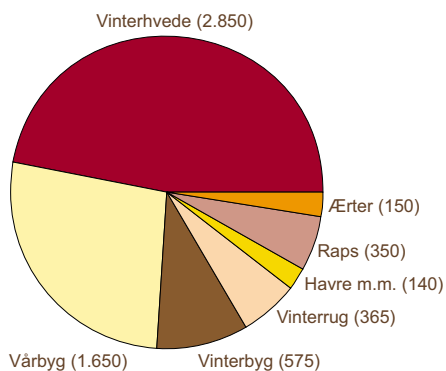


## 2. Halm som energiresource

Halm er et biprodukt, der fremkommer ved dyrkning af salgsafgrøder, hovedsageligt korn. Halm fra raps og andre frøafgrøder indgår også i den samlede produktion. Landbrugets valg af afgrøder - og dermed også halmproduktionens størrelse - afhænger i første række af de landbrugsfaglige, dyrkningsmæssige og økonomiske forhold, der påvirker disponeringen af det samlede landbrugsareal.



Figur 3: Halmhøst i 1996. Af de i alt ca. 6 mio. tons bjærgbar halm udgør hvede og byg over 80% /ref. 30/. Tal i 1.000 tons.

Den årlige halmproduktion er påvirket af de rammer, der fastsættes gennem landbrugspolitikken inden for EU, herunder udviklingen i kornpriser, braklægning o.s.v. Halmens kvalitet og den mængde, der kan bjærges, påvirkes desuden af vejrliget under vækst og bjærning.

I 1996 udgjorde kornarealet i Danmark 1,55 mio. hektar /ref. 25/. Kornudbyttet var på 9,17 mio. tons kerne, og halmmængden udgjorde 6 mio. tons. Halmproduktionen i et år med gennemsnitshøst anslås til 6,3 mio. tons, men kan variere op til 30 procent som følge af de klimatiske betingelser i vækst- og bjæringsperioden.

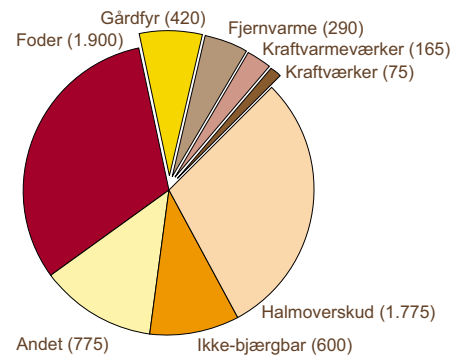
### Halmens anvendelse

Af den samlede halmproduktion anvendes kun en mindre del til energiformål. En stor del indgår i landbrugets egen produktion som foder og

strøelse. Der bruges også en betragtelig mængde halm til opvarmning, korntørring m.m. i landbruget. Dernæst afsættes en kontraktligt aftalt mængde til energiproduktion i fjernvarmeværker og kraftværker. Den halm, der er tilbage, når disse anvendelser er tilgodeset, bliver for størstedelsens vedkommende snittet og nedmuldet og nyttiggøres derved til jordforbedring. Heri ligger således et halmoverskud, der - med de årlige vejrafhængige variationer - udgør en potentiel brændselsreserve.

Af en samlet halmhøst på 6 mio. tons anvendtes i 1996 ca. 15% til energiformål. I 1997-98 forventes forbruget af halm på kraftværker og kraftvarmeværker at stige til ca. 400.000 tons.

På baggrund af Biomasseaftalen af 14. juni 1993 gennemførte ELSAM og ELKRAFT i 1994 i samarbejde med De danske Landboforeninger, specialister fra relevante forskningsinstitutter samt Energistyrelsen en undersøgelse af de eksisterende og fremtidige halmmængder /ref. 6/. Formålet hermed var at tilvejebringe et samlet grundlag for en vurdering



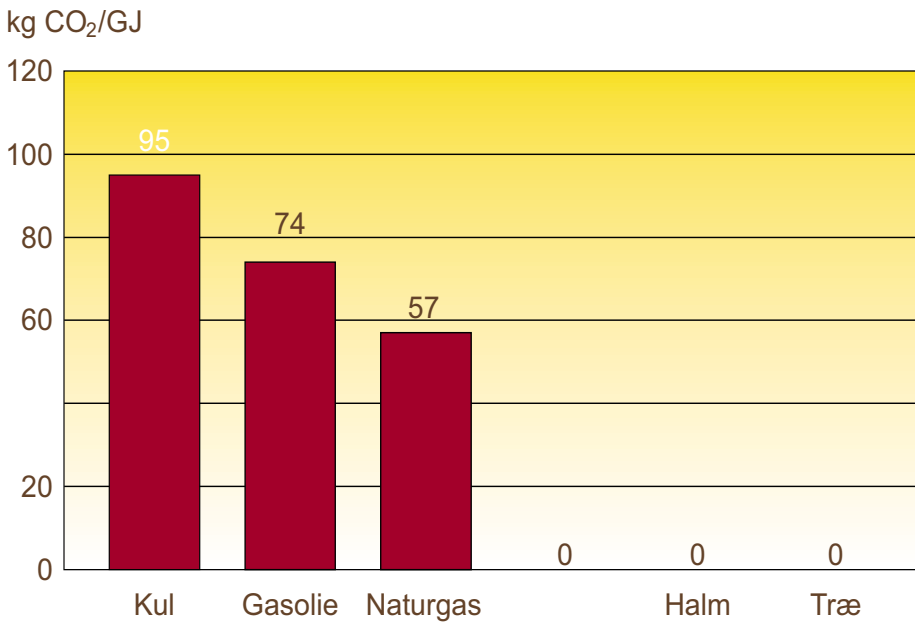
Figur 4: Af en samlet halmhøst på 6 mio. tons anvendtes i 1996 ca. 15% til energiformål /ref. 25 og 29/. "Andet" er strøelse, kuler m.v. Tal i 1.000 tons.

af, hvilke mængder, der i fremtiden vil være til rådighed for en udbygning af den halmbaserede el- og varme produktion i Danmark. I denne undersøgelse opereres med tre forskellige scenarier, hvori der indgår en række mulige udviklinger i det teoretisk tilgængelige, bjærgbare overskud af halm som følge af omlægning af landbrugets produktion, større kvæghold, ændring af miljø- og landbrugspolitiske forhold m.m. Un-



Halm er et affaldsprodukt fra kornproduktion. På billedet har mejetærskerens halmsnitter snittet halmen, så den kan nedmuldes. Arealet bag mejetærskeren er lagt brak.

foto: biopress/forben skott



Figur 5: Emissionstal for brændsler. Ved afbrænding af kul frigives f.eks. 95 kg. CO<sub>2</sub> pr. GJ kul, mens biobrændslerne er CO<sub>2</sub>-neutrale. CO<sub>2</sub>-værdierne er gennemsnitstal for de nævnte brændselstyper /ref. 58/.

dersøgelsen konkluderer, at der teoretisk set vil være tilstrækkeligt store halmmængder til rådighed. Dog kan der i særligt dårlige høstår opstå mangelsituationer.

### Halmmarkedet

Handelen med halm til energiformål mellem producenter og energisektoren er i hovedsagen fastlagt ved flerårige leveringskontrakter, der indgår mellem den enkelte halmproducent eller en halmleverandørforening og en aftager.

Aftagerne er halmfyrede fjernvarmeverker og kraftvarmeverker, der ved at indgå længerevarende kontrakter om levering af halm sikrer sig, at de selv kan opfylde deres forsyningspligt overfor varmeforbrugerne. Ikke al halm handles dog på kontrakt. Ved at indkøbe halm på spotmarkedet, f.eks. ved maskinstationer og andre mellemhandlere, kan værkerne ofte opnå en prisfordel på en del af deres årlige halmforbrug.

Halmkontrakten kan bl.a. omhandle følgende forhold:

- Kontraktens gyldighedsperiode og opsigelsesvarsel
- Den aftalte halmmængde, herunder forholdsregler ved mindre/større forbrug af halm, manglende leve-

ring p.g.a. formindsket høstudbytte m.v.

- Leveringsbetingelser, herunder balleteype, ballernes mål og vægt, vandindhold og øvrige kvalitetsbemmelser
- Basispris og prisregulering i forhold til vandindhold og leveringstidspunkt
- Bestemmelser vedrørende regulering af basispris
- Voldgiftsbestemmelser

### Halmnedmuldning

Jorder, der har været dyrket i mange år, har et lavere kulstofindhold end udyrkede jorder. Ved opdyrking sker der således en kulstoffjernelse fra jorden i form af et CO<sub>2</sub>-udslip til atmosfæren. Kulstofindholdet er af betydning for jordens frugtbarhed, og en opretholdelse af denne frugtbarhed kræver, at den dyrkede jord løbende tilføres planterester eller andet organisk stof. Man kender dog ikke optimale eller kritiske grænser for jordens kulstofindhold. Forsøg på Askov Forsøgsstation siden 1920 har bl.a. vist, at der sker et fald i kulstofindholdet i jorden, uanset om man gøder med handelsgødning (NPK) eller husdyrgødning.

Halmnedmuldning kan ligesom gylle, slam og øvrige afgrøderester være med til at øge kulstofindholdet i den dyrkede jord på længere sigt, ligesom græs-efterafgrøde for korn har vist sig at have samme virkning. Gevinsten ved at fjerne halm fra marken til energiformål ligger i, at den erstatter fossilt brændsel. Det meste af kulstoffet i den nedmuldede halm frigives hurtigt som CO<sub>2</sub>, og der tilføres samlet mindre CO<sub>2</sub> til atmosfæren, hvis halm fjernes med det formål at erstatte fossilt brændsel.

	Enhed	Gul halm	Grå halm	Træflis	Kul	N-gas
Vandindhold	%	10-20	10-20	40	12	0
Flygtige bestanddele	%	> 70	> 70	> 70	25	100
Aske	%	4	3	0,6-1,5	12	0
Kulstof	%	42	43	50	59	75
Brint	%	5	5,2	6	3,5	24
Ilt	%	37	38	43	7,3	0,9
Klorid	%	0,75	0,2	0,02	0,08	-
Kvælstof	%	0,35	0,41	0,3	1	0,9
Svovl	%	0,16	0,13	0,05	0,8	0
Brændværdi, vand og askefri	MJ/kg	18,2	18,7	19,4	32	48
Brændværdi, effektiv	MJ/kg	14,4	15	10,4	25	48
Askens blødgøringstemperatur	°C	800 - 1000	950 - 1100	1000 - 1400	1100 - 1400	

Tabel 1: Brændselsdata ved typisk forekommende vandindhold /ref. 11 og 32/. /ref. 33/ er der lavet udvaskningsforsøg med byghalm, hvor der efter 150 mm regn var sket et fald i kloridindholdet fra 0,49% til under 0,05% og for kalium fra 1,18% til 0,22%. Samtidig var halmen blevet grå. Halm kan godt blive grå (svampekolonier) af nattedug og varmt vejr uden at der sker en udvaskning.

## Halm som brændsel

Det vigtigste argument for at benytte halm til energiformål er, at dette brændsel er CO<sub>2</sub>-neutralt og derfor ikke bidrager til forøgelse af atmosfærens CO<sub>2</sub>-indhold og dermed forstærke drivhuseffekten.

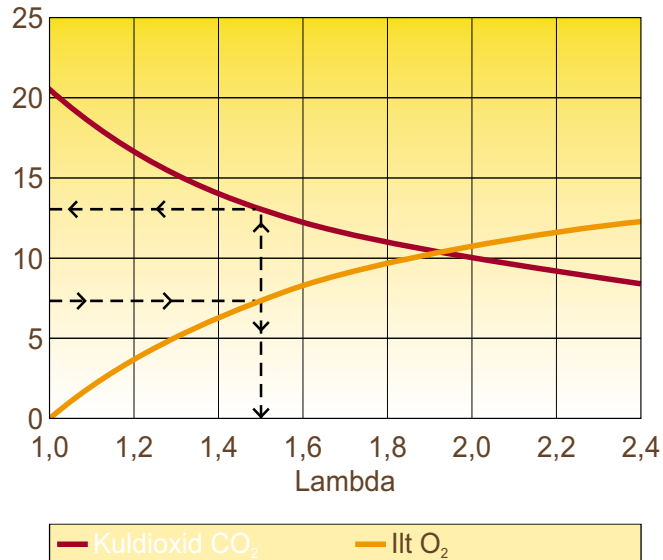
Halm, der anvendes som brændsel, indeholder normalt 14-20% vand, der fordamper under forbrændingen. Det tørstof, der er tilbage, består af knap 50% kulstof, 6% brint, 42% ilt samt små mængder kvælstof, svovl, silicium og andre mineraler, bl.a. alkali (natrium og kalium) og klorid. Forbrændingen sker i 4 faser. Først fordamper det frie vand. Derefter sker der en pyrolyse (forgasning), hvor der dannes brændbare gasser afhængig af temperaturen. Der vil altid være et vist indhold af kulilte (CO), brint (H<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) og andre kulbrinter. Den tredje fase er gasforbrændingen. Hvis der tilføres tilstrækkeligt ilt, sker der en fuldstændig forbrænding, hvor restproduktet er kuldioxid (CO<sub>2</sub>) og vand. Er ilttilførslen utilstrækkelig, dannes der kulilte, sod (rent kulstof), tjære og uforbrændte kulbrinter. I den fjerde fase forbrænder koksresten. Ved en fuldstændig forbrænding dannes kuldioxid. Ved reduceret ilttilførsel dannes kulilte. Til slut er der kun aske, der består af ikke-brændbare uorganiske produkter. Ved mangelfuld forbrænding kan asken tillige indeholde uforbrændte halmrester.

Den luft, der tilføres ud over den teoretisk nødvendige forbrændingsluft, kaldes luftoverskud. Et vist overskud af luft er nødvendigt for at sikre tilstrækkelig luft overalt, hvor gasserne skal brænde selv om gas/luftblandingen aldrig er helt ensartet. Forholdet mellem tilført luft og teoretisk nødvendig luft kaldes for luftoverskudstallet (lambda).

$$= \frac{\text{tilført luft}}{\text{nødvendig luft}}$$

Gennem kedelvæg og røgrør afgives størstedelen af forbrændingsvarmen til kedelvandet, mens resten forsvinder gennem skorstenen som en blanding af kuldioxid, vanddamp og små mængder af kulilte og andre

Procent i tør røggas



Figur 6: Halmforbrænding foregår bedst med et luftoverskudstal på mellem 1,4 og 1,6. Som eksempel måles der 7,5% ilt i røggassen. Kurven viser at der er ca. 13% kuldioxid og luftoverskuddet er 1,5.

gasarter, bl.a. tjære- og klorforbindelser. Røgen indeholder desuden små partikler af aske og alkalisalte.

Tilstedeværelsen af klor og alkali i røggassen udgør et problem, idet disse stoffer reagerer til natriumklorid og kaliumklorid, der er stærkt aggressive overfor stålet i kedler og rør, særligt ved høje temperaturer.

Asken er ikke problemfri, idet dens blødgøringsstemperatur ligger ret lavt i forhold til andre brændsler, startende ved 800-850°C. Det har endog vist sig, at asken allerede kan blive klæbrig ved 600 °C /ref. 31/.

Det har især betydning på kraftværker, hvor man, for at opnå en høj virkningsgrad, ønsker en høj damp-temperatur. Det kræver en høj overhedertemperatur, hvorved man risikerer omfattende belægnings på overhederrørerne.

Hvor man anvender en kombination af halm og kul som brændsel, betyder tilstedeværelsen af alkalisk materiale i asken, at denne - i modsætning til ren kulaske - ikke kan anvendes som fyldstof i byggematerialer, men må deponeres på kontrolleret losseplads.



Halmpiller med en diameter på 10 mm iblandet melasse og kaolin, samt det tilhørende askeindhold på 8-10%. Kaolin forhindrer at asken brænder sammen til slaggeklumper. Melasse gør pillerne transportstabile.



## Halmpiller

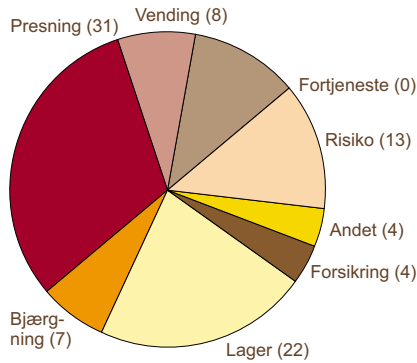
Der er foretaget forsøg med at bruge halmpiller, d.v.s. formalet halm, der er presset til piller med en diameter på 8 eller 10 mm /ref. 13/. Forsøgene viste, at halmpiller kan anvendes som brændsel i større kedler, mens aske- og især slaggeproblemer gør halmpiller mindre egnede til brug i små kedelanlæg. Halmpiller kan presses med melasse som binde-middel og iblandes et antislagge mid-del, f.eks. kaolin, for at gøre dem transportstabile og for at modvirke tendensen til, at asken bliver klæbrig og smelter sammen til slagge. Piller-nens brændværdi er ca. 16,3 MJ/kg ved 8% vand, og rumvægten er ca. 4 gange større end for halm presset i storballer, d.v.s. ca. 550 kg/m<sup>3</sup>.

## Vaskning af halm

Det har længe været kendt, at halm, der har ligget på marken og er blevet udsat for regn, har et lavere indhold af de aggressive stoffer klor og kalium. I modsætning til "gul" halm er denne "grå" halm mere skånsom overfor kedlen, idet en del af de stof-fer, der korroderer kedelvæg og rør, er fjernet. Grå halm har også en lidt højere brændværdi end gul halm.

For at nedsætte halmens korro-sive virkninger på kedelanlægget iværksatte det jysk-fynske elsamar-bejde ELSAM i foråret 1996 forsøg med fjerne de uønskede komponenter ved at koge halmen ved 160 °C. Senere har man fundet, at klor og kalium også kan udvaskes ved lave-re temperaturer. I dag regner man med, at det er mest økonomisk at vaskе halmen ved 50-60 °C. Foreløbig er halmvasken kun afprøvet på små anlæg. Et anlæg, der kan behandle 125-150.000 tons halm årligt, vil iføl-ge ELSAM antageligt koste omkring 200 mio. kr. /ref. 26/.

Energิตabene ved vask, tørring og udvaskning af organisk stof udgør ca. 8% af halmens brændværdi. Denne omkostning opvejes imidlertid af, at kedlernes levetid forlænges, fordi man undgår korrosionsproble-mer. Vaskning af halm forventes des-



Figur 7: I april 1997 opgjorde Lands-kontoret for Bygninger og Maskiner produktionsprisen for halm til energi-formål til 466 kr. pr. tons. Hertil kom-mer transportomkostninger til værk /ref. 27/. Tal i %.

uden at give fordele med hensyn til den efterfølgende anvendelse af fly-veasken, idet halmaske, der ikke in-deholder alkalisalte og andre uren-heder, kan anvendes som fyldstof i byggematerialer.

## Halmprisen

Handelsprisen for halm til energifor-mål er til stadighed genstand for in-tense forhandlinger mellem leveran-dører og aftagere. Gennem de sidste år, hvor efterspørgslen fra de store el-producenters side har været støt stigende som følge af Biomasseafta-len, har markedet været præget af et vist pristryk. Halmprisen er således ikke kun et udtryk for produktionsom-kostninger og avance, men også et led i parternes strategi omkring opfyl-delse af Biomasseaftalen. Derfor ser man prisudsving fra 360 til ca. 500 kr. pr. ton på markedet. I 1997 var prisspændet mellem halmproducen-ter og kraftværkernes indkøbere på godt 80 kr. pr. ton, nemlig hhv. 466 kr. og 380 kr. Halmlicitationer gen-nemført på fjernvarmeværker øst for Storebælt i 1997 og 1998 gav et lici-tationsresultat på 350-400 kr./ton le-veret på værket. Vest for Storebælt er halmprisen i de senest indgåede halmkontrakter på 320-370 kr./ton, ligeledes leveret på værket.

I producentens halmpris indgår, foruden forrentning og afskrivning på

de maskiner, der anvendes i forbin-delse med halmbjærgning, en række andre elementer, f.eks. arbejds-løn og brændstofomkostninger ved ven-ding, presning og bjærgning samt la-geromkostninger og transport til var-meværk. Dertil kommer en mistet gødningsværdi, forsikringer samt dækning for producentens risiko, f.eks. ved svind på grund af dårlige vejforhold i høstperioden og svind ved lagring.

En betegnelse, der nu og da an-vendes, er den "samfundsøkonomi-ske halmpris". Det er en pris, der er renset for skatter og afgifter, så den afspejler de reelle fremstillingsom-kostninger. Den samfundsøkonomi-ske pris bruges f.eks. ved sammen-ligning af priser på forskellige inden-landske og importerede brændsler, og er i højere grad et planlægnings-værktøj end en prisberegning til brug i den daglige handel. Denne pris fastsættes af Energistyrelsen /ref. 58/ og er 240 kr./ton leveret på vær-ket. Heraf er 43 kr./tons transportom-kostninger og 197 kr./ton øvrige fremstillingsomkostninger.

## Transportenergi

Det store antal lastbiltransporter med halm til værkerne eller transporter over lange afstande emitterer selvføl-gelig CO<sub>2</sub> til atmosfæren fra bilernes motorer.

En lastvogn kører 2-3 kilometer på en liter dieselolie, der har et ud-slip på 2,7 kg CO<sub>2</sub>. Derfor kan CO<sub>2</sub>-udslippet sættes til omtrent 1 kg pr. kørt kilometer. Et læs halm med en brændværdi på 14,5 GJ/ton vejer 11-12 tons og repræsenterer en energi-mængde på ca. 170 GJ. Da CO<sub>2</sub>-emissionen fra kul er ca. 100 kg/GJ, modsvarer halmen altså et udslip af CO<sub>2</sub> på ca. 17 tons såfremt der blev brændt kul af i stedet for halm.

Det betyder, at lastvognen skal køre 17.000 km med et læs halm for at udsende samme mængde CO<sub>2</sub>, som man sparer ved at benytte hal-men som brændsel i stedet for kul. Det kan også udtrykkes ved at sige, at CO<sub>2</sub>-besparelsen reduceres med ca. 0,6% pr. 100 km transportvej.