateknologi och kemi, SLU i Umeå, för att undersöka möjligheterna att använda rörflen som råvara vid tillverkning av pellets och briketter.

Örberg m fl (2006) provade att pelletera rörflen i en press med fast matris och rörliga pressrullar (nominell produktionskapacitet 300 kg/tim). Vid försöken varierades bl a matrisens presskanallängd, kvarnens sällstorlek, råvarans fukthalt, och man konditionerade även råvaran med ånga. Man mätte bl a produktionskapaciteten, elförbrukningen och pelletskvaliteten (hållfasthet och bulkdensitet). Resultaten visade bl a att pressen gick mycket ojämnt och att produktionen var låg jämfört med när sågspån användes som råvara. Mald rörflen har betydligt lägre densitet och det var därför svårt att få ett tunt skikt som fastnade mellan pressrullarna och matrisen. Istället fanns det en tendens till att materialet följde med rullarna runt. Som ett resultat av de sämre flödesegenskaperna hos rörflen, blev det även ojämn inmatning p g a valvbildning. Örberg m fl (2006) provade också en press med rörlig matris, men problemen var likartade även med denna press. När det gäller råvarans fukthalt, kunde inga entydiga re-

sultat fås på grund av driftsstörningar, men enligt en studie som Larsson m fl (2006) refererar till, bör rörfilen ha en vattenhalt på 15-20% för att uppnå de bästa resultaten vid pelletering, vilket är avsevärt högre än vad som gäller för t ex sågspån.

Enligt Örberg m fl (2006), är det uppenbart att dagens pressutrustning, som är optimerad för användning av sågspån, inte är anpassad för denna typ av råvaror. För att minska densiteten hos rörfilen, provade författarna att brikettera materialet först och sedan sönderdela briketterna och därefter pelletera materialet. Resultatet efter förkompakteringen blev att produktionen blev jämnare och högre, vilket också har konstaterats i studier av Sjöberg (2006). Förklaringen tycks vara att de finaste partiklarna förblir komprimerade, och att materialet därför får bättre reologiska egenskaper. I Sjöbergs (2006) studie klarade förkompakterad rörfilens pellets kvalitetskraven när det gäller skrymdensitet (klass 2) och fukthalt (klass 1), medan pelletarnas hållfasthet och askhalt inte nådde upp till dessa klassificeringskrav.

Orienterade försök när det gäller odling, skörd och pelletering av rörfilen har också gjorts i Värmland under åren 1991-93 (Bondesson m fl, 1993). Försöken visade att det gick bra att pelletera rörfilen. Bakgrunden till detta projekt var bl a att en oförädlad balad råvara hade svårt att konkurrera med t ex skogsflis, och att man genom pelletering kommer in på en marknad med en högre betalningsförmåga.

Beträffande förbränning av rörfilens pellets, fann Örberg m fl (2006) att en hög askhalt minskar risken för sintring. De visade också att NO<sub>x</sub>-emissionerna är jämförelsevis höga för rörfilens pellets, vilket förklaras av det höga kväveinnehållet i bränslet. Enligt samma författare tycks hög askhalt ha en hämmande effekt på NO<sub>x</sub>-bildningen, eftersom NO<sub>x</sub>-emissionerna steg vid sjunkande askhalter. När det gäller utsläppen av stoft, tycks det vara så att en ökad andel rörfilen i pellets som består av en mix av rörfilen och kutterspån/torv/papper ger ökade utsläpp av stoft (Ulander, 2001). Rörfilen som mixas med brännbart hushållsavfall kan ge förhöjda utsläpp av HCl och dioxiner vid småskalig pelletsförbränning, men det finns sannolikt goda möjligheter att klara utsläppsgränserna med förbättrad eldnings teknik (Hedman m fl, 2005).

#### **6.4. Brikettering av rörfilen**

Vid BTC i Umeå har man sedan flera år briketterat rörfilen i en kolvpress med en angiven kapacitet på 450-500 kg/tim (Larsson m fl, 2006). Dessa briketter har sedan använts som bränsle i anläggningens panncentral. De försök som utförts visade bl a att hög presskapacitet gav lägre specifik energiförbrukning men också lägre bulkdensitet och hållfasthet (Larsson m fl, 2006). Fukthalten hos rörfilensråvaran kan med gott resultat tillåtas variera inom intervallet 10-17%, och brikettering kan göras av såväl pulver som 10-30 mm fraktioner (Burvall & Örberg, 1994; Olsson m fl, 2001a; Olsson m fl, 2001b). Man har också visat att presskapaciteten till stor del beror på råvarans densitet. Jämfört med träbriketter, är kapaciteten ca 20% lägre för rörfilen, medan inblandning av 30-50% brännbart hushållsavfall kan ge betydande kapacitetsökningar (Olsson m fl, 2001a).

För småskalig brikettering finns det el- eller traktordrivna skruvpressar som skulle kunna vara lämpliga för gårdsproduktion. Nilsson m fl (2001) gjorde en utvärdering av en sådan press med en angiven kapacitet på 300-600 kg/tim med rörfilen som råvara. Pressen var dock inte anpassad för den låga volymvikt som rörfilen har, och man fick problem med inmatningen, vilket gjorde att kapaciteten blev betydligt lägre än vad som hade förväntats. Författarna kon-

staterade att denna press inte kunde producera rörflensbriketter till en konkurrenskraftig kostnad.

Den enda, såvitt känt, kommersiella tillverkning av rörflensbriketter i landet finns på Låtra Gård utanför Vingåker (Bioenergiportalen, 2008). På gården produceras normalt 2 300 ton träbriketter per år i tre produktionslinjer. Under senare år har man dock provat att använda rörflen som råvara, och eftersom Eskilstuna kommun ställt sig positiv till att använda rörflensbriketter i sina lokala panncentraler, kommer produktionen av rörflensbriketter att utökas under 2008. Balarna rivs i en långsamgående rivare och materialet mals sedan i en kvarn innan det pressas till briketter. Anläggningen kommer att vara en pilotanläggning för denna typ av råvaror, med bl a övervakning och processtyrning via internet.

Förutsatt att man har en panna som är anpassad för bränslen med höga askhalter, medför eldning med rörflensbriketter inga större problem. I försök vid BTC undersöktes vilken inverkan askhalten har vid produktion och eldning av rörflensbriketter (Paulrud & Nilsson, 2001). Askhalten hade ingen större betydelse för varken briketternas hållfasthet och bulkdensitet eller för emissionerna vid eldning i en panna på 180 kW. Medelvärdena för CO-utsläppen var <42 mg/MJ, stoftutsläppen (utan någon rökgasrening) <150 mg/Nm<sup>3</sup> och för NO<sub>x</sub> <110 mg/MJ. En iakttagelse i försöken var att briketter som enbart bestod av stjälmateriale hade högre hållfasthet än för råvaror där blad satt kvar.

Erfarenheterna av förbränning med rörflensbriketter vid BTC är att utsläppen av NO<sub>x</sub> och SO<sub>x</sub> är högre jämfört med träpellets p g a ett högre innehåll av kväve respektive svavel (Larsson m fl, 2006). Även utsläppen av kolväten tycks vara något högre, men variationerna mellan olika mätillfällen har varit stora.

## **6.5. Råvarukostnader och energiåtgång**

Produktionskostnaderna för rörflen fram till och med ett mellanlager visas i tabell 20. Rörflen är en perenn växt, och i beräkningarna har det antagits att odlingsperioden är 8 år under vilka 7 skördar tas innan grödan bryts. Kostnaderna har fördelats mellan de olika åren enligt den annuitetsmetod som använts av Rosenqvist (1997). I tabellen antas en skördenivå av vårskördad rörflen på 5,0 ton ts/ha (5,8 ton/ha med en vh på 14%; medelavkastningen under 8 år blir 5,1 ton/ha). Utsädesmängden är 15 kg/ha, 40 kg/ha kväve tillförs år 1, 100 kg/ha år 2 och 50 kg/ha år 3-8, och 14 kg/ha fosfor tillförs åren 1-2, medan 5 kg/ha tillförs åren 3-8, och 50 kg/ha kalium tillförs år 1, 80 kg/ha år 2 och 20 kg/ha åren 3-8.

Kostnaderna har beräknats för fyra olika hanteringssystem: rundbalar, mellanstora fyrkantbalar, stora fyrkantbalar och hackad rörflen. Balarnas dimensioner antas vara samma som för halm, men med en densitet som är 10% högre. Ihopsamling av balar, lastning, transport och lagring sker på samma sätt som gäller för balad halm.

Lagerkapaciteten hos mellanlagret antas vara lika stor som för halm räknat per ton ts (410 ton ts, eller ca 480 ton). Även utnyttjandeandelen antas vara samma, d v s 2/3. Odlingen antas ske ganska koncentrerat runt lagret ( $\phi=10\%$ ), och med en slingerfaktor på 1,4, en sektorsandel på 75% ( $=1/n$ ) och en avkastning på 5,0 ton ts/år, blir det genomsnittliga transportavståndet 1,7 km (se formel i kapitel 11).

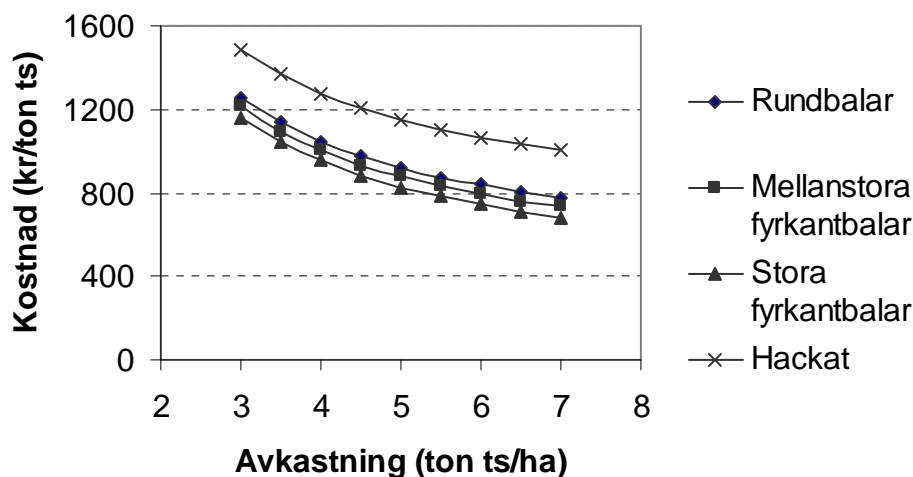
Tabell 20. Produktionskostnad för vårskördad rörflen från odling och hantering till mellanlager. Kostnaderna gäller exkl arrendeavgifter och gårds- och energigrödestöd. Se fö bilagorna 1, 2, 3 och 6

	Rundbalar, kr/ha	Mellanstora fyrkantbalar, kr/ha	Stora fyrkantbalar, kr/ha	Hackad rörflen, kr/ha
Jordbearbetning, sådd, gödsling	335	335	335	335
Utsäde	122	122	122	122
Gödsel N	953	953	953	953
Gödsel PK	256	256	256	256
Tillsyn, företagsgemensamma kostnader	300	300	300	300
Summa odling	1 966	1 966	1 966	1 966
Slätter (på hösten)	225	225	225	225
Pressning/hackning	272	370	367	441
Insamling, lastning	239	226	140	
Transport	259	222	128	381
Avlastning, inlastning	89	76	41	126
Lagring	985	755	755	1 883
Summa, kr/ha	4 035	3 841	3 623	5 022
Summa, kr/ton ts	922	878	828	1 148
Summa, kr/ton	793	755	712	987
Summa, kr/MWh <sup>a</sup>	200	190	179	249

<sup>a</sup> Räknat på det effektiva värmevärdet baserat på rörflens torrsubstans.

Det system som hade lägst kostnad var det som baseras på stora fyrkantbalar (s k Hesstonbalar), följt av systemet med mellanstora fyrkantbalar. Trots att kostnaderna för hackning är lägre än för balpressning (inkl insamling och lastning av balar), får hackad rörflen högst råvarukostnad, bl a som ett resultat av höga lagrings- och transportkostnader. Den relativa skillnaden mellan de olika hanteringssystemen blir dock mindre jämfört med för halm, eftersom odlingskostnaden belastar de olika hanteringssystemen lika mycket.

I figur 20 visas de totala produktionskostnaderna som funktion av skördenivån. I beräkningarna har det tagits hänsyn till ändrade transportavstånd (från 2,2 km för 3 ton ts/ha till 1,5 km för 7 ton ts/ha; beräknat enligt kapitel 11), samt i viss mån till att väntetider och maskinutnyttjande påverkas när hektaravkastningen förändras. I figuren ses att en fördubbling av skörden från 3,5 ton ts/ha till 7,0 ton ts/ha innebär att produktionskostnaden minskar med mer än en tredjedel. Avkastningsnivåerna har här större betydelse för produktionskostnaderna än vad som t ex gäller för halm, eftersom odlingskostnaderna för rörflen praktiskt taget är oberoende av skördenivån.



Figur 20. De totala råvarukostnaderna som funktion av avkastningen av rörflen per hektar.

Energiåtgången för att producera rörflen visas i tabell 21. Liksom för salix och halm, har drivmedelbehovet räknats om till primär energi, medan indirekt energi för att tillverka maskiner, byggnader, m m ej är medtaget. Med de förutsättningar som gäller, blir energikvoten drygt 20 för samtliga hanteringsalternativ. Energibehovet för att tillverka kvävegödsel dominerar.

Tabell 21. Energiåtgång för att producera vårskördad rörflen från odling till mellanlager. Detaljerade förutsättningar för beräkningarna redovisas i bilagorna 1, 2, 3 och 6

	Rundbalar, MJ/ha	Mellanstora fyrkantbalar, MJ/ha	Stora fyrkantbalar, MJ/ha	Hackad rörflen, MJ/ha
Jordbearbetning, sådd, gödsling	197	197	197	197
Utsäde/bekämpningsmedel	6	6	6	6
N-gödsel	2 216	2 216	2 216	2 216
PK-gödsel	230	230	230	230
Summa odling	2 649	2 649	2 649	2 649
Slätter	148	148	148	148
Pressning/hackning	230	393	393	295
Ihopsamling/lastning	158	150	94	
Transport	95	82	56	401
Avlastning/inlastning	45	39	21	89
Summa, MJ/ha	3 325	3 461	3 361	3 582
Summa, MJ/ton ts	665	692	672	716
Skörd av rörflen <sup>a</sup> , MJ/ha	72 704	72 704	72 704	72 704
Nettoskörd <sup>a</sup> , MJ/ha	69 379	69 243	69 343	69 122
Energikvot <sup>a</sup>	21,9	21,0	21,6	20,3

<sup>a</sup> Beräknat på det effektiva värmevärdet baserat på rörflens torrsubstans.

## 7. HAMPA SOM RÅVARA

### 7.1 Odling, skörd och hantering

Hampa (*Cannabis sativa* L.) är en mycket gammal kulturväxt som har odlats sedan mer än tusen år för att tillverka rep, textilier, segel, m m (Bernesson, 2006). Odling av hampa har varit förbjuden i Sverige de senaste decennierna p g a det narkotiska ämne (9-tetrahydrocannabinol eller THC) som finns i hög koncentration i droghampa. THC-halten i droghampa kan vara från 3% upp till 20%, och exempel på droger som har sitt ursprung i droghampa är hasch och marijuana. Sedan år 2003 är odling av s k industrihampa tillåten i Sverige. I industrihampa är THC-halten lägre än 0,2%, och för de flesta sorter på marknaden är den inom intervallet 0-0,1%, men odlingen är fortfarande underställd vissa restriktioner som man måste följa (Jordbruksverket, 2007) (med termen hampa avses industrihampa i den fortsatta texten nedan).

Hampa är en mycket mångsidig växt, där fröna kan användas som livsmedel och fibrerna användas för att tillverka textilier, rep, papper, isoleringsmaterial, armeringsmaterial, inredningsdetaljer i bilar, m m. Om frönas olja utvinns, kan denna användas för att tillverka lacker, fernissor, livsmedel, diskmedel, schampo, kosmetik, m m, och de skävor som blir kvar när fibrerna utvinns kan användas som strömedel, bränsle, m m. Hampsorter avsedda för fröproduktion (olja) är relativt kortväxta med många förgreningar, medan fiberhampan har en lång och ganska oförgrenad stjälk (2-3 m). De långa stjälkarna hos fiberhampa kan användas som fastbränsle utan någon föregående fiberutvinning (Bernesson, 2006).

Grödan trivs bäst på relativt fuktig mark, helst mullrik lättlera eller lerig sandjord. För att er hålla en hög skörd, krävs åtminstone 250-350 mm nederbörd under växtsäsongen. Marken bör vara väldränerad, eftersom stjälkarna förstörs efter bara 1-2 dagar på vattenfylld mark efter riklig nederbörd. Hampa kan sås tidigt eftersom fröet gror redan vid +1°C. De unga plantorna är frosttåliga, och grödan lämpar sig därför för odling även i norra Sverige. I norra Sverige kan det dock bli svårt att hinna få fram mogna frön under växtsäsongen (Bócsa & Karus, 1998; Bernesson, 2006).

Hampa har ett relativt stort behov av växtnäring, bl a beroende på den höga ts-skörden. En grov uppskattning av växtnäringsbehovet kan fås genom att behovet för att producera ett ton ts är 10-20 kg N, 1,7-2,2 kg P och 12,5-16,6 kg K (Bócsa & Karus, 1998). Den tillförda mängden beror dock på jordens näringsstatus, förfrukt, m m. Eftersom det finns liten erfarenhet av odling av de nya hampsorterna, pågår försök för att få fram lämpliga gödslingsrekommendationer. I svenska studier har man bl a sett att avkastningen ökat upp till ca 120 kg N/ha (Sundberg & Westlin, 2005).

Hampa är snabbväxande och aggressivt mot ogräs, och någon ogräsbekämpning behövs därför normalt inte. I undantagsfall kan man dock få problem med snärja (Bócsa & Karus, 1998). När det gäller insekter, kan hampa angripas av bl a hampjordloppa, hampmott, hampbladlus och knäpparlarver, men under svenska förhållanden orsakar dessa sällan några större ekonomiska förluster (Osvald, 1959; Bócsa & Karus, 1998; Bernesson, 2006). Fungicider används normalt inte heller i hampodlingar, även om angrepp av bomullsmögel och gråmögel har noterats i odlingar under år 2005 (Jordbruksverket, 2006).

Avkastningen av hampa har varierat stort i de försök som genomförts, bl a beroende på var i landet försöken har genomförts, vilka växtdelar som skördats och tidpunkten för skörd. I för-



sök i Alnarp under 1999-2000 erhöjls en total avkastning på 8-13 ton ts vid skörd i slutet på växtsäsongen, varav ca 70% bestod av stjälkar (Svennerstedt, 2003). Ca 30% av stjälkskörden utgjordes av fibrer. Sundberg och Westlin (2005) menar i deras litteraturgenomgång att avkastningen av stjälkar vanligen är 6-11 ton ts/ha vid höstskörd, medan vårskörd ger ca 35-40% lägre skörd. Försök med vårskördad hampa i Umeå har givit en skörd på ca 5 ton ts/ha (Bernesson, 2006).

Hampa är en besvärlig växt att skörda p g a problem med lindning runt roterande delar, och man måste därför ofta använda specialanpassade maskiner. Valet av skördeteknik beror också på hampans användningsområde. Om fröna (olja) är den primära produkten, sker skörden oftast med skördetröska utrustad med dubbelknivbalk (ev med föregående skårläggning) eller reparbord. Om fibrerna är den primära produkten, finns det flera olika metoder (Hansson, 2005). Man kan t ex slå av stjälkarna med maskiner som har ett antal dubbelknivbalkar på olika höjdnivåer, eller som har vertikalt ställda cylindrar med knivar på olika nivåer. Därefter får hampan ligga på fältet och röta innan den pressas till balar. Om man ska göra biogas av hampan, kan man hacka och ensilera den. Några fördelar är att man i så fall blir mindre beroende av torra väderförhållanden vid skörd, och att materialet inte behöver rötas (Bernesson, 2006).

Om man ska använda stjälkarna som fastbränsle, bör bladen inte följa med p g a sämre förbränningsegenskaper. Svenska lantbrukare har därför skördat hampan på senhösten och framåt när bladen fallit av (Hansson, 2005; Bernesson, 2006). En nackdel är att röttningsprocessen har kommit igång och att fibrerna börjat friläggas, vilket kan öka problemen med lindningar. En fördel med denna skördetidpunkt är dock att hampan är relativt torr. Den avslagningsmetod som fungerat bäst är klippning med dubbelkniv. Därefter rundbalas vanligen hampan och transporteras och lagras på samma sätt som exempelvis rundbalad halm och rörflen. Det finns också exempel på lantbrukare som hackar grödan på fältet med exakthack och sedan hanterar materialet i hackad form ända fram till en press för tillverkning av bränslebriketter (Forsberg m fl, 2006).

## 7.2. Bränsleegenskaper

I tabell 22 visas några resultat från bränsleanalyser av hampa. Proverna från Öhman m fl (2006) och Finell m fl (2006) var från vårskördad hampa, medan provet från Strömberg (2005) hade hög fukthalt och ett högt innehåll av bl a klor och kalium, vilket tyder på att provet inte kommer från vårskördat material. Fukthalten för vårskördad hampa är normalt runt 10%, och innehållet av aska, klor, svavel och kalium minskar p g a urtvättning när hampan skördas på våren. Av tabellen framgår att halten kisel var hög och halten kalcium låg i vårskördad hampa med hög askhalt, samtidigt som asksmältpunkten var något lägre än för hampa med låg askhalt. Generellt tycks dock asksmälttemperaturerna ligga relativt högt för vårskördad hampa.

I Sverige finns två tillverkare av hampabriketter som har låtit analysera sina bränslen (Österlenbriketter och Gudhems kungsgård). Österlenhampa analyserade ett parti år 2003, och resultaten visade att askhalten var 2,5% av ts och att det kalorimetriska värmevärdet var 5,3 kWh/kg ts. Analysresultat från år 2004 visade en askhalt på 5,2%, ett kalorimetriskt värmevärde på 5,1 kWh/kg ts och ett effektivt värmevärde på 4,7 kWh/kg ts. Analysresultat från Gudhems Kungsgård från år 2005 visade på en askhalt på 1,8% av ts, ett kalorimetriskt vär-

mevärde på 5,3 kWh/kg ts och ett effektivt värmevärde på 4,9 kWh/kg ts (Forsberg m fl, 2006). Dessa värden kan jämföras med de värden som finns i tabell 22.

Tabell 22. Analysresultat för hampa för ett prov med låg askhalt och ett prov med hög askhalt (Öhman m fl, 2006), för prover från två olika växtplatser (Finell m fl, 2006), samt enligt Bränslehandboken (baseras på endast en referens)

	Öhman m fl (2006)		Finell m fl (2006)		Strömberg (2005) Bränslehandboken
	Låg askhalt	Hög askhalt	Fiberhampa Röbbäcksdalen	Fiberhampa Degernäs	
Fukt, %			9,8		56,6
Aska, % av ts	1,6	5,9	3,0	1,5	6,3
Kal värmev, MJ/kg ts	19,6	18,9	19,3	18,8	19,4 <sup>a</sup>
Eff värmev, MJ/kg ts			17,9	17,5	5,9 <sup>b</sup>
<i>Elementaranalys, % av ts</i>					
Kol	48,8	47,2	48,9	47,3	48,8 <sup>c</sup>
Väte	5,8	5,7	6,2	6,0	6,4 <sup>c</sup>
Syre	43,5	40,4	41,0	44,4	43,1 <sup>c</sup>
Kväve	0,3	0,8	0,8	0,7	1,4 <sup>c</sup>
Svavel	0,06	0,08	0,07	0,04	0,1 <sup>c</sup>
Klor	0,02	0,03	0,01	0,01	0,28 <sup>c</sup>
<i>Askinnehåll, %</i>					
Al	3,2	3,7	0,9	0,2	5,0
Ca	23,1	9,7	22,3	24,0	16,7
Fe	2,1	3,1	1,1	0,4	0,4
K	5,1	4,4	4,3	4,5	26,3
Mg	2,6	1,0	1,4	2,4	2,6
Mn			0,1	0,3	0,0
Na	1,0	1,0	0,2	0,3	0,4
P	1,8	1,3	4,3	4,9	2,9
Si	12,1	25,9	9,3	16,0	3,6
Ti			0,1	0,1	0,0
Initial asksmälttemperatur, °C	1 250	1 170	1 200	1 610	
Sfärisk, °C	1 260	1 190	1 210	1 610	
Halvsfärisk, °C	1 270	1 210	1 220	1 610	
Flytande, °C	1 270	1 210	1 220	1 610	

<sup>a</sup> MJ/kg askfri ts.

<sup>b</sup> MJ/kg, 56,6% fukt.

<sup>c</sup> Procent av askfri ts.

### 7.3. Pelletering/brikettering av hampa

Pelletering av hampa har provats av ett flertal anläggningar både i Sverige och utomlands. I Sverige förekommer även kommersiell försäljning av hampapellets (Ekopellets, 2008). Några ingående studier av pelleterbarhet, optimering av pressparametrar, hållfasthet, etc av hampapellets har dock inte hittats i litteraturen. På SLU i Umeå har man provat pelletering av hampa i enstaka försök, och erfarenheterna visar bl a att fiberdelen bör tas bort före pressningen för att undvika problem vid inmatningen (Sjöberg, 2006; Finell m fl, 2006). Pellets från fiberhampa hade dock relativt goda egenskaper när det gäller skrymdensitet och fukthalt, och klarade kvalitetskraven för klass 3 för dessa egenskaper, medan hållfastheten låg strax under kraven för klass 3. Försöken indikerade också att pelletering av hampa eventuellt har högre energibehov än för t ex halm och rörflen.

Som nämnts tidigare, finns det minst två småskaliga tillverkare av hampabriketter i Sverige (Österlenbriketter och Gudhems Kungsgård). På Gudhems Kungsgård, som ligger utanför Falköping, odlades under år 2005 totalt 9,5 ha hampa som skördades våren 2006 (Forsberg m fl, 2006). Denna skörd pressades till 55-60 ton hampabriketter. Under år 2006 utökades odlingen till 100 ha hampa. Hampan skördas under tidig vår med en exakthack, och hackelsen töms i en lagerbyggnad, där den lagras in med hjälp av en lastare. Vid briketteringen hämtas hackelsen ur lagret med hjälp av en lastmaskin och tippas sedan i en fodervagn, varefter den toppmatas till brikettpressen via ett transportband och en tratt. Pressen är en hydraulisk matrispress med en driftskapacitet på 270 kg/tim. Bindemedel behöver inte tillsättas, eftersom ligninet i hampamaterialet ger tillräcklig hållfasthet. Vattenhalten i hackelsen bör helst vara runt 12%, även om vattenhalter upp till 15% också fungerar bra. De färdigpressade briketterna såldes i lösvikt med ett bulkpris på 2,50 kr/kg inkl moms (Forsberg m fl, 2006). Österlenhampa sålde sina briketter för 2,20 kr/kg inkl moms (Forsberg m fl, 2006).

#### **7.4. Råvarukostnader och energiåtgång**

Kostnaderna för olika hanteringsalternativ med hampa som råvara visas i tabell 23. Energi-hampa är en relativt ny företeelse, och det finns därför ganska lite erfarenhet av hur man skördar grödan mest kostnadseffektivt. Eftersom den ska användas som fastbränsle, har det ur förbränningssynpunkt antagits att endast vårskördad hampa används. Vidare har det antagits att medelskörden är 6,0 ton ts/ha (6,8 ton/ha med en vattenhalt på 12%). I olika studier har det funnits en ganska stor variation i avkastningen, och därför har en känslighetsanalys gjorts där avkastningen varierar från 4,0 till 8,0 ton ts/ha.

I beräkningarna är utsädesmängden 20 kg/ha. Utsädet utgör en stor kostnadspost, och lägre utsädesmängder kan användas utan att avkastningen försämras, men risken är att stjälkarna blir för kraftiga och att konkurrensförmågan gentemot ogräset försämras (Sundberg & Westlin, 2005). Tillförd kvävemängd är 100 kg/ha. Ytterligare indata för beräkningarna finns i bilaga 7.

I de första hanteringsalternativen antas att hampan är i balad form. Först klipps grödan med en slåtterbalk med dubbelknivar, och därefter strängläggs den. Sedan balas materialet med pressar som ger rundbalar, mellanstora fyrkantbalar eller stora fyrkantbalar. All balad halm transporteras i genomsnitt 1,6 km till ett inomhuslager som rymmer 410 ton ts (470 ton med vattenhalten 12%). I övrigt gäller samma lagerförutsättningar som för halm (se kapitel 5.5.). För att beräkna det genomsnittliga transportavståndet mellan fält och mellanlager, har formeln i kapitel 11 använts med följande indata:  $\tau=1,4$ ,  $1/n=0,75$  och  $\phi=0,10$ .

I ett fjärde hanteringsalternativ skördas hampan med en självgående exakthack. I ett småskaligt system utan möjlighet till torkning av materialet måste hampan lagras under tak, medan man i mer storskaliga system, där man har tillgång till torkutrustning, eventuellt skulle kunna använda hackad hampa som lagrats utomhus i stora otäckta stackar. Som en jämförelse ingår därför både inomhuslagring och utomhuslagring i detta alternativ, med transportavståndet 1,6 km i det förra alternativet och 0,5 km i det senare.

Tabell 23. Produktionskostnad för vårskördad hampa från odling till mellanlager. Kostnaderna gäller exkl arrendeavgifter och gårds- och energigrödestöd. Detaljerade förutsättningar för beräkningarna redovisas i bilagorna 1, 2, 3 och 7

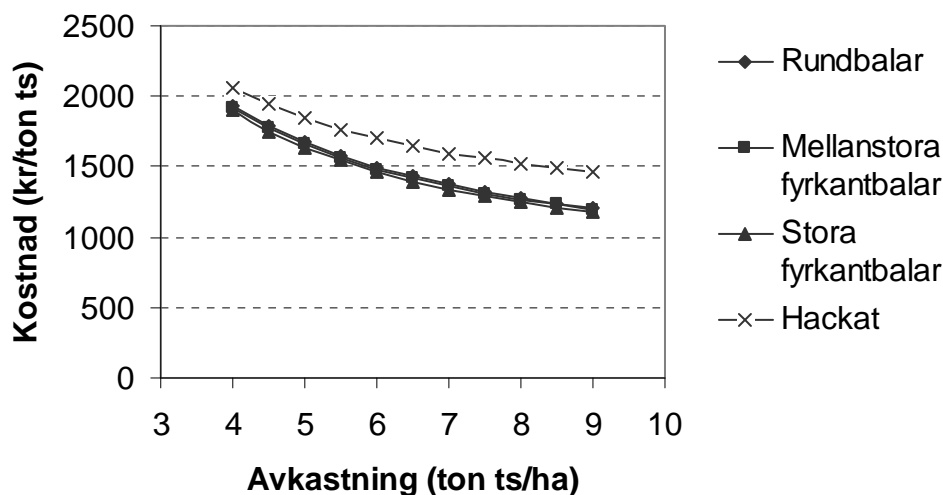
	Rundbalar, kr/ha	Mellanstora fyrkantbalar, kr/ha	Stora fyrkantbalar, kr/ha	Hackat, inomhus, kr/ha	Hackat, utomhus, kr/ha
Jordbearbetning, sådd, gödsling	1 496	1 496	1 496	1 496	1 496
Utsäde/bekämpningsmedel	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200
Gödsel N	933	933	933	933	933
Gödsel PK	377	377	377	377	377
Tillsyn, företagsgemensamma kostnader	300	300	300	300	300
Summa odling	4 306	4 306	4 306	4 306	4 306
Slätter	508	508	508	508	508
Strängläggning	354	354	354	354	354
Pressning/hackning	1 208	1 687	1 690	2 010	2 010
Insamling, lastning	382	352	255		
Transport	323	239	229	865	808
Avlastning, inlastning	112	83	75	290	290
Lagring	1 788	1 371	1 371	2 735	311
Summa, kr/ha	8 982	8 901	8 788	10 206	7 725
Summa, kr/ton ts	1 497	1 483	1 465	1 701	1 287
Summa, kr/ton	1 317	1 305	1 289	1 497	1 133
Summa, kr/MWh <sup>a</sup>	295	293	289	336	254

<sup>a</sup> Räknat på det effektiva värmevärdet baserat på Hampans torrs substans.

Av balalternativen hade, liksom för halm och rörflen, systemet med stora fyrkantbalar lägst kostnad. Skillnaderna mellan de olika hanteringsalternativen var dock mycket liten. De gemensamma odlingskostnaderna utgör här en större andel än för t ex rörflen, och den något högre avkastningen ger också kortare transporter fram till mellanlagret, vilket ”missgynnar” högdensitetsbalar.

Systemet med utomhuslagrad hackad hampa hade lägst kostnad av alla hanteringsalternativ. I de redovisade värdena (1 287 kr/ton ts eller 254 kr/MWh) ingår kassationsförluster på 10%. Om man antar att rundbalar, mellanstora fyrkantbalar och stora fyrkantbalar också lagras utomhus, och att förlusterna är 10%, blir de totala produktionskostnaderna 244 kr/MWh, 256 kr/MWh respektive 252 kr/MWh.

I figur 21 visas produktionskostnaderna som funktion av avkastningen per hektar. För de olika avkastningsnivåerna, i steg om 0,5 ton ts/ha, har avståndet till hampalagret (rymmer 410 ton ts eller 470 ton hampa med vh 12%) antagits vara: 1,9; 1,8; 1,7; 1,7; 1,6; 1,5; 1,5; 1,4; 1,4; 1,3 respektive 1,3 km beroende på den förväntade skörden (avstånden beräknade enligt formel i kapitel 11). Hänsyn har tagits till att avkastningen och avstånden till lagret påverkar väntetider och hur hårt lastmaskiner, traktorer och vagnar kan nyttjas vid transporten till lagret. En ökning av skörden från 4,0 ton ts/ha till 9,0 ton ts/ha innebär att produktionskostnaden minskar med ungefär en tredjedel.



Figur 21. De totala råvarukostnaderna som funktion av avkastningen av hampa per hektar.

Energiåtgången för att producera hampa visas i tabell 24. Odlingen dominerar, främst med anledning av det stora energibehov som behövs för att framställa kvävegödsel. Energitillägget för skörd och hantering utgör endast ca 14% av det totala energibehovet.

Tabell 24. Energiåtgång för att producera vårskördad hampa från odling till mellanlager. Drivmedelsbehovet har räknats om till primär energi, medan indirekt energi i maskiner, byggnader, m m, ej ingår. Detaljerade förutsättningar för beräkningarna redovisas i bilagorna 1, 2, 3 och 7

	Rundbalar, MJ/ha	Mellanstora fyrkantbalar, MJ/ha	Stora fyrkantbalar, MJ/ha	Hackad hampa, MJ/ha
Jordbearbetning, sådd, gödsling	1 302	1 302	1 302	1 302
Utsäde/bekämpningsmedel	33	33	33	33
N-gödsel	4 030	4 030	4 030	4 030
PK-gödsel	283	283	283	283
Summa odling	5 648	5 648	5 648	5 648
Slätter, strängläggning	281	281	281	281
Pressning/hackning	262	450	450	337
Ihopsamling/lastning	209	194	139	
Transport	94	69	79	743
Avlastning/inlastning	46	34	31	119
Summa, MJ/ha	6 539	6 676	6 627	6 847
Summa, MJ/ton ts	1 090	1 113	1 105	1 141
Skörd av hampa <sup>a</sup> , MJ/ha	109 440	109 440	109 440	109 440
Nettoskörd <sup>a</sup> , MJ/ha	102 901	102 764	102 813	102 593
Energikvot <sup>a</sup>	16,7	16,4	16,5	16,0

<sup>a</sup> Beräknat på det effektiva värmevärdet baserat på hampans torrs substans.

## 8. AVRENS SOM RÅVARA

### 8.1. Produktion och tillgångar

Avrens består av skadade kärnor och frön, agnar, skal, ogräsfrön m m som avskiljs i rensningsanläggningar hos de företag som distribuerar och förädlar spannmål, oljeväxter, vallfrö, m m. En stor del av avrenset används som bränsle (oförädlat) för torkning av spannmålen, men en del används också som foder.

Mängden avrens varierar med tröskornas avskiljningsförmåga, växtslag och kärnornas/frönas användningsområden. För grynhavre ska kärnorna vara stora, välmatade och lättskalade, och de får dessutom inte vara kortare än 2 mm (Andersson m fl, 2004). Halten avrens för grynhavre ligger därför runt 15%. Även maltkornets kärnor ska vara stora, välmatade, ha hög grobarhet, låg proteinhalt och inte vara kortare än 2,5 mm. För maltkorn kan därför avrensmängden utgöra ca 20% (Andersson m fl, 2004). För vit-, alsike- och rödklöverfrö är mängden avrens runt 25% (SJV, 2008), för timotej- och ängssvingelfrö runt 20% (SJV, 2008) och för oljelinfrö ofta drygt 30% (Larsson, 2002).

Några uppgifter om den totala mängden avrens som produceras i Sverige har inte hittats i litteraturen. En indikation kan dock fås genom att mängden spannmål som skördades i Västra Götalands län under år 2007 utgjorde 18,5% av landets totala spannmålsskörd (SCB, 2008b), medan produktionen av spannmålsavrens i samma län uppgår till ca 22 500 ton/år (Länsstyrelsen Västra Götaland, 2007).

### 8.2. Bränsleegenskaper

Avrens har ett högt askinnehåll och innehåller även förhållandevis mycket klor och svavel (se tabell 25). Askans innehåll av kalium är högre än för vete, men lägre jämfört med korn- och havrehalm (se tabell 12). Innehållet av natrium är något högre jämfört med spannmåls-halm.

Det tycks dock finnas stora skillnader mellan olika typer av avrens. När det gäller askhalt, visade en studie att innehållet var knappt 2% av ts för avrens från vete, drygt 2% för avrens från korn, ca 7,5% av ts för avrens från ängsgröe och rödsvingel, samt ca 7% för avrens från engelskt rajgräs (Andersson, 2008). Askans kaliuminnehåll kan också uppvisa stora variationer; drygt 4 g/kg ts för avrens från vete, knappt 6 g/kg ts för avrens från korn, knappt 16 g/kg ts för avrens från ängsgröe, ca 8 g/kg ts för avrens från rödsvingel och ca 10 g/kg ts för avrens från engelskt rajgräs (Andersson, 2008).

Tabell 25. Exempel på bränsle- och askinnehåll för spannmålsavrens enligt några studier

	Nikolaisen m fl, 2002	Nikolaisen m fl, 2005	Fredriksson m fl, 2004
<i>Bränsleanalys, vikts-%</i>			
Fukt	10,8	10,3	12
Aska	13,4	9,0	9,8
C	38,7	39,9	43,4
H	5,3	5,2	5,8
O	30,1	34,1	39,1
N	1,7	1,1	1,7
Cl	i u	0,25	0,16
S	i u	0,15	0,21
Kal värmevärde, MJ/kg	15,6	16,0	i u
Eff värmevärde, MJ/kg	14,2	14,6	14,3
<i>Askanalys, vikts-%</i>			
SiO <sub>2</sub>	34,4	62,0	59,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,2	1,5	1,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,6	0,8	1,2
CaO	15,8	7,8	5,9
MgO	3,9	2,6	3,0
Na <sub>2</sub> O	1,9	0,9	1,1
K <sub>2</sub> O	19,2	18,0	12,4
SO <sub>3</sub>	5,1	2,3	i u
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11,6	5,8	7,6
Cl	2,8	i u	i u

### 8.3. Pelletering/brikettering av avrens

I den danska studie som refererats till tidigare när det gäller pelletering av halm (Nikolaisen m fl, 2002), provade man även att producera och elda pellets med spannmålsavrens som råvara. Ett parti med träpellets användes som referens (R0), och avrenset blandades med andra råvaror (sågspån, solroskärnskal, shea-nötskal), bl a i syfte att undersöka om förbränningsegenskaperna förbättrades (tabell 26). Dessutom tillsatte man kalksten som anti-slaggningsmedel, melass som bindemedel och rapsolja som smörjmedel.

Tabell 26. Beskrivning av de olika provpartier som ingick i den danska studien. Ett parti med träpellets (R0) användes som referens. Som anti-slaggningsmedel tillsatte man kalciumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>) (Nikolaisen m fl, 2002)

Prov-parti	Diameter, mm	Råvara 1	Råvara 2	Anti-slaggningsmedel	Bindemedel	Smörjmedel
R0	8	1/1 sågspån				
R10	12	1/1 avrens		5% CaCO <sub>3</sub>	5% melass	2% rapsolja
R7	12	2/3 avrens	1/3 sågspån	5% CaCO <sub>3</sub>	5% melass	3% rapsolja
R8	12	2/3 avrens	1/3 solrosskal	5% CaCO <sub>3</sub>	5% melass	2% rapsolja
R9	12	2/3 avrens	1/3 shea nötskal	5% CaCO <sub>3</sub>	5% melass	2% rapsolja
R11	12	2/3 avrens	1/3 sågspån	3% CaCO <sub>3</sub>	2% melass	2% rapsolja
R12	12	2/3 avrens	1/3 shea nötskal	3% CaCO <sub>3</sub>		

Resultaten från studien visas i tabell 27. Som förväntat, hade referensprovet med träpellets mycket goda egenskaper när det gäller pellets-kvalitet, förbränning (bl a låga utsläpp av CO), ingen sintring i askan, ingen slaggbildning vid förbränningsrummets väggar och luftmunstycken, och i princip inga beläggningar (förbränningen genomfördes i en Reka-panna på 30 kW). Proverna R7, R8, R11 och R12 hade god pellets-kvalitet, god förbränning, inga större

problem med asksintring (förutom R12), betydande slaggbildning vid luftmunstyckena, samt viss beläggingsbenägenhet. Dessa bränslemixar kan alltså eldas i mindre pannor, men man får vara beredd på att det krävs en hel del arbete för att rengöra pannan. Däremot är R9 och R10 mindre lämpliga, bl a beroende på kraftig slaggbildning vid luftmunstyckena. Samtliga partier med avrens som råvara hade en lägre produktionskostnad än träpellets.

Tabell 27. Värdering av olika egenskaper hos de olika provpartierna i en tiogradig skala, där 1=bäst och 10=sämst, tillsammans med ett genomsnittligt totalbetyg, samt produktionskostnader (exkl moms) uttryckta i danska kronor/GJ och svenska ören/kWh (Nikolaisen m fl, 2002). 1,00 DKK=1,22 SEK (2007-02-03)

Provparti	Pellets-kvalitet	Förbränning	Sintring	Slaggbildning	Beläggningar	Totalvärdering	Värmevärde, MJ/kg	Kostnad, DKK/GJ	Kostnad, öre/kWh
R0	1	1	1	1	1	1	17,3	79,2	26,8
R10	2	2	4	10	5	5	14,3	69,1	23,4
R7	2	2	2	9	4	4	15,3	74,9	25,4
R8	2	2	2	9	4	4	15,5	74,0	25,1
R9	3	2	4	10	4	5	14,7	76,3	25,9
R11	4	2	2	8	2	4	15,6	71,7	24,3
R12	2	1	6	8	2	4	14,8	69,6	23,6

En anläggning för pelletering av jordbruksråvaror, med avrens som en huvudingrediens i olika mixar med spannmål, m m, började byggas under 2007 i Tommarp i Skåne (Bioagrolife, 2008). Projektet, som benämns Bioagro, drivs av Skånefrö AB, Hotab Eldningsteknik AB, Scandinavian Seed AB, Äfab och Ecoera. Anläggningen är tänkt att ha en produktion på upp till 200 ton pellets per vecka, som främst ska eldas i två pannor på 250 kW respektive 1 250 kW för torkning och uppvärmning i Skånefrös lokaler. Avrenset kommer från spannmål, vallfrö, rapsfrö och linfrö. Genom att hitta optimala ”recept” med mixar av avrens, spannmål, m m och olika additiv, hoppas man få fram ett pelletsbränsle med goda förbränningsegenskaper (Jordbruksaktuellt, 2007; Löfgren, 2007).

#### 8.4. Råvarukostnader och energibehov

För avrens finns inget utpräglat marknadspris. Idag används avrens ofta som bränsle internt inom produktionsplatsen, och därför kan man anta ett visst pris utifrån dess värde som fastbränsle. Om man antar att detta ”värde” är 0,15 kr/kWh, motsvarar detta ett pris på 600 kr/ton. Om man antar att ”värdet” motsvarar ett havrepris på 0,85 kr/kg, ger detta ett pris på ca 0,20 kr/kWh, eller 800 kr/ton.

Ur energisynpunkt kan avrens anses vara en ”gratis” biprodukt, vilket betyder att all energi för dess produktion allokeras till spannmålen eller fröna. Det innebär att energibehovet för att framställa denna pelletsråvara sattes till noll.



## 9. RAPSRESTER SOM RÅVARA

### 9.1. Produktion och tillgångar

Vid utvinning av rapsolja genom pressning får man en pressåterstod (rapskaka eller pelletformade rapsexpeller) som innehåller 10-25% olja (Bernesson, 2007). I större anläggningar utvinns den kvarvarande oljan ofta i ett andra processteg genom extraktion med hexan, och då erhålles rapsmjöl som endast innehåller 1-2% rapsolja.

Värms fröet före pressningen kallas det varmpressning, annars kallas det kallpressning (Bernesson, 2007). Varmpressning sker vanligen i kombination med extrahering. För småskalig produktion är det enbart aktuellt med kallpressning. Varmpressning i kombination med extrahering är en relativt komplicerad process som bäst lämpar sig för storskalig industriell verksamhet.

De rapsrester som utvinns i Sverige används i huvudsak som fodermedel, främst beroende på att det ekonomiska värdet är högt för detta användningsområde. Vid pressning av rapsolja står expellern t ex för en betydande andel av produkternas totala ekonomiska värde när dessa används som foder; vid småskalig produktion ca 40% av det totala värdet (Bernesson, 2004).

Rapsmjöl innehåller 35-40% råprotein och är en av de viktigaste inhemska proteinråvarorna (Bernesson, 2007). Proteinkvaliteten, definierad som innehållet av essentiella (livsnödvändiga) aminosyror, är hög. Det finns dock begränsningar för hur mycket rapsrester man kan använda som foder. Restoljan i rapsexpellererna eller rapskakan kan vålla en del problem vid användningen: t ex tål inte våra husdjur utfodring med för stora mängder av ett alltför fettrikt foder. Pressåterstoden innehåller också en liten mängd svavelhaltiga glukosföreningar, så kallade glukosinolater. Vid användning som foder är dessa oönskade och kan medföra att den utfodrade mängden till vissa djurslag måste begränsas.

År 2006 odlades oljeväxter (höstraps, vårraps, höstrybs och vårrybs) på ca 90 000 ha av landets 2,7 miljoner ha åkermark. Denna oljeväxtodling borde kunna dubblas utan problem då den under 1980-talet stabilt legat kring 170 000 ha med toppnoteringen drygt 175 000 ha år 1986 (SCB, 2008a). I tabell 28 redovisas skördar av frö, mjöl, olja och glycerin om dagens areal av höstraps, vårraps, höstrybs och vårrybs skulle fördubblas med bibehållen avkastning. Den totala mängden rapsmjöl som skulle kunna produceras med denna areal är ca 240 000 ton per år. Detta motsvarar ca 1,2 TWh/år. Med hänsyn tagen till utfodringsrestriktioner, uppgår den teoretiskt möjliga konsumtionen av rapsrester som foder till ca 500 000 ton/år (Bernesson, 2007). Djuren kan alltså konsumera betydligt mer rapsmjöl än vad som kan produceras inom landet med inhemska produkter (ungefär det dubbla).

Om stora mängder rapsfrö eller andra oljeväxter importeras för att förse de planerade biodieselanläggningarna med råvara, och foderbiprodukterna från dessa säljs på den svenska marknaden, kan situationen förändras till ett överskott på proteinfoder. Detsamma kan hända om flera av de planerade etanolprojekten realiserar och den härvid producerade dranken säljs på den svenska fodermarknaden.

Tabell 28. Möjlig produktion från oljeväxter i Sverige (Bernesson, 2007)

Gröda	Areal 2006 <sup>a</sup> , kha	Möjlig areal <sup>b</sup> , kha	Avkast- ning <sup>c</sup> , kg/ha	Fröskörd <sup>d</sup> , kton ts	Skörd av mjöl <sup>e</sup> , kton ts	Skörd av olja <sup>f</sup> , kton	Skörd av glycerin <sup>g</sup> , kton
Höstraps	47,6	95,1	3 091	267,4	154,0	113,4	11,96
Vårraps	35,1	70,1	1 982	126,5	72,9	53,7	5,66
Höstrybs	1,1	2,3	1 733	3,6	2,1	1,5	0,16
Vårrybs	6,3	12,5	1 478	16,8	9,7	7,1	0,75
Totalt	90,2	180,0		414,4	238,6	175,7	18,53

<sup>a</sup> Källa: SCB (2008a).

<sup>b</sup> Antag 180 000 ha oljeväxter kan odlas om dagens areal dubblas.

<sup>c</sup> Medelavkastning i Sverige 1998-2006, källa: SCB (2008b).

<sup>d</sup> Skörd i tusental ton med antagen areal och avkastning.

<sup>e</sup> Mängd rapsmjöl i tusental ton om 42,4 g olja utvinns av 100 g frö.

<sup>f</sup> Mängd rapsolja i tusental ton om 42,4 g olja utvinns av 100 g frö.

<sup>g</sup> Mängd glycerin i tusental ton om 10,55 g glycerin utvinns av 100 g olja.

## 9.2. Bränsleegenskaper

Rapsrester har en låg fukthalt (9-11%). Vid användning av rapsexpeller som bränsle bör man tänka på att expellernas höga innehåll av olja gör att deras värmevärde blir högre än för t ex träpellets (Praks, 1993; Bernesson, 2007). Det är då viktigt att pannan kan ställas om för att klara detta bränsle samt att pannan tål den större värmelasten. Expellernas värmevärde varierar emellertid kraftigt beroende på deras innehåll av olja (tabell 29).

Generellt har eldningsförsök i laboratorier med rapsexpeller fungerat bra (Praks, 1993). Lantbrukare som eldat med rapsexpeller har dock fått varierande resultat då sintringsproblem förekommit i vissa eldningsutrustningar men inte i andra (Bernesson, 2007). På det höga oljeinnehållet i rapsexpeller/rapskaka har man sett att även en mindre inblandning (10-15%) i spannmåls- och avrenspelletets förbättrar tändningsförloppet avsevärt (Bioagrolife, 2008).

Tabell 29. Sammansättning, värmevärden m m hos rapsfrö, rapsexpeller och rapsmjöl (Bernesson, 2007)

	Frö	Rapsexpeller, andel olja urpressad			Rapsmjöl
		60%	70%	75%	
Råfett, %	45	24,7	19,7	17,0	4,5
Aska, %	5	6,8	7,3	7,5	7,7
Mängd olja ur 100 g frö, g		27,0	31,5	33,8	42,4
Eff värmev, MJ/kg ts	26,7	22,5	21,4	20,8	18,2

Rapsmjöl, som innehåller ca 1% olja, har ett effektivt värmevärde på ca 18,2 MJ/kg ts (Eriksson m fl, 2007). Askhalten är hög (7-8%). Innehållet av N (ca 5,8%) och S (ca 0,7%) är mycket högt, vilket återspeglar ett högt proteininnehåll. Det höga innehåll av kväve gör att kväveoxidemissionerna kan bli höga, ofta 2-3,6 gånger högre än vid eldning av bränslen med lågt kväveinnehåll, t ex träpellets. Bränslet är även rikt på K, P, Ca och Mg, och minst lika lättantändligt som träpulver. Rapsmjöl har hög bulkdensitet (nästan som hos träpellets), goda flytegenskaper och liten tendens till valvbildning.

Tendensen till bäddagglomering är lägre för rapsmjöl jämfört med de flesta biobränslen (Eriksson m fl, 2007). Slaggnings-tendensen är måttlig jämfört med andra åkerbränslen, liksom korrosionsrisken vid fluidbädd- och rostereldning. Vid pulvereldning finns dock risk för

att lågsmältande kaliumfosfat ger beläggningar. Det höga fosforinnehållet innebär att råvaran kan fungera som svaveladditiv i blandningar med andra åkerbränslen, och därmed minska riskerna för påslag och korrosion (se Eriksson m fl, 2007). Detta beror på att fosfor har hög affinitet till kalium, och detta bidrar till att svavel blir tillgängligt för bildning av kaliumsulfat istället för kaliumklorid.

I tabell 30 redovisas bränsle- och askinnehållet enligt några källor. Eriksson m fl (2007) redovisar ett antal bränsleanalyser för rapskaka och rapsmjöl, varav ett prov som ansågs ge en representativ bild av rapsmjöl visas i tabellen. Av tabellen framgår att innehållet av svavel är 4-8 ggr högre än t ex i spannmål. Av denna anledning kan det vara bättre att blanda in en mindre andel rapsrester i pellets istället för att tillverka pellets som enbart består av rapsrester (Bernesson, 2007; Bioagrolife, 2008). Av tabellen framgår också att klorinnehållet är lägre än för t ex halm, och att kiselinnehållet i askan är avsevärt lägre.

*Tabell 30. Bränsledata för rapsrester enligt några olika källor*

	Praks (1993)	Eriksson m fl (2007)	Andersson (2008)
Vattenhalt, %	10,9	10,3	8,8
Askhalt, % av ts	6,4	7,4	5,4
S, % av ts	0,66	0,91	0,54
Cl, % av ts	0,04	0,03	0,03
C, % av ts	52,4	46,9	53,5
H, % av ts	7,1	6,3	7,7
N, % av ts	4,8	6,4	4,9
O, % av ts	28,6	32,2	28,3
<i>Askinnehåll</i>			
Na, mg/kg ts		130	810
K, mg/kg ts		13 200	54 000
Si, mg/kg ts		925	<1 000
Ca, mg/kg ts		7 210	85 000
Al, mg/kg ts		125	
Fe, mg/kg ts		339	
Mg, mg/kg ts		5 350	
P, mg/kg ts		12 570	
<i>Asksmältning</i>			
Deformation, °C	1 020	1 130	1 190
Sfär, hörn avrundas, °C	1 100		1 200
Halvsfär, °C	1 140		1 200
Flytande, °C	1 150	1 160	1 220
<i>Värmevärde</i>			
Kal värmevärde, MJ/kg			22,1
Kal värmevärde, MJ/kg ts	23,7	19,5	24,2

### 9.3. Pelletering av rapskaka/rapsmjöl

Vid Karlstads universitet har man provat att tillverka pellets av en mix med sågspån och rapskaka från kallpressad rapsolja (Ståhl, 2008). De blandningar som provades innehöll 0%, 10%, 20% och 30% rapskaka med en oljehalt på 18%. Resultaten visade att pelletspressens energibehov minskar när mängden rapskaka ökar, sannolikt beroende på att den oljerika rapskakan fungerar som ett smörjmedel vid pressningen. Vidare konstaterades att pelletarnas finandel ökar med ökande andel rapskaka, och att bulkdensiteten minskar med ökande mängd rapskaka.

Eriksson m fl (2007) pelleterade rapsmjöl med inblandning av 90% bark, 70% bark och 20% kutterspån. Produktionen blev dubbelt så hög när blandningen med 80% rapsmjöl och 20% kutterspån pelleterades jämfört med när 100% kutterspån pelleterades.

I en amerikansk studie där man studerade eldning av pelleterade rapsexpeller (fetthalt 12-15%) i en pelletsanna fick man problem med en del sintring i pannan (Peterson m fl, 1990). Dessa rapsexpeller hade ett kalorimetriskt värmevärde på 20,8 MJ/kg, en askhalt på 7,5%, en vattenhalt på 7,6% och en svavelhalt på 1,18%. Troligtvis kom den från enkellåg raps. Partikelemissionerna blev ca 4 gånger högre än vid eldning med träpellets, men under gällande gränsvärden. Vid eldning av pellets bestående av 60% rapsexpeller och 40% trä, eller 60% rapsexpellerpellets blandade med 40% träpellets minskade sintringen, slaggen blev mer porös och påverkade ej förbränningen. Dessutom minskade askhalten då det inblandade träet bara innehöll 0,2% aska. Partikelemissionerna minskade till en tredjedel till hälften jämfört med eldning med bara rapsexpeller.

Biprodukten glycerin, som erhålls vid omförestring av rapsolja till rapsmetylester (RME), kan sannolikt också fungera som råvara vid tillverkning av bränslepellets eller briketter. Rent glycerin har ett effektivt värmevärde på 17,1 MJ/kg. Glycerin blandat med sågspåns- eller kutter-spånsbriketter har gått bra att elda (Journey to Forever, 2007), och mycket tyder på att det går bra att blanda in glycerin vid brikettering eller pelletering av andra fasta bränslen som salix, halm, rörflen eller hampa. Man bör dock vara medveten om att för höga inblandningsnivåer kan göra pelleterna/briketterna klubbiga vilket kan ge problem vid hanteringen. Men klubbigheten kan också vara positiv vid pelletering om det gör pelleterna fastare utan att andra problem uppstår (Honeyman m fl, 2007; Holtenius, pers medd, 2007), och i sådana fall kan råglycerinet bli intressant att använda som bindemedel. Vid pelletering bör man se upp med dunstande metanolångor som kan bli ett arbetsmiljöproblem. Nilles (2006) rapporterar om en proveldning av träpellets med inblandning av glycerin. Enligt författaren påverkades förbränningsegenskaperna inte i någon större utsträckning.

#### **9.4. Råvarukostnader och energiåtgång**

Rapsexpeller och rapsmjöl är biprodukter vid utvinning av olja från oljeväxter, och de kan därför i viss mening ses som ”gratis”. Som nämnts tidigare, har dock priset för dem en stor betydelse för totalekonomin vid tillverkning av t ex biodiesel.

I tabell 31 redovisas värdet hos rapsexpeller och rapsmjöl vid olika användningsområden utifrån marknadsvärdet hos konkurrerande råvaror såsom sojaprotein, energi i foder, konstgödsel, såld el och värme från en biogasanläggning, värmevärde i flis till värmeverk samt pellets/briketter. För pellets och briketter antas ett pris på 248 kr/MWh (exkl moms) (Energimyndigheten, 2008). Siffrorna i tabellen utgår alltså från värdet hos den färdiga produkten. För mer detaljerad information om vilka förutsättningar som gäller för beräkningarna hänvisas till Bernesson (2007). Av tabellen framgår att rapsexpeller och rapsmjöl har ett högt värde som fodermedel, vilket också förklarar varför fodermedelsanvändningen dominerar idag.

Tabell 31. Värde hos rapsexpeller och rapsmjöl (kr/kg ts) vid olika användning (uppdaterad efter Bernesson, 2007)

Användningsområde	Rapsexpeller, andel olja urpressad			Rapsmjöl
	60%	70%	75%	
Foder till nötkreatur	2,89	2,73	2,65	2,27
Foder till grisar	2,84	2,69	2,60	2,22
Foder till fjäderfä	3,00	2,81	2,71	2,24
Foder till hästar	3,01	2,85	2,76	2,37
Gödselmedel	0,67	0,72	0,74	0,85
Biogas 80% utvinning <sup>a</sup>	1,03	1,00	0,98	0,92
Biogas 60% utvinning <sup>a</sup>	0,65	0,63	0,63	0,61
Skogsflis till värmeverk	1,04	0,99	0,97	0,84
Pellets/briketter till värmeverk <sup>b</sup>	1,55	1,47	1,44	1,25

<sup>a</sup> Räknat under antaganden som om rötningen skett i en större tysk gårdsanläggning under svenska förhållanden.

<sup>b</sup> Beräknat utifrån priset för träpellets och briketter till värmeverk fjärde kvartalet år 2007 (Energimyndigheten, 2008).

Priset på rapsmjöl för foderändamål har legat stilla i flera år. Under år 2007 steg det dock från 1 000 kr/ton till 2 000 kr/ton (Eriksson m fl, 2007). Framöver väntas dock priset stabiliseras på en nivå runt 1 300 - 1 400 kr/ton.

Ur energisynpunkt kan rapsrester anses vara en ”gratis” biprodukt, vilket betyder att all energi för dess produktion allokeras till rapsfröna. Det innebär att energibehovet för att framställa denna pelletsråvara sattes till noll.

## 10. DRANK SOM RÅVARA

### 10.1. Produktion och tillgångar

När spannmål används som råvara vid produktion av etanol mals denna först till mjöl. Detta mjöl blandas med vatten till en ”gröt” innan enzymer tillsätts och stärkelsen (ca 60% av innehållet) bryts ner till socker varvid en s k mäsik erhålles (Agroetanol, 2008). Till denna sockerlösning (mäsik) sätts jäst och då omvandlas sockret till etanol och koldioxid. Drank är den del av mäsiken som ej dunstats bort som etanol i mäsikkolonnerna vid tillverkning av etanol från lämpliga växtmaterial.

Drank används huvudsakligen till utfodring. Den kan utfodras antingen i blöt form (flytande med 8,5% ts (SBI-trading, 2008) eller 28% ts (Agroetanol, 2008)), eller i torr form (med 90% ts (Agroetanol, 2008)). Den torra formen säljs pelleterad under namnet Agrodrink 90.

Det sädeslag som oftast används som råvara vid tillverkning av etanol i Sverige är höstvetete. År 2006 odlades höstvetete med en genomsnittlig avkastning på 5 660 kg/ha på nästan 318 000 ha (SCB, 2008a; 2008b). I Sverige finns nästan 2,7 miljoner hektar brukad åkermark. På Agroetanols fabrik i Norrköping produceras årligen 55 000 m<sup>3</sup> etanol och 45 000 ton proteinfoder (drank) (Agroetanol, 2008). Produktionen baseras på 150 000 ton vete, vilket motsvarar 26 500 ha med den ovan angivna avkastningen. I Norrköping byggs produktionen ut till 210 000 m<sup>3</sup> etanol per år från augusti 2008, vilket betyder att höstvetete från drygt 100 000 ha kommer att behövas för produktionen. Detta betyder att ca 172 000 ton proteinfoder (drank) kommer att produceras.

Under år 2005 förbrukades 5,5 milj m<sup>3</sup> bensin i Sverige (Agroetanol, 2008). Fem procent etanolinblandning betyder 275 000 m<sup>3</sup> etanol per år, d v s drygt fem Norrköpingsanläggningar. Sedan tillkommer den etanol som används i miljöbilar som går på E85-bränsle (bränsle för personbilar som innehåller ca 85% etanol och ca 15% bensin. Förutom etanol och bensin kan detta bränsle även innehålla denatureringsmedel som exempelvis MTBE och/eller isobutanol). Drygt 112 000 m<sup>3</sup> E85-bränsle förbrukades år 2007 (SPI, 2008). Antalet bilar som kan köra på E85-bränsle ökar kraftigt och dessutom är det troligt att EU kommer att tillåta en ökad inblandning i vanlig bensin från dagens 5% till 10% (Agroetanol, 2008). Dagens bilar klarar av att gå på bensin som innehåller 10% etanol.

Vid produktion av etanol används huvudsakligen mjöl från höstvetete som råvara. Detta mjöl innehåller 12-13% råprotein och 64-72% stärkelse av ts. Den drank som återstår då etanolen tagits tillvara innehåller 32-41% råprotein och 1,2-1,8% stärkelse av ts (Spörndly, 2003; Elwinger, 2005; Simonsson, 2006; Agroetanol, 2008; SBI-Trading, 2008).

### 10.2. Bränsleegenskaper

Det finns nästan inga studier som beskriver eldning av drank, därför identifieras de problem som kan uppstå vid eldning av drank utifrån bränslen som på olika sätt liknar drank. Den drank som lämnar dekantrarna och indunstningen på Agroetanols fabrik i Norrköping innehåller ca 67% vatten (Paulsson, 2007). Den kan antingen eldas blöt som den är eller först torkas beroende på eldningsutrustningen. Fuktig drank går troligen att elda i pannor med fluidiserad bädd då exempel finns på att slam med upp till 80% fukthalt eldats i sådana pannor (Strömberg, 2005). Ska den pelleteras måste den torkas. Är vattnet kvar i dranken blir denna

dyrare att transportera, samt att hållbarheten begränsas till ca 8 veckor (SBI-Trading, 2008). Torr drank (Agrodrink 90 innehåller ca 10% vatten) är vid förvaring torrt, mörkt och ej över normal rumstemperatur hållbar i 4 månader (Agroetanol, 2008). Agrodrink 90 har ett pH på ca 4 och verkar uttorkande på hud och slemhinnor varför, vid hantering, långvarig kontakt ska undvikas liksom att andningsfilter ska användas. Vid lagring i silo kan problem med valvbildning uppstå.

Drank med ursprung i spannmål ger en aska med låg smältpunkt (tabell 32), vilket gör att den troligen sintrar lätt. Mängden aska är ganska stor, ca 5% av torrsubstansen (Belab, 2002). Det höga innehållet av kväve (ca 5% av ts) gör att kväveoxidemissionerna sannolikt blir höga, och då i nivå med vad som erhållits vid eldning av rapsexpeller som innehåller ungefär lika mycket kväve. Rapsexpeller har ofta gett 2-3,6 gånger högre kväveoxidemissioner än vid eldning av bränslen med lågt kväveinnehåll (Bernesson, 2007; Eriksson m fl, 2007). Det effektiva värmevärdet hos dranken är 17,5 MJ/kg (Belab, 2002) vilket är i nivå med träbränsle.

Det är den höga halten av alkalimetaller (K, Na) (se tabell 32) som orsakar den mycket låga asksmältpunkten (ca 700°C) hos drankens aska (Belab, 2002). Försök med eldning av vetekärnor, i bl a en panna med en cirkulerande fluidiserande bädd, har visat att asksmältpunkten hos den resulterande askan kunnat höjas från 720-740°C till mer än 1080°C, genom tillsats av kalciumrika mineraler såsom dolomit, kalciumhydroxid eller kalksten (Rudling, 1991). För att få avsedd effekt var det viktigt att det tillsatta kalkmineralet var finkornigt. Det är troligt att en liknande effekt kan erhållas med tillsats av kalkmineral vid eldning av drank, då vetekärnorna och dranken har samma ursprung. Ett annat sätt att minska problemen vid eldning av drank kan vara att samelda det med andra bränslen (Strömberg, 2005; Paulsson, 2007). Vidare är svavel- och klorhalterna (tabell 32) höga (jämfört med träbränsle) vilket kan ge problem med korrosion i pannan vid eldning.

Tabell 32. Analysdata för drank från vete

Innehåll, ämne	Belab (2002)	SBI-Trading (2008)		Agroetanol (2008)		Spörndly (2003)	Simonsson (2006)		Elwinger (2005)
	Drank- pellets	Medel 8 senaste proven	Medel före 8 senaste proven	Agro- drank 27	Agro- drank 90	Vete- drank	Agro- drank 27	Vetedrank Nöbbelöv	Drank
Vattenhalt, %	10	91,5	91,6	72	10	13	70	90	9
Askhalt, % av ts	5,1	5,3	5,3	7,5	4,6	3,7	8,1	5,2	
S, % av ts	0,62								
Cl, % av ts	0,13								0,44
C, % av ts	51,0								
H, % av ts	6,7								
N, % av ts	5,7								
O, % av ts	30,7								
<i>Askinnehåll, %</i>									
Na	9,1	3,0	2,8	4,3		4,3	4,1	3,3	
K	18,1	22,2	22,1		24,6	37,0	12,3	22,5	
Si	2,2								
Ca	2,6	5,2	5,1	2,4	2,4	7,0	1,6	4,6	
Mg	5,8	6,2	6,2		5,9	8,1			
P	15,7	20,4	20,4	18,1	19,1	27,8	18,9	19,8	
<i>Asksmältning, °C</i>									
Deformation	700								
Sfär, hörn avrundas	700								
Halvsfär	700								
Flytande	700								
<i>Värmevärde</i>									
Kal värme- värde, MJ/kg	19,1								
Kal värme- värde, MJ/kg ts	21,2								
Eff värme- värde, MJ/kg	17,5								
Eff värme- värde, MJ/kg ts	19,8								

### 10.3. Pelletering av drank

Fukthalten i dranken kan reduceras genom torkning i ångtorkar såsom idag sker på Agroetanol i Norrköping (Paulsson, 2007). Det finns även viss möjlighet att minska vattenhalten på mekanisk väg eller genom indunstning. Mekanisk minskning av vattenhalten är mer energieffektiv och därför pågår utveckling av sådan teknik. Torkningen av dranken kräver 1,0-1,4 kWh/liter producerad vattenfri etanol (beräkningar efter Bernesson (2004), Punter m fl (2004) och Paulsson (2007)).

Pellets av drank har haft mycket sämre hållfasthet än vad standarden SS 187120 (SIS, 1998a) tillåter för bränslepellets i grupp 3 (max 1,5% finandel) (Belab, 2002). Andelen finfraktion blev i det aktuella exemplet 30%. Detta kan tyda på att någon form av bindemedel kan behövas för att pelletterna ska få önskad hållfasthet. På Agroetanol i Norrköping har sirapen (indunstningsresten från indunstningen av den vätska som erhålles vid centrifugering av dranken) använts som bindemedel vid pelletering av drank (Paulsson, 2007).



#### 10.4. Råvarukostnader och energibehov

I Sverige marknadsförs drank från vete, huvudsakligen avsedd för utfodring, av Agroetanol i Norrköping och av SBI-Trading i Kristianstad. Agroetanol marknadsförs för en torkad och pelletterad drank kallad Agrodrank 90 och en ej torkad produkt kallad Agrodrank 27 (Agroetanol, 2008). I mars 2008 var priset på Agrodrank 90: 2 000 kr/ton (2 222 kr/ton ts) och på Agrodrank 27: 1 200 kr/ton ts (Beckman, pers medd, 2008). Före nyår var priserna på dessa produkter 85% av nuvarande priser. Vetedrank från SBI-Trading har ett pris på 778 kr/ton ts vid ett transportavstånd på 0,1-2,0 mil, vid transport med ett helt ekipage som lastar mer än 40 ton (SBI-Trading, 2008).

Om dranken används till andra ändamål kan dess värde vid dessa tillämpningar beräknas utifrån de produkter som den ersätter, se tabell 33 (Bernesson, 2008). Om drank används till förbränningsändamål blir värdet 0,92 kr/ton ts om den ersätter skogsflis till värmeverk, och 1,36 kr/ton ts om den ersätter träpellets till värmeverk. Om drank används som gödselmedel blir dess värde på motsvarande sätt 0,78 kr/ton ts (ersätter N, P, och K gödselmedel till vårkorn eller havre i Svealands slättbygder). Används dranken istället som råvara till biogas, där biogasen blir till el med en elverkningsgrad på 35%, och där 8% av producerad el går åt som processvärme, och 55% av energin i biogasen kan omvandlas till värme, av vilket hälften kan tas till vara, blir drankens värde: 0,82-0,99 kr/kg ts vid 80%:s utröttningsgrad och 0,51-0,63 kr/kg ts vid 60%:s utröttningsgrad. Värmen som bildas vid utnyttjande av biogasen har antagits kunna säljas till samma pris som fjärrvärme.

Tabell 33. Värdet på drank för olika användningsområden (Bernesson, 2008)

Drankens form	Användning	Pris, slutet av 2007, kr/kg ts
Agrodrank 90 (90% ts)	Foder	1,89
Agrodrank 27 (72% ts)	Foder	1,02
Vetedrank (8,5% ts)	Foder	0,78
Agrodrank 90 (90% ts)	Bränsle (ersätter skogsflis <sup>a</sup> )	0,92
Agrodrank 90 (90% ts)	Bränsle (ersätter träpellets <sup>b</sup> )	1,36
Vetedrank (medel varierande ursprung)	Gödselmedel (NPK)	0,78
Vetedrank (varierande ursprung)	Biogas (80% utröttningsgrad)	0,82-0,99
Vetedrank (varierande ursprung)	Biogas (60% utröttningsgrad)	0,51-0,63

<sup>a</sup> Beräknat utifrån ett pris på 167 kr/MWh för skogsflis till värmeverk kvartal 4 2007 (Energimyndigheten, 2008).

<sup>b</sup> Beräknat utifrån ett pris på 248 kr/MWh för träpellets till värmeverk kvartal 4 2007 (Energimyndigheten, 2008).

Ur energisynpunkt kan drank anses vara en ”gratis” biprodukt, vilket betyder att all energi för dess produktion allokeras till spannmålen. Det innebär att energibehovet för att framställa denna pelletsråvara sattes till noll.

## 11. RÅVARUTRANSPORTER

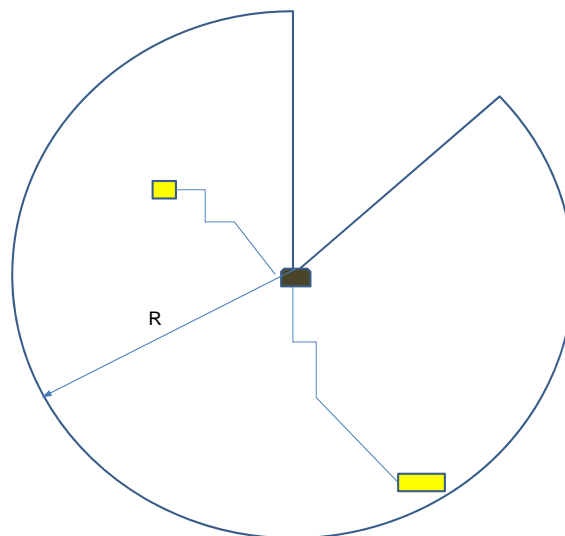
Eftersom de flesta råvarorna är skrymmande, kan transportkostnaderna ha en avgörande betydelse för de totala råvarukostnaderna; särskilt för stora fabriker med stora råvarubehov. I detta kapitel beräknas kostnader och energibehov för olika transportmedel.

### 11.1. Beräkning av transportavstånd

För att uppskatta transportavstånden mellan fält och mellanlager, och mellan mellanlager och fabrik, har följande formel använts (Overend, 1982; Nilsson, 1995):

$$D = 0,0376 \cdot \tau \sqrt{\frac{n \cdot S}{\phi \cdot M}}$$

där  $D$  är det genomsnittliga transportavståndet (km),  $\tau$  är slingerfaktorn (d v s det ”verkliga” transportavståndet dividerat med ”fågelvegen”),  $1/n$  är det användbara området inom en cirkulär yta som råvaran hämtas från (se nedan),  $S$  är det totala behovet av råvaran (ton),  $\phi$  är andelen av den totala arealen som den aktuella grödan odlas på, och  $M$  avkastningen av grödan per ytenhet (ton/ha). Dessa faktorer åskådliggörs i figur 22.



*Figur 22. Schematisk skiss över hur transportavstånden beräknas. Råvaran antas produceras inom en cirkulär yta med radien  $R$ . En sektor utgörande en åttondel av ytan antas exempelvis vara skogbevuxen och är således ej användbar för odling (utnyttjningsbar yta är  $1/n=7/8$ ). I lagret i cirkelns mitt ryms  $S$  ton, vilka hämtas från fält med en avkastning på  $M$  ton/ha. Arealen som den aktuella grödan odlas på utgör andelen  $\phi$  av den användbara ytan. Avståndet från det enskilda fältet till lagret multipliceras med slingerfaktorn  $\tau$ , eftersom fordonen inte följer ”fågelvegen” utan måste följa den verkliga vägen som kan slingra sig en del. Det genomsnittliga transportavståndet för allt material som förs från fälten till lagret är  $D$ , vilken beräknas enligt formeln ovan.*

För landbaserade transporter kan faktorn  $1/n$  variera stort beroende på om anläggningen ligger vid kusten eller i inlandet helt omgivet av produktionsområden. Vid en ”rak” kuststräcka kan ske  $1/n$  är runt 0,40, medan värdet kan vara 1,00 i inlandet. Även faktorn  $\phi$  kan variera stort

beroende på vilken skala man studerar och vilken region det gäller. I tabell 34 visas ett exempel för odling av spannmål i Gammalstorps församling i Sölvesborgs kommun i Blekinge län. Församlingen och kommunen präglas av slättbygd, medan det ingår både slättbygd, mellanbygd och skogsbygd i länet som helhet.

*Tabell 34. Beräkning av  $\phi$  för odling av spannmål under år 2006 i Gammalstorps församling i Sölvesborgs kommun i Blekinge län (Nilsson, 2007)*

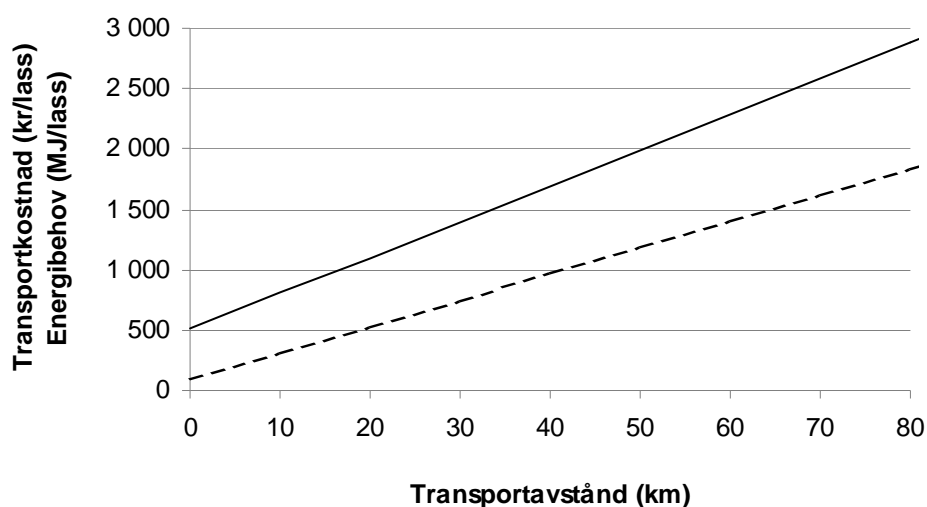
Område	Spannmålsareal, ha	Total yta, ha	$\phi$
Gammalstorps församling	871	5 660	0,154
Sölvesborgs kommun	2 934	18 600	0,158
Blekinge län	9 810	294 100	0,033

## 11.2. Traktortransporter

I denna studie används traktor för att transportera halm, rörflen och hampa från mellanlagret till förädlingsfabriken. I figur 23 visas transportkostnaderna som funktion av avståndet mellan mellanlager och fabrik. I figuren redovisas kostnaderna per lass, eftersom de olika råvarorna har något olika densitet. Här visas enbart transportkostnaderna för stora fyrkantbalar, beroende på att dessa balar ger lägst produktionskostnad (se tabellerna 15, 20 och 23).

Varje lass rymmer 20 stora fyrkantbalar, vilka är staplade i två lager. Den genomsnittliga transporthastigheten (tur och retur) antas vara 30 km/tim (timkostnad 446 kr). Lastningen antas ta totalt 20 min och utförs av en traktor med frontlastare (timkostnad 440 kr), medan lossningen tar totalt 15 min och utförs av en teleskoplastare (timkostnad 413 kr).

I figuren visas också energibehovet som funktion av transportavståndet. Bränsleförbrukningen för lastning/lossning antas vara 5 l/tim. För transportererna har energibehovet beräknats från en studie av Berggren (1999), med en antagen lastvikt på 10 ton (12,1 MJ/km) och en returvikt på 0 ton (9,6 MJ/km).



Figur 23. Transportkostnader (heldragen linje) och energibehov (streckad linje), inkl returresa, för ett lass med 20 stora fyrkantbalar som funktion av avståndet mellan mellanlager och fabrik.

### 11.3. Lastbilstransporter

Lastbilar används för transporter av halm, rörflen, hampa, avrens, rapskaka och drank från mellanlager/produktionsplats till förädlingsanläggning. För transporterna används fordonsekipage inkl släp, vars totalvikt är 60 ton och totala längd 24 m. Fordonen har öppningsbara sidor för lastning och lossning, och är utrustade med automatisk lasttäckning med hjälp av rullpresenningar. I tabell 35 visas lastdimensionerna. Ekipagets totala lastvolym är ca 163 m<sup>3</sup>, och dess maximala lastvikt 40 ton. Om det transporteras stora fyrkantbalar rymmer det totalt 32 balar staplade i två lager; 12 balar på bilen och 20 balar på släpet. Om lasten är halm med en balvikt på 520 kg, rymmer fordonet således 16,6 ton.

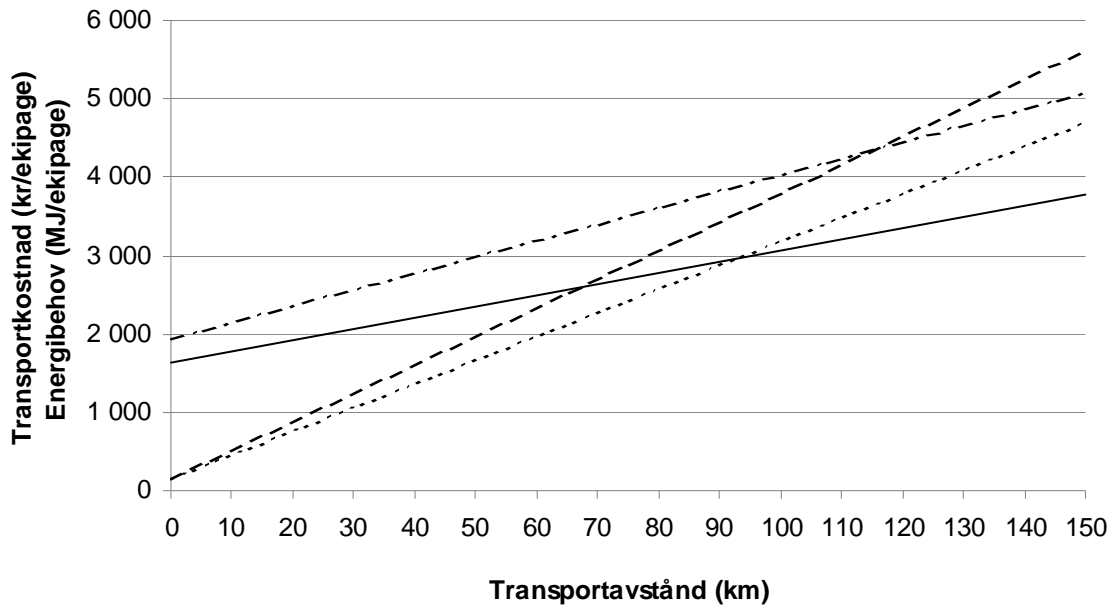
Tabell 35. Lastdimensioner för lastbilstransporter. Flakhöjden för lastbilar antas vara 1,25 m och för släpet 1,20 m. Källa: Forsberg m fl (2007)

	Max lasthöjd, m	Max lastbredd, m	Max lastlängd, m	Volym, m <sup>3</sup>
Lastbil	3,25	2,50	7,30	59,3
Släp	3,30	2,50	12,60	104,0

Transportkostnaderna baseras på en frakttaxa för spannmålshämtning (Sjölund, 2005), uppräknad med producentprisindex PPI ( $142,4/128,8 = 1,11$  (SCB, 2008c)). Frakttaxan är stegvis ökande efter transportavståndet, men har i denna studie linjäriserats. Taxan beror även på lastvikten, och här har kostnaderna beräknats för två viktklasser; 20 resp 40 ton. Ekipagets kostnader för lastning och lossning är inkluderade i taxan, men däremot inte de maskiner som eventuellt behövs för lastning och lossning.

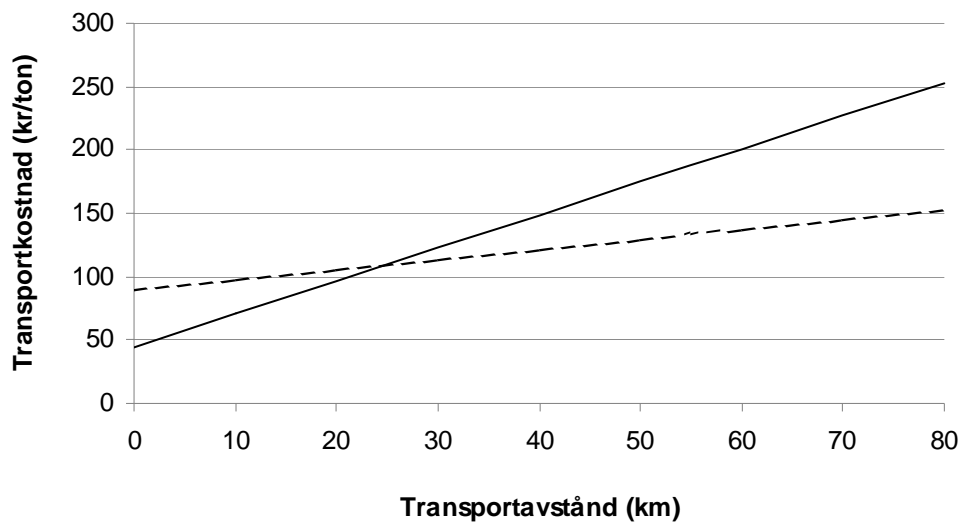
I figur 24 visas de totala transportkostnaderna för ett ekipage som funktion av avståndet mellan lager/produktionsplats och pelletsfabrik. Figuren gäller för en lastnings- och lossningskostnad på 206 resp 136 kr/lass (motsvarande kostnaden för en teleskopplastare med en timkostnad på 413 kr vid lastnings- och lossningsoperationerna, vilka antas ta 30 resp 20 min).

I figuren visas även energibehovet. Energiförbrukningen för lastning/lossning har beräknats på samma sätt som för traktortransporter. Lastbilskekipagets bränsleförbrukning beror till viss del på lastvikten och har därför beräknats för två lastvikter (20 resp 40 ton). Beräkningarna baseras på en studie av Berggren (1999).



Figur 24. Transportkostnader (lastvikt 20 ton heldragen linje, lastvikt 40 ton punktstreckad linje) och energibehov (lastvikt 20 ton prickad linje, lastvikt 40 ton streckad linje) för ett lastbilskekipage, inkl tur- och returresor. Kurvorna gäller för transport av gods som lastas/lossas med teleskoplastare.

I figur 25 visas exempel på en jämförelse av transportkostnaderna per ton mellan traktortransporter och lastbilstransporter (viktklass 20 ton) för halm. Varje lass rymmer 20 resp 32 stora fyrkantbalar, och kostnaderna för lastning och lossning är inkluderade. Vid ett avstånd på ca 25 km finns en brytpunkt, då lastbilstransporter blir billigare än traktortransporter.

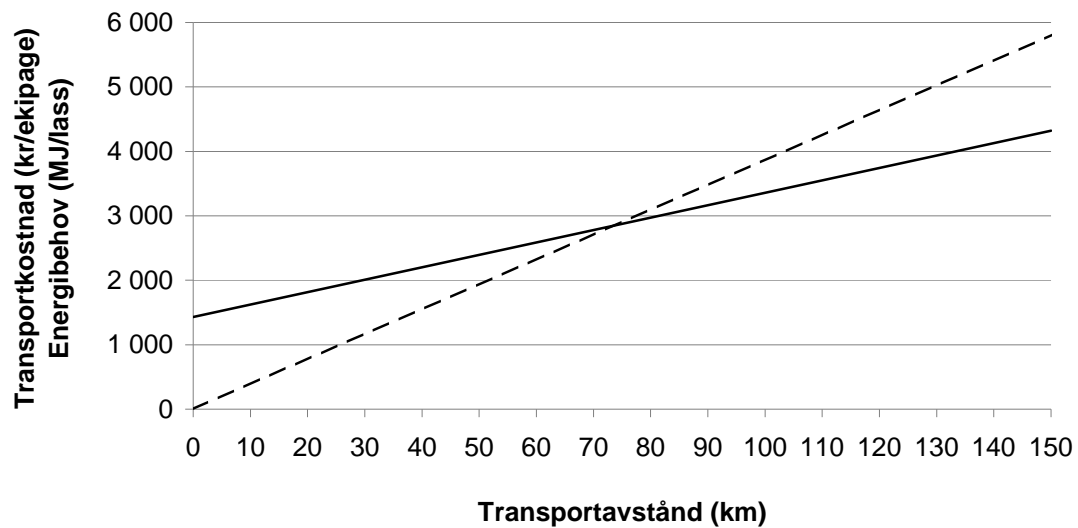


Figur 25. Kostnader för traktor- (heldragen linje) och lastbilstransporter (streckad linje) av halm i form av stora fyrkantbalar (20 resp 32 balar per lass, balvikt 520 kg).

#### 11.4. Containertransporter

Containerbilar används för transport av flisade råvaror. Containerarna antas ha de standardmått som gäller för flisbilar, med en lastvolym på  $40 \text{ m}^3$  per container. Ett ekipage består av tre containrar, med en container på lastbilen och två på släpet. Liksom tidigare i denna studie, beräknas transportkostnaderna per lass. Om man exempelvis lastar direktskördad salix med en vattenhalt på 55% och en densitet på  $275 \text{ kg/m}^3$ , blir den totala mängden 33 ton för ett helt ekipage.

Kostnaderna för containerbil baseras på den frakttaxa som använts för flakbilar ovan (viktklass 40 ton), men med den skillnaden att inga extra maskiner behövs för att lasta och lossa containerarna. Däremot är bl a tiden för lastning och lossning inkluderad. Liksom tidigare har taxan linjäriserats och räknats upp med PPI (=1,11). I figur 26 visas kostnaderna och energibehovet per ekipage som funktion av transportavståndet. Bränslebehovet har beräknats för en lassvikt på 33 ton efter data presenterade av Berggren (1999).



Figur 26. Transportkostnader (heldragen linje) och energibehov (streckad linje) för en containerbil (med 3 containrar) som funktion av avståndet mellan fält/mellanlager och pelletsfabrik.

## 12. ASKEGENSKAPERNAS INVERKAN PÅ VAL AV SYSTEM

Några viktiga faktorer som begränsar användningen av åkerbränslen för pelletering/brikettering är de höga askhalterna, de låga asksmälttemperaturerna och korrosionsbenägenheten. Ett syfte med detta kapitel är att inventera olika metoder för att förutse dessa problem med utgångspunkt från de olika askornas kemiska innehåll.

### 12.1. Askrelaterade förbränningsproblem

Askan hos en del biobränslen, t ex hos vissa stråbränslen, har en kemisk sammansättning som påminner om sammansättningen i glas, och vid uppvärmning av dessa askor kan man därför få en s k glasbildning, d v s hårda glasartade klumpar (Jenkins m fl, 1998). Glasbildningen, som i detta sammanhang också kallas för sintring, föregås av att främst  $K_2O$  och  $CaO$  reagerar med  $SiO_2$  (eller  $SiO$ ) och bildar föreningar som smälter vid förhållandevis låga förbrännings-temperaturer. Liknande silikatbildningar kan också ske med t ex natrium. Smältpunkten för silikater är som lägst när Na och K ingår tillsammans med ungefär lika stora delar, och därför strävar man efter att hålla  $Na \gg K$  eller  $K \gg Na$  i bränslena. Ofta beror sintring även på att ett eutektikum har bildats, d v s att två eller flera ämnen tillsammans har bildat en blandfas med en lägre smälttemperatur än vad de ingående komponenterna har var för sig.

Ett annat fenomen är saltsmältning, då negativa joner av klor, svavel eller fosfor bildar salter med positiva joner av kalium, natrium och kalcium (Ericson, 2005). Dessa bildade salter har relativt låg smältpunkt, och de förekommer ofta i gasform i pannan. När de kommer i kontakt med kallare pannytor kan de kondensera och bl a orsaka allvarliga korrosionsproblem. Ibland förekommer det också att askpartiklar smälter utan någon föregående reaktion med något annat ämne.

De olika kiselföreningarna (vid glasbildning) och salterna (vid saltsmältning) är klibbiga innan de stelnar och de kan därför fastna på olika ställen i pannan. På dessa klibbiga ytor kan sedan olika stoftpartiklar fastna och bygga upp ett lager, exempelvis på pannans tuber. Dessa beläggningar, som också kallas påslag, leder till försämrad värmeöverföring, högre  $NO_x$ -utsläpp p g a högre förbränningstemperaturer och varmare rökgaser, korrosion, materialskador p g a att de hårda klumpar som byggs upp kan lossna och falla ned i pannan, lastsänkning p g a för höga rökgastemperaturer, samt i värsta fall frekventa avstängningar av pannan för rengöring. Påslag orsakas inte bara av klibbiga partiklar, utan de kan också bero på s k termofores, där fina partiklar binds till de kallare pannytorerna genom elektrostatiska krafter. Denna typ av påslag är ofta porös och lättare att få bort vid rengöring (Ericson, 2005).

Om glasbildningen sker i fluidiserade bäddar med sand, som till stor del består av kisel, bildas s k agglomerat, som till en början kan vara mycket små men efterhand växa till allt större klumpar då olika partiklar börjar fastna på de klibbiga ytorna.

### 12.2. Askans kemiska innehåll

Det finns en mängd olika grundämnen som påverkar askans egenskaper. De viktigaste är kisel (Si), kalium (K), natrium (Na), kalcium (Ca), klor (Cl), svavel (S), fosfor (P), järn (Fe) och magnesium (Mg). Nedan beskrivs kortfattat vilken funktion dessa ämnen har i växterna och



hur de påverkar askans egenskaper. Om inte annat anges, baseras beskrivningen på arbetena av Ericson (2005), Strömberg (2005) och Fredriksson m fl (2004).

Kisel är det näst vanligaste grundämnet i jordskorpan efter syre med en halt på 25%. Sand och jord består till stor del av kisel, och bränslen som innehåller dessa föroreningar har därför hög kiselhalt. I gräsartade växter, inklusive spannmål, utgör kisel en stabilisator som hindrar stråna från att lägga sig eller gå av. Ämnet anses också kunna motverka angrepp av svampar och skadeinsekter genom att utgöra ett fysiskt hinder för dem. I vilken grad askans kiselhalt påverkar förbränningsegenskaperna är inte helt klarlagd. Hög kiselhalt tycks minska risken för asksmältning och ger istället mer porösa beläggningar som är enklare att ta bort i pannan. Kisel ingår å andra sidan som en del vid glasbildningen när  $K_2O$ ,  $CaO$  och  $SiO_2$  bildar sintrade klumpar. Det är därför svårt att säga vilka problem som kommer att uppstå om man endast vet om kiselhalten är hög eller låg, utan man måste också ha kännedom om bl a halten av kisel i förhållande till halten av alkalimetaller. När det gäller korrosion, tycks en hög kiselhalt ha en positiv inverkan, eftersom kisel binder till sig alkalimetaller, vilket försvårar bildningen av de korrosiva alkalikloriderna (Lokare m fl, 2002; se Nikolaisen m fl, 2002).

Kalium förekommer i jordskorpan framförallt i form av silikat, och tillförs matjorden via vitt-ring. Lermineral har ofta stort innehåll av växttillgängligt kalium, eftersom lerpartiklarna adsorberar kalium. Kalium fungerar som en slags katalysator för växternas ämnesomsättning, eftersom den bidrar till syntesen av stärkelse och protein och även aktiverar enzymer vid fotosyntesen. Vissa växter tar upp mer kalium än de behöver (s k lyxkonsumtion), t ex vallväxter. I biobränslen förekommer kalium i form av klorid och som organiskt bundet i salter med bl a organiska syror. Vid användning av biobränslen med höga kaliumhalter, får askan låga smälttemperaturer. Ämnet medverkar både vid glasbildning genom bildning av kaliumsilikat eller blandsilikat med  $Ca$  och  $Na$ , och vid saltsmältning genom bildning av  $KCl$ , och det kan även smälta i ren form.

Natrium härrör från vittring av olika bergarter. Grundämnet är troligen inte livsnödvärdigt för växter, men det tycks spela en viss roll för osmosen. I växtbaserade biobränslen kan natrium förekomma i form av natriumklorid som härrör från havsvatten eller från saltade vägar, eller i form av natriumfältspat från jordmaterial. Liksom för alkalimetallen kalium, har höga halter av natrium (i form av klorid) en negativ inverkan på asksmälttemperaturen, och den medverkar vid både glasbildning och saltsmältning och kan också smälta i ren form. Eftersom innehållet av natrium i de flesta askor är betydligt lägre än innehållet av kalium, har dock detta grundämne vanligen en underordnad betydelse jämfört med kalium.

Kalcium påverkar växternas celldelning och är viktig för cellväggarnas uppbyggnad och cellmembranens stabilitet. De flesta växter kan reglera sitt upptag av kalcium, och de tar därför endast upp det som behövs, även om marken har riklig förekomst av ämnet. I biobränslen förekommer kalcium normalt bundet i salter av organiska syror, t ex oxalsyra eller vinsyra, och vid förbränningen bildas sedan oftast  $CaO$ , som kan reagera vidare med kisel, svavel eller klor. Kalcium kan också förekomma i form av kalksten från kalkrika jordar eller från kalk som tillsats i eldstaden. Generellt tycks högre kalciumhalter i askan medföra högre asksmälttemperaturer. Bilden kompliceras dock av att mindre mängder kalcium i askan istället kan sänka asksmälttemperaturen. Vid eldning av t ex halm tillsätter man ibland dolomitkalk eller -kalk för att höja asksmälttemperaturen (Nikolaisen m fl, 1998). När bränd kalk ( $CaO$ ) används och kommer i kontakt med vatten, blir det dock en kraftig värmeavgivning, och dessutom finns det en viss risk att kalken börjar härda.

Markens innehåll av klor härrör från mineraler, fina droppar av havsvatten och från vulkanutbrott, och den klormängd som finns i marken är oftast tillräcklig för att tillgodose växternas behov. Det klor som finns i odlade växter kan också i varierande grad härstamma från gödselmedel, t ex KCl-baserat kaliumgödsel, och från bekämpningsmedel. Klor har en viktig roll vid fotosyntesen som förmedlare av elektroner. Vid förbränning kan klor lämna anläggningen i gasform som HCl, men den har också en förmåga att frigöra kalium, natrium och kalcium i askan och bilda salter med dessa ämnen. Ett vanligt salt är KCl, som bildas vid flamt temperaturer >1 200°C, och som smälter vid temperaturen 750°C. Klorsalterna kan kondensera när de träffar en kallare yta i pannan, vilket sedan kan leda till både påslag och korrosion. För bränslen med höga klorhalter finns också risk för bildning av dioxiner.

Markens svavel härrör från bl a mineralerna gips och anhydrit, och från förbränning av fossila bränslen. Växterna använder svavel för att bygga upp proteiner. Vid förbränning kan svavel bilda salter med alkalimetallerna och kalcium, och sedan bl a orsaka påslag och korrosion. Smälttemperaturen för svavelsalter är dock något högre än för klorsalter (t ex 1 069°C för K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), vilket innebär att dessa salter är att föredra före klorsalterna. Alkalimetallerna är mer stabila som sulfater än som klorider, och om man tillsätter svavel ombildas alkalikloriderna till alkalisulfater. Denna sulfatering är alltså positiv ur påslags- och korrosionssynpunkt.

Fosfor är en mycket viktig komponent vid växternas energiöverföring i cellkärnan och vid fotosyntesen. Grundämnet härstammar från olika mineral och bildar ganska svårösliga ämnen i marken, vilket innebär att mängden växttillgänglig fosfor ofta är begränsad. På samma sätt som klor och svavel, kan även det fosfor som finns i biobränslen bilda salter med alkalimetallerna och kalcium, och orsaka liknande problem.

Järn är ett av de vanligaste ämnena i jordskorpan. Växterna kan dock bara ta upp järn som Fe<sup>2+</sup>, eller som Fe<sup>3+</sup> eller i form av kelat. Vid förbränning kan järn bilda eutektikum med andra ämnen. Mineralbundet aluminium bildar normalt inga flyktiga ämnen vid förbränning, utan förekommer mest i bottenaskan. Finfördelat mineralbundet bränslealuminium (reaktivt aluminium) kan användas som tillsats i form av t ex kaolin för att höja smältpunkten. Detta sker genom att reaktivt alkali binds genom bildning av aluminat eller, tillsammans med kisel, bildning av aluminosilikat.

### 12.3. Riskbedömning med hjälp av nyckeltal

Det har tagits fram ett antal kvoter eller nyckeltal, vilka används för att bedöma riskerna för asksmältning, slaggbildning och påslag utifrån askans kemiska sammansättning. Vid förbränning av kolpulver finns exempelvis ett klassiskt nyckeltal ( $R_{b/a}$ ) som beskriver risken för asksmältning. Nyckeltalet baseras på den sk bas/syra-kvoten av olika oxider (uttryckt på viktsbasis) (Nikolaisen m fl, 2002):

$$R_{b/a} = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}$$

Sambandet mellan asksmälttemperatur och  $R_{b/a}$  är parabolisk med en minimitemperatur vid  $R_{b/a} = 0,75$  för kol och något lägre för biobränslen (Jenkins m fl, 1998). Denna kvot benämns också alkalinitetstalet, och en variant av formeln ovan är (Strömberg, 2005):

$$\text{alkalinitetstal} = \frac{2Ca + 3Fe + Na + 2Mg + K}{2Si + Al + 3P + 2Ti}$$

Vid värden större än 1,0 finns det överskott på alkaliska ämnen i relation till sura mineralbildare, och därmed risk för sintring genom att de alkaliska ämnena reagerar med kisel som t ex finns i bäddmaterialet i fluidbäddpannor. Vid eldning i pannor utan bäddsand, där innehållet av kisel i bränslet relativt sett får en större betydelse, kan man med det s k förglasningstalet (sodaglastalet) bedöma hur stor risken är att glasfaser med låg smältpunkt bildas (Strömberg, 2005):

$$\text{förglasningstal} = \frac{2(K + Na)}{3Si}$$

Om förglasningstalet är 0,5-1 finns det stor risk för att det bildas lågsmältande glasfaser med en smältpunkt på ca 750°C, om förglasningstalet är 0,25-0,5 och >1 är risken mindre och om det är <0,25 bedöms risken vara liten (Ericson, 2005). Ett annat nyckeltal är alkaliandelen, som beskriver andelen alkalimetaller (Na och K) i förhållande till totala mängden av (vanliga) metaller (Strömberg, 2005):

$$\text{alkaliandel} = \frac{Na + K}{2Ca + K + 2Mg + Na}$$

Ju högre andel alkali, desto större risk för bildning av både silikatglas och saltblandningar. Värden över 0,3 betraktas som ”farliga”, och om värdet överstiger 0,5 är det ”mycket farligt” (Strömberg, 2005). Silikater med aluminium har högre smältpunkt än silikater utan detta ämne, t ex rena Na- och K-silikater. Därför är det s k fältspattalet ett användbart nyckeltal för att bedöma sintringsrisken i biobränslen (gäller dock ej bränslen med Al i metallisk form, t ex för vissa returbränslen):

$$\text{fältspattal} = \frac{2Si}{Al}$$

Om talet är <6 finns troligen det mesta silikatet i form av aluminiumsilikat eller fältspat, medan värden >6 indikerar att det kan finnas kisel över för bildning av silikater med låg smältpunkt. Om Na och K finns i någorlunda lika mängder, finns det risk att lågsmältande eutektikum bildas. Detta kan bedömas utifrån det s k eutektikumstalet (Strömberg, 2005):

$$\text{eutektikumstal} = \frac{Na}{K + Na}$$

Om talet är nära 0 eller 1 är risken liten, medan den är stor för sådana bildningar om talet är 0,2-0,8. För biobränslen är det normalt att  $K \gg Na$ , men detta förhållande kan förändras om man blandar bränslen med olika Na- och K-innehåll. Den s k saltkvoten är ett användbart tal för att bedöma risken för att lågsmältande saltblandningar bildas (Strömberg, 2005):

$$\text{saltkvot} = \frac{Cl + 2S}{K + Na}$$

Om kvoten är >1 kan all fri alkali bindas som klorid eller sulfat, och om kvoten är <1 kan all klor och svavel bindas till alkali. Detta betyder att värden <0,7 betraktas som farliga ur sint-ringssynpunkt, och värden >1 farliga när det gäller saltklibbning, påslagsbildning och korrosion. Värden mellan 0,7-1 bedöms vara måttligt farliga.

Flera av de ovan angivna nyckeltalen har framförallt tagits fram för eldning av kol. Även om de kan ge en antydning om askornas smältegenskaper, kan de alltså ha en begränsad användbarhet för biobränslen (Jenkins m fl, 1998; Nikolaisen m fl, 2002; Ericson, 2005). Ett nyckeltal som tagits fram för biobränslen är den s k alkalikvoten (eller Miles index) (Jenkins m fl, 1998):

$$R_A = \frac{A(K_2O + Na_2O)}{H_s}$$

där  $A$  är askhalten i bränslet,  $K_2O$  och  $Na_2O$  halterna av dikaliumoxid och dinatriumoxid i askan, och  $H_s$  det övre värmevärdet. Om  $R_A > 0,17$  kg/GJ finns en viss risk för slaggbildning och beläggningar, och om  $R_A > 0,34$  kg/GJ är det högst sannolikt att det blir sådana problem (Jenkins m fl, 1998). Detta nyckeltal tar hänsyn till bränslets askhalt och värmevärde. Alla biobränslen kan mer eller mindre orsaka förbränningsproblem, men bränslen med låg askhalt och högt värmevärde, t ex sågspånpelleten, gynnas starkt av tidsfaktorn (det tar t ex mycket längre tid innan man fått samma askmängd), vilka de övriga nyckeltalen inte tar hänsyn till.

I tabell 36 visas exempel på nyckeltal som räknats fram med askdata från olika källor (se tabell 37). Av tabellen framgår bl a att hampa och salix kan ge problem med sintring i fluidbädd (FB)-pannor med kiselrikt bäddmaterial (alkalinitetstalen >0,8). När det gäller eldning i pannor utan externt tillförd kisel, finns det risk för sintring när salix eldas genom att glasfaser med låg smältpunkt kan bildas (förglasningstalet mellan 0,2-1). Andelen alkali är hög i avrens och drank och här finns risk för både sintring och bildning av saltblandningar (alkaliandelen >0,3). De höga fältspattalen indikerar att det finns mycket kisel i alla bränslena (utom träpellets) för bildning av silikater med låg smältpunkt. Eutektikumstalen visar att  $Na \ll K$  i samtliga bränslen, och risken för bildning av sådana eutektika är därför låg (en viss risk för problem finns dock för drank). Saltkvoten är inom riskområdet för samtliga bränslen, vilket innebär risk för sintring (<0,7), påslag och korrosion. Även S/Cl-kvoten är låg, vilket indikerar risk för påslag och korrosion (dock ej för träpellets, hampa, rapsmjöl och drank). Enligt Miles index, som tar hänsyn till bränslenas askhalt och värmevärde, är avrens, rapsmjöl och drank mycket problematiska bränslen.

*Tabell 36. Exempel på nyckeltal beräknade utifrån de bränsledata som redovisas i tabell 37. Fet stil indikerar risk för problem*

	Risk- område	Trä- pellets	Salix	Halm	Rörflen	Hampa	Avrens	Raps- mjöl	Raps- kaka	Drank
Alkalinitetstal	>0,8	<b>2,5</b>	<b>1,7</b>	0,3	0,3	<b>1,1</b>	0,3	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	0,7
Förglasningstal	0,2-1	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	0,1	0,1	0,2	0,2	6,9	>>1	7,4
Alkaliandel	>0,3	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	<b>0,5</b>	0,3	0,3	<b>0,6</b>
Fältspattal	>6	4,4	<b>45</b>	<b>122</b>	<b>32</b>	<b>20</b>	<b>51</b>	7	0	-
Eutektikumstal	0,2-0,8	0,10	0,14	0,17	0,16	0,10	0,12	0,02	0,08	<b>0,22</b>
Saltkvot	0,2-4	<b>1,6</b>	<b>0,3</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>0,6</b>	<b>1,7</b>	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>
S/Cl	<2	3,3	<b>1,4</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>	6,6	<b>1,4</b>	33,5	44,2	2,4
Miles index	>0,34	0,03	0,24	0,20	0,17	0,07	<b>0,70</b>	<b>0,82</b>	<b>0,52</b>	<b>1,01</b>

Tabell 37. Analysdata som antogs vara representativa för respektive bränsle. Källorna för trä, salix och halm är Strömberg (2005; "median"), för rörflen Burvall (1997a; "vårskörd") och Paulrud m fl (2001; prov "D(p)"), för hampa Finell m fl (2006; medelvärde från två odlingsplatser), för avrens Strömberg (2005; "exempel"), för rapsmjöl Eriksson m fl (2007; tabell 2 och 3), för rapskaka Eriksson m fl (2007; tabell A1) samt för drank tabell 32 i denna rapport (medelvärden). u s - uppgift saknas

	Molvikt, g/mol	Trä	Salix	Halm	Rör- flen	Hampa	Avrens	Raps- mjöl	Raps- kaka	Drank
Kal värmev, MJ/kg ts		20,3	20,0	18,9	19,0	19,1	19,8	19,5	26,0	21,2
Askhalt, % av ts		0,6	2,9	5,0	4,5	2,3	9,8	7,4	5,3	5,6
Al, % av aska	26,98	1,6	0,2	0,2	0,9	0,6	0,5	0,2	0,8	u s
Ca, % av aska	40,08	23,9	24,3	7,7	8,3	23,1	4,2	9,7	10,5	3,9
Fe, % av aska	55,85	1,2	0,2	0,2	0,3	0,8	0,9	0,5	0,2	u s
K, % av aska	39,1	8,1	12,3	5,6	5,3	4,4	10,8	17,8	20,2	26,7
Mg, % av aska	24,31	3,1	2,3	1,2	1,8	1,9	1,8	7,2	8,4	6,4
Mn, % av aska	54,94	2,0	0,2	0,0	u s	0,2	0,0	u s	u s	u s
Na, % av aska	22,99	0,5	1,2	0,7	0,6	0,3	0,8	0,2	1,0	4,4
P, % av aska	30,97	1,2	3,7	1,7	3,1	4,6	3,3	17,0	19,8	20,0
Si, % av aska	28,08	7,4	9,3	30,4	29,3	12,7	28,0	1,3	0,0	2,2
Ti, % av aska	47,9	0,1	0,0	u s	u s	0,1	0,0	u s	u s	u s
S, % av ts	32,06	0,03	0,033	0,08	0,09	0,06	0,21	0,91	0,40	0,62
Cl, % av ts	35,43	0,01	0,026	0,12	0,09	0,01	0,16	0,03	0,01	0,28

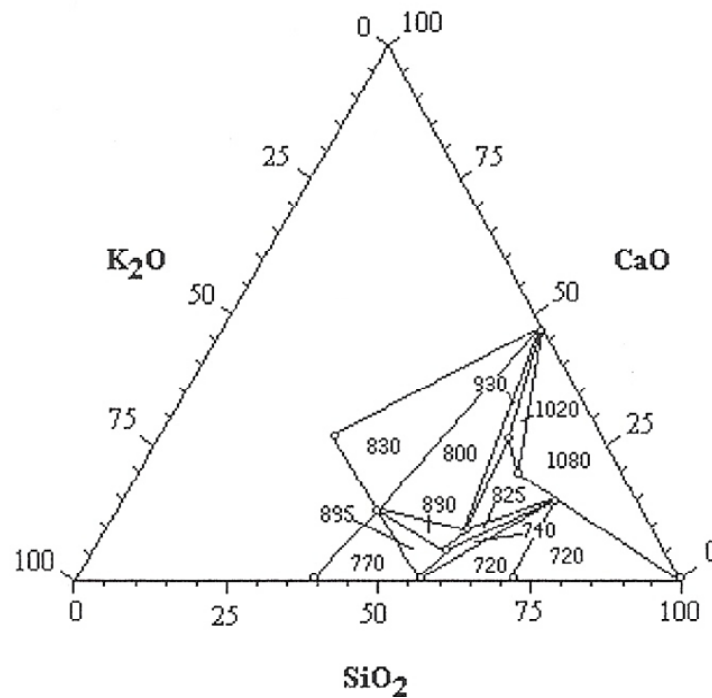
Nyckeltalen kan också vara ett hjälpmedel för att bedöma riskerna vid blandning av olika råvaror. Förbränning av bibränslemixar ger dock askprodukter som inte alltid behöver vara i proportion mot halterna i de ingående bränslenas askor. Detta gäller i synnerhet svavel, alkali och klor, som kan bilda kemiska föreningar som inte representerar genomsnittet för de enskilda bränslena. Genom att utgå från de ingående bränslekomponenterna som mixas, kan man dock få en grov uppskattning av bränsleegenskaperna, åtminstone kvalitativt sett (Lokare m fl, 2002; se Nikolaisen m fl, 2002).

#### 12.4. Riskbedömning med hjälp av tillståndsdigram

I tillståndsdigram beskrivs tillståndet vid olika temperaturer för ett antal komponenter i en viss blandning (Ryding, 1991; Ericsson, 2005). I diagrammen finns likviduslinjer inlagda som visar temperaturen vid begynnande stelning (eller när det är helt smält), och soliduslinjer som visar temperaturen vid avslutad stelning (eller när det börjar smälta) när temperaturen sjunker från en högre till en lägre. Däremellan återfinns komponenterna i både fast och flytande fas. För bibränslen är soliduslinjer mest intressanta, eftersom de visar när askan börjar smälta. Diagrammen kan vara av binär eller ternär typ, då antalet komponenter är två respektive tre.

Ett tillståndsdigram som ofta är relevant att använda för t ex stråbränslen (se t ex Jenkins m fl, 1996), är det ternära  $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{K}_2\text{O}$  - diagrammet (en förenklad version visas i figur 27). System med dessa komponenter är mest kända i det  $\text{SiO}_2$ -rika hörnet, eftersom egenskaperna för blandningar med hög  $\text{K}_2\text{O}$ -halt är svåra att bestämma, bl a beroende på den höga flyktigheten hos  $\text{K}_2\text{O}$  (Ryding, 1991). För att kunna använda diagrammet behöver innehållet av de olika komponenterna först normeras (Ericsson, 2005). För en halmaska med innehållet 65 g  $\text{SiO}_2$ , 10 g  $\text{K}_2\text{O}$  och 6 g  $\text{CaO}$  per 100 g aska, blir de normerade värdena 80% (65/81), 12% (12/81) respektive 7% (6/81). Denna punkt kan sedan läggas in i diagrammet och smält-

egenskaperna därefter uppskattas. Den lägsta smälttemperaturen (ca 700°C) i SiO<sub>2</sub> – CaO – K<sub>2</sub>O – diagrammet finns vid sammansättningar på ca 70% SiO<sub>2</sub>, 2% CaO och 28% K<sub>2</sub>O (Ryding, 1991).



Figur 27. Skiss på ett tillståndsdigram för systemet K<sub>2</sub>O – CaO – SiO<sub>2</sub>. Värdena inom de olika områdena anger de lägsta smälttemperaturerna (°C) för respektive sammansättning.

I praktiken är det mycket svårt att på ett enkelt sätt beskriva vad som sker rent kemiskt i askan under förbränning. Förbränningsförhållandena kan skilja starkt mellan typ av panna, typ av bränsle, m m, vilket gör att förhållandena varierar starkt. Askan innehåller dessutom en mycket stor mängd kemiska föreningar, och i de flesta analyser tar man endast reda på de viktigaste ämnena, t ex de med en halt på större än 1% i oxidform, även om de kanske inte alla gånger förekommer i denna form i verkligheten. Tillståndsdigram blir därför endast användbara för bedömning av asksmälttemperaturerna när askinnehållet domineras av ett fåtal ämnen.

## 13. ANALYS AV NÅGRA FRAMTIDSSCENARIER

I detta kapitel analyseras några tänkbara framtida scenarier för pelletering och brikettering av jordbruksråvaror. Analyserna görs bl a med avseende på produktionskostnaderna för fyra olika produktionsskalor, med sågspån/kutterspån som referens. Vidare tas hänsyn till förväntade förbränningsegenskaper för de olika råvarorna, och dessutom beräknas energiåtgången från fält till färdig pellets.

### 13.1. Allmänna förutsättningar

Följande fyra olika typsystem studeras:

- storskaliga system med en produktionskapacitet på 80 000 ton/år,
- mellanskaliga system med en produktionskapacitet på 8 000 ton/år,
- småskaliga system med en produktionskapacitet på 800 ton/år, samt för
- system i miniskala med en produktionskapacitet på 80 ton/år (inkl mobila system).

För de ekonomiska beräkningarna gäller nedanstående allmänna förutsättningar:

- kostnader för olika jordbruksråvaror hämtas från kapitlen 4-10.
- kostnader för transporter från mellanlager till fabrik hämtas från kapitel 11.
- för sågspån, som används som en referensråvara, antas råvarukostnaden fritt fabrik vara 100 kr/m<sup>3</sup>s (TMF, 2007), fukthalten 55%, bulkdensiteten 320 kg/m<sup>3</sup>s (Energimyndigheten, 2003) och fukthalten efter torkning 10%. Priset har antagits vara samma för alla system; större fabriker kan visserligen få ”mängdrabatter”, men å andra sidan kan transportavstånden vara längre.
- för kutterspån, som också är en referensråvara, antas råvarukostnaden fritt fabrik vara 100 kr/m<sup>3</sup>s (uppskattat efter Pelletsinfo (2008)), fukthalten 15% och bulkdensiteten 140 kg/m<sup>3</sup>s (Energimyndigheten, 2003). Ingen torkning utförs.
- elpriset för kunder med maximal årsförbrukning på 30, 50, 160, 1 250, 2 000 och 10 000 MWh/år är 82, 80, 71, 64, 57 resp 54 öre/kWh (SCB, 2007b).
- personalkostnaderna för anläggningar med skiftarbete antas vara 250 kr/tim i genomsnitt, inklusive kostnader för lön, div tillägg, sociala avgifter, utbildning, arbetskläder, m m. För anläggningar med endast dagtidsarbete antas motsvarande kostnad vara 190 kr/tim i produktionsledet och 250 kr/tim i tjänstemannaledet.
- kalkylräntan är 6%.
- annuitetsmetoden används för att beräkna kapitalkostnaderna.

För energiberäkningarna gäller:

- alla direkta energitillsatser i hela kedjan från odling till färdig pellets tas med. Dessutom inkluderas indirekt energi för tillverkning av gödselmedel och bekämpningsmedel, men däremot inte indirekt energi för tillverkning av maskiner, byggnader, m m.
- de olika energislagen räknas sedan om till primär energi, d v s till energi vid själva energikällan. För t ex diesel multipliceras åtgången med en faktor 1,06 för att ta hänsyn till att det kostar 0,06 l för att få fram 1 liter av bränslet. För el multipliceras åtgången med faktorn 2,1 (Bernesson, 2004), vilket motsvarar ”produktionskostnaden” inkl nät-förluster för svensk medel. För trädränslen används faktorn 1,05.

- Den totala energiåtgången fås sedan fram genom att addera alla bidrag av primär energi i produktionskedjan.

Eftersom det i de flesta fall saknas driftsdata (kapacitet, underhållsbehov, m m) från långtidsförsök med pelletering och brikettering av jordbruksråvaror, har dessa data i huvudsak baserats på uppgifter som gäller för träråvaror. Kostnads- och energiberäkningarna är därför mer av orienterande karaktär. Vidare har beräkningar bl a gjorts för olika mixar av råvaror, men detta betyder inte nödvändigtvis att varje enskild pellet består av olika råvaror, utan det är också tänkbart att man har olika produktionslinjer med olika råvaror i fabriken.

## 13.2. Storskaliga system (A)

### 13.2.1. Systembeskrivning och val av råvaror

I detta system antas en årskapacitet på 80 000 ton pellets och en årlig driftstid på 8 000 timmar, vilket betyder att kapaciteten i fabriken i genomsnitt är 10 ton/tim. I systemet är fuktig sågspån den dominerande råvaran, och här finns därför en tork (roterande trumtork på ca 9 MW). Den pellets som produceras här hanteras främst som bulkvara och används av större förbrukare. De flesta fabriker i denna storlek har också brikettlinjer, men här beräknas kostnaderna enbart för pellets, och sedan görs en uppskattning av vad briketter skulle kosta.

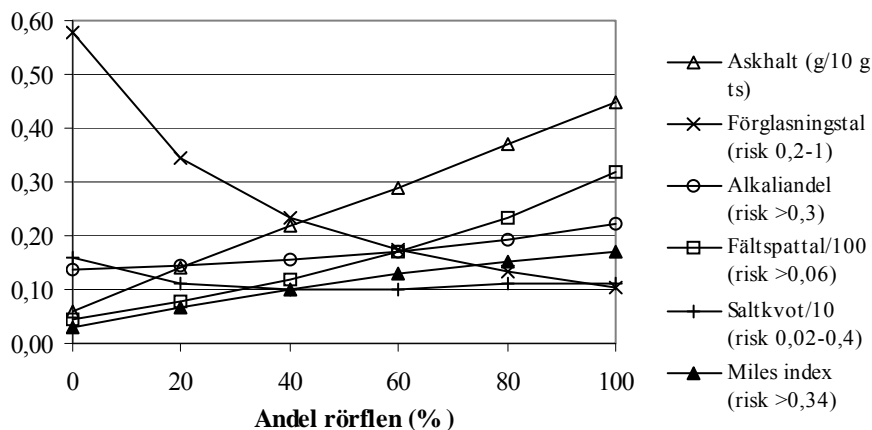
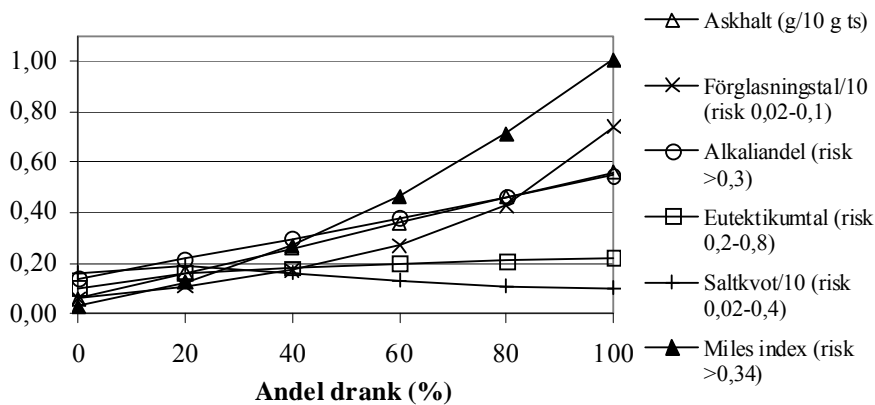
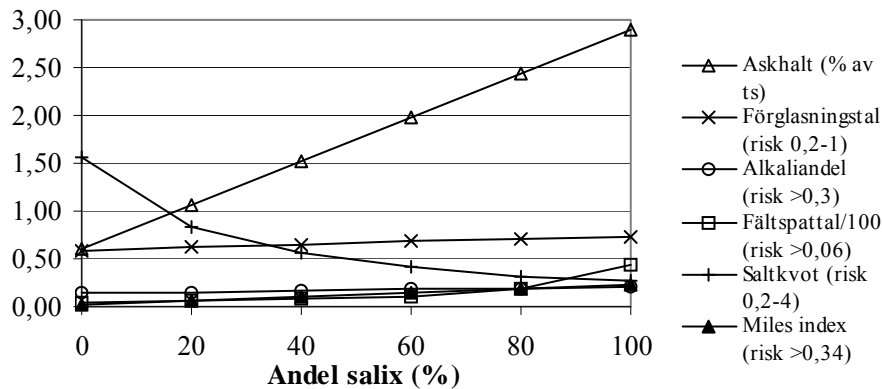
Anläggningar i denna skala förekommer mest i regioner med stor tillgång på fuktig sågspån i de mellersta och norra delarna av landet. Eftersom fabriken redan har en stor tork, bör fuktiga jordbruksråvaror såsom direktskördad salix och drank vara tänkbara kompletterande råvaror i Mellansverige. I norra Sverige kan rörflen vara en aktuell råvara, trots att den inte kräver någon torkning.

I figur 28 visas exempel på hur några förbränningsrelaterade egenskaper kan komma att förändras som funktion av hur stor andelen salix, drank och rörflen är i blandning med sågspån. Ju högre andel salix, drank och rörflen, desto högre blir askhalten. För salix sjunker saltkvoten med ökande andel salix, men å andra sidan ökar fältspattalet och Miles index så att de kommer in i riskområdena. En andel av upp till hälften salix skulle troligen inte medföra alltför stora förbränningsproblem. Drank har ett högt innehåll av kalium och natrium, och dessutom är kriteriet  $K \gg Na$  i riskzonen enligt den analys som refereras till i tabell 37. Det är därför risk att lågsmältande eutektika bildas. I tabell 32 framgår också att såväl den initiala deformationstemperaturen som temperaturen vid helt smält aska ligger kring 700°C. Om spannmålsdrank ska användas som pelletsråvara, kommer den därför endast att vara aktuell för mindre inblandningar i t ex sågspån. Inblandning av vårskördad rörflen har en positiv inverkan på förglasningstalet, vilket indikerar att risken för bildning av lågsmältande sodaglas minskar.

I det storskaliga systemet kommer således följande alternativ att studeras:

- A0. Referensscenario – sågspån och kutterspån som råvaror.
- A1. Sågspån och direktskördad salix som råvaror.
- A2. Sågspån och drank som råvaror.
- A3. Sågspån och rörflen som råvaror.





Figur 28. Askhalt och ett urval av asknyckeltal som funktion av andelen salix (överst), drank (mitten) och rörfilen (underst) i blandning med sågspån (analysdata är tagna från tabell 37).

### 13.2.2. A0. Referensscenario - sågspån och kutterspån som råvaror

Fuktig sågspån antas utgöra basråvaran (90% av ts-behovet), med kutterspån som komplement (10% av ts-behovet). De olika kostnadsposterna fördelas enligt följande.

**Råvarukostnad.** För att producera 80 000 ton pellets med en fukthalt på 9%, krävs 72 800 ton ts, eller 145 600 ton fuktig sågspån och 8 600 ton kutterspån. Den totala råvarukostnaden blir

51,6 milj kr/år (ytterligare mängd råvara, t ex finfraktioner som eldas i torkpannan, antas ingå i energikostnader nedan).

*Kapitalkostnad.* Kapitalkostnaderna redovisas i tabell 38. Investeringsbehoven har hämtats från Zakrisson (2002) (1,00 Euro = 9,20 SEK). Korrigering för prisökningar på maskinell utrustning har gjorts med hjälp av producentprisindex (SCB, 2008c) från år 2001 (PPI=124,4) till december 2007 (PPI=140,6). Av tabellen framgår att kapitalkostnaderna är 7,2 milj kr/år.

*Tabell 38. Investeringsbehov, antagen ekonomisk livslängd, annuitetsfaktor med räntan 6% samt beräknad årskostnad för en pelletsfabrik med en produktionskapacitet på 80 000 ton/år. Investeringsbehoven har beräknats efter Zakrisson (2002), med korrigering för prisökningar*

	Investering, kr	Livslängd, år	Annuitets- faktor	Årskostnad, kr/år
Byggnader, inkl kontor, exkl lager	8 000 000	40	0,066	528 000
Torktrumma, inkl panna o rökgaskondensor	24 950 000	10	0,136	3 393 000
Hammarkvarnar	3 740 000	10	0,136	509 000
Pelletspressar, inkl installationer	6 240 000	10	0,136	848 000
Kylare, motströms, inkl fläktar o cyklon	2 500 000	15	0,103	257 000
Lager, utrymme 30 000 ton	9 050 000	40	0,066	932 000
Perifer utrustn, inkl doserare, elmotorer, etc	4 520 000	15	0,103	466 000
Datautrustning	1 040 000	5	0,237	246 000
<b>Totalt</b>	<b>60 040 000</b>			<b>7 180 000</b>

*Underhållskostnad.* De årliga service- och underhållskostnaderna beräknas genom att investeringsbeloppen multipliceras med olika procentsatser. För byggnaderna, inkl lagerbyggnaden, samt för datautrustningen, antas den årliga service- och underhållskostnaden utgöra 1% av investeringen, för kylaren 2%, för torken och för perifer utrustning 2,5%, och för kvarnar och pressar 13,0% (Zakrisson, 2002; samt egna uppskattningar). Med de data som finns i tabell 5, blir den totala underhållskostnaden 2,3 milj kr/år.

*Energikostnad.* I torken, som består av en roterande trumma med rökgastorkning, krävs det 0,86 MWh värme för att torka bort ett ton vatten från råvaran (Zakrisson, 2002). Med en nedtorkning från 55% till 10% och en produktionskapacitet på 10 ton pellets/tim, behöver ca 10 ton vatten torkas bort per timme. Detta betyder att torkpannan bör ha en avgiven effekt på minst 8,6 MW. Under ett år behöver 146 000 ton fuktig sågspån torkas (d v s ca 72 000 ton vatten ska torkas bort), vilket innebär att ca 62 GWh behöver tillföras torken. Med ett antaget bränslepris på 0,16 kr/kWh (exempelvis ligger priset på skogsflis på denna nivå), blir de totala kostnaderna för bränsle 10 milj kr/år. I beräkningarna har det förutsatts att verkningsgraden är beaktad i värmebehovet för torkning, att den sågspån (finfraktioner m m) som i praktiken ofta används i pannan kostar ungefär som flis, och att den ånga som behövs vid konditioneringen ingår i den totala värmekostnaden.

Elbehovet för de olika tillverkningsprocesserna redovisas i tabell 39. Uppgifterna om effektbehov har hämtats från Zakrisson (2002). I beräkningarna antas att elenergibehovet motsvarar en effektbelastning på 85% under 8 000 driftstimmar (Zakrisson, 2002). Som framgår av tabellen, blir de totala energikostnaderna ca 14,5 milj kr/år.

Tabell 39. Beräkning av energikostnaderna för en pelleteringsanläggning med en årskapacitet på 80 000 ton pellets

	Installerad effekt, kW	Tillförd energi, MWh/år	Specifik energikostn, kr/kWh	Total energikostnad, kr/år
Torkning				
värme	8 600	62 000	0,16	9 917 000
el	350	2 380	0,54	1 285 000
Malning, el	250	1 700	0,54	918 000
Pressning, el	500	3 400	0,54	1 836 000
Kylning, el	50	340	0,54	184 000
Perifer utrustning, el	100	680	0,54	367 000
Summa		62 000 + 8 500		14 507 000

*Personalkostnad.* Det antas att fabriken har tre-skift med två anställda i varje skift sju dagar i veckan, och att ytterligare en person arbetar dagtid (Zakrisson, 2002). I genomsnitt utförs alltså arbete motsvarande 2,3 mantimmar/tim, och eftersom det antas att fabriken är igång 8 000 tim/år och att semestertiden utgör 12% av arbetstiden, blir den totala arbetsinsatsen i produktionsledet ca 22 000 tim/år. Dessutom tillkommer kostnader för personal som ombesörjer administration, inköp, marknadsföring m m. Denna arbetsinsats motsvarar ungefär en tredjedel av arbetsinsatsen i produktionsledet (Zakrisson, 2002), vilket betyder att den totala arbetstiden blir ca 29 000 tim/år. Med de antagna timkostnaderna ovan, blir de totala personalkostnaderna 6,5 milj kr/år.

*Övriga kostnader.* I denna kostnadspost ingår försäkringar, skatter, m m, samt räntekostnader för lagrad pellets. För den förra kategorin antas den årliga kostnaden utgöra 0,5% av investeringsbeloppet (Zakrisson, 2002), d v s 0,3 milj kr/år. Räntekostnaderna för lagrad pellets har beräknats utifrån ett försäljningspris till återförsäljaren på 1 400 kr/ton, och med en genomsnittsmängd baserad på halva årsproduktionen med räntan 6%. Denna kostnad blir 1,7 milj kr/år, vilket gör att den totala summan blir 2,0 milj kr/år.

*Totala kostnader.* Den totala produktionskostnaden blir drygt 84 milj kr/år, eller 1,05 kr/kg pellets (tabell 40).

Tabell 40. Totala produktionskostnader för en pelletsfabrik med årsproduktionen 80 000 ton

	Kostnad, kr/år
Råvara	51 620 000
Kapital	7 180 000
Service och underhåll	2 270 000
Energi	14 510 000
Personal	6 540 000
Övrigt	1 980 000
Summa	84 094 000
Kostnad, kr/kg pellets (vh 9%)	1,05

Eftersom råvarupriset kan variera stort beroende på lokala förhållanden, har känslighetsanalyser gjorts för ett sågspånspris på 80 kr/m<sup>3</sup>s (250 kr/ton) resp 120 kr/m<sup>3</sup>s (375 kr/ton). De resulterande produktionskostnaderna blir 0,94 kr/kg resp 1,16 kr/kg. Om sågspånspriserna stiger med 50 respektive 100% till 150 resp 200 kr/m<sup>3</sup>, blir produktionskostnaderna 1,37 resp 1,68 kr/kg.

För anläggningar i denna skala kan det finnas möjligheter att sälja fjärrvärme om torkpannan utrustas med rökgaskylare. Om man t ex säljer baslastvärme med leveranspunkt vid fabriken, kan produktionskostnaderna sänkas ytterligare med uppskattningsvis ca 5 öre/kg.

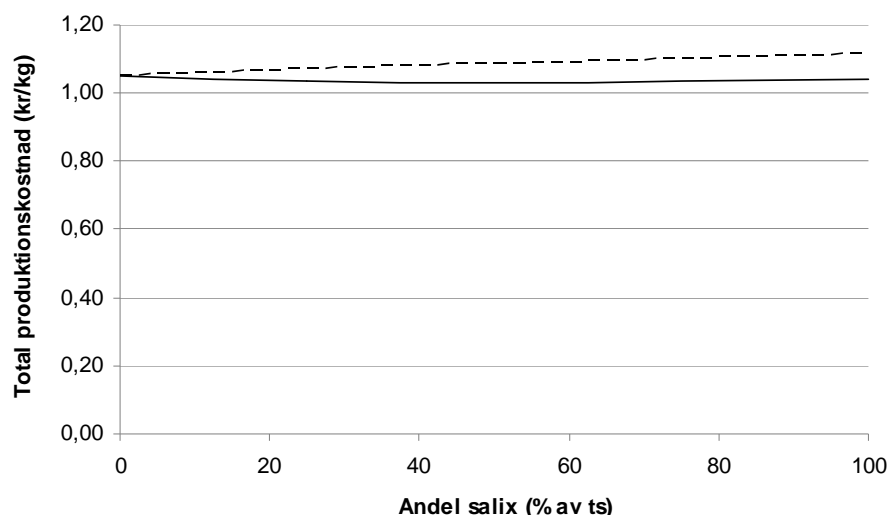
I storskaliga anläggningar har man oftast både pellets- och brikettlinjer, och det är därför svårt att särskilja kostnaderna för pellets och briketter. Om man tar hänsyn till utelämnad malning, mindre elbehov, m m, torde kostnaderna för briketter uppskattningsvis vara runt 10% lägre.

### **13.2.3. A1. Sågspån och direktskördad salix som råvaror**

I detta scenario utgörs råvarorna av fuktig sågspån och direktskördad salix. Direktskördad salix har en fukthalt på ca 52% och behöver därför torkas ned till 10%. Det specifika energibehovet för torkningen antas vara samma som för sågspån. I övrigt antas att inga större modifieringar behöver göras i pelletsfabriken, utan kapital-, underhålls- och personalkostnaderna är samma som för A0.

Salix transporteras med containerbil som rymmer  $120 \text{ m}^3$ , vilket blir 33 ton per ekipage om skrymdensiteten är  $275 \text{ kg/m}^3$  (Forsberg m fl, 2007). Det genomsnittliga transportavståndet har beräknats enligt kapitel 11, med följande indata:  $\tau = 1,4$ ,  $I/n = 0,75$ ,  $M = 6,4$  ton ts/ha (se kapitel 4) och år,  $\phi = 0,005$  (motsvarar t ex knappt 1 500 ha salix i ett län som Blekinge, se tabell 34). Faktorn  $S$  beror av andelen salix som används. En andel på 25% innebär t ex att det behövs ca 18 200 ton ts salix per år. Vid en skörd på 6,4 ton ts/ha och år krävs därför odlingar på ca 2 800 ha. Om man antar att salixen odlas jämnt fördelat med en ytandel på 0,5% runt fabriken, blir det genomsnittliga transportavståndet med containerbil 45 km, vilket ger en transportkostnad på ca 2 300 kr per ekipage (figur 26).

I figur 29 visas de totala produktionskostnaderna per kg pellets som funktion av andelen salix i råvarumixen. Två olika råvarukostnader för salix har antagits: dels en produktionskostnad på 240 kr/ton (vh 52%) enligt tabell 7 plus en transportkostnad som beror av avståndet enligt figur 26, samt ett allmänt marknadspris på 376 kr/ton (vh 52%), vilket motsvarar ett flispris på 160 kr/MWh. Råvarukostnaden för sågspån fritt fabrik är  $100 \text{ kr/m}^3$  för båda alternativen. Av figuren framgår att den totala produktionskostnaden för det första alternativet sjunker något fram till ca 50% salix, och sedan börjar öka svagt p g a ökade transportkostnader. Sammantaget gäller dock att salix är konkurrenskraftigt mot det antagna sågspånspriset för hela intervallet 0-100%. För det andra alternativet ökar produktionskostnaden linjärt med ökande andel salix. För detta alternativ behöver sågspånspriset komma upp till  $110 \text{ kr/m}^3$  innan salix blir konkurrenskraftigt.

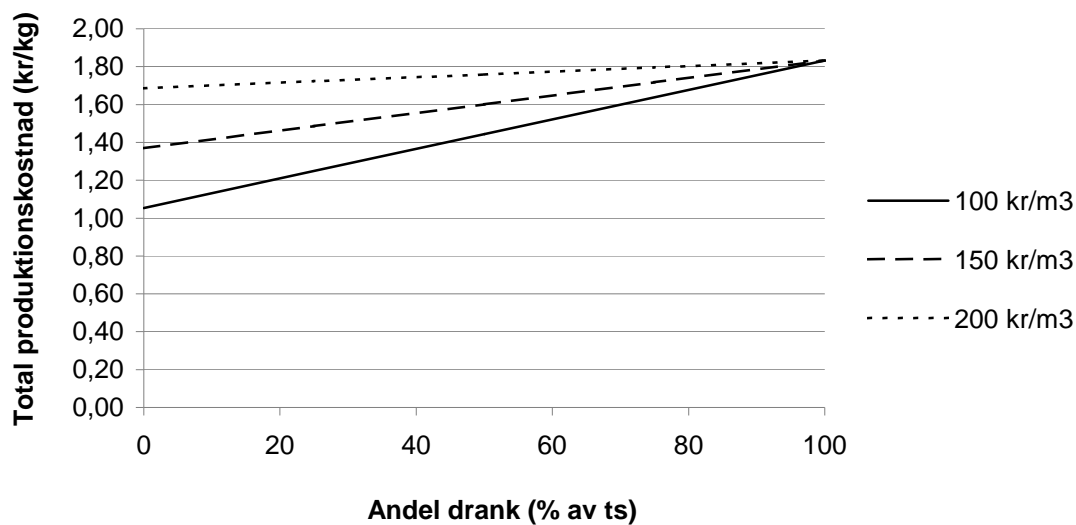


Figur 29. Produktionskostnaden för pellets (vh 9%) i en storskalig anläggning som funktion av andelen salix i en råvarumix med sågspån. Den heldragna linjen gäller för ett salixpris på 240 kr/ton (vh 52%) plus transportkostnader enl fig 26, och den streckade linjen för ett råvarupris på salix motsvarande ett flispris på 160 kr/MWh.

#### 13.2.4. A2. Sågspån och drank som råvaror

Sågspån och drank utgör råvarorna i detta scenario. I kalkylerna antas att dekanterad drank med ett ts-innehåll på 30% transporteras med lastbil 50 km till pelletsfabriken. Lastbils ekipaget antas rymma 40 ton drank per resa, och transportkostnaden blir drygt 59 kr/ton. Priset på drank för foderändamål med ts-halten 30% är runt 1 200 kr/ton ts (kapitel 10.4), vilket motsvarar 360 kr/ton. Detta pris har använts i denna studie. I övrigt antas samma förutsättningar som i A0.

De totala produktionskostnaderna visas i figur 30. Produktion av pellets av enbart sågspån, med en råvarukostnad på 100 kr/m<sup>3</sup>, kostar 1,05 kr/kg, medan pellets bestående av enbart drank skulle kosta 1,83 kr/kg att producera. Detta motsvarar ett sågspånspris som är högre än 200 kr/m<sup>3</sup>. Förutom ett högre råvarupris, blir även torkningskostnaden högre för drank på grund av den höga vattenhalten.

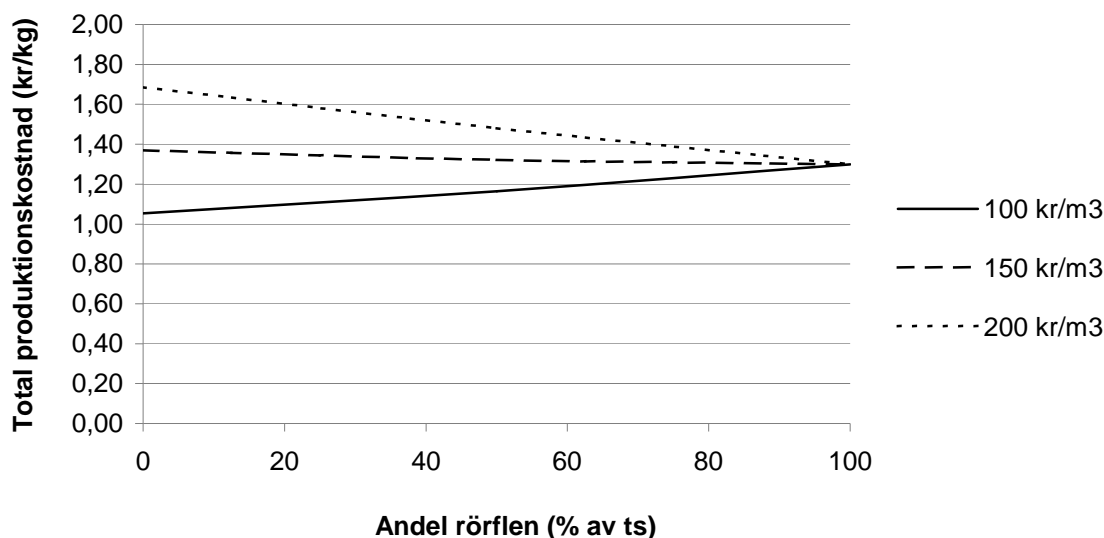


Figur 30. Produktionskostnaden för pellets i en storskalig anläggning som funktion av andelen drank i en råvarumix med sågspån. De olika kurvorna gäller för olika råvarupriser på sågspån.

### 13.2.5. A3. Sågspån och rörfilen som råvaror

I norra Sverige är det tänkbart att sågspån och rörfilen, även om den senare råvaran inte behöver torkas, utgör råvaror i en fabrik i denna storlek. Det antas här att rörfilen hanteras i form av stora fyrkantbalar. Produktionskostnaden fram till mellanlager för sådana balar är 712 kr/ton (tabell 20). Transporterna från mellanlager till fabrik sker med lastbilskeppage, och kostnaderna beräknas enligt figur 24. För att beräkna det genomsnittliga transportavståndet har följande indata använts:  $\tau = 1,4$ ,  $1/n = 0,75$ ,  $M = 5,0$  ton ts/ha (kapitel 11),  $\phi = 0,005$ . Vid t ex en andel på 20% rörfilen i fabriken, behövs ca 2 900 ha rörfilensodlingar. Det genomsnittliga transportavståndet blir i detta fall ca 46 km. Vid fabriken behövs extra lagerbyggnader, balbana, rivare m m, vilket beräknas kosta ca 80 kr/ton (Bernesson & Nilsson, 2005).

I figur 31 visas produktionskostnaden som funktion av andelen rörfilen. Normalt bör andelen rörfilen i denna typ av anläggningar inte vara för stor, eftersom man bl a inte till fullo utnyttjar kapitalet som är bundet i torkanläggningen. Med de förutsättningar som antagits här, framgår dock av figur 31 att produktionskostnaden blir lägre ju högre andelen rörfilen är vid höga sågspånspriser. I ett sådant fall blir kostnaden för sågspånsråvaran plus kapitalkostnaden för torkningsutrustningen plus de rörliga torkningskostnaderna alltså högre än kostnaden för rörfilensråvaran plus kapitalkostnaden för torkningsutrustningen.



Figur 31. Produktionskostnaden för pellets i en storskalig anläggning som funktion av andelen rörflen i en råvarumix med fuktig sågspån. De olika kurvorna gäller för olika råvarupriser på sågspån.

### 13.2.6. Sammanställning

En sammanställning av kostnaderna och energiåtgången för de storskaliga scenarierna visas i tabell 41. Kostnaderna för olika inblandningsgrader för salix, drank och rörflen kan fås ur figurerna 29, 30 och 31. Här ges kostnadsexempel för andelarna 25%, 10% och 20% för respektive bränsle.

Energiåtgången av primär energi för tillverkning av sågspåns pellets är 2,91 MJ/kg. Vid ett energiinnehåll på 17,3 MJ/kg, innebär detta att ca 17% av pelletsens energivärde behövs för dess tillverkning. Av detta svarar torkningen för drygt  $\frac{3}{4}$  av den totala energiåtgången (det antogs i beräkningarna att 30% säljs som spillvärme till ett fjärrvärmenät). Genom blandning med salix och drank fås en något högre energiåtgång p g a att det krävs en hel del energi vid salixodlingen respektive p g a ett högre vatteninnehåll för drank. Däremot minskar energiåtgången vid inblandning av rörflen p g a minskat torkningsbehov.

Tabell 41. Produktionskostnader och energiåtgång för en storskalig pelletsfabrik enl scenarierna A0-A4

	Kostnad, kr/kg pellets	Energi, MJ/kg pellets
A0. Sågspån, inkl 10% torr kutterspån, sågspånspris 100 kr/m <sup>3</sup> s	1,05	2,91
sågspånspris 80 kr/m <sup>3</sup> s	0,94	
sågspånspris 120 kr/m <sup>3</sup> s	1,16	
sågspånspris 150 kr/m <sup>3</sup> s	1,37	
briketter, sågspånspris 100 kr/m <sup>3</sup> s, ca	0,95	
A1. Sågspån blandad med 25% salix, prod kostn 240 kr/ton plus trpt	1,04	3,24
råvarukostn salix 160 kr/MWh	1,07	
A2. Sågspån blandad med 10% drank, sågspånspris 100 kr/m <sup>3</sup> s	1,13	3,41
A3. Sågspån blandad med 20% rörflen, sågspånspris 100 kr/m <sup>3</sup> s	1,09	2,79

### 13.3. Mellanskaliga system (B)

#### 13.3.1. Systembeskrivning och val av råvaror

I denna fabrik antas årsproduktionen uppgå till 8 000 ton. Enligt Thek och Obernberger (2004) är det inte lönsamt att använda torkar i anläggningar med lägre årsproduktion än 12 000 – 15 000 ton/år. Dels blir kapitalkostnaden för hög i förhållande till den producerade mängden pellets, och dels blir torkens verkningsgrad låg med många startar/stopp vid drift med en- (eller två-) skift. Därför antas i detta system att främst torra råvaror används. Det är dock inte uteslutet att använda torkar även i mindre anläggningar. Normalt kostar en tork i denna storlek 5-10 milj kr, men det finns också enklare varianter som kostar 1-2 milj kr (Enochsson & Zadig, 2007).

Anläggningen drivs med två-skift fem dagar i veckan, och pressarnas drifttid antas vara 3 200 timmar/år, vilket motsvarar en genomsnittlig kapacitet på 2,5 ton/timme. De producerade pelletarna hanteras i säckar, och det finns därför en paketeringsanläggning i fabriken.

Intressanta råvaror i denna skala kan vara rörflen i en mix med kutterspån i norra Sverige, rapsmjöl i en mix med kutterspån i närheten av t ex RME-fabriker, och halm i en mix med skottskördad salix i södra Sveriges slättbygder. Skillnaden för rörflen jämfört med A3, är att fabriken är mindre med kortare transportavstånd och att man kan anta en mer intensiv och mer koncentrerad odling runt fabriken, som dessutom är utan tork. Istället för rörflen hade man kunnat ta med hampa i denna skala, men eftersom hampans råvarukostnad är runt 60% högre (jfr tabellerna 20 och 23), samtidigt som transportkostnaderna är relativt lika, blir det lägre total kostnad med rörflen som råvara. Pelletering och brikettering av hampa studeras däremot i de mindre skalorna.

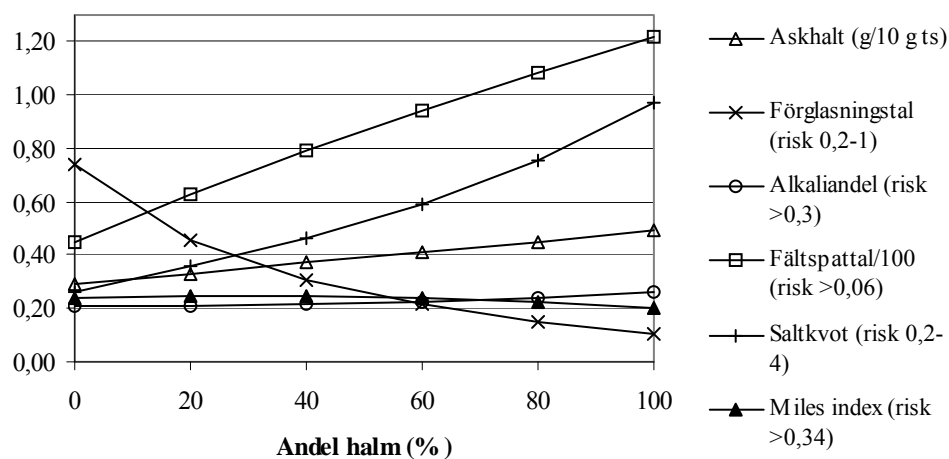
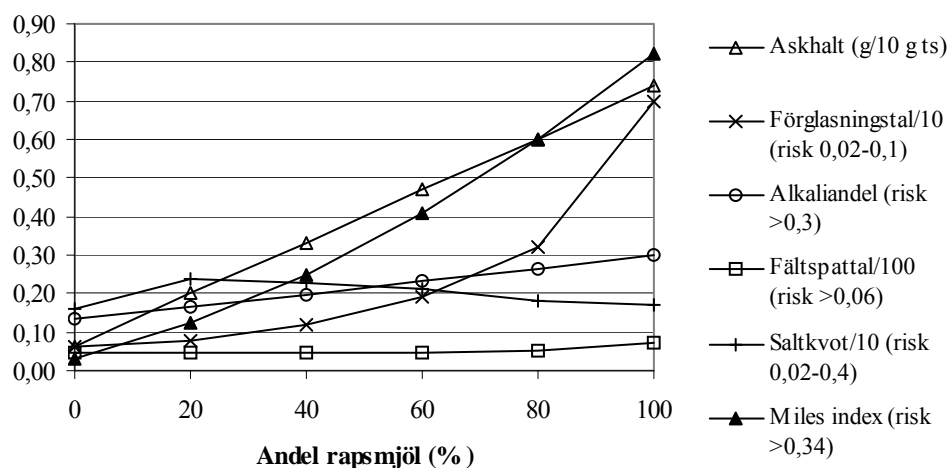
Ur förbränningssynpunkt kan rapsmjöl vara en intressant råvara p g a lägre tendens till bäddagglomering och slaggnings jämfört med många andra biobränslen (Eriksson m fl, 2007). Flera nyckeltal (figur 32) indikerar också att låga inblandningar i träråvara bör kunna fungera bra i de flesta panntyper (enligt Eriksson m fl (2007) bör man dock vara försiktig vid introduktion av rapsmjölsblandningar i pulverpannor).

Halm har en hög alkaliandel och ett högt fältspattal (d v s stort innehåll av fri kiselsyra). Genom att blanda halmen med salix skulle man kunna sänka halterna av kiselsyra, alkali och klor, samt höja halten svavel, och därigenom minska risken för sintring, påslag och korrosion (Fredriksson m fl, 2004). Blandningar med upp till 25% halm torde vara mest fördelaktiga med hänsyn till askhalt och asksmältegenskaper (figur 32).

Följande scenarier analyseras sålunda i denna skala:

- B0. Referensscenario – kutterspån som råvara.
- B1. Kutterspån och rörflen som råvaror.
- B2. Kutterspån och rapsmjöl som råvaror.
- B3. Skottskördad salix och halm som råvaror.





Figur32. Askhalt och ett urval av asknyckeltal som funktion av andelen rapsmjöl i en blandning med kutterspån (överst) och som funktion av andelen halm i en råvarublandning av halm-salix (underst) (analysdata är tagna från tabell 37).

### 13.3.2. B0. Referensscenario - kutterspån som råvara

Råvaran i detta scenario är 100% kutterspån med vattenhalten 15%.

**Råvarukostnad.** För att producera 8 000 ton pellets (vh 9%) krävs ca 8 600 ton kutterspån (vh 15%), vilket ger en kostnad på 6,1 milj kr/år.

**Kapitalkostnad.** Kapitalkostnaderna redovisas i tabell 42. Kostnaderna för byggnader och kylare har uppskattats efter Thek och Obernberger (2004) till runt 4,5 milj kr. Hammarkvarnar i denna storleksklass kostar runt 0,5 milj kr (Hallqwist, pers medd, 2008). Det antas att det finns två pressningslinjer i fabriken, med pressar på vardera 1,5 ton/tim. Investeringskostnaden för pelletspressarna blir ca 3 milj kr (figur 13). Paketeringsutrustning inkl silo antas kosta ca 4,5 milj kr (Arvidsson, pers medd, 2008). Investeringskostnaden för övrig perifer utrustning och datautrustning uppskattades till 1,5 resp 0,5 milj kr.

Tabell 42. Investeringsbehov, antagen ekonomisk livslängd, annuitetsfaktor med räntan 6% samt beräknad årskostnad för en pelletsfabrik med en produktionskapacitet på 8 000 ton/år

	Investering, kr	Livslängd, år	Annuitets- faktor	Årskostnad, kr/år
Byggnader, inkl kontor o mottagningslager	4 000 000	40	0,066	264 000
Hammarkvarnar, inkl kringutrustn	1 000 000	10	0,136	136 000
Pelletspressar, inkl installationer	3 000 000	10	0,136	408 000
Kylare	500 000	15	0,103	52 000
Lagersilo och paketeringsutrustning	4 500 000	15	0,103	464 000
Övrig utrustn, inkl doserare, transportörer, etc	1 500 000	15	0,103	154 000
Datautrustning	500 000	5	0,237	118 000
<b>Totalt</b>	<b>15 000 000</b>			<b>1 596 000</b>

*Underhållskostnad.* De årliga service- och underhållskostnaderna beräknas genom att multiplicera investeringskostnaderna med de procentsatser som redovisats ovan under rubriken underhållskostnader för storskaliga system. Den totala kostnaden blir ca 0,7 milj kr/år.

*Energikostnad.* Maximalt effektbehov för malning, kylning och övrig utrustning antas vara 200 kW (uppskattningar efter Thek & Obernberger, 2004), och för pelletspressningen 220 kW (Arvidsson, pers medd, 2008). Med en genomsnittsbelastning på 80% blir det totala elbehovet ca 1080 MWh/år, och årskostnaden ca 0,7 milj kr.

*Personalkostnad.* Det antas att anläggningen drivs med två-skift, med en person i varje skift, fem dagar i veckan. Anläggningens driftstid är ca 3 200 timmar/år, och inkl semester (12%) och administration, inköp m m (33%), blir den totala arbetstiden ca 4 800 timmar per år. Personalkostnaden blir totalt ca 1,1 milj kr/år.

*Övriga kostnader.* För försäkringar, skatter, m m, blir kostnaden 75 000 kr/år (0,5% av investeringskostnaden). Räntekostnaderna för lagrad pellets blir 216 000 kr/år (genomsnitt av halva årsproduktionen med ett försäljningsvärde på 1 800 kr/ton).

*Totala kostnader.* De totala produktionskostnaderna redovisas i tabell 43. Produktionskostnaderna blir totalt 10,5 milj kr, eller 1,31 kr/kg.

Tabell 43. Produktionskostnader för en pelleteringsanläggning med torr kutterspån som råvara och med en årskapacitet på 8 000 ton/år

	Kostnad, kr/år
Råvara	6 118 000
Kapital	1 596 000
Service och underhåll	725 000
Energi	688 000
Personal	1 084 000
Övrigt	291 000
<b>Summa</b>	<b>10 454 000</b>
Kostnad, kr/kg pellets (vh 9%)	1,31

Om priset på kutterspån stiger till 119 kr/m<sup>3</sup>s (850 kr/ton), blir produktionskostnaden 1,45 kr/kg. Tillverkningskostnaden, d v s om man antar att råvarupriset är 0 kr/m<sup>3</sup>, blir däremot 0,54 kr/kg. Om fuktig sågspån används som råvara, med en torkanläggning (bäddtork med

kapaciteten 3 ton vatten/tim) som kostar 6,5 milj kr (uppskattat efter Thek & Obernberger (2004)), blir produktionskostnaden 1,52 kr/kg (värmemängdsbehovet 1 100 kWh/ton vatten, bränslepriset 0,16 kr/kWh och eleffekten 160 kW antogs). De minskade råvarukostnaderna om sågspån används kan alltså inte uppväga torkningskostnaden i denna anläggning.

Om man antar att enbart briketter (vh 12%) tillverkas i anläggningen, blir råvarumängden 8 300 ton kutterspån per år. Vidare antas att det endast krävs en grovmalningskvarn (0,4 milj kr inkl installationer) och att två brikettpressar kostar 2,4 milj kr (kostnad för kylning ingår) med ett effektbehov på 55 kW (CFNielsen, 2008). Eftersom briketteringsanläggningar kräver betydligt mindre tillsyn (Lindquist, pers medd, 2008; Wallin B, pers medd, 2008), har det antagits att arbetsbehovet halveras i produktionsledet jämfört med pelletstillverkning (administration 50%). De totala produktionskostnaderna för briketttillverkning blir 1,12 kr/kg, eller ca 15% lägre jämfört med pellets. Tillverkningskostnaden (exkl råvarukostnaden) blir däremot ca 33% lägre, och ännu lägre om man har en enklare påfyllningsanordning för t ex storsäckar.

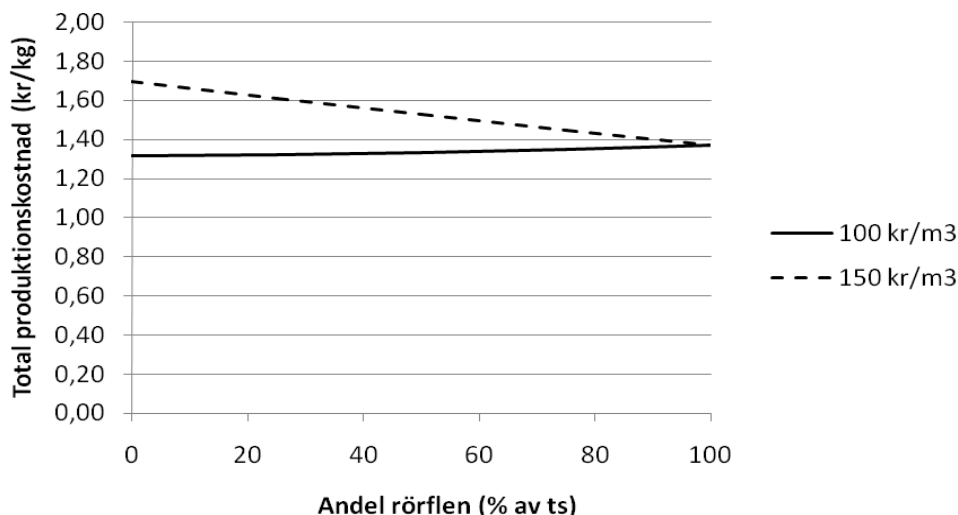
### **13.3.3. B1. Kutterspån och rörflen som råvaror**

Träråvara och rörflen har tidigare analyserats i scenario A3. Skillnaden nu är att anläggningen är betydligt mindre och att den bl a inte har någon tork. Odlingen av rörflen antas också vara mer intensiv med 20% högre avkastning och mer koncentrerad till området runt fabriken ( $I/n=1,0$ ,  $\phi=0,01$ ,  $M=6,0$  ton ts/ha). Eftersom det genomsnittliga transportavståndet maximalt blir 18 km, används enbart traktortransporter (figur 23).

Produktionskostnaderna för rörflen fram till mellanlager, med en hektaravkastning på 6,0 ton ts och hanterad som stora fyrkantbalar, är 640 kr/ton (figur 20). Kostnaden för hantering vid pelleteringsanläggningen, d v s för lagerbyggnad, balbana, rivare m m, är 80 kr/ton (Bernesson & Nilsson, 2005). I övrigt antas att inga större modifieringar av själva anläggningen behövs.

De totala produktionskostnaderna visas i figur 33. Trots att här bl a inte finns någon tork, och trots lägre råvaru- och transportkostnader för rörflen, är kostnaderna generellt något högre jämfört med scenario A3. Samtidigt blir dock rörflen en konkurrenskraftig råvara gentemot spån redan vid ett spånpris på drygt 100 kr/m<sup>3</sup>. Vid en andel på 50% rörflen, behövs odlingar på drygt 600 ha. Det genomsnittliga transportavståndet blir knappt 13 km, och de totala råvarukostnaderna 718 kr/ton (vh 14%), varav transporterna svarar för ca 11%. Den totala produktionskostnaden är ca 1,34 kr/kg pellets.

Observera att osäkerheten i beräkningarna blir större ju större andelen rörflen är, eftersom de antaganden som är gjorda när det gäller maskin-, underhålls- och personalkostnader gäller för en renodlad kutterspånfabrik. Skälet till denna osäkerhet är att det inte har gått att få fram tillförlitliga kapacitetsdata från praktiska långtidsförsök med pelletering av rörflen i denna skala.

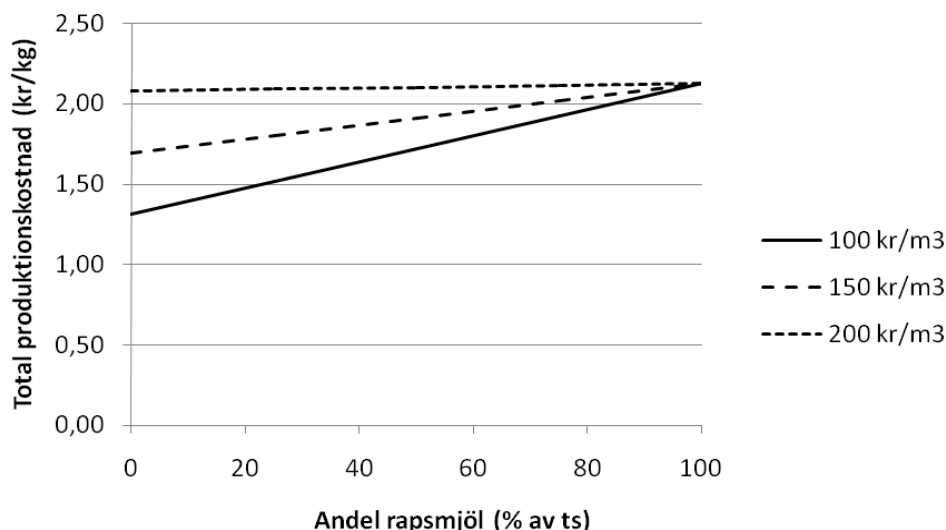


Figur 33. Produktionskostnaden för pellets i en mellanskalig anläggning som funktion av andelen rörlan i en råvarumix med torr kutterspån. De olika kurvorna gäller för olika råvarupriser på kutterspån.

#### 13.3.4. B2. Kutterspån och rapsmjöl som råvaror

Under 2007 steg priset på rapsmjöl från 1 000 kr/ton till 2 000 kr/ton, medan en realistisk nivå framöver troligen är runt 1 300 - 1 400 kr/ton (Eriksson m fl, 2007). Enligt Bernesson (2007; uppdaterade värden se tabell 31), har rapsmjöl sitt överlägset bästa värde som foder, med ett alternativvärde på ca 2,30 kr/kg ts. Utifrån dessa källor, har det antagits att råvarukostnaden för rapsmjöl ligger runt 1 500 kr/ton (exkl transporter). Vidare har det antagits att rapsmjölet transporteras 50 km till pelletsfabriken med lastbilar som tar 40 ton. Med dessa förutsättningar, blir transportkostnaden 59 kr/ton och energibehovet 49 MJ/ton.

I figur 34 visas produktionskostnaderna för spån-rapsmjölsblandningen. I brist på data från storskaliga försöksserier, antas kapital-, personal-, underhålls-, energi- och övriga kostnader vara samma som för B0. Av figuren framgår att rapsmjöl är en dyr råvara, och om pelletsen enbart skulle bestå av rapsmjöl, skulle produktionskostnaden vara ca 2,14 kr/kg. Råvarukostnaden skulle i ett sådant fall dominera (71%), medan transportkostnaderna endast svarar för en liten del (3%) av de totala produktionskostnaderna. Om man tänker sig ett praktiskt fall med en inblandning på 10%, skulle kostnaden vara 1,39 kr/kg vid ett spånpris på 100 kr/m<sup>3</sup>.



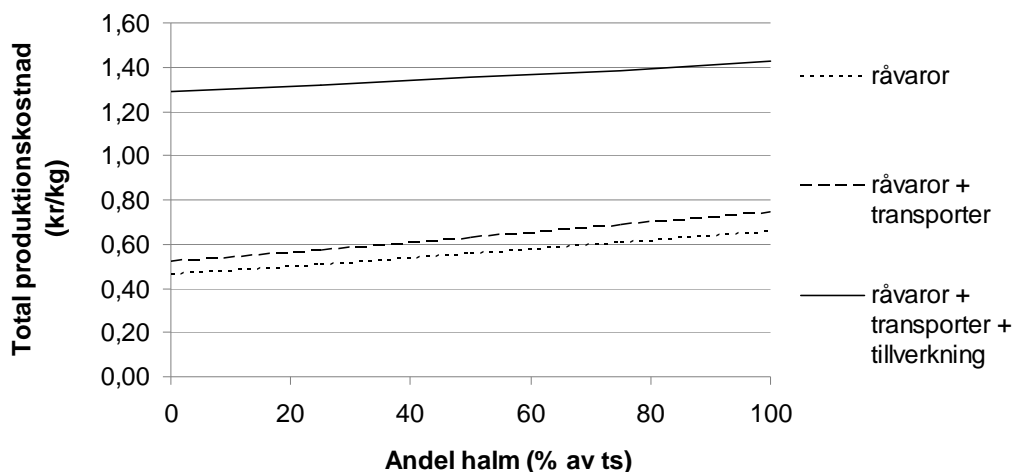
Figur 34. Produktionskostnaden för pellets i en mellanskalig anläggning som funktion av andelen rapsmjöl i en råvarumix med torr kutterspån. De olika kurvorna gäller för olika råvarupriser på kutterspån.

### 13.3.5. B3. Skottskördad salix och halm som råvaror

I denna fabrik används enbart jordbruksråvaror, och man kan därför lokalisera den till slättbygder i södra Sverige. I detta scenario har därför en högre hektaravkastning antagits (8,9 ton ts salix/ha och år (genomsnitt under 22 år) samt 3,5 ton ts halm/ha) och en högre odlingsandel av den tillgängliga marken ( $1/n=1$  och  $\phi=0,05$  för både salix och halm). Detta leder till lägre produktionskostnader; 353 kr/ton (vh 30%) för salix resp 509 kr/ton (vh 18%) för halm (se även figurerna 17 och 19). De genomsnittliga transportavstånden blir endast 10,6 km respektive 6,6 km när andelen halm respektive salix är 100%. De korta avstånden innebär också att traktor används för transport av halm istället för lastbil. Hanteringskostnaderna för halm vid fabriken har antagits vara 80 kr/ton (Bernesson & Nilsson, 2005; denna kostnad är egentligen inte oberoende av andelen halm, men detta har antagits här för enkelhets skull).

Salixen antas vara skottskördad och flisas därför under den efterföljande sommaren. Den transporteras från uppläggnings-/flisningsplats till fabrik med containerbilar. Flisens vattenhalt antas vara 30%, och vid fabriken sker torkning med hjälp av en bäddtork till en vattenhalt på 12%. Torkningsanläggningen antas kosta 6,5 milj kr och ha samma prestanda m m som angavs ovan för känslighetsanalysen av B0.

Resultatet visas i figur 35. Med ökande andel halm, ökar både råvaru- och transportkostnaderna. Däremot minskar själva tillverkningskostnaderna, beroende på att de rörliga torkningskostnaderna minskar. Om enbart salix används som råvara, är produktionskostnaden 1,29 kr/kg, medan den är 1,32 kr/kg om 25% halm används. Kostnaden för att tillverka enbart halmpellets skulle bli 1,29 kr/kg om man tog bort torkningsutrustningen helt.



Figur 35. Produktionskostnaden för pellets i en mellanskalig anläggning som funktion av andelen halm i en råvarumix med skottskördad salix.

### 13.3.6. Sammanställning

En sammanställning av kostnaderna och energiåtgången för de mellanskaliga scenarierna visas i tabell 44. Kostnaderna för olika inblandningsgrader för rörflen, rapsmjöl och halm kan fås ur figurerna 33, 34 och 35. Här ges kostnadsexempel för andelarna 50%, 10% och 25%. Kostnaderna för B0-B4 ligger ganska väl samlade kring drygt 1,30-1,40 kr/kg. Av tabellen framgår att energiåtgången blir hög när fuktiga råvaror används i denna skala.

Tabell 44. Produktionskostnader och energiåtgång för en mellanskalig pelletsfabrik för scenarierna B0-B4

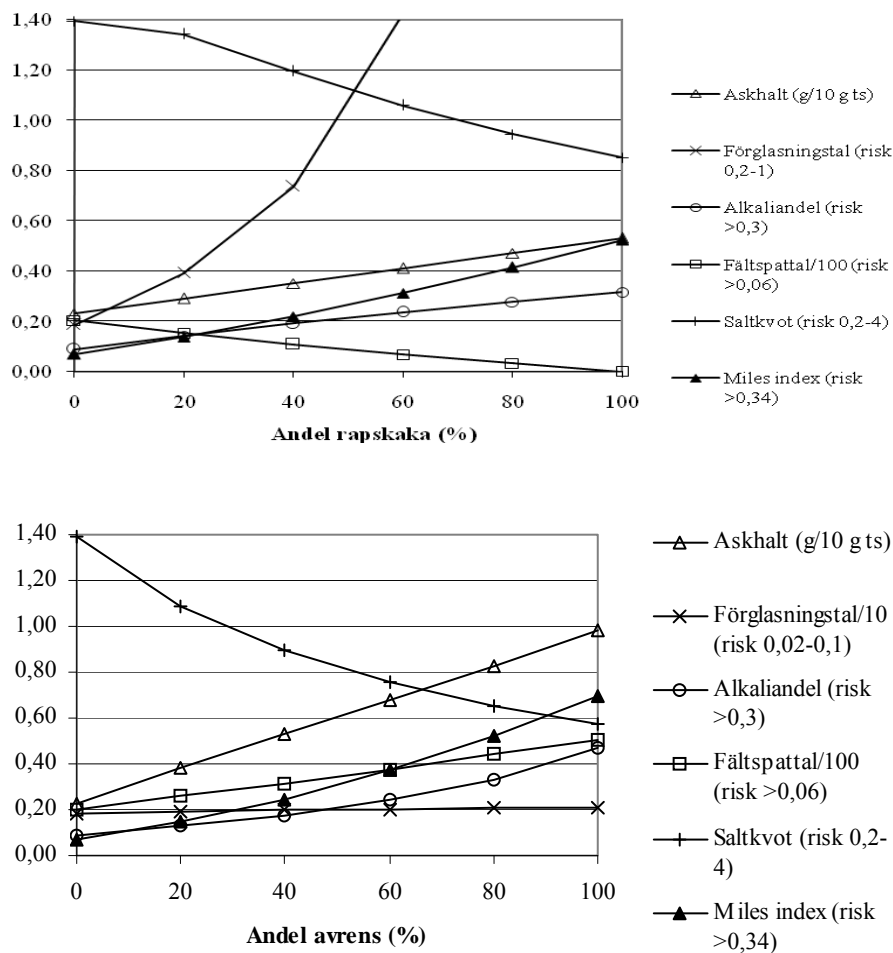
	Kostnad, kr/kg pellets	Energi, MJ/kg pellets
B0. Kutterspån, spånpris 100 kr/m <sup>3</sup> s	1,31	1,08
spånpris 0 kr/m <sup>3</sup> s	0,54	
spånpris 119 kr/m <sup>3</sup> s (850 kr/ton)	1,46	
spånpris 150 kr/m <sup>3</sup> s	1,70	
fuktig sågspån, 100 kr/m <sup>3</sup> s, torkas	1,52	4,86
briketter, kutterspånpris 100 kr/m <sup>3</sup> s	1,12	
B1. Kutterspån blandad med 50% rörflen	1,34	1,32
B2. Kutterspån blandad med 10% rapsmjöl	1,39	1,08
B3. Skottskördad salix blandad med halm, 100% salix	1,29	3,02
75% salix, 25% halm	1,32	2,56
100% halm	1,29	1,22

## 13.4. Småskaliga system (C)

### 13.4.1. Systembeskrivning och val av råvaror

I denna skala antas årsproduktionen uppgå till 800 ton. Endast torra råvaror används, och den årliga driftstiden är 1 600 timmar med en genomsnittlig kapacitet på 500 kg/tim. En något enklare säckningsutrustning används jämfört med för mellanskaliga system. Det är sällan lönsamt att producera bulkvaror i denna skala, men samtidigt är det oftast inte heller lönsamt att satsa på helautomatiska säckningsmaskiner. En tredjedel av årsproduktionen antas lagerhållas.

Även i denna skala finns en anläggning som använder rörflen som råvara, men till skillnad mot B1 används här enbart rörflen. För gårdar som odlar hampa och utvinner rapskaka från kallpressning av oljeväxter, kan mixar med hampa-rapskaka vara ett intressant alternativ. Rapskaka har ett relativt högt oljeinnehåll, vilket höjer värmevärdet hos pelletsen, samtidigt som den kan fungera som ett bindemedel. Halten rapskaka bör dock inte vara för hög, bl a beroende på stigande askhalter (figur 36). I ett tredje alternativ utgör hampa och avrens en tänkbar blandning, men om man inte har tillsatser i form anti-slaggningsmedel, kan en hel del förbränningsproblem förväntas. Vid höga avrenshalter, indikerar nästan samtliga nyckeltal att det kan bli problem, och dessutom blir askhalten hög (figur 36).



Figur 36. Askhalt och ett urval av asknyckeltal som funktion av andelen rapskaka i en mix med hampa (överst), och som funktion av andelen avrens i en råvarublandning bestående av avrens-hampa (underst) (analysdata är tagna från tabell 37).

Följande scenarier studeras i denna skala:

- C0. Referensscenario – kutterspån som råvara.
- C1. Rörflen som råvara.
- C2. Hampa och rapskaka som råvaror.
- C3. Hampa och avrens som råvaror.

### 13.4.2. C0. Referensscenario - kutterspån som råvara

I referensscenariot används enbart kutterspån (vh 15%) som råvara.

*Råvarukostnad.* Råvarubehovet är 860 ton/år och kostnaden blir då 0,6 milj kr/år.

*Kapitalkostnad.* Kapitalkostnaderna redovisas i tabell 45. Kostnaderna för byggnader uppskattades till 1,0 milj kr, för hammarkvarn till 0,3 milj kr, för en pelletspress till 0,9 milj kr inkl matarskrub m m (effektbehov 60 kW). Paketeringsutrustning inkl silo antas kosta ca 1,0 milj kr. Investeringskostnaden för övrig perifer utrustning och datautrustning uppskattades till 0,5 milj kr.

Tabell 45. Investeringsbehov, antagen ekonomisk livslängd, annuitetsfaktor med räntan 6% samt beräknad årskostnad för en pelletsanläggning med en produktionskapacitet på 800 ton/år

	Investering, kr	Livslängd, år	Annuitets- faktor	Årskostnad, kr/år
Byggnader, inkl kontor o mottagningslager	1 000 000	40	0,066	66 000
Hammarkvarnar, inkl kringutrustn	300 000	10	0,136	41 000
Pelletspressar, inkl installationer	900 000	10	0,136	122 000
Lagersilo, paketeringsutrustning, m m	1 000 000	15	0,103	103 000
Övrig utrustning	500 000	5	0,237	52 000
Totalt	3 700 000			384 000

*Underhållskostnad.* De årliga service- och underhållskostnaderna blir, med procentsatsen 7% av investeringskostnaden för malning och pressning (sänkt p g a lägre utnyttjandetid) och övriga procentsatser enligt uppgifter som angetts tidigare, drygt 0,1 milj kr/år.

*Energikostnad.* Maximalt effektbehov för malning och övrig utrustning antas vara 30 kW och för pelletspressningen 60 kW. Med en genomsnittsbelastning på 80% blir det totala elbehovet ca 115 MWh/år, och årskostnaden ca 0,08 milj kr (0,71 kr/kWh för elen).

*Personalkostnad.* Det antas att anläggningen drivs med en-skift, med en halvtidsinsats per skift fem dagar i veckan. Anläggningens drifttid är ca 1 600 timmar/år, och inkl semester (12%) och administrationskostnader (20%), blir den totala arbetstiden knappt 1 100 timmar per år och personalkostnaden drygt 0,2 milj kr/år.

*Övriga kostnader.* För försäkringar, skatter, m m, blir kostnaden 19 000 kr/år (0,5% av investeringskostnaden). Räntekostnaderna för lagrad pellets blir 15 000 kr/år (genomsnitt av en tredjedel av årsproduktionen med ett försäljningsvärde på 1 900 kr/ton).

*Totala kostnader.* De totala produktionskostnaderna redovisas i tabell 46. Produktionskostnaderna blir totalt ca 1,5 milj kr, eller 1,82 kr/kg. Om man antar att råvaran är en gratis biprodukt vid exempelvis ett snickeri, blir produktionskostnaden 42% lägre, eller 1,06 kr/kg. Om man dessutom antar att det enbart tillverkas briketter vid anläggningen (ingen kvarn, brikettpress 800 000 kr, 25 kW, halverat arbetsbehov) sjunker produktionskostnaden ytterligare till 0,74 kr/kg. Om däremot råvarukostnaden ingår, blir kostnaden för briketttillverkningen 1,51 kr/kg, eller ca 17% lägre jämfört med pellets.



Tabell 46. Produktionskostnader för en pelleteringsanläggning med torr kutterspån som råvara och med en årskapacitet på 800 ton/år

	Kostnad, kr/år
Råvara	612 000
Kapital	384 000
Service och underhåll	132 000
Energi	82 000
Personal	215 000
Övrigt	34 000
Summa	1 459 000
Kostnad, kr/kg	1,82

#### 13.4.3. C1. Rörflen som råvara

I detta scenario används enbart rundbalad rörflen som råvara (ev bindemedel tillkommer). Balbana, rivare m m för rundbalar kostar ca 400 000 kr (beräknat efter Jensen, pers medd, 2005) (avskrivningstid 10 år, underhåll 5%). I övrigt är utrustningen densamma som för scenario C0, förutom att en grovmalningskvarn (40 000 kr) tillkommer.

Produktionskostnaden för rundbalad rörflen är 793 kr/ton (vh 14%), (se kapitel 6.5). Odlingarna är relativt koncentrerade runt anläggningen ( $1/n=1$ ,  $\phi=0,05$ ,  $M=5,0$  ton ts/ha), och transportavståndet blir därför knappt 3 km (i praktiken blir det traktortransporter från två lager enl de förutsättningar som gäller i kapitel 6.5). Transportkostnaden blir, med ett ekipage som rymmer 40 balar (12 ton), 68 kr/ton (lastningstid 30 min, lossningstid 20 min).

Kostnaderna visas i tabell 47. Produktionskostnaden blir 2,11 kr/kg, vilket kan jämföras med 1,82 kr/kg för referensscenariot C0. Råvaran utgör den dominerande kostnadsposten (40%), följt av kapitalkostnaderna (26%). Transportkostnaderna utgör endast 3,4%. Det är tydligt att denna anläggning är för liten för att vara lönsam. Om den årliga produktionen fördubblas, med bibehållen utrustning och personalinsats, blir produktionskostnaden ca 1,60 kr/kg.

Tabell 47. Produktionskostnader för en pelleteringsanläggning med rörflen som råvara och med en årskapacitet på 800 ton/år

	Kostnad, kr/år
Råvara	671 000
Transporter	58 000
Kapital	444 000
Service och underhåll	154 000
Energi	109 000
Personal	215 000
Övrigt	36 000
Summa	1 687 000
Kostnad, kr/kg	2,11

#### 13.4.4. C2. Hampa och rapskaka

Produktionskostnaden för hampa i form av rundbalar är 1 320 kr/ton (vh 12%), medan rapskaka antas ha samma värde som rapsmjöl i scenario B2, d v s 1 500 kr/ton (vh 8%). Transportavståndet mellan mellanlager och pelletsanläggning är 3 km, medan rapskakan antas produceras vid pelletsanläggningen. Hampan transporteras med traktor till en kostnad av 68

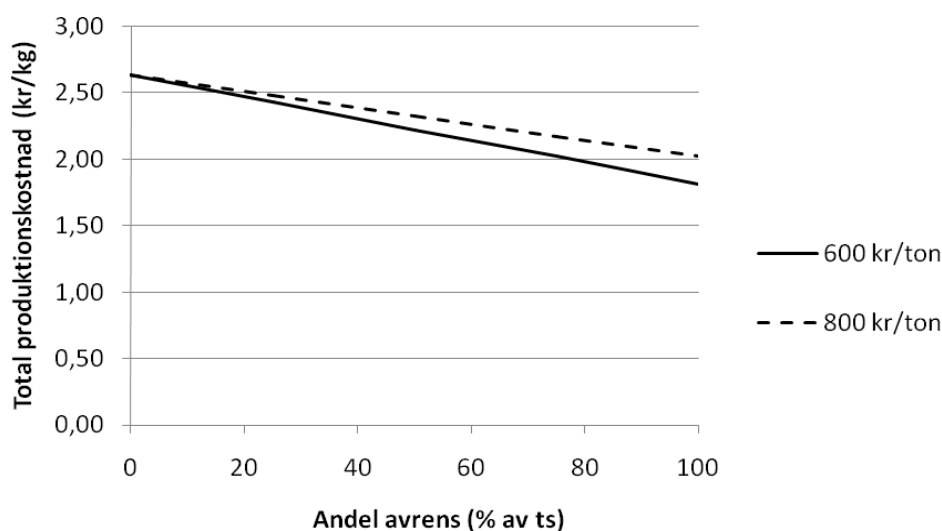
kr/ton. I övrigt är maskinell utrustning, energibehov, personalkostnader m m samma som för scenario C1.

Vid en inblandning av 0%, 10%, 20% och 100% rapskaka blir de totala produktionskostnaderna: 2,63; 2,64; 2,64; resp 2,68 kr/kg. Inblandningsgraden har alltså ingen större inverkan på produktionskostnaden, vilket också kunde förväntas då råvarukostnaderna är relativt lika. Däremot är kostnadsnivån alldeles för hög för att detta alternativ ska vara lönsamt. Råvarukostnaden svarar för 55% av de totala kostnaderna, och en fördubbling av årsproduktionen har därför en mindre påverkan på kostnaden jämfört med billigare råvaror. Vid en inblandningsgrad på 10% och en fördubblad årsproduktion, blir kostnaden 2,05 kr/kg eller 22% lägre.

#### 13.4.5. C3. Hampa och avrens som råvaror

Även i detta scenario hanteras hampan som rundbalar med en råvarukostnad på 1 320 kr/ton. Övriga förutsättningar är samma som för C2.

Avrens har låg bulkdensitet och det antas därför att pelleteringsanläggningen ligger i anslutning till produktionsplatsen. Eftersom det inte finns något etablerat marknadspris på avrens, förutsätts i beräkningarna att den har ett värde på 0,15 kr/kWh, vilket motsvarar 600 kr/ton. En känslighetsanalys görs också för priset 0,20 kr/kWh (800 kr/ton), som exempelvis motsvarar ett havrepris på ca 0,85 kr/kg. Av figur 37 framgår att produktionskostnaden sjunker ju högre andelen avrens är, vilket inte är oväntat då avrens är en billigare råvara än hampa.



Figur 37. Produktionskostnaden för pellets i en småskalig anläggning som funktion av andelen avrens i en råvarumix med hampa. Kurvorna gäller för olika råvarupriser på avrens.

#### 13.4.6. Sammanställning

En sammanställning av kostnaderna och energiåtgången för de småskaliga scenarierna visas i tabell 48. Det billigaste alternativet var C0, medan hampa blandad med rapskaka (C2) hade högst produktionskostnad. Energiåtgången var högst i de scenarier där hampa används, vilket beror på att odlingen är relativt energikrävande (se kapitel 7).

Tabell 48. Produktionskostnader och energiåtgång för en småskalig pelletsfabrik enl scenarierna C0-C4

	Kostnad, kr/kg pellets	Energi, MJ/kg pellets
C0. Kutterspån, spånpris 100 kr/m <sup>3</sup> s	1,82	1,15
spånpris 0 kr/m <sup>3</sup> s	1,06	
briketter, spånpris 100 kr/m <sup>3</sup> s	1,51	0,63
briketter, spånpris 0 kr/m <sup>3</sup> s	0,74	
C1. Rörflen som råvara	2,11	1,71
fördubblad årsproduktion	1,60	
C2. Hampa blandad med 10% rapskaka	2,64	2,00
fördubblad årsproduktion	2,05	
C3. Hampa blandad med 25% avrens, avrenspris 600 kr/ton	2,43	1,84
avrenspris 800 kr/ton	2,48	

### 13.5. Miniskaliga system inkl mobila anläggningar (D)

#### 13.5.1. Systembeskrivning och val av råvaror

Årsproduktionen i detta system är så låg (80 ton/år, eller 72,8 ton ts/år) att det antas att det inte lönar sig att ha flera olika beredningslinjer för pelletering/brikettering av olika blandningar. Endast torra råvaror är aktuella i denna skala. Fuktig flis från t ex skottskördad salix skulle också kunna vara aktuellt, eftersom det finns prototyper för småskalig torkning (se t ex Granö, 2007a), men kostnaderna bedömdes vara för osäkra och ligga på för hög nivå för att sådana system skulle vara intressanta.

De jordbruksråvaror som kan anses vara mest intressanta i denna skala är halm, rörflen och hampa. Endast fälthackat material är medtaget, eftersom det blir för kostsamt att ha en särskild linje med rivare, grovmalningskvarn, etc. Förädlingen sker på gårdsnivå, och de slutliga konsumenterna antas vara belägna i grannskapet. Den årliga driftstiden antas vara 800 timmar, vilket ger en kapacitet på 100 kg/tim. Dessutom antas att de färdiga pelleterna/briketterna hanteras med lastare för fyllning av storsäckar.

Mobila anläggningar kan vara intressanta i denna skala. Det finns i princip två olika typer av mobil utrustning: dels eldrivna och dels dieseldrivna. De förra kan göras mer kompakta och tystgående, men den stora nackdelen är att de kräver hög strömstyrka. De senare kan åka från gård till gård utan särskilda krav på hög säkringsnivå, men de blir å andra sidan dyrare.

Ur förbränningsynpunkt finns det risk för askrelaterade problem med dessa råvaror. En förutsättning för att nå acceptabla förbränningsförhållanden är därför att man använder råvaror av hög kvalitet, exempelvis att man använder grå halm från lämpliga spannmålsslag odlad på lämpliga jordar. Man kan också tillsätta olika anti-slaggningsmedel för att minska problemen.

Av det ovanstående drogs slutsatsen att följande scenarier är intressanta att studera:

- D0. Referensscenario – pelletering och brikettering av kutterspån.
- D1. Stationär pelletering av hackad halm, rörflen och hampa.
- D2. Stationär brikettering av hackad halm, rörflen och hampa.
- D3. Mobil pelletering av halm.

### 13.5.2. D0. Referensscenario - kutterspån som råvara

De olika kostnadsposterna för pellets respektive briketter fördelas enligt följande.

*Råvarukostnad.* En årsproduktion på 80 ton pellets respektive briketter innebär att det krävs 86 resp 83 ton kutterspån per år. Den totala råvarukostnaden blir 61 000 resp 59 000 kr per år.

*Kapitalkostnad.* Anläggningen är belägen i en lagerlokal på 50 m<sup>2</sup> med en antagen nybyggnadskostnad på 200 000 kr. En kvarn i denna storleksklass antas kosta ca 80 000 kr (EkoDiesel, 2008), en pelletspress ca 300 000 kr (figur 13) och diverse kringutrustning (elevatorer, lagringsficka, m m) ca 100 000 kr (Forsberg m fl, 2006). Enligt figur 15 kostar en hydraulisk kolvpress i denna storlek ca 250 000 kr. Den totala kapitalkostnaden för pellets resp briketter redovisas i tabell 49.

Tabell 49. Investeringsbehov, antagen ekonomisk livslängd, annuitetsfaktor med räntan 6% samt beräknad årskostnad för pellets- och brikettanläggningar med årskapaciteten 80 ton

	Invest pellets, kr	Invest briketter, kr	Livslängd, år	Annuitetsfaktor	Årskostn pellets, kr/år	Årskostn briketter, kr/år
Byggnader, inkl planlager	200 000	200 000	40	0,066	13 000	13 000
Hammarkvarn	80 000	-	10	0,136	11 000	-
Press, inkl installationer	300 000	250 000	10	0,136	41 000	34 000
Övrig utrustning, inkl doserare, elmotorer, etc	100 000	100 000	15	0,103	10 000	10 000
Totalt	680 000	550 000			75 000	57 000

*Underhållskostnad.* Kostnaden för underhåll antas vara 5% av investeringen för kvarn och pressar och 2% av investeringen för övrig utrustning. Detta ger totalt 25 000 kr och 18 000 kr för pellets respektive briketter.

*Energikostnad.* Det totala eleffektbehovet för en pelletsanläggning i denna storlek kan uppskattas till 40 kW, varav kvarnen svarar för ca 25%, pelletspressen för ca 50%, och återstående elmotorer för resten (Biopress, 2008). Om en utnyttjandegrad på 75% antas, blir elbehovet 24 MWh/år, och motsvarande kostnad 20 000 kr/år (med elkostnaden 82 öre/kWh). Elbehovet för en hydraulisk brikettpress i denna storleksordning är ca 8 kW (Bogma, 2008), och motsvarande årskostnad ca 8 000 kr om det antas att även kringutrustningen kräver ca 8 kW.

*Personalkostnad.* Det totala arbetsbehovet (inkl semester, administration, m m) för pelletsanläggningen uppskattades till 50% av driftstiden, d v s i detta fall 400 timmar (under dagtid). Detta betyder att totalkostnaden blir 76 000 kr/år. Enligt Forsberg m fl (2006) är arbetsbehovet för brikettering i denna skala ca 0,7 tim/ton. I arbetsbehovet ingår då hämtning av råvaran med lastare från närbeläget lager, påfyllning i matningsficka och hantering av storsäckar. Om man gör tillägg för administration, m m, med 0,5 tim/ton, blir de totala personalkostnaderna ca 18 000 kr/år.

*Övriga kostnader.* För att hantera råvaran och de färdiga pelleterna/briketterna i storsäckar behövs en lastare, vilken kostar 130 kr/tim exkl förare (uppskattat efter Forsberg m fl, 2006), eller ca 35 kr/ton. Storsäckar kostar ca 20 kr/ton (Forsberg m fl, 2006). Dessutom tillkommer kostnader för försäkringar m m. Den totala kostnaden blir runt 15 000 kr/år.

*Totala kostnader.* De totala kostnaderna redovisas i tabell 50. För pellets blir kostnaden 3,40 kr/kg och för briketter 2,19 kr/kg. Om man antar att råvaran är en gratis biprodukt, blir kostnaderna 2,64 kr/kg resp 1,45 kr/kg. Om man även använder en befintlig byggnad och har en säkring motsvarande ett årligt elbehov på 1 250 MWh, blir kostnaderna 2,34 kr/kg resp 1,25 kr/kg. Om man kan automatisera pelleteringsanläggningen så att arbetskostnaderna halveras sjunker pelleteringskostnaden ytterligare till ca 1,84 kr/kg (med bibehållna investeringskostnader).

*Tabell 50. Totala kostnader för produktion av pellets och briketter i en anläggning med en årskapacitet på 80 ton*

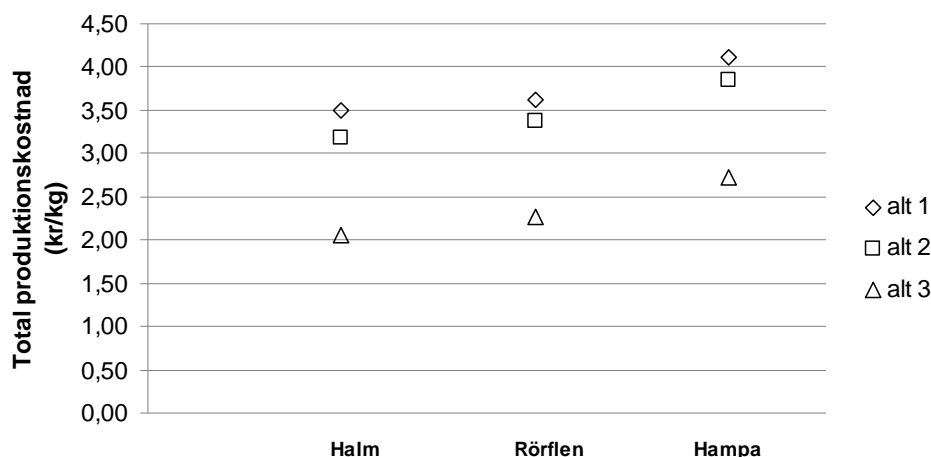
	Kostnad pellets (vh 9%), kr/år	Kostnad briketter (vh 11%), kr/år
Råvara	61 000	59 000
Kapital	75 000	57 000
Service och underhåll	25 000	18 000
Energi	20 000	8 000
Personal	76 000	18 000
Övrigt	15 000	15 000
Summa	272 000	175 000
Kostnad, kr/kg	3,40	2,19

### **13.5.3. D1. Stationär pelletering av hackad halm, rörflen och hampa**

I detta scenario används en stationär press för tillverkning av halm-, rörflens- eller hampapelllets. Enbart exakthackat material används, och pressen antas vara placerad i nära anslutning till lagret. Produktionskostnaden för hackad halm, hackad rörflen och hackad hampa är 827 kr/ton (vh 18%), 987 kr/ton (vh 14%) resp 1 497 kr/ton (vh 12%) (se tabellerna 15, 20 och 23).

Kostnaderna beräknas för tre alternativ: 1) samma förutsättningar när det gäller pressutrustning, kapacitet m m som i D0, 2) som alt 1 men halverade transport- och lagringskostnader, 3) som alt 2 men med fördubblad årsproduktion (arbetsinsatsen oförändrad men en dubbelt så stor press). Kostnaderna för transport och lagring utgör stora poster för hackat material. I en så liten skala som är aktuellt här, är det troligt att man har kortare transportavstånd mellan fältlager än vad som antagits i råvarukalkylerna, och att man även använder befintliga lagerlokaler (alt 2). Vidare är det en stor fördel om man bättre kan utnyttja kapitalet som är bundet i utrustningen, och samtidigt minska arbetsinsatsen per producerad enhet (alt 3).

Resultaten visas i figur 38. Trots att råvarukostnaden sjönk med 33%, 23% och 18% för halm, rörflen resp hampa i alt 2 jämfört med alt 1, hade detta en relativt liten inverkan på de totala produktionskostnaderna. En fördubblad årsproduktion medförde däremot en markant sänkning av kostnaden.

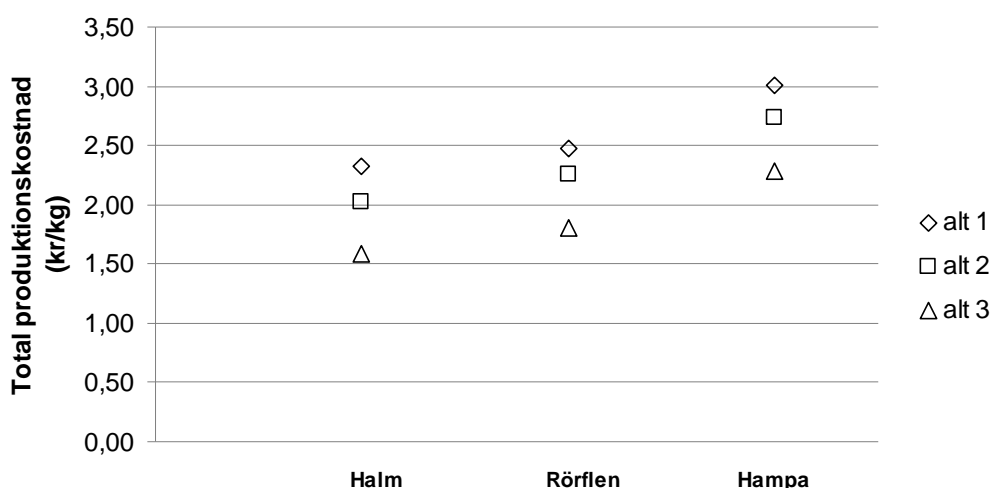


Figur 38. Produktionskostnader vid "miniskalig" tillverkning av pellets med halm, rörflen och hampa som råvaror. Alt 1 är ett basscenario, med halverade transport- och lagringskostnader för alt 2, och fördubblad årsproduktion för alt 3 (med bibehållen arbetsinsats).

#### 13.5.4. D2. Stationär brikettering av hackad halm, rörflen och hampa

I detta scenario är grundförutsättningarna samma som för D1, men med den skillnaden att råvarorna briketteras istället för pelleteras. Liksom i D1, finns här tre alternativ, där det första har de råvarukostnader för hackat material som finns i tabellerna 15, 20 och 23, där det andra har halverade lager- och transportkostnader, och där det tredje har fördubblad årsproduktion (dubbelt så stor press, investering 450 000 kr, elbehov 15 kW) men bibehållen arbetskostnad.

Generellt är kostnaderna 20-30% lägre vid brikettering jämfört med vid pelletering, se figur 39. Det lägre värdet i intervallet gäller för alt 3, medan det högre för alt 1, vilket bl a visar att personalkostnaderna relativt sett har mindre inverkan vid brikettering än pelletering. Skillnaderna mellan de olika råvarorna i figuren beror helt på skillnaderna i råvarukostnad. För brikettering är råvarukostnaden den helt dominerande, följt av kapitalkostnaderna. För att minska kostnaderna är därför den viktigaste faktorn att få fram billigare råvaror (ökad avkastning, rationellare hantering, m m), samt att öka de årliga driftstiderna.



Figur 39. Produktionskostnader vid "miniskalig" tillverkning av briketter med halm, rörflen och hampa som råvaror. Alt 1 är ett basscenario, med halverade transport- och lagringskostnader för alt 2, och fördubblad årsproduktion för alt 3 (med bibehållen arbetsinsats).

### 13.5.5. D3. Mobil pelletering av hackad halm

Istället för att ha ett stort antal mindre anläggningar, kan mobil utrustning vara ett alternativ för att sänka kostnaderna. Vid en rundringning uppger ett flertal tillverkare att deras småskaliga anläggningar kan betraktas som mobila, eftersom utrustningen innehåller ett relativt begränsat antal komponenter som är förhållandevis enkla att flytta. Några tillverkare har också sina anläggningar i containrar, som med sin mobilitet kan användas på olika platser, förutsatt att där t ex finns tillräckligt hög strömstyrka. Det tar från några timmar till några dagar att installera utrustningen på den nya platsen. De mobila anläggningarna kostar 400 000 – 700 000 kr (EkoDiesel, 2008; Alriksson, pers medd, 2008; Wallin M, pers medd, 2008). Personalkostnaderna blir högre med mobila anläggningar, bl a beroende på ökade arbetsinsatser vid nedmontering/flytt/uppmontering samt vid inkörning, men å andra sidan kan maskinernas utnyttjandetid under året öka.

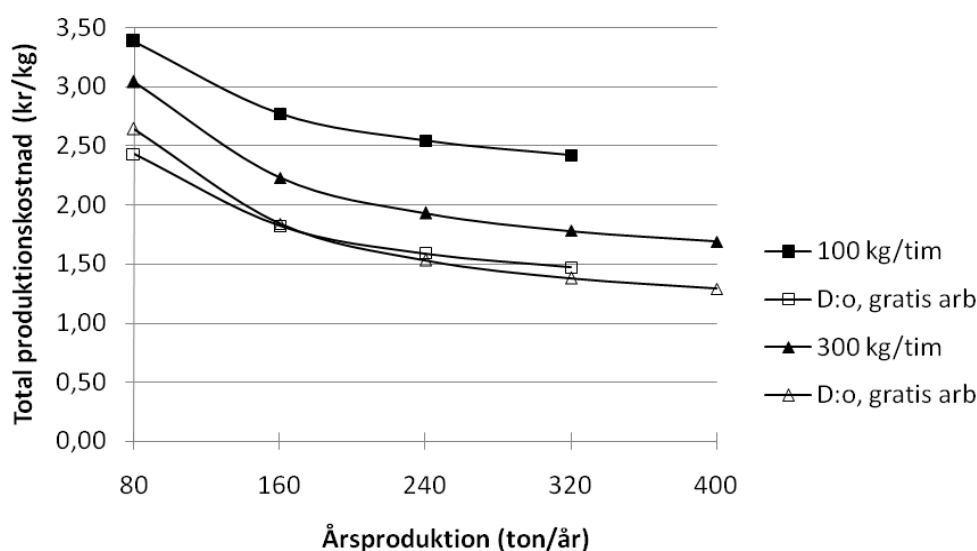
I detta scenario används hackad halm som råvara med ett pris på 553 kr/ton (alt 2 i D1 och D2 med halverade transport och lagringskostnader). Viktiga faktorer för god funktion är låg fukthalt (max 15%) och inte för stora fraktioner (max 3 mm, annars krävs kvarn) (Alriksson, pers medd, 2008). Kostnadsberäkningar görs för produktion av 80 ton pellets per plats. En förutsättning för att man ska kunna använda maskinerna vid varje plats är att där finns tillräckligt hög säkring. Förflyttning och installation på ny plats antas ha en trimmad organisation och ta två arbetsdagar (Biopress, 2008). För själva flytten används containerbil, som antas kosta 5 000 kr/flytt.

Två anläggningsstorlekar i containrar (s k "Factory in box") studeras (Biopress, 2008). Den första har en max kapacitet på 150 kg/tim och kostar runt 700 000 kr (inkl kvarn). Eleffektbehovet är ca 40 kW och det krävs en säkring på 63A. Den andra har en max kapacitet på 450 kg/tim, ett effektbehov på 70 kW, kräver en säkring på 100 A och kostar ca 900 000 kr. För respektive anläggning antas att den genomsnittliga driftkapaciteten är 100 kg/tim och 300 kg/tim. Den ekonomiska livslängden antas vara 10 år, och underhållskostnaderna 2% av investeringskostnaden per år plus 15 kr/driftstimme (uppskattat efter Biopress (2008) och Alriks-

son (pers medd, 2008)). Säckningsutrustning kan anslutas till containrarna, men här antas att en lastmaskin används för påfyllning och för storsäckshantering. Denna kostar 130 kr/tim exkl förare (uppskattat efter Forsberg m fl, 2006), eller ca 35 kr/ton.

Beräkningar görs för två olika sätt att värdera arbetsinsatsen. I det första alternativet antas arbetsbehovet för tillsyn, lastning, m m, utgöra 50% resp 62,5% av driftstiden (inkl administration) för resp anläggning. I det andra fallet tas ingen kostnad ut för arbetet med tillsyn och lastning.

Som väntat blir kostnaderna höga med en produktionsplats, och minskande efterhand som fler uppställningsplatser (med vardera produktionen 80 ton) besöks (se figur 40). För den större anläggningen kommer man ned till en kostnad på 1,69 kr/kg. Personalkostnaderna har stor betydelse för lönsamheten, och om man värderar den egna arbetsinsatsen för tillsyn, lastningsarbeten, m m, till noll kr/tim (arbetet för förflyttning, underhåll, m m betalas dock fullt ut), blir produktionskostnaden för den större pressen ca 1,29 kr/kg för fem olika uppställningsplatser. Observera dock att osäkerheterna i beräkningarna är stora, bl a beroende på svårigheterna att bedöma arbetsbehovet för förflyttning, inkörning, m m.



Figur 40. Produktionskostnader för två mobila anläggningar med en kapacitet på 100 resp 300 kg/tim (ett alternativ med "gratis" tillsyn och skötsel visas också).

Det finns även exempel på dieseldrivna mobila anläggningar. I Finland har man t ex byggt en mobil anläggning för tillverkning av bränslepellets (Granö, pers medd, 2008), se figur 9. En fördel med dieseldrift är att man inte är beroende av att det finns tillräckligt hög strömstyrka där maskinen arbetar. Maskinen används av några gårdar för produktion av egen bränslepellets med torkad träflis, sågspån och kutterspån som råvaror. Driftstiden är ca 200 timmar per år, kapaciteten ca 400 kg/timme, bränslebehovet ca 27 l/timme och två man behövs för driften (Granö, pers medd, 2008). Med ett råvarupris på 100 kr/m<sup>3</sup> (714 kr/ton) för kutterspån, en investeringskostnad på 110 000 kr (maskinen är delvis byggd av begagnade delar), diverse övriga driftskostnader på 10 000 kr/år och underhållskostnader på 10%, blir produktionskostnaderna 3,09 kr/kg. Om arbetsinsatsen värderas till 0 kr/tim, blir produktionskostnaden 1,74 kr/kg, och om råvaran dessutom anses vara en gratis restprodukt, blir kostnaden 0,76 kr/kg.



### 13.5.6. Sammanställning

En sammanställning av produktionskostnader och energiåtgång för miniskaliga system visas i tabell 51. Produktionskostnaderna ligger på en betydligt högre nivå jämfört med de andra produktionskostnaderna. För att komma ned till kostnadsnivåer som kan betraktas som "lönsamma", behöver man oftast värdera det egna arbetet till noll kr/tim.

Mobila anläggningar behöver vara igång så mycket som möjligt för att sänka kostnaderna. För samma antalet driftstimmar, blir dock de stationära anläggningarna billigare. För att utreda vid vilka situationer det skulle bli mer lönsamt att använda mobila system behövs en djupare analys av val av råvaror, hanteringsformer, transportavstånd, marknadspriser på pellets, m m.

Energiåtgången är generellt ganska hög i denna skala jämfört med de tidigare analyserade scenarierna. Detta kan bero på ett något sämre utnyttjande av anläggningen, men också på att osäkerheterna för bl a elbehovet är större i denna skala.

Tabell 51. Produktionskostnader för pellets och briketter i det miniskaliga systemet

	Pellets		Briketter	
	Kr/kg	MJ/kg	Kr/kg	MJ/kg
D0. Kutterspån som råvara	3,40	2,33	2,19	0,97
dito, men råvarupris 0 kr/m <sup>3</sup> s	2,60		1,40	
dito, och befintlig byggnad o högre säkring	2,30		1,20	
dito, och halverad arbetskostnad (för pellets)	1,80			
D1-D2. Stationär pelletering/brikettering, halm (alt 2)	3,18	2,50	2,03	1,13
dito, rörflen (alt 2)	3,38	2,95	2,25	1,59
dito, hampa (alt 2)	3,85	3,38	2,74	2,02
D3. Mobil pelletering av hackad halm, 100 kg/tim, 1 pl	3,38	2,50		
dito, men 4 platser o gratis tillsyn o skötsel	1,47			
mobil pelletering av hackad halm, 300 kg/tim, 1 pl	3,04	1,55		
dito, men 5 platser o gratis tillsyn o skötsel	1,29			
mobil pelletering av kutterspån, dieseldrift	3,09	2,5-3,5		
dito, gratis arbete	1,74			
dito, gratis råvara	0,76			

## 14. SAMMANFATTANDE DISKUSSION

### 14.1. Potential för jordbruksråvaror

Efterfrågan på pellets har ökat dramatiskt under senare år, och framöver kan en fortsatt kraftig expansion förväntas, bl a inom närvärmesektorn. Fördelarna med bibränslepellets är många och övertygande ur bl a klimat-, verkningsgrads- och bekvämlighetssynpunkt. Den stora efterfrågan har dock inneburit att det blivit brist på de traditionella råvarorna sågspån och kutter-spån. Alternativen är olika råvaror med skogligt (bark, grot, stamved, etc) och agrart ursprung (salix, halm, rörflen, hampa, avrens, rapsmjöl, drank, etc). Samtidigt har pellets blivit en internationell handelsvara, med stor produktion i bl a östländer och i Nordamerika, och stor konsumtion i bl a Västeuropa.

För närvarande är tillgången på pelletsråvaror från jordbruket mycket begränsad i Sverige. Odlingen av salix är t ex relativt liten (ca 15 000 ha), och användningen sker idag oftast oförädlat som bränsle i flisad form. Odlingen av rörflen uppgår till några hundra hektar, medan odlingen av hampa rör sig om knappt tusen ha. Rapsmjöl och drank är biprodukter vid framställning av bl a drivmedel, men höga råvarupriser har t ex lett till att flera planerade drivmedelsfabriker lagts i malpåse. De agrara pelletsråvaror som det f n finns störst och säkrast tillgång till är biprodukter från spannmålsodling, d v s halm och avrens.

Den framtida potentialen för jordbruksråvaror är dock betydande, men för att realisera den behövs satsningar och en fortsatt ökad efterfrågan och stigande pelletspriser. Idag finns en stor produktionskapacitet och ett stort kunnande när det gäller tillverkning av pellets/briketter från sågspån och kutterspån. Vid en framtida användning av nya råvaror från jordbruket är det nödvändigt att produktionen och teknikutvecklingen sker integrerat med dagens pelletsindustri.

### 14.2. Förbränningsrelaterade problem

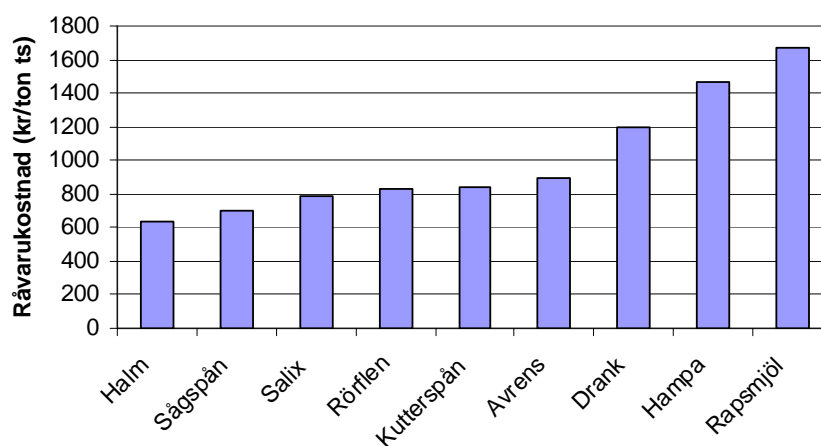
Generellt är jordbruksråvarorna besvärliga bränslen ur förbränningssynpunkt. Askhalterna är höga, och risken för sintring, beläggningar och korrosion är också höga. I vissa fall kan man även förvänta höga emissioner av kväve- och svaveloxider. Det är möjligt att man framöver kan undvika en del av problemen med olika typer av additiv, men ändå kvarstår problemen med t ex höga askhalter. Mer ingående studier behövs för att ta reda på hur olika råvaror/råvarumixar lämpar sig för eldning i olika typer av pannor, t ex i FB-, roster- och brännarpannor i olika storlekar. Önskvärt vore att de besvärliga bränslena eldas i storskaliga pannor, medan mer problemfri pellets används i närvärme- och villasektorerna.

I studien har olika askrelaterade nyckeltal använts för att uppskatta riskerna för bl a sintring, påslag och korrosion. Riskbedömning med hjälp av nyckeltal är en enkel och snabb metod, förutsatt att analysdata finns tillgängliga. Användning av nyckeltal i mer generella jämförelser kan dock bli missvisande eftersom talen beräknas från ett visst analysresultat eller från genomsnitts- eller medianvärden. Innehållet av olika asksubstanser för en viss råvara är ofta starkt beroende av jordart, gödsling, sort, m m, och nyckeltalen kan därför variera mer inom ett visst råvaruslag än mellan olika råvaruslag. Dessutom är det svårt att på ett enkelt sätt beskriva vad som sker rent kemiskt i askan under förbränning, eftersom ett stort antal kemiska ämnen är inblandade, och eftersom förbränningsförhållandena kan skilja starkt mellan olika typer av pannor. Vidare kan beräkningar för olika mixar ge felaktiga resultat, då det inte är

självlklart att förbränning av mixar ger askprodukter som är i proportion mot halterna i de ingående bränslenas askor (Lokare m fl, 2002; se Nikolaisen m fl, 2002). De nyckeltalsberäkningar som gjorts i denna studie ska därför ses mer som en indikation på vilka förbränningsproblem man skulle kunna få med de olika råvarorna.

### 14.3. Val av råvaror

Kostnaderna för de olika råvarorna beror av en mängd olika faktorer och det kan därför vara svårt att göra en ”rättvis” jämförelse. I figur 41 visas dock kostnaderna för de råvaror som tagits upp i denna studie, med Halm är den billigaste råvaran, medan rapsmjöl är den dyraste. Även hampa har hög produktionskostnad, men det bör finnas en ganska stor potential att sänka denna kostnad (Forsberg m fl, 2006).



Figur 41. Råvarukostnader för halm (3,0 ton ts/ha, stora fyrkantbalar), sågspån (100 kr/m<sup>3</sup>s), salix (direktskördad, kostnad motsvarande ett flispris på 160 kr/MWh), rörflen (5,0 ton ts/ha, stora fyrkantbalar), kutterspån (100 kr/m<sup>3</sup>s), avrens (800 kr/ton, vh 11%), drank (1 200 kr/ton ts), hampa (6,0 ton ts/ha, stora fyrkantbalar) samt rapsmjöl (1 500 kr/ton, 10% vh).

I råvarukostnaderna för salix, rörflen och hampa ingår inte kostnaderna för arrende av åkermark, och inte heller intäkter i form av gårdsstöd, energigrödestöd och stöd för anläggning av salix. I det specifika fallet kan dock båda dessa poster ha ett relativt stort inflytande på kalkylen. Grundbeloppet för gårdsstödet varierar från 2 550 kr/ha i bl a södra Skåne till 1 160 kr/ha i bl a norra Sverige. Energigrödestödet är 45 euro (ca 410 kr) per ha, medan stödet för plantering av energiskog är 5 000 kr/ha (dessa belopp är maxbelopp, den utbetalda ersättningen beror bl a på den totala energigrödeodlingen respektive anläggningskostnaden). Några skäl till att inte ta med arrendekostnader och stödintäkter i dessa kalkyler var att de varierar ganska kraftigt inom landet och att stödreglerna kan ändras snabbt över tiden.

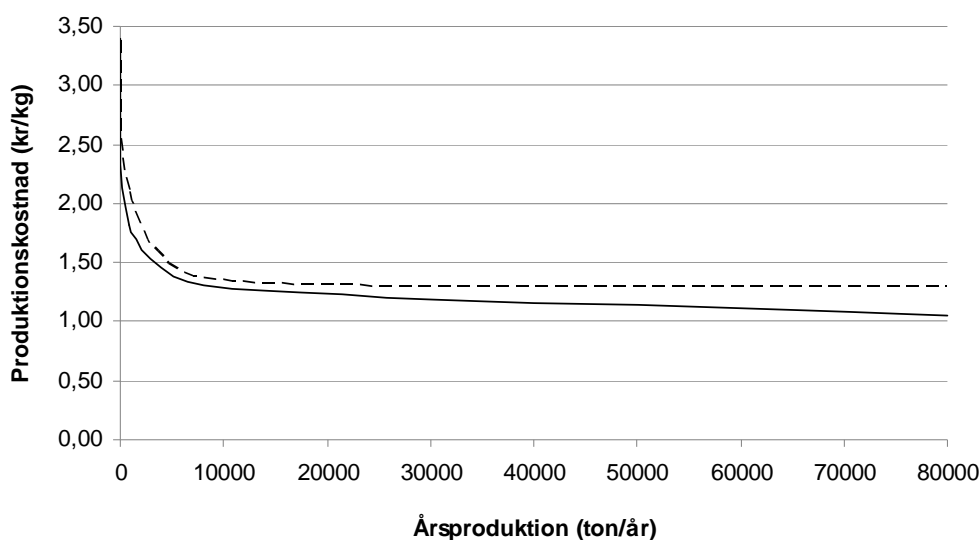
I kalkylerna har inte heller ökade kostnader för askhantering och underhåll, NO<sub>x</sub>-avgifter m m beaktats. För större användare kan särskilt ökade NO<sub>x</sub>-avgifter spela en avgörande roll när kväverika jordbruksråvaror används (Fredriksson m fl, 2004). Dessa aspekter är viktiga ur ett användarperspektiv när man jämför förädlade jordbruksråvaror med förädlade råvaror med skogligt ursprung.

De råvaror som är mest intressanta på kort sikt är salix och rörflen. De kan produceras till konkurrenskraftiga priser, bl a beroende på att de är perenna växter, och dessutom är deras

bränsleegenskaper acceptabla. Halm har visserligen lägst produktionskostnader, men risken för eldningsproblem är stor och råvaran bör i så fall användas i större pannor där man eventuellt skulle kunna hantera problemen med hög askhalt, risk för sintring, m m. Avrens är också en intressant råvara, men den bör endast utgöra en mindre andel i en råvarumix med t ex sågspån. Hampa har relativt goda bränsleegenskaper, men de höga produktionskostnaderna hindrar den från att bli en kommersiellt gångbar råvara. Drank och rapsmjöl har ett högt alternativvärde som foder, och de kommer därför knappast att få någon större betydelse som pelletsråvaror, åtminstone inte inom den närmaste framtiden. Rapskaka kan dock bli aktuell som bindemedel och energihöjare i mindre skala.

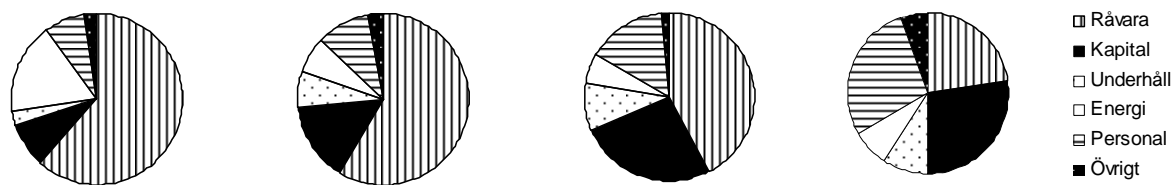
#### 14.4. Produktionsformer

Scenarioanalyserna visade att produktionsskalan har mycket stor betydelse för produktionskostnaderna. I figur 42 har exempelvis kostnaderna för varje skala ritats in för trä- och rörflensråvara. Med de förutsättningar som beskrivits för de olika scenarierna, ses att kostnaderna sjunker snabbt när årsproduktionen ökar. Observera dock att kurvan endast ritats med data från de fyra skalor och de scenarier med 100% träråvara resp rörflen som beskrivits ovan. I verkligheten kan det förekomma både ”trappstegseffekter”, t ex beroende på om man har torkning eller inte, och stora nivåförändringar hos kurvan beroende på råvarupriser m m.



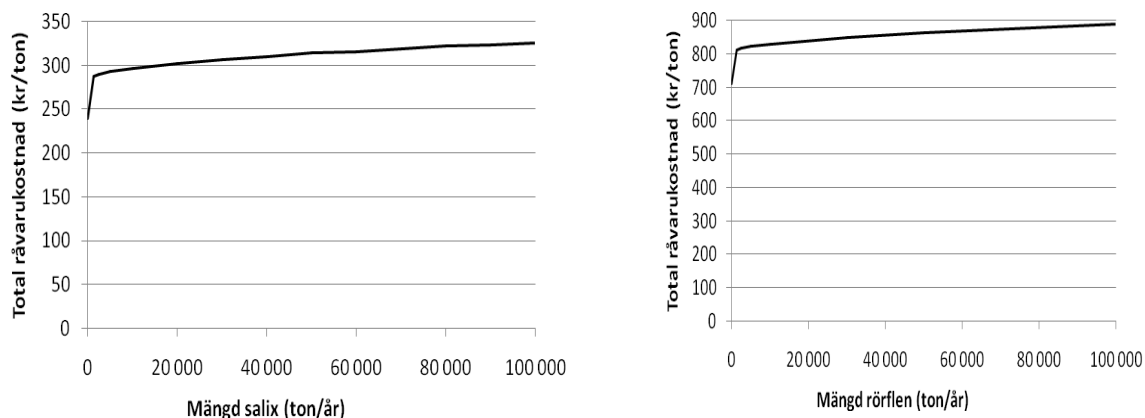
Figur 42. Produktionskostnaderna som funktion av total årsproduktion (heldragen kurva – träråvara, streckad kurva – rörflensråvara). Observera att kurvan endast baseras på de fyra produktionsskalorna enligt ovan.

I figur 43 visas fördelningen av kostnadsslagen för de olika produktionsskalorna (i detta fall för träråvara). I de storskaliga anläggningarna har priset på råvaran och energin en stor betydelse, medan personal- och kapitalkostnaderna inte utgör lika stora poster. I de mellanskaliga anläggningarna är råvarukostnaderna också dominerande, men även kapitalkostnaderna blir betydande. Energikostnaderna har en lägre andel, främst beroende på att här normalt inte finns någon tork. I de små- och miniskaliga anläggningarna får personal- och kapitalkostnaderna en dominerande betydelse.



Figur 43. Fördelning av kostnaderna vid stor-, mellan-, små- och miniskalig pelletstillverkning.

Jordbruksråvarorna är visserligen mycket skrymmande och dyra att transportera, men när man väl har lastat dem på ett transportfordon kan man köra dem ganska långt utan att kostnaderna rasar iväg. Man ska också komma ihåg att kostnaderna inte ökar i proportion till anläggningens storlek, förutsatt att grödorna odlas jämnt inom en radie runt anläggningen (jfr med Overends formel i kapitel 11). I figur 44 visas ett exempel på hur de totala råvarukostnaderna (produktionskostnader plus transportkostnader) varierar som funktion av anläggningens råvarubehov. Användning av jordbruksråvaror kan alltså löna sig även i stora anläggningar. Hur stor den optimala storleken är går inte att få fram från de scenarier som studerats här, utan kräver fördjupade analyser för det specifika fallet med dess givna förutsättningar när det gäller geografi, jordmån, odlingsklimat, etc.



Figur 44. Exempel på total råvarukostnad (produktionskostnad plus transportkostnad) som funktion av råvarubehovet för direktskördad salix med vh 52% (t v) och för vårskördad rörflen med vh 14%. Indata till beräkningarna har tagits från scenarierna A1 och A3.

I tillverkningskostnaderna har hänsyn inte tagits till att kapaciteten och energibehovet vid malning och pressning kan variera ganska stort för olika råvaror. Eriksson m fl (2007) observerade t ex att en inblandning av 20% rapsmjöl i kutterspån gav dubbelt så stor presskapacitet jämfört med när enbart kutterspån pelleterades. Å andra sidan observerade t ex Örberg m fl (2006) att kapaciteten vid pressning av rörflen var lägre jämfört med när sågspån pelleterades. Det finns en mängd liknande observationer för olika råvaror, där presskapaciteten och energibehovet varit både lägre och högre jämfört med sågspån/kutterspån. Dagens pressar är anpassade efter pressning av träråvaror, och därför krävs det ett visst utvecklingsarbete och omfattande testkörningar med olika typer av pressar och råvaror innan man kan få fram tillförlitliga uppgifter om både kapacitet och energibehov.

Intresset för småskalig pelletering/brikettering har ökat starkt under senare år inom jordbruket. I scenarioanalyserna visades att produktionskostnaderna normalt är för höga för att tillverkningen ska kunna ske på kommersiell basis. Om man har tillgång till billiga råvaror, om man kan öka pressens utnyttjandetid under året, om man har befintliga lokaler, om man har ett lågt värde på den egna arbetsinsatsen, och om man har tillgång till en ”egen” närmaknad, har dock även småskalig förädling möjligheter att bli lönsam. Om man funderar på att satsa på småskalig förädling, ska man dock komma ihåg att komplexiteten i produktionssystemet ofta är större än vad man tror, och att inkörningsperioden kan bli betydligt längre än vad man trodde från början. För att bli framgångsrik, krävs stort intresse, tålamod och god kännedom om både råvaror och produktionsteknik (detta gäller självklart även storskalig produktion, där yrkesskicklighet och lång erfarenhet är en förutsättning för lönsam produktion).

Enochsson och Zadig (2007) genomförde en intressant studie av fem snickerier/entreprenörer som nyligen har startat med småskalig pelletering av kutterspån. Deras råd till sådana som funderar på att börja med småskalig pelletering vidarebefordras här:

- Se till att ha långsiktig tillgång på råvaror med hög och jämn kvalitet.
- Säkra till en början avsättningen för en viss del av produktionen.
- Räkna med ett visst lager under icke eldningssäsong eftersom tillverkningen pågår året runt.
- Skaffa erfarenhet genom att träffa andra pelleterare med motsvarande verksamhet.
- Totalupphandla utrustningen och se till att det endast finns en replikpunkt hos leverantören.
- Kontrollera servicefunktionen och möjligheterna till serviceavtal.
- Man måste ha ett genuint intresse för såväl teknik som råvaror och inse att läran- det/inkörningsperioden kan ta mycket lång tid.
- Börja gärna med bulk/säckhantering och gå sedan ev över till småsäckar när tek- niken börjar fungera.
- Analysera den lokala marknaden och kolla t ex lämpliga distributionssystem.

## 14.5. Energiåtgång

Energiåtgången för att producera de olika råvarorna beror bl a på om de betraktas som biprodukter, och om man i så fall allokering energiåtgången till huvudprodukterna. I denna studie ansågs avrens, rapsrester och drank vara ”gratis” biprodukter där endast energiåtgången för transporter till pelletsanläggningen togs med. Även halm betraktades som en gratis biprodukt, men energiåtgången blev större (211 MJ/ton ts; tabell 16) beroende på att dess hantering är mer komplicerad med strängläggning, pressning, ihopsamling av balar, transport, m m.

För de odlade energigrödorna salix, rörflen och hampa ingick även odlingsmomenten i energi- beräkningarna. Energiförbehovet fram till mellanlager var lägst för salix (549 MJ/ton ts; direkt- skördad, se tabell 8). För vårskördad rörflen och hampa hanterad i form av stora fyrkantbalar, var energiförbehoven 672 resp 1 105 MJ/ton ts (se tabell 21 resp 24).

Energiåtgången för en anläggning varierar starkt beroende på i vilken skala tillverkningen sker, om man har en torkanläggning eller inte, om det är pellets eller briketter som produce- ras, etc. I tabell 52 visas energiåtgången för pelletstillverkning i de fyra basscenarier som re- dovisats ovan.

*Tabell 52. Energiåtgång för de fyra basscenarierna*

	Årsproduktion, ton/år	Totalt elbehov, MWh/år	Specifikt elbehov, MWh/ton	Totalt värmebehov, MWh/år	Specifikt värmebehov, MWh/ton
Storskalig med torkning	80 000	8 500	0,106	62 700	0,78
Mellanskalig	8 000	1 080	0,135	-	-
Småskalig	800	115	0,144	-	-
Miniskalig	80	24	0,300	-	-

Energiåtgången för hela produktionskedjan blev generellt inte högre när jordbruksprodukter används som råvaror jämfört med när fuktig sågspån används. Energiåtgången för att producera och transportera de torra jordbruksråvarorna är oftast lägre än energiåtgången för att torka den fuktiga sågspånen. Undantagen är direktskördad salix och drank, där den förra har ett större energibehov för odling, transport och torkning, medan den senare kräver mycket energi för dess torkning.

## 15. SLUTSATSER

De fem viktigaste slutsatserna från denna studie är:

- De mest intressanta jordbruksråvarorna för storskalig produktion av pellets är salix och rörflen. De har konkurrenskraftiga priser och acceptabla bränsleegenskaper och bör med fördel kunna blandas med sågspån i befintliga storskaliga pelletsfabriker i landet.
- Halm har låg produktionskostnad men kan ge allvarliga ask-relaterade problem. Hampa har för höga produktionskostnader för att vara kommersiellt intressant, medan drank och rapsmjöl för närvarande har ett betydligt högre alternativvärde som proteinfoder. Avrens kan vara en lämplig råvara, förutsatt att den endast utgör en mindre andel i en mix med andra mer problemfria råvaror.
- Produktionsskalan har stor betydelse för produktionskostnaderna. I de storskaliga anläggningarna utnyttjas bl a den maskinella utrustningen mycket mer effektivt än i mindre anläggningar, vilket innebär att kostnaderna sjunker.
- Småskalig pelletering, både stationär och mobil, förutsätter billiga råvaror och ett högt utnyttjande för att vara lönsam. I de flesta fall är det mer kommersiellt gångbart att brikettera istället.
- Energiåtgången för att tillverka pellets från torra jordbruksprodukter är generellt inte högre än när fuktig sågspån används som råvara. Visserligen krävs mer energi för odling och transporter, men utebliven torkning gör att den totala energiåtgången ofta blir lägre. Blöta råvaror som direktskördad salix och drank kan däremot ge högre energiåtgång.



## REFERENSER

### Tryckta referenser

- Andersson D. 2008. *Utveckling och produktion av agropellets*. Föredrag vid ”Pellets 08”, 29-30 jan 2008, Sundsvall.
- Andersson K.G., Eliasson S-E. 1985. *Tillverkning, lagring, distribution och eldning av halm-pellets*. Projektrapporter EO-85/7. Statens Energiverk, Stockholm.
- Andersson C., Lundin G., Andersson F. 2004. *Rensning på gårdsnivå kan öka spannmålets värde*. Skrift producerad vid JTI (Institutet för jordbruks- och miljöteknik) på uppdrag av Skogs- och Lantarbetsgivareförbundet (SLA). [www.sla-arbetsgivarna.org/Litium/Dokument20/GetDocument.asp?archive=1&directory=580&document=2589](http://www.sla-arbetsgivarna.org/Litium/Dokument20/GetDocument.asp?archive=1&directory=580&document=2589).
- Andreasen P. 1994. *Halm- og træpillers anvendelighed som brændsel i mindre fyringsanlæg*. Energiteknologi, Dansk Teknologisk Institut, Århus, Danmark.
- ATL. 2007a. *Supergräs ger rekordavkastning*. ATL – Lantbrukets Affärstidning fredagen den 31 aug 2007.
- ATL. 2007b. *Skånegods provodlar 30 hektar*. ATL – Lantbrukets Affärstidning fredagen den 31 aug 2007.
- Belab. 2002. *Analyscertifikat. Certificate of analysis. Analys nr. 21040*. Rapportdatum: 2002-09-02. Utfärdare: Leif Andersson. Uppdragsgivare: Agroetanol Sverige AB. Bränsle och Energilaboratoriet BELAB AB, Åby, Norrköping. 3 s.
- Berggren J. 1999. *Biobränsletransporter med lastbil och traktor -- simulering och analys av bränsleförbrukning och emissioner*. Biofuel transport with truck and tractor -- simulation and analysis of fuel consumption and emissions. Inst medd 99:07, Inst f lantbruksteknik, SLU, Uppsala. 50 s. ISSN 1101-0843.
- Bernesson S. 1993. *Studie av rapspressning och körning med en traktor med elsbettmotor på Sjösa Gård*. Extraction of rape seed oil and farm operation of an Elsbett engine tractor. Inst medd 93:03, Inst f lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 208 s. ISSN 1101-0843.
- Bernesson S. 2004. *Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – a comparison between large- and small-scale production*. Miljö, teknik och lantbruk, Rapport 2004:01, Inst f biometri och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 273 s. ISSN 1652 3237.
- Bernesson S. 2006. *Hampa till bränsle, fiber och olja - en liten handbok*. Sveriges Energiförningars Riksorganisation (SERO). Köping. 49 s. ISBN 91-631-9915-7.
- Bernesson S. 2007. *Användningsområden för biprodukterna vid pressning och omförestring av rapsolja*. Rapport – miljö, teknik och lantbruk 2007:04, Inst f biometri och teknik, SLU, Uppsala. 101 s. ISSN 1652-3237.
- Bernesson S. 2008. *Användningsområden för drank*. Manus i tidigt stadium, Inst f energi och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Bernesson S., Nilsson D. 2005. *Halm som energikälla. Översikt av existerande kunskap*. Rapport - miljö, teknik och lantbruk 2005:07. Institutionen för biometri och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. ISSN 1652-3237.
- Bingefors S., Gesslein S., Granström B., Hansson K-A., Högborg E., Johansson D., Kroeker G., Landenmark O., Larsson R., Mattson R., Nilsson J-E., Persson N-E., Svensson B., Åberg E. 1978. *Växtodlingslära Del 2 - Växterna*. 11:e upplagan. LTs förlag, Stockholm. 440 s. ISBN 91-36-00703-X.
- Bioenergy Research. 2004. Straw and wood pellets have become fashionable. *Bioenergy Research*, no 3, August 2004, p 4-6. Risskov, Danmark.
- Blackbeard J. 1990. Wafering could extend use of straw. *Arable Farming* 17(2), 38.

- Bócsa I., Karus M. 1998. *The cultivation of hemp - botany, varieties, cultivation and harvesting*. Hemptech, Sebastopol, California, USA. 192 s. ISBN 3-7880-7568-6.
- Bondesson J., Kraft M., Larsson B. 1993. *Lantbruket som energileverantör. Energigräs för pellets- och brikettframställning*. Länsstyrelsens rapport 1993:5. Länsstyrelsen Värmland. Karlstad.
- Brundin S. 1988. *Fastbränslen från jordbruket. Kostnadsberäkningar för halm- och gräsbränslesystem*. Rapport 2. Institutionen för ekonomi, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Burvall J. 1997a. Influence of harvest time and soil type on fuel quality in reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.). *Biomass and Bioenergy*, 12, 149-154.
- Burvall J. 1997b. *Rörflen som bränsleråvara*. Fakta Teknik nr 1. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Burvall J., Örberg H. 1994. *Brikettering av rörflen – teknik och ekonomi*. Fuel briquettes from reed canary grass. Technical and economical aspects. Röbbäcksdalen meddelar nr 10:1994. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- Börjesson P. 2006. *Livscykelanalys av Salixproduktion*. Rapport nr 60 Maj 2006, Avdelningen för miljö- och energisystem, Inst f teknik och samhälle, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund. 24 s. ISSN 1102-3651. ISRN LUTFD2/TFEM--06/3051--SE + (1-21). ISBN 91-88360-83-0.
- Clauss B. 2006. *Beitrag zur Kompaktierung von unzerkleinertem Halmgut für die energetische Nutzung*. Dissertation. Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik der Technischen Universität Chemnitz. Chemnitz, Tyskland.
- Cronholm L-Å., Dejfors C., Wiklund S-E. 1999. *Bindemedel i pellets. Påverkan på kvarnar och beläggning i eldstäder*. Rapport nr 659. Värmeforsk, Stockholm. ISSN 0282-3772.
- Dahl J. 2007. *Pellets i Danmark*. Föredrag vid konferensen ”Pellets 07” den 30-31 januari 2007, Örebro.
- Danfors B., Ledin S., Rosenqvist H. 1997. *Energiskogsodling.Handledning för odlare*. JTI informerar. Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI), Uppsala.
- Danfors B., Nordén B. 1995. *Sammanfattande utvärdering av teknik och logistik vid salixskörd. Slutrapport över analys av hanterings- och transportsystem vid skörd av Salix*. JTI-rapport 210. Jordbrukstekniska institutet, Ultuna-Uppsala. 136 s. ISSN 0346-7597.
- Davidsson M. 2007. Föredrag vid konferensen ”Pellets 07” den 30-31 januari 2007, Örebro.
- Demirbas A. 1999. Physical properties of briquettes from waste paper and wheat straw mixtures. *Energy Conversion & Management*, 40, 437-445.
- Elwinger K. 2005. *Fodermedel och foder till värphöns och kycklingar*. Rapport, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 25 s.
- Energimyndigheten. 2003. *Den svenska spånmarknaden i ett internationellt perspektiv*. Rapport från Statens Energimyndighet, Eskilstuna.
- Energimyndigheten. 2007a. *Uppvärmning i Sverige 2007*. En rapport från Energimarknadsinspektionen, EMIR 2007:03. Statens Energimyndighet, Eskilstuna. 108 s. ISSN 1653-8056.
- Energimyndigheten. 2007b. *Prisblad för biobränslen, torv m.m.* Nr 4 / 2007. Statens energimyndighet, Eskilstuna. 2 s.
- Energimyndigheten. 2008. *Prisblad för biobränslen, torv m.m.* Nr 1 / 2008. Statens energimyndighet, Eskilstuna. 2 s.
- Enochsson A., Zadig L. 2007. *Pelletering som marginalaffär för mindre sågverk/hyvlrier. En studie av 5 anläggningar i Småland*. Examensarbete TD 013/20072. Institutionen för teknik och design, Växjö Universitet.
- Ericson S. 2005. *Askans inverkan på beläggningstendensen i ett biobränsleeldat kraftvärmeverk och växtplatsens påverkan på askegenskaperna*. Examensarbete. Avdelningen för hydroteknik, Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala.

- Eriksson G., Hedman H., Öhman M., Boström D., Pettersson E., Pommer L., Lindström E., Backman R., Öhman R. 2007. *Förbränningskaraktisering av rapsmjöl och förslag till optimalt utnyttjande i olika förbränningsanläggningar*. Rapport A06-617, Värmeforsk, Stockholm.
- Finell M., Xiong S., Olsson R. 2006. *Multifunktionell industrihampa för norra Sverige*. BTK-rapport 2006:13. Enheten för Biomassateknologi och Kemi, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.
- Forsberg M., Baky A., Westlin H., Ljungberg D., Ytterberg P. 2007. *Jordbruket som leverantör av åkerbränsle till storskaliga värmeverk –fallstudie Värtan*. JTI-rapport Lantbruk och industri 361. Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI), Uppsala.
- Forsberg M., Sundberg M., Westlin H. 2006. *Småskalig brikettering av hampa. Förstudie*. JTI-rapport Lantbruk & Industri 351, JTI-Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. 31 s. ISSN 1401-4963.
- Fredriksson C., Padban N., Zintl F. 2004. *Breddning av bränslebasen för pellets och pulverbrännare*. Forskning och utveckling TPS 2004:14. Svensk fjärrvärme AB, Stockholm.
- Granqvist K. 1997. *Pellets och briketter – från råvara till el och värme*. UB 97:2Ö. Vattenfall Utveckling AB, Stockholm.
- Granö U-P. 2007a. *Småskalig eftertorkning av flis inför pelletering*. Bioenergi från skogen 2003-2007. INFO från projektet 110. Jyväskylä Universitet. Chydenius-Institutet. Karleby universitetscenter. 4 s.
- Granö U-P. 2007b. *Utrustning för småskalig pelletproduktion*. Bioenergi från skogen 2003-2007. INFO från projektet 116. Jyväskylä Universitet. Chydenius-Institutet. Karleby universitetscenter. 4 s.
- Gustafsson J., Larsson S., Nordh N-E. 2007. *Manual för Salixodlare*. Lantmännen Agroenergi AB/Salix, Örebro. 18 s.
- Gylling M. 1983. *Brikettering af halm til brændselsformål*. Meddelelse nr 42. Den kgl. veterinær- og landbohøjskole, Jordbrugsteknisk Institut. Tåstrup, Danmark. 82 s.
- Hadders G. 1994. *Förändringar under skördeperioden av bränsleegenskaperna hos halm*. JTI-rapport nr 186. Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. ISSN 0346-7597.
- Hadders G., Flodén S. 1997. *Spridning av aska från stråbränslen på åkermark. Förutsättningar och rekommendationer*. JTI-rapport Lantbruk & Industri 234. Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. ISSN 1401-4963.
- Hadders G., Nilsson D. 1993. *Storskalig hantering av stråbränslen från jordbruket. Lägesbeskrivning och förslag till utvecklingsinsatser*. JTI-rapport 160. Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Hansson I. 2005. *Skördemetoder av hampa*. Examensarbete inom Lantmästarprogrammet 2005:24. Institutionen för Jordbrukets Biosystem och Teknologi, SLU. Alnarp. 22 s.
- Hedman B., Burvall J., Nilsson C., Marklund S. 2005. Emissions from small-scale energy production using co-combustion of biofuel and the dry fraction of household waste. *Waste Management*, 25(3), 311-321.
- Hiendlmeier S. 2006. *Der Brennstoff Strohpellets*. Infoschreiben Strohpellets\_01.doc, 12/06, C.A.R.M.E.N., Straubing, Tyskland. 7 s. [www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/publikationen/Info\\_Strohpellets.pdf](http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/publikationen/Info_Strohpellets.pdf).
- Hirsmark J. 2002. *Densified biomass fuels in Sweden: Country report for the EU/INDEBIF project*. Examensarbeten nr 38. Institutionen för skogshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Honeyman M., Bregendahl K., Kerr B., Thompson S. 2007. *Biodiesel byproduct effective in swine and poultry feed*. Communication Service, News Releases, April 11, 2007, College of Agriculture, Iowa State University, Ames, Iowa, USA. 1 s. ([www.ag.iastate.edu/aginfo/news\\_detail.php?var1=313](http://www.ag.iastate.edu/aginfo/news_detail.php?var1=313)).

- IE. 2006. *Sustainable strategies for biomass use in the European context*. Institut für Energetik und Umwelt (IE), Leipzig, Tyskland.
- Jenkins B.M., Bakker R.R., Wei J.B. 1996. On the properties of washed straw. *Biomass and Bioenergy*, 10(4), 177-200.
- Jenkins B.M., Baxter L.L., Miles Jr T.R., Miles T.R. 1998. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, 54, 17-46.
- Jenssen T.K., Kongshaug G. 2003. *Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertiliser production*. Proceedings No. 509, Paper presented to The International Fertiliser Society at a Meeting in London, on 3<sup>rd</sup> April 2003. The International Fertiliser Society, York, United Kingdom. 28 s. ISBN 0 85310 145 0. ISSN 1466-1314.
- Jiping L., Xi-long C., Yi-qiang W., Ye-hui T., Yong-lin Y. 2006. Breakthrough of China's wood-pellet fuel market. In: Pellets 2006. *Proceedings 2<sup>nd</sup> World Conference on Pellets 30 May-1 June 2006*, Jönköping, Sweden.
- Johansson K. 2007. *Råvarubas för pelletsproduktion*. Föredrag vid konferensen Pellets-07, 30-31 januari 2007, Örebro.
- Jonsson H. 1985. *Pelletering av biobränsle. En nulägesrapport*. Rapport 103. Institutionen för lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Jordbruksaktuellt. 2007. *Pellets på avrens*. Jordbruksaktuellt nr 7/2007. <http://www.ja.se/nyheter/visaNyhet.asp?NyhetID=8096&highlight=>. Nyhet från Jordbruksaktuellt, 2007-05-01. Jordbruksaktuellt Sverige AB, Örebro.
- Jordbruksverket. 2006. *Hampa i ekologisk odling. Råd i praktiken*. Jordbruksinformation 5-2006. Jordbruksverket. Jönköping. ISSN 1102-8025. 4 s.
- Kaltschmitt M., Reinhardt G.A. 1997. *Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, Ökologische Bilanzierung*. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig/Wiesbaden, Germany. 548 s. ISBN 3-528-06778-0.
- Land Lantbruk. 2007. De är först i Sverige med att tillverka pellets hemma. *Land Lantbruk* nr 27, s 8.
- Larsson S. 2004. *Gallringsvirke som pelletsråvara – förädling, förbränning och marknad*. BTK-rapport 2004:9. Enheten för Biomassateknologi och Kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- Larsson S-E. 2002. *Ökad lönsamhet med oljelin*. Svensk Frötidning nr 1 Februari 2002, s. 18-19. [www.svenskraps.se/kunskap/pdf/00184.pdf](http://www.svenskraps.se/kunskap/pdf/00184.pdf).
- Larsson S., Örberg H., Kalén G., Thyrel M. 2006. *Rörflen som energigröda. Erfarenheter från fullskaleförsök vid Biobränsletekniskt Centrum (BTC) i Umeå under åren 2000-2004*. BTK-rapport 2006:11, Enheten för biomassateknologi och kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå. 42 s. ISSN 1650-5115.
- Lokare S., Moulton D., Junker H., Tree D., Baxter L. 2002. *Effects of fuel ash composition on corrosion*. MS081, Presented at 2002 Spring meeting of Western States Section of The Combustion Institute, held at University of California at San Diego, La Jolla, California, March 25-26 2002. 16 s.
- Länsstyrelsen Västra Götaland. 2007. *Gödselmedel i Västra Götalands län som kan användas för ekologisk odling*. Rapport 2007:03. Länsstyrelsen i Västra Götalands län.
- Löfgren B-E. 2007. *Småskaligt bioenergikombinat: Ny råvara ger el, värme och pellets i lantbruket*. Bioenergi, nr 3, s 40-41.
- Lönner G., Danielsson B-O., Vikinge B., Parikka M., Hektor B., Nilsson P-O. 1998. *Kostnader och tillgänglighet för trädbränslen på medellång sikt*. Rapport nr 51. Institutionen för Skog-Industri-Marknad-Studier (SIMS), SLU, Uppsala.
- Mani S., Tabil L.G., Sokhansanj S. 2006. Effect of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*, 30, 648-654.

- Martinsson L. 2003. *Råvaror för framtida tillverkning av bränslepellets i Sverige. En kartläggning av tänkbara alternativa råvaror på kort och medellång sikt*. Rapport 813. Värmeforsk, Stockholm. ISSN 0282-3772.
- Martinsson L., Österberg S. 2004. *Pelletering med skogsbränsle och salix som råvara. En undersökning av pelleterbarheten*. Rapport 876. Värmeforsk, Stockholm. ISSN 0282-3772.
- Maskinkalkylgruppen. 2007. *Maskinkostnader 2007. Underlag och kalkylexempel på timkostnader för lantbruksmaskiner*. LRF Konsult, Linköping; Hushållningssällskapet Malmöhus, Borgeby. 30 s.
- Matthies H.J., Wesche H. 1992. *Characteristics of the compact-roller-baler*. Proceedings International Conference on Agricultural Engineering, Uppsala, June 1-4.
- McElroy G.H., Dawson W.M. 1986. Biomass from short-rotation coppice willow on marginal land. *Biomass*, 10(3), 225-240.
- Nielsen W. 2003. *Teknik til halmbjærgning siden 1950*. DJF-rapport Markbrug nr 95. Afdeling for Jordbrugsteknik, Danmarks JordbrugsForskning (DJF), Horsens. 27 s.
- Nikolaisen L. (red), Busk J., Hjuler K., Arendt Jensen P., Kvist Jensen T., Bloch L. 2005. *CO2-neutrale brændslers anvendelighed i kraftværkskedler*. PSO-projekt nr 5075. Teknologisk Institut, Århus, Danmark.
- Nikolaisen L. (red), Nielsen C., Larsen M.G., Nielsen V., Zielke U., Kristensen J.K., Holm-Christensen B. 1998. *Straw for energy production*. Technology - Environment - Economy. The Centre for Biomass Technology, Köpenhamn, Danmark. ISBN 87-90074-20-3.
- Nikolaisen L. (red), Nørgaard Jensen T., Hjuler K., Busk J., Junker H., Sander B., Baxter L., Bloch L. 2002. *Quality characteristics of biofuel pellets*. Danish Technological Institute. Aarhus, Danmark.
- Nilles D. 2006. *Combating the glycerin glut*. Biodiesel Magazine, September 2006. BBI International, Grand Forks, North Dakota, USA. ([www.biodieselmagazine.com](http://www.biodieselmagazine.com)).
- Nilsson C., Ekström N. 1982. *Halm som bränsle. Bakgrund och systemlösningar*. Specialmeddelande 114. Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Sveriges lantbruksuniversitet. Lund.
- Nilsson C., Westgren L. 1986. *Mobil halmbriketteringsanläggning*. EO-86/11. Projektrapporter. Statens Energiverk, Stockholm.
- Nilsson D. 1995. Transportation work and energy requirements for haulage of straw fuels. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 25, 137-141.
- Nilsson D. 1999. *Analysis and simulation of systems for delivery of fuel straw to district heating plants*. Dissertation. Agraria 205. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Nilsson D. 2007. *Biobränslen i Blekinge – undersökning av jord- och skogsbrukets produktionsmöjligheter*. Rapport: 2007:17, Länsstyrelsen Blekinge län, Karlskrona. 68 s. ISSN 1651-8527.
- Nilsson C., Burvall J., Öhrberg H., Kalén G. 2001. *Utvärdering av skruvpress för småskalig brikettering av rörflen*. BTK-rapport 2001:2. Enheten för biomassteknologi och kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- Näslund M. 2003. *Teknik och råvaror för ökad produktion av bränslepellets*. Energidalen, Sollefteå. Rapporten kan laddas ned från: [svebio.agriprim.com/attachments/33/96.pdf](http://svebio.agriprim.com/attachments/33/96.pdf)
- Obernberger I., Thek G. 2004. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and Bioenergy*, 27, 653-669.
- O'Dogherty M.J. 1989. A review of the mechanical behaviour of straw when compressed to high densities. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 44, 241-265.

- Olsson R. 1997. *Rörflen som omställningsgröda – marknad och ekonomi*. Fakta ekonomi nr 9, SLU, Uppsala.
- Olsson R., Marklund S., Nilsson C., Burvall J., Hedman B. 2001a. *Sameldning av biobränslen med källsorterade avfallsfraktioner*. BTK-rapport 2001:1. Enheten för biomassateknologi och kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- Olsson R., Rosenqvist H., Vinterbäck J., Burvall J., Finell M. 2001b. *Rörflen som energi- och fiberråvara. En system- och ekonomistudie*. BTK-rapport 2001:4. Enheten för biomassateknologi och kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- Olsson M. 2006. Wheat straw and peat for fuel pellets - organic compounds from combustion. *Biomass and Bioenergy*, 30, 555-564.
- Osvald H. 1959. *Åkerns nyttoväxter*. AB Svensk litteratur, Esselte Aktiebolag. Stockholm. 596 s.
- Overend R.P. 1982. The average haul distance and transportation work factors for biomass delivered to a central plant. Short Communication, *Biomass*, 2, s. 75-79.
- Pahkala K., Partala A., Suokannas A., Klemola E., Kalliomäki T., Kirkkari A-M., Sahramaa M., Isolahti M., Lindh T., Flyktman M. 2003. *Odling och skörd av rörflen för energiproduktion*. Jordbruk och livsmedelsekonomi 1, MTT - Forskningscentralen för jordbruk och livsmedelsekonomi, Jockis, Finland. 25 s. ISBN 951-729-743-2. ISSN 1458-5073.
- Paulrud S., Nilsson C. 2001. Briquetting and combustion of spring-harvested reed canary-grass: effect of fuel composition. *Biomass and Bioenergy*, 20, 25-35.
- Paulrud S., Nilsson C., Öhman M. 2001. Reed canary-grass ash composition and its melting behaviour during combustion. *Fuel*, 80, 1391-1398.
- Paulsson P. 2007. *Energianalys av etanolproduktion; En fallstudie av Lantmännen Agroetanol's produktionssystem i Norrköping*. Energy analysis of ethanol production; A case study of Lantmännen Agroetanol's production system in Norrköping. Examensarbete 2007:03, Inst f biometri och teknik, SLU, Uppsala. 101 s. ISSN 1652-3245.
- Peterson C.L., Thompson J., Feldman M.E., Vander Griend L. 1990. Combustion of winter rape products in a residential stove. *Applied Engineering in Agriculture*, 6(4), s. 471-476.
- Pettersson M. 1999. *Briquetting of biomass: A compilation of techniques and machinery*. Studentuppsatser nr 22 – 1999 i ämnet skogsteknologi. Sveriges lantbruksuniversitet.
- PoD-rapportering. 1985. *PoD-rapportering Nr 3/85*. Tidsskrift utgiven av Statens Energiverk. Sid. 3-4, 11-15, 20-25.
- Praks O. 1993. *Eldningsförsök med rapsexpeller*. Sammanställt nr 17, Inst f lantbrukets byggnadsteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Lund. 15 s. ISSN 1101-5845.
- Praks O., Hadders G. 1990. *Mobil anläggning för halmbrikettering. Förstudie av möjligheterna att genomföra fullskaleprojekt*. Sammanställt 4. Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Lund.
- Punter G., Rickeard D., Larivé J-F., Edwards R., Mortimer N., Horne R., Bauen A., Woods J. 2004. *Wells-to-wheel evaluation for production of ethanol from wheat*. A report by the LowCVP fuels working group, wtw sub-group. Report FWG-P-04-024, LowCVP low carbon vehicle partnership, London, United Kingdom. 40 s.
- Rosenqvist H. 1997. *Salixodling – Kalkylmetoder och lönsamhet*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 24, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 241 s. ISSN 1401-6230. ISBN 91-576-5308-9.
- Rudling L. 1991. *Spannmålsförbränning i en cirkulerande fluidiserad bädd*. Rapport 415, Värmeforsk, Stiftelsen för värmeteknisk forskning, Stockholm. 37 s. ISSN 0282 3772.
- Ryding B. 1991. *Biobränsleaskas sintringsegenskaper, bedömning med hjälp av tillståndsdigram*. Bioenergi, Utveckling & Miljö. FUD-rapport 1991:57. Vattenfall, Älvkarleby.
- Schmidt F., Mogensen S., Bentsen T. 1984. *Briketter af halm*. Beretning nr 116. Bioteknisk Institut. Kolding, Danmark. 21 s.

- Sennerby-Forsse L., Johansson H. 1989. *Energiskog. Handbok i praktisk odling*. Speciella skrifter 38. SLU, Uppsala.
- Simonsson A. 2006. *Fodermedel och näringsrekommendationer för gris*. Rapport 266, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 26 s. ISSN 0347-9838. ISRN SLU-HUV-R--266-SE.
- SIS. 1998a. *Biobränslen och torv – Bränslepellets. Biofuels and peat - Fuel pellets*. Energiteknik - fasta biobränslen och torv. SS 187120, SIS – Swedish Standards Institute, Stockholm.
- SIS. 1998b. *Biobränslen och torv - Bränslebriketter - Klassificering. Biofuels and peat - Fuel briquettes - Classification*. Energiteknik - fasta biobränslen och torv. SS 187123, SIS – Swedish Standards Institute, Stockholm.
- Sjöberg H. 2006. *Pelletsproduktion av åkerbränslen*. BTK-studentrapport 16. Enheten för biomassateknologi och kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- Sjölund. 2005. Citerad från: Forsberg M., Baky A., Westlin H., Ljungberg. D., Ytterberg, P. 2007. *Jordbruket som leverantör av åkerbränsle till storskaliga värmeverk –fallstudie Värtan*. JTI-rapport Lantbruk och industri 361. Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI), Uppsala.
- SMP. 1993. *Scafi 101 i jämförelse med andra dieselbränslen*. Meddelande 3390, Statens Maskinprovningar, Uppsala. 12 s.
- Spörndly R. (red). 2003. *Fodertabeller för idisslare 2003*. Rapport 257, Inst f husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 96 s. ISSN 0347-9838. ISRN SLU-HUV-R--257-SE.
- Stamford Consulting Group. 1999. *Advances in wafering technology*. Finns i: Department of Trade and Industry (DTI). 1999. *Energy from biomass. Summaries of the biomass projects carried out as part of the Department of Trade and Industry's new and renewable energy programme. Volume 5: Straw, poultry litter and energy crops as energy sources*. ETSU BM/04/00056/REP/3. London.
- Stenegard P. 2007. *PIR – Pelletsindustrins Riksförbund*. Föredrag vid konferensen ”Pellets 07” den 30-31 januari 2007, Örebro.
- Stridsberg S., Christensson K. 1994. *Bränslemixar med halm. Eldningsförsök vid fem anläggningar*. SLF rapport nr 10. Stiftelsen Lantbruksforskning, Stockholm. ISSN 1104-6082.
- Stridsberg S., Christensson K. 1995. *Hantering av hackad halm II*. SLF Rapport nr 16, Stiftelsen Lantbruksforskning, Stockholm. 31 s. ISSN 1104-6082.
- Stridsberg S., Christensson K. 1997. *Stacklagring av hackad halm*. SLF rapport nr 24. Stiftelsen Lantbruksforskning, Stockholm. ISSN 1104-6082.
- Strömberg B. 2005. *Bränslehandboken. Handbook of fuels*. Miljö- och förbränningsteknik, Rapport nr 911, Värmeforsk Service AB, Stockholm. 312 s + elektroniska bilagor. ISSN 0282-3772.
- Ståhl M. 2005. *Wood fuel pellets: Sawdust drying in the energy system*. Karlstad University Studies 2005:47. Division for Engineering Sciences, Physics and Mathematics, Department of Environmental and Energy Systems, Karlstad University, Karlstad. 79 s. ISSN 1403-8099. ISBN 91-7063-018-6.
- Ståhl M. 2008. *Energieffektiv pelletspressning med rapsrester*. Föredrag i konferensen ”Pellets 08”, Sundsvall, 29-30 januari 2008.
- Sundberg M., Westlin H. 2005. *Hampa som bränsleråvara. Förstudie*. JTI-rapport Lantbruk & Industri 341. Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI), Uppsala.
- Svennerstedt B. 2003. *Plant fibres in sustainable constructions*. Specialmeddelande 243. Institutionen för jordbrukets biosystem och teknologi, SLU, Alnarp.
- Thek G., Obernberger I. 2004. *Wood pellet production costs under Austrian and in comparison to Swedish framework conditions*. *Biomass and Bioenergy*, 27, 671-693.

- TMF. 2007. *Hållbar utveckling kräver helhetssyn*. Trä- och Möbelindustriförbundet (TMF). Rapporten kan laddas ned från [www.tmf.se](http://www.tmf.se).
- Ulander P. 2001. *Emissioner vid proveldning av pellets från bränsleblandningar med kutter-spån, torv, rörflen och papper*. BTK-studentrapport 3. Enheten för biomassateknologi och kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- Uppenberg S., Almemark M., Brandel M., Lindfors L-G., Marcus H-O., Stripple H., Wachtmeister A., Zetterberg L. 2001. *Miljöfaktabok för Bränslen. Resursförbrukning och emissioner från hela livscykeln*. (Environmental Factual Study Book. Resource Consumption and Emissions from the Whole Life Cycle). Del 1. Huvudrapport + Del 2. Rapport B1334A-2 + B1334B-2, Bakgrundsinformation och Teknisk bilaga. IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm. 207 s.
- Wamukonya L., Jenkins B. 1995. Durability and relaxation of sawdust and wheat-straw briquettes as possible fuels for Kenya. *Biomass and Bioenergy*, 8(3), 175-179.
- Wilén C., Ståhlberg P., Sipilä K., Ahokas J. 1984. *Pelletization of straw*. In: Proceedings of Bioenergy 84 in Gothenburg, Vol III.
- Wilén C., Ståhlberg P., Sipilä K., Ahokas J. 1987. Pelletization and combustion of straw. In: *Energy from biomass and wastes X* (Washington, D.C., April 7-10, 1986), s 469-483.
- Ystads Allehanda. 2007. Klartecken för pelletsfabrik i Ystads hamn. Miljöprovning återstår innan produktionen kan starta. *Ystads Allehanda*, 27 juni 2007.
- Zakrisson M. 2002. *Internationell jämförelse av produktionskostnader vid pelletstillverkning*. Examensarbeten nr 39. Institutionen för skogshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Zeng X., Ma Y., Ma L. 2007. Utilization of straw in biomass energy in China. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 11, 976-987.
- Öhman M., Lindström E., Gilbe R., Backman R., Samuelsson R., Burvall J. 2006. Predicting slagging tendencies for biomass pellets fired in residential appliances: A comparison of different prediction methods. *Proceedings 2<sup>nd</sup> World Conference on Pellets*, 30 May-1 June 2006, Jönköping, Sweden.
- Örberg H., Kalén G., Thyrel M., Finell M. 2006. *Pelletering av rörflen*. BTK-rapport 2006:12. Enheten för biomassateknologi och kemi, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.

## Internetreferenser

- Agriwise. 2007. [www.agriwise.org](http://www.agriwise.org) (2007-12-15). *Databoken 2008, Områdeskalkyler 2008*. Agriwise, Inst för ekonomi, Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Agrobränsle. 2007a. [www.agrobransle.se](http://www.agrobransle.se) (2007-01-15). Agrobränsle, Örebro.
- Agrobränsle. 2007b. [www.agrobransle.se/salix/odla/kalkyl/ostergotlandoch uppsala](http://www.agrobransle.se/salix/odla/kalkyl/ostergotlandoch uppsala) (2007-01-24). *Kalkyl för Salixodling med prognos (utan gårdsstöd) Östergötland och Uppsala*. Agrobränsle, Örebro.
- Agrobränsle. 2008. [www.agrobransle.se/agroenergi](http://www.agrobransle.se/agroenergi) (2008-01-22). Lantmännen Agroenergi AB, Örebro.
- Agroetanol. 2008. [www.agroetanol.se](http://www.agroetanol.se) (2008-03-05). Agroetanol AB, Norrköping.
- Bayer. 2007. [www.cropscience.bayer.se/bayer/Internet\\_Agro\\_se.nsf/Public/Produkt%20katalog%202007/\\$file/Cougar.pdf](http://www.cropscience.bayer.se/bayer/Internet_Agro_se.nsf/Public/Produkt%20katalog%202007/$file/Cougar.pdf) (2007-12-18). *Cougar*. Bayer CropScience AG, Monheim am Rhein, Tyskland.
- Bioagrolife. 2008. [www.bioagrolife.com](http://www.bioagrolife.com) (2008-04-07). Skånefrö AB, Tommarp.
- Bioenergi Nord. 2007. [www.bioenerginord.com](http://www.bioenerginord.com) (februari 2007). *Forum för strategisk samverkan & Ekologiskt hållbar utveckling i kallt klimat*. Glommers Miljöenergi AB, Glommersträsk.



- Bioenergiportalen. 2008. [www.bioenergiportalen.se](http://www.bioenergiportalen.se) (2008-03-16). *Prisad rörlensodlare tror på framtiden*. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Biopress. 2008. [www.biopress.se](http://www.biopress.se) (2008-01-21). Biopress AB, Ljungby.
- Bogma. 2008. [www.bogma.se](http://www.bogma.se) (2008-01-18). Bogma AB, Ulricehamn.
- Bühler. 2008. [www.buhlergroup.com/33794EN.htm?grp=60\\_10\\_15](http://www.buhlergroup.com/33794EN.htm?grp=60_10_15) (2008-01-18). Bühler AB, Malmö.
- CFNielsen. 2008. [www.cfnielsen.com](http://www.cfnielsen.com) (2008-01-18). C. F. Nielsen A/S, Baelum, Danmark.
- EkoDiesel. 2008. [www.ekodiesel.se](http://www.ekodiesel.se) (2008-01-18). EkoDiesel, HampeKraft, Gävle.
- Ekoopellets. 2008. [www.ekoopellets.se](http://www.ekoopellets.se) (februari 2008). Ekoppellets, Färjestaden.
- Jones, J. 2006. [www.earthscan.co.uk/news/](http://www.earthscan.co.uk/news/) (2007-01-18). A fuel of convenience. Earthscan Ltd, London, United Kingdom.
- Jordbruksverket. 2007. [www.sjv.se](http://www.sjv.se) (februari 2007). Stöd och hampa. Jordbruksverket, Jönköping.
- Journey to Forever. 2007. [journeytoforever.org](http://journeytoforever.org) (2007-06-13). Journey to forever. Tamba-cho, Funai-gun, Kyoto, Japan.
- Kemikalieinspektionen. 2007. [www.kemi.se](http://www.kemi.se) (2007-12-18). *Bekämpningsmedelsregistret / Bekämpningsmedel*. Kemikalieinspektionen, Sundbyberg.
- Monsanto. 2008. [www.monsanto.se/roundup/roundup\\_bio\\_etikett.cfm](http://www.monsanto.se/roundup/roundup_bio_etikett.cfm) (2008-03-30). *Roundup®Bio*. Monsanto Crop Sciences Sweden AB, Bromma.
- Pelletsindustrin. 2008. [www.pelletsindustrin.org](http://www.pelletsindustrin.org) (februari 2008). PiR - Pelletsindustrins Riksförbund, Stockholm.
- Pelletsinfo. 2008. [www.pellets.info](http://www.pellets.info) (februari 2008). Pellets.info, Sveriges Pelletsforum.
- SBI-Trading. 2008. [www.sbi-trading.se](http://www.sbi-trading.se) (2008-03-05). SBI Trading AB, Sveriges Brännriintressenter, Kristianstad.
- SCB. 2007a. [www.scb.se/templates/tableOrChart\\_\\_\\_26603.asp](http://www.scb.se/templates/tableOrChart___26603.asp) (februari 2007). *Normskördar av spannmål 2006, kg/hektar / Normskördar / Jord- och skogsbruk, fiske*. Statistiska centralbyrån, Stockholm och Örebro.
- SCB. 2007b. [www.scb.se/templates/tableOrChart\\_\\_\\_53610.asp](http://www.scb.se/templates/tableOrChart___53610.asp) (2007-03-30). *Priser på el för industrikunder jan 1997-jan 2007 / Energipriser på naturgas och el / Energi*. Statistiska centralbyrån, Stockholm och Örebro.
- SCB. 2008a. [www.scb.se](http://www.scb.se) (2008-03-05). *Åkerarealens användning i riket efter gröda. År 1981-2006 / Åkerarealens användning efter län/riket och gröda. År 1981-2006 / Statistikdatabasen / Jordbruksmarkens användning / Jord- och skogsbruk, fiske / Statistik efter ämne*. Statistiska centralbyrån, Stockholm och Örebro.
- SCB. 2008b. [www.scb.se](http://www.scb.se) (2008-03-05). *Skördar i riket efter gröda. År 1998-2006 / Skördar efter region och gröda. År 1998-2006 / Statistikdatabasen / Skörd av spannmål, trindsäd och oljeväxter / Jord- och skogsbruk, fiske / Statistik efter ämne*. Statistiska centralbyrån, Stockholm och Örebro.
- SCB. 2008c. [www.scb.se](http://www.scb.se) (februari 2008). *Producentprisindex (1990=100) / Prisindex i producent- och importled (PPI) / Priser och konsumtion*. Statistiska centralbyrån, Stockholm och Örebro.
- SJV. 2008. [www.sjv.se/download/18.313fdc3e116c968a30080002480/Ekologisk+vallfröodling+tabeller+20071218.xls](http://www.sjv.se/download/18.313fdc3e116c968a30080002480/Ekologisk+vallfröodling+tabeller+20071218.xls) (februari 2008). *Ekologisk+vallfröodling+tabeller+20071218*. Jordbruksverket, Jönköping.
- Skogsmaskinföretagarna. 2008. [www.skogsentreprenad.nu/index.php?use=publisher&id=470&lang=1](http://www.skogsentreprenad.nu/index.php?use=publisher&id=470&lang=1) (2008-01-25). *Ang skatt på träflis för energiändamål*. Skogsmaskin-företagarna SMF, Solna.
- SPI. 2008. [www.spi.se](http://www.spi.se) (2008-03-05). *Volymer snabbtabell dec 2007.xls / Leveranser bränslen per månad / Leveranser / Statistik Sverige / Statistik*. Svenska Petroleum Institutet, Stockholm.

Strohpellets. 2008. [www.strohpellets.de](http://www.strohpellets.de) (februari 2008). Lange & Meyer GbR, Hilgermissen, Tyskland.

Yara. 2008. [fert.yara.se/se/crop\\_fertilization/crop\\_advice/agriculture/salix/salix.html](http://fert.yara.se/se/crop_fertilization/crop_advice/agriculture/salix/salix.html) (2008-03-15). *Salix / Jordbruk / Gödslingsråd / Gödsling*. Yara, Landskrona

### **Personliga meddelanden:**

Alriksson, Jessica. Biopress AB, Ljungby. 2008-01-21.

Arvidsson, Bengt. Bipro AB, Glimåkra. 2008-01-23.

Beckman Börje. Lantmännen Agroetanol AB, Norrköping. 2008-03-07.

de Toro, Alfredo. Forskare, Institutionen för energi och teknik, SLU, Uppsala. 2007-01-17.

Granö, Ulf-Peter. Jyväskylä universitet, Karleby, Finland. 2008-01-21.

Hallqwist, Allan. Bühler AB Sweden, Malmö. 2008-01-23.

Holtenius Kjell. Professor, Institutionen för husdjurens utfodring och vård, SLU, Uppsala. 2007-06-20.

Jensen, Erling. Lin-ka Maskinfabrik A/S, Lem, Danmark. 2005-11-01.

Lindquist, Lars. Lantmännen Agroenergi, Huskvarna. 2007-02-02.

Lundin Gunnar. Forskare, JTI-Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala. 2007-12-19.

Svensson, Lars-Åke. Morums Mekaniska, Stocka. 2008-01-21.

Wallin, Bengt. Ingenjörfirman J Mared AB, Huskvarna. 2008-01-22.

Wallin, Mikael. Sweden Power Chippers AB (SPC), Borås. 2008-01-21.

## BILAGA 1. MASKINKOSTNADER

Tabell A1. Maskiner med maskinkostnader (Maskinkalkylgruppen, 2007) och bränslebehov (de Toro, pers medd, 2007)

Typ av maskin	Effekt		Kapacitet	Effektbehov	Användning	Kalkylperiod	Timkostnad, kr/tim			Bränsleförbr	
	hkr, ca	värde, kr					ha/tim	kW	tim/år	år	Endast maskin
Traktorer, 4-hjulsdrivna											
Traktor 4 WD 50 kW	68	320000		50	650	12	74	127		332	9,5 l/tim
Traktor 4 WD 60 kW	81	370000		60	650	12	86	149		354	11,4 l/tim
Traktor 4 WD 70 kW	95	430000		70	650	12	99	173		378	13,3 l/tim
Traktor 4 WD 80 kW	108	480000		80	650	12	111	195		400	15,2 l/tim
Traktor 4 WD 100 kW	135	590000		100	650	12	136	241		446	19,0 l/tim
Traktor 4 WD 120 kW	162	695000		120	650	12	160	286		491	22,8 l/tim
Traktor 4 WD 140 kW	190	810000		140	650	12	186	334		539	26,6 l/tim
Traktor 4 WD 160 kW	216	910000		160	650	12	209	378		583	30,4 l/tim
Traktor 4 WD 200 kW	270	1145000		200	650	12	262	473		678	38,0 l/tim
Lastmaskiner											
Lastmaskin, 4-hjulsdriven, med redskap	110	575000			600	15	127	211		416	7 l/tim
Lastmaskin, midjestyrd, ca 6 ton	95	650000			900	15	112	186		391	6 l/tim
Lastmaskin, midjestyrd, ca 9 ton	110	960000			1000	15	155	239		444	7 l/tim
Teleskoplastare, lyfthöjd ca 5 m	90	600000			900	15	104	172		377	5 l/tim
Teleskoplastare, lyfthöjd ca 7 m	110	720000			900	15	124	208		413	5 l/tim
Frontlastare											
Frontlastare 1500 kg, inkl redskap		80000			350	12	40				6 l/tim
Balgrip		13000			70	15	28				6 l/tim
Vändare och strängläggare											
Rotorsträngläggare 3,5 m		35000	1,6	40	40	15	151				4 l/ha
Rotorsträngläggare 4,5 m		55000	2	50	40	15	234				3 l/ha
Rotorsträngläggare 7 m, sidläggande		175000	3,5	60	60	15	536				3 l/ha
Strängluftare 3 m		55000	2,2	50	60	12	201				3 l/ha
Slättermaskiner och slätterkrossar, burna											
Rotorslättermaskin 2,8 m		60000	2	70	60	10	176				4,5 l/ha
Fälthackar och hackvagnar											
Fälthack m. syrapump, medium		300000		80	110	10	521				9 l/ha
Fälthack m. syrapump, större		400000		100	120	10	628				9 l/ha
Hackvagn, 30 m <sup>3</sup> , tipp		500000		90	120	10	689				10 l/ha
Hackvagn, 35 m <sup>3</sup> , bottenmatta, boggi		600000		100	120	10	800				10 l/ha
Hackvagn, 40 m <sup>3</sup> , styrboggi		700000		110	120	10	905				10 l/ha
Hackvagn, 50 m <sup>3</sup> , tipp, trippelboggi		800000		130	120	10	1011				11 l/ha
Fälthack, självgående, med 3,3 m pickup		1800000	3		300	10	990	1291		1496	9 l/ha
Fälthack anpassad till salix, antag 10% dyrare		1980000		260	300	10	1089	1420,1		1625,1	
Majsbord eller motsvarande, 6 rader		400000			100	10	514				
Salixbord, antag samma som majsbord		400000			100	10	514				
Lastarvagn											
Lastarvagn 25-30 m <sup>3</sup>		120000		60	70	15	255				5 l/ha
Lastarvagn 25-30 m <sup>3</sup> , kortsnitt		250000		80	100	12	425				11 l/ha
Lastarvagn 30-35 m <sup>3</sup> , kortsnitt		550000		80	120	12	799				11 l/ha
Lastarvagn 50 m <sup>3</sup> , kortsnitt		750000		110	120	12	1084				11 l/ha
Press											
Rundbalspress		275000		60	175	10	347				7 l/ha
Rundbalspress med snitt		320000		75	200	10	347				10 l/ha

Typ av maskin	Effekt hkr, ca	Återanskaffn.- värde, kr	Kapacitet ha/tim	Effektbehov kW	Användning tim/år	Kalkylperiod år	Timkostnad, kr/tim			Bränsleförbr l/tim el l/ha
							Endast maskin	maskin+bränsle	maskin+bränsle+förare	
Fyrkantspress, med snitt, medium (ca 70 cm x 120 cm)		900000		120	175	10	943			12 l/ha
Fyrkantspress, med snitt, stor (ca 120 cm x 130 cm)		1100000		140	175	10	1151			12 l/ha
Inplastare										
Ensilagepackare, tub		550000		90	160	12	572			7 l/tim
Vagn										
Tippvagn 10 ton		80000		75	150	20	84			9 l/tim
Tippvagn 12 ton		100000		90	150	20	104			10,8 l/tim
Tippvagn 15 ton		130000		110	150	20	133			13,2 l/tim
Tippvagn 18 ton		200000		110	150	20	196			13,2 l/tim
Grönfoderutrustning, tillägg till tippvagn		20000			100	20	26			
Grönfoderkassett, tillägg till tippvagn		45000			100	20	57			
Växlarvagn med flak 10 ton		135000		75	150	20	138			9 l/tim
Växlarvagn med flak 15 ton		200000		90	150	20	196			10,8 l/tim
Storbalsvagn, 13 ton, boggi		80000		80	150	20	100			9,6 l/tim
Storbalsvagn, självlastande (Maskinkostnadskalkyler 2006)		65000		90	100	15	105			10,8 l/tim
Balgrip		13000		60	70	15	28			7,2 l/tim
Övrigt										
Halmrivare, eldriven		26000			75	10	57			
Halmrivare, traktordriven mindre		90000			75	10	195			
Halmrivare, traktordriven mindre		160000			75	10	338			
Såmaskiner										
Bogserad såmaskin 2200 l, 6 m		225000	3	90	100	15	330			4 l/ha
Bogserad såmaskin 3300 l, 6 m		425000	3,7	90	100	15	603			4 l/ha
Bogserad såmaskin 4600 l, 8 m		500000	4,6	120	125	15	613			4 l/ha
Konstgödselspridare										
Konstgödselspridare, 4000 l, 12 m ramp, bogs styrdator		270000	5	60	110	10	413			0,75 l/ha
Konstgödselspridare, 4000 l, 24 m ramp, bogs styrdator		410000	7,5	70	110	10	620			0,75 l/ha
Sprutor										
Bogserad spruta, 3500 l, 24 m		400000	7	60	150	10	559			0,75 l/ha
Jordbearbetning										
Vält, ca 12 m		230000	6	80	70	15	435			2 l/ha
Harv, bogserad 10 m		270000	6	140	100	12	432			3,5 l/ha
Tungt tallriksredskap, 5,4 m		180000	2,3	100	100	15	285			6 l/ha
Tallrikskultivator (disc och vält) ca 8 m		400000	5,5	200	200	12	395			6 l/ha
Kultivator bogserad 6 m, fjädrande pinne, efterredskap		175000	4	140	140	12	280			8 l/ha
Växelplog 7 skärig, delburen variabel bredd		320000	1,4	145	180	10	404			21 l/ha
Ogräsharv, långfingerharv 12 m		95000	12	80	70	15	207			2 l/ha
Betesputs förstärkt antag kostar som närmast större, 4,6 m antag av- verkning 3,5 ha/tim		250000	3,5	80	150	8	410			9 l/ha

Förutsättningar för beräkningarna:

Realränta för 2007: 5%.

Förvaring (medeltal mellan nya och äldre byggnader): 70 kr/m<sup>2</sup>.

Försäkring (brandförsäkring):

traktorer 0,3% av återanskaffningsvärdet,

redskap 0,1% av återanskaffningsvärdet.

Förare kostnader:

lantarbetarlön för själva maskinarbetet: 180 kr/tim inklusive tillägg för bl a viss övertid och semester samt sociala kostnader.

inkl tillägg 15%: 205 kr/tim för att täcka även viss ställtid för merarbete med koppling, tankning m m. 205 kr/tim används även för annat arbete inom odlingen, t ex driftsledning, administration m m.

Drivmedel: 6,2 kr/liter, år 2007.

Bränsleåtgången varierar med typ av arbete. I exemplen har vi använt genomsnittsvärden, baserade på provningsresultat för blandad körning.

Kostnader för smörj- och hydrauloljor antas ingå i underhållskostnaden.

Underhåll:

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

Återanskaffningsvärdet:

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

Värdeminskning:

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

Ränta:

Räntekostnaden beräknas på medelvärdet av maskinkapitalet under kalkylperioden. I en real kalkyl som här används realränta. Denna är, förenklat uttryckt, skillnaden mellan nominell ränta (låneränta) och inflationen. För år 2007 är 5% realränta vald. I en enskild beräkning kan det finnas anledning att välja högre eller lägre räntesats, beroende på omständigheterna.

## BILAGA 2. ENERGI I HANDELSGÖDSEL, BEKÄMPNINGSMEDEL OCH DRIVMEDEL

Gödselmedel:

Tabell A2. Energi i handelsgödsel (Jenssen & Kongshaug, 2003)

Gödselämne	Energiåtgång för framställning			
Kväve, N	40,3	GJ/ton N ger	40,3	MJ/kg N
Fosfor, P	3,4	GJ/ton P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ger	7,79	MJ/kg P
Kalium, K	4,6	GJ/ton K <sub>2</sub> O ger	5,54	MJ/kg K

Bekämpningsmedel:

Energiåtgång för framställning:

198 MJ/kg aktiv substans (Kaltschmitt & Reinhardt, 1997).

Drivmedel:

Effektivt värmevärde dieselolja (SMP, 1993): 42,8 MJ/kg

Densiteten hos dieselolja: 0,826 kg/liter diesel ger

effektiva värmevärdet på volymsbas: 35,35 MJ/l diesel

som krävt 1,06 MJ/MJ MK1 diesel vid framställning (Uppenberg m fl, 2001),

ger att: 37,47 MJ fossil energi går åt/l diesel.

[Fel här: borde varit MK1 (inte MK3): MK1 43,3 MJ/kg; 0,813 kg/liter; ger: 37,315 MJ fossil energi går åt/liter diesel; fel ca 0,4% i alla bränsleberäkningar, lämnas utan åtgärd.]

### BILAGA 3. LAGERBYGGNADER

Förutsättningar lager: Lagrets bredd är 20 m medan längden varierar beroende på inlagrad typ av produkt och gröda, mängden inlagrade produkter är dock alltid 410 ton ts. Produkternas vattenhalt varierar beroende på inlagrad gröda. Byggekostnaden är 2 000 kr/m<sup>2</sup> byggnadsyta (uppskattat efter: Larsson m fl, 2006) då anlagd hårdgjord yta både i och utanför lagret ingår. Vid inlagring av hackelse har lagringshöjden antagits vara 3 m, och byggekostnaden 20% högre än för ett lager för balar beroende på krav på förstärkta väggar m m. Detta ger en byggekostnad på: 2 400 kr/m<sup>2</sup>.

Tabell A3. Förutsättningar för lagerbyggnader

Avskrivningstid, år	30
Ränta för år 2007, %	5
Annuitetsfaktor	0,06505
Underhåll, försäkring m m efter Larsson m.fl. (2006), %	2
Totalt ränta avskrivning underhåll m m, %	8,51

#### HALM

Mängd inlagrad halm: 500 ton med 18% vatten med ett energiinnehåll på: 16 691 MJ/ton ts, vilket ger 6 843 GJ i lagret.

Tabell A4. Lager, rymd, storlek samt egenskaper hos inlagrad halm

Typ av produkt:	Rundbalar	Fyrkantbal (medium)	Fyrkantbal (stor)	Hackelse
Längd, m	-	2,4	2,4	-
Bredd/diameter, m	1,5	1,2	1,3	-
Höjd, m	1,2	0,7	1,2	-
Vikt, kg	240	280	520	-
Densitet, kg/m <sup>3</sup>	113	139	139	-
Utnyttjande av lager, %	80	85	85	-
Densitet i lager, kg/m <sup>3</sup>	90,5	118	118	100 <sup>a</sup>
Lagervolym, m <sup>3</sup>	5522	4235	4235	5000
Lagrets yta, m <sup>2</sup>	1150	882	882	1667
Lagrets längd, m	58	44	44	83
Investering, kr	2300971	1764706	1764706	4000000
Kostnader lagerhus, kr/år	195701	150091	150091	340206
Lagringskostnad, kr/ton	391	300	300	680
Lagringskostnad, kr/m <sup>2</sup>	170	170	170	204

<sup>a</sup> Källa: Stridsberg & Christensson (1995).

## RÖRFLÉN

Mängd inlagrad rörflen: 476,7 ton med 14% vatten med ett energiinnehåll på: 16 618 MJ/ton ts, vilket ger 6 650 GJ i lagret.

Tabell A5. Lager, rymd, storlek samt egenskaper hos inlagrad rörflen.

Typ av produkt	Rundbalar	Fyrkantbal (medium)	Fyrkantbal (stor)	Hackelse
Längd, m	-	2,4	2,4	-
Bredd/diameter, m	1,5	1,2	1,3	-
Höjd, m	1,2	0,7	1,2	-
Vikt, kg	264	308	572	-
Densitet, kg/m <sup>3</sup>	124	153	153	-
Utnyttjande av lager, %	80	85	85	-
Densitet i lager, kg/m <sup>3</sup>	99,6	130	130	100
Lagervolym, m <sup>3</sup>	4787	3671	3671	4767
Lagrets yta, m <sup>2</sup>	997	765	765	1589
Lagrets längd, m	50	38	38	79
Investering, kr	1994499	1529660	1529660	3813953
Kostnader lagerhus, kr/år	169635	130100	130100	324382
Lagringskostnad, kr/ton	356	273	273	680
Lagringskostnad, kr/m <sup>2</sup>	170	170	170	204

## HAMPA

Mängd inlagrad hampa: 465,9 ton med 12% vatten med ett energiinnehåll på: 18 240 MJ/ton ts, vilket ger 7 342 GJ i lagret.

Tabell A6. Lager, rymd, storlek samt egenskaper hos inlagrad hampa

Typ av produkt	Rundbalar	Fyrkantbal (medium)	Fyrkantbal (stor)	Hackelse
Längd, m	-	2,4	2,4	-
Bredd/diameter, m	1,5	1,2	1,3	-
Höjd, m	1,2	0,7	1,2	-
Vikt, kg	240	280	520	-
Densitet, kg/m <sup>3</sup>	113	139	139	-
Utnyttjande av lager, %	80	85	85	-
Densitet i lager, kg/m <sup>3</sup>	90,5	118	118	114 <sup>a</sup>
Lagervolym, m <sup>3</sup>	5146	3947	3947	4100
Lagrets yta, m <sup>2</sup>	1072	822	822	1367
Lagrets längd, m	54	41	41	68
Investering, kr	2144087	1644385	1644385	3280000
Kostnader lagerhus, kr/år	182358	139857	139857	278969
Lagringskostnad, kr/ton	391	300	300	599
Lagringskostnad, kr/m <sup>2</sup>	170	170	170	204

<sup>a</sup> 100 kg ts/m<sup>3</sup> (Forsberg m fl, 2006).



## BILAGA 4. SALIX

Skörden av salix har antagits vara på 20,0 ton ts/ha vid skörd efter första omdrevet, och 30,0 ton ts vid skörd efter kommande omdrev. Med en vattenhalt på 52% motsvarar detta en salixskörd på 41,7 respektive 62,5 ton/ha. Salixflis innehåller i genomsnitt 51,5% vatten, d v s ungefär 52% (Agrobränsle, 2008).

Salixens effektiva värmevärde är 18 620 MJ/ton torrt askfritt bränsle (Strömberg, 2005), vilket med 3% aska ger det effektiva värmevärdet 18 061 MJ/ton ts och vid ovan angiven vattenhalt 7 399 MJ/ton salix. Med 15% vatten blir det effektiva värmevärdet 14 986 MJ/ton.

Bulkdensitet salixflis är 200 - 350 kg ts/m<sup>3</sup> (Strömberg, 2005) vilket ger en densitet för fuktig flis, med vattenhalt enligt ovan, på: 416,7 - 729,2 kg/m<sup>3</sup>. Medeldensiteten för den fuktiga flisen blir ca 572,9 kg/m<sup>3</sup>.

Då salix är en flerårig gröda måste multiplikation med en faktor ske för beräkning av den genomsnittliga årliga kostnaden för de olika produktionsfaktorerna då hänsyn till ränteeffekter och nuvärde måste tas. Faktorn anges i ekvation A1. Faktorerna består av nuvärdefaktorn multiplicerad med annuitetsfaktorn (Rosenqvist, 1997). Genom att addera faktorerna för de år man vill ha faktorn för, kan man få fram en faktor för ett flertal år. Denna faktor multipliceras i sin tur med det aktuella penningbeloppet.

$$\frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \sum_{t=0}^T (1 + r)^{-t} A_t \quad (\text{A1})$$

där: t = år då in- eller utbetalningen inträffar,  
n = kalkylperiodens längd uttryckt i år, för salix 22 år,  
r = real kalkylränta, här 0,05 då kalkylräntan valts till 5%,  
T = tidsperiod under vilken in- och utbetalningar inträffar,  
A = reala in- och utbetalningar för året som de sker.

Tabell A7. Kostnads- och energikalkyl för salixodling

Produktionsfaktor	Mängd	Pris, kr/ mängdenhet	Kostnad, kr/ha	Faktor	Slutkostnad, kr/ha	Behov av energi per arbetsmoment	Energi, MJ/ha o år
Sticklingar: år 1 (se plantering av sticklingar nedan)							36,80
Ogräsmedel Roundup <sup>a</sup> mot kvickrot: år 0, ggr	1	225,00	225,00	0,0760	17,09		21,87
Ogräsmedel Cougar <sup>b</sup> efter plantering: år 1, ggr	1	600,00	600,00	0,0724	43,41		5,40
Ogräsmedel Roundup <sup>a</sup> salixavdödning: år 22, ggr	1	225,00	225,00	0,0260	5,84		21,87
Gödsel N <sup>c</sup> (NS27-4): år 2, kg	80	9,33	746,40	0,0689	51,43		146,55
Gödsel N <sup>c</sup> (NS27-4): år 3, kg	120	9,33	1119,60	0,0656	73,48		219,82
Gödsel N <sup>c</sup> (NS27-4): år 6, kg	80	9,33	746,40	0,0567	42,31		146,55
Gödsel N <sup>c</sup> (NS27-4): år 7, kg	120	9,33	1119,60	0,0540	60,45		219,82
Gödsel N <sup>c</sup> (NS27-4): år 10, kg	80	9,33	746,40	0,0466	34,81		146,55
Gödsel N <sup>c</sup> (NS27-4): år 11, kg	120	9,33	1119,60	0,0444	49,73		219,82
Gödsel N <sup>c</sup> (NS27-4): år 14, kg	80	9,33	746,40	0,0384	28,64		146,55
Gödsel N <sup>c</sup> (NS27-4): år 15, kg	120	9,33	1119,60	0,0365	40,91		219,82
Gödsel N <sup>c</sup> (NS27-4): år 18, kg	80	9,33	746,40	0,0316	23,56		146,55
Gödsel N <sup>c</sup> (NS27-4): år 19, kg	120	9,33	1119,60	0,0301	33,66		219,82

Produktionsfaktor	Mängd	Pris, kr/ mängdenhet	Kostnad, kr/ha	Faktor	Slutkostnad, kr/ha	Behov av energi per arbetsmoment	Energi, MJ/ha o år
Gödsel P <sup>c</sup> : år 1, kg	40	18,10	724,00	0,0689	49,89		14,17
Gödsel P <sup>c</sup> : år 6, kg	40	18,10	724,00	0,0567	41,04		14,17
Gödsel P <sup>c</sup> : år 10, kg	40	18,10	724,00	0,0466	33,77		14,17
Gödsel P <sup>c</sup> : år 14, kg	40	18,10	724,00	0,0384	27,78		14,17
Gödsel P <sup>c</sup> : år 18, kg	40	18,10	724,00	0,0316	22,85		14,17
Gödsel K <sup>c</sup> : år 1, kg	120	3,53	423,60	0,0689	29,19		30,22
Gödsel K <sup>c</sup> : år 6, kg	120	3,53	423,60	0,0567	24,01		30,22
Gödsel K <sup>c</sup> : år 10, kg	120	3,53	423,60	0,0466	19,76		30,22
Gödsel K <sup>c</sup> : år 14, kg	120	3,53	423,60	0,0384	16,25		30,22
Gödsel K <sup>c</sup> : år 18, kg	120	3,53	423,60	0,0316	13,37		30,22
Harv, bogserad 10 m, kr/tim		432				7	l/ha
Traktor, 4 WD, 140 kW, kr/tim		539				37,47	MJ/l diesel
Summa harvning år 1, kr/tim		971				262,32	MJ/ha
Kapacitet, ha/tim		6					
Harvning år 1, ggr	2	161,83	323,67	0,0724	23,42		11,92
Plantering:sticklingar inkl plantering: år 1, ggr	1	8600,00	8600,00	0,0724	622,23		
Bogserad spruta, 3500 l, 24 m, kr/tim		559				0,75	l/ha
Traktor, 4 WD, 60 kW, kr/tim		354				37,47	MJ/l diesel
Summa sprutning år 1, kr/tim		913				28,11	MJ/ha
Kapacitet, ha/tim		7					
Sprutning år 0, ggr	1	130,43	130,43	0,0760	9,91		1,28
Sprutning år 1, ggr	1	130,43	130,43	0,0724	9,44		1,28
Sprutning år 22, ggr	1	130,43	130,43	0,0260	3,39		1,28
Konstgödselspridare, 4000 l, 12 m ramp, bogs styrdator, kr/tim		413				0,75	l/ha
Traktor 4 WD 60 kW, kr/tim		354				37,47	MJ/l diesel
Summa Handelsgödselspridning år 2...19, kr/tim		767				28,11	MJ/ha
Kapacitet, ha/tim		5					
Handelsgödselspridning år 2, ggr	1	153,40	153,40	0,0689	10,57		1,28
Handelsgödselspridning år 3, ggr	1	153,40	153,40	0,0656	10,07		1,28
Handelsgödselspridning år 6, ggr	1	153,40	153,40	0,0567	8,70		1,28
Handelsgödselspridning år 7, ggr	1	153,40	153,40	0,0540	8,28		1,28
Handelsgödselspridning år 10, ggr	1	153,40	153,40	0,0466	7,15		1,28
Handelsgödselspridning år 11, ggr	1	153,40	153,40	0,0444	6,81		1,28
Handelsgödselspridning år 14, ggr	1	153,40	153,40	0,0384	5,89		1,28
Handelsgödselspridning år 15, ggr	1	153,40	153,40	0,0365	5,61		1,28
Handelsgödselspridning år 18, ggr	1	153,40	153,40	0,0316	4,84		1,28
Handelsgödselspridning år 19, ggr	1	153,40	153,40	0,0301	4,61		1,28
Ogräsharv, långfingerharv 12 m, kr/tim		207				4	l/ha
Traktor 4 WD 80 kW, kr/tim		400				37,47	MJ/l diesel
Summa ogräsharvning år 1, kr/tim		607				149,90	MJ/ha
Kapacitet, ha/tim		12					
Ogräsharvning: år 1, ggr	2	50,58	101,17	0,0724	7,32		6,81
Betesputs 4,6 m förstärkt, kr/tim		410				9	l/ha
Traktor 4 WD 80 kW, kr/tim		400				37,47	MJ/l diesel
Summa avkapning/putsning år 1, kr/tim		810				337,27	MJ/ha
Kapacitet, ha/tim		3,5					
Avkapning/putsning år 1, ggr	1	231,43	231,43	0,0724	16,74		15,33
Betesputs 4,6 m förstärkt, kr/tim		410				22,5	l/ha
Traktor 4 WD 100 kW, kr/tim		446				37,47	MJ/l diesel

Produktionsfaktor	Mängd	Pris, kr/ mängdenhet	Kostnad, kr/ha	Faktor	Slutkostnad, kr/ha	Behov av energi per arbetsmoment	Energi, MJ/ha o år
Summa ogräsharvning år 1, kr/tim		856				843,16	MJ/ha
Kapacitet (antag halverad mot betesputsning), ha/tim		1,75					
Avkapning/putsning år 22, ggr	1	489,14	489,14	0,0260	12,70		38,33
Tallrikskultivator (disc och vält), ca 8 m, kr/tim		395				18	l/ha
Traktor 4 WD 200 kW, kr/tim		678				37,47	MJ/l diesel
Summa tallrikskultivering år 22, kr/tim		1073				674,53	MJ/ha
Kapacitet, ha/tim		5,5					
Tallrikskultivering år 22, ggr	3	195,09	585,27	0,0260	15,20		30,66
Tillsyn, administration mm år 1...22, tim	1	205,00	205,00	1	205,00		
Gemensamma företagskostnader år 1...22, ggr	1	95,00	95,00	1	95,00		
Summa kostnader odling, kr/ha / Summa energi odling, MJ/ha					1876,14		2259,37
Summa kostnader odling, kr/ton ts					294,82		
Summa kostnader odling, kr/MWh (mätt på torrsubstans)					58,76		

<sup>a</sup> Dos Roundup®Bio: 5 l/ha (Agriwise, 2007; Monsanto, 2008); Roundup®Bio innehåller 486 g aktiv substans/liter (Kemikalieinspektionen, 2007). Energi för produktion av bekämpningsmedel: 198 MJ/kg aktiv substans (Kaltschmitt & Reinhardt, 1997).

<sup>b</sup> Cougar: pris: 600 kr/behandling (Agrobränsle, 2007b); Dos ca 1 l/ha: (Bayer, 2007); Cougar innehåller 600 g aktiv substans/liter (Kemikalieinspektionen, 2007). Energi för produktion av bekämpningsmedel: 198 MJ/kg aktiv substans (Kaltschmitt & Reinhardt, 1997).

<sup>c</sup> Gödsling, mix efter: Agriwise (2007), Gustafsson m fl (2007), Börjesson (2006) och Yara (2008).

Tabell A8. Ekonomi vid skörd av salix vid olika bärgningsystem

	Direktskörd som flis		Skörd som helskott	
	Faktor	Slutkostnad, kr/ha	Faktor	Slutkostnad, kr/ha
<u>Skörd med självgående hack:</u>				
Självgående fälthack anpassad till salix, kr/tim	1625			
Salixbord, antag samma som majsbord, kr/tim	514			
Utnyttjande av hack enligt nedanstående data <sup>a</sup> , %	97,4			
ger kostnad hack <sup>b</sup> , kr/tim	1588			
med salixbord <sup>b</sup> , kr/tim	500			
Summa kostnader salixhack, kr/tim	2088			
Kapacitet salixskörd <sup>c</sup> , ton ts/tim	11,40			
Kapacitet salixskörd: år 6, ha/tim	0,57			
Kapacitet salixskörd: år 10, 14, 18, 22, ha/tim	0,38			
Salixskörd: år 6, kr/ha	3662,33	0,0567		207,62
Salixskörd: år 10, 14, 18, 22, kr/ha	5493,49	0,1425		783,08
Salixskörd med Claas Jaguar, summa, kr/ha				990,70
<u>Transport i fält, uppsamling i containers:</u>				
Traktor, 4 WD, 100 kW, kr/tim	446			
Växlarvagn, 15 ton, kr/tim	196			
Summa transport, kr/tim	642			
Teoretisk kapacitet ton, ts/tim	11,71			
Teoretisk kapacitet <sup>d</sup> , ton/tim	24,4			
Tid för att fylla en container (15 ton), min	36,9	minut, vilket medför att:		
Tid för att byta container antag, min	1	minuter vilket gör att kapaciteterna sjunker till:		

	Direktskörd som flis		Skörd som helskott		
	Faktor	Slutkostnad, kr/ha	Faktor	Slutkostnad, kr/ha	
Tiden för att fylla och byta en container blir, min	37,9				
Kapacitet, ton ts/tim	11,40				
Kapacitet verkligt arbete <sup>e</sup> , ton/tim	23,76				
Kapacitet uppsamling i fält: år 6, ha/tim	0,57				
Kapacitet salixskörd uppsamling i fält: år 10, 14, 18, 22, ha/tim	0,38				
Salixskörd transport uppsamling: år 6, kr/ha	1126,03	0,0567		63,84	
Salixskörd transport uppsamling: år 10, 14, 18, 22, kr/ha	1689,05	0,1425		240,77	
Salixskörd transport uppsamling, summa, kr/ha				304,61	
<u>Skörd med helskottsskördare med bredvidgående traktor och vagn:</u>					
Kapacitet i verklig drift <sup>f</sup> , ton rå/tim				47,3	
Kapacitet i verklig drift, ton ts/tim				22,7	
Helskottsskördare Empire <sup>g</sup> 2000, kr/tim				1503	
Kapacitet skörd av helskott: år 6, ha/tim				1,14	
Kapacitet skörd av helskott: år 10, 14, 18, 22, ha/tim				0,76	
Skörd av helskott: år 6, kr/ha			1323,61	0,0567	75,04
Skörd av helskott: år 10, 14, 18, 22, kr/ha			1985,42	0,1425	283,02
Skörd av helskott, summa, kr/ha					358,05
<u>Transport till fältkant:</u>					
Antagen mängd salix på vagnen <sup>h</sup> då åker t tippning, ton				6	
Tid innan vagnen full, min				7,6	
Antagen tid för tippning, min				5	
Avstånd till välta, km				0,5	
Transporthastighet i fält, km/tim				10	
Tid transport tur och retur, min				6	
Total tid avlastning, min				11	
Tid för en cykel på och avlastning, min				18,6	
Kapacitet per transport <sup>i</sup> , ton/tim				19,34	
antal traktorer med vagn, st				3	
ger total kapacitet, ton/tim				58,03	
Utnyttjandegrad traktor med vagn <sup>j</sup> , %				81,5	
Traktor, 4 WD, 80 kW <sup>k</sup> , kr/tim				364	
Tippvagn, 12 ton <sup>l</sup> , kr/tim				85	
Fälttransport och avlastning mm, kr/tim				1346	
Kapacitet fälttransport: år 6, ha/tim				1,14	
Kapacitet fälttransport: år 10, 14, 18, 22, ha/tim				0,76	
Salix, fälttransport och avlastning mm: år 6, kr/tim			1185,82	0,0567	67,22
Salix, fälttransport och avlastning mm: år 10, 14, 18, 22, kr/tim			1778,72	0,1425	253,55
Salix, fälttransport och avlastning, summa, kr/ha					320,78
<u>Stationär flisning med mobil flishugg:</u>					
Mobil flishugg <sup>m</sup> , kr/tim				1729	
Hantering av helskott vid flisning, lastmaskin 6 ton, kr/tim				391	
Stationär flisning, summa, kostnad, kr/tim				2120	
Kapacitet flisning <sup>n</sup> : år 6, ha/tim				0,48	

	Direktskörd som flis		Skörd som helskott	
	Faktor	Slutkostnad, kr/ha	Faktor	Slutkostnad, kr/ha
Kapacitet flisning <sup>n</sup> : år 10, 14, 18, 22, ha/tim			0,32	
Stationär flisning: år 6, kr/ha			4416,26	250,36
Stationär flisning: år 10, 14, 18, 22, kr/ha			6624,38	944,29
Flisning, summa:				1194,65
Summa, skörd av salix, kr/ha		1295,31		1873,48
Summa, skörd av salix inkl odling, kr/ha		3171,44		3749,62
Summa, skörd av salix inkl odling, kr/ton ts		498,37		589,23
Summa, skörd av salix inkl odling, kr/MWh (mätt på torrsbstans)		99,34		117,44
Summa, skörd av salix inkl odling, kr/ton (15% vatten)		423,61		500,84
Summa, skörd av salix inkl odling, kr/MWh (15% vatten)		101,76		120,32

<sup>a</sup> Vid transport i fält, uppsamling i containers: kapacitet / teoretisk kapacitet.

<sup>b</sup> Beräknat som: Maskinkostnad \* utnyttjande av hack enl nedanstående data + förarkostnad (205 kr/tim) \* (1-utnyttjande av hack enl nedanstående data).

<sup>c</sup> Kapacitet, ton ts/tim, som vid: Transport i fält, uppsamling i containers.

<sup>d</sup> Kapacitet vid skörd av fuktig flis med Claas Jaguar 695: Källa: JTI-rapport 210 (Danfors & Nordén, 1995).

<sup>e</sup> Beräknat utifrån: tiden att fylla och byta en container med 15 ton salixflis.

<sup>f</sup> Kapacitet vid skörd av helskott med Empire 2000 då en traktor med vagn körs bredvid: Källa: JTI-rapport 210 (Danfors & Nordén, 1995).

<sup>g</sup> Beräknat efter Danfors & Nordén (1995) som förhållandet mellan timkostnaderna för fälthacken Claas Jaguar 695 och helskottsskördaren Empire 2000 multiplicerat med maskinkostnaderna för självgående fälthack anpassad till salix med salixbord enl ovan.

<sup>h</sup> Antag salixen skrymmande, vagnen kan bara fyllas till hälften.

<sup>i</sup> Beräknat som: Antagen mängd salix på vagnen då åker till tippning / tid för en cykel på och avlastning.

<sup>j</sup> Beräknat som: Helskottsskördare, kapacitet i verklig drift / kapacitet transport med 3 traktorer.

<sup>k</sup> Beräknat som: Maskinkostnad traktor \* utnyttjandegrad av traktor m vagn + förarkostnad (205 kr/tim) \* (1-utnyttjandegrad av traktor m vagn).

<sup>l</sup> Beräknat som: Maskinkostnad vagn \* utnyttjandegrad av traktor m vagn.

<sup>m</sup> Beräknat efter Danfors & Nordén (1995) som förhållandet mellan timkostnaderna för fälthacken Claas Jaguar 695 och mobil flishugg 400 kW multiplicerat med maskinkostnaderna för självgående fälthack anpassad till salix med salixbord enl ovan.

<sup>n</sup> Beräknat utifrån att den mobila flishuggen 400 kW har en kapacitet på 20 ton fuktig flis per timme (efter Danfors & Nordén, 1995).

Tabell A9. Energianalys vid skörd av salix vid olika bärningssystem

	Skörd med självgående hack		Skörd med helskottsskördare	
		Energiinsats (MJ/ha o år)		Energiinsats (MJ/ha o år)
<u>Skörd med självgående hack:</u>				
Självgående fälthack anpassad till salix <sup>a</sup> , l/tim	40			
Kapacitet salixskörd, ton ts/tim	11,40			
Kapacitet salixskörd: år 6, ha/tim	0,57			
Kapacitet salixskörd: år 10, 14, 18, 22, ha/tim	0,38			
Salixskörd: år 6 <sup>b</sup> , MJ/ha	2629,09	119,50	(1 av 22 år)	
Salixskörd: år 10, 14, 18, 22 <sup>b</sup> , MJ/ha	3943,64	717,03	(4 av 22 år)	
Salixskörd med Claas Jaguar, summa, MJ/ha o år		836,53		
<u>Transport i fält, uppsamling i containers:</u>				
Traktor, 4 WD, 100 kW, l/tim	19			
Växlarvagn, 15 ton				
Summa transport, l/tim	19			
Kapacitet uppsamling i fält: år 6, ha/tim	0,57			
Kapacitet salixskörd uppsamling i fält: år 10, 14, 18, 22, ha/tim	0,38			
Salixskörd transport uppsamling: år 6 <sup>b</sup> , MJ/ha	1248,82	56,76	(1 av 22 år)	
Salixskörd transport uppsamling: år 10, 14, 18, 22 <sup>b</sup> , MJ/ha	1873,23	340,59	(4 av 22 år)	
Salixskörd transport uppsamling, summa, MJ/ha o år		397,35		
<u>Skörd med helskottsskördare med bredvidgående traktor och vagn:</u>				
Helskottsskördare Empire 2000 <sup>a</sup> , l/tim			30	
Kapacitet skörd av helskott: år 6, ha/tim			1,14	
Kapacitet skörd av helskott: år 10, 14, 18, 22, ha/tim			0,76	
Skörd av helskott: år 6 <sup>b</sup> , MJ/ha		990,33	45,01	(1 av 22 år)
Skörd av helskott: år 10, 14, 18, 22 <sup>b</sup> , MJ/ha		1485,49	270,09	(4 av 22 år)
Skörd av helskott, summa, MJ/ha o år			315,10	
<u>Transport till fältkant:</u>				
Utnyttjandegrad traktor m vagn			81,5	
Traktor, 4 WD, 80 kW <sup>c</sup> , l/tim			12,4	
Tippvagn, 12 ton				
3 st traktorer med vagn, l/tim			37,2	
Kapacitet fälttransport: år 6, ha/tim			1,14	
Kapacitet fälttransport: år 10, 14, 18, 22, ha/tim			0,76	
Salix, fälttransport och avlastning mm: år 6 <sup>b</sup> , MJ/ha		1226,96	55,77	(1 av 22 år)
Salix, fälttransport och avlastning mm: år 10, 14, 18, 22 <sup>b</sup> , MJ/ha		1840,43	334,62	(4 av 22 år)
Salix, fälttransport och avlastning, summa, MJ/ha o år			390,40	
<u>Stationär flisning med mobil flishugg:</u>				
Mobil flishugg <sup>d</sup> , l/tim			32,3	
Hantering av helskott vid flisning, Lastmaskin 6 ton, l/tim			6	
Kapacitet flisning: år 6, ha/tim			0,48	
Kapacitet flisning: år 10, 14, 18, 22, ha/tim			0,32	
Stationär flisning: år 6 <sup>b</sup> , MJ/ha		2988,12	135,82	(1 av 22 år)
Stationär flisning: år 10, 14, 18, 22 <sup>b</sup> , MJ/ha		4482,17	814,94	(4 av 22 år)
Flisning totalt MJ/ha o år			950,76	

	Skörd med självgående hack	Skörd med helskottsskördare
	Energiinsats (MJ/ha o år)	Energiinsats (MJ/ha o år)
Summa, skörd av salix, MJ/ha o år	1233,88	1656,26
Summa, skörd av salix inkl odling, MJ/ha o år	3493,26	3915,64

<sup>a</sup> Källa: JTI-rapport 210 (Danfors & Nordén, 1995).

<sup>b</sup> Energiåtgång (MJ/ha) = bränsleförbrukning (l/tim) \* effektivt värmevärde plus produktion för dieselolja (37,47 MJ/l) / kapacitet (ha/tim).

<sup>c</sup> Bränsleförbrukning (l/tim) = utnyttjandegrad traktor m vagn (%) \* bränsleförbrukning: traktor, 4 WD, 80 kW (l/tim).

<sup>d</sup> Bränsleförbrukning stationär flishugg:  $0,7 * 35 = 24,5$  liter/tim (Skogsmaskinföretagarna, 2008) för en stationär flishugg som flisar  $26,5 \text{ m}^3$  fuktig flis per timme. Densiteten för fuktig salixflis är  $573 \text{ kg/m}^3$  (beräknat efter värdet för torr flis av Strömberg (2005) med ovan antagen vattenhalt). Tillsammans ger detta en bränsleförbrukning på: 1,61 l diesel/ton fuktig flis. Vid flisning med en flishugg som flisar 20 ton fuktig flis per timme (ex. i Danfors & Nordén, 1995) ger detta en bränsleförbrukning på 32,3 l/tim.

Skillnad i timkostnad och bränsleförbrukning: direktflisare Claas Jaguar 695 – helskottsskördare Empire 2000 med efterföljande stationär flisning uppskattades enligt följande (efter: Danfors & Nordén, 1995 och Skogsmaskinföretagarna, 2008):

Claas Jaguar 695: kapacitet i fält 24,4 ton fuktig flis/tim; kostnad: 39,6 kr/ton fuktig flis vilket ger timkostnaden: 966,24 kr/tim (1995); Bränsleförbrukning: 40 liter/tim ger: 1,64 l diesel/ton fuktig råvara.

Empire 2000: kapacitet i fält; med traktorer bredvid 47,3 ton fuktig flis/tim; kostnad: 14,7 kr/ton fuktig flis vilket ger timkostnaden: 695,31 kr/tim (1995), vilket är 0,72 i förhållande till Claas Jaguar; Bränsleförbrukning: 30 liter/tim.

Mobil flishugg 400 kW: kapacitet vid stationär flisning: 20 ton fuktig flis/tim; kostnad: 40 kr/ton fuktig flis vilket ger timkostnaden: 800 kr/tim (1995), vilket är 0,83 i förhållande till Claas Jaguar. Bränsleförbrukning beräknad till 32,3 liter/tim (efter: Skogsmaskinföretagarna, 2008) ger 1,61 l diesel/ton fuktig råvara.

## BILAGA 5. HALMBÄRGNING

Halmskörden har antagits vara på 3,00 ton ts/ha, vilket med en vattenhalt på 18% motsvarar en halmskörd på 3,66 ton/ha.

Halm på fältet i sträng antas ha ett värde på 100 kr/ton ts, vilket med den ovan angivna vattenhalten betyder ett värde på 82 kr/ton.

Halmens effektiva värmevärde är 17 560 MJ/ton torrt askfritt bränsle (Strömberg, 2005), vilket med 4,95% aska ger det effektiva värmevärdet 16 691 MJ/ton ts och vid ovan angiven vattenhalt 13 247 MJ/ton halm. Kostnader (kr/MWh) i tabellerna nedan baseras på halmens effektiva värmevärde per ton torrs substans.

Halmen hackas inte om den ska bärgas. Den energi som i annat fall går åt för halmhackningen kommer därför halmkalkylen till godo som ett negativt värde i energibalanskalkylen.

Energiåtgången för att hacka halmen är 1,5 kW/ton halm och timme (Lundin, pers medd, 2007). Om man därefter antar att verkningsgraden är 35% i dieselmotorn blir den totala verkningsgraden 30% efter transmissionen.

Drivmedelsåtgången blir: 18 MJ/ton halm vid hackningen = 0,42 kg diesel/ton halm = 0,51 l diesel/ton halm vilket med ovan angiven skördenivå motsvarar 1,86 l diesel/ha och 69,8 MJ/ha.

Tabell A10. Ekonomi vid bärgning av halm samt lagring av denna inomhus eller utomhus vid olika bärgningssystem

	Stor fyrkantbal		Mellanstor fyrkantbal		Rundbal		Hackelse	
	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring
Råvarukostnad på fältet, kr/ton	82	82	82	82	82	82	82	82
Råvarukostnad på fältet, kr/MWh	21,57	21,57	21,57	21,57	21,57	21,57	21,57	21,57
<u>Strängläggning; ihopläggning av 2 strängar, antas ske i 50% av fallen:</u>								
Rotorsträngläggare, 7 m, kr/tim	536	536	536	536	536	536	536	536
Traktor, 4 WD, 60 kW, kr/tim	354	354	354	354	354	354	354	354
Summa strängläggning, kr/tim	890	890	890	890	890	890	890	890
Kapacitet, ha/tim	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Kapacitet, ton/tim	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80
Kostnad, kr/ton	69,50	69,50	69,50	69,50	69,50	69,50	69,50	69,50
Kostnad, kr/MWh	18,28	18,28	18,28	18,28	18,28	18,28	18,28	18,28
Om sker i 50% av fallen:								
Kostnad, kr/ton	34,75	34,75	34,75	34,75	34,75	34,75	34,75	34,75
Kostnad, kr/MWh	9,14	9,14	9,14	9,14	9,14	9,14	9,14	9,14
<u>Strängluftning; efter större regn, antas ske i 50% av fallen:</u>								
Strängluftare, 3 m, kr/tim	201	201	201	201	201	201	201	201
Traktor, 4 WD, 50 kW, kr/tim	332	332	332	332	332	332	332	332
Summa strängluftning, kr/tim	533	533	533	533	533	533	533	533
Kapacitet, ha/tim	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Kapacitet, ton/tim	8,05	8,05	8,05	8,05	8,05	8,05	8,05	8,05
Kostnad, kr/ton	66,22	66,22	66,22	66,22	66,22	66,22	66,22	66,22
Kostnad, kr/MWh	17,42	17,42	17,42	17,42	17,42	17,42	17,42	17,42
Om sker i 50% av fallen:								
Kostnad, kr/ton	33,11	33,11	33,11	33,11	33,11	33,11	33,11	33,11



	Stor fyrkantbal		Mellanstor fyrkantbal		Rundbal		Hackelse	
	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring
Kostnad, kr/MWh	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71	8,71
Total kostnad på fältet, kr/ton	149,86	149,86	149,86	149,86	149,86	149,86	149,86	149,86
Total kostnad på fältet, kr/MWh	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42	39,42
<u>Pressning/hackning:</u>								
Fyrkant-/rundbalspress/ fälthack <sup>a</sup> , kr/tim	1151	1151	943	943	347	347	1496	1496
Traktor, 4WD, 140 kW; 120 kW; 70 kW, kr/tim	539	539	491	491	378	378		
Summa pressning/hackning, kr/tim	1690	1690	1434	1434	725	725	1496	1496
Kapacitet, ton/tim	20	20	17	17	12	12	15	15
Kostnad, kr/ton	84,5	84,5	84,35	84,35	60,42	60,42	99,73	99,73
Kostnad, kr/MWh	22,23	22,23	22,19	22,19	15,89	15,89	26,23	26,23
<u>Ihopsamling av balar:</u>								
Lastmaskin, 6 ton, kr/tim	391	391	391	391	391	391		
Kapacitet, ton/tim	15	15	10	10	10	10		
Kostnad, kr/ton	26,07	26,07	39,10	39,10	39,10	39,10		
Kostnad, kr/MWh	6,86	6,86	10,28	10,28	10,28	10,28		
Lastning, transport, inlagring, km	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	0
Lastmaskin <sup>b</sup> , 6 ton / 9 ton, kr/tim	339,13	339,13	339,13	339,13	339,13	339,13	444,00	444,00
Teleskopplastare <sup>c</sup> , 5 el 7 m, kr/tim	329,04	355,00	329,04	355,00	329,04	355,00		
Traktor 80 kW; 80 kW; 80 kW; 70 kW <sup>d</sup> , kr/tim	279,96	279,96	262,79	262,79	262,79	262,79	351,17	359,46
Storbals-/grönfödervagn <sup>e</sup> , kr/tim	74,50	74,50	65,69	65,69	65,69	65,69	109,84	116,07
Summa, kr/tim	1731,55	1757,51	1653,60	1679,56	1653,60	1679,56	1827,04	1395,07
Kapacitet, ton/tim	30	30	16,15	16,15	13,85	13,85	15	15
Kostnad, kr/ton	57,72	58,58	102,37	103,97	119,43	121,30	121,80	93,00
Kostnad, kr/MWh	15,18	15,41	26,93	27,35	31,41	31,91	32,04	24,46
<u>Lagring, kontinuerligt uttag medför att lagerbyggnadskostnaden belastas med, % / Lagring utomhus medför lagringsförluster, %</u>								
lagerbyggnadskostnader/ lagerförluster, %	67	10	67	10	67	10	67	10
Lagerkostnad, kr/ton	201,12	16,92	201,12	22,74	262,24	22,08	455,88	19,27
Lagerkostnad, kr/MWh	52,90	4,45	52,90	5,98	68,98	5,81	119,91	5,07
Summa, bärgning - lagring, kr/MWh	136,59	88,36	151,72	105,22	165,99	103,31	217,60	95,19

<sup>a</sup> Stor fyrkantbalspress med snitt / mellanstor fyrkantbalspress med snitt / rundbalspress / självgående fälthack.

<sup>b</sup> Lastmaskin, 6 ton vid insamling av halmbalar / 9 ton vid inlagring av hackelse.

<sup>c</sup> Teleskopplastare, 5 m vid inlastning av balar i inomhuslager / 7 m vid avlastning av balar till utomhuslager.

<sup>d</sup> Traktorer, 3 st 80 kW vid insamling av halmbalar / 3 st 70 kW vid transport av hackelse till inomhuslager / 2 st 70 kW vid transport av hackelse till lager vid fältkant.

<sup>e</sup> Storbalsvagn (10-11 ton halm) / tippvagn (12 ton) med grönfoderutrustning vid inlagring av hackelse.

Tabell A11. Energianalys vid bärgning av halm samt lagring av denna inomhus eller utomhus vid olika bärgningsystem

	Stor fyrkantbal		Mellanstor fyrkantbal		Rundbal		Hackelse	
	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring
Inbesparad hackning, MJ/ha	-69,80	-69,80	-69,80	-69,80	-69,80	-69,80	-69,80	-69,80
<u>Strängläggning: ihopläggning av 2 strängar, antas ske i 50% av fallen:</u>								
Rotorsträngläggare, 7 m, bränsle, l/ha	3	3	3	3	3	3	3	3
Om sker i 50% av fallen:								
Bränsleförbrukning, l/ha	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Bränsleförbrukning, MJ/ha	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21
<u>Strängluftning: efter större regn, antas ske i 50% av fallen:</u>								
Strängluftare, 3 m, bränsle, l/ha	3	3	3	3	3	3	3	3
Om sker i 50% av fallen:								
Bränsleförbrukning, l/ha	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Bränsleförbrukning, MJ/ha	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21
<u>Pressning/hackning:</u>								
Fyrkants-/rundbalspress/fälthack <sup>a</sup> , bränsle, l/ha	12	12	12	12	7	7	9	9
Bränsleförbrukning, MJ/ha	449,69	449,69	449,69	449,69	262,32	262,32	337,27	337,27
<u>Ihopsamling av balar:</u>								
Lastmaskin, 6 ton, bränsleförbrukning, l/tim	6	6	6	6	6	6		
Kapacitet, ton/tim	15	15	10	10	10	10		
Bränsleförbrukning, l/ton	0,40	0,40	0,60	0,60	0,60	0,60		
Bränsleförbrukning, l/ha	1,46	1,46	2,20	2,20	2,20	2,20		
Bränsleförbrukning, MJ/ha	54,84	54,84	82,26	82,26	82,26	82,26		
<u>Lastning, transport, inlagring:</u>								
Lastmaskin <sup>b</sup> , 6 ton / 9 ton, l/tim	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	7	7
Teleskopplastare <sup>c</sup> , 5 el 7 m, l/tim	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61		
Traktor 80 kW; 80 kW; 80 kW; 70 kW <sup>d</sup> , med storbals-/grönfodervagn <sup>e</sup> , l/tim	3,69	3,69	2,84	2,84	2,84	2,84	11,15	11,79
Summa bränsleförbrukning, l/tim	19,00	19,00	16,47	16,47	16,47	16,47	40,46	30,57
Kapacitet, ton/tim	30,00	30,00	16,15	16,15	13,85	13,85	15,00	15,00
Bränsleförbrukning, l/ton	0,63	0,63	1,02	1,02	1,19	1,19	2,70	2,04
Bränsleförbrukning, l/ha	2,32	2,32	3,73	3,73	4,35	4,35	9,87	7,46
Lastmaskin <sup>b</sup> , 6 ton / 9 ton, MJ/ha	19,77	19,77	36,72	36,72	42,84	42,84	63,98	63,98
Teleskopplastare <sup>c</sup> , 5 el 7 m, MJ/ha	16,48	16,48	30,60	30,60	35,70	35,70		
Traktor 80 kW; 80 kW; 80 kW; 70 kW <sup>d</sup> , med storbals-/grönfodervagn <sup>e</sup> , MJ/ha	50,59	50,59	72,43	72,43	84,51	84,51	305,82	215,44
Summa bränsleförbrukning, MJ/ha	86,85	86,85	139,76	139,76	163,05	163,05	369,80	279,42
<u>Lagring, lagring utomhus medför lagringsförluster lika med energiförluster.</u>								
Lagerförluster (10%), MJ/ha		4846,39		4846,39		4846,39		4846,39
Summa, bärgning - lagring, MJ/ha	703,80	5550,18	784,13	5630,51	620,05	5466,44	819,48	5575,50

	Stor fyrkantbal		Mellanstor fyrkantbal		Rundbal		Hackelse	
	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring
om halmhackning räknas bort, MJ/ha	633,99	5480,38	714,32	5560,71	550,25	5396,63	749,68	5505,69

<sup>a</sup> Stor fyrkantbalspress med snitt / mellanstor fyrkantbalspress med snitt / rundbalspress / självgående fälthack.

<sup>b</sup> Lastmaskin, 6 ton vid insamling av halmbalar / 9 ton vid inlagring av hackelse.

<sup>c</sup> Teleskopplastare, 5 m vid inlastning av balar i inomhuslager / 7 m vid avlastning av balar till utomhuslager.

<sup>d</sup> Traktorer, 3 st 80 kW vid insamling av halmbalar / 3 st 70 kW vid transport av hackelse till inomhuslager / 2 st 70 kW vid transport av hackelse till lager vid fältkant.

<sup>e</sup> Storbalsvagn (10-11 ton halm) / tippvagn (12 ton) med grönfoderutrustning vid inlagring av hackelse.

Upptagningsarean till halmlagret som rymmer 500 ton halm med 18%:s vattenhalt (410 ton ts) kan beräknas om halmavkastningen är känd. Det vill säga att vid en halmavkastning på 3 ton ts/ha behövs halm från 136,7 ha för att fylla lagret. Om halmen antas bärgas från 10% av marken på ett cirkulärt område runt lagret kan den genomsnittliga transportsträckan till lagret beräknas om värdet hos en slingerfaktor antas. Dessa värden kan sedan utnyttjas för beräkning av utnyttjandegrad av lastare, traktorer m m till de ekonomiska beräkningarna och energibalanserna. Det genomsnittliga transportavståndet (ekvation A6) (Overend, 1982) kan härledas från ekvationerna A2-A5 nedan:

Där den genomsnittliga transportsträckan till lagret är:

$$\bar{R} = \frac{2}{3} * R * \tau \quad (A2)$$

där

$$R = \sqrt{\frac{n * A}{\pi}} \text{ (km)} \quad (A3)$$

och

$$A = \frac{p * 330 \text{ (dagar)}}{100 * M * \phi} = \frac{P}{100 * M * \phi} \quad (A4)$$

och

$$p = \frac{A_{\text{gröda}} * M}{330} \quad (A5)$$

vilket ger:

$$\bar{R} = \frac{2}{3} * \tau * \sqrt{\frac{n}{\phi} * \frac{A_{\text{gröda}}}{\pi * 100}} \quad (A6)$$

där:

R = Radien hos det studerade området (km).

$\bar{R}$  = Genomsnittligt transportavstånd (km). I den här studien beräknat till 2,25 km.

$\tau$  = Slingerfaktor d v s förhållandet mellan den aktuella transportsträckan och en rät linje till det aktuella målet, här halmlagret. Har i den här studien antagits vara 1,4.

$n$  = Vid antagande om att skördeområdet kan delas upp i 'fårbitar' med lagret i dessas spetsiga ände, är  $n$  det antal fårbitar som behövs för att en cirkel ska erhållas. I den här studien har  $1/n$  antagits vara lika med 0,75.

$A$  = Areal ( $\text{km}^2$ ).

$A_{\text{gröda}}$  = Areal med den studerade grödan, här halmen (ha). I den här studien 136,7 ha.

$\emptyset$  = Andel av arean  $A$  där den aktuella grödan, här halmen, ska bärgas. I denna studie antagen vara 10%, dvs 0,1.

$M$  = Avkastning (skörd) ( $\text{ton} / (\text{ha} * \text{år})$ ).

$p$  = Lagrets storlek ( $\text{ton} / \text{dag}$ ).

$P$  = Lagrets storlek ( $\text{ton} / \text{år}$ ).

Tabell A12. Beräkning av utnyttjandegrad av lastare, traktorer m m till de ekonomiska beräkningarna och energibalanserna

Typ av bärgningssystem:	Stora fyrkantbalar	Mellanstora fyrkantbalar	Rundbalar	Hackelse inomhus	Hackelse utomhus
Avstånd från fältkant till lager <sup>a</sup> , km	2,25	2,25	2,25	2,25	0
Antal balar/kubikmeter hackelse vagnen lastar, st / $\text{m}^3$	20	30	30	35	35
Densitet hackelse, $\text{kg}/\text{m}^3$				100	100
Lassvikt, ton				3,5	3,5
Kapacitet hack, ton/timme				15	15
Tid för lastning, min	15	22,5	22,5	14	14
Andel av lastningstid som traktorn är i rörelse, %	50	50	50		
Körhastighet i fält, km/tim	10	10	10	10	10
Avstånd i fält <sup>b</sup> , km	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Tid för fälttransport, min	3	3	3	3	6
Avstånd vägtransport <sup>c</sup> , km	2,25	2,25	2,25	2,25	0
Körhastighet på väg, km/tim	20	20	20	20	20
Tid för vägtransport, min	6,74	6,74	6,74	6,74	0
Tid för avlastning, min	15	22,5	22,5		
Kapacitet lastmaskin vid inlagring, ton/timme				15	15
Tid för inlagring av ett lass, min				14	14
Tid för avtippning av ett lass, min				5	5
Tid för returresa, min	6,74	6,74	6,74	6,74	0
Total tid, min	46,49	61,49	61,49	35,49	25
varav körtid för traktorn, min	23,99	27,74	27,74		
antal gånger lastningstiden	3,10	2,73	2,73	2,53	1,79
Kapacitet transport, ton/timme	13,42	8,20	7,03	5,92	8,4
med antal traktorer, st	3	3	3	3	2
kapacitet, ton/timme	40,27	24,59	21,08	17,75	16,80
Kapacitet lastare, ton/timme	41,6	22,4	19,2		
Antagen kapacitet, ton/timme	30	16,15	13,85		
Utnyttjandegrad hack, %				100	100
Utnyttjandegrad lastare / lastmaskin inlagring, %	72,12	72,12	72,12	100	100
Utnyttjandegrad traktorer, %	74,50	65,69	65,69	84,49	89,29
körtid traktorer, % av total tid	38,44	29,63	29,63		

<sup>a</sup> Avståndet från fältkant till lager har beräknats med Overends formel (Overend, 1982).

<sup>b</sup> Vid transport av hackelse till utomhuslager, antas detta ligga vid fältkanten, på vändtegen, placerat så att transportsträckan i fält blir ungefär fördubblad jämfört med då hackelse lagras inomhus och bara transporteras till väggkanten på fältet.

<sup>c</sup> Gäller avstånd från fältkant till lager.

## BILAGA 6. RÖRFLEN

Skörden av rörfilen har antagits vara på 5,00 ton ts/ha, vilket med en vattenhalt på 14% motsvarar en rörfilensskörd på 5,81 ton/ha.

Rörfilens effektiva värmevärde är 17 660 MJ/ton torrt askfritt bränsle (Strömberg, 2005), vilket med 5,9% aska ger det effektiva värmevärdet 16 618 MJ/ton ts och vid ovan angiven vattenhalt 13 950 MJ/ton rörfilen. Kostnader (kr/MWh) i tabellerna nedan baseras på rörfilens effektiva värmevärde per ton torrs substans.

Då rörfilen är en flerårig gröda måste multiplikation med en faktor ske för beräkning av den genomsnittliga årliga kostnaden för de olika produktionsfaktorerna då hänsyn till ränteeffekter och nuvärde måste tas. Faktorn anges i ekvation A7. Faktorerna består av nuvärdefaktorn multiplicerad med annuitetsfaktorn (Rosenqvist, 1997). Genom att addera faktorerna för de år man vill ha faktorn för, kan man få fram en faktor för ett flertal år. Denna faktor multipliceras i sin tur med det aktuella penningbeloppet.

$$\frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \sum_{t=0}^T (1 + r)^{-t} A_t \quad (\text{A7})$$

där: t = år då in- eller utbetalningen inträffar,  
n = kalkylperiodens längd uttryckt i år, för rörfilen 8 år,  
r = real kalkylränta, här 0,05 då kalkylräntan valts till 5%,  
T = tidsperiod under vilken in- och utbetalningar inträffar,  
A = reala in- och utbetalningar för året som de sker.

Tabell A13. Kostnads- och energikalkyl för rörfilensodling

Produktionsfaktor	Mängd	Pris, kr/ mängdenhet	Kostnad, kr/ha	Faktor	Slutkostnad, kr/ha	Behov av energi per arbetsmoment	Energi, MJ/ha o år
Utsäde <sup>a</sup> år 1, kg	15	55	825,00	0,1474	121,57		6,47 (1 år av 8)
Ogräsmedel <sup>b</sup> MCPA750 år 1, liter	0	60	0,00	0,1474	0,00		0
Gödsel <sup>c</sup> N år 1, kg	40	17,16	686,40	0,1474	101,14		201,5
Gödsel <sup>c</sup> N år 2, kg	100	17,16	1716,00	0,1403	240,82		503,75
Gödsel <sup>c</sup> N år 3...8, kg	50	17,16	858,00	0,7123	611,16		1511,25
Gödsel <sup>c</sup> P år 1 och 2, kg	14	18,15	254,10	0,2877	73,10		27,27
Gödsel <sup>c</sup> P år 3...8, kg	5	18,15	90,75	0,7123	64,64		29,22
Gödsel <sup>c</sup> K år 1, kg	50	3,61	180,50	0,1474	26,60		34,63
Gödsel <sup>c</sup> K år 2, kg	80	3,61	288,80	0,1403	40,53		55,41
Gödsel <sup>c</sup> K år 3...8, kg	20	3,61	72,20	0,7123	51,43		83,12
Arbete och maskiner:							
Harv, bogserad 10 m, kr/tim		432				7 l diesel/ha	
Traktor, 4 WD, 140 kW, kr/tim		539				37,47 MJ/l diesel	
Summa harvning år 1, kr/tim		971				262,32 MJ/ha	
Kapacitet, ha/tim		6					
Harvning år 1, ggr	2	161,83	323,67	0,1474	47,69		32,79 (1 år av 8)
Bogserad såmaskin 4600 l, 8 m, kr/tim		613				4 l diesel/ha	
Traktor, 4 WD, 120 kW, kr/tim		491				37,47 MJ/l diesel	
Summa harvning år 1, kr/tim		1104				149,90 MJ/ha	
Kapacitet, ha/tim		4,6					
Sådd år 1, ggr	1	240	240,00	0,1474	35,36		18,74 (1 år av 8)

Produktionsfaktor	Mängd	Pris, kr/ mängdenhet	Kostnad, kr/ha	Faktor	Slutkostnad, kr/ha	Behov av energi per arbetsmoment	Energi, MJ/ha o år
Bogserad spruta <sup>b</sup> , 3500 l, 24 m, kr/tim		559					
Traktor, 4 WD, 60 kW, kr/tim		354					
Summa sprutning år 1, kr/tim		913					
Kapacitet, ha/tim		7					
Sprutning år 1, ggr	0	130,43	0,00	0,1474	0,00		0,00
Vält, ca 12 m, kr/tim		435				4	1 diesel/ha
Traktor, 4 WD, 80 kW, kr/tim		195				37,47	MJ/l diesel
Summa vältning år 1, kr/tim		630				149,90	MJ/ha
Kapacitet, ha/tim		6					
Vältning år 1, ggr	2	105	210,00	0,1474	30,94		18,74 (1 år av 8)
Tungt tallriksredskap, 5,4 m, kr/tim		285					
Traktor, 4 WD, 100 kW, kr/tim		446					
Summa tallriksskumplöjning år 9, kr/tim		731					
Kapacitet, ha/tim		2,3					
Tallriksskumplöjning år 9, ggr	0	317,83	0,00	0,0997	0,00		0,00
Växelplog 7 skärig, delburen, variabel bredd, kr/tim		404				21	1 diesel/ha
Traktor, 4 WD, 140 kW, kr/tim		539				37,47	MJ/l diesel
Summa plöjning år 9, kr/tim		943				786,95	MJ/ha
Kapacitet, ha/tim		1,4					
Plöjning år 9, ggr	1	673,57	673,57	0,0997	67,18		98,37 (1 år av 8)
Handelsgödselspridare, 4000 l, 12 m ramp, bogs., styrdator, kr/tim		413				0,75	
Traktor, 4 WD, 60 kW, kr/tim		354				37,47	
Summa handelsgödselspridning år 1...8, kr/tim		767				28,11	
Kapacitet, ha/tim		5					
Handelsgödselspridning år 1...8, ggr	1	153,4	153,40	1	153,40		28,11 (8 år av 8)
Rotorslättermaskin 2,8 m, kr/tim		176				4,5	1 diesel/ha
Traktor, 4 WD, 70 kW, kr/tim		378				37,47	MJ/l diesel
Summa huggning, kr/tim		554				168,63	MJ/ha
Kapacitet, ha/tim		2					
Huggning år 3...9, ggr	1	277	277,00	0,8120	224,94		147,55 (7 år av 8)
Tillsyn, adm. år 1...8, tim	1	205	205,00	1	205,00		
Arrende, markhyra år 1...8, kr/år	0	0	0,00	1	0,00		
Gemensamma företagskostnader år 1...8, kr/ha	1	95	95,00	1	95,00		
Summa kostnader till sträng på fältet, kr/ha / Summa energi till sträng på fältet, MJ/ha					2190,51		2796,91
Summa kostnader till sträng på fältet, kr/ton ts					500,69		
Summa kostnader till sträng på fältet, kr/MWh (mätt på torrsbstans)					108,46		
Summa kostnader till sträng på fältet, kr/ton					430,59		
Summa kostnader till sträng på fältet, kr/MWh					111,12		

<sup>a</sup> Energiåtgång för utsädesproduktion, se diskussion nedan.

<sup>b</sup> Ogräsmedel används ej i detta exempel, därför inga kostnader och inget energibehov för bekämpningsmedel och sprutning.

<sup>c</sup> Källa: kostnader gödselmedel i kalkyl Timotej (Agriwise, 2007).

### Diskussion: Energiåtgång för utsädesproduktion

Utsäde: energiåtgång under antagande om att huggningen ersätts med tröskning och erhållet frö transporteras hem och torkas.

Fröskörd: 200 kg/ha källa uppskattat genomsnitt efter skörd av sorten Palaton i Finland (Pahkala m fl, 2003).

Tröskning: 20 l diesel/ha = 749,48 MJ bränsle/ha (de Toro, pers medd, 2007).

Hemtransport:

Traktor, 50 kW, 4WD: 9,5 l/tim.

Vikt frö per transport: (1 ton) 1000 kg = frö från 5 ha.

Avstånd: 10 km.

Hastighet: 20 km/tim.

Tidsåtgång: 0,5 tim.

Bränsleåtgång: 4,75 liter = 178,00 MJ = 35,60 MJ/ha.

Torkning från 20% till 14% vattenhalt:

Tusenkovnvikt: 0,9 g (Pahkala m fl, 2003) att jämföra med spannmål: 40 g, och höstraps: 5 g (Bingefors m fl, 1978) tyder på att energiåtgången för torkningen bör ligga mer i närheten av oljevaxter än spannmål. Därför blir torkningsenergin: 0,15 liter dieselolja MK3 per kg borttorkat vatten i en varmluftstork. För små frön från oljevaxter blir värmeåtgången 10-15% lägre (Bernesson, 1993), detsamma antas gälla för rörflensfrö.

Värmeåtgången vid torkning av rörflen blir därför: 87,5% av den vid torkning av spannmål, d v s 0,13125 liter dieselolja MK3 per kg borttorkat vatten.

Effektivt värmevärde MK3: 42,8 MJ/kg (SMP, 1993); densitet: 0,826 kg/l (SMP, 1993);

1,06 MJ/MJ MK1 diesel (Uppenberg m fl, 2001) (antas samma för MK1 och MK3); ger: 37,47 MJ/l.

Vilket betyder att energiåtgången blir: 4,92 MJ/kg borttorkat vatten.

Mängd borttorkat vatten om antar att fröskörden: 200 kg/ha gäller för frö med: 14% vatten.

Detta frö innehåller: 28 kg vatten och 172 kg torrs substans.

Frö med 20% vatten innehåller 172 kg torrs substans och 43 kg vatten med en totalvikt på: 215 kg.

Antal kg vatten som ska torkas bort: 15 kg vilket motsvarar: 73,78 MJ/ha.

Total energiåtgång till ett hektar rörflen för tröskning och omhändertagande av fröet: 858,86 MJ/ha.

Bortgår gör energin för huggning av rörflen: 168,63 MJ/ha.

Kvar blir då för fröet: 690,22 MJ/ha.

Vid sådd av 15 kg frö/ha motsvarar detta: 7,5% av skörden från ett hektar, frö måste skördas vart 13,33:e år, alltså: 51,77 MJ/ha i form av utsäde i extra energiåtgång för omhändertagande. Vid sådd vart 8:e år motsvarar detta 6,47 MJ/ha.

Tabell A14. Ekonomi vid bärgning av rörfen samt lagring av denna inomhus eller utomhus vid olika bärgningssystem

	Stor fyrkantbal		Mellanstor fyrkantbal		Rundbal		Hackelse	
	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring
<u>Pressning/hackning:</u>								
Fyrkants-/rundbalspress/fälthack <sup>a</sup> , kr/tim	1151	1151	943	943	347	347	1496	1496
Traktor, 4WD, 140 kW; 120 kW; 70 kW, kr/tim	539	539	491	491	378	378		
Summa pressning/hackning, kr/tim	1690	1690	1434	1434	725	725	1496	1496
Kapacitet <sup>b</sup> , ton/tim	19	19	16	16	11	11	14	14
Kostnad, kr/ton	88,9	88,9	89,6	89,6	65,9	65,9	106,9	106,9
Kostnad, kr/MWh	22,41	22,41	22,58	22,58	16,60	16,60	26,92	26,92
Faktor	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120
Kostnad korrigerad för år 3...9, kr/MWh	18,19	18,19	18,33	18,33	13,48	13,48	21,86	21,86
<u>Ihopsamling av balar:</u>								
Lastmaskin, 6 ton, kr/tim	391	391	391	391	391	391		
Kapacitet <sup>c</sup> , ton/tim	16,5	16,5	11,0	11,0	11,0	11,0		
Kostnad, kr/ton	23,70	23,70	35,55	35,55	35,55	35,55		
Kostnad, kr/MWh	5,97	5,97	8,95	8,95	8,95	8,95		
Faktor	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120		
Kostnad korrigerad för år 3...9, kr/MWh	4,85	4,85	7,27	7,27	7,27	7,27		
<u>Lastning, transport, inlagring:</u>								
km	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74	0,00
Lastmaskin <sup>d</sup> , 6 ton / 9 ton, kr/tim	339,13	339,13	339,13	339,13	339,13	339,13	428,07	428,07
Teleskoplastare <sup>e</sup> , 5 el 7 m, kr/tim	329,04	355,00	329,04	355,00	329,04	355,00		
Traktor 80 kW; 80 kW; 80 kW; 70 kW <sup>f</sup> , kr/tim	270,46	270,46	256,45	256,45	256,45	256,45	333,58	354,93
Storbals-/grönfodervagn <sup>g</sup> , kr/tim	69,63	69,63	62,44	62,44	62,44	62,44	96,62	112,67
Summa, kr/tim	1688,43	1714,39	1624,86	1650,82	1624,86	1650,82	1718,69	1363,27
Kapacitet <sup>e</sup> , ton/tim	33,00	33,00	17,77	17,77	15,23	15,23	14,00	14,00
Kostnad, kr/ton	51,16	51,95	91,44	92,90	106,68	108,39	122,76	97,38
Kostnad, kr/MWh	12,89	13,09	23,03	23,40	26,87	27,30	30,92	24,53
Faktor	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120
Kostnad korrigerad för år 3...9, kr/MWh	10,47	10,63	18,70	19,00	21,82	22,17	25,11	19,92
Lagring, kontinuerligt uttag medför att lagerbyggnadskostnaden belastas med, % / Lagring utomhus medför lagringsförluster, %								
lagerbyggnadskostnader/lagerförluster, %	67	10	67	10	67	10	67	10
Lagerkostnad, kr/ton	182,84	16,46	182,84	21,81	238,40	20,98	455,88	20,42
Lagerkostnad, kr/MWh	46,06	4,15	46,06	5,49	60,05	5,29	114,83	5,14
Faktor	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120	0,8120
Kostnad korrigerad för år 3...9, kr/MWh	37,40	3,37	37,40	4,46	48,76	4,29	93,25	4,18
Summa, bärgning - lagring, kr/MWh	179,37	145,50	190,17	157,53	199,80	155,68	248,68	154,42

<sup>a</sup> Stor fyrkantbalspress med snitt / mellanstor fyrkantbalspress med snitt / rundbalspress / självgående fälthack.

<sup>b</sup> Antag 1 ton/tim lägre än för halm p g a att materialet ej strängläggs före pressning och hackning mm för rörfen.

<sup>c</sup> Ihopsamling av balar, antag 10% större kapacitet än för halm p g a 10% högre densitet i balarna som därmed blir 10% tyngre.



<sup>d</sup> Lastmaskin, 6 ton vid insamling av rörlensbalar / 9 ton vid inlagring av hackelse.

<sup>e</sup> Teleskoplastare, 5 m vid inlastning av balar i inomhuslager / 7 m vid avlastning av balar till utomhuslager.

<sup>f</sup> Traktorer, 3 st 80 kW vid insamling av rörlensbalar / 3 st 70 kW vid transport av hackelse till inomhuslager / 2 st 70 kW vid transport av hackelse till lager vid fältkant.

<sup>g</sup> Storbalsvagn (10-11 ton rörlens) / tippvagn (12 ton) med grönfoderutrustning vid inlagring av hackelse.

Tabell A15. Energianalys vid bärgning av rörlens samt lagring av denna inomhus eller utomhus vid olika bärgningssystem

	Stor fyrkantbal		Mellanstor fyrkantbal		Rundbal		Hackelse	
	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring
<u>Pressning/hackning:</u>								
Fyrkants-/rundbalspress/fälthack <sup>a</sup> , bränsle, l/ha	12	12	12	12	7	7	9	9
Bränsleförbrukning, MJ/ha	393,48	393,48	393,48	393,48	229,53	229,53	295,11	295,11
<u>Ihopsamling av balar:</u>								
Lastmaskin, 6 ton, bränsleförbrukning, l/tim	6	6	6	6	6	6		
Kapacitet, ton/tim	16,50	16,50	11,00	11,00	11,00	11,00		
Bränsleförbrukning, l/ton	0,36	0,36	0,55	0,55	0,55	0,55		
Bränsleförbrukning, l/ha	2,11	2,11	3,17	3,17	3,17	3,17		
Bränsleförbrukning, MJ/ha	69,32	69,32	103,98	103,98	103,98	103,98		
<u>Lastning, transport, inlagring:</u>								
Lastmaskin <sup>b</sup> , 6 ton / 9 ton, l/tim	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	6,53	6,53
Teleskoplastare <sup>c</sup> , 5 el 7 m, l/tim	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61		
Traktor 80 kW; 80 kW; 80 kW; 70 kW <sup>d</sup> , med storbals-/grönfodervagn <sup>e</sup> , l/tim	3,22	3,22	2,53	2,53	2,53	2,53	9,81	11,44
Summa bränsleförbrukning, l/tim	17,60	17,60	15,53	15,53	15,53	15,53	35,97	29,41
Kapacitet, ton/tim	33,00	33,00	17,77	17,77	15,23	15,23	14,00	14,00
Bränsleförbrukning, l/ton	0,53	0,53	0,87	0,87	1,02	1,02	2,57	2,10
Bränsleförbrukning, l/ha	3,10	3,10	5,08	5,08	5,93	5,93	14,94	12,21
Lastmaskin <sup>b</sup> , 6 ton / 9 ton, MJ/ha	25,00	25,00	46,42	46,42	54,16	54,16	88,96	88,96
Teleskoplastare <sup>c</sup> , 5 el 7 m, MJ/ha	20,83	20,83	38,68	38,68	45,13	45,13		
Traktor 80 kW; 80 kW; 80 kW; 70 kW <sup>d</sup> , med storbals-/grönfodervagn <sup>e</sup> , MJ/ha	55,85	55,85	81,53	81,53	95,11	95,11	400,79	311,56
Summa bränsleförbrukning, MJ/ha	101,68	101,68	166,63	166,63	194,41	194,41	489,76	400,52
<u>Lagring, lagring utomhus medför lagringsförluster lika med energiförluster.</u>								
Lagerförluster (10%), MJ/ha		7096,44		7096,44		7096,44		7096,44
Summa, bärgning - lagring, MJ/ha	564,48	7660,92	664,09	7760,54	527,92	7435,89	784,87	7792,07

<sup>a</sup> Stor fyrkantbalspress med snitt / mellanstor fyrkantbalspress med snitt / rundbalspress / självgående fälthack.

<sup>b</sup> Lastmaskin, 6 ton vid insamling av rörlensbalar / 9 ton vid inlagring av hackelse.

<sup>c</sup> Teleskoplastare, 5 m vid inlastning av balar i inomhuslager / 7 m vid avlastning av balar till utomhuslager.

<sup>d</sup> Traktorer, 3 st 80 kW vid insamling av rörlensbalar / 3 st 70 kW vid transport av hackelse till inomhuslager / 2 st 70 kW vid transport av hackelse till lager vid fältkant.

<sup>e</sup> Storbalsvagn (10-11 ton rörlens) / tippvagn (12 ton) med grönfoderutrustning vid inlagring av hackelse.

Upptagningsarean till röflenslagret som rymmer 477 ton röflen med 14%:s vattenhalt (410 ton ts) kan beräknas om röflensavkastningen är känd. Det vill säga att vid en röflensavkastning på 5 ton ts/ha behövs röflen från 82,0 ha för att fylla lagret. Om röflenen antas odlas på 10% av marken ett cirkulärt område runt lagret kan den genomsnittliga transportsträckan till lagret beräknas om värdet hos en slingerfaktor antas. Dessa värden kan sedan utnyttjas för beräkning av utnyttjandegrad av lastare, traktorer m m till de ekonomiska beräkningarna och energibalanserna. Denna ekvation (Overend, 1982) presenteras i bilaga 5: Halmbärgning. Det genomsnittliga transportavståndet vid bärgning av röflen med samma förutsättningar som vid bärgning av halmen blev 1,74 km.

Tabell A16. Beräkning av utnyttjandegrad av lastare, traktorer m m till de ekonomiska beräkningarna och energibalanserna

Typ av bärgningssystem:	Stora fyrkantbalar	Mellanstora fyrkantbalar	Rundbalar	Hackelse inomhus	Hackelse utomhus
Avstånd från fältkant till lager <sup>a</sup> , km	1,74	1,74	1,74	1,74	0
Antal balar/kubikmeter hackelse vagnen lastar, st / m <sup>3</sup>	20	30	30	35	35
Densitet hackelse, kg/m <sup>3</sup>				100	100
Lassvikt, ton				3,5	3,5
Kapacitet hack, ton/timme				14	14
Tid för lastning, min	15	22,5	22,5	15	15
Andel av lastningstid som traktorn är i rörelse, %	50	50	50		
Körhastighet i fält, km/tim	10	10	10	10	10
Avstånd i fält <sup>b</sup> , km	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Tid för fälttransport, min	3	3	3	3	6
Avstånd vägtransport <sup>c</sup> , km	1,74	1,74	1,74	1,74	0
Körhastighet på väg, km/tim	20	20	20	20	20
Tid för vägtransport, min	5,22	5,22	5,22	5,22	0
Tid för avlastning, min	15	22,5	22,5		
Kapacitet lastmaskin vid inlagring, ton/timme				15	15
Tid för inlagring av ett lass, min				14	14
Tid för avtippning av ett lass, min				5	5
Tid för returresa, min	5,22	5,22	5,22	5,22	0
Total tid, min	43,45	58,45	58,45	33,45	26
varav körtid för traktorn, min	20,95	24,70	24,70		
antal gånger lastningstiden	2,90	2,60	2,60	2,23	1,73
Kapacitet transport, ton/timme	15,80	9,49	8,13	6,28	8,08
med antal traktorer, st	3	3	3	3	2
kapacitet, ton/timme	47,40	28,46	24,39	18,84	16,15
Kapacitet lastare, ton/timme	45,76	24,64	21,12		
Antagen kapacitet, ton/timme	33	17,77	15,23		
Utnyttjandegrad hack, %				100	100
Utnyttjandegrad lastare / lastmaskin inlagring, %	72,12	72,12	72,12	93,33	93,33
Utnyttjandegrad traktorer, %	69,63	62,44	62,44	74,33	86,67
körtid traktorer, % av total tid	33,57	26,39	26,39		

<sup>a</sup> Avståndet från fältkant till lager har beräknats med Overends formel (Overend, 1982).

<sup>b</sup> Vid transport av hackelse till utomhuslager, antas detta ligga vid fältkanten, på vändtegen, placerat så att transportsträckan i fält blir ungefär fördubblad jämfört med då hackelse lagras inomhus och bara transporteras till vägkanten på fältet.

<sup>c</sup> Gäller avstånd från fältkant till lager.

## BILAGA 7. HAMPA

Skörden av hampa har antagits vara på 6,00 ton ts/ha, vilket med en vattenhalt på 12% motsvarar en hampskörd på 6,82 ton/ha.

Hampans effektiva värmevärde är 19 000 MJ/ton torrt askfritt bränsle (Strömberg, 2005), vilket med 4% aska ger det effektiva värmevärdet 18 240 MJ/ton ts och vid ovan angiven vattenhalt 15 758 MJ/ton hampa. Kostnader (kr/MWh) i tabellerna nedan baseras på hampans effektiva värmevärde per ton torrsbstans.

Tabell A17. Kostnads- och energikalkyl för hampodling

Produktionsfaktor	Mängd	Pris, kr/ mängdenhet	Kostnad, kr/ha	Behov av energi per arbetsmoment	Energi, MJ/ha
Utsäde <sup>a</sup> , kg	20	60	1200		32,56
Gödsel <sup>b</sup> N, kg	100	9,33	933		4030,00
Gödsel <sup>b</sup> P, kg	15	18,1	271,5		116,87
Gödsel <sup>b</sup> K, kg	30	3,53	105,9		166,24
Arbete och maskiner:					
Harv, bogserad 10 m, kr/tim		432		7 l diesel/ha	
Traktor, 4 WD, 140 kW, kr/tim		539		37,47 MJ/l diesel	
Summa harvning, kr/tim		971			
Kapacitet, ha/tim		6			
Harvning, ggr	2	161,83	323,67		262,32
Bogserad såmaskin 4600 l, 8 m, kr/tim		613		4 l/ha	
Traktor, 4 WD, 120 kW, kr/tim		491		37,47 MJ/l diesel	
Summa harvning, kr/tim		1104			
Kapacitet, ha/tim		4,6			
Sådd, ggr	1	240,00	240,00		149,90
Vält, ca 12 m, kr/tim		435		2 l/ha	
Traktor, 4 WD, 80 kW, kr/tim		195		37,47 MJ/l diesel	
Summa vältning, kr/tim		630			
Kapacitet, ha/tim		6			
Vältning, ggr	1	105,00	105,00		74,95
Handelsgödselspridare, 4000 l, 12 m ramp, bogs., styrdator, kr/tim		413		0,75 l/ha	
Traktor, 4 WD, 60 kW, kr/tim		354		37,47 MJ/l diesel	
Summa handelsgödselspridning, kr/tim		767			
Kapacitet, ha/tim		5			
Handelsgödselspridning, ggr	1	153,40	153,40		28,11
Tungt tallriksredskap, 5,4 m, kr/tim		285			
Traktor, 4 WD, 100 kW, kr/tim		446			
Summa tallriksskumplöjning, kr/tim		731			
Kapacitet, ha/tim		2,3			
Tallriksskumplöjning, ggr	0	317,83	0		
Växelplog 7 skårig, delburen variabel bredd, kr/tim		404		21 l/ha	
Traktor, 4 WD, 140 kW, kr/tim		539		37,47 MJ/l diesel	
Summa plöjning, kr/tim		943			
Kapacitet, ha/tim		1,4			
Plöjning, ggr	1	673,57	673,57		786,95
Tillsyn, administration, tim	1	205	205		
Gemensamma företagskostnader, kr/ha	1	95	95		
Summa kostnader odling, kr/ha / Summa energi odling, MJ/ha			4306,04		5647,89
Summa kostnader odling, kr/ton ts			717,67		

Produktionsfaktor	Mängd	Pris, kr/ mängdenhet	Kostnad, kr/ha	Behov av energi per arbetsmoment	Energi, MJ/ha
Summa kostnader odling, kr/MWh (mätt på torrsubstans)			141,65		
Summa kostnader odling, kr/ton			631,55		
Summa kostnader odling, kr/MWh hampa			144,28		

<sup>a</sup> Energiåtgång för utsädesproduktion, se diskussion nedan.

<sup>b</sup> Källa: kostnader gödselmedel i kalkyl Vårkorn SS 2008 (Agriwise, 2007).

### Diskussion: Energiåtgång för utsädesproduktion

Utsäde: energiåtgång under antagande tröskning kan ske vid en tidigare skörd och erhållet frö transporteras hem och torkas.

Fröskörd: 1 000 kg/ha källa: uppskattat efter Bócsa & Karus (1998); fröskörd som i bästa fall. Tröskning: 20 l diesel/ha = 749,48 MJ bränsle/ha (bränsleförbrukning efter de Toro, pers medd, 2007). Antag att inkluderar tröskning med reparbord och senare sällning och rensning av fröet.

Hemtransport:

Traktor, 50 kW, 4WD, med bränsleförbrukning: 9,5 l/tim.

Vikt frö: 5 000 kg, d v s från 5 ha då rensat, (vid hemtransport dock fuktigt och orensat).

Avstånd: 10 km.

Hastighet: 20 km/tim.

Tidsåtgång: 0,5 tim.

Bränsleåtgång: 4,75 liter = 178,00 MJ = 35,60 MJ/ha.

Torkas från 20% vattenhalt till 8% vattenhalt:

Tusenkorntvikt: 17,5 g (15-20 g) att jämföras med spannmål: 40 g, och höstraps: 5 g tyder på att energiåtgången för torkningen bör ligga mer i närheten av spannmål än för oljeväxter. (Källa (hampa): Bócsa & Karus, 1998.; Källa (spannmål och oljeväxter): Bingefors m fl, 1978). Därför blir torkningsenergin: 0,15 liter dieselolja MK3 per kg borttorkat vatten vid torkning i en varmluftstork (Bernesson, 1993).

Värmeåtgången vid torkning av hampa blir därför: 0,15 liter dieselolja MK3 per kg borttorkat vatten.

Effektivt värmevärde MK3: 42,8 MJ/kg (SMP, 1993); densitet: 0,826 kg/l (SMP, 1993); 1,06 MJ/MJ MK1 diesel (Uppenberg m fl, 2001) (antas samma för MK1 och MK3); ger: 37,47 MJ/l.

Vilket betyder att energiåtgången blir: 5,62 MJ/kg borttorkat vatten.

Mängd borttorkat vatten om antar att fröskörden: 1000 kg/ha gäller för frö med: 8% vatten.

Detta frö innehåller: 80 kg vatten och 920 kg torrsubstans frö.

Frö med 20% vatten innehåller 920 kg torrsubstans och 230 kg vatten med en totalvikt på: 1150 kg.

Antal kg vatten som ska torkas bort: 150 kg vilket motsvarar: 843,16 MJ/ha.

Total energiåtgång till ett hektar hampa för tröskning och omhändertagande av fröet: 1628,24 MJ/ha.

Vid sådd av 20 kg frö/ha motsvarar detta: 2% av skörden från ett hektar; frö måste således sköras vart 50:e år. Alltså blir energiåtgången 32,56 MJ/ha för omhändertagande av utsädet med antaganden enligt ovan. Övriga delar av plantan skulle kunna gå till energi då fröet tagits om hand, och därför belastas ej utsädeskalkylen med odlingskalkylens övriga delar.

Tabell A18. Ekonomi vid bärgning av hampa samt lagring av denna inomhus eller utomhus vid olika bärgningssystem

	Stor fyrkantbal		Mellanstor fyrkantbal		Rundbal		Hackelse	
	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring
<u>Slätter:</u>								
Slättermaskin med dubbelkniv (2,8 m) antag kostnad som rotorslättermaskin, kr/tim	176	176	176	176	176	176		
Traktor, 4 WD, 50 kW, kr/tim	332	332	332	332	332	332		
Summa slätter, kr/tim	508	508	508	508	508	508		
Kapacitet (antag hälften mot rörflen), ha/tim	1	1	1	1	1	1		
Kapacitet, ton/tim	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82		
Kostnad, kr/ton	74,51	74,51	74,51	74,51	74,51	74,51		
Kostnad, kr/MWh	16,71	16,71	16,71	16,71	16,71	16,71		
<u>Strängläggning:</u>								
Rotorsträngläggare <sup>a</sup> , 3,5 m, kr/tim	234	234	234	234	234	234		
Traktor, 4 WD, 50 kW, kr/tim	332	332	332	332	332	332		
Summa strängläggning, kr/tim	566	566	566	566	566	566		
Kapacitet, ha/tim	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6		
Kapacitet, ton/tim	10,91	10,91	10,91	10,91	10,91	10,91		
Kostnad, kr/ton	51,88	51,88	51,88	51,88	51,88	51,88		
Kostnad, kr/MWh	11,64	11,64	11,64	11,64	11,64	11,64		
<u>Pressning/hackning:</u>								
Fyrkants-/rundbalspress/fälthack <sup>b</sup> , kr/tim	1151	1151	943	943	347	347	2010	2010
Traktor, 4WD, 140 kW; 120 kW; 70 kW, kr/tim	539	539	491	491	378	378		
Summa pressning/hackning, kr/tim	1690	1690	1434	1434	725	725	2010	2010
Kapacitet <sup>c</sup> , ton ts/tim	6,00	6,00	5,10	5,10	3,60	3,60	6,00	6,00
Kapacitet, ton/tim	6,82	6,82	5,80	5,80	4,09	4,09	6,82	6,82
Kostnad, kr/ton	247,87	247,87	247,44	247,44	177,22	177,22	294,80	294,80
Kostnad, kr/MWh	55,59	55,59	55,50	55,50	39,75	39,75	66,12	66,12
<u>Ihopsamling av balar:</u>								
Lastmaskin, 6 ton, kr/tim	391	391	391	391	391	391		
Kapacitet, ton/tim	15	15	10	10	10	10		
Kostnad, kr/ton	26,07	26,07	39,10	39,10	39,10	39,10		
Kostnad, kr/MWh	5,85	5,85	8,77	8,77	8,77	8,77		
<u>Lastning, transport, inlagring:</u>								
km	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59
Lastmaskin <sup>d</sup> , 6 ton / 6 ton, kr/tim	339,13	339,13	339,13	339,13	339,13	339,13	289,55	289,55
Teleskopplastare <sup>e</sup> , 5 el 7 m, kr/tim	329,04	355,00	329,04	355,00	329,04	355,00		
Traktor 80 kW; 80 kW; 80 kW; 70 kW <sup>f</sup> , kr/tim	267,61	267,61	254,56	254,56	254,56	254,56	334,84	318,69
Storbals-/grönfödervagn <sup>g</sup> , kr/tim	68,17	68,17	61,47	61,47	61,47	61,47	97,57	85,43
Summa, kr/tim	1675,52	1701,48	1616,25	1642,21	1616,25	1642,21	1154,36	1097,77
Kapacitet, ton/tim	30,00	30,00	27,00	27,00	20,00	20,00	6,82	6,82
Kostnad, kr/ton	55,85	56,72	59,86	60,82	80,81	82,11	169,31	161,01
Kostnad, kr/MWh	12,53	12,72	13,43	13,64	18,12	18,42	37,97	36,11

	Stor fyrkantbal		Mellanstor fyrkantbal		Rundbal		Hackelse	
	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring
Lagring, kontinuerligt uttag medför att lagerbyggnadskostnaden belastas med, % / Lagring utomhus medför lagringsförluster, %								
lagerbyggnadskostnader/ lagerförluster, %	67	10	67	10	67	10	67	10
Lagerkostnad, kr/ton	201,12	33,06	201,12	34,74	262,24	29,84	401,17	45,58
Lagerkostnad, kr/MWh	45,11	7,42	45,11	7,79	58,82	6,69	89,98	10,22
Summa, bärgning - lagring, kr/MWh	289,07	251,57	292,79	255,69	295,45	243,62	335,71	254,10

<sup>a</sup> Rotorsträngläggare, 3,5 m bred, förstärkt vilket medför kostnad som närmast större maskin med 4,5 m bredd.

<sup>b</sup> Stor fyrkantbalspress med snitt / mellanstor fyrkantbalspress med snitt / rundbalspress / självgående fälthack (1 496 kr/tim för fälthacken + 514 kr/tim för majsbordet, 6 raders, eller motsvarande).

<sup>c</sup> Vid hackning av hampa minskar kapaciteten hos hacken jämfört med vid hackning av andra grödor. I denna studie har kapaciteten antagits, vid hackning av hampa, vara den samma som Forsberg m fl (2006) anger i sin rapport. Forsberg m fl (2006) anger kapaciteten till 1 ha/tim vid skörd av hampa med självgående hack med skärbord vid en avkastning på 6 ton ts/tim. Böcsa & Karus (1998) rapporterar om låg kapacitet vid pressning av hampa. Vid pressning av mindre balar och rundbalar antas kapaciteten minska i samma utsträckning som då dessa används till halmpressning jämfört med halmpressning av stora fyrkantbalar.

<sup>d</sup> Lastmaskin, 6 ton vid insamling av halmbalar / 6 ton vid inlagring av hackelse (behovet av kapacitet nu lägre än vid skörd av halm eller röflen beroende på lägre kapacitet hos hacken).

<sup>e</sup> Teleskopplastare, 5 m vid inlastning av balar i inomhuslager / 7 m vid avlastning av balar till utomhuslager.

<sup>f</sup> Traktorer, 3 st 80 kW vid insamling av halmbalar / 2 st 70 kW vid transport av hackelse till inomhuslager / 2 st 70 kW vid transport av hackelse till lager vid fältkant.

<sup>g</sup> Storbalsvagn (10-11 ton halm) / tippvagn (12 ton) med grönfoderutrustning vid inlagring av hackelse.

Tabell A19. Energianalys vid bärgning av hampa samt lagring av denna inomhus eller utomhus vid olika bärgningssystem

	Stor fyrkantbal		Mellanstor fyrkantbal		Rundbal		Hackelse	
	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring
<u>Slätter:</u>								
Slättermaskin med dubbelkniv (2,8 m) antag kostnad som rotorslättermaskin, l/ha	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5		
Bränsleförbrukning, MJ/ha	168,63	168,63	168,63	168,63	168,63	168,63		
<u>Strängläggning:</u>								
Rotorsträngläggare <sup>a</sup> , 3,5 m, kr/tim	3	3	3	3	3	3		
Bränsleförbrukning, MJ/ha	112,42	112,42	112,42	112,42	112,42	112,42		
<u>Pressning/hackning:</u>								
Fyrkants-/rundbalspress/ fälthack <sup>b</sup> , bränsle, l/ha	12	12	12	12	7	7	9	9
Bränsleförbrukning, MJ/ha	449,69	449,69	449,69	449,69	262,32	262,32	337,27	337,27
<u>Ihopsamling av balar:</u>								
Lastmaskin, 6 ton, bränsle- förbrukning, l/tim	6	6	6	6	6	6		
Kapacitet, ton/tim	15	15	10	10	10	10		
Bränsleförbrukning, l/ton	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6		
Bränsleförbrukning, l/ha	2,73	2,73	4,09	4,09	4,09	4,09		
Bränsleförbrukning, MJ/ha	102,20	102,20	153,30	153,30	153,30	153,30		
<u>Lastning, transport, inlagring:</u>								
Lastmaskin <sup>e</sup> , 6 ton / 6 ton, l/tim	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	3,18	3,18

	Stor fyrkantbal		Mellanstor fyrkantbal		Rundbal		Hackelse	
	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring	Inomhus-lagring	Utomhus-lagring
Teleskoplastare <sup>d</sup> , 5 el 7 m, l/tim	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61		
Traktor 80 kW; 80 kW; 80 kW; 70 kW <sup>e</sup> , med storbals-/ grönfodervagn <sup>f</sup> , l/tim	3,08	3,08	2,44	2,44	2,44	2,44	9,91	8,67
Summa bränsleförbrukning, l/tim	17,18	17,18	15,25	15,25	15,25	15,25	23,00	20,53
Kapacitet, ton/tim	30,00	30,00	27,00	27,00	20,00	20,00	6,82	6,82
Bränsleförbrukning, l/ton	0,57	0,57	0,56	0,56	0,76	0,76	3,37	3,01
Bränsleförbrukning, l/ha	3,90	3,90	3,85	3,85	5,20	5,20	23,00	20,53
Lastmaskin <sup>c</sup> , 6 ton / 6 ton, MJ/ha	36,85	36,85	40,95	40,95	55,28	55,28	119,24	119,24
Teleskoplastare <sup>d</sup> , 5 el 7 m, MJ/ha	30,71	30,71	34,12	34,12	46,06	46,06		
Traktor 80 kW; 80 kW; 80 kW; 70 kW <sup>e</sup> , med storbals-/ grönfodervagn <sup>f</sup> , MJ/ha	78,76	78,76	69,26	69,26	93,50	93,50	742,50	650,12
Summa bränsleförbrukning, MJ/ha	146,32	146,32	144,33	144,33	194,84	194,84	861,74	769,36
<u>Lagring, lagring utomhus medför lagringsförluster lika med energiförluster.</u>								
Lagerförluster (10%), MJ/ha		10744,16		10744,16		10744,16		10744,16
Summa, bärgning - lagring, MJ/ha	979,27	11723,43	1028,37	11772,53	891,52	11635,68	1199,00	11850,78

<sup>a</sup> Rotorsträngläggare, 3,5 m bred, förstärkt vilket medför kostnad som närmast större maskin med 4,5 m bredd.

<sup>b</sup> Stor fyrkantbalspress med snitt / mellanstor fyrkantbalspress med snitt / rundbalspress / självgående fälthack.

<sup>c</sup> Lastmaskin, 6 ton vid insamling av hampbalar / 6 ton vid inlagring av hackelse (behovet av kapacitet nu lägre än vid skörd av halm eller rörfen beroende på lägre kapacitet hos hacken).

<sup>d</sup> Teleskoplastare, 5 m vid inlastning av balar i inomhuslager / 7 m vid avlastning av balar till utomhuslager.

<sup>e</sup> Traktorer, 3 st 80 kW vid insamling av hampbalar / 2 st 70 kW vid transport av hackelse till inomhuslager / 2 st 70 kW vid transport av hackelse till lager vid fältkant.

<sup>f</sup> Storbalsvagn (10-11 ton halm) / tippvagn (12 ton) med grönfoderutrustning vid inlagring av hackelse.

Upptagningsarean till hamplagret som rymmer 466 ton hampa med 12%:s vattenhalt (410 ton ts) kan beräknas om hampans avkastning är känd. Det vill säga att vid en avkastning på 6 ton ts hampa/ha behövs hampa från 68,3 ha för att fylla lagret. Om hampa antas odlas på 10% av marken i ett cirkulärt område runt lagret kan den genomsnittliga transportsträckan till lagret beräknas om värdet hos en slingerfaktor antas. Dessa värden kan sedan utnyttjas för beräkning av utnyttjandegrad av lastare, traktorer m m till de ekonomiska beräkningarna och energibalanserna. Denna ekvation (Overend, 1982) presenteras i bilaga 5: Halmbärgning. Det genomsnittliga transportavståndet vid bärgning av hampa med samma förutsättningar som vid bärgning av halmen blev 1,59 km.

Tabell A20. Beräkning av utnyttjandegrad av lastare, traktorer m m till de ekonomiska beräkningarna och energibalanserna

Typ av bärgningssystem:	Stora fyrkantbalar	Mellanstora fyrkantbalar	Rundbalar	Hackelse inomhus	Hackelse utomhus
Avstånd från fältkant till lager <sup>a</sup> , km	1,59	1,59	1,59	1,59	0
Antal balar/kubikmeter hackelse vagnen lastar, st / m <sup>3</sup>	20	30	30	35	35
Densitet hackelse, kg/m <sup>3</sup>				114	114
Lassvikt, ton				3,98	3,98
Kapacitet hack, ton/timme				6,82	6,82
Tid för lastning, min	15	22,5	22,5	35	35

Typ av bärgningssystem:	Stora fyrkantbalar	Mellanstora fyrkantbalar	Rundbalar	Hackelse inomhus	Hackelse utomhus
Andel av lastningstid som traktorn är i rörelse, %	50	50	50		
Körhastighet i fält, km/tim	10	10	10	10	10
Avstånd i fält <sup>b</sup> , km	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Tid för fälttransport, min	3	3	3	3	6
Avstånd vägtransport <sup>c</sup> , km	1,59	1,59	1,59	1,59	0
Körhastighet på väg, km/tim	20	20	20	20	20
Tid för vägtransport, min	4,77	4,77	4,77	4,77	0
Tid för avlastning, min	15	22,5	22,5		
Kapacitet lastmaskin vid inlagring, ton/timme				15	15
Tid för inlagring av ett lass, min				15,9	15,9
Tid för avtippning av ett lass, min				5	5
Tid för returresa, min	4,77	4,77	4,77	4,77	0
Total tid, min	42,54	57,54	57,54	52,54	46,00
varav körtid för traktorn, min	20,04	23,79	23,79		
antal gånger lastningstiden	2,84	2,56	2,56	1,50	1,31
Kapacitet transport, ton/timme	14,67	8,76	7,51	4,54	5,19
med antal traktorer, st	3	3	3	2	2
kapacitet, ton/timme	44,01	26,28	22,52	9,08	10,38
Kapacitet lastare, ton/timme	41,6	22,4	19,2		
Antagen kapacitet, ton/timme	30	16,15	13,85		
Utnyttjandegrad hack, %				100	100
Utnyttjandegrad lastare / lastmaskin inlagring, %	72,12	72,12	72,12	45,45	45,45
Utnyttjandegrad traktorer, %	68,17	61,47	61,47	75,05	65,71
körtid traktorer, % av total tid	32,11	25,41	25,41		

<sup>a</sup> Avståndet från fältkant till lager har beräknats med Overends formel (Overend, 1982).

<sup>b</sup> Vid transport av hackelse till utomhuslager, antas detta ligga vid fältkanten, på vändtegen, placerat så att transportsträckan i fält blir ungefär fördubblad jämfört med då hackelse lagras inomhus och bara transporteras till vägkanten på fältet.

<sup>c</sup> Gäller avstånd från fältkant till lager.





---

SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.et.slu.se](http://www.et.slu.se)

SLU  
Department of Energy and Technology  
Box 7032  
S-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000

---