



Marts 2000

DJF rapport

Nr. 26 • Markbrug



Niels Peder Madsen, Torsten Reffstrup og Poul K. Flengmark

Triticale som energiafgrøde

Biomasseudbytte og brændselskvalitet efter udvaskning af ribbehøstet eller skårlagt triticale

Triticale as a biomass energy crop

Biomass output and combustion quality after leaching of stripper harvested or windrowed triticale



Triticale som energiafgrøde

Biomasseudbytte og brændselskvalitet efter udvaskning af ribbehøstet eller skårlagt triticale

Triticale as a biomass energy crop

Biomass output and combustion quality after leaching of stripper harvested or windrowed triticale

Niels Peder Madsen
Afdeling for Jordbrugsteknik
Postboks 536
DK-8700 Horsens

Torsten Reffstrup
KONCEPTOR
Gyndbjerg 23
DK-6091 Bjert

Poul K. Flengmark
Afdeling for Plantebiologi
Flakkebjerg
DK-4200 Slagelse

DJF rapport Markbrug nr. 26 • marts 2000

Udgivelse:	Danmarks JordbrugsForskning Forskningscenter Foulum Postboks 50 8830 Tjele	Tlf. 89 99 19 00 Fax 89 99 19 19
Løssalg:	t.o.m. 50 sider	50,- kr.
(incl. moms)	t.o.m. 100 sider	75,- kr.
	over 100 sider	100,- kr.
Abonnement:	Afhænger af antallet af tilsendte rapporter, men svarer til 75% af løssalgsprisen.	
Forsidefoto:	Ribbehøst. Foto: N.P. Madsen.	



Indholdsfortegnelse

Sammendrag	5
Summary	7
Indledning	9
Materialer og metoder	10
Anvendt høstteknik	10
Forsøgsplan	11
Resultater	14
Registreret regnmængde.....	14
Biomasseudbytte	14
Kaliumindhold i afgrødefraktionerne.....	16
Kloridindhold i afgrødefraktionerne	18
Askeindhold i afgrødefraktionerne.....	20
Faldtal.....	22
Analyser af bundvækst.....	23
Indhold af tungmetaller	23
Statistisk resultattolkning	24
Diskussion	26
Konklusion	32
Litteratur	33

Contents

Summary in Danish	5
Summary	7
Introduction	9
Materials and methods	10
Harvesting technique used	10
Test plan	11
Results	14
Recorded rainfall	14
Biomass output.....	14
Potassium content of crop fractions	16
Chloride content of crop fractions.....	18
Ash content of crop fractions	20
Falling number	22
Analyses of weed plants	23
Content of heavy metals	23
Statistical explanation of the results	24
Discussion	26
Conclusion	32
References	33

Sammendrag

Ribbehøst og skårlægning blev anvendt som høstmetoder ved bjærgning af tritcale som energiafgrøde. Stående rodfast eller skårlagt på marken, blev afgrøden gennem forsøgsperioden udsat for udvaskning med regn for indholdet af alkalimetallerne kalium og klorid.

Ved ribbehøst fås to afgrødefraktioner, benævnt ribbemiks og industrihalm. Ribbemiks består af en blanding af kerner, avner og emter, mens industrihalmen er det afribbede strå.

Undersøgelsen blev gennemført under praktiske forhold på en mark med en letsandet jord. Efter at afgrøden havde nået modenhedsstadiet, blev marken opdelt i 3 forsøgsled à ca. 1 ha. Høst og opsamling af de forskellige fraktioner blev udført, efter at der var faldet henholdsvis 0, 39, 52 og 80 mm regn i alt.

I Led I blev et antal parceller (skår) ribbehøstet på hver forsøgsdag med efterfølgende skårlægning og bjærgning af halmen.

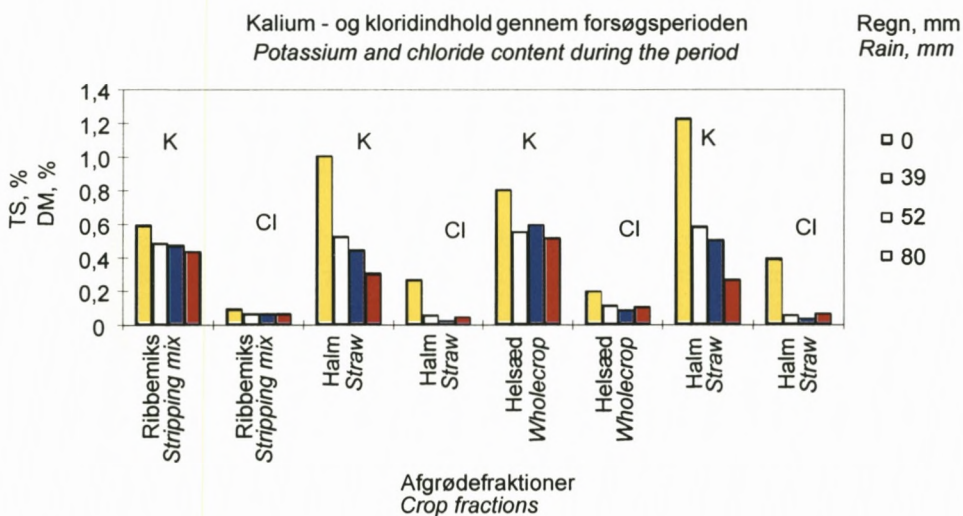
I Led II blev hele arealet skårlagt som helsæd på den første forsøgsdag. Derefter blev et antal skår af helsæden opsamlet og presset på de enkelte forsøgsdage, efterhånden som afgrøden blev udvasket med regn.

I Led III blev hele arealet ribbehøstet den første dag, hvorefter den tilbagestående rodfast halm blev skårlagt og efterfølgende presset i storballer, efterhånden som den blev udvasket af regn gennem perioden.

Gennem forsøget blev der udtaget repræsentative prøver af ribbemiks, halm og helsæd, som blev analyseret for indhold af kalium, klorid og aske for at belyse regnens indvirkning herpå. Tillige blev der foretaget orienterende analyser for faldtal.

Resultater

Ved ribbehøstprocessen opdeles mængden af biomasse i henholdsvis ca. 70% ribbemiks og 30% halm. Ribbemiksfraktionen havde et lavere indhold af kalium og klorid end halmen. Regn kunne delvis udvaske det ret lave indhold af kalium og klorid. Det oprindelige indhold af kalium og klorid i ribbemiks på henholdsvis 0,6 og 0,1% af tørstoffet (TS) kunne reduceres til henholdsvis 0,4 og 0,07% af TS. Et koncentrat af resultaterne er vist i omstående diagram.



Udvaskningen fra halmen var mest effektiv. I det stående strå var der efter 80 mm regn således udvasket ca. 70% kalium og 80% klorid af det oprindelige indhold på henholdsvis 1-1,2% og 0,2-0,4% i halmen. Reduktionen af indholdet var stort set ens, uanset om strået bar kerne eller ej. Det stående strå tørrede hurtigt op igen efter regn og kunne bjærges tørt og lagerfast. Udvaskningen i den skårlagte hølsæd var mindre effektiv, idet kalium- og kloridindholdet ved forsøgets slutning kun var reduceret til henholdsvis ca. 35 og ca. 50% af det oprindelige indhold. Den stående afgrøde viste først tegn på begyndende spiring efter ca. 50 mm regn.

Den skårlagte hølsæd udvaskedes ikke yderligere, efter at der var faldet 52 mm regn. Da der på dette stadium ikke var betydende tegn på spiring i akset, kan dette tolkes således, at uanset nævnte regnmængde, vil skårlægning kunne udsættes, til modenhed er nået. Herved gives potentiale for højst mulig udvaskning samt en bedre mulighed for optørring af afgrøden og dermed god lagerfasthed.

Undersøgelsen har vist, at der ved valg af høstmetode og høsttidspunkt for tritcale kan opnås et biobrændsel, der med hensyn til indhold af kalium og klorid er af samme kvalitet som træflis, elefantgræs og energipil.

Summary

Triticale as a biomass energy crop

Non-conventional stripper harvesting and windrowing were methods chosen for a study of fractionation of the crop at harvest and leaching of the crop by rain on the field. The crop fractions obtained were stripping mix, stripped straw and wholecrop.

The biomass energy crop triticale was grown on a sandy soil at Djursland, Denmark. After the crop had matured, three plots of one hectare each were selected for trials. Experiments were carried out, and samples were taken, after the crop had accumulated 0, 39, 52 and 80 mm of rain, respectively.

In Plot I the crop was left standing. A part of the crop was stripper harvested, and the straw was windrowed at each trial.

In Plot II the whole area was windrowed and the crop was left in swaths on the field to be leached by rain. For each trial swaths were chosen at random and baled.

In Plot III the whole area was stripper harvested, and the standing straw was left to be leached by rain. A part of the standing straw was mowed and baled at each trial.

Samples were taken at each trial and analysed for content of potassium, chloride and ashes. A total of 98 samples were analysed. Results on dry matter (DM) basis were given. The falling number of the grain was observed.

Results

During the stripping process, approx. 70% of the biomass from the field was harvested. The stripping mix had a lower content of potassium and chloride than the straw. Rain partially leached out potassium and chloride from the initial levels. When left standing on the field, the straw was leached according to the amount of rain accumulated. 80 mm of rain leached out 70% of the potassium and 80% of the chloride present in the straw.

The leaching of the straw was equally effective, whether the standing straw carried grain or not. The standing straw dried up easily and could be harvested dry. Leaching of the windrowed crop occurred. However, it was less effective. At the late harvest the windrowed material was not sufficiently dry for storage.

The grain from the standing crop could resist 50 mm of rain before it began sprouting.

Conclusion

Stripper harvesting can be used to separate the triticale into 70% of stripping mix and 30% of straw on a weight basis. The mixture had a potassium content of 0.4% and a chloride content

of 0.1%. The standing straw had a potassium content of 1-1.2% and a chloride content of 0.2-0.4%. The standing straw was effectively leached by rain, and reductions of 70% of the potassium content and 80% of the chloride content were recorded after the crop had been exposed to 80 mm of rain.

Wholecrop grown for combustion purposes is expected to accumulate 50 mm of rain before windrowing. This will lead to leaching of salts, and consequently the grain will not sprout dramatically.

The test has shown, that by choice of method and time for triticale harvest it is possible to obtain a biomass fuel of the same quality as wood chips, Miscanthus and energy willow with respect to content of potassium, chloride and ashes.

Indledning

Begrundet i triticalens totale biomasseudbytte med muligheden for pesticidfri dyrkning, dens identificerbarhed og kontrollerbarhed, har afgrøden været nævnt som en interessant enårig energiafgrøde på brakarealer.

I 1995 blev der gennemført fuldskalaforsøg med skårlægning og storballepresning af triticalesæd med efterfølgende anvendelse til brændsel på kraftvarmeværk. Det viste sig herved, at der opstod en del problemer med håndteringen af de tunge baller, ligesom udbrændingen af kerner i blandingen af kerner og halm ikke var effektiv.

Forbrændingsmæssigt udgør indholdet af kalium og klorid ved modenhed og høst et stort problem for energiafgrøders anvendelse til elproduktion i biomassefyrede kraftværker, idet indholdet af kalium og klorid bl.a. giver anledning til belægningsdannelse og overhedningskorrosion under forbrændingen. Det ville derfor være hensigtsmæssigt at undersøge mulighederne for at reducere indholdet af de nævnte alkalimetaller.

De to væsentligste faktorer, som kan påvirke indholdet af klorid i halm fra kornarterne, er den anvendte mængde kloridholdig gødning i vækstperioden samt udvaskningsgraden af strået efter modenhed. Desuden er der én faktor, som i normal markdrift kan påvirke halmens indhold af kalium, nemlig regnens udvaskning af strået efter modenhed (ELSAM/ELKRAFT, nov. 1994; ELSAM/ELKRAFT, aug. 1995; Nielsen, J.J. & Reffstrup, T., 1995).

Ved anvendelse af ribbehøsteren fraktioneres afgrøden i en rodfast strådel samt en blanding af avner, aksdele, blade, strådele og kerner, der benævnes ribbemiks. Ribbemiksfraktionen er forholdsvis fattig på kalium og klorid, mens halm- eller strådelen er relativt rig på kalium og klorid inden udvaskning.

Tidligere forsøg har vist, at regn kan udvaske kalium og klorid i stående kornafgrøder efter modenhed, og at udvaskningsforløbet stort set er ens, uanset om afgrøden ligger på skår eller er stående rodfast på marken (ELSAM/ELKRAFT, nov. 1994; Nielsen, J.J. & Reffstrup, T., 1995).

Ved at lade triticale til energiformål stå, til den efter modenhed har modtaget ca. 100-150 mm regn, kan der formodentlig høstes et brændsel, som er næsten frit for klorid og med et stærkt reduceret kaliumindhold.

Da triticale således vil kunne udvaskes stående, og da der ved anvendelse som brændselsafgrøde ikke skal tages særlige hensyn til bevaring af kernens kvalitet, kan der udelukkende fokuseres på biomasseudbyttet. Dette gav forventning om, at udvaskning af stående afgrøde ville kunne opnås med en rimelig bjærgningssikkerhed for tør og lagerfast afgrøde.

Ved ribbehøst kan bjærgningen tillige gennemføres med fraktionering af afgrøden i en stængelfraktion med lav rumvægt og i ribbemiks med en højere rumvægt. De to fraktioner forventes at have hver deres fyringskarakteristika. Med ribbehøsteren kan der opnås en fuldstændig bjærgning af afgrødens biomasseudbytte, bestående af kerner, avner, emter og halm, da alle smådelene bliver opsamlet.

Ved ribbehøst, inden den modne afgrøde har modtaget 100 mm regn, kan den stående stængelfraktion forblive på marken, indtil den er tilstrækkelig udvasket, og derefter, afhængigt af vejrforholdene, bjærges lagerfast med stor sikkerhed.

Det var projektets formål at bestemme mængden af biomasse, forbrændingsegenskaberne karakteriseret ved indhold af kalium og klorid, samt bjærgningssikkerhed og bjærgningsøkonomi for tritcale høstet ved henholdsvis ribbehøst og skårlægning af halm/helsæd, efterfulgt af ballepresning ved modenhed, og ved fem efterfølgende stadier af udvaskning, adskilt af ca. 30 mm regn.

Materialer og metoder

Forsøgsmarken var en del af en tritcalemark på 6 ha. Arealet udgjorde en del af energikornsprojektet på Djursland i 1995-1996. Projektet gennemførtes i et samarbejde mellem Forskningscentrene Bygholm og Flakkebjerg, Danmarks JordbrugsForskning (DJF), samt firmaet KONCEPTOR. Markforsøgene med ribbehøst og udbyttebestemmelse er foretaget af Forskningscenter Bygholm ved N.P. Madsen, og analyseprogrammet er administreret af Forskningscenter Flakkebjerg ved Poul Flengmark. De kemiske analyser er udført af DJF's Centrallaboratorium, Forskningscenter Foulum og Biotechnologisk Institut, Kolding, mens tørstofanalyserne er udført af Forskningscenter Bygholm. Første udkast til nærværende rapport er udarbejdet af Torsten Reffstrup, KONCEPTOR.

Statens Jordbrugsøkonomiske Institut har evalueret projektets resultater i sammenhæng med de øvrige projekter i Non-food pakken. Projektet er finansieret af Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri via Forskningssekretariatets Non-food midler.

Anvendt høstteknik

Forsøgsmarken var næsten plan og stort set fri for ujævnheder, så køre- og høstforholdene var forholdsvis gode. Der blev høstet rundt om forsøgsmarken med mejetærsker, og halmen blev fjernet, så der var god plads til vendinger for enderne af forsøgsleddene.

Ved to af forsøgets led anvendtes en prototype ribbehøster, sammenbygget af et 8' ribbebord, monteret på en bugseret JF-finsnitter type FCT 900, som vist på figur 1, 2 og 3. Arbejdsgangen ved anvendelse af ribbehøsteren er følgende: Maskinen trækkes af en MF 3090 traktor med 4 WD og ca. 80 kW på kraftudtaget, hvorfra alle maskinens arbejdsorganer drives. Rib-

bebordets rotor afriver kerner, aksdele og de øvre strå- og bladele under hurtig rotation fremad og opad. Det afribbede materiale transporteres ved hjælp af et gummibånd til en samle-snegl, hvorfra det føres til finsnitterens indførsingsvalser og derfra videre til snittertromlen. Ud over snittefunktionen fungerer snittertromlen som transportør af materialet til den efterkoblede højtippvogn, hvorfra aflæsning kan ske i markdyng eller i andre vogne for transport til anvendelsesstedet.

I traktorens frontlift var der monteret en rotorskårlægger med 4 rotorer. Med rotorskårlæggeren blev den efterstående halm skårlagt, enten samtidig med ribbehøsterens afribning af kernerne, eller på et senere tidspunkt i henhold til forsøgsplanen. Når ribning og skårlægning foretages samtidigt, skårlægges det forud-afribbede skår, idet skårlæggeren, som nævnt, er monteret foran på traktoren, mens ribbehøsteren arbejder på traktorens højre side.

Mængden af ribbemiks, halmmængde eller helsæd fra de enkelte led blev bestemt ved differensvejning af henholdsvis højtippvogn og storballepresser på elektroniske vejeceller før og efter opsamling fra de enkelte led. Vejning af storballepresseren kunne være lidt problematisk, idet det krævede omhu at få presserens store hjul placeret korrekt på vejeplatformene. På de enkelte forsøgsgange kunne der være nogen variation mellem mængdebestemmelserne ved de foretagne gentagelser. Årsagen hertil var dels markvariationerne, men i nogen grad også nævnte vejeusikkerhed. Den beskrevne fremgangsmåde med anvendelse af storballepresser samt vejning før og efter opsamling af de enkelte led blev benyttet, fordi det arbejdsmæssigt var fordelagtigt. Alternativt skulle den store halmmængde presses ved hjælp af småballepresser, men disse kunne ikke håndteres i kraftvarmeværket, som skulle aftage den høstede biomasse.

Forsøgsplan

Forsøget indeholdt på 3 forsøgsled:

- I Led I blev der ribbehøstet og samtidigt skårlagt et antal parceller (skår) for hver forsøgsgang, som ifølge forsøgsplanen adskiltes af det antal dage, der blev for hver regnmængde på ca. 30 mm regn.
- I Led II blev hele afgrøden skårlagt med en selvkørende 14-fods skårlægger på forsøgets første dag. Derefter henlå skårene til udvaskning og eventuel nødvendig vending før presning. På hver forsøgsgang opsamledes et antal skår, udvalgt ved lodtrækning.
- I Led III blev hele arealet ribbehøstet på den første forsøgsgang, mens kun 1/6 af halmen blev skårlagt. Den øvrige del af strået blev stående på roden for successiv skårlægning og opsamling med ballepresser for hver gang, der var faldet ca. 30 mm regn.

I hvert forsøgsled blev der udtaget repræsentative prøver af ribbemiksdelen, den skårlagte halm og den skårlagte helsæd. Prøverne blev analyseret for vand- og askeindhold samt for kalium og klorid. Desuden blev der foretaget orienterende analyse for faldtal for hver forsøgsgang i Led I med henblik på at undersøge, om der var tendenser til begyndende spiring i akset. Endvidere blev indholdet af cadmium og bly bestemt orienterende.

Regnmængden blev registreret på to elektroniske regnmålere, placeret henholdsvis i markens vest- og nordside. Den registrerede regnmængde mellem to på hinanden følgende forsøgsdage blev beregnet som gennemsnit af de to måleres visninger. Arealet af de enkelte forsøgsled bestemtes ved opmåling.



Figur 1. Ribbehøsteren består af et 2,4 m ribbebord, monteret på en bugseret JF-fin-snitter. The stripper header consists of a 2.4 m grain stripper header mounted on a towed JF-forage harvester. Photo: J. Vinther



Figur 2. Ribbehøsteren set forfra, hvor rotoren med plastfingrene ses. Front view of the stripping header showing the rotor with plastic grippers. Photo: J. Vinther



Figur 3. Ribbehøst og skårlægning af strået. Stripper harvesting and windrowing of the straw. Photo: N.P. Madsen

Tabel 1. Forsøgsplan over udvaskning af triticales, 1996. Plan for tests on leaching of triticales, 1996

	Led I Plot I	Led II Plot II	Led III Plot III
	Successiv ribbehøst med samtidig skårlægning/presning Successive stripper harvesting and simultaneous windrowing/baling	Skårlægning af hele Led II, successiv bjærgning/presning Windrowing of the whole of Plot II and successive gathering/baling	Ribbehøst af hele Led III, dag 1, successiv skårlægning/presning Stripper harvesting of the whole of Plot III, day 1 and successive windrowing/baling
30 mm regn, rain	Ribbemiks og industrihalm Stripping mix and industrial straw	Helsæd Wholecrop	Industrihalm Industrial straw
60 mm regn, rain	Ribbemiks og industrihalm Stripping mix and industrial straw	Helsæd Wholecrop	Industrihalm Industrial straw
90 mm regn, rain	Ribbemiks og industrihalm Stripping mix and industrial straw	Helsæd Wholecrop	Industrihalm Industrial straw
120 mm regn, rain	Ribbemiks og industrihalm Stripping mix and industrial straw	Helsæd Wholecrop	Industrihalm Industrial straw
150 mm regn, rain	Ribbemiks og industrihalm Stripping mix and industrial straw	Helsæd Wholecrop	Industrihalm Industrial straw

Da vejsituationen, og dermed nedbørsmængden og dennes fordeling gennem forsøgsperioden, ikke var forudsigelig, besluttedes det at se bort fra den oprindelige plan med høst for hver 30 mm regn og i stedet høste med 14 dages intervaller, når vejrforholdene var gunstige. I tabel 2 vises en oversigt over datoer samt afhøstede arealer for hver forsøgsdag.

Tabel 2. Oversigt over forsøgsdatoer samt arealer for høst/opsamling/presning. Survey of test dates and areas for harvesting/collecting/baling

Dato Date	Høstet areal, ha, Led I Harvested area, ha, Plot I	Høstet areal, ha, Led II Harvested area, ha, Plot II	Høstet areal, ha, Led III Harvested area, ha, Plot III
12.08.96	0,097	0,149	0,097
04.09.96	0,130	0,200	0,097
18.09.96	0,356	0,300	0,347
03.10.96	0,400	0,300	0,424
I alt, total	0,983	0,949	0,965

Det samlede areal for hvert led var således ca. 1 ha. Thus, the total area of each plot was about 1 ha

Resultater

Registreret regnmængde

Forsøgsperioden strakte sig totalt over ca. 8 uger med i alt 5 forsøgsdage, hvor den samlede regnmængde blev 80 mm. Forsøget måtte da afsluttes, da der skulle etableres en ny afgrøde. Tabel 3 viser regnmængden i perioden indtil forsøgenes start samt de registrerede mængder under forsøgene.

Tabel 3. Registreret regnmængde i forsøgsperioden. Rainfall recorded during the trial period

Dato Date	Måler 1 Gauge 1 mm	Måler 2 Gauge 2 mm	Gns. Mean mm	Regn i perioderne Rain during the periods mm	Regn, i alt Rain, total mm
01.07.96	0	0			
12.08.96	42,9	37,3	40,1		
27.08.96	66,0	63,0	64,5	24,4	24,4
04.09.96	80,7	78,0	79,4	14,9	39,3
18.09.96	93,6	91,3	92,5	13,1	52,4
03.10.96	124,7	116,1	120,4	27,9	80,3

Biomasseudbytte

De opnåede biomasseudbytter, der blev registreret i de forskellige led, fremgår af tabellerne 4-7, hvor gennemsnitsudbyttet for gentagelserne er anført. Antallet af gentagelser er angivet tillige med den beregnede standardafvigelse.

Tørstofindholdet er angivet som det geometriske gennemsnit af gentagelserne. Spredningen på tørstofbestemmelserne er uden betydning i forhold til spredningen på vejetalene.

Tabel 4. Gennemsnitligt udbytte, tørstofindhold og standardafvigelse for ribbemiks, Led I. Mean output, content of DM and standard deviation of stripping mix, Plot I

Dato Date	kg/ha	Stdafv. p S.D. p	TS, % DM, %	kg TS/ha kg DM/ha	TS stdafv. p DM S.D. p	Gentagelser Replications
12.08.96	4728		89	4208		1
04.09.96	4475	339	84	3759	285	4
18.09.96	4723	441	84	3967	345	12
03.10.96	5404	219	78	4215	171	6

Tabel 5. Udbytte og tørstofindhold af halm, Led I. Output and DM content of straw, Plot I

Dato Date	kg/ha	Stdafv. p S.D. p	TS, % DM, %	kg TS/ha kg DM/ha	TS stdafv. p DM S.D. p	Gentagelser Replications
12.08.96	3905		89	3475		1
04.09.96	4321	679	87	3759	591	4
18.09.96	2277	816	87	1981	710	10
03.10.96	2477	256	84	2081	215	6

Tabel 6. Udbytte og tørstofindhold af helsæd, Led II. Output and DM content of whole-crop, Plot II

Dato Date	kg/ha	Stdafv. p S.D. p	TS, % DM, %	kg TS/ha kg DM/ha	TS stdafv. p DM S.D. p	Gentagelser Replications
12.08.96	6695	1427	86	5758	1227	3
04.09.96	9490	799	86	8161	687	4
18.09.96	10189	1444	85	8661	1227	6
03.10.96	9556	1618	78	7454	1262	6

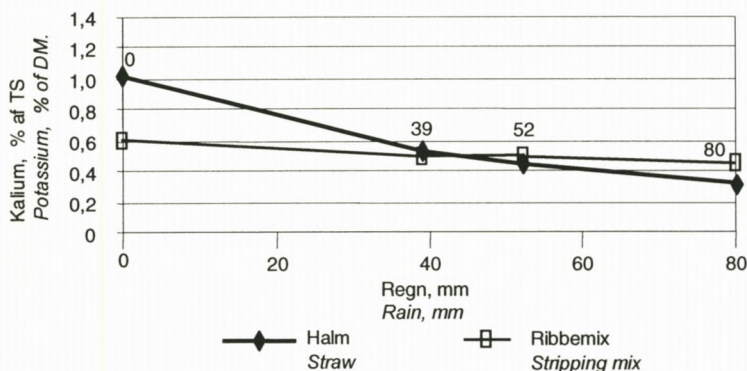
Tabel 7. Udbytte og tørstofindhold af halm, Led III. Output and DM content of straw, Plot III

Dato Date	kg/ha	Stdafv. p S.D. p	TS, % DM %	kg TS/ha kg DM/ha	TS stdafv. p DM S.D. p	Gentagelser Replications
12.08.96	2984		84	2507		1
04.09.96	2160	1096	89	1922	975	3
18.09.96	2164	380	86	1861	327	6
03.10.96	2427	368	85	2063	313	6

Mængden af ribbemiks, der bjærgedes den første forsøgsdag i Led III, var 4748 kg TS/ha og havde et gennemsnitligt tørstofindhold på 88%. The quantity of stripping mix gathered on the first test day in Plot III was 4748 kg DM/ha, and the mean DM content was 88%

Forsøgsresultaterne antyder, at efterhånden som afgrøden skørnes af regn og efterfølgende gentagne optørringer, sker der en ændring i mængdeforholdet mellem ribbemiks og industrihalm. Tørstofmængden af ribbemiks udgør 54% af totaludbyttet på den første høstdag, mens den på den sidste høstdag den 3.10. (54 dage efter fuldmodenhed) er steget til 67%. Ved udsættelse af høsttidspunktet kommer der således en større del af strået med i ribbemiksfraktionen. Selv om der sker et tab af tørstof under udvaskning og ved tab af blade, jo længere afgrøden står på marken, virker de registrerede halmmængder i Led I i sidste del af forsøgsperioden dog urealistisk lave.

Kaliumindhold i afgrødefraktionerne



Figur 4. Kaliumindholdet i stående triticale med stigende regnmængde, Led I. Potassium content of standing triticale with increasing rainfall, Plot I

Tabel 8. Kaliumindhold i ribbemiks, Led I. Potassium content of stripping mix, Plot I

Dato Date	Regn Rain mm	Kalium % af TS Potassium % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	0,6	6
04.09.96	39	0,49	6
18.09.96	52	0,48	6
03.10.96	80	0,44	6

Tabel 9. Kaliumindhold i industrihalm, Led I. Potassium content of industrial straw, Plot I

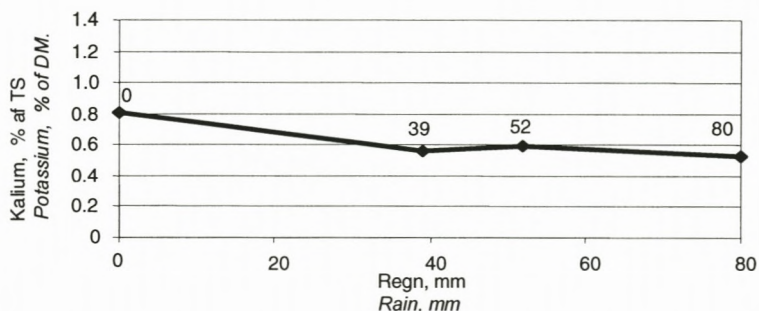
Dato Date	Regn Rain mm	Kalium % af TS Potassium % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	1,01	6
04.09.96	39	0,53	3
18.09.96	52	0,45	6
03.10.96	80	0,31	6

Indholdet af kalium i halmen faldt fra 1 til 0,3% af tørstoffet i løbet af forsøgsperioden, mens det i ribbemiksdelen kun blev reduceret fra 0,60 til 0,44% af tørstoffet.

Kaliumindholdet i skårlagt helsæd, Led II

Tabel 10. Kaliumindhold i helsæd, Led II. Potassium content of wholecrop, Plot II

Dato Date	Regn Rain mm	Kalium % af TS Potassium % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	0,81	3
04.09.96	39	0,56	4
18.09.96	52	0,60	6
03.10.96	80	0,52	6



Figur 5. Kaliumindhold i skårlagt helsæd med stigende regnmængde, Led II. Potassium content of windrowed wholecrop with increasing rainfall, Plot II

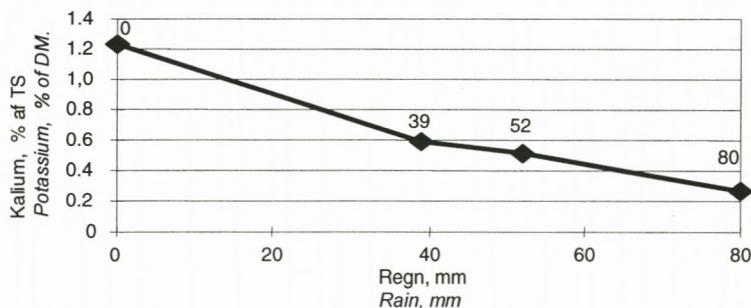
Kaliumindhold i Led III

Som tidligere nævnt, bjærgedes ribbemiksdelen fra hele Led III på den første høstdag. Det gennemsnitlige kaliumindhold for 8 bestemmelser var 0,59% af TS i ribbemiksen, hvilket svarer præcis til det, der fandtes i Led I på den første forsøgsdag.

Den stående industrihalm, der blev skårlagt og presset i løbet af forsøget, udvaskedes efterhånden, og kaliumindholdet reduceredes fra 1,23 til 0,27% af tørstoffet, som vist i tabel 11 og i figur 6.

Tabel 11. Kaliumindhold i industrihalm af triticale, Led III. Potassium content of industrial triticale straw, Plot III

Dato Date	Regn Rain mm	Kalium % af TS Potassium % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	1,23	3
04.09.96	39	0,57	3
18.09.96	52	0,51	6
03.10.96	80	0,27	6



Figur 6. Kaliumindhold i triticale industrihalm med stigende regnmængde, Led III. Potassium content of industrial triticale straw with increasing rainfall, Plot III

Kloridindhold i afgrødefraktionerne

Den afhøstede ribbemiks samt industrihalmen blev analyseret for kloridindhold. Resultatet er vist i tabellerne 13 og 14 samt i figur 7.

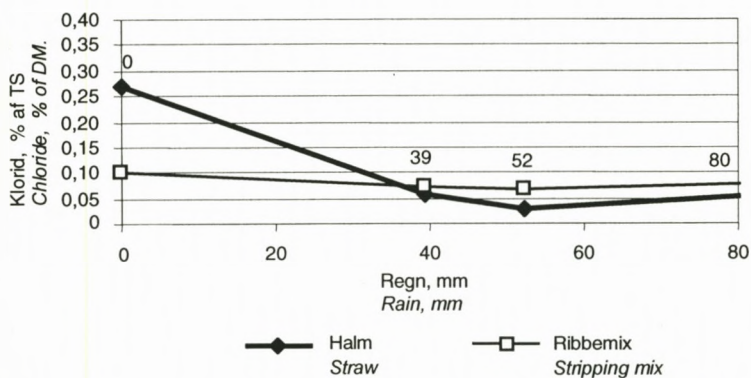
Tabel 13. Kloridindhold i ribbemiks, Led I. Chloride content of stripping mix, Plot I

Dato Date	Regn Rain mm	Klorid % af TS Chloride % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	0,1	6
04.09.96	39	0,071	6
18.09.96	52	0,065	6
03.10.96	80	0,075	6

Tabel 14. Kloridindhold i industrihalm. Led I. Chloride content of industrial straw, Plot I

Dato Date	Regn Rain mm	Klorid % af TS Chloride % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	0,27	6
04.09.96	39	0,06	3
18.09.96	52	0,03	6
03.10.96	80	0,05	6

Kloridindholdet i ribbemiks var relativt lavt, og det reduceredes kun lidt. I halmen forekom udvaskningen næsten fuldstændigt efter 39 mm regn.

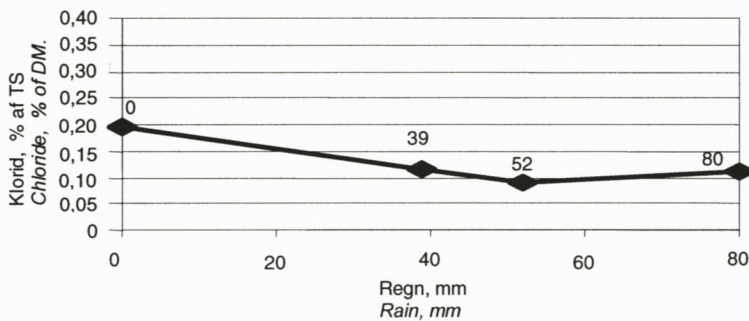


Figur 7. Kloridindhold i ribbemiks og halm af triticale med stigende regnmængde, Led I. Chloride content of triticale stripping mix and straw with increasing rainfall, Plot I

Kloridindholdet i helsæden fra Led II blev bestemt i den udelte og formalede prøve. Resultatet er vist i tabel 15 og figur 8, hvoraf det fremgår, at indholdet stort set er halveret efter 39 mm regn, hvorefter yderligere reduktion ikke sker.

Tabel 15. Kloridindhold i skårlagt helsæd. Led II. Chloride content of windrowed whole-crop, Plot II

Dato Date	Regn Rain mm	Klorid % af TS Chloride % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	0,20	3
04.09.96	39	0,12	4
18.09.96	52	0,09	6
03.10.96	80	0,11	6



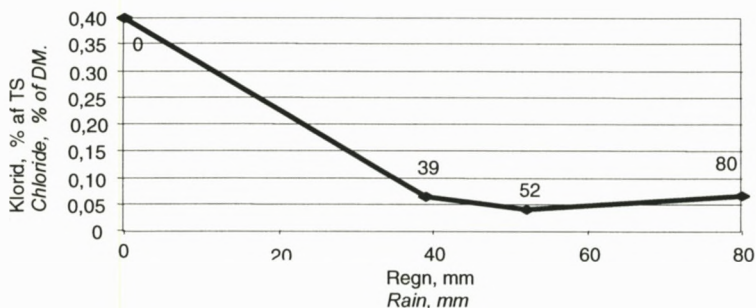
Figur 8. Kloridindhold i skårlagt helsæd af triticale med stigende regnmængde, Led II. Chloride content of windrowed triticale wholecrop with increasing rainfall, Plot II,

I Led III bjærgedes ribbemiksdelen på første forsøgsdag og var derfor ikke udsat for senere udvaskning. Indholdet af klorid var 0,10% af TS i gennemsnit af 8 prøver, svarende til indholdet i Led I på første høstdag.

Indholdet af klorid i industrihalmen efter udvaskning er vist i tabel 16 og figur 9, hvoraf ses, at indholdet reduceredes fra 0,40 til 0,06% af TS efter 39 mm regn, og der forekom ikke en yderligere reduktion med øget regnmængde.

Tabel 16. Kloridindhold i industrihalv. Led III. Chloride content of industrial straw, Plot III

Dato Date	Regn Rain mm	Klorid % af TS Chloride % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	0,40	3
04.09.96	39	0,06	3
18.09.96	52	0,04	6
03.10.96	80	0,07	6



Figur 9. Kloridindhold i stående halm af tritcale med stigende regnmængde, Led III.
Chloride content of standing triticale straw with increasing rainfall, Plot III

Askeindhold i afgrødefraktionerne

Afgrødens askeindhold målttes samtidig med de mineralske komponenter. Resultaterne er givet nedenfor for hvert led.

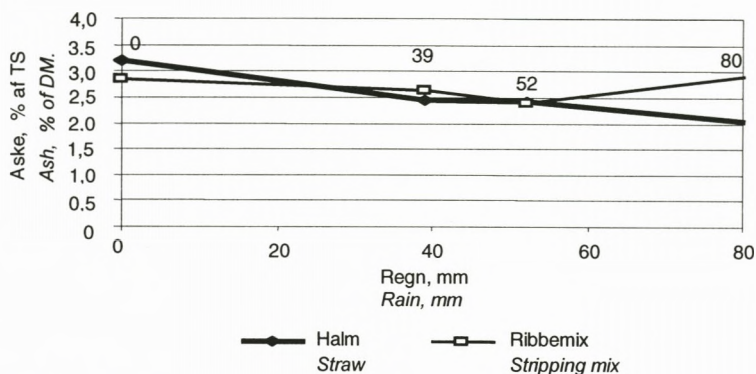
Tabel 17. Askeindhold i tritcale ribbemiks, Led I. Ash content of tritcale stripping mix, Plot I

Dato Date	Regn Rain mm	Aske, % af TS Ash % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	2,85	6
04.09.96	39	2,62	6
18.09.96	52	2,38	6
03.10.96	80	2,91	6

Tabel 18. Askeindhold i industrihalm tritcale, Led I. Ash content of industrial tritcale straw, Plot I

Dato Date	Regn Rain mm	Aske, % af TS Ash % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	3,19	6
04.09.96	39	2,45	3
18.09.96	52	2,42	6
03.10.96	80	2,04	6

Askeindholdet i ribbemiks var næsten uændret gennem forsøgsperioden, mens der udvaskedes ca. 36% af askeindholdet i industrihalmen.

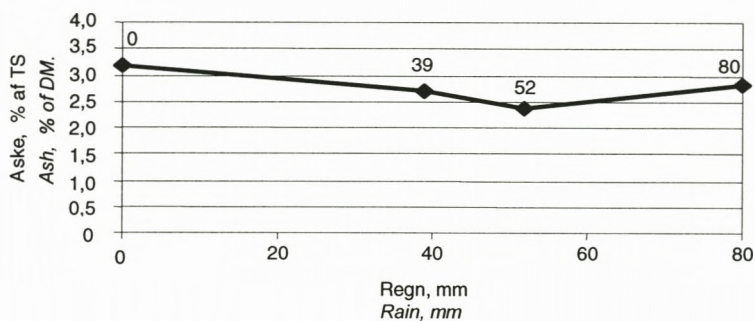


Figur 10. Askeindhold i ribbemiks og industrihalm af triticale med stigende regnmængde, Led I. Ash content of triticale stripping mix and industrial straw with increasing rainfall, Plot I

I tabel 19 er vist reduktionen af askeindholdet i skårlagt helsæd med stigende regnmængde.

Tabel 19. Askeindhold i skårlagt helsæd af triticale, Led II. Ash content of windrowed triticale wholecrop, Plot II

Dato Date	Regn Rain mm	Aske, % af TS Ash % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	3,19	3
04.09.96	39	2,68	4
18.09.96	52	2,36	6
03.10.96	80	2,8	6



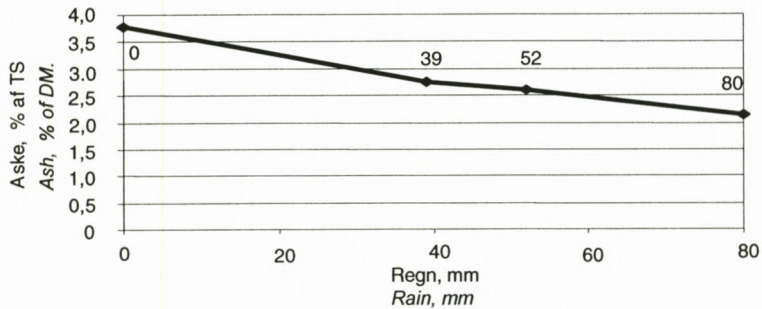
Figur 11. Askeindhold i skårlagt helsæd af triticale med stigende regnmængde, Led II. Ash content of windrowed triticale wholecrop with increasing rainfall, Plot II

Som tidligere nævnt, blev hele Led III afribbet på den første forsøgsdag. Det gennemsnitlige askeindhold i ribbemiksdelen var 2,62% af TS i gennemsnit af 8 bestemmelser.

Førløbet af udvaskningen af den stående industrihalm er vist i tabel 20 og figur 12.

Tabel 20. Askeindhold i stående industrihalm i, Led III. Ash content of standing industrial straw, Plot III

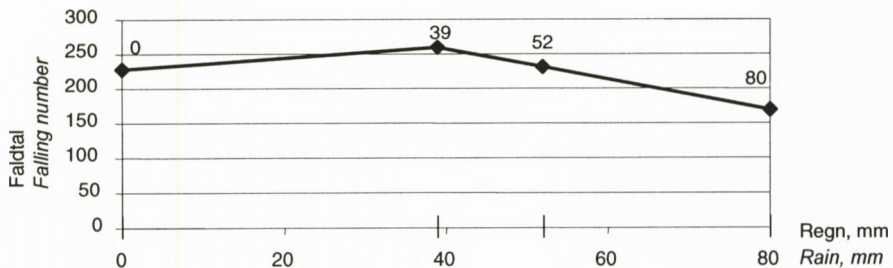
Dato Date	Regn Rain mm	Aske, % af TS Ash % of DM	Gentagelser Replications
12.08.96	0	3,79	3
04.09.96	39	2,74	3
18.09.96	52	2,60	6
03.10.96	80	2,13	6



Figur 12. Askeindhold i industrihalm med stigende regnmængde, Led III. Ash content of industrial straw with increasing rainfall, Plot III

Faldtal

En ribbemiksprøve fra hver høstdag i Led I blev rensat, hvorefter kernerne blev analyseret for faldtal. Faldtallet og dets ændring indikerer, om kernerne har påbegyndt spiring efter afmodning. Værdierne repræsenterer hver en enkelt prøve, hvorpå der er udført én dobbeltbestemmelse. Forløbet ses i figur 13, som viser, at der kun i den sidste del af perioden sker et fald som tegn på begyndende spiringsaktivitet.



Figur 13. Ændring i faldtal i tritcalekerner i løbet af høstperioden. Change of falling number of triticale seed during the harvest period

Analysér af bundvækst

Med stigende regnmængde i forsøgsperioden begyndte bundgrøden at udvikle sig, og fra midten af september kom noget af bundgrøden med i det afhøstede. Bundgrøden var frisk materiale i nyvækst, bestående af græsarter og fuglegræs m.m. Resultatet af en orienterende analyse for aske, kalium og klorid er vist i tabel 21.

Tabel 21. Analyse af fremspirende bundgrøde. Analysis of sprouting weed plants

Dato Date	Aske, % af TS Ash, % of DM	Klorid, % af TS Chloride, % of DM	Kalium, % af TS Potassium, % of DM
18.09.96	9,98	1,03	2,48

Indhold af tungmetaller

Fra Led I blev der udtaget en enkelt orienterende prøve af industrihalmen for hver forsøgsdag til analyse for indhold af cadmium (Cd) og bly (Pb). Resultaterne er samlet i tabel 22 sammen med analyseresultaterne for aske, kalium og klorid for den aktuelle prøve.

Tabel 22. Indholdet af aske og mineraler ved stigende udvaskning i enkeltprøver af industrihalm på de enkelte forsøgsgange, Led I. Content of ash and minerals at increasing leaching of single samples on industrial straw on the different test days, Plot I

Regn Rain mm	Aske, % af TS Ash % of DM	Kalium, % af TS Potassium % of DM	Klorid, % af TS Chloride % of DM	Cadmium, ppm af TS Cadmium ppm of DM	Bly, ppm af TS Lead ppm of DM
0	3,59	0,97	0,24	0,05	< detekteringsniveau < detection level
39	2,01	0,54	0,05	0,05	0,07
52	2,52	0,48	0,04	0,06	0,31
80	1,62	0,29	0,05	0,07	0,21

Statistisk resultattolkning

Ved hjælp af en 2-sidet variansanalyse er det undersøgt, hvorvidt prøvernes indhold af kalium, klorid eller aske ændrer sig som følge af behandlingen (høstmetoden), som følge af nedbøren eller som følge af begge dele. Den statistiske analyse var baseret på samtlige gentagelser og nogle få orienterende prøver, der blev høstet med håndkraft efter 24 mm regn fra forsøgets start.

Nedenfor kommenteres resultaterne af analysen. Resultaterne af den statistiske analyse angiver den vægt, hvormed der kan konkluderes ud fra værdierne i tabellerne 8-19.

Udgangsniveauerne er ikke statistisk forskellige for indhold af henholdsvis aske, kalium og klorid i de 3 led og i gentagelserne på forsøgsdag 1.

Behandlinger (ribbemiks industrihalm, helsæd)

Forsøgsdag 1

- Indholdet af kalium og klorid i henholdsvis ribbemiks, industrihalm og helsæd er signifikant forskelligt ($P < 0,001$). Endvidere er indholdet af aske i ribbemiks signifikant forskelligt fra askeindholdet i helsæd og i industrihalm ($P < 0,01$).

Forsøgsdag 2

- Inden for hvert af de 3 led er de afhøstede led statistisk set ens med hensyn til indhold af henholdsvis kalium, klorid og aske.
- Indholdet af klorid i ribbemiks og industrihalm er signifikant forskelligt fra indholdet af klorid i helsæd ($P < 0,001$).
- Indholdet af kalium og aske i de enkelte led eller efter høstmetode udviser ikke signifikante forskelle.

Forsøgsdag 3

- Indholdet af klorid i ribbemiks, industrihalm og helsæd er signifikant forskelligt ($P < 0,001$).
- Indholdet af kalium i ribbemiks og i industrihalm er signifikant forskelligt fra indholdet i helsæd ($P < 0,01$).

Forsøgsdag 4

- Indholdet af aske i industrihalm er signifikant lavest ($P < 0,001$).
- Indholdet af klorid er signifikant mindre i ribbemiks og industrihalm end i helsæd ($P < 0,01$), mens indholdet af kalium i ribbemiks, industrihalm og helsæd er indbyrdes forskelligt ($P < 0,001$). Kaliumindholdet er lavest i industrihalm, derpå stigende i ribbemiks og højest i helsæd.

Nedbørens indflydelse på de enkelte behandlinger

Ribbemiks fra Led I og III

- Nedbørens indflydelse på kalium- og kloridindholdet i såvel ribbemiks som industrihalm er signifikant ($P < 0,001$), dvs. at indholdet er sikkert faldende med stigende mængde regn.
- Nedbørens indflydelse på askeindholdet i ribbemiks er mindre end for kalium og klorid ($P < 0,05$), hvilket betyder, at nogle af askens bestanddele i ribbemiks er fastere bundet end kalium og klorid.
- Industrihalmens askeindhold påvirkes signifikant af nedbørsmængden ($P < 0,001$). Dette betyder, at udvaskningen for nogle af de letopløselige komponenter er hurtig og relativt fuldstændig, mens andre askebestanddele bliver tilbage, hvilket fremgår af det målte slutniveau.
- Industrihalmen udviser således signifikant afhængighed af led for alle parametre med de højeste værdier i Led III. Dette kan skyldes, at indholdet af den grønne bundafgrøde var størst i det åbne Led III, hvor halmen stod tilbage efter afribning på første forsøgssdag.

Helsød, Led II

- Nedbørens indvirkning på såvel kalium- som kloridindholdet er signifikant ($P < 0,01$), hvilket viser, at der foregår en tydelig udvaskning med stigende regnmængde.
- Nedbørens indvirkning på askeindholdet er ikke signifikant, hvilket bevirker, at den totale askemængde i skårlagt helsød ikke påvirkes nævneværdigt.

Diskussion

Forsøgene er udført under praktiske forhold på en mark i almindelig omdrift. Markvariationernes indvirkning på udbyttmålinger mv. udgør en del af forsøgsusikkerheden og usikkerheden ved prøveudtagning og analyse.

Prøverne til tørstofbestemmelse er udtaget af den opsamlede, repræsentative ribbemiksprøve og repræsenterer hele den vejede mængde. Prøver til tørstofbestemmelse af halm og helsæd er søgt udtaget repræsentativt af skårene før presning og vejning. Alle prøver til tørstofbestemmelse er tillukket straks og analyseret hurtigst muligt. Gennemgående var der kun mindre variation mellem tørstofbestemmelserne fra gentagelserne på de enkelte forsøgsgage.

Biomasseudbytte og vejninger

Den samlede vægt af traktor og presser var ca. 18 t, mens mængden af industrihalm pr. skår undertiden kun var omkring 120 kg. Disse forhold antyder, at der kan opstå problemer ved den anvendte differensvejning.

På forsøgsgdag 1 blev alle vejetal for gentagelserne for såvel Led I som Led III kombineret til én værdi. Derfor er det ikke muligt at angive noget niveau for variationen af de registrerede værdier, og disse er kun registreret som én gentagelse.

Af hensyn til vejesikkerheden vejedes flere skår sammen. Dette var specielt nødvendigt for Led III, idet ribbehøsteren her nedkørte en ret stor del af den stående stråmængde (se nedenfor). En fordobling af den opsamlede mængde for hver vejning reducerede standardafvigelsen betydeligt, hvilket skal holdes in mente ved bedømmelse af resultaterne (se tabel 8).

I hele Led I og Led III udgjorde hjulspor i den uskårlagte halm 8-10% af forsøgsledene på den første forsøgsgdag. I den øvrige del af forsøgsperioden blev arealet af hjulspor i Led III 25-30% af det høstede areal, fordi både ribbehøsterens og traktorens hjul kørte i den ikke-skårlagte afgrøde. Ved skårlægningen var det kun muligt at få en del af det nedkørte halm skåret af og opsamlet, fordi det lå for tæt på jorden.

Hovedsigtet med projektet var at undersøge mulighederne for at udvaske strået for mineralstoffer ved hjælp af regn. Det var naturligvis også af interesse at få belyst vejrligets indflydelse på størrelsen af materialets mængdesvind efter modenhed.

Udvaskningen af kalium og klorid forårsages udelukkende af regnmængden i høstperioden. Forsøgsperioden blev forholdsvis tør, hvilket medførte en lang pause fra den 12. august til den 4. september, dels fordi en regnmængde på ca. 30 mm regn skulle nås, og dels fordi afgrøden igen skulle være tilstrækkelig tør til afhøstning. I relation til forsøgets sigte og på grund af den ugunstig tørre periode, blev målsætningen om at udføre høst på 6 forskellige tidspunkter urealistisk. Derfor blev forsøgsperioden afkortet, så de to senest registrerede høstdage omfattede

hver ca. 1/3 af de respektive forsøgsled. Der blev således opnået registreringer på 4 stadier af udvaskning, hvor alle prøver til kvalitetsbestemmelse er repræsenteret ved 3 eller flere gentagelser.

Kapaciteter

Projektet havde som delmål at angive maskinkapaciteter samt bjærgningsomkostninger. Under forsøget foregik kørselsretningen på tværs af markens normale agerretning for at reducere markvariationerne. På grund af markens ujævnheder i almindelighed og plejesporene i særdeleshed var det ikke muligt at få maskinernes optimale kapacitet belyst tilfredsstillende, idet der måtte køres med moderat hastighed for at skåne materiellet.

Lagerfasthed

Generelt gennemførtes forsøgene, når der havde været et par dages tørvejr efter regn. Det var muligt at høste al afgrøde lagerfast på de tre første høstdage, altså indtil midt i september.

På den fjerde høstdag den 3. oktober, kunne den stående halm fra Led I og Led III bjærges med et vandindhold lavere end 16%, mens hverken den skårlagte helsæd eller ribbemiksdelen kunne lægges direkte på lager. Den stående industrihalm var således selv efter lang tids udvaskning mere bjærgningssikker end halm eller afgrøde, der var lagt på skår.

Brændelseskvalitet

Både klorid, kalium og aske er til stede i en sund kornafgrøde, men stofferne er samtidig uønskede i brændelet. Her er klorid det største problem, når biomassen skal anvendes i kraftværker. Grunden hertil er, at selv små mængder af klorid er årsag til korrosion i kraftvarmeværkernes overhedere.

I praksis vil en kornafgrøde altid indeholde klorid, der i vækstsæsonen er optaget fra atmosfæren, fra udbragt gylle samt fra visse kaligødninger. Klorid optages som mod-ion til kalium og vil derfor udvise en høj optagelseskoefficient i løbet af vækstsæsonen. Hovedmængden af klorid indeholdes i strået.

Af forsøgsresultaterne fremgår endvidere, at høstmetoden (helsædshøst eller ribbehøst-skårlægning) påvirker mineralindholdet, og dermed forbrændingsegenskaberne, for det afhøstede materiale. Ribbehøsterens fraktioner har forskelligt indhold af de mineralske komponenter. Ribbemiksen har et lavt indhold af klorid (ca. 0,1%), og indholdet ændres kun lidt fra modenhed og hen gennem udvaskningsperioden. Ribbemiksen udgjorde omkring 70% af den samlede mængde tørstof i afgrøden, som kunne høstes tør som et lagerfast og håndterbart brændsel. Umiddelbart virker det som en god mulighed at bjærge ribbemiksen relativt tidligt i udvaskningsforløbet, med efterfølgende lagring som et biobrændsel af god kvalitet.

Industrihalmens indhold af klorid var 0,3-0,4% i begyndelsen af forsøgsperioden, men faldt efter en regnmængde på ca. 40 mm til ca. 0,05%. Selv ved denne begrænsede regnmængde

var udvaskningen næsten fuldstændig, mens de sidste 14 mm regn kun gav en begrænset merreduktion. Et indhold på 0,03-0,04% klorid er særdeles tilfredsstillende, når biomassen skal anvendes som brændsel, og især når halmen efter udvaskningen er bjergbar og lagerfast. Udvasningen af den stående halm er relativt upåvirket af, om strået bærer aks eller ej. I løbet af forsøgsperioden kunne der dog observeres en større tilbøjelighed til, at afgrøden væltede på grund af aksenes vægt.

Udvaskningen af klorid fra den skårlagte helsæd tog længere tid end udvaskningen af det ribbehøstede materiale, men indholdet reduceredes dog fra 0,2% til 0,1% efter 52 mm regn.

På de fleste danske jorde vil planterne være rigeligt forsynet med kalium, og stråets kaliumindhold ved modenhed vil være 1-2% af tørstoffet. Kalium er ligesom klorid uønsket i halm til brændsel af flere grunde. I kraftvarmeverker medvirker kalium ved ren biomassefyring til belægningsdannelse og nedsætter askens smeltepunkt. Ved samfyring med kul forringer kalium flyveaskens kvalitet til cementproduktion.

I varmeverker og gårdfyr er kalium og klorid af væsentlig betydning for partikelemissionen fra fyrene, idet kaliumklorid sublimerer (overgår direkte fra fast form til gasform) under forbrændingen, for senere at blive fortættet som partikler i røgen. Også ved disse mindre kedler nedsætter kalium askens smeltepunkt og fremmer belægningsdannelse.

Ribbemiksdelen i tritcale indeholdt omkring 0,6% kalium. Indholdet ændrede sig kun lidt i løbet af forsøget. I Led I viste ribbemiks et slutindhold på 0,44% kalium. Udvasningen fra stående strå og industrihalm forekom i hele forsøgsperioden, og efter 80 mm regn indeholdt strået 0,3% af tørstoffet som kalium. Dette svarer til omkring 25-30% af udgangsniveauet. Den andel, det er muligt at udvaske med regn blev da sandsynligvis omtrent opnået, idet kaliumindholdet for andre forsøg med skårlagt byg- og hvedehalm ikke kunne reduceres til mindre end 0,2% trods regnmængder mellem 100 og 225 mm (ELSAM/ELKRAFT, nov. 1994).

Det må anses for sandsynligt, at stående halm efter modtagelse af 100 mm regn vil kunne udvaskes til et kaliumindhold på ca. 0,2% og dermed bringe udvasket industrihalm fra korn i nærheden af kvalitetsniveauet for skovflis med hensyn til kaliumindhold.

Den skårlagte helsæd udvaskes kun langsomt for kalium fra udgangsniveauet 0,8%. Efter modtagelse af 40 mm regn stabiliseredes indholdet på 0,5-0,6%, hvilket er lidt højere end ribbemiksens kaliumindhold.

Brændslets indhold af aske ønskes så lavt, som muligt, af hensyn til den effektive brændværdi og mængden af restprodukter.

Hverken for helsæd eller for ribbemiks medførte udvaskningen noget markant fald i askeindholdet, tværtimod skete der en stigning i forsøgets sidste del, hvilket tilskrives øget tilsmuds-

ning af jordpartikler mv. Dette taler for, at ribbemiksdelen med fordel kan høstes ved modenhed, når den er lagerfast. Brændselskvaliteten forbedres ikke væsentligt ved yderligere udvaskning.

For industrihalm følges den kraftige udvaskning af kalium af et tilsvarende fald i askeindholdet til 50-60% af udgangsniveauet. Efter den anførte nedbørsmængde, faldt industrihalmens askeindhold til ca. 2%, hvilket er særdeles acceptabelt. Indholdet af tungmetaller formodes at bestå af ikke-flygtige bestanddele, mens de flygtige askebestanddele i hovedsagen er knyttet til kaliumindholdet. Det kan derfor forsigtigt anslås, at asken fra industrihalm efter udvaskning vil indeholde 2-3 ppm Cd og 10-15 ppm Pb.

I Tabel 23 ses brændselsprodukterne fra triticale, sammenlignet med typiske data for bio-brændslerne pil, elefantgræs og skovflis (B. Sander, Elsamprojekt A/S og SK-energi, 1995).

Tabel 23. Sammenligning af triticalefraktionerne efter ribbehøst og helsæd af triticale med andre biobrændsler. Triticale fractions after stripper harvesting and triticale wholecrop compared to other biofuels

	Industrihalm triticale efter 80 mm regn Industrial triticale straw after 80 mm rain	Ribbemiks triticale ved høst Triticale stripping mix at harvest	Skårlagt triticale helsæd efter 50 mm regn Windrowed triticale wholecrop after 50 mm rain	Energipil Energy willow	Elefant- græs Miscanthus	Træflis Wood chip
Klorid, % TS Chloride, % DM	0,04	0,1	0,1	< 0,03	0,03-0,26	> 0,01
Kalium, % TS Potassium, % DM	0,3	0,6	0,6	0,2-0,3	0,2-0,7	0,05-0,2
Aske, % TS Ash, % DM	2,1	2,9	2,4	1,2-1,5	1,5-2	0,3-4,0

Bjærgning af biomasse til brændsel med ribbehøstmetoden

Ved ribbehøst fraktioneres afgrøden i en kerneholdig del af god brændselskvalitet samt en strådel, som deler kvalitetsmål med mejetærsket halm, hvad angår indhold af aske, kalium og klorid. Så længe opretstående afgrøde eller strå er udsat for regn, vil indholdet af både aske, kalium og klorid reduceres, og som det fremgår af tabel 23, var industrihalmens kvalitet efter 80 mm regn på linie med energipil og skovflis, og industrihalm viste sig bjærgbar i lagerfast form efter få dages tørvejr, selv sent på året. Figur 14 og 15 viser ribbestubben fra Led III, og figur 16 viser de to brændselsprodukter, ribbemiks og udvasket industrihalm.



Figur 14. Ribbestub af tritcale efter delvis udvaskning. I forgrunden nyligt skårlagt afgrøde. Triticale stripping stubble after partial leaching. Recently windrowed crop is seen in the foreground. Photo: Torsten Reffstrup



Figur 15. Ribbestub af tritcale. Billedet illustrerer tydeligt ribbehøsterens virkning på planten, der er renset for top og de øverste faneblade. Stripped straw of tritcale. The effect of the stripper header on the plant from which the top and the upper leaves have been removed, is clearly illustrated. Photo: Torsten Reffstrup

Projektets resultater viser, at der ved ribbehøst kan opnås et attraktivt biobrændsel fra triticale, hvis ribbemiks bjærges efter modenhed inden afgrøden bliver spildsom eller gennemgros af bundgrøde. Industrihalmen kan henstå til udvaskning med i alt op til 100 mm regn, hvorefter den skårlægges og presses i baller. Disse særdeles fleksible krav til høsttidspunktet bidrager til belastningsudjævning på maskineri og mandskab i høsttiden og kan derved muligvis bidrage til reduktion af bjærtningsomkostningerne.

Den nævnte fremgangsmåde kunne tillige tænkes anvendt i konventionelle kornafgrøder, hvor foderfraktionens kerner og småhalm bjærges som ribbemiks ved modenhed i høj kvalitet, hvorefter strået står tilbage til udvaskning med regn. Strået vil da senere kunne bjærges efter udvaskning og indgå som biobrændsel, kvalitetsmæssigt på linie med energipil eller skovflis, men med et højere tørstofindhold. Denne mulighed vil kunne anvendes uden tidsmæssige problemer i den del af kornarealerne, hvor der efterfølgende etableres en vårafgrøde.



Figur 16. Udvaske industrihalm i storballer og ribbemiks som løsvare. To biobrændsler af god kvalitet med lavt indhold af kalium og klorid. Leached industrial straw in big bales and stripping mix in bulk. Two biofuels of good quality with a low content of chloride (and potassium). Photo: Torsten Reffstrup

Konklusion

- Ribbehøst opdeler afgrøden i to fraktioner:
 1. Ribbemiks (kerner, blade, avner og emter) har ved modenhed et lavt indhold af kalium, klorid og aske. Regn bevirker klart en udvaskning, men de absolutte indhold er små, så selv om udvaskningen er signifikant, har den kun en mindre praktisk betydning.
 2. Industrihalm (stående, ribbede strå) kan udvaskes effektivt for kalium og klorid ved hjælp af regn. Efter 80 mm regn var halmens indhold således reduceret til et niveau på linie med energipil og træflis.
- Ribbemiks udgjorde ca. 70% og industrihalm ca. 30% af den bjærgede mængde biomasse.
- Regn udvasker effektivt halmens indhold af kalium og klorid, og så længe afgrøden er stående, er udvaskningen lige effektiv, hvad enten stråene bærer kerne eller ej. I forsøgene udvaskede 80 mm regn halmen til et indhold af klorid, kalium og aske på niveau med energipil og skovflis.
- Efter udvaskning kunne den stående halm bjærges lagerfast så sent som den 3. oktober i forsøgsåret.
- Triticalekernerne viste først tegn på spiring i akset, efter at der var faldet over 50 mm regn.
- Skårlægning af afgrøden som helsæd og udvaskning liggende på skår gav kun en begrænset udvaskning af brændslets indhold af kalium og klorid, mens askeindholdet steg med tiden, sandsynligvis pga. forurening fra jorden. På forsøgsperiodens sidste høstdag kunne helsæden ikke bjærges lagerfast. Ud fra faldtallet vurderes det, at tritcalekernen har holdt sig fysiologisk i dvale under de første 50 mm regn. Af hensyn til brændselskvaliteten kan skårlægning ved helsædhøst af tritcale til energiafgrøder foregå, når den stående afgrøde har fået mere end 50 mm regn efter modenhed.
- *For at få størrelsen af den bjærgbare mængde biomasse bedre belyst, er en videreudvikling af høstsystemet påkrævet, så nedkørsel af den stående halm reduceres. Det er dog teknisk set vanskeligt at placere et skårlæggersystem foran ribbehøsterens bærende hjul, således at nedkørsel af strået undgås.*

Litteratur

ELSAM/ELKRAFT, november 1994. Undersøgelse af halms kemiske sammensætning med relation til forbrænding og forgasning.

Elsamprojekt A/S og SK-energi, marts 1995. Vurdering af energiafgrøder. Videnindsamling.

Kristensen, E.F., & Madsen, N.P., 1998. Høst med ribbebord af afgrøder med industrielt anvendelig halm. Opbygning af udstyr og driftstekniske målinger. DJF rapport – Markbrug, 5, 37 pp.

Madsen, N.P., 2000. Ribbehøst af korn og frøafgrøder i Danmark. DJF rapport – Markbrug, 21, 25 pp.

Nielsen, J.J. & Reffstrup, T., 1995. Ribbebord ved bjærgning af afgrøder med industrielt anvendelig halm. Bioteknologisk Institut. Rapport 95-4-2.

Sander, B., 1995. Elsamprojekt. Personlig meddelelse.

POSTB. BLAD 7401 HRC 50466
685
Danmarks JordbrugsForskning, Flakkebjerg

Flakkebjerg
Afd. for Plantebeskyttelse
4200 Slagelse

DJF Foulum

Postboks 50, 8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19

Direktion
Direktionssekretariat, Økonomisekretariat

Afdeling for Animalske Fødevarer
Afdeling for Husdyravl og Genetik
Afdeling for Husdyrnæring og Fysiologi
Afdeling for Husdyrsundhed og Velfærd
Afdeling for Jordbrugssystemer
Afdeling for Plantevækst og Jord

Afdeling for Markdrift
Afdeling for Stalddrift
Centrallaboratoriet
Informationsenhed
IT-funktion
Biblioteksfunktion
International Enhed

DJF Årslev

Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev
Tlf. 63 90 43 43. Fax 63 90 43 90

Afdeling for Prydplanter
Afdeling for Vegetabilske Fødevarer
Afdeling for Infrastruktur

DJF Flakkebjerg

Flakkebjerg, 4200 Slagelse
Tlf. 58 11 33 00. Fax 58 11 33 01

Afdeling for Plantebiologi
Afdeling for Plantebeskyttelse
Afdeling for Infrastruktur

DJF Bygholm

Shüttesvej 17, 8700 Horsens
Tlf. 76 29 60 00. Fax 76 29 61 00

Afdeling for Jordbrugsteknik
Driftsfunktion

Enheder på andre lokaliteter

Afdeling for Sortsafprøvning
Teglværksvej 10, Tystofte
4239 Skælskør
Tlf. 58 16 06 00. Fax 58 16 06 06

Askov Forsøgsstation
Vejenvej 55, 6600 Vejen
Tlf. 75 36 02 77. Fax 75 36 62 77

Bioteknologigruppen
(Afd. f. Plantebiologi)
Thorvaldsensvej 40, 1.
1871 Frederiksberg C
Tlf. 35 28 25 88. Fax 35 28 25 89

Borris Forsøgsstation
Vestergade 46, 6900 Skjern
Tlf. 97 36 62 33. Fax 97 36 65 43

Den Økologiske Forsøgsstation
Rugballegård
Postboks 536, 8700 Horsens
Tlf. 75 60 22 11. Fax 75 62 48 80

Foulumgård, Postboks 50
8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19

Jyndeved Forsøgsstation
Flensborgvej 22, 6360 Tinglev
Tlf. 74 64 83 16. Fax 74 64 84 89

Rønhave Forsøgsstation
Hestehave 20, 6400 Sønderborg
Tlf. 74 42 38 97. Fax 74 42 38 94

Silstrup Forsøgsstation
Højmarken 12, 7700 Thisted
Tlf. 97 92 15 88. Fax 97 91 16 96

Tylstrup Forsøgsstation
Forsøgsvej 30, 9382 Tylstrup
Tlf. 98 26 13 99. Fax 98 26 02 11