

Produktion och karakterisering av hampa som råvara för fasta biobränslen

Slutrapport

Michael Finell, SLU, Biomassateknologi & Kemi, Umeå

Bakgrund

Intresset för odling av hampa har de senaste åren kraftigt ökat i Sverige. Hampa blev tillåten att odla som fibergröda år 2003 men många odlare ser även en möjlighet att använda hampan för produktion av frö (olja för hälsokostbranschen och pressrester som kraftfoder) och biobränsle i form av briketter och pellets. Speciellt i norra Sverige är intresset stort för en gröda som kan ge lokalt producerat kraftfoder. Vid odling av hampa för fröproduktion så kan restprodukten, d.v.s. stjälkarna bli en mycket intressant biobränsleråvara då odlingskostnaderna fördelas på fler produkter.

Flera energibolag har också visat intresse för hampa då mycket höga biomassaskördar för fiberhampasorter har rapporterats. För energibolagen är hampa ett intressant komplement till andra biobränslen för direkteldning (flis, bark och grot). Sökande efter konkurrenskraftiga nya råvaror för etanolproduktion i norra Sverige har också bidragit till intresset för hampa.

Vid SLU i Umeå har ett nytt skördekoncept för fröproducerande hampasorter utvecklats. Konceptet innebär att fröna skördas med reparbordsteknik under hösten och hampastjälkarna får stå kvar över vintern fram till följande vår. På våren är materialet torrt och lagringsdugligt. Skörden av stjälkar sker genom avslagning med dubbelknivbalk eller rotorkross och efterföljande bärgning med exakthack eller balning.

Under tiden som projektet har pågått har dock en del oförutsedda händelser påverkat genomförandet. En viktig händelse är att den fröproducerande hampasorten Finola plockades bort från listan över tillåtna hampasorter i Sverige. Detta medförde att projektet endast kunde undersöka fiberhampasorter. En annan händelse är att fjärrvärme har dragits in till SLUs försöksanläggning på Röbbäcksdalen vilket medförde att förbränningsförsöken i 650 kW fastbränslepanna fick planeras om till mindre försök i pelletsbrännare.

Mer resurser har i stället lagts på analyser av asksammansättning hos höst- och vårskördad hampa.

Material och metoder

Anläggning av försöksodlingar och provtagning

År 2007 anlagdes en försöksodling på 2 × 0,5 ha hampa på Röbbäcksdalen och en annan odling på ca 2 × 2 ha tillsammans med en lokal odlare i Degernäs (Västakra gård), drygt 10 km från Röbbäcksdalen.

Jordtypen i Degernäs är mer mullhaltig än jordtypen på Röbbäcksdalen. Båda försöksfälten gödslades med 100 kg N/ha med konstgödsel på Röbbäcksdalen och med flytgödsel från svin i Degernäs. En utsädesmängd på 40 kg/ha användes för båda sorterna både i Degernäs och på Röbbäcksdalen. I slutet av växtsäsongen (slutet av september) hade hampan på Röbbäcksdalen uppnått en höjd på ca 280 cm och i Degernäs ca 200 cm.

År 2008 anlades 4 × 0,25 ha försöksrutor på Röbbäcksdalen och 2 × 0,25 ha i Degernäs. Sorterna som odlades detta år var Beniko, Tiborszállási, Kompolti och Uso 31 på Röbbäcksdalen samt Kompolti och Uso 31 i Degernäs. Samma utsädesmängd men något lägre kvävegiva, 80 kg N/ha användes detta år. År 2008 växte hampan betydligt sämre och ojämna både på Röbbäcksdalen och i Degernäs. Medelhöjden på hampan detta år var ca 170 cm på Röbbäcksdalen och ca 160 cm i Degernäs.

Provrutor på 1 m² togs ut för bestämning av biomassaproduktion. Proverna togs på hösten efter första frostnatten och innan bladen börjat falla av (2007-10-01/2008-09-16). Prover för bränsleanalys togs vid samma tillfälle. På Degernäsfältet som ligger på en sluttning med ganska varierande förhållanden togs prover på en rad mitt över fältet där jordarten ansågs vara relativt likartad för båda hampasorterna. Prover för bränsleanalys togs också från samma punkter i december (2007-12-18/2008-12-16). På grund av snö och is var det inte möjligt att ta ut pålitliga prover för biomassaproduktion i december. På våren togs också prover för bränsleanalys och skördeutbyte (2008-05-08/2009-05-07).

Prover för bränslekaraktisering togs ut samtidigt som prover för biomassautbyte under hösten, vintern och våren. Detta för att följa hur bränsle kvaliteten förändrades vid olika skördetidpunkter. De egenskaper som studerades var fukthalt, askhalt, värmevärde, C, H, O, N, S, Cl samt askans smältförlopp. Askans sammansättning har också bestämts på höst- och vårskördade prover.

Skörd

Vårskörd av materialet på Röbbäcksdalen gjordes genom att först slå av hampan med slätterbalk, materialet gick dock inte samtidigt att stränglägga p.g.a hampan trasslade in sig i ”fenan” på slätterbalken. I nästa skede balades materialet med en rundbalspress, våren 2009 användes en storbalspress. En hel del problem med fibrer som trasslade in sig förekom.

Hampafältet i Degernäs skördades utan större problem. Här vältades materialet först och balades därefter med en rundbalspress. Orsaken till att skörden lyckades bättre i Degernäs än på Röbbäcksdalen kan ha varit att hampan på Röbbäcksdalen var betydligt kraftigare och längre än den i Degernäs.

Sönderdelning

Sönderdelningsförsök av balad hampa har skett vid Biobränsletekniskt Centrum (BTC) vid SLU i Umeå. Dels har hampabalar sönderdelats i en rivare (Lindner FRM Micromat 2000), därefter har materialet malts i en Bühler Vertica DFZK-1 kvarn och dels har malningsförsök gjorts på en laboratoriekvarn (Brabender Wiley).

Brikettering och förbränning

Brikettering av vårskördad hampa har genomförts vid BTC i en Bogma M60 press. Förbränning av de producerade biobränslena i en fastbränslepanna (pelletsbrännare) har gjorts i samma anläggning. Produktionskapacitet och förbränningsegenskaper har jämförts mot andra biobränslen som används i anläggningen.

Resultat och diskussion

Bränsleanalys av vårskördat material

Inom projektet har material från stamskörd våren 2006 (Röbäcksdalen, Umeå) analyserats med avseende på bränsleegenskaper. Inom det tidigare RJN-finansierade projektet "Multifunktionell industrihampa för norra Sverige" konstaterades att stora variationer i bränslekvalitet förekom i hampaprover från olika platser skördade med olika metoder.

Tre olika varianter av vårskörd jämfördes. Handskörd (helt ren hampa) och två olika maskinskördemetoder, slätterbalk och rotorkross. Tabell 1 visar bränsleegenskaperna för dessa material. Det framgår tydligt från resultaten att de maskinskördade materialen innehåller betydligt mer aska, svavel och klor än det handskördade materialet. Asksmälttemperaturen är också betydligt lägre för de maskinskördade materialen.

Tabell 1. Bränsleegenskaper för vårskördad hampa (Finola) som är skördad med olika metoder. Bränsleegenskaperna är jämförda mot färskt ogräs, motsvarande det som fanns inblandat i det maskinskördade materialet.

Analys	Hampa Handskörd	Hampa Slätterbalk	Hampa Rotorkross	Färskt Ogräs
Askhalt, % av TS	2,1	5,0	5,7	8,5
Värmevärde, MJ/kg TS	18,2	17,8	17,8	18,0
Svavel, % av TS	0,05	0,10	0,14	0,23
Klorhalt, % av TS	< 0,01	0,17	0,23	0,27
Asksmälttemp., °C	>1610	1100	1100	< 980

Analysen av färskt ogräs visar att detta material innehåller hög askhalt, höga nivåer av svavel och klor samt en låg asksmälttemperatur. Detta medför att en trolig orsak till skillnader i bränslekvalitet mellan olika hampamaterial är föroreningar i form av inblandat grönt ogräs. Materialet var skördat så sent på våren att grönt material hade hunnit börja dyka upp mellan de torra hampaplantorna.

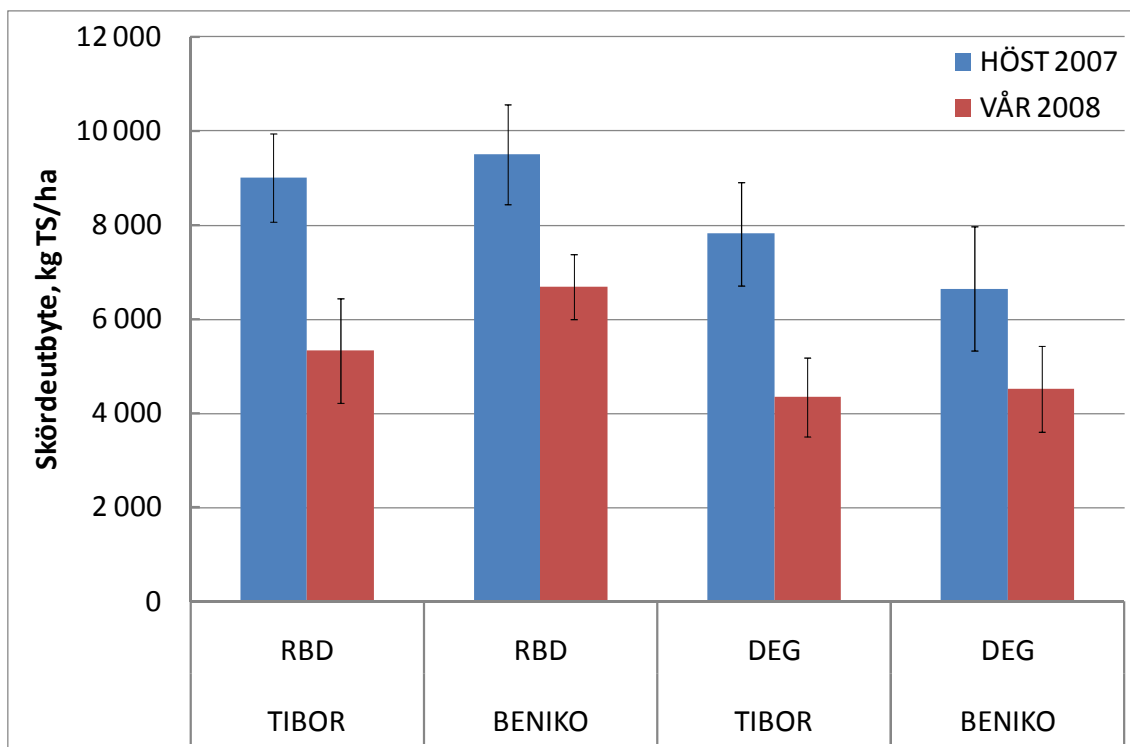
Rekommendationen är att inte vänta så länge med skörden på våren att grönt gräs börjar dyka upp i hampafältet. Problemet kan dock bli att marken inte har torkat upp tillräckligt om man skördar tidigare.

Analys

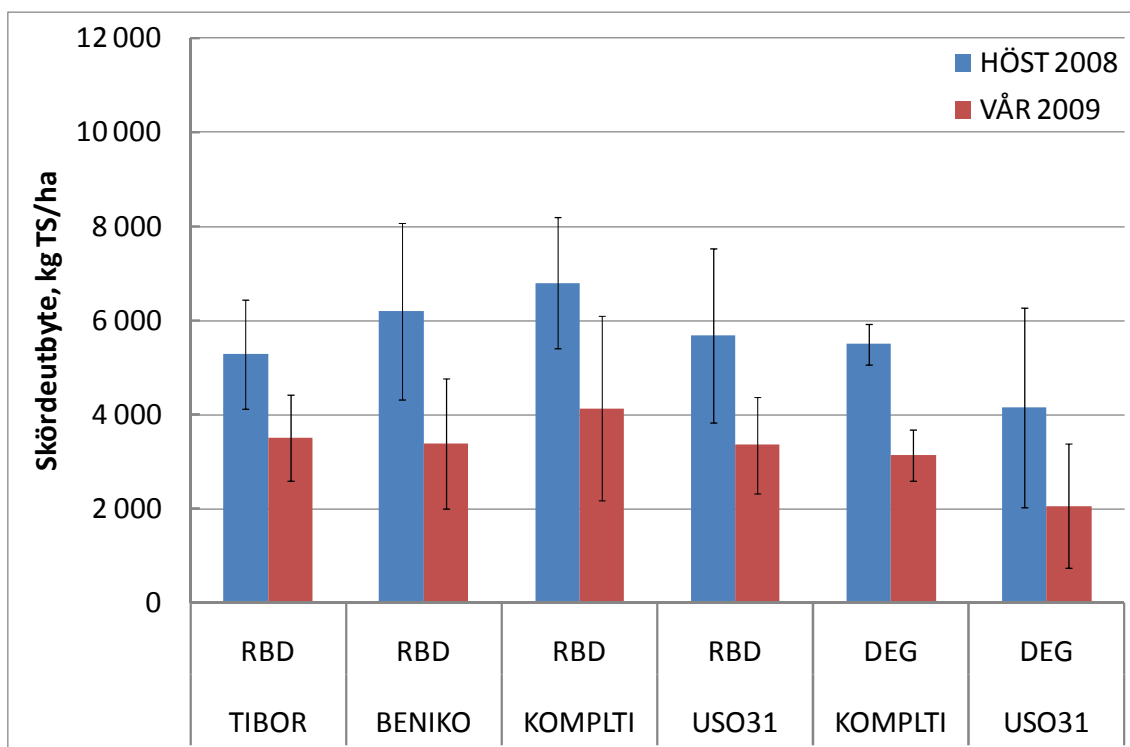
Skördeutbytesberäkningar gjordes endast på hösten och våren och bränsleanalys har utförts på både höst-, vinter och vårskördat material. Askans sammansättning har bestämts på höst- och vårskördat material.

Figur 1 visar skördeutbytet för hampasorterna på de olika växtplatserna hösten 2007 och våren 2008. På Röbäcksdalen ligger höstutbytet på omkring 9,2 ton TS/ha för båda sorterna och i Degernäs ligger utbytet på omkring 7,2 ton TS/ha. Utbytet på våren har på Rbd minskat till ca 6 ton TS/ha och i Degernäs till ca 4,4 ton TS/ha.

Figur 2 visar skördeutbytet hösten 2008 och våren 2009 på de olika växtplatserna. På Röbäcksdalen ligger höstskördeutbytet mellan ca 5 och 6,5 ton TS/ha och i Degernäs 4 och 5,5 ton TS/ha. På våren har utbytet sjunkit till 3,6 ton TS/ha på Rbd och 2,5 ton TS/ha i Degernäs. Stora variationer både inom och mellan de olika sorterna kan detekteras. Det låga skördeutbytet denna säsong stämmer också överens med de resultat som erhöles inom ett annat projekt i Örnsköldsvik.



Figur 1. Skördeutbyte hösten 2007 och våren 2008 för de två hampasorterna Tiborszallasi och Beniko från Röbbäcksdalen och Degernäs. Staplarna visar medelvärde och standardavvikelse för fem prover på 1 m².



Figur 2. Skördeutbyte hösten 2008 och våren 2009 för de fyra hampasorterna Tiborszallasi, Beniko, Kompolti och Uso 31 från Röbbäcksdalen och de två sorterna Kompolti och Uso 31 från Degernäs. Staplarna visar medelvärde och standardavvikelse för tre prover på 1 m².

Tabell 2 visar resultatet från bränsleanalyserna på hampamaterialen vid höst-, vinter- och vårskörd. På det höstskördade materialet gjordes analyserna på hela växtmaterialet, dvs. inklusive blad. På vintern och våren hade bladen fallit av så dessa ingår inte i det analyserade materialet. Hampan är jämförd mot andra vanligt förekommande bränslen.

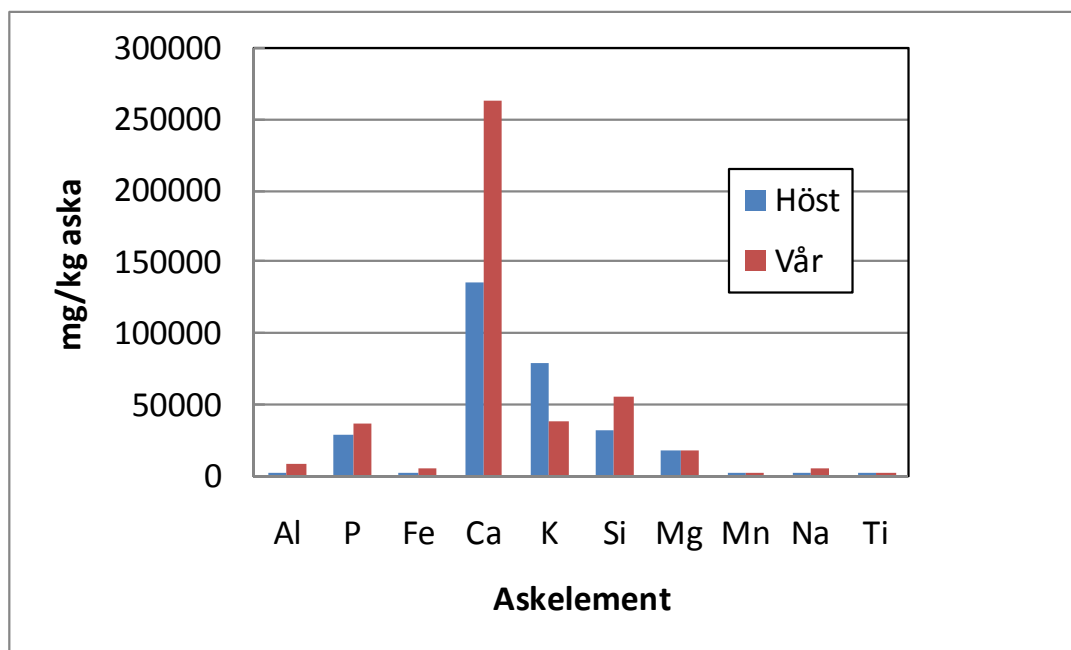
Tabell 2. Sammanställning av bränsleanalyser på hampa skördad vid olika årstider. Egenskaperna är jämförda mot några andra råvarors bränsleegenskaper.

Material	Aska (%)	VV eff (MJ/kg TS)	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	Cl (%)	IT (°C)
Hampa, höst	8,2	16,7	45	5,7	1,18	0,09	0,41	1530
Hampa, vinter	2,6	17,7	48	6,1	0,70	0,06	0,01	1580
Hampa, vår	2,3	17,7	48	6,1	0,65	0,06	0,01	1520
RCG, vår*	5,6	17,6	46	5,5	0,88	0,09	0,09	1400
RCG, höst*	6,4	17,9	46	5,7	1,33	0,17	0,56	1070
Halm**	4,9	17,6	48	5,9	0,6	0,08	0,12	990
Salix**	2,9	18,6	50	6,3	0,4	0,03	0,03	1250
Trädbränslen*	2,0	19,2	52	6,0	0,30	0,04	0,01	1160
Trädbränslen**	0,6	19,0	51	6,2	0,1	0,03	0,01	
Grot**	2,6	19,1	51	6,0	0,7	0,05	0,03	1180

* Burvall, J. 1997

** Bränslehandboken

Tabellen visar tydligt att bränslekvaliteten tydligt har förbättrats i det vinter- och vårskördade materialet jämfört med det höstskördade materialet. Askhalter, svavelinnehåll, kväveinnehåll och klorinnehåll har kraftigt sjunkit i det vinterskördade materialet. Spridningen av kvävehalten och svavelhalten i både det höst- och vårskördade materialet varierar dock ganska mycket.



Figur 3. Askans sammansättning i höst- och vårskördad hampa

Figur 3 visar medelvärden av asksammansättningen hos höst- och vårskördad hampa. Asksammansättningen är också till en stor del beroende av skördetidpunkt. Askinnehållet är i medeltal 8,2 % i höstskördat material och i medeltal 2,3 % i vårskördat material. Kalcium, kalium, kisel, fosfor och magnesium är huvudkomponenterna i hampaaska. Askan från vårskördad hampa har högre andel kalcium och kisel samt lägre andel kalium än askan från höstskördad hampa.

Växtplats och hampasort hade relativt liten inverkan på de uppmätta bränsleegenskaperna jämfört med skördetiden.

Sönderdelningsförsök

För att tillverka briketter eller pellets så måste materialet först malas till en lämplig partikelstorlek för att det ska vara möjligt att vidareförädla. Material som ska förädlas till pellets mals ofta i en hammarkvarn utrustad med ett såll med 5 mm hål. Briketter kräver inte lika finfördelat material som pellets, ofta räcker det att materialet är grovrivet.

Försök i Brabender Wiley-kvarn i laboratorieskala visade att det går att mala mindre mängder hampa i denna typ av kvarn. Det malda materialet blir dock mycket ”fluffigt” på grund av de kraftiga fibrerna som finns i hampamaterialet.

För att testa hur materialet fungerar i en fullstor anläggning så matades tre rundbalar (ca 600 kg) in i hanteringskedjan på BTC-anläggningen. Detta innebär 1. Inmatningsband (Saxlund), 2. Rivare (Lindner Micromat 2000), 3. Separator (Fransson recycling). Inmatning, rivning och separation fungerade bra med den mängd material som hanterades. Riven hampa är dock väldigt ”fluffig” och påminner om den ”hampaull” som man erhåller vid exakthackning.

Pelletering kräver ytterligare malning och en mindre mängd material (ca 50 kg) riven hampa testades därför i en Bühler Vertica DFZK-1 kvarn utrustad med 5 mm såll. Det rivna materialet togs ut i storsäck efter rivaren och handmatades till kvarnen eftersom det ansågs för riskabelt att använda de transports kruvar som normalt används för spån. Malningen fungerade bra på den provmängd som undersöktes och det malda materialet togs ut direkt efter kvarnen eftersom det bedömdes vara för riskabelt att hantera det i transportsystemet för spån. Efter malning påminner hampamaterialet mest om bomull blandat med sågspån.

Slutsatserna från sönderdelningsförsöken är att vårskördad hampa går att riva och mala i utrustning designad för träbaserade material. Materialets egenskaper efter rivning och malning gör dock att brikettering verkar vara den vidareförädlingsteknik som är mest lämpad för hampa.

Briketteringsförsök

Försöken gjordes i en Bogma M60 brikettpress på BTC. Det rivna materialet matades till pressen genom den normala hanteringskedjan. Det visade sig att inmatningsskruven till brikettpressen var en flaskhals för detta material. Pressningen gick bra i ca 15 minuter innan hampamaterialet trasslade in sig i inmatningsskruven så att processen fick avbrytas. På grund av detta gick det inte att göra några längre kapacitetsmätningar på brikettpressningen. Vi uppskattar dock att kapaciteten är den samma som för rörflen, d.v.s. 450-500 kg/h. De producerade briketterna testades med avseende på hållfasthet och gav ett medelvärde på 0,56 % finfraktion efter tumling vilket kan anses vara mycket bra.

Slutsatserna från briketteringsförsöken är att riven hampa går att brikettera i en linje avsedd för träbaserade material. En del ombyggnader av inmatningssystemet krävs dock för att undvika problem med material som trasslar in sig i transports kruvar. Pelletering av materialet uteslöts då man genom att studera det sönderdelade materialet direkt kunde dra slutsatsen att det inte går att hantera i utrustningen som finns på BTC.

Förbränningsförsök

För att erhålla material lämpligt för förbränning i pelletsbrännare maldes briketter av hampa i en knivkvarn (Retsch SM 2000). För att erhålla en relativt grovkornig struktur på bränslet skedde malningen utan efterföljande sällning.

Innan förbränningen av hampa eldades träpellets i ca en timma för att keramiken i ugnen skulle bli uppvärmd och stabila förbränningsförhållanden skulle uppnås. Därefter eldades de malda hampabriketterna. Hela tiden loggades CO, CO₂, O₂, NO, NO₂ (redovisas som NO_x = NO+NO₂) och SO₂. Gaserna analyserades med hjälp av kalibrerade instrument; IR (CO och CO₂), paramagnetisk resonans (O₂) och kemoluminiscens (NO_x) (Mutor 610, Maihak, Tyskland).

I tabell 3 är som jämförelse värden från eldning av rörflen och träpellets medtagna. Rörflen är i likhet med hampan eldad i form av malda briketter.

Tabell 3. Förbränningsegenskaper hos hampa jämfört med rörflen och träpellets.

Bränsle	Hampa	Hampa	Rörflen, låg aska	Rörflen, hög aska	Kommersiella träpellets (Solett)
Bränsleflöde testbränsle, kg/h	3,3	3,5			9,7
Bottenaska (aska + oförbränt), g	70,7	139,4			
Bottenaska, % av bränsle	0,8	1,3	3,4	13,2	1,0
Oförbränt, andel av bottenaska, %	49,3	47,8	31,2	35,0	64,3
Aska, andel av bottenaska, %	50,7	52,2			35,7
Oförbränt räknat som andel av testbränsle, %	1,6	1,9			0,6
Oförbränt räknat som andel av allt bränsle, %	0,4	0,6	1,1	4,6	0,6
Sintrat (rejekt efter sällning), g	2,3	4,3			
Sintrat, % av aska	6,5	5,9	16,9	0,0	0,0
Sintrat, räknat som andel av testbränsle, %	0,11	0,12	0,4	0,0	0,0
Sintrat, räknat som andel av allt bränsle, %	0,03	0,04			0,0
Medelvärden av loggade data under provtagning					
CO, ppm	415	464	580	1465	
CO ₂ , %	3,5	4,5	10,8	8,1	
NO, ppm	100	130			
NO ₂ , ppm	5,8	10,0			
NO _x , ppm	106	140	314	279	
O ₂ , ppm	17,0	16,0	9,4	12,0	
SO ₂ , ppm	2,4	2,2			
CO ₂ /CO	112	128	309	67	

Innan eldning vägdes bränsle och efter eldning vägdes kvarstoden, ”bottenaskan” i pannan, bestående av aska oförbränt bränsle. Andelen av aska och oförbränt i bottenaskan bestämdes genom inaskning i 550 °C. Andelen sintrad aska definierades som den del av askan som inte passerade igenom ett 3,15 mm såll. I tabell 3 har, andel aska, oförbränt och sintrad aska relaterats både till hela den eldade bränslemängden och till testbränslet (hampa), men i praktiken kan andelen aska från träpellets anses i det närmaste försumbar.

Under förbränningen försökte vi hålla en nivå av ca 10-12 % CO₂, vilket anses optimalt för förbränning, och med minimal emission av CO, om möjligt under 100 ppm. Hampabränslet hade emellertid väldigt låg densitet vilket gjorde det svårt att mata in tillräcklig mängd för att komma upp i dessa nivåer. Under förbränning av hampa nådde CO₂-nivåerna sällan över 5 %. Askmängden är relativt låg för att vara ett stråbränsle och andelen oförbränt (ca 50 %) är inte heller anmärkningsvärt hög med tanke på att förbränningsförhållanden var långt ifrån optimala. Ungefär 6 % av askan sintrade. För rena träpellets brukar sällan mer än 0,1 % av askan sintra och i detta fall är det troligast är hampabränslet som ger det övervägande bidraget. Det sintrade motsvarar ca 0,1 % av den eldade hampan.

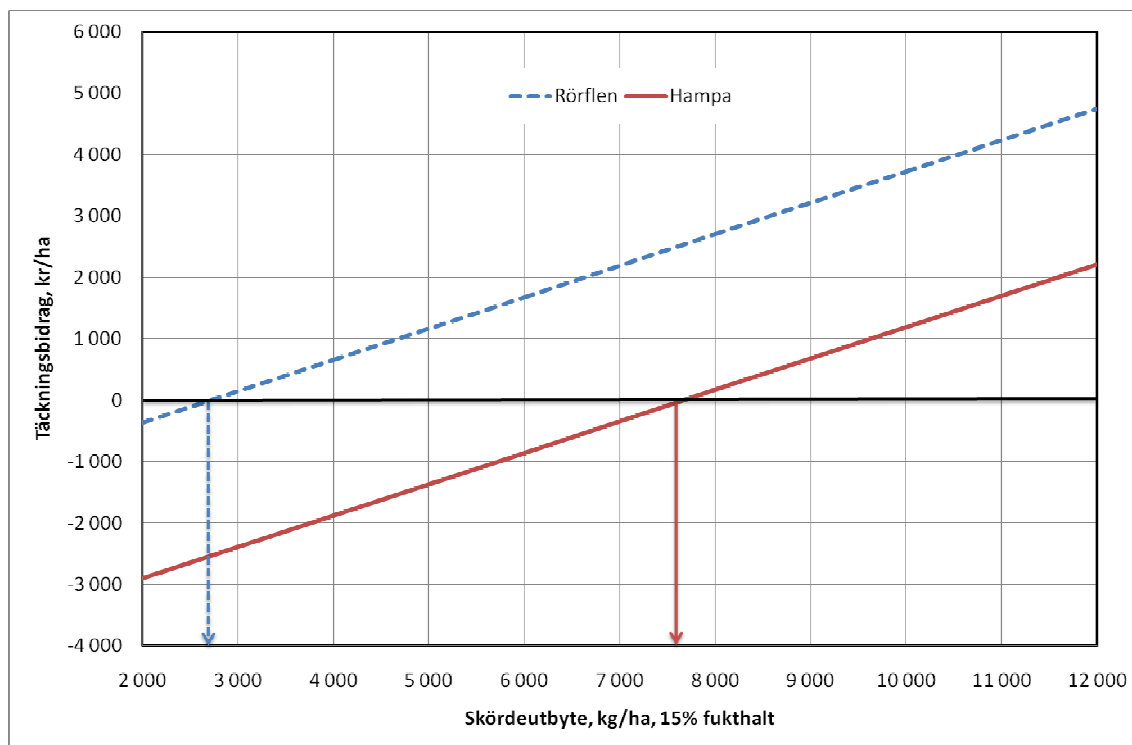
Ekonomiska beräkningar

I denna del har en del ekonomiska uppskattningar gjorts som är baserade på tidigare försök och erfarenheter. Kalkylerna är till stora delar baserade på uppgifter från Agriwise (2007). Några olika scenarier har ställts upp för odling i norra Sverige. I det första fallet har en jämförelse mellan odling av rörflen och hampa som energigröda gjorts. Tabell 3 visar vilka antaganden som är gjorda. På intäktssidan är en kvickrotseffekt på 310 kr/ha inkluderad för hampa. Odlingskostnaderna är betydligt högre för hampa eftersom det är en gröda som man sår varje år. För rörflen är odlingskostnaderna fördelade på 10 år, vilket är den uppskattade livslängden för en rörflensvall. Samma skördekostnader har antagits för både rörflen och hampa eftersom det inte finns tillförlitliga data för hampa.

Tabell 3. Uppskattning av intäkter och kostnader för odling av hampa och rörflen som energigröda.

Intäkter	Hampa	Rörflen
Energigräs, 15% fukt	0,55 kr/kg	0,55 kr/kg
Energigröda, stöd	420 kr/ha	420 kr/ha
Gårdsstöd	1 160 kr/ha	1 160 kr/ha
Kvickrotseffekt	310 kr/ha	0 kr/ha
Kostnader		
Odlingskostnader	4 059 kr/ha	1 214 kr/ha
Skördekostnader	1 747 kr/ha	1 747 kr/ha
Transportkostnader, fält -> gård	0,04 kr/kg	0,04 kr/kg

Den ekonomiska effekten för hampa och rörflen har därefter jämförts vid olika skördenivåer mellan 2 och 12 ton/ha vid 15 % fukthalt. Figur 5 visar täckningsbidraget i kr/ha vid olika skördenivåer för rörflen och hampa. För att uppnå ett nollresultat krävs ett skördeutbyte på ca 2,7 ton/ha för rörflen och på ca 7,6 ton/ha för hampa. Detta visar att odlingskostnaderna måste sänkas ordentligt för hampan för att den ekonomiskt ska kunna konkurrera med rörflen som en energiråvara.



Figur 1. Täckningsbidragets beroende av skördeutbyte vid en fukthalt på 15 % vid odling av rörflen och hampa för energiproduktion.

Publikationer och övrig resultatförmedling till näringen

Vetenskapliga referegranskade publikationer

- Karlsson, L., Finell, M. and Martinsson, K. 2010. Effects of increasing amounts of hempseed cake in the diet of dairy cows on the production and composition of milk. Animal volume 4, issue 11, pp. 1854-1860.

Bokkapitel

- Xiong S., Finell M. 2009. Energy from field energy crops - a handbook for energy producers. Willow and Hemp in Sweden. Jyväskylä Innovation Oy, P.O. Box 27, FI-40101

Examensarbeten

- Rösberg, M "Impregnering av splintved från väldefinierat tallvirke (Pinus sylvestris L.) med lin- och hampolja" pågående.

Samarbete med andra projekt

Detta projekt har skett/sker i nära samarbete med följande projekt:

- Energigrödor från åkermark – Övik Energi AB
- Komprimering och logistik av exakthackad Hampa - Övik Energi AB
- Kallpressad hampakaka till mjölkcor, dess proteinkvalitet, fettsyramönster och inverkan på mjölk kvaliteten – SLU, Norrländsk Jordbruksvetenskap, Umeå
- Odling, skördemetoder och hantering av industrihampa – SLU, Jordbruk - odlingssystem, teknik och produktkvalitet, Alnarp

Deltagande i seminarier, konferenser, mm.

Under år 2007 så har detta projekt eller delar av projektet presenterats bl.a. vid följande tillfällen:

- Januari 2007, Energidag, Nordmaling (LRF, Lantmännen)
- Maj 2007, Bioenergidag, Kalix (LRF, Lantmännen)
- Maj 2007, Temadagar om bioenergi, Örnsköldsvik (Processum)
- Augusti 2007, Bioenergi – senaste nytt inom forskning och utveckling, Stockholm (SLF)
- Oktober 2007, Hampa som energigröda, Falköping (Agroväst, LRF)

Under år 2008 så har detta projekt eller delar av projektet presenterats bl.a. vid följande tillfällen:

- Maj 2008 på kursen ”Bränslen/Fuels” vid Umeå Universitet
- Oktober 2008 på kursen ”Processteknik med inriktning mineral och biobränsle (KY)” i Storuman
- November 2008 på Värmeforsks workshop för rörflen och hampa i Umeå

Under 2009-2010 har projektet eller delar av det presenterats vid bl.a. följande tillfällen:

- Mars 2009, nationell, konferens om hampa, Grästorp
- Maj 2009 på kursen ”Bränslen/Fuels” vid Umeå Universitet
- Oktober 2009 på kursen ”Processteknik med inriktning mineral och biobränsle (KY)” i Storuman
- Januari 2010, Värmeforskdagarna, Stockholm
- Maj 2010 på kursen ”Bränslen/Fuels” vid Umeå Universitet
- Oktober 2010 på kursen ”Processteknik med inriktning mineral och biobränsle (KY)” i Storuman