Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut

Rapport nr. 131

Energiafgrødeprogrammet

Hovedrapport

Morten Gylling

København 2001

Forord

Anvendelse af biomasse til energisektoren vil være et væsentligt redskab i opfyldelsen af de energipolitiske mål for en samlet CO_2 reduktion på 50 pct. inden år 2030.

Mængden af biomasse der ifølge handlingsplanen – Energi 21 - forventes anvendt i energisystemet, vil i løbet af planperioden væsentligt overskride ressourcerne af halm og skovflis.

Det vil derfor være nødvendigt at supplere med nye biomasseressourcer, hvor energiafgrøder dyrket på landbrugsjord er en af mulighederne.

Denne rapport sammenfatter resultaterne fra ”Energiafgrødeprogrammet”, der har været gennemført i perioden 1997-2001. Programmet blev initieret i samarbejde mellem Landbrugs- og Fiskeriministeriet og Miljø- og Energiministeriet og finansieret med midler herfra.

Programmet har omfattet en række tværfaglige projekter udført af følgende institutioner:

DJF, Forskningscenter Bygholm
DJF, Forskningscenter Flakkebjerg
DJF, Forskningscenter Foulum
DMU, Kalø
Forskningscenter for Skov og Landskab
Techwise A/S
Teknologisk Institut, Energiteknik
Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut

Seniorrådgiver Morten Gylling har fungeret som faglig koordinator for programmet og har udarbejdet nærværende hovedrapport. Forskningschef Johannes Christensen har medvirket ved redigeringen.

Der takkes for et godt og inspirerende samarbejde med deltagerne i programmet.

Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut, december 2001.

Ole P. Kristensen

Indholdsfortegnelse:

Forord 3

Konklusion..... 7

1. Baggrund 11
   1.1. Formålet med ”Energiafgrødeprogrammet” 11
   1.2. Projektets indhold og gennemførelse..... 12

2. Dyrkning og håndtering af energiafgrøder 15
   2.1. Dyrkning (Landbrugets Rådgivningscenter) 15
      2.1.1. Udbytteresultater..... 16
      2.1.2. Konklusioner vedrørende dyrkning 17
   2.2. Håndtering (DJF – Bygholm) 17
      2.2.1. Triticale..... 18
      2.2.2. Elefantgræs 19
   2.3. Konklusioner 20

3. Brændselsmæssige egenskaber 25
   3.1. Sortsvalgets betydning for optimering af brændselskvalitet og udbytte af rug og triticale (DJF – Flakkebjerg) 26
      3.1.1. Baggrund 26
      3.1.2. Materialer og metoder..... 27
      3.1.3. Udbytter af kerne og halm 27
         3.1.3.1. Analyser af rug, kerne og halm..... 27
         3.1.3.2. Analyse af triticale, kerne og halm 28
      3.1.4. Konklusion..... 29
   3.2. Brændselsanalyser og fyringsforsøg (Teknologisk Institut) 29
      3.2.1. Baggrund 29
      3.2.2. Oversigt over anvendte afgrøder..... 30
      3.2.3. Sammenligning af fyringsforsøg og helhedsindtryk..... 31
      3.2.4. Konklusioner og anbefalinger..... 33
   3.3. Brændselskarakterisering af potentielle biobrændsler (Techwise A/S)..... 34
      3.3.1. Prøve- og analyseomfang 34
      3.3.2. Forbrændingsmæssige anvendelser 35
         3.3.2.1. Biomassefyrede fjernvarme- eller kraftvarmeanlæg..... 36
         3.3.2.2. Tilsatsfyring i kulfyrede kraftværker..... 37

3.3.2.3. Andre anlægstyper 38
3.3.3. Konklusion 38

4. Miljømæssige forhold 41
4.1. Bæredygtig produktion af energiafgrøder (DJF – Foulum) 41
4.1.1. Gennemførsel 41
4.1.2. Nitratudvaskning (kg N/ha) fra elefantgræs og pil 43
4.1.3. Nitratudvaskning (kg N/ha) i traditionelt landbrug og ved dyrkning af energikorn 43
4.1.4. Tørstofudbytte af elefantgræs og pil 44
4.1.5. Pesticidforbrug i energikorn, elefantgræs og pil 45
4.1.6. Samlet drivhusgasbalance for energikorn og elefantgræs 46
4.1.7. Konklusioner 46
4.2. Naturindholdet ved dyrkning af flerårige energiafgrøder, pil og elefantgræs (DMU – Kalø) 48
4.2.1. Metode 48
4.2.2. Resultater 48
4.2.3. Konklusioner og anbefalinger 50

5. Økonomiske forhold (SJFI) 51
5.1. Metode og forudsætninger 51
5.2. Omkostninger til produktion af energiafgrøder 52
5.3. Driftsøkonomi for den enkelte landmand 57

6. Samlet vurdering 63
6.1. Dyrkning og udbytter 63
6.2. Bjergning og håndtering 64
6.3. Brændselsmæssige egenskaber 67
6.4. Miljømæssige forhold 69
6.5. Økonomi 70

Summary 73

Litteraturliste 77

Konklusion

Der har i ”energiafgrødeprogrammet” været undersøgt en række energiafgrøder og håndteringssystemer.

Formålet med projektet har været at vurdere mulighederne for en driftsøkonomisk optimal og miljømæssig forsvarlig produktion og anvendelse af energiafgrøder.

På baggrund af projektets resultater fremstår energikorn (triticale eller rug) sammen med pil, som de energiafgrøder, der ud fra en samlet vurdering giver de bedste muligheder, eventuelt sammen med forårshøstet elefantgræs i visse klimatisk optimale områder.

Udbyttepotentialet og dyrkningssikkerheden for disse afgrøder er tilstrækkeligt kendt og veldokumenteret, så der ikke ud fra en ressourcemæssig betragtning er grund til at afvente afprøvning af mere eksotiske afgrøder.

Produktion af energikorn kan for den dyrkningsmæssige del med få tilpasninger indgå i den almindelige korndyrkning, mens der ved høst og bjergning er tale om andre systemer i form af skårlægning og presning i storballer.

Den danske piledyrkning er arealmæssigt af behersket størrelse (under 1.000 ha), men der findes hos de relativt få dyrkere en meget stor praktisk erfaring og ekspertise. Etablering, drift og høst af energipil må hovedsageligt forventes at blive udført på entreprenørbasis. Der er her tale om specialmaskiner, der ikke vil være rentable at investere i på den enkelte ejendom.

En effektiv høst og logistik for energipil forudsætter et rimeligt arealgrundlag inden for en vis radius. Det vil derfor være en oplagt mulighed at danne dyrkningslav, således at det nødvendige arealgrundlag sikres. Dyrkningsrisikoen for den enkelte landmand kan herved mindskes og forsyningssikkerheden bliver større. Samtidig vil der også være grundlag for at sikre den nødvendige driftsledelsesmæssige ekspertise.

Der er for energikorn i storballer, direkte leveret pileflis og elefantgræs, ikke fundet brændselsmæssige egenskaber, der udelukker deres anvendelse i større kollektive energianlæg, der er dog heller ikke fundet egenskaber, der brændselsmæssigt gør dem mere velegnede end halm og skovflis.

Hverken energikorn eller elefantgræs er anvendelige i småkedler (mindre end 50 kW) uden at der i forbindelse med en pelletering anvendes additiver, ligesom der for pil må forventes en øget tilsmudsning og askedannelse.

Energiafgrøder må forventes at skulle anvendes på nyopførte værker, idet den nuværende "biomassekapacitet" vil være opbrugt af halm og skovflis. Det vil i denne forbindelse være muligt at opføre "multibrændselsanlæg" der kan anvende forskellige energiafgrøder.

Pil og elefantgræs er flerårige afgrøder med et relativt lavt kvælstofbehov, der samtidig har den samme udnyttelsesgrad af organisk (slam-gylle) og uorganisk kvælstof (handelsgødning). Dette betyder over omdriftsperioden en meget lav udvaskning for begge gødningstyper, selv om der i anlægsåret må forventes en større udvaskning.

Kvælstofudvaskningen fra energikorn kan reduceres betydeligt ved en kvælstoftildeling på 60-90 pct. af normen, uden at den reducerede tildeling forøger omkostningerne væsentligt i forhold til konventionelt dyrket.

Energiafgrøder er derfor en oplagt mulighed på miljøfølsomme arealer og i vandindvindingsområder.

Produktionsomkostningerne an værk for pil (direkte leveret) ligger på 30-33 kr./GJ på lerjord og 36-39 kr./GJ på sandjord, mens omkostningerne an værk for energikorn i storballer (leveret over året) ligger på 38-39 kr./GJ på lerjord og 43-45 kr./GJ på sandjord.

Omkostningerne for halm an værk ligger på omkring 28 kr./GJ, mens importeret træflis i en længere periode har ligget på niveauet 31-33 kr./GJ.

Skal der sikres en økonomisk forsvarlig helårsforsyning af dansk producerede energiafgrøder, er det nødvendigt at anvende både lagringsegnede energiafgrøder (energikorn) og direkte levering af ikke lagringsegnede som pil.

Da pil har en 4 måneders høstperiode fra november til marts, vil det være muligt at få dækket omkring 50 pct. af energiforsyningen til et typisk værk ved direkte levering, mens der i perioderne september-november og april-august kan suppleres med energikorn og /eller halm.

Ved en sådan kombination vil eksempelvis en helårslevering baseret på 25 pct. energikorn, 49 pct. pileflis og 26 pct. halm have en gennemsnitlig omkostning på 33-34 kr./GJ.

Inddrages de forskellige landbrugsstøtteordninger vil landmanden med de nuværende priser på halm og flis kunne opnå dækningsbidrag (efter maskin- og arbejdsomkostninger), der er på niveau eller over dækningsbidraget for vårbyg. Det skal dog her bemærkes, at de beregnede dækningsbidrag/ha for såvel vårbyg som energiafgrøder ligger lavere end de aktuelle støttebeløb, der udbetales pr. hektar.

Der vil være en række bedriftsspecifikke forhold, der afgør om den enkelte landmand vil vælge energiafgrøder som en ny produktionsform, ligesom det også vil være bedriftsspecifikke forhold, der vil afgøre valget mellem en- eller flerårige afgrøder. Energiafgrøder kan være en attraktiv produktion på miljøfølsomme områder og vandindvindingsområder, ligesom energiafgrøder dyrket på braklagte arealer kan indgå i harmoniarealet og dermed tilføres husdyrgødning.

Ved en samlet elpris på 0,30-0,35 kr./kWh (inkl. grønt certifikat) og en varmepris på 45-48 kr./GJ er det tidligere vurderet at et middelstort k-v værk vil kunne betale 20-24 kr./GJ hvis biomassen skal anvendes i et separat anlæg. Betalingsevnen vil stige til 30-34 kr./GJ ved samfyring med kul (Gylling et al., 2001).

Skal anvendelsen af energiafgrøder fremmes, er det nødvendigt, at der skabes de rette politiske rammebetingelser således, at der sikres en rimelig og længerevarende sikkerhed for afregnings- og tilskudsforhold.

Der er i energiafgrødeprojektet skabt et godt grundlag for en videre udvikling på området. Der er ikke væsentlige dyrkningsmæssige, miljømæssige eller brændselsmæssige barrierer for en produktion og anvendelse af energiafgrøder i energisektoren. De nødvendige tilpasninger for at få produktionssystemerne til at fungere, er af en sådan karakter, at de kan løses og foretages i praksis.

Der mangler dog både på landbrugssiden og i energisektoren længerevarende praktiske erfaringer i fuld skala før der kan træffes kommercielle beslutninger.

På denne baggrund kan det derfor anbefales, at der forud for en større satsning på energiafgrøder iværksættes et eller flere fuldskala demonstrationsprojekter drevet og udført i samarbejde mellem landbruget, maskinstationerne og energisektoren. Projek-

tet skal dække hele produktionskæden dyrkning – logistik – energiproduktion og askehåndtering i en helårsforsyning med biomasse.

Projektet skal have en varighed og et omfang der sikrer muligheden for at optimere fuldskalasystemer og samtidig afdække og fjerne de praktiske barrierer, der vil kunne opstå.

1. Baggrund

Den danske energihandlingsplan – Energi 21 (Energistyrelsen 1996) har en øget anvendelse af vedvarende energi som et væsentligt redskab til opfyldelsen af de energipolitiske mål om en samlet reduktion af CO_2 udledningen med 50 pct. inden år 2030. Det er således forudsat, at vedvarende energi i år 2030 skal dække i størrelsesordenen 35 pct. af det samlede energiforbrug, svarende til omkring 235 PJ[1], hvoraf biomasse fra land- og skovbrug forventes at udgøre 124 PJ inklusive 20 PJ fra biogas.

Dette mål vil ikke kunne dækkes af halm og skovflis alene, idet disse kun forventes at kunne dække omkring 60 PJ. Der er derfor planlagt en indfasning af energiafgrøder startende efter år 2010.

Da der ikke er nogen betydende produktion af energiafgrøder i Danmark blev der i 1995 foreslået et *Udviklings- og demonstrationsprogram vedrørende produktion og anvendelse af energiafgrøder*.

1.1. Formålet med ”Energiafgrødeprogrammet”

I 1997 blev Energiafgrødeprogrammet - ”Demonstrations- udviklingsprogram vedrørende produktion og anvendelse af energiafgrøder” iværksat med en projektperiode på 4½ år.

Formålet med dette program har været at udvikle og demonstrere en driftsøkonomisk optimal og miljømæssig forsvarlig energiafgrødeproduktion til brændselsforsyning såvel lokalt som centralt i kraft/varmeværker. Det har således været målet at opbygge et solidt praktisk vidensgrundlag for beslutningstagning vedrørende etablering af energiafgrødeproduktioner.

Programmet har kun beskæftiget sig med faste biobrændsler fra landbrug og skovrejsningsarealer med hovedanvendelse i større decentrale og centrale energianlæg.

[1] 1PJ = 10^{15} Joule og svarer til ca. 25.000 tons olie, ca. 40.000 tons kul eller ca. 60.000 tons halm.

1.2. Projektets indhold og gennemførelse

Programmet er gennemført som en række indbyrdes samarbejdende og koordinerende delprojekter og dækker hele produktionskæden for udvalgte energiafgrøder og typer af "energiskov".

Projektet har dog ikke haft direkte aktiviteter indenfor alle elementer i samtlige produktionskæder. Af ressourcemæssige årsager er der foretaget en prioritering således, at der fokuseres på de områder i de enkelte produktionskæder hvor videngrundlaget er vurderet svagest. I tabel 1.1 er vist en samlet oversigt over aktiviteter i de enkelte produktionsled.

De områder, hvor der ikke er angivet aktiviteter, er dækket af allerede afsluttede eller igangværende projekter. Resultaterne fra disse er anvendt i forbindelse med projektets samlende teknisk, miljømæssige og økonomiske vurdering.

Tabel 1.1. Samlet oversigt over aktivitet i de enkelte produktionsled/projektdele

	Skov	Pil	Elefantgræs	Rørgræs	Hamp	Rug	Triricale
Etablering/dyrkning	+	#	#	#	#	+	+
Høst/lagring/transport	+	#	#	#	#	+	+
Sortsvalgets betydning for optimering af brændselskvalitet og udbytte	#	#	+	+	+	+	+
Brændselskarakterisering af potentielle biobrændsler	#	#	+	+	+	+	+
Brændselsanalyser og fyringsforsøg	#	#	+	+	+	+	+
Påvirknings af vandmiljøet ved landbrugsmæssig produktion af energiafgrøder			+	#	#	+	+
Påvirkning af vandmiljøet, herunder vandbalancer og udledning af uønskede stoffer til vandmiljøet ved dyrkning af energiskov	+	#					
Høst, pelletering og lagring af elefantgræs			+				
Naturindholdet ved dyrkning af de flerårige energiafgrøder, pil og elefantgræs		+	+				
Visualisering af energiafgrøders indflydelse på landskabet	+	+(#)					
Kulstofbalancer ved dyrkning af energiskov	+						
Planlægning og koordinering mellem brændselsfremskaffelse og slutanvendelse.	+ (#)	+(#)	+ (#)	+ (#)	+ (#)	+(#)	+ (#)
Teknisk og energimæssig opfølgning	+	+	+	+	+	+	+
Analyse og økonomivurdering af en- og flerårige energiafgrøder	+ (#)	+(#)	+ (#)	+ (#)	+ (#)	+(#)	+ (#)

+ Undersøges i projektet # Publiceret materiale inddrages i projektet

De enkelte projektdeltagere har været ansvarlige for hver deres delprojekt(er) hvad angår gennemførelse, faglig afrapportering og budget. Til sikring af det samlede projekts fremdrift og koordinering har Morten Gylling, Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut fungeret som projektkoordinator.

Denne rapports formål er, på baggrund af de enkelte delprojekters resultater, at give en gennemgang af programmets samlede resultater i form af en teknisk, miljømæssig og økonomisk vurdering af produktion og anvendelse af energiafgrøder som fast brændsel i større decentrale og centrale energianlæg.

Denne rapport omfatter ikke delprojekterne vedrørende skovrejsning, idet disse projekter af bevillingsmæssige årsager blev iværksat senere og derfor først afrapporteres primo 2002.

Rapporten giver en summarisk beskrivelse af de enkelte delprojekters hovedresultater og konklusioner. Der henvises til rapporterne fra delprojekterne for en nærmere beskrivelse af metode, resultater og konklusioner.

Kapitlerne 2-5 omhandler

- dyrkning og håndtering af energiafgrøder
- brændselsmæssige egenskaber
- miljømæssige forhold
- økonomiske forhold

mens kapitel 6 giver en samlet oversigt og vurdering.

2. Dyrkning og håndtering af energiafgrøder

Der har i programmet været gennemført demonstrationsdyrkninger af energikorn (triticale) hos en række landmænd i dyrkningsårene 1997/98 (61,1 ha) og 1998/99 (40,6 ha). Dyrkningerne er blevet gennemført på både grovsandede jordtyper (Grindsted området) og lerede jordtyper (Ry området).

Demonstrationsarealerne er dels blevet brugt til at fremskaffe en række dyrkningsmæssige resultater og erfaringer, dels til undersøgelser af forskellige bjergnings- og håndteringskæder. Der er desuden blevet gennemført undersøgelser med høst og bjergning af elefantgræs på eksisterende arealer.

Projekterne er afrapporteret i ”Triticale til energi”; Keld Vodder Nielsen, Landskontoret for Planteavl, LR 1999 og ”Håndtering af energiafgrøderne triticale og elefantgræs”; Villy Nielsen og Henrik S. Mortensen, DJF rapport nr. 44, markbrug 2001.

Der henvises til disse for en beskrivelse af projekternes gennemførelse og resultater.

2.1. Dyrkning (Landbrugets Rådgivningscenter)

Demonstrationsdyrkningerne har været gennemført af Landskontoret for Planteavl i samarbejde med Østjysk Familielandbrug i Ry og Midtjysk Rådgivningscenter i Grindsted:

Der er blevet udarbejdet specifikke dyrkningsvejledninger for triticale til energiformål. Der er dels udarbejdet en dyrkningsplan, som er optimeret udfra et økonomisk synspunkt, dels en plan hvor brugen af hjælpestoffer er reduceret med henblik på at begrænse miljøpåvirkningen.

- Der er blevet udarbejdet specifikke dyrkningsplaner for energiafgrøderne på de enkelte marker i samråd med de enkelte landmænd.

- Der er blevet indsamlet en række registreringer på markniveau.

- Jordbundsanalyser, behandlinger og registreringer fra enkeltmarker er blevet samlet i landskontorets forsøgsdatabase.

- Der er blevet udarbejdet en række kontrakter og dispensationsansøgninger m.v. vedrørende levering af energiafgrøden til kraftværkerne.

2.1.1. Udbytteresultater

Den tørre biomasse er dels blevet indfyret på Grenå kraftvarmeværk, som pellereret materiale, dels på Sønderjyllands Højspændingsværk der kunne håndtere storballer med en vægt op til 1.100 kg. Afgrøden blev bjærget ved mejertærskermodenhed. Det samlede udbytte hos forskellige avlere er vist i tabel 2.1.

Tabel 2.1. Biomasseudbytte i triticale i vækstårene 1997/98 og 1998/99

		1998			1999		
Vært	Jordtype	Behand-lingsindeks	Udbytte, t/ha Konv.	Mv*	Behand-lingsindeks	Udbytte, t/ha Konv.	Mv*
FM, Ry	JB 5	0,9	12,7		0,8	10,3	
TE, Låsby	JB 5	0,3	13,1		0,0	9,8	
JV, Horsens	JB 4	1,1	9,1		0,8	12,8	
AC, Silkeborg	JB 4	1,0	5,6				
OS, Silkeborg	JB 4				-	8,7	
MN, Ry	JB 6	1,7	14,6	11,9			8,6
PL, Sorring	JB 5	1,2	14,2				
HS, Grindsted	JB 1	0,5	9,8		0,9	9,6	
JP, Grindsted	JB 1	0,9	9,1		0,9	8,9	
BM, Grindsted	JB 1	1,2	11,5	9,3	0,8	6,7	4,1
BM, Grindsted	JB 1	1,2	11,3				
KRH, Grindsted	JB 1	0,6	11,8				
Gennemsnit		0,9	11,2	10,6	0,7	9,5	6,4
Gennemsnit JB >3			11,6			10,4	
Gennemsnit JB 1			10,7			8,4	

Konv.: Konventionel dyrkning af afgrøden.

Mv*: Miljøvenlig dyrkning – gødsket med 60 pct. af kvælstofnormen og dyrket uden anvendelse af plantebeskyttelsesmidler.

Afregningsprisen for triticale-energikorn leveret på værket var 40 øre pr. kg ved et vandindhold på 16 pct. Med denne afregningspris for afgrøden har det været karakteristisk, at avlerne sparede på brugen af hjælpestoffer i dyrkningen, ligesom energiafgrøden har fået en lav prioritering i sædskiftet. Forfrugten til energiafgrøden har således først og fremmest har været korn.

Enkelte demonstrationsarealer blev kun gødsket med 60 pct. af kvælstofnormen og dyrket uden anvendelse af pesticider. På disse arealer var udbyttet relativt lavt, 60-80 pct. af udbyttet ved konventionel gødskning og plantebeskyttelse.

2.1.2. Konklusioner vedrørende dyrkning

- Der er registreret et gennemsnitligt udbytte på 10,4 tons biomasse pr. ha (16 pct. vand). Det gennemsnitlige udbytte har været 9,6 og 11,0 tons biomasse pr. ha på hhv. sand (JB 1-3) og lerjord (JB 4-6).

- Behandlingshyppigheden i triticale til energi har været lav (0,8) sammenlignet med konventionel dyrkning af vintersæd (1,5 til 2,5).

- På arealer, hvor der ikke blev anvendt pesticider, og hvor der kun blev gødsket med 60 pct. af kvælstofnormen, udgør udbyttet 60 til 80 pct. af udbyttet ved konventionel gødskning og plantebeskyttelse.

- Både i 1998 og 1999 har det været muligt at skårlægge og presse afgrøden i storballer med lav spildprocent.

2.2. Håndtering (DJF – Bygholm)

De ovenfor beskrevne demonstrationsarealer er også blevet anvendt til at undersøge forskellige håndteringsmetoder og -teknikker for at belyse de tekniske og arbejdsmæssige ressourcekrav samt anvise logistisk rationelle håndteringssystemer fra mark til værk.

Med samme formål blev der i den samme periode også gennemført tilsvarende undersøgelser i allerede etablerede afgrøder med elefantgræs.

De overordnede håndteringsmetoder var følgende:

Triticale:	Elefantgræs:
Mejetærskning[2]	Finsnitning
Finsnitning	Presning i storballer
Presning i storballer	
Ribbehøst	

[2] Mejetærskning er ikke undersøgt i projektet – men brugt som reference på baggrund af erfaringstal.

2.2.1. Triticale

Mejetærskemetoden, hvor kerner og halm håndteres hver for sig, er den traditionelle og velkendte metode og er derfor medtaget til sammenligning. Kapaciteten og arbejdsbehovet afhænger af den valgte maskinstørrelse og metodik samt af transportafstanden. Bortset fra en bugserede ribbehøster, var de maskinstørrelser, der indgik i undersøgelsen, ret store og sammenlignelige.

Kapaciteten kan ikke angives med et enkelt tal, idet kapaciteten er relateret til den enkelte delproces, som ikke nødvendigvis er afhængig af den foregående eller efterfølgende delproces. Vedrørende kapaciteten, er det derfor nødvendigt at studere de enkelte delprocesser i rapporten. Men generelt er kapaciteten stor, bortset fra den bugserede ribbehøster.

Mejetærskemetoden, der omfatter levering af kerner og halm hver for sig, har et arbejdsbehov på 19-27 min/t ved en transportafstand på 50 km. Finsnittemetoden har et arbejdsbehov fra 24-26 min/t, og ribbehøstmetoden har et arbejdsbehov mellem 24 og 35 min/t. Det laveste arbejdsbehov er opnået med storballemetoden, hvor triticalen skårlægges og presses i storballer. Her er arbejdsbehovet på mellem 15 og 20 min/t.

Energibehovet følger stort set arbejdsbehovet, idet storballemetoden udviser det laveste energibehov, og ribbehøstmetoden med bugseret finsnitter har det højeste energibehov.

En del af det finsnittede og ribbehøstede materiale blev pelleteret. Det har teknisk fungeret udmærket, men metoden er først konkurrencedygtig med hensyn til arbejdsbehov og energibehov ved transportafstande på over 50 km, fordi materialet først skal transporteres til et pelleteringsanlæg. Energibesparelsen sættes dog til flere gange, fordi pelleteringsprocessen har et energibehov på ca. 1,23 GJ pr. tons piller (34 liter diesel). Pillerne har imidlertid store håndteringsmæssige fordele især i landdistrikterne, idet de kan håndteres på samme måde som træpiller, der håndteres som løsvare, i storsække eller i små sække.

Ved finsnittemetoden og ved storballemetoden er der kun en fraktion, hvilket alt andet lige må betragtes som en fordel, fordi mekaniseringen forenkles. Det finsnittede materiale fylder imidlertid meget, og det er vanskeligt at finde indendørs lagerplads, så det kan opbevares over hele fyringssæsonen. Storballemetoden har dog vist sig at være et godt alternativ til mejetærskning, idet ballerne umiddelbart kan modtages på

værkerne med den i dag anvendte lager- og indfyringsteknik. Der bør tilstræbes en ballevægt på 800-1000 kg for at reducere håndteringsomkostningerne. Det vil imidlertid kræve omstilling på nogle værker, fordi kranen ikke kan løfte de tunge baller. Energikornballerne *tåler absolut ikke vand*, fordi kernerne er meget spirevillige, hvorved nedbrydningen af det letomsættelige organiske materiale hurtigt vil begynde. Spirede eller våde baller kan værkerne ikke håndtere. Forsøg med udendørs tildækkede stakke er stort set alle mislykkedes. Energikornballerne bør derfor opbevares under tag.

Ribbehøstmetoden er ikke umiddelbart en anbefalelsesværdig metode, fordi ribbemiksens vægtfylde i triticale er for lav, og halmen efter ribbehøsteren kan være vanskelig at samle op. Der er behov for udvikling, hvis denne metode skal være attraktiv. Fordelen ved ribbehøst skulle ellers være, at strået bliver stående på marken for udvaskning af skadelige salte.

2.2.2. Elefantgræs

Kapaciteten har generelt været lav og arbejdsbehovet stort, sammenlignet med triticale. Det skyldes hovedsagelig elefantgræssets struktur, og det anvendte materiel, som ikke er tilpasset til denne afgrøde. Undersøgelsen har omfattet finsnitning med både bugseret og selvkørende finsnitter samt presning i storballer. Finsnitning er hovedsagelig gennemført om efteråret ved et tørstofindhold på ca. 50 pct., og presning er hovedsagelig gennemført om foråret med et tørstofindhold på ca. 84 pct.

I et af forsøgene med selvkørende finsnitter, var der monteret et containerlad på finsnitteren, således at den fyldte container blev afsat på forageren og derfra transporteret videre med lastvogn. Metoden er meget tiltalende, fordi den er arbejdsbesparende, idet hele arbejdet med at køre materialet i markstak og senere læsning på lastvogn helt undgås. Metoden kan i princippet også anvendes til energikorn eller lignende afgrøder.

Der blev desuden monteret en slaglesnitter foran pickuppen på presseren, så elefantgræsset kunne høstes direkte med storballepresseren. Teknikken skal imidlertid videreudvikles, for at opnå en tilfredsstillende kapacitet.

2.3. Konklusioner

Energikorn, triticale

Mejetærskemetoden

- Den traditionelle, velkendte og gennemprøvede metode med mejetærskning og presning af halmen i storballer fungerer uden problemer. Arbejdsbehovet, kapaciteten og energibehovet er middelstort.
- Håndtering af halm i storballer til og på værket er ligeledes den traditionelle metode og har fungeret tilfredsstillende. Levering direkte fra marken er den mindst arbejdskrævende metode, men det kræver stor lagerkapacitet på værket.
- Ballevægten af halm på ca. 525 kg medfører en nettolæsvægt ved levering til værket på 12,6 t. Det er væsentlig mindre end lastvognen kan laste, hvilket indirekte betyder en dårlig transportøkonomi.
- Omlæsning af korn fra tank til vogn under kørsel betyder lange ventetider for transportleddet. Dette kan undgås ved at tømme korntanken af i en stationær vogn for enden af marken, hvilket dog medfører, at mejetærskekapaciteten nedsættes med ca. 10 pct.
- Ved transport af kernerne anvendes de traditionelle metoder. Nettolæsvægten er op til 30 t. Levering direkte fra marken i containere er den mindst arbejdskrævende metode, men mejetærskekapaciteten nedsættes med ca. 10 pct.

Storballemetoden

- Triticalen blev skårlagt med en skårlægger af den type, der normalt anvendes i raps. Det har teknisk fungeret udmærket, og kapaciteten er rimelig.
- Presning af den skårlagte triticale med en storballepresser har fungeret tilfredsstillende, bortset fra et enkelt forsøg, hvor det var nødvendigt at lægge to skår sammen, for at få ballekammeret fyldt ordentligt op.
- Kapaciteten er meget stor ved presning af triticale i storballer.
- Ballevægten har varieret meget, bl.a. fordi kraftvarmeværkets kran ikke kunne løfte baller, der var tungere 600-650 kg.
- I det sidste forsøgsår blev der opnået en gennemsnitlig ballevægt på 842 kg. I et enkelt forsøg var ballevægten i gennemsnit på 957 kg med et vandindhold på 12,9 pct. Hvis dette korrigeres til 16 pct. vand, er ballevægten 992 kg eller meget tæt på den magiske ballevægt på 1.000 kg, hvorved en lastbils lastkapacitet kan udnyttes fuldt ud. Energikornballerne blev i dette forsøgsår leveret til Enstedværket ved Åbenrå, hvis kran kunne løfte de tunge baller uden problemer.
- Den gennemsnitlige læsvægt ved transport til værket var i sidste forsøgsår på ca. 20 t, men den kunne øges til ca. 24 t ved de tungeste baller.

- Det kan ikke forventes, at en almindelig frontlæsser kan løfte 2 tunge energikornballer, som det ellers er almindeligt ved på- og aflæsning af halmballer.
- Industrilæssere, som en rendegraver, teleskoplæsser eller gummiged, kan udmærket løfte 2 tunge energikornballer, men kontravægten skal tilpasses derefter.
- Balledensiteten blev målt til 220 kg/m^3 i gennemsnit af sidste forsøgsår mod ca. 139 kg/m^3 for halm. I et enkelt forsøg blev balledensiteten målt til 247 kg/m^3.
- Ved presning af "helsæden" i storballer fremkommer kun en fraktion, hvilket forenkler den tekniske indsats.

Finsnittemetoden

- Finsnitning af triticalen medfører kun en fraktion, hvilket umiddelbart er en fordel, men det finsnittede materiale fylder meget, og håndteringsteknikken, fra triticalen er snittet til det ligger på værket, er ikke optimal.
- Det er ligeledes et problem, hvorledes det snittede materiale kan opbevares indtil det kan modtages på værket.
- Kapaciteten ved finsnitning er meget stor, men der skal anvendes 2-3 vogne til at køre materialet fra finsnitteren og lægge det i stak for enden af marken.
- Det finsnittede materiale blæses som regel over i en parallelt kørende vogn. Dette medfører, at der skal indsættes en ekstra vogn og traktor, hvilket ikke er nødvendigt, ved anvendelse af en efterkoblet vogn. Fordelen ved af køre side ved side er, at det er hurtigere at skifte vogn, end at omlæsse fra den efterkoblede vogn til en transportvogn. Arbejdsbesparelsen er dog meget lille forudsat, at transportvognene hele tiden er parate, når en vogn er fyldt op.
- Det tager forholdsvis lang tid at læsse materialet på en lastvogn i forbindelse med levering til værket. Aflæsning på værket ved tipning går imidlertid hurtigt. En gummiged blev anvendt til læsning. Skovlen rummede ca. 258 kg.
- Ved transport på lastvogn med 2 containere blev densiteten målt til 195 kg/m^3, svarende til en nettolæsvægt på ca. 13,6 t, når lastvognens forvogn og anhænger tilsammen indeholder 70 m^3.
- Det finsnittede materiale, der ligger i en roekulelignende stak på marken, tåler ikke fugt hverken oven- eller nedefra. Tildækning er imidlertid vanskelig, og der er risiko for dannelse af kondensvand, hvis der ikke er tilstrækkelig udluftning. Hvis der lægges plast el.lign. i bunden, kan der ikke læsses med gummiged.
- Pelletering af det finsnittede materiale blev gennemført uden problemer og uden tilsætningsstoffer.

- Transport af pillerne til værket forløb ligeledes uden problemer, og lasteevnen var på ca. 27 t.
- Aflæsning af pillerne på værket, via lastvognens suge/tryk-blæser over i en højsilo, tog urimelig lang tid, ca. 88 min/læs mod ca. 15 min/læs ved aftipning.
- Der er umiddelbart store håndteringsmæssige fordele ved pelletering, men det er ikke umiddelbart konkurrencedygtigt over for træpiller.

Ribbehøstmetoden

- Kapaciteten ved ribbehøst med en bugseret ribbehøster var lille, men det skyldes bl.a., at ribbebordet kun havde en arbejdsbredde på ca. 2,3 m.
- Kapaciteten ved at anvende en selvkørende ribbehøster er væsentlig større.
- Kapaciteten ved ribbehøst vil formentlig være større end finsnitning, fordi finsnitteren skal behandle hele materialet, hvorimod ribbehøsteren kun behandler akset og den øverste del af strået.
- Ribbehøsteren er i dette tilfælde en finsnitter, der er udstyret med et ribbebord i stedet for et skærebord.
- Efter ribbehøst står halmen tilbage. Står den i en passende tid, kan en del af de uønskede salte udvaskes.
- Det ribbehøstede materiale (ribbemiksen) lægges i en stak for enden af marken, hvorfra det håndteres på samme måde som finsnittet materiale.
- Densiteten af ribbemiksen blev gennemsnitlig målt til 195 kg^3, eller det samme som ved finsnittet materiale. Dette var væsentlig mindre end forventet, idet der tidligere var målt en densitet på omkring 300 kg/m^3 i hvede.
- Kraftvarmeværket kunne ikke som planlagt modtage det finsnittede materiale, aflæsset på pladsen foran værket. I stedet skulle materialet blæses op i en silo, hvilket viste sig at være yderst vanskeligt.
- En lastvogn, beregnet for træspåner, blev forsøgsvis anvendt. Lastvognens rumindhold var 70 m^3 og forsynet med en suge/tryk-blæser til på- og aflæsning. Der var forventet en nettolæsvægt på ca. 20 t, men nettolæsvægten var kun 8,8 t, svarende til en densitet på 126 kg/m^3.
- Læssetiden var ca. 1 time, hvilket ifølge chaufføren var rimelig, forudsat læsvægten havde været, som forventet.
- Aflæsningstiden på værket, hvor lastvognens blæser skulle blæse materialet over i en højsilo, var på 4 timer, hvilket var helt uacceptabelt. Desuden var der meget store problemer med at få materialet ud af siloen igen. Metoden blev opgivet.
- Ifølge planen skulle det finsnittede materiale også transporteres med samme type lastvogn, som anvendt til ribbemiksen, men på grund af de dårlige erfaringer herfra, blev metoden opgivet.

- Både ribbemiksen og det finsnittede materiale blev derfor pelleteret, idet det var den eneste måde, værket kunne håndtere materialet på. Pelleteringen fungerede teknisk udmærket.

Elefantgræs

- Arbejdsbehovet ved skårlægning af elefantgræs er ca. dobbelt så stor som ved triticale. Ved skårlægning af elefantgræs benyttes en græsskårlægger. Ved skårlægning af triticale anvendes en rapsskårlægger.
- Kapaciteten ved snitning med finsnitter er væsentlig lavere end ved snitning af triticale, hvilket formentlig skyldes stråets struktur.
- Nettolæsvægten er beregnet til 9,3 t ved transport af finsnittet elefantgræs. Der blev benyttet en lastvogn med 2 containere, der i alt rummede 70 m^3, svarende til en densitet på 133 kg/m^3, hvilket er væsentligt lavere end for triticale.
- Kapaciteten ved presning af elefantgræs i storballer er mindre end halvdelen af kapaciteten ved presning af triticale.
- Hvis presseren udstyres med en snitter foran pickuppen til direkte høst, medfører dette et yderligere fald i kapaciteten, men til gengæld bortfalder skårlægningen.
- Ballevægten er på ca. 630 kg, svarende til en densitet på ca. 178 kg/m^3, hvilket er noget lavere end for triticalen, men noget højere end for halm.
- Transportmetoden for det snittede og pressede materiale er den samme som for triticale. Dette har fungeret fuldt tilfredsstillende.
- Hvis finsnitteren udstyres med containerlad, så den fyldte container afsættes på marken og transporteres videre herfra med lastvogn, kan markstak og læsning på lastvogn undgås. Derved kan arbejdsbehovet mere end halveres, men kapacitet falder dog med ca. 8 pct.
- Generelt kan konkluderes, at det anvendte høstmateriel, der i det væsentligste er det samme, som det, der benyttes til triticale, græs eller halm, ikke har været tilpasset til høst af elefantgræs. Dette har medført en væsentlig lavere kapacitet og dermed også et højere arbejdsbehov, sammenlignet med triticale. Årsagen skyldes, at elefantgræssets struktur har givet problemer ved indføringen.

Energibehov

- Storballemetoden har vist sig at være den mindst energikrævende metode ved håndtering af triticale. De mest energikrævende er ribbehøst- og finsnittemetoderne.
- Pelletering kan reducere energibehovet ved høst og håndtering, men denne fordel går tabt flere gange ved pelleteringsprocessen.

- Mejetærskning af triticale, med efterfølgende levering af kerner og halm, har et middelstort energibehov. Containertransport vedrørende korn, er den mindst energikrævende metode.
- Finsnitning af elefantgræs har både det laveste og højeste energibehov alt efter håndteringsmetoden. Hvis finsnitteren er udstyret med containerlad, og materialet pelleteres, er energibehovet lavest. Lægges det finsnittede materiale i markstak og leveres løst, er energibehovet højest.
- Presning i storballer, med efterfølgende levering, resulterer i et middelstort energibehov.
- Energibehovet er væsentligt højere for elefantgræs, end det er for triticale, hvilket er relateret til den lavere kapacitet.
- Afhængig af den anvendte metode, varierer energibehovet fra 4 til godt 7 l diesel/t for triticale og fra ca. 7 til godt 9 l diesel/t for elefantgræs ved en transportafstand på 50 km.

3. Brændselsmæssige egenskaber

Halm og træflis er de to velkendte biobrændsler i den danske energiforsyning, mens der ikke er det samme brændselsmæssige erfaringsgrundlag for energiafgrøder. Der er i energiafgrødeprogrammet gennemført 3 projekter med relation til brændselskvalitet og brændselsmæssige egenskaber.

I delprojektet ”Sortsvalgets betydning for optimering af brændselskvalitet og udbytte af rug og triticale” er det gennem en 3-årig periode undersøgt, om der er en sammenhæng mellem sortsvalg og brændselskvalitet. Der er også fra dette delprojekt blevet sendt dokumenterbare brændselsprøver til de to nedenstående delprojekter i energiafgrødeprogrammet.

Der er i delprojektet ”Brændselskarakterisering og fyringsforsøg” gennemført en række fyringsforsøg med energiafgrøder. Fyringsforsøgene er gennemført på en mindre biobrændselskedel (30 kW), hvilket svarer til en typisk kedelstørrelse for privat opvarmning i område IV[3]. Brændslerne til fyringsforsøgene er dokumenterbare med hensyn til dyrkningssted, -år og –metode.

De anvendte brændsler er samtidigt blevet analyseret i delprojektet ”Brændselskarakterisering af potentielle biobrændsler”. Biobrændslerne er blevet analyseret for en række indholdsstoffer af betydning for brændselskvaliteten og analyseresultaterne er sammenholdt med typiske værdier for halm og træflis.

Der er på baggrund af analyseresultaterne givet en vurdering af de forskellige energiafgrøders egnethed som biobrændsler i forskellige kedeltyper.

Projekterne er afrapporteret i:

”Sortsvalgets betydning for brændselskvalitet og udbytte af rug og triticale”; Poul Flengmark og Johs. R. Jørgensen; DJF, afd. for Plantebiologi, Flakkebjerg, 2001

”Energiafgrødeprogrammet 1997-2000 – rapport for to delprojekter – Brændselsanalyser og fyringsforsøg; - Teknisk energimæssig opfølgning”; Torben Nørgaard Jensen og Lars Steenbjerg Nikolaisen; Teknologisk Institut, Energidivisionen, 2001
og

[3] Område IV omfatter spredt bebyggelse uden mulighed for tilslutning til kollektiv varmeforsyning.

”Energiafgrødeprogrammet 1997-2000 – slutrapport for delprojekt: Brændselskarakterisering af potentielle biobrændsler”; Bo Sander, Tech-wise A/S, 2001.

Der henvises til disse for en mere detaljeret beskrivelse af projekternes gennemførelse og resultater.

3.1. Sortsvalgets betydning for optimering af brændselskvalitet og udbytte af rug og triticale (DJF – Flakkebjerg)

Med henblik på at finde mulig sammenhæng mellem sortsvalg, brændselskvalitet og biomasseudbytter er der fra 1997-1999 udført forsøg ved Landbrugets Rådgivningscenter og Danmarks JordbrugsForskning.

Forsøgene har omfattet udbyttemålinger af kerne og halm samt analyser af indholdsstoffer af væsentlig betydning for korrosion og slaggedannelse.

3.1.1. Baggrund

Brændselskvaliteten i biomasse har stor betydning for anlægs-, drifts- og vedligeholdelsesudgifter i energisektoren. For biprodukter som halm og flis er det vanskeligt at påvirke kvaliteten i primærproduktionen, da jordbrugeren primært vil optimere hovedproduktets kvalitet. Ved dyrkning af deciderede energiafgrøder som triticale og rug, er der bedre muligheder. Det er kendt, at brændselskvaliteten og udbyttet kan påvirkes af bl.a. genetik, jordtype, klima, gødskning og høsttidspunkt. Der mangler dog fortsat viden om disse faktorers indbyrdes betydning og vekselvirkningen mellem biomasseudbyttet og brændselskvaliteten i potentielle energiafgrøder såsom triticale og rug. Disse sammenhænge er søgt dokumenteret gennem en screening af sorter af triticale og rug for acceptabel brændselskvalitet og højt biomasseudbytte på udvalgte forsøgssteder.

I valget af relevante sorter til forsøgene har resultaterne fra den officielle værdiafprøvning indgået. Denne gennemføres som et samarbejde imellem Danmarks JordbrugsForskning, Landbrugets Rådgivningstjeneste, planteforædlingsvirksomheder og Plantedirektoratet.

Triticale og rug er foretrukket på grund af deres samlede høje tørstofudbytte af både kerne og halm. Forsøgsstederne, der blev valgt, var i 1997-1998 Hjørring og Aarhus

(Koldkærgaard) under Landbrugets Rådgivningscenter og i 1998-1999 Flakkebjerg og Askov under DJF.

Der blev ikke gjort forsøg på at dække landet eller større regioner ind ved disse placeringer, da dette ville betinge et langt større antal forsøg end der var mulighed for. De sorter, der indgik i forsøgene, blev udvalgt efter udbytteevne og dyrkningsmæssige egenskaber.

3.1.2. Materialer og metoder

Der blev i de 3 dyrkningsår screenet en række sorter af rug og triticale. Der blev i samarbejde med Teknologisk Institut, Århus og Techwise A/S høstet og udtaget prøver til fyringsforsøg og brændselsanalyser.

Ved planlægning af forsøgene ønskedes først og fremmest viden om askeindhold og indholdsstofferne klorid, kalium, svovl, natrium, kvælstof samt om bruttoenergi i såvel kerne- som halmfraktion. Bruttoenergien blev senere fravalgt, da der ikke fandtes forskelle i værdierne.

3.1.3. Udbytter af kerne og halm

De samlede *tørstofudbytter* af kerne og halm har i alle tre år været høje i såvel rug som triticale, og har ligget imellem 11 og 17 tons tørstof/ha, og med et lidt højere udbytte i triticale end i rug. Forholdet imellem kerne og halmdelen er nogenlunde ens for de to arter. I forsøgene udgjorde halmdelen henholdsvis 56 pct. i rug og 59 pct. i triticale. Størst samlet udbytte blev opnået på Koldkærgaard i triticale i 1997 og i 1998 med omkring 17 tons tørstof/ha.

3.1.3.1. Analyser af rug, kerne og halm

Kvælstofindholdet i kernen var ca. det dobbelte af indholdet i halmen. Kvælstofindholdet ønskes generelt så lavt som muligt for at undgå nitrøse emissioner. Der forekom betydelige års- og stedsvariationer, både i kerne og halm. Sortsvariationen var mindre i kerne end i halm. I kerne havde sorterne Esprit, Farino og Avanti lavest indhold, hvorimod der ikke kunne uddrages noget sikkert for halm.

Askeindholdet varierede betydeligt imellem år og sted, og var højest i halmdelen, 2-4 gange højere end i kerne. Der var ikke, som for kvælstof, samme forhold imellem kerne og halmindholdet. Der var ingen sikre sortsforskelle.

Kaliumindholdet fulgte i store træk indholdet af aske, hvor halmdelen havde 2-4 gange så højt indhold som kernedelen. Sorten Esprit havde et noget lavere indhold af kalium i kernen, medens Dominator havde et lavere indhold af kalium i halmen. Der fandtes ingen større års- og stedsvariation i kerne, men tydelig forskel i halmdelen.

Kloridindhold. Års- og stedsvariation var betydelig, både i kerne og halm. Sortsforskelle var ikke signifikante.

Svovlindhold. Der fandtes års- og stedsvariation, men ingen sortsvariation.

3.1.3.2. Analyse af triticale, kerne og halm

Kvælstofindholdet var 2-3 gange højere i kernen end i halmen. Der fandtes nogen års- og stedsvariation, men ingen sortsvariation.

Askeindholdet var 2-3 gange højere i halmen end i kernen. Der var års- og stedsvariation, men ingen betydende sortsvariation. Sorten Vision havde dog klart højere indhold i kernen end Modus.

*Kaliumindhold:*Som for rug, fulgte kaliumindholdet i store træk askeindholdet, hvor halmdelen var 2-4 gange højere end kernedelen. Der var arts- og stedsvariation og nogle sortsforskelle, som dog ikke var signifikante.

Kloridindhold: Der var sorts- og stedsvariation, størst for halmens vedkommende. Sortsforskelle var ikke signifikante. Sorten Modus havde lavere indhold af klorid i kerne og Modus og Trimaran lavere indhold i halmdelen end de øvrige sorter.

Svovlindhold: For kernedelen lå Hjørring på et højere niveau og for halmdelen var der både års- og stedsvariation, hvorimod der ikke var signifikante forskelle sorterne imellem.

3.1.4. Konklusion

Der var ikke tegn på, at sorter af triticale og rug reagerede specifikt forskelligt på dyrkningsvilkårene, da der ikke optrådte signifikante vekselvirkninger imellem sorter, steder og år. Der bør lægges stor vægt på jordens næringsstofpulje, såvel som med tilførslen af alkalimetaller og klor med kunstgødninger eller organiske gødninger for at kunne nedbringe mængden af skadelige stofgrupper ved afbrænding. Dette er ubetinget den vigtigste faktor, der skal overvejes. Man kan dog, udfra forsøgene, udpege nogle sorter af rug og triticale med et noget lavere klor og kaliumindhold:
***Rugsorter*.** Esprit og Olof
Triticalesorter: Lotus, Alamo og Prego

3.2. Brændselsanalyser og fyringsforsøg (Teknologisk Institut)

3.2.1. Baggrund

Der er gennemført 20 fyringsforsøg med rene energiafgrøder, dvs. der er ikke blandet brændsler eller tilsat additiver, der kan ændre på forbrændingsforholdene. Da der endnu ikke er tilstrækkelig viden om de enkelte energiafgrøders forbrændingsmæssige egenskaber, er formålet med dette delprojekt, at gennemføre en række grundlæggende undersøgelser. Først i senere projekter kan energiafgrøders forbrændingsmæssige egenskaber optimeres, og der kan udvikles kedler, der tager højde for de mindre heldige egenskaber ved energiafgrøder, som bl.a. afdækkes i dette projekt.

Der er til fyringsforsøgene anvendt en 30 kW kedel med trapperist og træpiller er brugt som reference.

Fremskaffelse af energiafgrøder med veldefinerede dyrkningsmæssige oplysninger er foregået som et samarbejde mellem Forskningscenter Flakkebjerg, Forskningscenter Bygholm, Elsamprojekt (nu Tech-wise) og Teknologisk Institut.

Afgrøderne er dyrket på jorder af varierende bonitet og med varierende kvælstofdosering. For alle afgrøder, på nær solsikkekerner, kan jordbundsforhold og gødningsniveauer dokumenteres.

Ved valg af etårige afgrøder er der fokuseret på rug og triticale, idet det i forbindelse med energikornsprojekterne i 1995-97 blev erkendt, at disse to arter har nogle fortrin, såsom lavt gødnings- og pesticidforbrug, evne til gode ydelser på dårlig jord samt lille

kernetab ved høst og håndtering. Sortsvalget er foretaget af Forskningscenter Flakkebjerg med primært sigte på højt tørstofudbytte.

Ved valg af de flerårige afgrøder er der umiddelbar adgang til pil og elefantgræs i Danmark. Her er der anvendt, hvad der har været tilgængeligt på eksisterende forsøgsmarker, fx Miscanthus Giganteus eller Sinensis på Forskningscenter Bygholm eller Forskningscenter Foulum. Pil er leveret fra piledyrkere i Vendsyssel, hvor der er en kommerciel produktion af pil til energiformål. Den benyttede pil var tørret naturligt ned til under 30 pct. vand.

3.2.2. Oversigt over anvendte afgrøder

I nedenstående tabel 3.1 findes de mest relevante oplysninger om de forskellige afgrøder. Der findes beskrivelse af art, jordbund og sted, gødskning, brændselsform og høstår. Piller er 10 mm i diameter. Briketter er 30 x 30 mm. Snitlængde på pil er 30-50 mm og på elefantgræs højst 100 mm.

Tabel 3.1. Oversigt over afgrøderne vedrørende art, jordbund, gødskning, form og høsttidspunkt

Benævnelse	Art/sort	Jordbund	Gødnings-niveau pr. Ha	Form	Høstår
Rug 1	Rug Esprit	Lundgård (JB1)	80 kg N	Piller halm/kerner	1998
Rug 2		Flakkebjerg (JB6)	80 kg N		
Rug 3			130 kg N		
Triti 1	Triticale Prego	Flakkebjerg (JB6)	100 kg N		
Triti 2			80 kg N		
Hamp 1	Hamp Felina	Løgstør	110 kg N	Piller	
Rug 4	Rug Dominator	Flakkebjerg (JB6)	80 kg N	Kerner	1999
Rug 5			130 kg N		
Triti 3	Triticale Prego	Flakkebjerg (JB6)	100 kg N		
Triti 4			170 kg N		
Triti 5		Lundgård (JB1)	100 kg N		
Triti 6			170 kg N		
Triti 7	Triticale Trimaran	Flakkebjerg (JB6)	100 kg N		
Triti 8			170 kg N		
Solsikke	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Kerner	2000
Havre	Rise	Bygholm (JB4-5)	100 kg N		
Pil	Viminalis	Tylstrup (JB5)	70 kg N	Flis	
Elefant-græs	Giganteus	Bygholm (JB4)	50 kg N	Snittet	
Rørgræs 1	Arundinacea	Glommersträsk (tørv)	150 kg N	Briketter	
Rørgræs 2	Arundinacea	Skelefteå (sand-blandet ler)	70 kg N	Briketter	

3.2.3. Sammenligning af fyringsforsøg og helhedsindtryk

Det overordnede indtryk af fyringsforsøgene er, at der altid er problemer af varierende karakter og størrelse ved afbrænding af rene energiafgrøder i småkedler. Selvom der er opnået enkelte tilfredsstillende resultater, må det konkluderes, at det altid vil kræve ekstra arbejde eller ekstra udrustning (askesnegl) at anvende rene energiafgrøder i stedet for træpiller. En bredere diskussion af brændslernes egenskaber er gennemført i delprojektet ”Brændselskarakterisering af potentielle biobrændsler”.

Vedrørende sammenligning af de forskellige kornsorter er der ikke observeret nogen påviselig forbrændingsteknisk forskel på de forskellige afgrøder, som kan henføres til jordbund, høsttidspunkt eller gødskning. Afgørende betydning har det derimod, om der er tale om helsæd (halm og kerner pelleteret) eller kerner.

I tabel 3.2 er brændslernes egenskaber vurderet efter udvalgte parametre. Brændslerne har for hver parameter fået karakter, hvor ***1 er bedst*** og ***10 dårligst***. Karaktererne fra de forskellige parametre er efterfølgende vægtet og midlet til en samlet karakter i kolonnen ”Forsøget”.

I de felter, hvor der er angivet to karakterer, beskriver karakteren til højre det, der kan forventes ved montering af askesnegl. Denne karakter indgår i middelkarakteren i kolonnen ”Muligt”, som således er den samlede karakter, brændslet ville opnå ved montering af askesnegl.

Det er bemærkelsesværdigt, at det bedste og det dårligste forsøg er svensk dyrket rørgræs. De bedste danske afgrøder er pil og triticalekerner (Triti 8), der ender på en delt andenplads med de begrænsninger, som en subjektiv karakterskala giver. Men det er væsentligt at bemærke, at det er forskellige fordele og ulemper ved de to brændsler, der placerer dem samme sted på karakterskalaen. De dårligste danske afgrøder er helsæd af halm og kerner, der gav voldsomme slaggeproblemer (Rug 2, Rug 3, Triti 2). Løs aske, selv i store mængder, kan fjernes manuelt eller med askesnegl, uden at der opstår forbrændingsmæssige problemer, hvilket ikke er tilfældet når der er tale om slaggedannelse.

Tabel 3.2. Sammenligning af fyringsforsøg

	Forsø-get	Muligt	Aske	Løs slagge	Fastbr. slagge	Tilsmuds-ning	For-brænding	Tilsyn	Håndte-ring
Træpiller	**1**	**1**	1	1	1	1	3	1	1
Rug 1	6	6	8	8	5	6	3	7	5
Rug 2	7	7	8	8	8	6	8	8	4
Triti 1	6	6	8	8	6	8	3	8	5
Triti 2	7	7	10	9	6	6	3	8	5
Rug 3	7	7	8	8	9	6	5	8	5
Hamp	6	4	10/2	3	3	9	4	6/4	6
Triti 5	5	4	8/2	3	5	4	9	5/4	2
Triti 6	5	4	8/2	3	6	4	8	5/4	2
Rug 4	5	4	8/2	3	3	3	8	4/3	2
Rug 5	5	4	8/2	3	7	2	8	5/4	2
Triti 3	6	5	8/2	4	7	2	9	5/4	2
Triti 4	5	4	8/2	3	3	2	9	4/3	2
Triti 7	6	4	8/2	4	7	2	8	5/4	2
Triti 8	4	**3**	8/2	3	3	2	3	4/3	2
Solsikke	7	6	8/2	3	8	9	10	7/6	2
Havre	5	4	7/2	3	8	3	4	5/4	2
Pileflis	4	**3**	8/2	2	2	6	3	5/3	7
Elefant-græs	6	4	8/2	3	3	8	3	6/4	10
Rørgræs 1	4	**2**	8/2	3	2	2	1	4/2	6
Rørgræs 2	**9**	**9**	8	8	10	10	10	9	5

Note: Bemærk specielt de to rørgræspartier. Rørgræs 1 får, inkl. montering af askesnegl, topkarakterer hele vejen. Den relativt dårlige karakter i "håndtering" skyldes blot, at brændslet støver meget ved påfyldning. Rørgræs 2 får dumpekarakterer hele vejen – meget slagge, dårlig forbrænding, voldsom tilsmudsning osv. Af de danske brændsler er pileflis og triti 8 (korn – kerner) bedst. Forsøget med triti 8 var imidlertid af begrænset varighed, så vurderingerne skal tages med et vist forbehold. De dårligste danske brændsler er helsædsafgrøderne (halm – kerne), som især giver meget store slaggeproblemer.

Standardisering af biobrændsler

I den oprindelige projektbeskrivelse var det beskrevet, at der skulle udarbejdes en klassedeling af biobrændsler. Der var forslag om 3 klasser, i hvilke brændslerne skulle placeres afhængigt af, hvilke anlægstyper de kunne bruges i, og hvor problematiske de var at anvende. Denne klassedeling betragtes det nu som urealistisk at foretage, idet der i den mellemliggende tid er igangsat et europæisk standardiseringsarbejde for biobrændsler. Dette arbejde skal i løbet af nogle år munde ud i et antal standarder, der kan lette den internationale handel med biobrændsler samt gøre det muligt at definere biobrændsler, der producerer grøn elektricitet, og som dermed vil være berettigede til offentlige tilskud. Resultaterne af dette standardiseringsarbejde afventes.

3.2.4. Konklusioner og anbefalinger

- Selv meget robuste småkedler har store problemer med afbrænding af rene energiafgrøder.

- Det vil normalt kræve et stort arbejde at anvende rene energiafgrøder som brændsel. Jævnlige tilsyn i form af askeudtømning, rensning af fyrboks og røgrør, udragning af slagge fra brændkammer osv. vil være nødvendige.

- Hvis der ønskes drift med rene energiafgrøder uden dagligt tilsyn, vil et minimumskrav være askesnegl til bortskaffelse af aske fra fyrboks.

- Der er generelt meget store slaggeproblemer, når der er halm iblandet brændslet.

- Der er ofte tendens til sammensmeltning af brændsel og deraf følgende urolig forbrænding, når der er tale om et brændsel, der kun består af kerner.
- Der er ikke observeret påviselig forbrændingsteknisk forskel mellem de forskellige kornafgrøder, som kan henføres til jordbund, høsttidspunkt eller gødskning.

- Det brændsel, der gav færrest driftsproblemer, var svensk rørgræs dyrket i tørv (rørgræs 1).

- Pileflis og Triti 8 ligger på en delt andenplads med hensyn til få driftsproblemer.

- Det brændsel, der gav flest driftsproblemer, var svensk rørgræs, dyrket i sandblandet ler (rørgræs 2).

- Træpiller er stadig det bedste biobrændsel til små kedler.

- Pileflis kan anbefales, som den bedste danske energiafgrøde til småkedler.

- Der bør udvikles recepter for et blandet energiafgrødebrændsel (helst pelleteret) med varieret sammensætning eventuelt tilsat additiver, der kan benyttes i et antal småkedler på markedet. Herved kan nogle brændslers dårlige egenskaber reduceres.

- Nogle af markedets småkedler bør udvikles, så de er robuste nok til at kunne håndtere energiafgrøder eller blandinger af energiafgrøder med højt askeindhold, og hvor der er kraftig tilsmudsning af hedeflader og røgrør.

3.3. Brændselskarakterisering af potentielle biobrændsler (Techwise A/S)

Formålet med delprojektet er at gennemføre en kemisk brændselskarakterisering af potentielle energiafgrøder og på baggrund heraf evaluere de energimæssige anvendelsesmuligheder. Udvalgte prøver af energiafgrøder er analyseret, og resultaterne er sammenlignet med kendte biobrændsler som halm og træflis med henblik på at kunne bedømme de fyringstekniske egenskaber. Brændselsprøverne er leveret fra de øvrige partnere i energiafgrødeprogrammet.

3.3.1. Prøve- og analyseomfang

Analyseomfanget udgøres af følgende parametre: K, Na, Al, Si, Fe, Ca, Mg, P, Cl, S, N, C, H, Cd, Pb, Ni, Hg, Cr, Cu, Zn, aske og brændværdi. Brændselsprøverne er analyseret på Elsam A/S Enstedværkets laboratorium.

Prøveomfanget fremgår af tabel 3.3. De fleste af prøverne indgår i de fyringsforsøg, der er udført i delprojektet "Brændselsanalyser og fyringsforsøg".

Tabel 3.3. Prøveoversigt

Energiafgrøde	Antal prøver
Stauderug[1)]	2 (halm/kerne)
Hamp[2)]	3
Helsæd	5
Miscantus	1
Rørgræs	2
Kerneprøve triticale	1
Kerneprøve solsikke	1
Kerneprøve havre	1
Pileflis	1
I alt	17

[1)] Indgår ikke i fyringsforsøg.
[2)] Kun en hampprøve indgår i fyringsforsøg.

Ud over de komplette analyser angivet ovenfor er der udført analyse af aske og klor i de 3 prøver af hamp.

Parallelanalyse

For at sikre sammenlignelige analyseresultater med andre delprojekter i Energiafgrødeprogrammet er der gennemført en parallel analyse af to halmprøver på henholdsvis Forskningscenter Foulum og Elsam A/S Enstedværket. Analyseparametrene omfattede K, Na, Ca, Mg, P, Cl, S, C, N, aske, Cd og brændværdi.

Generelt ligger afvigelserne inden for acceptable rammer - dog er afvigelserne for Cl forholdsvis høje. For brændværdi er der en klar uoverensstemmelse mellem laboratorierne. Der er derfor gennemført supplerende analyser af fire halm/kerneprøver for brændværdi og aske.

Afvigelserne i brændværdibestemmelsen er nu væsentligt reduceret, og der er derfor ikke foretaget yderligere med hensyn til afklaring af mulige årsager til problemerne med de to første halmprøver.

Der er også fundet en relativ stor forskel på analyseværdierne for Cd, men det er normalt vanskeligt at få overensstemmende resultater for dette tungmetal, og denne afvigelse er derfor ikke undersøgt nærmere.

Brændselsanalyseresultater

Analyseresultaterne for de 17 analyserede brændselsprøver er sammenholdt med den typiske sammensætning af dansk kornhalm og skovflis.

3.3.2. Forbrændingsmæssige anvendelser

Generelt

På baggrund af analyseresultaterne for de potentielle energiafgrøder og resultaterne af Teknologisk Inatituts fyringsforsøg samt generelle erfaringer med forbrænding af biobrændsler i forskellige anlægstyper kan der foretages en indledende vurdering af anvendelsesmulighederne.

Som det fremgår af de udførte fyringsforsøg i delprojektet “Brændselsanalyser og fyringsforsøg”, udført af Teknologisk Institut, er små fastbrændselskedler generelt ikke egnede til alkaliholdige biobrændsler på grund af slaggeproblemer og tilsmudsning. Af de undersøgte potentielle energiafgrøder er det derfor kun pileflis, der umiddelbart synes egnet for småkedler, og selv her må der regnes med forøget tilsmudsning af røggassystemet.

Slaggeproblemerne for de øvrige brændsler vil dog kunne begrænses væsentligt ved tilsætning af additiver (kalk, kaolin eller andet) til brændslet.

Energiafgrøder i større mængder vil primært kunne finde anvendelse i biomassefyrede fjernvarme- eller kraftvarmeværker eller ved tilsatsfyring på centrale kraftværker. For en endelig vurdering af anvendelser i disse anlægstyper er der dog behov for fuldskalaforsøg med større partier.

Energiafgrøderne kan opdeles i tre grupper med hensyn til fugt, leveringsform og kemiske karakteristika som vist i tabel 3.4. Det forudsættes, at elefantgræs og rørgræs høstes om foråret (med lavt fugtindhold) og presses i storballer. Hamp har ugunstige egenskaber med hensyn til fugt og håndtering og er ikke taget i betragtning.

Tabel 3.4. Fugt og leveringsform for energiafgrøder

Energiafgrøde	Fugt (pct.)	Leveringsform	Kemiske karakteristika
Pil	50-70	Flis	Forhøjet alkali, klor og tungmetal i sammenligning med skovflis
Helsæd, miscantus, rørgræs	10-20	Storballer	Som halm - dog med potentiale for reduceret indhold af alkali og klor
Kornkerner	10-15	Løst	Forhøjet indhold af N og P

3.3.2.1. Biomassefyrede fjernvarme- eller kraftvarmeanlæg

Biomassefyrede fjernvarme- eller kraftvarmeanlæg kan være indrettet til indfyring af enten flis eller halm eller til en blanding af forskellige biobrændsler.

Pileflis kan håndteres og indfyres som skovflis. På rent flisfyrede værker vil erstatning af skovflis med pileflis medføre forøget belægningsdannelse og større askeproduktion. For flisfyrede kraftvarmeværker vil der endvidere kunne være tale om forøget korrosionsrisiko i overhederne. Pilens høje indhold af cadmium vil forøge de i forvejen store vanskeligheder med at afsætte aske til udspredning på skovarealer. Der må således påregnes forøgede drifts- og vedligeholdelsesomkostninger ved brug af pil som erstatning for skovflis i flisfyrede værker.

Helsæd, miscantus og rørgræs i storballer kan i princippet håndteres og indfyres som halm, men håndteringssystemer og forbrændingsforhold skal optimeres til de nye brændsler - eventuelt kan der blive behov for anlægsombygning. Der forventes ingen forøgede problemer med belægningsdannelse, korrosion, emission eller askeegenskaber ved erstatning af halm med disse afgrøder bortset fra, at en begrænset forøgelse af

NO_x-emission kan forekomme ved indfyring af helsæd. For helsædsballer kan der forventes forringet udbrænding af kernefraktionen.

I oktober 1999 blev 130 ton helsædsballer fra energiafgrødeprogrammet indfyret på Elsam A/S Enstedværkets biokedel i løbet af 6 timer. Der opstod adskillige udfald af halmlinierne på grund af ophobning af brændsel mellem oprivere og indfyringsstokere. Dette kan formodentligt tilskrives, at stråene er skårlagt og ikke mejetærsket. Endvidere var kedelvirkningsgraden reduceret på grund af dårlig udbrænding af kernefraktionen. Om disse problemer kan løses med det eksisterende kedeldesign, vil kun længerevarende fyringsforsøg kunne vise.

I november 1995 blev 200 tons helsædsballer indfyret på Rudkøbing Kraftvarmeværk. Her var der ingen problemer med indfødning, og kedelvirkningsgraden var uændret. Værket havde derimod problemer med håndtering af ballerne på lageret på grund af for løs ballepresning.

Kornkerner skal indfyres i et separat system, f.eks. ved indkastning over risten. Der vil være risiko for forringet udbrænding og forøget NO_x-emission.

3.3.2.2. Tilsatsfyring i kulfyrede kraftværker

På kulfyrede anlæg, der er udstyret med indfødningssystemer for tilsatsfyring af halm, vil storballer af helsæd, elefantgræs eller rørgræs kunne håndteres i halmindfødningssystemet. Dette blev i 1996-97 afprøvet på Elsam A/S Studstrupværket med helsæd og elefantgræs. Der vil ikke være forøget risiko for forøget belægningsdannelse eller korrosion i forhold til indfyring af halm, men der kan være problemer med dårlig udbrænding af kernefraktionen i helsæd. Den begrænsende faktor for tilsatsfyring er nyttiggørelse af flyveasken, idet deponering af store mængder blandet kul- og bioaske er økonomisk og miljømæssigt uacceptabelt.

De to primære anvendelsesområder for flyveaske fra kulfyrede kraftværker er som komponent i beton og som råmateriale i cementproduktion. Tilsætning til beton er reguleret af en europæisk standard, der p.t. ikke tillader samfyring. Indenfor en årrække er der dog udsigt til, at standarden bliver lempet, således at begrænset samfyring bliver mulig.

Anvendelse som råmateriale i cement er begrænset af de kvalitetskrav, cementfabrikkerne stiller til flyveasken. I relation til tilsatsfyring med energiafgrøder er det pri-

mært kalium og phosphor, der er begrænsende faktorer, da disse bestanddele er uønskede i cement. Dette indebærer, at jo højere indholdet heraf er i energiafgrøden, desto mindre bliver den acceptable energiandel, der kan indfyres.

Kornkerner kan muligvis indfødes gennem kulmøllerne.

Pileflis kan ikke indfødes, hverken i halmlinierne eller gennem kulmøllerne, men kan anvendes i pulveriseret form. Alternativt kan pileflisen forgasses inden indfyring.

Generelt er der på langt sigt begrænsede afsætningsmuligheder for energiafgrøder som tilsatsfyret brændsel i kulfyrede kraftværker, dels fordi kulforbruget er faldende, og dels fordi tilsatsfyring af andre brændsler forventes at ville lægge beslag på "alkali"-kapaciteten.

3.3.2.3. Andre anlægstyper

Andre anlægstyper er mere følsomme over for brændselskvaliteten end ristefyrede kraftvarmeværker og tilsatsfyring.

Fluid-bed-forbrænding er ikke egnet til alkaliholdige biobrændsler på grund af sammenbagning af bed-materialet. Før der er fundet en løsning på dette problem, er fluid-bed-forbrænding derfor ikke en egnet teknologi til de fleste energiafgrøder.

Udvikling af forgasningsteknik har hidtil kun givet positive resultater for flis. Forgasningsteknik er følsom over for både alkaliindhold og fysiske karakteristika. Af de undersøgte energiafgrøder er det således kun pileflis, der umiddelbart synes velegnet som brændsel til forgasning. Ny teknologi til forgasning af halm og andre alkaliholdige brændsler er dog under udvikling, hvilket på længere sigt kan indebære et bredere brændselsbånd for forgasningsanlæg.

3.3.3. Konklusion

Ved en eventuel fremtidig produktion af energiafgrøder til termisk omsætning i stor skala i Danmark vil de producerede biobrændsler primært skulle afsættes til nye biomassefyrede kraftvarmeværker, og både energikorn, miscantus, rørgræs og pil er i princippet egnede hertil.

Det enkelte brændsel har både fordele og ulemper i forhold til de kendte biobrændsler halm og skovflis, men ingen af brændslerne har egenskaber, der forhindrer anvendelse i fyringsanlæg, der er designet til anvendelse af alkaliholdige biobrændsler. Håndteringssystemer og forbrændingsforhold skal dog optimeres til de nye brændsler, og ændringer i anlægsdesign kan være påkrævet. I en eventuel videreførelse af energiafgrødeprogrammet bør der udføres længerevarende fyringsforsøg på kraftvarmeværker med større partier af energiafgrøder med henblik på at få belyst og optimeret håndtering, indfyring, udbrænding, emissioner og askekvalitet.

Det må på denne baggrund konkluderes, at de vigtigste kritererier for valget af egnede energiafgrøder er miljø, udbytte og økonomi ved dyrkning og levering af afgrøden. Herudover foretrækkes biobrændsler med lavest muligt indhold af kalium, klor, nitrogen, svovl og tungmetaller.

De analyserede energiafgrøder har følgende karakteristika i forhold til de kendte biobrændsler halm og flis:

- Helsæd er i forhold til halm kendetegnet ved forhøjet indhold af nitrogen og phosphor, men med lavere indhold af aske, kalium og klor. Der er risiko for forringet udbrænding af kernefraktionen og forhøjet NO_x-emission.
- Miscantus og rørgræs er som udgangspunkt sammenlignelige med halm, men har ved forårshøst potentiale for lave niveauer af kalium og klor, hvilket vil reducere belægningsdannelse i fyringsanlægget.
- Kornkerner skal indfyres i separat system og er kendetegnet ved højt indhold af nitrogen og phosphor. Risiko for forringet udbrænding og forhøjet NO_x-emission.
- Pil er i forhold til skovflis kendetegnet ved højere indhold af aske, kalium, klor og tungmetaller, hvilket indebærer forøget belægningsdannelse og korrosionsrisiko samt forringede muligheder for nyttiggørelse af aske ved erstatning af skovflis med pil. Pil har et lavere indhold af kalium og klor end de øvrige energiafgrøder og er den eneste af afgrøderne, der umiddelbart er velegnet til forgasning.

Fyringsforsøgene - udført af TI i en lille fastbrændselskedel – har udover de rent fyringstekniske og –praktiske forhold som beskrevet i afsnit 3.2 vist:

- at svovlindbindingen i slagge og flyveaske er forholdsvis lav, hvilket medfører forøget emission af SO_2
- at kaliumfrigørelsen under forbrænding er forholdsvis lav, hvilket reducerer støvemission og belægningsdannelse

- at emission af NO_x forøges med stigende indhold af nitrogen i brændslet, men at konverteringsgraden af nitrogen til NO_x er faldende
- at tilsmudsning af røggassystemet forøges med stigende indhold af kalium i brændslet
- at der ikke har kunnet konstateres nogen relation mellem de målte askesmeltepunkter og de konstaterede slaggeproblemer i anlægget.
- at alkaliholdige biobrændsler generelt ikke er egnede til småkedler, med mindre der tilsættes slaggebegrænsende additiver.

Det skal understreges, at resultaterne fra det lille fastbrændselsanlæg ikke kan overføres til kraftvarmeanlæg, der er designet til indfyring af alkaliholdige brændsler.

4. Miljømæssige forhold

Der er i programmet behandlet en række miljømæssige aspekter i forbindelse med produktion af energiafgrøder.

I delprojektet ”Bæredygtig produktion af energiafgrøder” vurderes påvirkningen af vandmiljøet med hovedvægt på nitrat og pesticider, ligesom den potentielle reduktion af drivhusgasreduktion er søgt kvantificeret.

Delprojektet ”Naturindhold ved dyrkning af flerårige energiafgrøder, pil og elefantgræs” har undersøgt pileplantagers påvirkning af især smådyrsfaunaen.

De to delprojekter er afrapporteret i:

”Bæredygtig produktion af energiafgrøder – slutrapport”; Uffe Jørgensen, DJF Foulum, 2001
og
”Naturindholdet ved dyrkning af flerårige energiafgrøder, pil og elefantgræs - slutrapport”; Jens Reddersen, Danmarks Miljøundersøgelser, Kalø, 2000

Der henvises til disse for en mere detaljeret beskrivelse af projekternes gennemførelse og resultater.

4.1. Bæredygtig produktion af energiafgrøder (DJF – Foulum)

Dette delprojekts formål har været at vurdere påvirkningen af vandmiljøet med nitrat og pesticider ved produktion af energiafgrøder.

4.1.1. Gennemførsel

Der er gennemført forsøg med gødningstildeling, med fokus på gylle og slam, på eksisterende forsøgsarealer med henholdsvis pil og elefantgræs. Forsøgsarealerne er beliggende på Jyndevad (grovsandet jord – JB1) og Foulum (lerblandet sandjord – JB4).

Nitratudvaskning er målt ved hjælp af sugeceller nedsat under rodzonen. Vandbalance er beregnet på basis af målte klimavariable kombineret med data for jordens vandindhold målt ved hjælp af TDR.

Gødningsbehandlingerne ved Jyndevad

1. 120 kg P i slam én gang for 3 år (max tilførsel ifølge slambekendtgørelsen) med ca. 140 kg tot-N (slam1).
2. 240 kg P i slam én gang for 3 år med ca. 280 kg tot-N (slam2).
3. NPK gødning (75, 19, 56 kg/ha) årligt.

Behandlingerne skete ved to forskellige bedafstande, 126 cm (normal afstand) og 260 cm. Ved den lille bedafstand bredspredtes slammet uden nedfældning, mens det ved den store bedafstand spredtes i et 180 cm bredt bælte mellem bedene med efterfølgende nedfræsning.

Gødningsbehandlingerne ved Foulum

1. Ingen gødskning.
2. 75 kg ammonium-N i gylle 1997 og 1998 - ingen gødskning 1999 og 2000.
3. 150 kg ammonium-N i gylle 1997 og 1998 - ingen gødskning 1999 og 2000.
4. NPK gødning (75 N, 19 P, 56 K kg/ha) årligt.

Gyllen blev ved begge bedafstande udbragt jævnt over arealet med slæbeslanger og uden nedfældning.

Udbytter af elefantgræs måltes dels efter afsluttet vækst i november (ca. v. 60 pct. vandindhold), dels i april inden de nye skud spirede frem, og hvor vandindholdet var reduceret til lagerfasthed. Pil høstedes kun én gang i projektforløbet: Vinteren 1999-2000.

Nitratudvaskningen for pil og elefantgræs er bestemt ud fra målinger af nitratkoncentration under plantninger af pil og elefantgræs kombineret med den beregnede vandbalance.

De indsamlede data for elefantgræs og pil er sammenlignet med kendt viden om nitratudvaskning fra almindeligt landbrug og med en modelberegnet udvaskning fra energikorndyrkning. Fra demonstrationsprojektet om energikorn indsamledes data for pesticidforbrug, der er sammenlignet med pesticidforbruget i elefantgræs og pil.

4.1.2. Nitratudvaskning (kg N/ha) fra elefantgræs og pil

Ved kombination af nitratkoncentrationen i det vand, som forlader rodzonen med mængden af afstrømmende vand kan den udvaskede mængde N beregnes. Det er gjort for de perioder hvor der har været målinger af tilstrækkelig kvalitet i nærværende delprojekt og for den forudgående periode, jf. nedenstående tabel. Det fremgår, at i etableringsperioden 1993-95 har der været stor udvaskning. I året med slamtildeling i Jyndevad har der ligeledes været forholdsvis stor udvaskning (også i det NPK-gødede forsøgsled), hvilket bl.a. skyldes vanding af marken for at sikre en god tilvækst på en del af arealet, som var svagt efter de første års forsøg. Endelig ses specielt i pil ved Foulum en stigende tendens mod slutningen af forsøget.

Tabel 4.1. Elefantgræs – nitratudvaskning (kg N/ha)

Jord	Gødning	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-00	Gns. (forskellig periode)
Grovsand	0				10				-
	NPK 75				24	46	12	18	25
	Slam 140					67	8	3	26
	Slam 280					90	8	2	33
Lerblandet sand	0	180	104	1	4	11	7	4	45
	NPK 75	171	110	1	8	7	7	16	46
	Gylle 75						1	1	1
	Gylle 150					11	23	10	15

Tabel 4.2. Pil – nitratudvaskning (kg N/ha)

Jord	Gødning	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-00	Gns. (forskellig periode)
Grovsand	0	103	8	3	4				30
	NPK 75	156	9	4	5	42	7	8	33
	Slam 140					40	8	1	16
	Slam 280					13	16	8	12
Lerblandet sand	0	136	60	0	1	1	2	1	29
	NPK 75	147	62	0	2	1	2	39	36
	Gylle 75						6	29	18
	Gylle 150					2	15	68	28

4.1.3. Nitratudvaskning (kg N/ha) i traditionelt landbrug og ved dyrkning af energikorn

Ovenstående målinger på elefantgræs og pil er foretaget på sandede jorder, og det er også på sandede jorder, at energiafgrøder har størst chance for at blive konkurrencedygtige med andre landbrugsafgrøder (Parsby & Rosenqvist, 1999). Derfor er i det

følgende angivet N-udvaskning fra traditionelt landbrug og fra energikorn på sandjord. Grant et al. (1998) finder et gennemsnitligt udvaskningsniveau fra landbrugsarealer i sandjordsområder på 124 kg N/ha og Kyllingsbæk (1996) skønner på baggrund af flere forskellige måleserier, at den gennemsnitlige udvaskning på sandjord ligger mellem 70 og 100 kg N/ha.

Det vil dog være muligt at dyrke energikorn med en lavere udvaskning, specielt hvis der gødes med reduceret mængde i forhold til N-normen og med handelsgødning frem for husdyrgødning. For at vurdere, hvilken udvaskning en sådan produktion ville have forårsaget på Jyndevad og Foulum ved dyrkning i den samme periode, som der blev dyrket elefantgræs og pil (1993-2000) er gennemført en modelberegning baseret på Simmelsgaard (1998).

I modellen indgår effekter af jordens lerindhold (5,5 pct. Jyn; 8,2 pct. Fou), tilførsel af total-N (118 kg/ha Jyn; 106 kg/ha Fou), afgrødetypen (Vinterkorn) og afstrømning (630 mm Jyn; 330 Fou). Den benyttede N-mængde antages tilført som handelsgødning på et niveau 10 pct. under normen. Hvis der var antaget gødskning med husdyrgødning gælder normen indhold af ammonium-N, mens modellen inddrager total-N, og således vil beregne en øget udvaskning. Beregningen viser en udvaskning ved Jyndevad på 63 kg N/ha/år, og ved Foulum på 38 kg N/ha/år.

4.1.4. Tørstofudbytte af elefantgræs og pil

I elefantgræs viser de målte tørstofudbytter ikke nogen stor effekt af gødskning. På den grove sandjord ved Jyndevad var der dog bedre udbytte ved årlig NPK-gødskning end ved kun engangstildeling af slam. Slam har et relativt lavt indhold af kalium, som muligvis kan have begrænset udbyttet. Ved Foulum var der ikke merudbytte for gødskning i *M.* ”Giganteus”, mens der var et vist merudbytte ved gødskning i *M. sinensis* ’Goliath’. Der var dog en tendens til faldende udbytte ved at øge gyllegødskningen fra 75 kg ammonium-N/ha til 150 kg/ha.

Udbyttet var større ved 126 cm bedafstand end ved 260 cm og større ved høst i november end i april. Det skal dog bemærkes, at ved høst i november er vandindholdet 50-60 pct. mod ca. 20 pct. i april.

Udbytterne har for efterårshøst i de gødskede parceller ligget mellem 19,3 og 14,1 ton tørstof pr. ha for 126 cm bedafstand.

Der er blevet målt udbytter ved høst af 3 år gamle pil i vinteren 1999-2000. Ved Jyndevad var udbyttet bedre ved gødskning med NPK end ved gødskning med slam. Størst effekt var der dog af klontype, idet udbyttet i klon 183 og Rapp var ca. 8 ton tørstof pr. år mod kun 3,8-5,6 ton i klon 112. Klon 112 er mindre økonomisk med vand og dermed mere tørkefølsom.

Ved Foulum var udbyttet stort set ens i klon 112 og 183, ca. 8 ton tørstof/ha/år. Gødskning gav godt 1 ton merudbytte, men der var ikke effekt af gødningstype og –mængde. Der var heller ikke nævneværdig effekt af bedafstand på udbyttet.

Til sammenligning med udbyttet af de gamle kloner 112 og 183 kan nævnes udbyttet fra et forsøg med forskellige etableringsmetoder i klonen Bjørn fra Svalöf Weibull, som blev høstet 2. gang i vinteren 2000-2001. Forsøget var placeret ved Foulum. Det årlige tørstofudbytte i enkeltparceller varierede mellem 10,0 og 16,5 ton/ha med et gennemsnit på 13,4 ton/ha.

4.1.5. Pesticidforbrug i energikorn, elefantgræs og pil

Data for pesticidforbruget i demonstrationsdelen for energikorn er i nedenstående tabel sammenlignet med pesticidforbruget i pil og elefantgræs ved Jyndevad og Foulum. Det gennemsnitlige behandlingsindeks er angivet med variationen mellem marker (triticale) eller mellem år (pil og elefantgræs) angivet i parentes. Der er hovedsageligt tale om sprøjtning med herbicider. I alle afgrøder ligger det anvendte behandlingsniveau betydeligt under gennemsnittet i dansk landbrug og under reduktionsmålet i pesticidhandlingsplanen. Niveauet i triticale og elefantgræs er nogenlunde det samme, mens det er mindre i pil. Pil konkurrerer bedre med ukrudtet i etableringsfasen end elefantgræs, der i år 1-3 har krævet kraftig behandling med herbicider. I de seneste år er der dog ikke sprøjtet i elefantgræs.

Tabel 4.3. Behandlingsindeks energiafgrøder

Afgrøde	Behandlingsindeks	
Triticale, 1997-98	0,9	(0,3 – 1,7)
Triticale, 1998-99	0,7	(0 – 0,9)
Elefantgræs Foulum, 1993-2000	0,6	(0 – 3,0)
Elefantgræs Jyndevad, 1993-2000	1,0	(0 – 5,9)
Pil Foulum, 1993-2000	0	
Pil Jyndevad 1993-2000	0,4	(0 – 3,0)
Gennemsnit dansk landbrug, 1999	2,5	
Reduktionsmål inden 2003	< 2,0	

4.1.6. Samlet drivhusgasbalance for energikorn og elefantgræs

Med baggrund i nærværende data for gødskning, nitratudvaskning, udbytter m.m. fra elefantgræs og data for energikorn i demonstrationsdelen er gennemført en modellering af den samlede drivhusgasbalance for produktion, høst, transport og anvendelse af de to energiafgrøder. Der er benyttet IPCC-standarder for lattergasemission m.m. som funktion af gødningsniveau og nitratudvaskning. For elefantgræs er gennemført særskilt beregning for høst i henholdsvis november og april, da det medfører store forskelle i gødskning, udbytte og i kulstoftilførslen til jorden. I nedenstående tabel er angivet arealbehovet samt den årlige reduktion i udslippet af drivhusgasser ved dyrkning af biomasse med et energiindhold (nedre brændværdi) på 5 PJ. Reduktionen i udslippet er beregnet i forhold til udslippet ved almindelig korndyrkning.

Det fremgår, at specielt kulstofændringer i jorden som følge af dyrkningen er meget forskellige mellem de forskellige afgrøder og høsttidspunkter, hvilket sammen med forskelle i lattergasemission og fossilt energiforbrug ved dyrkning og høst giver anledning til en betydelig forskel i den samlede reduktion af drivhusgasemissionen. Der er dog behov for yderligere forskning for at verificere disse beregninger.

Tabel 4.4. Reduktion i drivhusgasemission ved dyrkning af 5 PJ

	Triticale energikorn	Miscanthus november	Miscanthus april
Arealbehov (ha)	32.140	24.812	32.797
Lattergas-emissions reduktion (kt CO_2/år)	20	30	36
Emissionsreduktion fra ændret kulstof i jord (kt CO_2/år)	-45	37	108
Reduktion i energiforbrug ved dyrkningen (kt CO_2/år)	5	3	18
Fortrængning af fossil brændsel (kt CO_2/år)	285	285	285
Total reduktion af emissionen (kt CO_2/år)	265	355	447

4.1.7. Konklusioner

- N-udvaskning fra pil og elefantgræs er stor i etableringsfasen. Den vil muligvis kunne reduceres lidt ved nye etableringsmetoder. Derudover kan overvejes etablering af fangafgrøder mellem energiafgrødebedene i etableringsåret.
- Efter etableringsfasen er udvaskningen lav fra pil og elefantgræs, og der er meget lille effekt af gødningsniveau.
- Stor tildeling af slam (3-6 årig dosis i en tildeling) på grovsandet jord gav dog anledning til en vis udvaskning.
- Gødskning med organiske gødninger i en mængde, der ikke kraftigt oversteg afgrødernes behov, gav ikke anledning til større udvaskning end gødskning med mineralsk gødning.

- Højtydende kloner kan udnytte større gødningsmængder end lavtydende kloner uden at det medfører øget N-udvaskning.
- Efter en årrække med gødskning, der overstiger den fjernede mængde med biomassen, ses en stigende tendens i N-koncentrationen i det vand, som forlader rodzonen.
- Elefantgræs viser kun svag udbytteeffekt af gødskning, og 40-60 kg N/ha årligt forventes at være tilstrækkeligt ved forårshøst, mens der ved vinterhøst bør gødes mindst 50 pct. mere.
- Pil viser mere tydelig effekt af gødskning, og et gødskningsniveau på 50-75 kg N/ha årligt forventes at være passende.
- Gødskningen bør tilpasses produktionsniveauet, der kan afhænge meget af klonvalg, jord og klima.
- Den årlige udvaskning fra almindelig landbrugsdrift på sandjord vurderes at være 70-100 kg N/ha. Bortset fra etableringsfasen og i forsøgsled overdoseret med organisk gødning lå den årlige udvaskning i elefantgræs og pil mellem 0 og 46 kg N/ha. En beregning af den forventelige udvaskning fra triticale til energi gødsket med handelsgødning (10 pct. under N-normen) på de samme jordtyper angav en udvaskning på 38-63 kg N/ha.
- Pil har et stort vandforbrug som følge af en lang vækstsæson, dybt rodnet og en aktuel fordampning, som kan overstige potentiel fordampning med over 50 pct. Afstrømningen til grundvandet er derfor lavere end ved korndyrkning - i størrelsesordenen 50-200 mm mindre.
- Elefantgræs bruger mindre vand end pil, men vi har ikke kvantificeret forbruget mere præcist.
- Udbyttet af elefantgræs ved høst i november har, som gennemsnit af forsøgsårene, varieret mellem 10,3 og 19,3 ton tørstof/ha i de forskellige behandlinger. Ved forårshøst har det gennemsnitlige tørstofudbytte varieret mellem 4,4 og 13,1 ton/ha.
- Det årlige udbytte af pil har varieret mellem 3,8 og 8,5 ton tørstof/ha i de gamle kloner i dette forsøg, mens en ny klon har givet et gennemsnitligt udbytte på 13,4 ton tørstof/ha.
- Behandlingsindekset for pesticider i pil var i gennemsnit for 1993-2000 0,2, i elefantgræs 0,8 og i triticale fra 1997-99 0,8. Dette kan sammenlignes med det gennemsnitlige behandlingsindeks i dansk landbrug i 1999 på 2,5 og med reduktionsmålet i pesticidhandlingsplanen på 2,0.
- En beregning af den samlede drivhusgasbalance ved dyrkning af 5 PJ fra triticale eller fra elefantgræs viste, at den største drivhusgasreduktion kan forventes ved produktion af elefantgræs høstet i foråret, mens det mindste arealbehov til produktionen kan forventes ved dyrkning af elefantgræs høstet i efterår/vinter.

4.2. Naturindholdet ved dyrkning af flerårige energiafgrøder, pil og elefantgræs (DMU – Kalø)

Danmarks Miljøundersøgelser gennemførte i perioden 1997-2000 et selvstændigt delprojekt under Energiafgrødeprogrammet med henblik på at vurdere naturværdien af de flerårige energiafgrøder, pil og elefantgræs. Undersøgelserne vedrørende elefantgræs kunne ikke gennemføres, da forsøgsarealer af tilstrækkelig størrelse ikke kunne fremskaffes i Danmark. Undersøgelserne blev alle udført i et særdeles velegnet homogent forsøgsområde med Danmarks hidtil tætteste koncentration af store pileplantager beliggende i et typisk dansk landbrugslandskab (Kolindsund, Djursland).

4.2.1. Metode

I en række delprojekter har projektet leveret resultater for en lang række forskellige organismegrupper, der snarere samlet end enkeltvis kan siges at kunne repræsentere ”naturværdierne ved dyrkning af den flerårige energiafgrøde energipil, *Salix viminalis*”. Organismegrupperne var regnorm som repræsentant for jordbundsfaunaen, pileblomstring ift. høstcyklus som ressource for blomsterbesøgende insekter, generel insektfauna på jordoverfladen, vinterfuglefaunaens udnyttelse, ynglefuglefaunaen (sommer) og endelig småpattedyrfaunaen.

I de fleste tilfælde undersøgtes den pågældende dyregruppes forekomst i energipilplantegerne sammenlignet med forekomsten i relevante andre biotoptyper – enten i forhold til konkurrerende arealanvendelse nemlig de marker, der evt. omlægges til energipil (non-food brakafgrøde), eller den flerårige græsbrak, der er det typiske brakalternativ – eller i forhold til den biotoptype, som pileplantager overfladisk set ligner mest i landskabet, nemlig småskov. Den typiske sammenligning i projekterne var derfor organismegruppens respons på energipil sammenholdt med alternative relevante arealanvendelser (mark, græsbrak, småskov).

4.2.2. Resultater

Alt i alt tegnede der sig et temmelig ensartet billede igennem de forskellige delundersøgelser. Sammenlignet med de marker, som typisk er den tidligere arealanvendelse for pilekulturerne, er flerårig energipil generelt set ligeså godt eller lidt bedre levested for de fleste af de undersøgte dyregrupper (småpattedyr, vinterfugle og insekter) – målt ift. tætheder af individer eller artsrigdom. Der var derimod kun små forskelle imellem de to alternative brakafgrøder, energipil og flerårig græsbrak.

Hverken energipil, mark eller græsbrak tåler derimod sammenligning med de etablerede småskove, der typisk ligger spredt i det danske landbrugsland – disse småskove huser i næsten enhver henseende større tætheder af individer, større artsrigdom og også en væsentligt anderledes artssammensætning med arter, der er egentlige skovarter. Selv om energipil i de(t) sidste år inden høst ofte når en bevoksningshøjde på 6-7 m og derfor visuelt fremstår med skovkarakter i landskabet, tåler energipil altså ingen sammenligning med skov.

Forskellen til "rigtig skov" består uden tvivl i en eller flere af følgende faktorer:

- Den ringe udvikling af bundvegetation pga. jævnlig herbicidanvendelse (høstårene).
- Den ringe udvikling af aldrende strukturer (ingen furet bark, intet dødt ved) pga. foryngelse ved høst.
- Den ringe udvikling af øvrig strukturel diversitet (kun én art, race og klon, ensaldret og med ens afstand), hvor den tætte planteafstand gør, at alle stammer, grene og kviste – trods grening – er lodret orienteret.

Kun med hensyn til jordbundsfaunaen ser der ud til at være markante positive effekter af omlægningen til flerårige energipil. Der sås få år efter tilplantningen op til 10 x flere regnorm pr. m^2 i energipilen i forhold til de omgivende marker. Jordbundsfaunaen reagerer uden tvivl meget positivt alene på ophør af jordbearbejdning, især pløjning, og den positive effekt relaterer sig primært til ophør af jordbearbejdning snarere end den konkrete tilplantning med energipil. Jordbundsfaunaen genereres derimod ikke af høstcyklus, der jo primært berører det overjordiske miljø. Jordbundsfaunaen får derfor tid til at udvikle sig i ro gennem hele pilekulturens varighed og ikke kun inden for høstcyklus, sådan som det er tilfældet for i hvert fald fugle- og småpattedyrfaunaen.

Undersøgelserne dokumenterede, at blomstringen i energipil kan være overordentlig rig. Da blomstringen sker i det tidlige forår, hvor der ikke er mange andre nektar- og pollenkilder til tidligtflyvende blomsterbesøgende insekter (fx humlebier og honningbier), vil den formentlig lokalt kunne være et vigtigt bidrag til etableringen af årets nye bestande af sådanne insekter. At der imidlertid er andre flaskehalse for denne udvikling sås tydeligt i forsøgsområdet, hvor humlebier var sjældne trods det gode fødeudbud i foråret – formentlig på grund af mangel på gode redesteder i jorden. Blomstringen i pil påvirkes dog stærkt af høst – i foråret umiddelbart efter høst sås aldrig blomstring, i år 1 efter blomstring sparsom blomstring, mens blomstringen i år 2 herefter allerede var temmelig udbredt. Monotonien i de intensive kulturer viste sig dog

ved, at de vigtige pollenkilder, hanblomsterne, kun fandtes i nogle plantager, mens andre plantager kun havde klonmateriale fra hunplanter og dermed kun nektarproducerende hunblomster.

4.2.3. Konklusioner og anbefalinger

Undersøgelsen foregik i forholdsvis små plantager i forhold til eventuel fremtidig stordrift. Omsat til stordrift i store enheder er de fundne naturværdier for energipil snarest overstimerede, da der i flere delundersøgelser forekom højere tætheder og større artsrigdom i randen af plantagerne i forhold til bevoksningernes indre dele (klarest hos småpattedyr). I undersøgelserne indgik rand altid sammen med indre dele af plantagerne, men ud fra simple geometriske rationaler får randens positive værdi naturligvis stor betydning i små plantager. Randens betydning aftager derimod stærkt ved øget areal af plantagen.

De fundne resultater er i vid udstrækning søgt perspektiveret i form af realistiske anbefalinger til eventuel fremtidig anlæggelse og drift af energipilplantager i stordrift. Sådanne anbefalinger omfatter bl.a.:

- Sikre en fornuftig placering af energipilplantagerne i landskabet – æstetik (ift. visuelle landskabskvaliteter, åbne landskabstyper), arkæologisk (dybdepløjning ved anlæg) og ift. særlige naturværdier (fx naboskab til §3-beskyttede lysåbne naturtyper).
- Sikre positiv effekt af bevoksningsrandene ved opsplitning af store plantager.
- Tillade øget strukturel kompleksitet ved at efterlade nordvendte bevoksningsrande uhøstede som levested for ynglefugle og dødtveds-insekter.
- Tillade vækst og blomstring af ukrudt uden om pilekulturerne.
- Sikre hanplanter med pollenproducerende hanblomster sammen med hunplanter i klonmaterialet samt evt. forskellige kloner med forskudt blomstringstid.

5. Økonomiske forhold

Formålet med de økonomiske analyser er dels at sammenligne de driftsøkonomiske forhold for de enkelte energiafgrøder på et fælles grundlag, dels at vurdere omkostningerne for en stabil helårsforsyning af energiafgrøder.

I forlængelse af de rent produktionsøkonomiske forhold foretages der også en vurdering af mulighederne for at indpasse energiafgrøder på den enkelte bedrift.

De analyserede energiafgrøder er energikorn (triticale), pil og elefantgræs. På baggrund af den nuværende viden om rørgræs og hamp er det vurderet, at disse ikke er realistiske alternativer som energiafgrøder i Danmark.

Delprojektet er afrapporteret i:

”Energiafgrødernes produktionsøkonomi – med særlig fokus på pil”; Michael Parsby og Håkan Rosenqvist; SJFI Working Paper no.3/1999
og
”Energiafgrøder til fastbrændselsformål – produktionsøkonomi, håndteringsomkostninger og leveringsplaner”; Jesper Graversen og Morten Gylling, FOI Working Paper, 2002.

Der henvises til disse for en nærmere beskrivelse af metode og resultater.

5.1. Metode og forudsætninger

Der er ved de økonomiske analyser anvendt en beregningsmetode der sikrer at en- og flerårige energiafgrøder kan sammenlignes på et produktionsøkonomisk ensartet grundlag. Metoden er beskrevet i Parsby og Rosenqvist (1999). Ved sammenligningen mellem en- og flerårige afgrøder er der anvendt en realrente på 6 pct. p.a. Renteniveauet kan p.t. virke højt, men der er taget udgangspunkt i en kassekreditrente, idet finansieringen af de flerårige afgrøder er forudsat foretaget over en almindelig driftskredit.

Forudsætninger med hensyn til udbytter og arbejdsbehov er fastlagt med baggrund i resultaterne i de tidligere beskrevne delprojekter i energiafgrødeprogrammet. Resultaterne herfra er sammenholdt og suppleret med andre tilgængelige forsøgsresultater og erfaringstal.

Der er som udgangspunkt anvendt gennemsnitlige udbytter for sand- og lerjord som vist i tabel 5.1.

Som det fremgår af tabel 5.1 er der valgt i kalkulationerne at anvende relativt moderate udbytteniveauer. For pil og elefantgræs er udbyttet angivet som et gennemsnit over hele omdriftsperioden. Der er således forudsat et udbytteniveau, der i gennemsnit kan opnås ved dyrkning på uvandet jord med lavt forbrug af rå- og hjælpestoffer ved god driftsledelse.

Tabel 5.1. Anvendte biomasseudbytter

Biomasse	Tørstofproduktion		Energiproduktion	
	ton tørstof pr. ha		GJ pr. ha	
Afgrøde	Lerjord	Sandjord	Lerjord	Sandjord
Vårbyg	7,9	6,4	-	-
Triticale	9,9	7,1	168,3	119,4
MVJ – triticale	7,5	5,4	126,6	90,6
Elefantgræs – vinter	9,9	6,6	147,7	98,4
Elefantgræs – forår	8,0	5,3	139,2	92,9
Pil	7,2	4,6	117,3	74,1

Udbytteniveauerne har naturligvis især stor betydning for produktionsøkonomien, men de har i lige så høj grad betydning for det nødvendige areal der skal allokeres til energiafgrøder, for at opnå en samlet energiproduktion på et givet niveau.

Omkostninger til rå- og hjælpestoffer er beregnet ud fra listepriser og maskin- og arbejdsomkostninger er fastsat på grundlag af maskinstationstakster.

De samlede produktionsomkostninger dækker dyrkning, høst, bjergning, håndtering, transport samt lager, mens der ikke er medtaget jordrente, idet denne forudsættes dækket af hektar/udtagningsstøtten, hvilket omvendt også betyder, at støtten ikke er indregnet i produktionsomkostningerne.

De her angivne produktionsomkostninger er således et udtryk for det forventede omkostningsniveau for de enkelte energiafgrøder.

5.2. Omkostninger til produktion af energiafgrøder

De udvalgte energiafgrøder er på en række områder forskellige, hvilket der skal tages højde for ved en direkte økonomisk sammenligning.

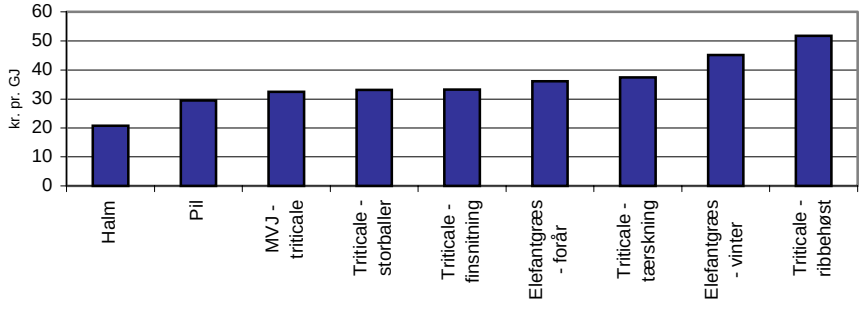
De væsentligste produktionstekniske forskelle er i henseende til lageregenskaber og håndteringsform samt længden af høst/bjærgningsperioden.

Der er derfor valgt at lave de sammenlignende analyser i to trin. Dels en første sammenligning, hvor alle energiafgrøder er forudsat leveret direkte fra mark til værk, dels en sammenligning, hvori lageromkostninger er inddraget. Forud for den sidste sammenligning er det udfra praktiske erfaringer vurderet, at kun afgrøder i storballer og evt. en kernedel kan lagres gennem længere tid uden alt for store omkostninger.

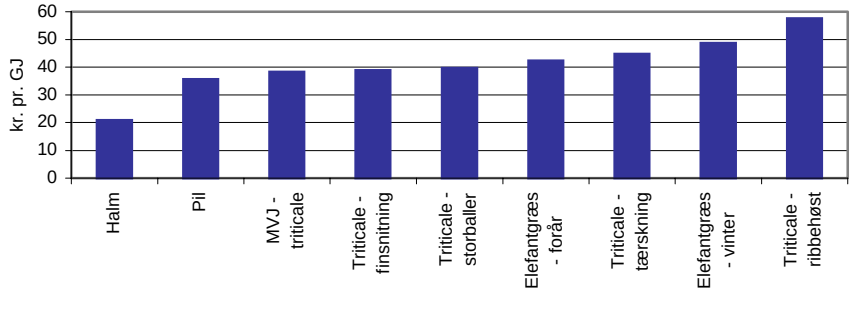
Produktionsomkostninger ved direkte levering

Som det fremgår af nedenstående figurer er rangordenen mellem de enkelte energiafgrøder/håndteringsformer stort set ens for ler- og sandjord.

Figur 5.1. Produktionsomkostninger – lerjord, direkte levering



Figur 5.2. Produktionsomkostninger – sandjord, direkte levering



Pil er i begge tilfælde billigst med et omkostningsniveau på 30-36 kr./GJ direkte leveret. Herefter kommer triticale energikorn. Det er her især bemærkelsesværdigt, at omkostningerne stort set er ens for traditionelt dyrket triticale energikorn i storballer og MVJ[4] triticale energikorn i storballer. Finsnittet triticale energikorn har marginalt højere omkostninger end triticale – storballer på lerjord, mens det omvendte er tilfældet på sandjord, så længe der er tale om direkte levering. Triticale-ribbehøstet er den markant dyreste håndteringsform, hvilket skyldes ribbemiksets lave vægtfylde og en ekstra arbejdsgang til bjærgning af halm.

Samlede produktionsomkostninger

Figurerne 5.3 og 5.4 viser de samlede produktionsomkostninger (inkl. lageromkostninger) på henholdsvis lerjord og sandjord sammenlignet med halm. Man skal her være opmærksom på, at de samlede produktionsomkostninger for pil, triticale finsnittet og elefantgræs vinter ***ikke*** indeholder lageromkostninger, men er forudsat leveret direkte, da det som tidligere nævnt er vurderet økonomisk urealistisk at lagre disse afgrøder gennem længere tid. Det er således kun lagerfaste afgrøder i storballer, der er forudsat at kunne leveres over hele året, hvilket for energiafgrødernes vedkommende kun er energikorn og forårshøstet elefantgræs.

Som det fremgår af figurerne er der ingen af energiafgrøderne der omkostningsmæssigt kan konkurrere med halm. Pil direkte leveret i vintermånederne ligger tæt på halm, der dog er forudsat leveret jævnt over året.

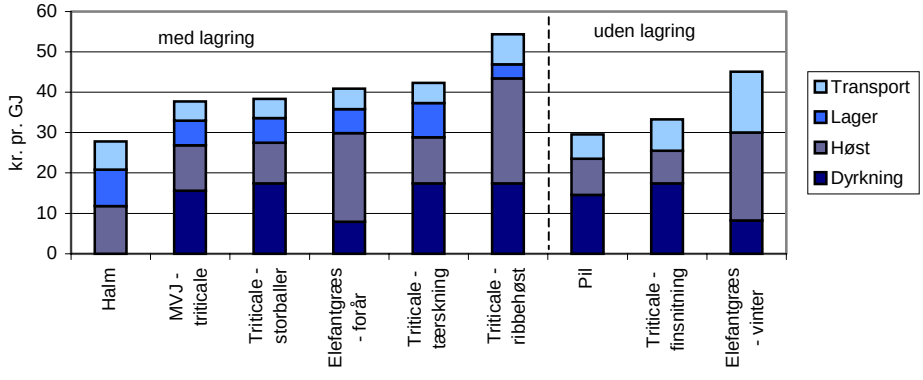
Der er ikke nogen forskel i den økonomiske rangordning mellem jordtyperne, pil og finsnittet triticale direkte leveret har de laveste omkostninger (30-33 kr./GJ på lerjord og 36-39 kr./GJ på sandjord).

Triticale helsæd i storballer har de laveste samlede omkostninger af de lagringsegnede energiafgrøder (38-39 kr./GJ på lerjord og 43-45 kr./GJ på sandjord).

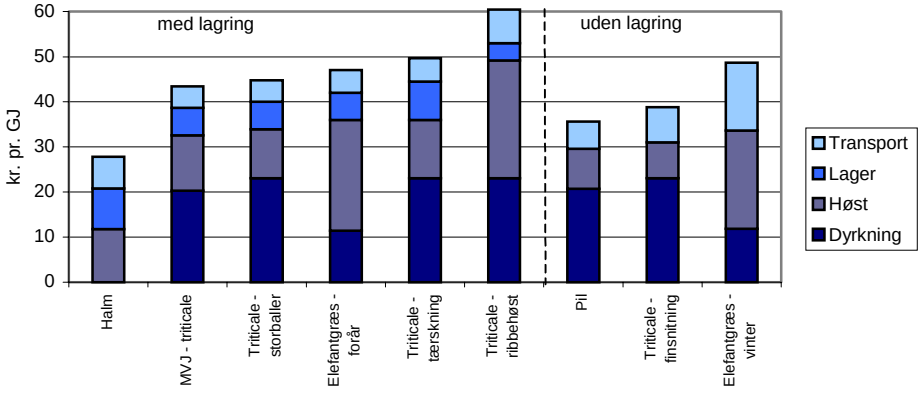
Ses der på omkostningsfordelingen mellem de enkelte energiafgrøder ligger de rene dyrkningsomkostninger på stort set samme niveau for triticale og pil, mens de er væsentligt lavere for elefantgræs, dette gælder for både ler- og sandjord.

[4] Miljøvenlige jordbrugsforanstaltninger.

Figur 5.3. Omkostningsfordeling – lerjord



Figur 5.4. Omkostningsfordeling – sandjord



På baggrund af ovenstående bør en fremtidig udvikling fokusere på energipil i den udstrækning der er mulighed for direkte levering, i kombination med triticalehelsæd i storballer både konventionelt såvel som MVJ dyrket samt eventuelt elefantgræs i visse klimatisk velegnede områder.

Leveringsplaner

Ved en større indfasning af energiafgrøder i den samlede biomasseforsyning til energiformål, bør der tages højde for forskellene i lagringsegenskaber, høsttid og høsttidens længde ved at kombinere anvendelsen af de forskellige energiafgrøderafgrøder.

Forskellen i de fyringstekniske egenskaber mellem energiafgrøderne ved anvendelse i større anlæg er ikke større, end at det vil være muligt at bygge anlæg, der med høj virkningsgrad kan anvende både energikorn (helsæd), pil, elefantgræs og halm. Især hvis anlægget efter en omstilling i længere perioder indfyrer brændslerne enkeltvis.

I nedenstående eksempler er det beregnet, hvad det vil koste at levere brændsel til et kraftvarmeværk med et årligt brændselsforbrug svarende til ca. 0,4 PJ.

Værkets brændselsforbrugsprofil er sat til:

~ 25 pct. i perioden september – november.
~ 49 pct. i perioden december – marts.
~ 26 pct. i perioden april – august.

Leveringsplanerne er baseret dels på energiafgrøder og dels på en kombination af halm og energiafgrøder. Det er forudsat, at pileflis leveres direkte gennem hele høstperioden fra december til og med marts, ligesom det er forudsat at helsæd i storballer anvendes før halm i storballer. Eksemplerne på leveringsplaner er vist i tabel 5.2.

Som det fremgår af tabellen er der en væsentlig forskel i de gennemsnitlige omkostninger i de viste eksempler på leveringsplaner.

Plan 1 med triticale helsæd, pil og elefantgræs har en gennemsnitlig omkostning på 37,7 kr./GJ leveret på værk over året.

Anvendes der kun energikorn i storballer, plan 2, stiger de gennemsnitlige omkostninger til 41,1 kr./GJ leveret på værk.

Inddrages der halm i forårs/sommerperioden, plan 3, falder omkostningerne til 33,4 kr./GJ, mens kombinationen halm – pil – halm har en gennemsnitlig omkostning på 30,1 kr./GJ.

Tabel 5.2. Gennemsnitlige produktionsomkostninger ved forskellige leverings-planer

Leveringsplaner				
Plan 1	Periode	GJ	Pct.	Gennemsnitlig produktionsomkostning
Triticale - storballer	Sept. – nov.	49.753	12,3	
- 50 pct. MVJ - triticale		49.753	12,3	
Pil	Dec. – mar.	197.791	48,7	37,7 kr./GJ
Elefantgræs - forår	Apr. – aug.	108.462	26,7	
		405.760	100	
Plan 2	Periode	GJ	Pct.	
Triticale - storballer	Jan. – dec.	202.880	50	
- 50 pct. MVJ - triticale		202.880	50	41,1 kr./GJ
		405.760	100	
Plan 3	Periode	GJ	Pct.	
Triticale - storballer	Sept. – nov.	49.753	12,3	
- 50 pct. MVJ - triticale		49.753	12,3	
Pil	Dec. – mar.	197.791	48,7	33,4 kr./GJ
Halm - vårbyg	Apr. – aug.	108.462	26,7	
		405.760	100	
Plan 4	Periode	GJ	Pct.	
Halm	Sept. – nov.	99.506	24,6	
Pil	Dec. – mar.	197.791	48,7	
Halm	Apr. – aug.	108.462	26,7	30,1 kr./GJ
		405.760	100	

En fornuftig kombination af energiafgrøder, hvor der tages hensyn til de enkelte afgrøders karakteristika, giver således mulighed for væsentlige omkostningsbesparelser.

Det skal understreges, at der ikke med de viste eksempler er søgt foretaget en direkte optimering af leveringsplanerne, ligesom der ikke er foretaget en vurdering af, om de mulige besparelser ved kampagnefyring kan opveje de øgede omkostninger ved opførelse og drift af multibrændselsanlæg.

5.3. Driftsøkonomi for den enkelte landmand

De tidligere beskrevne produktionsomkostninger for de forskellige energiafgrøder giver udover et billede af de enkelte energiafgrøders indbyrdes økonomiske konkurrenceevne også en indikation af driftsøkonomien for de enkelte afgrøder hos landmændene.

Driftsøkonomien for den enkelte landmand vil naturligvis afhænge af den pris der kan opnås for energiafgrøderne i forhold til produktionsomkostningerne.

Der eksisterer for nuværende ikke et internationalt marked for energiafgrøder og derfor heller ikke en egentlig markedspris. Halm eller energiafgrøder i storballer er ikke egnet til international handel og transport, men er typisk produkter der anvendes inden for en rimelig afstand fra produktionsstedet.

Handel med energiafgrøder må forventes at følge samme mønster som handlen med halm, altså længerevarende kontrakter indgået på baggrund af udbudsrunder. De samme forhold må forventes at blive gældende for våd pileflis.

Der eksisterer derimod et ganske dynamisk marked for træ til energiformål omfattende skovflis, træpiller og hele stammer der forarbejdes på brugsstedet. Der er især for træpillernes vedkommende tale om en vare, der kan håndteres og anvendes af både store og små forbrugere.

Priserne på træbrændsler vil indirekte bestemme niveauet for priserne på energiafgrøder (så længe der ikke er krav om anvendelse af ”hjemmeproducerede” biobrændsler).

Prisen på skovflis har i en længere periode ligget stabilt på 31-33 kr./GJ, mens prisen på træpiller typisk ligger 4-5 kr./GJ højere.

I de nedenstående dækningsbidragsberegninger er der anvendt en pris på 32 kr./GJ for kerne og flis, mens der for halm, elefantgræs og helsæd er anvendt en pris på 30 kr./GJ svarende til en flispris på 567 kr./tts. (50 pct. vandindhold) og en halmpris på 508 kr./tts. (16 pct. vandindhold). Alle priser er leveret på værk, hvor der for pileflis og finsnittet triticale er tale om direkte levering, mens der for de andre afgrøder er tale om løbende levering over året.

Dækningsbidragene for de enkelte energiafgrøder er vist i tabel 5.3 og sammenholdt med dækningsbidraget for vårbyg til foder.

De anførte dækningsbidrag er beregnet efter maskin- og arbejdsomkostninger, men inklusive støtte, da kornstøtten kun udbetales såfremt der dyrkes korn. Samtidig har støtteordningerne en væsentlig betydning for landmandens samlede økonomi.

Tabel 5.3. Dækningsbidrag (DB II) inkl. støtte

Afgrøde	Dækningsbidrag Kr. pr. ha Lerjord	Sandjord
Vårbyg	2.286	1.385
Triticale – tærskning	547	197
Triticale – finsnitning	1.874	1.372
Triticale – ribbehøst	-1.471	-1.074
Triticale – storballer	1.024	659
MVJ - Triticale	2.302	1.832
Elefantgræs – vinter	76	501
Elefantgræs – forår	573	615
Pil	2.190	1.843

Støttesatser: Korn – 2.424 kr./ha.
Udtagning – 2.424 kr./ha.
MVJ – 850 kr./ha for lerjord og 625 kr./ha for sandjord.

Sammenligningen til vårbyg er foretaget ud fra den betragtning at vårbyg som oftest har den dårligste placering i sædskiftet, og derfor er den afgrøde, der først vil blive skiftet ud hvis der kommer nye alternative muligheder.

Ved det anvendte prisniveau giver MVJ-triticale et bedre dækningsbidrag end vårbyg til foder på både ler- og sandjord, når arealstøtte og MVJ-støtte indregnes. MVJ-ordningerne kan også anvendes i traditionelle kornafgrøder, men her vil ordningerne være knapt så attraktive grundet højere produktpriser.

Pil dyrket på sandjord giver et højere dækningsbidrag end vårbyg, mens dækningsbidraget på lerjord er lidt lavere end vårbyg, når udtagningsstøtten indregnes.

Det skal her bemærkes, at MVJ-triticale skal dyrkes på reformarealer for at få udbetalt MVJ-støtte, og arealerne skal samtidig være udpeget som SFL-områder. Pil derimod kan kun dyrkes på udtagne arealer, såfremt der skal opnås støtte.

Konventionelt dyrket triticale energikorn kan principielt dyrkes både på reformarealerne og de udtagne arealer, men håndteret som storballer giver denne afgrøde et væsentligt lavere dækningsbidrag end vårbyg.

Såvel vårbyg som energiafgrøderne giver dog et underskud før støtte, hvilket grundet forskellene i støtteordningerne har væsentlig betydning for den enkelte landmands valg af afgrøde.

Støtte til reformafgrøder (korn og oliefrø) udbetales ***kun*** hvis den pågældende afgrøde dyrkes. Dette betyder, at der på reformarealerne skal vælges den afgrøde der giver det bedste dækningsbidrag (inkl. støtte), uanset om dette dækningsbidrag er lavere end støttebeløbet.

På udtagne arealer er situationen noget anderledes. Da støtten til disse arealer udbetales uanset om der dyrkes non-food afgrøder eller ej, må det her være en forudsætning, at den dyrkede afgrøde giver et dækningsbidrag (inkl. støtte) der er højere end støttebeløbet. Dette betyder isoleret set, at kravene til produktionsøkonomien i non-food afgrøder på de udtagne arealer er højere end for en traditionel kornafgrøde.

Produktion af non-food afgrøder på de udtagne arealer, giver mulighed for at inddrage disse i bedriftens samlede harmoniareal. Hvis underskuddet på produktion af non-food afgrøden er mindre end stigningen i dækningsbidraget ved den tilsvarende udvidelse i den animalske produktion, kan det for bedriften som helhed være økonomisk fordelagtigt at dyrke energiafgrøder på udtagne arealer.

Modsat vil MVJ-kontrakter med nedsat N-tildeling medføre en reduktion i bedriftens harmoniareal, hvilket ikke gør sådanne kontrakter interessante på ejendomme med stor husdyrproduktion. MVJ-kontrakter kan dog stadig være interessante i vandindvindingsområder, hvor der kan forventes restriktioner i anvendelsen af kvælstof og pesticider.

Det er således vanskeligt at give en entydig vurdering af landbrugets interesse for dyrkning af energiafgrøder. Set fra en rent produktionsøkonomisk synsvinkel er energiafgrøder ikke særligt interessante for landbruget med det nuværende forhold mellem produktionsomkostninger og salgspris. En række ejendoms- og bedriftsspecifikke forhold betyder dog, at der for en række landbrug kan være økonomisk fornuft i at dyrke energiafgrøder.

Et andet element vil være valget mellem en- eller flerårige energiafgrøder, også her vil valget være afhængigt af en række bedriftsspecifikke forhold.

Pil og elefantgræs har en typisk omdriftsperiode på 20 år, hvilket medfører en mindre fleksibilitet i sædskiftet på den enkelte ejendom, samtidig er der et relativt stort kapitalkrav i forbindelse med etablering. Til gengæld er de løbende driftsomkostninger lave.

Enårige energiafgrøder angives normalt som værende mere fleksible i sædskiftet, men der skal her regnes med en kontraktlig bindingsperiode på omkring 10 år. med hensyn til leverance af afgrøden i lighed med halmkontrakter. Der er dog stadig fuld fleksibilitet med hensyn til sortsvalg og placering i sædskiftet.

Mens energikorn kan indgå i driften parallelt med den traditionelle korndyrkning med egne maskiner, vil etablering af pil og elefantgræs kræve anvendelse af specialmaskiner og vil normalt blive betragtet som entreprenørarbejde. Høst og bjergning af energiafgrøder vil også typisk være maskinstationsopgaver.

De flerårige energiafgrøder vil således kunne repræsentere en arbejdslettelse på husdyrintensive bedrifter, hvor markdriften er sekundær i forhold til den animalske produktion.

Vælges pil eller elefantgræs er det vigtigt at vurdere om den fornødne driftsledelsesmæssige kapacitet er tilstede på bedriften eller skal hentes udefra. En oplagt mulighed vil her være oprettelse af dyrkningslav, hvorved der kan sikres det fornødne arealgrundlag for en effektiv drift og samtidig sikres den bedst mulige leveringssikkerhed for aftager.

Ved oprettelsen af en større pileproduktion er det vigtigt at etableringen sker over en årrække, således der hvert år kan leveres fra arealer af nogenlunde samme størrelse.

6. Samlet vurdering

Ved en sammenligning af de enkelte energiafgrøder kan det umiddelbart synes vanskeligt at finde et ensartet og relevant sammenligningsgrundlag. Der er for de fleste energiafgrøder fordele og ulemper som skal opvejes mod hinanden i en samlet vurdering. Det er også spørgsmålet om en vurdering skal foretages i forhold til halm eller mellem energiafgrøderne indbyrdes.

Der er i det følgende valgt at foretage vurderingen indbyrdes mellem de enkelte energiafgrøder, da det ikke har været projektets formål, at vurdere om energiafgrøder kan være et alternativ til halm, men at vurdere om energiafgrøder er et realistisk supplement til halm i forbindelse med en øget biomasseanvendelse i energisektoren.

Samtidig må det også erkendes, at ingen energiafgrøder økonomisk kan konkurrere med halm, ligesom der ikke hos nogen energiafgrøder er fundet brændselsmæssige egenskaber, der kan retfærdiggøre en væsentlig højere pris end den der betales for halm.

De enkelte energiafgrøder vurderes i det følgende på en række parametre, som skønnes væsentlige i forbindelse med et endeligt valg af afgrøde eller afgrøder.

6.1. Dyrkning og udbytter

Alle de undersøgte energiafgrøder kan dyrkes under danske klimatiske forhold, men det er dog kun pil og triticale, som bliver dyrket i kommerciel skala, hvor triticale p.t. dyrkes som traditionel kornafgrøde. Erfaringerne med rørgræs og hamp er hovedsagelig fra forsøg, hvilket også gælder elefantgræs, hvor der dog omkring 1990 blev udlagt ca. 30 ha i praktisk dyrkning.

Det væsentlige i denne sammenhæng er, hvilke udbytter der kan forventes i praktisk dyrkning samt under hvilke forhold disse opnås.

Energiafgrøder må hovedsageligt forventes at blive dyrket på økonomisk marginale jorder samt arealer hvor ekstensiv dyrkning vil være påkrævet af miljømæssige hensyn. Det er ved vurderingen af de potentielle udbytter forudsat, at afgrøderne dyrkes ***uden*** vanding, idet vanding af energiafgrøder må anses for både økonomisk og miljømæssigt problematisk.

Der er ved omkostnings- og ressourceberegningerne anvendt følgende udbytteniveauer (tabel 6.1).

Tabel 6.1. Anvendte udbytteniveauer for energiafgrøder

Afgrøde	Ton tørstof pr. ha Lerjord	Sandjord
Triticale[1)]	9,9	7,1
Triticale[1)] – MVJ (60 pct. N)	7,5	5,4
Elefantgræs[2)] efterår/vinter	9,9	6,6
Elefantgræs forår	8,0	5,3
Hamp[2)]	~ 14,0	~ 10,0
Rørgræs	~ 8,0	~ 5,0
Pil	7,2	4,6

[1)] Energikorn (halm + kerne).
[2)] Ej lagerfast ved bjergning.

De i tabellen angivne udbytteniveauer er for triticale og pil fastlagt ud fra en kombination af forsøgsresultater og udbytter opnået i praktisk dyrkning med god driftsledelse. Der er dog især for pil en meget stor spredning i høstudbytterne i praktisk dyrkning, hvor der især fra Sverige er rapporteret om både meget lave og meget høje udbytter. Der er i de senere år fremkommet kloner, der ser ud til at have ganske høje udbyttepotentialer.

Udbytterne i elefantgræs er meget følsomme over for især sen nattefrost og de angivne udbytteniveauer er under forudsætning af de rette klimatiske forhold (kystnært klima).

Erfaringerne med dyrkning af hamp og rørgræs er meget beherskede, de angivne udbytter stammer fra relativt få forsøg og skal derfor i højere grad betragtes som udbyttepotentialer. Især for rørgræs er vurderingen, at den næppe er egnet til dyrkning i Danmark.

6.2. Bjergning og håndtering

Ved valg af bjergnings- og håndteringsmetoder for energiafgrøder skal man (som for alle andre afgrøder) i størst muligt omfang tilstræbe, at den/de valgte metode(r) fungerer optimalt i den givne afgrøde og samtidig tilgodeser slutbrugerens behov.

Det er karakteristisk for de fleste energiafgrøder, at der skal håndteres meget store materialemængder med en relativ lav vægtfylde inden for en kort høstsæson. Samtidig er kvalitetskravene rimeligt enkle, fugtindholdet skal ligge inden for de grænser, der sikrer lagerfasthed og anvendelighed på værket, hvilket for de lagringsegnede afgrøder er mindre end 20 pct. fugtindhold, endvidere skal der sikres et minimum af forurening med jord.

Da værdien af energiafgrøder er relativt lav pr. vægtenhed tilsiger dette, at der bør anvendes enkle og robuste metoder og systemer med høj kapacitet, hvor der i den samlede håndteringskæde er et minimum af flaskehalse og/eller ledig kapacitet.

Indføres der ekstra deloperationer i håndteringskæden, må kravet være, at de enten tilfører slutproduktet (energiafgrøden leveret hos aftager) en værditilvækst, der er større end omkostningen, eller at den ekstra operation totalt set effektiviserer håndteringskæden.

I den udstrækning, det er muligt, bør håndteringskæderne baseres på eksisterende og kendt teknologi, naturligvis med de nødvendige tilpasninger, hvorved man især for de sæsonbaserede basismaskiner kan hæve udnyttelsesgraden væsentligt, eksempelvis ved vinterhøst af pil og forårshøst af elefantgræs. Udvikling af nye maskiner specielt designet til høst af energiafgrøder er kostbar, og det er for nuværende et åbent spørgsmål, om sådanne maskiner samlet set vil være rentable gennem omkostningsbesparelser og/eller øget værditilvækst.

Der er for energikorn undersøgt forskellige bjergnings- og håndteringssystemer, finsnitning med efterfølgende pelletering, ribbehøst og skårlægning og presning af hele afgrøden i storballer. De undersøgte metoder er alle sammenholdt med traditionel mejetærskning og halmbjergning.

Ved finsnitning og presning af energikorn i storballer bjerges og håndteres hele afgrøden i en fraktion, mens der ved ribbehøst forekommer 2 fraktioner – ribbemix som er en blanding af kerne, avner og blade samt den afribbede halm.

Både finsnittet energikorn og ribbemix er omkostningskrævende at lagre på grund af en lav vægtfylde og en besværlig håndtering. Finsnittet energikorn og ribbemix er derfor forudsat leveret direkte i høst, hvilket i høj grad indskrænker anvendelsesmulighederne. Pelletering til brændselspiller synes her at være den eneste realistiske mulighed. En pelletering vil dog bringe omkostningerne op på et niveau, der gør brænds-

let uinteressant for k-v værkerne, men en mulighed kan være salg til private varmekunder i område IV.

Halmen fra en ribbehøstet afgrøde skal skårlægges før presning, men der er her mulighed for at vente med skårlægning, til der er sket en udvaskning af strået (hovedsageligt Cl og K).

Skårlægning med efterfølgende presning i storballer vurderes som den mest effektive metode til bjergning af energikorn i en lagerfast og lagringsegnet form. Det er i denne forbindelse dog væsentligt at være opmærksom på at energikornsballer ikke tåler fugt overhovedet.

Det er samtidigt muligt at opnå en ballevægt tæt på 1.000 kg, hvilket dels billiggør lagring (pr. energienhed), men også giver mulighed for at læsse et lastvognstræk til vægtgrænsen.

Høst og bjergning af elefantgræs er undersøgt både for efterårshøst (november) og forårshøst (marts/april). Den efterårshøstede afgrøde høstes med finsnitter med et fugtindhold på ca. 50 pct. Finsnitning med efterfølgende håndtering i containere giver en effektiv håndteringskæde, men grundet det høje vandindhold skal materialet anvendes eller viderebehandles inden for få dage.

Elefantgræs skårlagt om foråret kan presses og håndteres i storballer som lagerfast vare. Dette kan derfor videre indgå i forsyningssystemet på linie med halm og energikorn. Afgrøden taber dog en stor del af bladmassen i løbet af vinteren, hvorfor der må regnes med et væsentligt lavere hektarudbytte, hvilket hæver produktionsomkostningerne pr. GJ.

En anden lovende mulighed er montering af en slaglehøster direkte på storballepressen, hvorved høst og presning kan foregå i en arbejdsgang.

Høst af pil med finsnitter og direkte levering af pileflis er en effektiv håndteringskæde for pil. Den leverede pil er ikke lagerfast og skal anvendes inden for kort tid, hvilket principielt medfører de samme anvendelsesmæssige ulemper som for efterårshøstet elefantgræs.

Der er dog den væsentlige forskel, at pil har en høstsæson på ca. 4 måneder, der ligger i vinterperioden, hvor brændselsforbruget er størst.

Det er derfor muligt i kombination med andre energiafgrøder at have en helårsforsyning, hvor pileflis alene kan dække omkring halvdelen ved direkte levering.

Ved høst af helskud til senere flisning, enten i marken eller ved værk, er der mulighed for at lagre pil med minimalt tørstoftab. Denne håndteringskæde har dog en relativ lav kapacitet med flere håndteringer, ligesom der endnu resterer en del udvikling på maskinsiden.

Det skal dog også bemærkes, at håndteringskæden med finsnitning og direkte levering skal tilpasses til de vanskelige (bløde) jordbundsforhold, der ofte opstår om vinteren. Dette er dog i højere grad et spørgsmål om at anvende eksisterende teknologi end direkte teknologiudvikling.

Direkte høst og levering kræver en robust håndteringskæde for at kunne sikre den fornødne leveringssikkerhed.

De få arealer, der har været dyrket med hamp i Danmark, har været til fiberformål, og høsterfaringerne herfra kan derfor ikke direkte overføres til energiformål.

Hamp kan skårlægges i august/september og efterfølgende presses i storballer, men det har vist sig vanskeligt at få afgrøden så tør, at det er muligt at presse den. En anden mulighed er høst med majshøster (finsnitning) i december på frost, men også her synes det vanskeligt at bjerge lagerfast afgrøde.

Der har ikke været høstet rørgræs i praktisk skala i Danmark, men der findes en del erfaringer fra Sverige og Finland. Skårlægning med efterfølgende presning i storballer er en velegnet metode til bjergning af rørgræs. Ligesom for elefantgræs kan der være tale om enten efterårshøst eller forårshøst, hvor forårshøst angives at producere det bedste materiale både for fiberanvendelser og som brændsel. Forårshøst resulterer dog ligesom for elefantgræs i en væsentligt udbyttenedgang som følge af bladtab over vinteren.

6.3. Brændselsmæssige egenskaber

En række energiafgrøders brændselsmæssige egenskaber er sammenlignet med de kendte biobrændsler skovflis og halm.

Det har i denne forbindelse været målet at finde en eller flere energiafgrøder, der samlet set har bedre brændselsmæssige egenskaber end halm. Som det fremgår af kapitel 3, er dette ikke lykkedes inden for de energiafgrøder, som realistisk kan dyrkes i Danmark.

Det har for energikorn været undersøgt, om en kombination af sortsvalg og dyrkningsvilkår kunne give baggrund for at udpege sorter og dyrkningsmetoder, der kunne sikre entydig bedre brændselskvalitet. Dette er dog ikke tilfældet, idet der ikke er fundet sikre vekselvirkninger.

Der er udpeget enkelte rug- og triticalesorter med relativt lavt indhold af især klor og kalium, men forskellene er ikke større, end at det ved valg af sort til dyrkning af energikorn, vil være udbyttet der er den væsentligste faktor ved sortsvalg. Et godt kendskab til jordens næringsstofpulje og anvendelse af de rette gødningstyper er praktiske midler til at sikre det lavest mulige niveau af især kalium og klor.

Energiafgrøder i ren form er ikke velegnede som brændsel i mindre biokedler. Der må altid forventes varierende problemer ved anvendelse af energiafgrøder i forhold til træpiller. Montering af askesnegl vil formentlig løse en del af problemerne, men der må under alle omstændigheder påregnes et øget tidsforbrug til tilsyn og rengøring.

En udbredt anvendelse af energiafgrøder i små private biokedler i område IV vil forudsætte en iblanding af forskellig additiver i forbindelse med en pelletering. Der pågår for tiden et udviklingsarbejde på dette område.

Hovedparten af energiafgrøderne er i energiplanlægningen forudsat anvendt i større kollektive varme eller kraftvarmeanlæg. Indfyring kan ske enten i en separat biomassekedel eller som tilsatsfyring til kul.

Pileflis kan håndteres og indfyres ligesom skovflis, men der må i forhold til skovflis forventes en øget belægningsdannelse og askeproduktion. Asken fra pileflis har ligeledes et højere indhold af cadmium, hvilket kan vanskeliggøre anvendelsen af asken til udspredning i skov eller på landbrugsjord.

Energikorn (helsæd), elefantgræs og rørflen i storballer kan håndteres og indfyres som halm, men der må forventes visse ombygninger og tilpasninger, hvis disse skal anvendes direkte på eksisterende halmanlæg.

Energikorn, elefantgræs og rørgræs vil kunne håndteres i halmlinjerne på de kulfyrede værker, der er udbygget til samfyring med halm. Der må dog også her regnes med en række tilpasninger af indfyringssystemet.

Ved opførelse af nye værker/blokke på eksisterende værker vil der være mulighed for at opbygge multibrændselskedler, der med det rette indfødningsudstyr vil kunne håndtere både flis og energiafgrøder i storballer.

En forøgelse af anvendelsen af biomasse udover skovflis og halm må hovedsageligt forventes at skulle ske på nybyggede biobrændselsanlæg. Da kulforbruget forventes at falde, vil der dårligt være ”plads” til en udvidelse af biomasse i samfyring med kul. Mulighederne for askeanvendelse er også en begrænsende faktor for anvendelse af biomasse i samfyring med kul.

Energikorn, elefantgræs, rørgræs og pil er i princippet egnede som biobrændsler i større biomassefyrede anlæg. Der er ikke hos disse afgrøder fundet egenskaber der forhindrer anvendelse i fyringsanlæg, der er bygget til anvendelse af alkaliholdige brændsler.

Hamp er derimod fundet uegnet som biobrændsel med baggrund i de fyringstekniske og brændselsmæssige undersøgelser.

Der er ikke ved de brændselsmæssige undersøgelser fundet særskilte egenskaber hos de enkelte egnede biobrændsler, der giver grundlag for at prioritere anvendelsen af et brændsel frem for et andet. Dog vil brændsler med lavest muligt indhold af kalium, klor, nitrogen, svovl og tungmetaller blive foretrukket.

6.4. Miljømæssige forhold

Elefantgræs, pil og triticale energikorn kan alle dyrkes med N-udvaskningsniveau, der ligger væsentligt under den gennemsnitlige N-udvaskning på dyrkede arealer i sandjordsområder, hvor risikoen for udvaskning er størst.

Elefantgræs bør gødes med 60-90 kg N pr. ha årligt ved forårshøst, mens pil bør gødes på et lavere niveau – 50-75 kg N pr. ha årligt. Ved disse gødskningsniveauer er den årlige udvaskning fundet til at ligge mellem 0 og 46 kg N pr. ha årligt. Der er dog i etableringsfasen en væsentligt højere N-udvaskning.

Ved de ovennævnte gødningsniveauer er der ikke fundet forskel på N-udvaskningen ved tildeling af slam, husdyrgødning eller handelsgødning, hvilket viser, at pil og elefantgræs er i stand til fuldt ud at udnytte organisk kvælstof.

Den beregnede udvaskning for triticale energikorn ligger for sandjord på 38-63 kg N pr. ha ved en N tildeling i handelsgødning på 10 pct. under normen. Der er i demonstrationsdyrkningerne på visse marker anvendt ned til 60 pct. af N-normen i triticale, hvilket vil betyde en endnu lavere potentiel N-udvaskning.

Den årlige udvaskning fra almindelig landbrugsdrift på sandjord angives til at ligge på 70-100 kg N pr. ha.

Pesticidforbruget i energiafgrøderne omfatter hovedsageligt herbicider. Der er generelt tale om ganske lave behandlingsindeks. Elefantgræs ligger på behandlingsindeks mellem 0,6-1,0, triticale energikorn på 0,7-0,9 og pil på 0-0,4. Herbicidforbruget er for pil og elefantgræs især højt i etableringsfasen, mens det i løbet af omdriftsperioden er særdeles lavt.

Det er således muligt at producere energiafgrøder på landbrugsjord med en kvælstof- og pesticidbelastning, der ligger væsentligt under belastningen fra traditionelle landbrugsafgrøder, såfremt der vælges de rette afgrøder og dyrkningssystemer.

Dyrkning og anvendelse af 1 PJ energiafgrøder giver en potentiel CO_2 reduktion på 53-89 kt CO_2/år.

Energipil er i forhold til dyrkede marker et bedre levested for små pattedyr, vinterfugle og insekter. Der er i pileplantager fundet tætheder (antal individer) og artsrigdom på linje med flerårig græsbrak. Ganske få forholdsregler ved anlæg og drift af pileplantager kan forbedre pileplantagernes egnethed som levested for en række dyregrupper.

6.5. Økonomi

Der er foretaget sammenlignende økonomiske analyser for pil, elefantgræs og triticale energikorn. På baggrund af de dyrknings- og håndteringsmæssige erfaringer samt de forbrændingstekniske egenskaber for hamp og rørgræs er det valgt ikke at analysere disse afgrøder nærmere.

Omkostningerne til pileflis og finsnittet triticale energikorn leveret direkte til aftager ligger på 30-33 kr./GJ for dyrkning på lerjord og 35-38 kr./GJ for dyrkning på sandjord. Direkte levering af finsnittet triticale kan være mulig i forbindelse med en produktion af brændselspiller, men høstperioden er relativt kort.

Pileflis er ikke lagerfast ved høst og en eventuel længerevarende lagring vil være omkostningstung. Til gengæld er høstperioden på 4 måneder fra december til marts, hvor brændselsforbruget er stort. Dette giver gode muligheder for at indpasse anvendelsen af pil med en væsentlig andel i kombination med andre energiafgrøder, halm eller skovflis.

Triticale energikorn i storballer ligger på nogenlunde det samme omkostningsniveau for konventionelt dyrket og MVJ dyrket afgrøde. På lerjord ligger omkostningerne på 38-39 kr./GJ og på sandjord på 43-45 kr./GJ.

Forårshøstet elefantgræs i storballer ligger i størrelsesordenen 41-47 kr./GJ på henholdsvis ler- og sandjord. Der er både for energikorn og elefantgræs tale om levering over året på værk.

Til sammenligning ligger omkostningerne for halm på ca. 28 kr./GJ leveret på værk over året. En sådan sammenligning har dog kun begrænset relevans, idet energiafgrøder ikke skal konkurrere med halm i energiforsyningen, men derimod være et supplement til halm for at opfylde målene for biomasseanvendelse i relation til energihandlingsplanen.

Det er i denne forbindelse mere interessant at sammenligne omkostningerne for energiafgrøder med prisen på importeret træflis der gennem længere tid har ligget stabilt omkring 31-33 kr./GJ.

En fremtidig anvendelse af energiafgrøder i stor skala bør baseres på en kombination af forskellige energiafgrøder og halm. En helårsforsyning baseret på kun en energiafgrøde vil medføre unødigt høje omkostninger, mens der ved en kombination kan opstilles robuste leveringsplaner til rimelige omkostninger.

En leveringskombination af *halm (24,6 pct.) – pil (48,7 pct.) – halm (26,7 pct.)* vil i gennemsnit ligge på 30,1 kr./GJ; inddrages der triticale energikorn i efterårsperioden kan kombinationen være *triticale energikorn (24,6 pct.) – pil (48,7 pct.) – halm (26,7 pct.)* vil de gennemsnitlige omkostninger stige til 33,4 kr./GJ leveret over året.

Der eksisterer ikke noget reelt marked for energiafgrøder som energikorn og elefantgræs i storballer og pileflis. Prisen på denne type afgrøder må forventes fastsat i forbindelse med udbudsrunder og forhandling af længerevarende kontrakter om leverancer, som det i dag sker for halm til energiformål.

Der er både for producent og aftager en fælles interesse i kontrakter over en længere årrække, idet der herved skabes en afsætningssikkerhed for producenten og en forsyningssikkerhed for aftager. Især for landmænd der vælger at dyrke pil eller elefantgræs er der stærk interesse i at skabe pris- og afsætningssikkerhed for hele omdriftsperioden.

Den opnåelige pris i forhold til produktionsomkostningerne vil naturligvis være afgørende for landmændenes interesse for dyrkning af energiafgrøder.

Prisniveauet for halm og våd skovflis (50 pct. vandindhold) ligger på ca. 30 kr./GJ henholdsvis 32 kr./GJ.

På lerjorden ligger pil, MVJ triticale og vårbyg på nogenlunde samme niveau i dækningsbidrag, mens de andre energiafgrøder ligger væsentligt under vårbyg.

På sandjorden har både pil og MVJ triticale et højere dækningsbidrag end vårbyg til foder. Dette skyldes, at korn og udtagningsstøtten her har en relativt større indvirkning på dækningsbidraget på grund af de lavere udbytteniveauer i forhold til lerjorden.

Det skal bemærkes, at alle de her beregnede dækningsbidrag ligger lavere end den udbetalte støtte, hvilket i princippet betyder at produktionen i sig selv giver underskud, hvilket ikke er overraskende, da de anvendte salgspriser ligger under produktionsomkostningerne for de enkelte afgrøder.

Det vil være en række ejendoms- og bedriftsspecifikke forhold der afgør om det på den enkelte bedrift vil være økonomisk attraktivt at dyrke energiafgrøder, herunder ikke mindst betydningen af miljømæssige forhold samt at dyrkning af energiafgrøder på udtagne arealer giver mulighed for at inddrage disse i bedriftens samlede harmoniareal, så der kan tilføres husdyrgødning.

Summary

The purpose of the Energy Crop Research and Development Programme has been to develop and demonstrate an economic viable and environmental sustainable production of energy crops.

The project has been carried out as a number of interrelated subprojects, covering the entire production chain from growing to the use for selected representative energy crops (including afforestation schemes) (see table below).

Table: Activities in the Energy Crop Programme

	Afforestation	Willow coppice	Mischantus	Reed Canary Grass	Hemp	Rye	Triticale
Establishment/growing	*	+	+	+	+	*	*
Harvest/storage and transport	+	+	+	+	+	*	*
The influence of variety on fuel quality and yield	+	+	*	*	*	*	*
Fuel characteristics of potential biofuels	+	+	*	*	*	*	*
Fuel analysis and burning tests	+	+	*	*	*	*	*
The effects on surface and ground water from growing energy crops			*	+	+	*	*
The effects on surface and ground water from energy forestry	*	+					
Harvest, pelletizing and storage of Michantus			*				
The effects of perennial energy crops on flora and fauna		*	*				
Visualization of the influence of energy crops in landscape	*	* +					
Carbon balances in energy forestry	*						
Planning and coordinating fuel deliveries and end use	* +	* +	* +	* +	* +	* +	* +
Technical and fuel related follow up	*	*	*	*	*	*	*
Assessment and economic evaluation of annual and perennial energy crops	* +	* +	* +	* +	* +	* +	* +

* Activity in the project.
\+ Published material is used.

The overall assessment covers economic, technical and environmental aspects and the individual energy crop production chains are compared on their relative advantages and disadvantages.

Based on the results from the programme energy grain (whole crop triticale or rye), willow coppice and mischantus stands out as the best suited energy crops for Danish conditions.

The cultivation of energy grain can enter the rotation in line with conventional grain cultivation, harvest and handling, however should be done with swather and big baler.

Production of willow coppice is expected to be done on a contracting basis. It is suggested that farmers cooperate in order to secure the necessary acreage for an efficient production. A cooperation can also lower the economic risk for the individual farmer and improve the overall security of supply for the end user.

Energy grain, willow coppice and mischantus can be used as biofuels in medium to large scale combined heat and power plants, the fuel properties are found to be fairly equal to straw and wood chips.

Energy crops are expected to be utilised in new built combined heat and power plants, which opens the opportunity to design multi-fuel plants.

Willow and mischantus utilises organic nitrogen (manure/slurry) and inorganic nitrogen (commercial fertilizer) at the same efficiency. Seen over a 20 year rotation the nutrient leakage will be very low.

Energy grain can be grown with low-input nitrogen (60-90% of conventional) at about the same cost (per GJ) as conventionally grown energy grain.

This makes energy crops particularly well suited on Environmentally Sensitive Areas and water protection areas.

The production cost for willow coppice delivered at the plant during the harvest season is between 30-33 DKK/GJ (clay soil) and 36-39 DKK/GJ (sandy soil), while big baled energy grain (all year delivery) has a cost between 38-39 DKK/GJ (clay soil) and 43-45 DKK/GJ (sandy soil). The cost of straw is about 28 DKK/GJ and imported wood chips have been about 31-33 DKK/GJ for a fairly long period of time.

Willow coppice directly delivered during the harvest season can cover about 50% of the fuel use at a typical biofulled combined heat and power plant, and an all year biofuel supply can be obtained in combination with baled energy grain and/or straw.

An all year supply of biofuel based on 25% baled energy grain, 49% willow coppice and 26% straw will have an average cost of 33-34 DKK/GJ delivered at plant.
Taking the different CAP support schemes into account, it is possible for the farmer to obtain the same level of net revenue (ex land rent) for energy crops as for feed-barley given the same price level for energy crops as for straw and wood chips. It should however be noted that the calculated net revenue for both barley and energy crops are less than the support received.

A number of individual farm specific conditions will determine the farmers decision whether to produce energy crops or not.

Given an electricity price of 0,30-0,35 DKK/kWh (incl. green certificate) and a heat price of 45-48 DKK/GJ a medium size biofulled combined heat and power plant can pay around 20-24 DKK/GJ for energy crops. Co-firing with coal will increase the ability to pay to 30-34 DKK/GJ.

The results from the energy crop programme have created a good basis for further development. No serious agronomic or technical barriers have been found towards the production and utilisation of energy crops, and it is judged that the necessary adaptations for full scale production can be done in cooperation between agriculture and the energy sector.

It is suggested that the next step towards a large scale implementation of energy crops in the energy system should be a full scale demonstration project.

Litteraturliste

Nedenstående litteraturliste omfatter kun litteratur anvendt til nærværende rapport, der henvises til de enkelte delrapporter for yderligere litteratur.

Energistyrelsen (2000): ”Drivhusgasemission ved tilvejebringelse af fossile brændsler og biomassebaserede brændsler til energiformål”. Energiforbrug og emissioner. Energistyrelsen

Flengmark, Poul og Johs. R. Jørgensen (2001): ”Sortsvalgets betydning for brændselskvalitet og udbytte af rug og triticale”. Danmarks JordbrugsForskning, afd. for Plantebiologi, Flakkebjerg.

Graversen, Jesper og Morten Gylling (2002): ”Energiafgrøder til fastbrændselsformål – produktionsøkonomi, håndteringsomkostninger og leveringsplaner”. Fødevareøkonomisk Institut, Working Paper, 2002.

Gylling, Morten, Jens Abildtrup, Keld Vodder Nielsen, Søren Marcus Pedersen og Søren varming (2001): ”Langsigtede biomasseressourcer til energiformål – mængder, omkostninger og markedets betingelser”. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut, rapport nr. 125.

IEA Bioenergy (1997): ”Harvest and other mechanical pre-treatment of lignocellulosic energy crops”; Proceedings from workshop at CLAAS, Harsevinkel, Germany, 1996. Research Centre, Foulum.

Jensen, Torben Nørgaard og Lars Steenbjerg Nikolaisen (2001): ”Energiafgrødeprogrammet 1997-2000 – rapport for to delprojekter – Brændselsanalyser og fyringsforsøg; - Teknisk og energimæssig opfølgning”. Teknologisk Institut, Energidivisionen.

Jørgenen, Uffe (red.) (2000): Har energiafgrøder en fremtid i Danmark? Danmarks JordbrugsForskning, rapport nr. 29, Markbrug.

Jørgensen, Uffe (2001): ”Bæredygtig produktion af energiafgrøder – slutrapport”. Danmarks JordbrugsForskning, Foulum.

Miljø- og Energiministeriet (1996): ”Energi 21, Regeringens energihandlingsplan 1996”. Miljø- og Energiministeriet.

Nielsen, Keld Vodder (1999): ”Triticale til energi”. Landskontoret for Planteavl, Landbrugets Rådgivningscenter.

Nielsen, Villy og Henrik S. Mortensen (2001): ”Håndtering af energiafgrøderne triticale og elefantgræs”. Danmarks JordbrugsForskning, rapport nr. 44, Markbrug.

Olesen, Jørgen E., Johnny M. Andersen, Brian H. Jacobsen, Torben Hvelplund, Uffe Jørgensen, Jesper S. Schou, Jesper Graversen, Tommy Dalgaard og Jørgen V. Fenhann (2001): ”Kvantificering af tre tiltag til reduktion af landbrugets emission til drivhusgasser”. Danmarks JordbrugsForskning, rapport nr. 48, Markbrug.

Parsby, Michael og Håkan Rosenqvist (1999): ”Energiafgrødernes produktionsøkonomi – med særlig fokus på pil”. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut, Working Paper no.3/1999.

Reddersen, Jens (2000): ”Naturindholdet ved dyrkning af flerårige energiafgrøder, pil og elefantgræs - slutrapport”. Danmarks Miljøundersøgelser, Kalø.

Sander, Bo (2001): ”Energiafgrødeprogrammet 1997-2000 – slutrapport for delprojekt: Brændselskarakterisering af potentielle biobrændsler. Tech-wise A/S.