

2007



Bioenergi til el og varme

- erfaringer med biomassefyrede kraftvarmeværker i Danmark

Indholdsfortegnelse

Del 1 – Biomasse til kraftvarme

1. Dansk energipolitik gennem 30 år	4
2. Biomasseressourcer	8
3. Håndtering af biobrændsler	15
4. Biomasse som brændsel	22
5. Kraftværksteknologier	24
6. Emissioner og restprodukter	30
7. Arbejds miljø	32
8. Videnscentre og forskningsmiljøer	34
9. Alternativ udnyttelse af biomasse	39

Del 2 – Beskrivelse af værkerne

10. Køge Kraftvarmeværk	42
11. Haslev Kraftvarmeværk	44
12. Rudkøbing Kraftvarmeværk	46
13. Slagelse Kraftvarmeværk	48
14. Grenaa Kraftvarmeværk	50
15. Måbjergværket	52
16. Masnedø Kraftvarmeværk	54
17. Enstedværket	56
18. Assens Kraftvarmeværk	58
19. Maribo Saksøbing Kraftvarmeværk	60
20. Avedøreværket	62
21. Randers Kraftvarmeværk	64
22. Herningværket	66
23. Amagerværket	68
24. Studstrupværket	70
25. Fynsværket	72

Bioenergi til el og varme

– *erfaringer med biomassefyrede kraftvarmeværker i Danmark*

Udgivet af:	DONG Energy, telefon 79 23 33 33
Med støtte fra:	Energinet.dk PSO F&U-projekt 6523
Tekst og redaktion:	Bo Sander, DONG Energy og Torben Skøtt, BioPress
Redaktionen afsluttet:	15. oktober 2007
Layout:	BioPress
Tryk:	CS Grafisk

Denne publikation er trykt på svanemærket papir



Forord

Der udfoldes i disse år store bestræbelser på at reducere udledningen af CO₂ og andre drivhusgasser med henblik på at begrænse den globale opvarmning. Et af virkemidlerne hertil er anvendelse af CO₂-neutrale biobrændsler såsom træ og halm i energisektoren.

Folketinget pålagde i 1993 de danske kraftværkselskaber at anvende 1,4 millioner tons biomasse til produktion af el og varme og derved fortrænge en betydelig mængde kul. Dette mål er nu ved at være nået.

Teknisk set har der været store udfordringer ved anvendelse af biomasse til elproduktion. Dette gælder ikke mindst for halm, der både er vanskelig at håndtere og har et højt indhold af bestanddele, der er skadelige for kedelanlæg. Gennem en stor udviklingsindsats med bidrag fra leverandører, kraftværker, universiteter, forskningscentre og teknologiske serviceinstitutter er det lykkedes at udvikle pålidelige teknologier, der løbende er blevet etableret og afprøvet på værkerne. Der er undervejs gennemført en lang række forsknings- og udviklingsprojekter med offentlig støtte fra blandt andet systemansvarlige virksomheder, Energistyrelsen og EU.

Med denne publikation ønsker kraftværkselskaberne DONG Energy og Vattenfall at præsentere erfaringerne fra femten års målrettet indsats med etablering af biomassefyrede kraftvarmeværker. En indsats der dokumenterer, at med et frugtbart samarbejde mellem virksomheder, myndigheder og offentlige energiforskningsprogrammer kan der nås langt inden for udvikling af miljøvenlig energiteknologi.

Energinet.dk har gennem PSO-F&U-programmet bidraget økonomisk til udarbejdelse af publikationen.

Anders Eldrup, DONG Energy

Bjarne Korshøj, Vattenfall

Dansk energipolitik gennem 30 år

– med fokus på forsyningssikkerhed, miljø og klima

Det er nu 30 år siden, Danmark fik sin første energiplan "Dansk Enerkipolitik 1976", og i de efterfølgende årtier blev Danmark kendt som et land med en aktiv energipolitik med vægt på effektiv energianvendelse, energibesparelser og vedvarende energi.

Før energikrisen i 1973 blev omkring 90 procent af energiforbruget dækket med importeret olie, men i dag er Danmark mere end selvforsynende med energi. Det skyldes ikke mindst en betydelig produktion af olie og naturgas fra Nordsøen, men der kommer også et pænt stort bidrag fra de vedvarende energikilder. I 2005 bidrog vedvarende energi således med 126 PJ, produktionen af naturgas var på 393 PJ, mens olieproduktionen nåede op på 796 PJ. Det skal sammenlignes med et energiforbrug for hele landet på 830 PJ – altså en selvforsyningsgrad på over 150 procent.

For 30 år siden drejede energipolitikken sig primært om forsyningssikkerhed. Senere kom miljøet mere i fokus, og i de senere år er det især klimapligtigelserne, der har præget området. I dag er der imidlertid igen kommet fokus på forsyningssikkerheden. Vi kan se en ende på olie- og gaseventyret, og EU bliver mere og mere afhængig af importeret energi fra især Mellemøsten og Rusland. Samlet set kunne EU-landene således

Efter energikrisen i 1973 blev kul det foretrukne brændsel på landets kraftværker. Senere vandt naturgas indpas, og i dag bliver der brugt betydelige mængder biobrændsler på kraftværkerne. Billedet er fra det nu lukkede kraftvarmeværk på Århus havn, hvor man i begyndelsen af 1990'erne udførte forsøg med halmfyring.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

kun dække halvdelen af deres energiforbrug i år 2000, og hvis der ikke gribes ind, skal 70 procent af energiforbruget importeres i 2030.

Den første energiplan

Energikrisen i 1973 kom som lidt af et chok for hele den vestlige verden. Vi blev for alvor klar over vores afhængighed af olie fra Mellemøsten, og Danmarks første energiplan kom derfor primært til at handle om forsyningssikkerhed. I stedet for olie skulle der i højere grad sættes på naturgas, atomkraft, kul og vedvarende energi.

Resultatet blev omlægning af elproduktionen til kul og øget anvendelse af naturgas og vedvarende energi. Samtidig blev væksten i energiforbruget bremset ved hjælp af sparekammer og økonomisk styring. Indførsel af atomkraft blev dog foreløbig udskudt og senere helt opgivet.

Allerede i 1979 oplevede Danmark den anden energikrise som følge af revolutionen i Iran. Regeringen indgik i den forbindelse en aftale med Dansk Undergrunds Consortium om køb af 55 milliarder kubikmeter naturgas, og senere på året fik Danmark sit første energiministerium.

Olie og gas fra Nordsøen

I den næste energiplan fra 1981 blev der fortsat lagt vægt på at begrænse importen af fossile brændsler, men derudover fik samfundsøkonomiske og miljømæssige hensyn også en høj prioritet. Planen satte for alvor gang i udbygningen af olie- og gasfelterne i Nordsøen, ligesom det landsdækkende naturgasnet blev anlagt. Efter "Energiplan 81" blev de første støtteordninger til udnyttelse af halm og flis sat i værk, og via voksende afgifter på fossile brændstoffer blev biomasse et konkurrencedygtigt brændsel. De første biomassefyrede fjernvarmeværker blev bygget, antallet af halmfyr i landbruget voksede kraftigt, og forbruget af brænde i private husstande steg markant.

Efter års diskussioner besluttede Folketinget i 1985 definitivt at trække atomkraften ud af dansk energipolitik. Det var samme år, at en international konference om drivhuseffekt, klimaændringer og økosystemer førte til en politisk erkendelse af, at udslippet af kuldioxid kunne blive fremtidens altoverskyggende problem for energisektoren.

I juni 1986 indgik hovedparten af Folketingets partier en energipolitisk aftale, der blandt andet indebar en udbygning af elkapaciteten med 1.000 MW. Udbygningen skulle fordeles på nye store kraftværker samt en række mindre decentrale værker, fyret med naturgas, halm, træflis, affald og biogas. Som en del af aftalen blev det endvidere besluttet at iværksætte et forsøgs- og demonstrationsprogram for decentrale kraftvarmeværker med en samlet kapacitet på 80 – 100 MW.

Brundtland-Kommission

I foråret 1987 udgav den såkaldte Brundtland-Kommission rapporten "Vores fælles fremtid". Her blev der sat fokus på at fremme en bæredygtig udvikling, og som et delmål blev det nævnt, at energiforbruget per indbygger i de industrialiserede lande skulle halveres i løbet af 40 år for at give plads til en vækst i udviklingslandene på omkring 30 procent .

Direkte affødt af Brundtland-rapporten kom i 1990 "Energi 2000 – Handlingsplan for en bæredygtig udvikling". Nu blev miljøet for alvor sat i centrum. Frem mod år 2005 skulle energiforbruget reduceres med 15 procent, forbruget af kul og olie skulle reduceres med henholdsvis 45 og 40 procent, samtidig med at naturgas og vedvarende energi skulle overtage en væsentlig del af energiforsyningen.

Energi 2000 omfattede dog ikke transportsektoren. Den fik efterfølgende sin egen handlingsplan med en målsætning om at stabilisere energiforbruget inden 2005 og derefter reducere det med 25 procent inden 2030. Det skulle senere



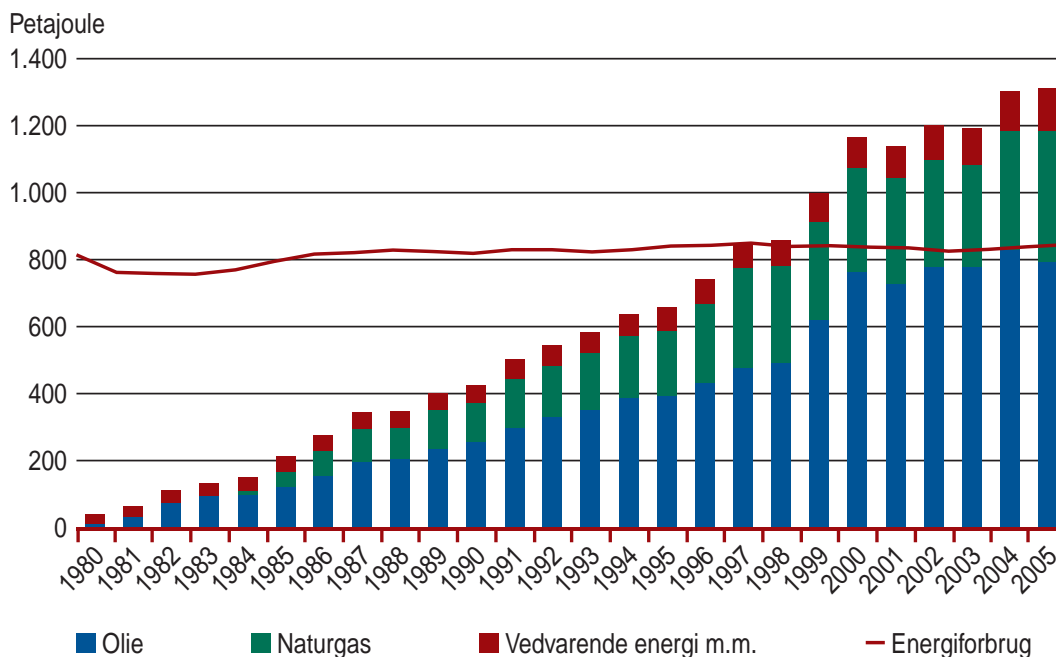
Foto: Mærsk Olie og Gas AS

Olie- og gasproduktionen fra Nordsøen har gjort Danmark mere end selvforsynende med energi. Her er det platformen til DAN-feltet, der er ved at blive hejst på plads.

vide sig at blive en meget vanskelig opgave. Energiforbruget til transport er som bekendt steget markant, og der er ikke meget, som tyder på, at det vil blive reduceret med 25 procent inden 2030.

Varmeforsyningsloven

For at få gang i de aktiviteter som blev foreslået i Energi 2000, vedtog det danske Folketing i 1990 den såkaldte Varmeforsyningslov, som gav energiministeren vidtrækkende beføjelser til at regulere brændselsvalget i fjernvarmeværker og decentrale kraftvarmeværker. På baggrund af den lov er en lang række kul- og naturgasfyrede fjernvarmeværker omstillet til naturgasfyrede decentrale kraftvarmeværker. Derudover er mange min-



Figur 1.1. Energiforbruget i Danmark fra 1980 til 2006 sammenlignet med det korrigerede energiforbrug – det vil sige, hvor forbruget er korrigeret for handel med el over grænserne og klimaudsving i forhold til et normalt år. I 1997 bliver vi for første gang i nyere tid selvforsynende med energi, og i 2005 producerede vi mere end halvdanden gange så meget energi, som vi brugte. Kilde: Energistyrelsen.



Foto: Torben Skjøtt/BioPress

Biomasseplanen fra 1993 pålægger kraftværkerne at bruge 1,4 millioner tons biomasse om året, heraf mindst 1 million tons halm.

dre fjernvarmeværker, uden for de store fjernvarmenet, blevet omstillet til biobrændsler.

Energi 21

Den fjerde af Danmarks i alt seks energiplaner er Energi 21, der blev offentliggjort i 1996. Her er der blandt andet opstillet en langsigtet målsætning om, at CO₂-udledningen skal halveres i år 2030 i forhold til 1998. Målet skal nås gennem energibesparelser, en bedre udnyttelse af energiresourcerne samt et bidrag fra vedvarende energi på 35 procent af bruttoenergiforbruget i år 2030. Forbruget af kul skal på det nærmeste ud-

fases helt, mens forbruget af olie og gas forventes at være nogenlunde uændret.

Energiministeriet nedlægges

Efter folketingsvalget i november 2001 danner Venstre og Konservativ Folkeparti regering, og ved den lejlighed bliver energiministeriet nedlagt og lagt ind under Økonomi- og Erhvervsministeriet. Samtidig sker der et markant brud med den hidtil førte energipolitik. I stedet for faste målsætninger og en stram styring af energiforsyningen, bliver det i langt højere grad op til markedet at afgøre, hvilke energikilder der er værd at satse på. Den holdning går igen i "Energi strategi 2025", der bliver offentliggjort i juni 2005. Her bliver det endnu engang slået fast, at det primært er markedet, der skal afgøre prioriteringen af de enkelte energikilder eller med andre ord: jo højere priser på fossil energi, jo mere vægt på energibesparelser og vedvarende energi.

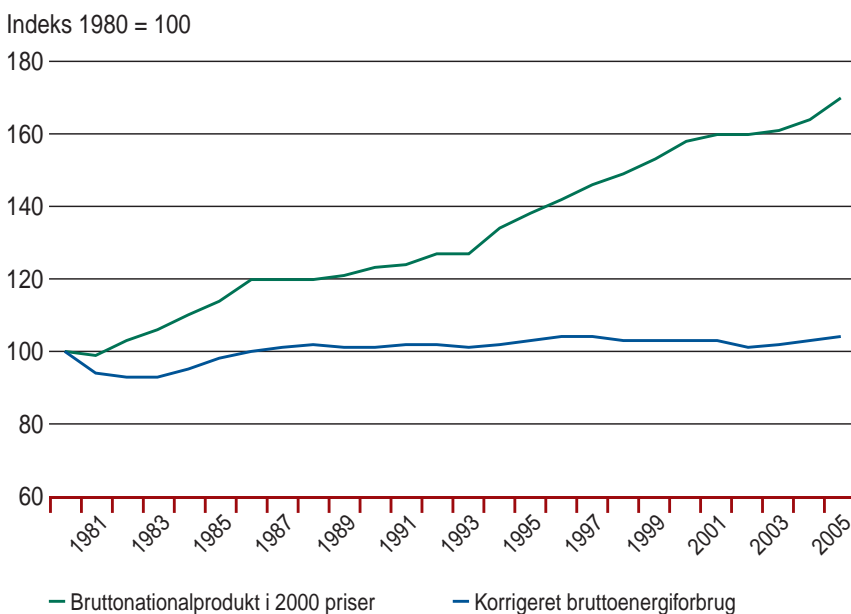
I januar 2007 lancerede regeringen imidlertid en helt ny energipolitik med energiplanen "En visionær dansk energipolitik". Heri bliver der sat konkrete mål for, hvordan Danmark skal blive uafhængigt af fossile brændstoffer som kul, olie og naturgas. Det skal blandt andet ske ved at:

- fordoble anvendelsen af vedvarende energi fra 15 procent i 2005 til 30 procent i 2025
- øge energispareindsatsen så der årligt gennemføres besparelser svarende til 1,25 procent af det aktuelle energiforbrug
- sikre, at 10 procent af transportsektorens brændstofforbrug dækkes af biobrændstoffer i 2020
- fordoble investeringerne i energiforskning til en milliard kroner om året.

Med planen forventer regeringen, at forbruget af fossile brændsler vil være reduceret med 15 procent i 2025 og at Danmarks samlede energiforbrug i 2025 – trods økonomisk vækst og fremgang – ikke vil være steget siden midten af 1970'erne.

Biomasseplanen

For at kunne opfylde målene i Energi 2000 indgik hovedparten af Folketingets partier den 14. juni 1993 en aftale om øget anvendelse af biomasse i energiforsyningen. En meget væsentlig del af aftalen drejer sig om de centrale kraftværker, der forpligtiges til at aftage 1,4 millioner tons biomasse om året, heraf mindst 1 million tons halm. Oprindeligt skulle målet været nået i år 2000, men aftalen er blevet revideret flere gange og først i 2009 forventes de sidste brikker at være faldet



Figur 1.2. Udviklingen i Danmarks energiforbrug og bruttonationalprodukt i perioden fra 1980 til 2006. Som det fremgår af figuren, er det lykkedes at øge bruttonationalproduktet, uden at energiforbruget er steget tilsvarende. Kilde: Energistyrelsen.

på plads. Det sker, når Fynsværket indvier en ny kraftværksblok, der kan aftage 170.000 tons halm om året.

Forsinkelserne skyldes ikke mindst, at elmarkedet i dag er liberaliseret, hvad der ikke var tilfældet i 1993, da aftalen blev indgået. Dengang kunne kraftværkerne blot sende regningen videre til forbrugerne, men det kan ikke lade sig gøre i dag med et frit marked for køb og salg af el. I stedet har staten valgt at yde tilskud til de værker, der fyrer med biomasse, så kraftværkerne fortsat kan levere el til konkurrencedygtige priser. Det er en aftale, som både staten, kraftværkerne og forbrugerne kan leve med, men det har taget lang tid at få forhandlet de forskellige ordninger på plads.

Kyoto-protokollen

Det er ikke mange årtier siden, at energipolitikken primært blev betragtet som et nationalt anliggende, men i dag er det i høj grad internationale forhold, der sætter rammerne for, hvordan vi indretter os i Danmark. Udviklingen på de globale energimarkeder, liberaliseringen af energisektoren og ikke mindst vores klimaforpligtigelser i henhold til Kyoto-protokollen er i stigende grad kommet til at præge den danske energisektor.

Målsætningen i Kyoto-protokollen er, at de industrialiserede lande som et gennemsnit over perioden 2008-2012 skal reducere deres udslip af drivhusgasser med mindst fem procent i forhold til niveauet i 1990.

Industrilandene har forskellige forpligtelser. EU skal samlet set reducere sit udslip med otte procent, men der er forskel på, hvor store forpligtigelser de enkelte medlemslande har påtaget sig. Danmark og Tyskland skal således reducere deres udslip med hele 21 procent, mens andre lande som for eksempel Portugal, Spanien og Grækenland får lov til at øge deres udslip af drivhusgasser. Baggrunden er, at både Danmark og Tyskland i 1990 havde et markant højere udslip af drivhusgasser per indbygger end de andre EU-lande, og vi har derfor også de bedste muligheder for at kunne reducere udslippet – blandt andet ved at skifte kul ud med mere miljøvenlige brændsler.

CO₂-kvoter

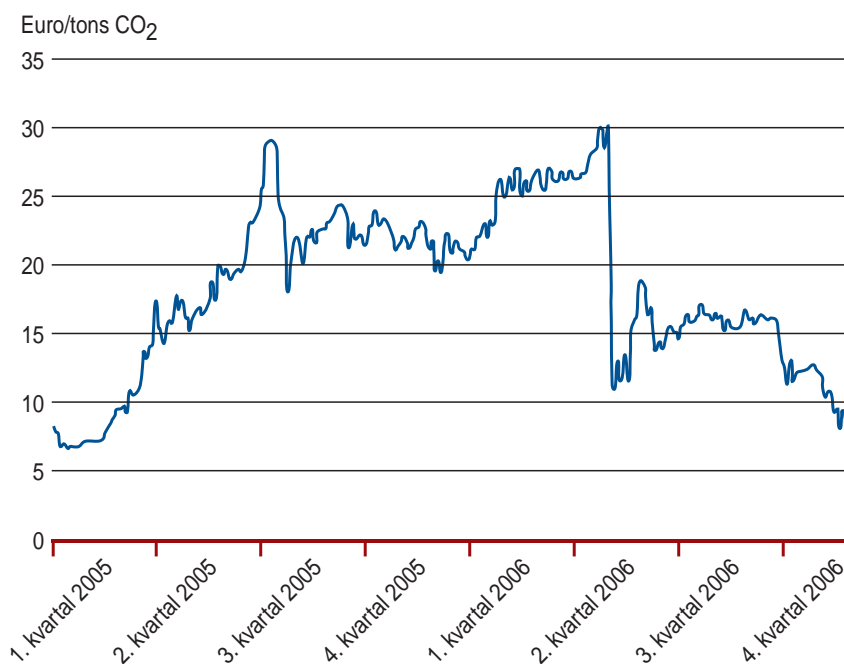
Det helt afgørende virkemiddel for at få reduceret udslippet af drivhusgasser er den såkaldte kvoteordning, der i dag omfatter alle medlemslande i EU. I Danmark er en betydelig del af energisektoren og den energitunge industri omfattet af

ordningen, der betyder, at virksomhederne hvert år skal sikre sig en kvotebeholdning, som dækker den aktuelle udledning af CO₂. Hvis ikke CO₂-regnskabet går op, må der skabes balance, enten ved at virksomheden reducerer sit CO₂-udslip internt, eller ved at den køber kvoter op. For store udslip kan koste dyrt, især efter år 2008 hvor bøden for at udlede for meget CO₂ stiger fra 40 euro/ton til 100 euro/ton.

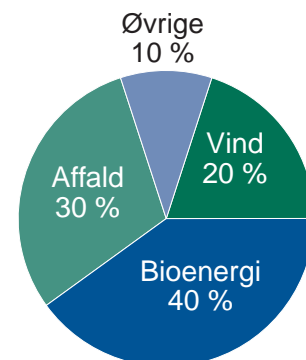
Prisen på CO₂-kvoter har i perioden fra november 2005 til november 2006 svinget fra 75 til 225 kroner/ton. Jo højere pris, jo bedre kan det betale sig at investere i energibesparende foranstaltninger og skifte kul og olie ud med for eksempel biobrændsler.

Den danske regering har fastlagt en årlig kvote på 33,5 millioner tons CO₂ i perioden 2005 – 2007 for de kvotebelagte sektorer. Det svarer til en reduktion på cirka 15 procent i forhold til den forventede udledning i perioden.

I perioden fra 2008 til 2012 bliver antallet af gratis kvoter reduceret med en fjerdedel i forhold til 2005 – 2007. Det vil alt andet lige få kvoteprisen til at stige, og dermed vil det også blive mere attraktivt at investere i energibesparelser og vedvarende energi. Hvad der kommer til at ske efter 2012, er mere usikkert, men meget tyder på, at kvotesystemet er kommet for at blive, og at prisen på CO₂-kvoter vil stige i årene fremover.



Figur 1.4. Prisudviklingen på CO₂-kvoter i 2005 og 2006. Jo højere kvotepris, jo bedre kan det betale sig at investere i energibesparende foranstaltninger og skifte fossile brændsler ud med vedvarende energi. Kilde: Nordpool.



Figur 1.3. Fordelingen af vedvarende energi på de enkelte energikilder i 2005. Det største bidrag stammer fra bioenergi efterfulgt af affald og vind. I alt dækkede vedvarende energi godt 15 procent af bruttoenergiforbruget i 2005. Kilde: Energistyrelsen.

I dag er det primært restprodukter fra landbruget og skovbruget, der udnyttes til energiformål. Her er det Hedeselskabet, der er i gang med at hugge flis af udtynningstræ.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Biomasseressourcer

– med fokus på halm og træ

Biomasse er en fællesbetegnelse for alt plante- og dyremateriale. Ved hjælp af fotosyntese omsætter planterne luftens kuldioxid, vand og næringssalte til organisk stof i form af kulhydrater. Derved lagres solens energi i planterne, der efterfølgende kan udnyttes af mennesker og dyr.

Traditionelt er biomasse blevet udnyttet til energiformål i årtusinder, og det er stadig en af de mest anvendte energikilder i verden. Et forsigtigt skøn peger på, at biomassen dækker cirka 12 procent af energiforbruget i verden. Udviklingslandene dækker cirka en tredjedel af deres energiforbrug med biomasse, og i de allerfattigste lande står bioenergien for op til 90 procent af energiforsyningen.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Definitionen af, hvornår træ er biomasse eller affald, varierer fra land til land.

Biomasse er en CO₂-neutral energikilde, fordi planterne opsamler lige så meget CO₂ under fotosyntesen, som de udsender, når de senere udnyttes til energiformål. Det energiforbrug, der bliver brugt til indsamling og transport af biomassen, vil normalt ikke være CO₂-neutralt, men udgør kun få procent af biomassens energiindhold.

Hvornår er det biomasse?

Definitionen af, hvornår der i lovgivningsmæssig forstand er tale om biomasse, kan variere fra land til land. I Danmark er reglerne fastlagt i den så-

kaldte Biomassebekendtgørelse fra 1997. Her er det nøje beskrevet, hvilke former for biomasse der kan anvendes til energiproduktion, uden at der skal betales affaldsafgift til staten. Det drejer sig blandt andet om halm, træ, træaffald med under en procent lim, frugtkerner, frøskaller, korn, bomuld, stråtag med videre. Listen virker umiddelbart omfattende – selv ispinde er med – men i forhold til flere af vore nabolande er den temmelig restriktiv. Eksempelvis bliver knuste træpaller, vinduer og døre defineret som affald i Danmark, hvorimod det i Sverige, Holland og Tyskland betegnes som biomasse.

Ressourcer på verdensplan

Da biomasse i princippet er alt plante- og dyremateriale, er ressourcerne enorme, men der er selvfølgelig grænser for, hvor meget det i praksis kan lade sig gøre at udnytte til energiformål. En væsentlig del af planterne anvendes til mad, foder og tekstiler. Derudover er der spørgsmålet om bæredygtigt jordbrug, og i hvor høj grad det er forsvarligt at inddrage naturarealer til produktion af biomasse.

I teorien vil det være muligt at dække hele verdens energiforbrug med biomasse, men i praksis vil det næppe kunne lade sig gøre. Allerede i dag er der mange, som stiller spørgsmålstegn ved, om det er

forsvarligt at anvende store arealer til produktion af energiafgrøder, og der er betydelig usikkerhed om den mulige bæredygtige produktion af biomasse til energiformål på globalt plan.

I en OECD rapport fra år 2004 er der offentliggjort en række undersøgelser af det mulige potentiale for anvendelse af bioenergi i henholdsvis år 2025 og 2050. Tallene varierer mellem 72 og 145 exajoule for 2025, mens vurderingerne for 2050 varierer fra 181 exajoule og helt op til 450 exajoule (se tabel 2.1). Det skal sammenlignes med, at det globale energiforbrug i 2001 var på 400 exajoule, hvoraf de 50 exajoule blev produceret ved hjælp af biomasse.

I dag er det primært restprodukter fra landbruget og skovbruget, der udnyttes til energiformål, men grænserne flyttes løbende, og det forventes, at landbrugsarealer i stadig højere grad bliver inddraget til produktion af energi. Det drejer sig primært om afgrøder til produktion af flydende biobrændsler, men der er også ved at komme gang i produktionen af afgrøder til biogas, ligesom man for eksempel i Sverige og England har en del pileavlere, der leverer flis til kraftværkerne.

Dyrkning af energiafgrøder behøver ikke nødvendigvis at fortrænge produktionen af fødevarer. Ved omhyggelig planlægning vil man i flere tilfælde kunne opnå en højere produktion og mere frugtbare landbrugsarealer ved at kombinere produktionen af energiafgrøder med traditionelle landbrugsafgrøder. Mulighederne er utallige, men det er vigtigt at vælge afgrøder, hvor behovet for anvendelse af kunstgødning og pesticider er begrænset.

Langt de fleste lande har overskydende arealer til rådighed, hvor der kan dyrkes energiafgrøder, men der er dog undtagelser. I Asien har de fleste lande et større forbrug af biomasse, end de selv er i stand til at producere, så her er det nødvendigt at importere biomasse for at dække behovet. De største potentialer findes i det tidligere Sovjetunionen, Sydamerika og Nordamerika, men også Afrika og Europa råder over betydelige ressourcer. I mange udviklingslande vil restprodukter fra landbruget og skovbruget kunne dække lokalbefolkningens grundlæggende energibehov, og i industrilandene vil man ofte kunne producere betydelige mængder biomasse på de arealer, der er blevet braklagt gennem de seneste årtier.

International handel

I dag transporteres der betydelige mængder biomasse/affald over landegrænserne, hvilket ikke

Undersøgelse	2025	2050
Shell (1996)	85 EJ	200 – 220 EJ
IPCC (1996)	72 EJ	280 EJ
Greenpeace (1993)	114 EJ	181 EJ
Johansson et al. (1993)	145 EJ	206 EJ
Dessus et al. (1992)	135 EJ	–
Lashof og Tirpak (1991)	130 EJ	215 EJ
Fischer og Schrattenholzer	–	350 – 450 EJ

mindst hænger sammen med, at landene har deres egne regler for, hvordan biomasse kan anvendes i energiforsyningen. Samlet set tegner der sig et noget broget og turbulent billede af handelen med biomasse, og den europæiske organisation CEN har i en årrække arbejdet på at udarbejde fælles standarder for biobrændsler for at lette samhandelen mellem de enkelte lande.

Hidtil har den internationale handel med biomasse næsten udelukkende drejet sig om træ, leveret som piller, flis, brænde eller hele træstammer. Imidlertid er der intet til hinder for, at andre former for biomasse kan handles på tilsvarende måde, men det vil formentlig kræve, at de forarbejdes til piller for at lette håndteringen og udgifterne til transport. Eksempelvis vil halm – i form af halm-piller – kunne blive en international handelsvare med blandt andet Ukraine som storleverandør.

Tabel 2.1. Undersøgelser over potentialet for anvendelse af biomasse til energiproduktion i henholdsvis 2025 og 2050. I 2001 var verdens samlede energiforbrug på 400 exajoule (EJ), hvoraf de 50 EJ blev produceret ved hjælp af biomasse. Kilde: Biomass and Agriculture – sustainability, markets and policies, OECD 2004.



Træ til energiformål er i dag en international handelsvare. Her er det træpiller fra Letland, der bliver losset i Grenaa havn.

Biomasse	Potentiale	Import (+) Eksport (-)	Forbrug	Udnyttelse
Halm	55 PJ	-	18 PJ	33 %
Træ	40 PJ	14 PJ	48 PJ	120 %
Bionedbrydeligt affald	30 PJ	-	29 PJ	97 %
Biogas	40 PJ	-	4 PJ	10 %
Biodiesel	-	- 3 PJ	0 PJ	-
Fiskeolie	1 PJ	-	1 PJ	100 %
I alt	165 PJ	11 PJ	100 PJ	-

Tabel 2.2. Danske ressourcer og forbrug af biomasse til energiformål i 2005. Bemærk, at der i dag er en betydelig import af træ, primært i form af træpiller. Kilde: Energistyrelsen.

De store producenter og aftagere af biomasse vurderer samstemmende, at der i de kommende år vil ske en betydelig udvikling i den internationale handel med biobrændsler. Der gælder ikke mindst for træpiller, men i princippet vil langt de fleste former for biomasse kunne forarbejdes til piller og dermed handles internationalt.

Danske ressourcer

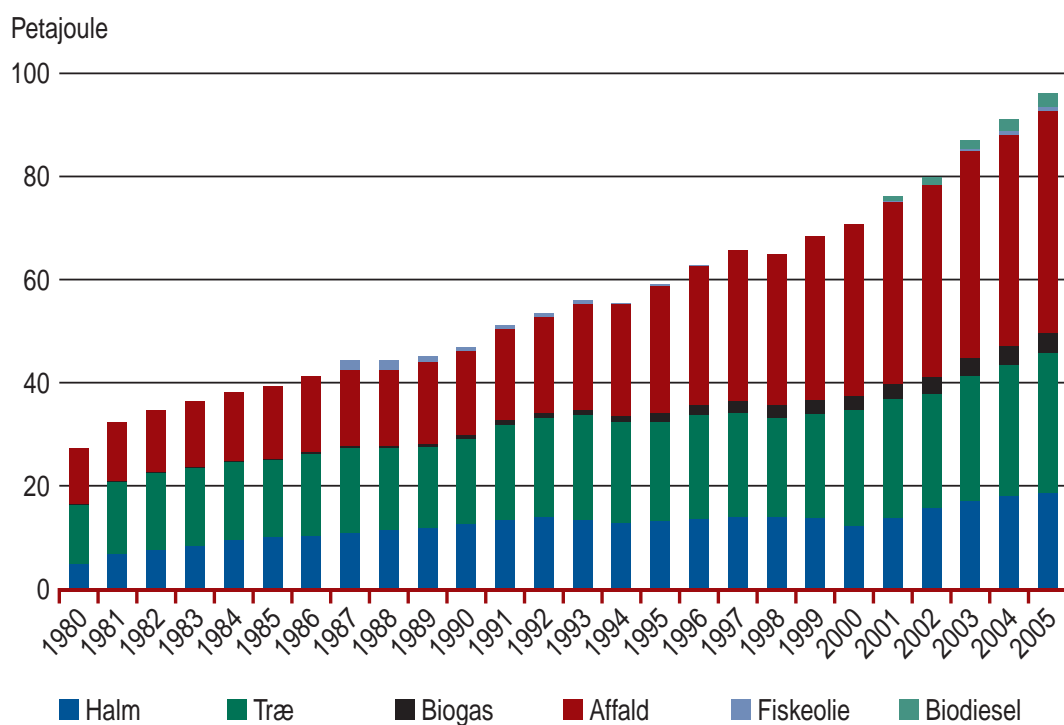
De danske ressourcer af biomasse til energiproduktion vurderes til omkring 165 PJ om året, hvoraf omkring halvdelen udnyttes i dag (se tabel 2.2). Derudover er der en betydelig import af træ, primært i form af træpiller, så det samlede forbrug kommer op på knap 100 PJ. Der er en vis usikkerhed om de tilgængelige mængder biomasse, ikke mindst hvad angår træ, og man må formode, at priserne vil stige, såfremt alle ressourcer udnyttes fuldt ud. De uudnyttede ressourcer består primært af halm og ikke mindst husdyrgødning m.v. til produktion af biogas, hvor kun cirka ti procent udnyttes i dag.

Inden for foder- og fødevarerindustrien findes en række restprodukter, som hidtil er blevet anset for at være uinteressante, fordi der har været rigelige mængder halm og træ til rådighed. Der er blandt andet tale om kornafrens, frøafrens, skaller fra ærter, soja, kakao, solsikke og kaffe, samt affald fra sukkerroer, kartofler og tobak. Flere af produkterne findes kun i begrænsede mængder og som våde råvarer, men der er ikke desto mindre tale om cirka 300.000 tons på årsbasis, så på sigt kan flere af disse produkter blive interessante.

Som det fremgår af tabel 2.2, er der et betydeligt potentiale i at udnytte de store mængder husdyrgødning til energiproduktion. Gødningen er specielt velegnet til produktion af biogas, men flere biogasanlæg er begyndt at separere den afgasende gødning i en fast og flydende fraktion. Begge fraktioner er hidtil blevet anvendt som gødning, men i dag er der mulighed for at bruge den faste fraktion som brændsel, uden at der skal betales afgift til staten.

På lang sigt er der også mulighed for, at havalger, i form af blandt andet søsalat, kan anvendes til energiproduktion. Ifølge Danmarks Miljøundersøgelser vil man på årsbasis kunne høste mellem 80.000 og 100.000 tons søsalat i de danske farvande. Derved vil man få en værdifuld råvare til fremstilling af blandt andet bioethanol, og man vil få begrænset forekomsten af iltsvind, ligesom stanken fra mange fjorde og lukkede vandområder vil forsvinde.

Figur 2.1. Energiforbruget fra biomasse og affald i Danmark fra 1980 til 2006. Kilde: Energistyrelsen.





Forskere ved Danmarks Miljøundersøgelser arbejder endvidere med at udvikle systemer, så man kan dyrke søsalat i lukkede bassiner. Rent teknisk er det ikke helt enkelt, men perspektiverne er enorme, idet man vil kunne høste op til 500 tons biomasse per hektar eller cirka 50 gange så meget, som man kan høste i det traditionelle landbrug.

Halm til energiformål

Halm er et restprodukt fra dyrkning af korn, og den årlige produktion er derfor påvirket af ikke mindst vejrliget og de aktuelle priser på korn. Derudover spiller den aktuelle landbrugspolitik naturligvis også en rolle, herunder hvor store arealer der skal friholdes til brak og miljøvenligt landbrug. Halm fra raps og andre frøafgrøder kan også anvendes til energiformål, men kvaliteten er markant ringere end fra korn, så i praksis sker det kun i begrænset omfang.

I Danmark er det cirka en fjerdedel af den samlede halmproduktion, der anvendes til energiformål. Omkring en tredjedel indgår i landbrugets egen produktion som foder og strøelse, mens resten bliver nedmuldet. Der er altså fortsat et betydeligt halmoverskud, som kan anvendes til energiproduktion.

Det er især kraftværkerne, der anvender halm som brændsel. Ifølge den seneste energistatistik blev der i 2005 anvendt godt 18 petajoule halm som brændsel. Lidt over halvdelen blev anvendt af kraftværkerne, mens resten fordeler sig nogenlunde ligeligt mellem fjernvarmeværker og landejendomme.

Halmmarkedet

Halm er ikke på samme måde som flis og træpiller en international handelsvare. Halm bliver pri-

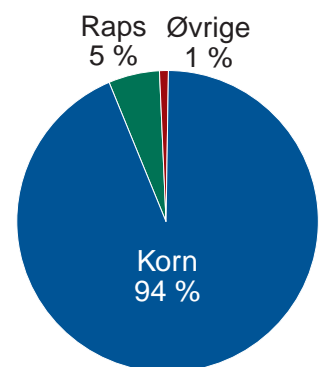
mært handlet lokalt, og derfor kan der ofte være en betydelig prisforskel mellem de enkelte landsdele. Det er primært et spørgsmål om udbud og efterspørgsel og kvaliteten af den halm, landmanden er i stand til at levere.

Idet halm har en forholdsvis lav brændværdi på volumen- og vægtbasis, er prisen på halm følsom over for afstanden til kraftværket, hvilket medfører regionale prisforskelle på halm.

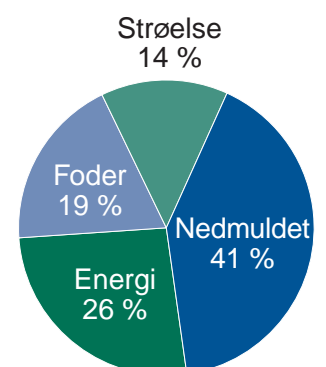
I forhold til de fossile brændsler har prisniveauet være meget stabilt gennem de seneste 10 – 15 år, med en gennemsnitlig pris på omkring 30 kroner/gigajoule. I de senere år har der endda været en tendens til svagt faldende priser på trods af, at efterspørgslen er steget. Tidligere blev priserne hovedsageligt fastlagt gennem flerårige kontrakter, men i de senere år er tendensen gået i retning af etårige kontrakter, ligesom en mindre del af halmen i dag bliver solgt på spotmarkedet.

Danske halmleverandører har ved flere lejligheder kritiseret kraftværkerne for at misbruge deres dominerende stilling på markedet til at presse priserne urimeligt langt ned. Det fik Konkurrencestyrelsen til at foretage en større undersøgelse i 2005, hvor oplysninger om priser og vilkår blev indhentet hos Elsam og Energi E2, der på det tidspunkt stod for indkøb af halm til kraftværkerne i henholdsvis Vest- og Østdanmark. Resultatet af undersøgelsen blev en aftale mellem halmleverandørerne og kraftværkerne, der nøje beskriver, hvordan kontrakterne om halmleverancer skal udformes. Hovedparten af halmen skal indkøbes gennem offentlige licitationer, og alle tilbud skal behandles ens. Der må ikke forekomme forhandling af tilbuddene mellem elselskaberne og de enkelte halmleverandører, og tilbuddene skal åbnes under overværelse af en uafhængig kontrollant.

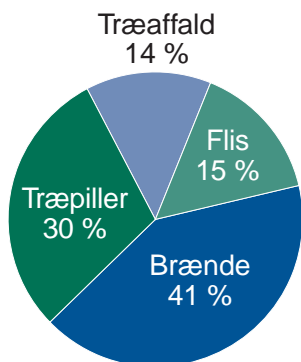
Halm bliver primært handlet lokalt, og derfor kan der ofte være en betydelig prisforskel mellem de enkelte landsdele. Det er primært et spørgsmål om udbud og efterspørgsel og kvaliteten af den halm, landmanden er i stand til at levere.



Figur 2.2. Halm er primært et restprodukt fra dyrkning af korn. Halm fra raps og andre frøafgrøder kan også anvendes til energiformål, men kvaliteten er markant ringere end fra korn. Kilde: Danmarks Statistik.



Figur 2.3. I Danmark er det cirka en fjerdedel af den samlede halmproduktion, der anvendes til energiformål. Kilde: Danmarks Statistik.



Figur 2.4. Cirka 41 procent af energiproduktionen fra træ stammer fra brænde. Træpiller udgør omkring 30 procent, mens resten er ligeligt fordelt mellem flis og træaffald. Kilde: Energistyrelsen.

Energitræ

Ifølge den seneste opgørelse over energiproduktionen i Danmark blev der i 2005 anvendt cirka 48 petajoule på basis af træ, hvoraf 14 petajoule blev importeret. Det svarer til godt 40 procent af det samlede bidrag fra vedvarende energi eller væsentligt mere end vindkraften, der står for knap 20 procent af VE-produktionen.

Cirka 41 procent af energiproduktionen fra træ stammer fra brænde. Træpiller udgør omkring 30 procent, mens resten er nogenlunde ligeligt fordelt mellem flis og træaffald. Brænde bliver stort set kun brugt af private husstande, flis og træaffald bliver hovedsageligt anvendt i større kedelanlæg hos fjernvarmeværker og kraftværker, mens træpiller anvendes af såvel private husstande som fjernvarmeværker og kraftværker.

Den seneste opgørelse over det danske skovareal viser, at knap 490.000 hektar i dag er dækket af skov. Hovedparten af det træ, som bliver fjernet fra skovene, ender som energitræ – enten direkte eller indirekte som restprodukter fra træindustrien og savværker.

Den danske produktion af skovflis er firedoblet i løbet af de sidste 15 år, og de fleste steder er ressourcerne udnyttet fuldt ud. Den årlige produktion af brænde og energitræ i form af rundtræ er ligeledes øget, og ifølge Danmarks Statistik kom den samlede produktion af energitræ op på 1,26 millioner kubikmeter i 2005.

Ifølge den seneste opgørelse over energiproduktionen i Danmark blev der i 2005 produceret godt 48 petajoule på basis af træ. Det svarer til godt 40 procent af det samlede bidrag fra vedvarende energi. Cirka 41 procent af energiproduktionen fra træ stammer fra brænde.



Foto: Torben Skjøtt/BioPress

Hovedparten af den danske flisproduktion stammer fra udtynding af unge bevoksninger, hvor de små træer kan flishugges hele. De træer, der er nødvendigt at fjerne, bliver fældet om vinteren og får typisk lov til at tørre sommeren over, inden de hugges til flis. Derved reduceres vandindholdet, og nålene drysser af, så der fjernes færre næringsstoffer fra skovbunden.

En mindre del af flisen stammer fra træer, der er ramt af sygdomme. Derudover hugges der flis af de såkaldte ammetræer, ligesom trætoppe fra gavnræer normalt bliver udnyttet til produktion af flis. Udnyttelse af skovflis til energiformål er af stor betydning for skovbruget, da indtægterne fra salg af flis giver bedre mulighed for at kunne vedligeholde bevoksningerne og skifte fra en træart til en anden.

I dag findes der en række forskellige tilskudsordninger, der har til formål at få etableret et større skovareal i Danmark. Målet er, at arealerne med skov skal fordobles inden for den næste trægeneration – det sige i løbet af de kommende 80 – 100 år. Det vil naturligvis give nye muligheder for at øge produktionen af energitræ.

Energiafgrøder

I takt med at forbruget af biomasse stiger, bliver det mere og mere interessant for landmændene at dyrke afgrøder specielt beregnet til energiproduktion. Det er en udvikling, der for alvor har taget fart i blandt andet Tyskland og Sverige, men i

Danmark er det yderst begrænset, hvor store arealer der er udlagt til energiafgrøder. Hidtil har det primært drejet sig om raps, der efterfølgende er bearbejdet til biodiesel og eksporteret til lande med mere lempelige afgiftsregler end de danske.

Flere traditionelle landbrugsafgrøder kan umiddelbart anvendes til energiprodukter. Det drejer sig om blandt andet raps til produktion af biodiesel samt sukeroer, korn og majs til produktion af bioethanol. Korn og majs bliver i øvrigt også anvendt som "kraftfoder" til biogasanlæg i perioder, hvor anlæggene mangler organisk affald med et højt gaspotentiale.

Problemet ved de traditionelle landbrugsafgrøder er, at der ofte bliver brugt betydelige mængder pesticider og fossilt brændsel. Energiøkonomisk og miljømæssigt set er de traditionelle afgrøder således problematiske, og det er en af årsagerne til, at Danmark hidtil ikke har villet fremme produktionen af flydende biobrændsler, så længe råvarerne er traditionelle landbrugsafgrøder som korn og raps.

Imidlertid findes der en række flerårige energiafgrøder, som ud over en høj tørstofproduktion har et lavt forbrug af såvel pesticider som handelsgødning. Det drejer sig blandt andet om pil, poppel og elefantgræs, der kan bruges som brændsel i kraftværkerne samt flerårigt græs, der kan bruges til fremstilling af biogas. Flere af afgrøderne er i øvrigt meget effektive, når det drejer sig om at opsuge næringsstoffer, og de er således velegnede i de særligt følsomme landbrugsområ-



Foto: Torben Skøtt/BioPress

der (SFL), hvor landmændene kan få støtte til en mere miljøvenlig landbrugsform.

Biomassepriser

Priserne på biomasse er i høj grad omkostningsbestemt, men spørgsmålet om kvalitet, udbud og efterspørgsel har naturligvis også indflydelse på prisniveauet.

Visse former for biomasse er af så ringe en kvalitet, at man ligefrem kan få penge for at aftage det. De store biogasanlæg har således en pæn indtægt fra modtagelse af organisk affald

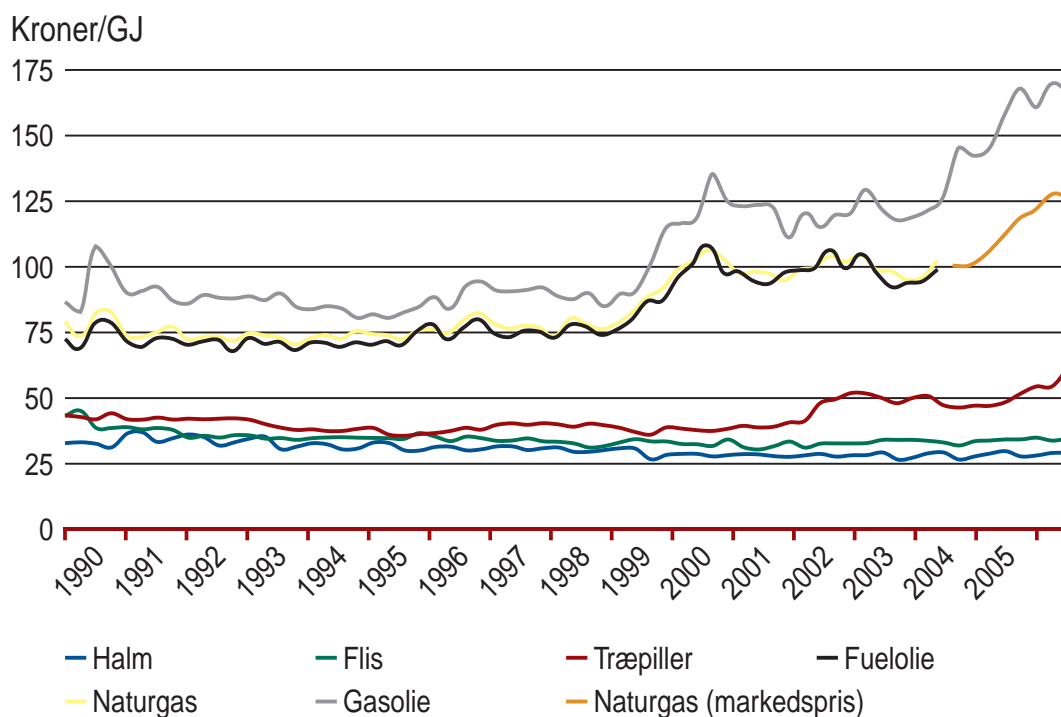
Pil er en af de mest miljøvenlige energiafgrøder, der findes, og den kan fint bruges som brændsel i kraftværker og fjernvarmeværker.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Priserne på savsmuld og spåner fra møbelindustrien er steget fra et niveau på cirka 50 kroner/ton i 1990'erne til omkring 500 kroner/ton i 2002. Det har medført markante prisstigninger på træpiller.

Figur 2.5. Prisudviklingen for forskellige energikilder i perioden fra 1990 til 2006 inklusive afgifter. De store prisforskelle skyldes primært, at olie og gas er belagt med afgifter, hvorimod halm, flis og træpiller er fritaget for afgift. Kilde: Dansk Fjernvarme.



med et lavt gaspotentiale, mens de omvendt betaler for det mere attraktive affald med et højt gaspotentiale.

Traditionelle landbrugsafgrøder som raps og korn hører generelt til i den dyre ende af skalaen, men her er det ikke så meget efterspørgslen til energiformål, der sætter prisen, men derimod den generelle efterspørgsel på landbrugsafgrøder. Den stigende efterspørgsel på afgrøder til flydende biobrændsler vil dog alt andet lige være med til at presse priserne på raps, korn og majs i vejret.

I Danmark har prisen på faste biobrændsler som halm og træflis til fjernvarmesektoren været nogenlunde konstant gennem de seneste 15 – 20 år (se figur 2.5). Træflis er typisk blevet handlet til omkring 35 kroner/gigajoule, mens prisen på halm normalt har ligget lidt under 30 kroner/gigajoule. Halm har aldrig været en international handelsvare på linie med flis, så lokalt har der ofte været en del forskel på halmpriserne.

Fra 1990 til 2002 varierede prisen på træpiller til fjernvarmeværker mellem 35 og 40 kroner/gigajoule, men i de senere år har prisen ligget tæt på 50 kroner/gigajoule. Markedet er langt mere tur-

bulent end for halm og flis, og i perioder har leverandørerne haft meget svært ved at følge med efterspørgslen.

De stigende priser på træpiller skyldes ikke mindst, at priserne på savsmuld og spåner fra møbelindustrien steg fra et niveau på cirka 50 kroner/ton i 1990'erne til omkring 500 kroner/ton i 2002. I de senere år har Danmark importeret betydelige mængder træpiller, og det har til en vis grad været med til at stabilisere priserne, ligesom priserne på råvarer fra møbelindustrien er faldet med cirka 200 kroner/ton. Træpilleprisen er dog fortsat langt mindre forudsigelig end prisen på halm og flis.

Det er bemærkelsesværdigt, at priserne på biobrændsler har været uafhængige af prisudviklingen på fossil energi. Siden 1990 har priserne på både halm og flis været svagt faldende, mens priserne på fossile brændsler er steget. I efteråret 2006 er der imidlertid tegn på, at priserne på træflis er på vej opad. Om tendensen fortsætter i årene fremover er usikkert, men der er næppe tvivl om, at stigende priser på CO₂-kvoter og fossil energi på et tidspunkt vil medføre højere priser på biobrændsler.

Håndtering af biobrændsler

– fra mark og skov til afbrænding på kraftværket



Foto: Lars Nikolaisen

Håndtering af biobrændsler er på mange måder mere kompliceret og tidskrævende end håndtering af fossile brændsler som olie, kul og naturgas. Biobrændsler fylder meget, så omkostningerne til transport kan være betydelige, især når det drejer sig om håndtering af halmballer. Derudover skal man være opmærksom på at sikre et fornuftigt arbejdsmiljø, idet der kan være en del gener i form af støv og skimmelsvampe.

Op gennem 90'erne blev halm og energitræ næsten udelukkende håndteret som halmballer og flis, men i dag bliver en del halm og træ oparbejdet til brændselspiller for at lette transporten og håndteringen på kraftværket. På Avedøreværket syd for København bliver der således brugt omkring 300.000 tons træpiller om året, og i 2003 blev Amagerværket ombygget, så der i dag fyres med halmpiller på forsøgsbasis på værkets blok 2. På begge værker bliver pillerne formalet til støv og blæst ind på samme måde som kulstøv, så det er forholdsvist enkelt at bygge et kulfyret værk om til brændselspiller.

Presning af halm

Halmhåndtering har efterhånden udviklet sig til en selvstændig disciplin inden for landbruget med en maskinpark, som primært større landbrug og maskinstationer investerer i.

Når kornmarkerne bliver høstet, efterlades halmen på jorden i lange rækker. Landmanden vil normalt være interesseret i at få fjernet halmen hurtigst muligt for at komme i gang med jordbehandling til næste års afgrøde, men kraftværket kan have en interesse i, at halmen har ligget på marken og har fået en regnbyge eller to, inden den bliver bjærget. Erfaringerne har nemlig vist, at halm der har været udsat for lidt regn har et lavere indhold af klor og kalium, hvorved risikoen for driftsproblemer på kraftværket mindskes.

I praksis kan det imidlertid være vanskeligt at få halmen bjærget på det helt optimale tidspunkt. Mange er afhængig af ledig kapacitet hos den lokale maskinstation, og halmen skal først og fremmest være tør, når den bjærges – ellers bliver den afvist på kraftværket eller fjernvarmeværket.

I landbruget anvendes flere forskellige balletyper fra de helt små halmballer på cirka 12 kg op til storballer med en vægt på omkring 500 kg. Storballerne er de eneste, der accepteres af kraftværkerne, ligesom langt de fleste varmeværker kun vil modtage storballer.

Storballepresseren blev udviklet for mere end 25 år siden på Hesston-fabrikken i USA, og i daglig tale kaldes storballer ofte for Hesston-baller.

Storballer er den eneste form for halmballer, som kraftværkerne kan håndtere. Billedet viser en helt ny halmpresse fra Krone, der kan presse baller med en vægt på omkring 600 kg.



Foto: Lars Nikolaisen

Halmballerne spændes fast ved hjælp af stropper. Mange steder er der endvidere krav om, at vognmændene bruger net, så det ikke flyger med halmstrå omkring lastbilen.



Foto: Torben Skjøtt/BioPress

På de større værker, som her i Studstrup, bruges løbekranen til at løfte halmballerne fra lageret over på transportbåndet.

Storballerne måler cirka 120 cm i bredden, 130 cm i højden og 230 – 270 cm i længden. Vægten er på omkring 500 kg, men den er steget lidt op gennem årene, og de nyeste pressere er i stand til at få vægten op på omkring 600 kg.

Transport af halm

Storballer er på mange måder en udmærket løsning, når det drejer sig om at få samlet halmen ind fra marken, men når det handler om den videre transport til kraftværket, er det knapt så effektivt. Der kan kun være 24 baller på et lastvognstræk svarende til 12 tons halm, og det er under halvdelen af, hvad lastvognen må læsse. Den dårlige udnyttelse af kapaciteten giver ikke kun høje transportomkostninger. Den giver også ekstra udgifter til håndtering af halmballerne og en dårlig udnyttelse af lagerfaciliteterne.

Det optimale ville være en vægt på omkring ét ton per balle, men det kræver udvikling af en helt ny type halmpræsser og betydelige investeringer i nye pressere, frontlæssere og kraner. Det har formentlig lange udsigter, men der er næppe tvivl om, at tendensen går i retning af tungere baller. Danmarks Jordbrugsforskning har regnet ud, at de danske kraftværker vil kunne spare cirka 40 millioner kroner om året, hvis man gik over til halmballer på hver ét ton, så det er et område med et betydeligt potentiale for besparelser.

Landmænd, der bor tæt på kraftværket, vil ofte vælge selv at transportere halmen til værket med traktor, men afstanden skal ikke være ret stor, før det bedre kan betale sig at bruge lastbil. På de

værker, hvor halmen læsses af med kran, stilles der i øvrigt krav om, at ballerne har en bestemt placering på ladet, så alene af den grund kan det være nødvendigt at bruge lastbiler.

Håndtering af halm på værket

På de mindre kraftværker læsses halmen af med en gaffeltruck, men på de lidt større værker foretages aflæsningen med en såkaldt løbekran, der kan tømme et lastbilstræk i to arbejds gange. I første omgang løftes de tolv øverste baller af bilen, og i næste omgang aflæsses de tolv nederste baller. Derefter rengøres ladet for halmrester, inden lastbilen igen forlader værket.

Systemet med løbekran er meget effektivt og sikrer en hurtig håndtering af halmballerne, så der ikke så let opstår kø i de kolde vintermåneder. Kranen er nemlig ikke kun i stand til at løfte ballerne af bilen. Den registrerer samtidig, hvor meget halmen vejer, og hvor stort fugtindholdet er. På den måde sikrer værket en korrekt afregning til landmanden, og man får mulighed for at afvise halm med et for højt fugtindhold.

På de mindre værker bliver fugtindholdet registreret med et spyd, som manuelt stikkes ind i hver halmballe. Er fugtindholdet over en vis grænse, sendes halmen retur til landmanden.

Kraftværkernes lagerkapacitet rækker for det meste kun til få dages forbrug ved fuld last, så i vinterhalvåret skal værkerne normalt have tilført friske forsyninger på alle hverdage. Transporten fra lageret og frem til kedlen foregår fuldautomatisk,

Aflæsning af halmballer på Studstrupværket. Løbekranen er i stand til at løfte 12 baller ad gangen, så en lastbil med anhænger eller en traktortrukket ladvogn kan tømmes ad to omgange.



Foto: Torben Skjøtt/BioPress



hvilket giver mulighed for at lade de mindre værker køre i ubemandet drift om natten og i weekenderne.

Produktion af skovflis

Hovedparten af den danske flisproduktion stammer fra udtynding af unge bevoksninger, men der produceres også flis af topender og andet hugst-afald ved såkaldt renafdrift – det vil sige, når et areal i skoven ryddes helt for træer. Endelig bliver der produceret flis af træ, der er ramt af råd, misfarvninger, svampeangreb, eller som af andre årsager ikke kan anvendes som gavntæ.

Træerne bør fældes i perioden fra januar til marts, hvor vandindholdet er forholdsvist lavt. Derefter bør de blive liggende i skoven sommeren over for at reducere vandindholdet yderligere og for at sikre, at nåle og smågrene er faldet af. Det er nemlig her, hovedparten af næringsstofferne findes, så det er vigtigt, at de bibeholdes på arealet for at sikre en sund og frodig skovbund.

Fældning af træerne kan foretages manuelt med motorsav eller med en såkaldt fældebunkelægger. Det er en specialmaskine, der griber fat om stammerne, skærer dem over tæt ved roden og lægger dem ned i lange rækker, så flişhuggeren efterfølgende kan få fat på træerne. Fældebunke-

læggeren kræver plads for at kunne køre rundt i bevoksningen, så det vil normalt være nødvendigt at fælde en række træer med motorsav, inden maskinen kan komme i arbejde.

Flişhuggere

En flişhugger er bygget op omkring en basismaskine med motor og styrehus. I fronten er selve huggeren monteret, og derudover er der en kran, som kan trække træerne ind i flişhuggeren. Bag på maskinen er der monteret en container med tip, så flisen kan hældes over i lastbilcontainere eller specielle vogne, der bruges til at transportere flisen ud af skoven.

De store flişhuggere er specialdesignede og kan kun bruges til flişhugning, mens de mindre maskiner ofte er bygget op omkring en stor landbrugstraktor med tipvogn. Flişhuggerdelen består af en tragt og to hydrauliske valser, der trækker træerne ind i selve huggeren. Den kan have forskellige udformninger, men i Danmark anvender man primært en roterende skive med 2 - 4 knive, der findeler træet.

Flişhuggere har gennemgået en hastig udvikling gennem de sidste 25 år. Tidligere kunne det tage en halv dag at fylde et lastbiltræk med flis – i dag klares den samme opgave på omkring en time. De store flişhuggere vejer dog en del, så de kan

Flişhugger fra Hedeselskabet i færd med at læsse flis over i en frakørselsvogn. Det giver en maksimal udnyttelse af den kostbare flişhugger.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Mindre flişhugger, der er bygget op omkring en stor landbrugstraktor med tipvogn. Flişhuggerdelen består af en tragt og to hydrauliske valser, der trækker træerne ind i selve huggeren.



Foto: Torben Skjøtt/BioPress

Etablering af udendørs flis-lager i plantage syd for Her-ning.

have svært ved at komme frem på alt for bløde arealer, ligesom de har en stor venderadius og kræver meget plads ved indkørsel i spor og rækker.

Moderne flishuggere er kostbare, så i de fleste tilfælde vil man lade en traktor med tipvogn eller en speciel frakørselsmaskine følge flishuggeren gennem skoven. Det giver en optimal udnyttelse af flishuggeren, når den ikke længere skal sørge for transporten ud til den nærmeste vej, hvor lastbilerne kan komme til.



Foto: Torben Skjøtt/BioPress

Der er forskel på flis. Længden kan variere mellem 5 og 50 millimeter, og derudover kan flis indeholde små kviste.

Lagring af flis

Det kan på mange måder være hensigtsmæssigt at producere flis i takt med, at den skal bruges på kraftværket, men det kan ikke altid lade sig gøre i praksis. Der vil næsten altid være perioder på året, hvor der ikke kan produceres flis, og i sommerhalvåret vil der generelt blive produceret mere flis, end kraftværkerne er i stand til at aftage. Derfor er det nødvendigt med en vis lagerkapacitet, som typisk vil blive placeret i skoven eller tæt på kraftværket.

Flis, der lægges på lager, bør være af så god en kvalitet som muligt. I de fleste tilfælde anvender man udendørs stakke, men skal vandindholdet reduceres, er det nødvendigt at få flisen under tag. Forsøg har vist, at lagring under tag i 4 – 6

måneder kan reducere vandindholdet fra cirka 45 procent til knap 30 procent. Ved lagring i det fri uden overdækning bliver flisen normalt mere våd end før lagring, og ved lagring med overdækning af presenninger forbliver vandindholdet nogenlunde konstant.

Transport af flis

Landevejstransport af skovflis foregår normalt med containerlastvogne, der kan transportere cirka 80 rummeter ad gangen, fordelt på to containere. Bliver flisen leveret umiddelbart efter, at den er hugget i skoven, bliver der normalt opstillet en række containere i udkanten af skoven, som bliver fyldt på skift. Moderne flishuggere kan producere 30 – 50 rummeter i timen, så det tager 2 – 3 timer at producere flis til to containere.

Der er forskel på flis

Flis er overordnet set træ, der er sønderdelt. Længden kan variere mellem 5 og 50 millimeter, og derudover kan flis indeholde længere kviste, de såkaldte stikkere, samt en mere fin fraktion, der nærmest kan betegnes som smuld. Langt hovedparten af den danske flisproduktion stammer fra skovene, men savværkerne producerer også flis, ligesom der findes pileflis, produceret på basis af helskud fra landmændenes plantager.

Hvilken type flis der er mest velegnet til energiformål, afhænger af kedelanlægget. Hovedparten af fjernvarmeværkerne har kedelanlæg, hvor flisen skubbes ind på en såkaldt vandrerist, og her er det en fordel at anvende grov flis. Hvis flisstykkerne er for små, og der er for meget smuld, kan det være svært at blæse luft igennem flislaget, og det giver en dårlig forbrænding.

Kraftværkerne er derimod mere tilbøjelige til at foretrække flis med stor spredning i partikelstørrelsen, da det er mere velegnet til kedler, hvor brændslet kastes ind over risten. Her vil smuld og mindre stykker brænde i luften over risten, mens de store stykker udbrænder på selve risten på samme måde som i en fjernvarmekedel.

For at gøre det lettere for varmeværkerne og kraftværkerne at få fat på den rigtige type flis har Forskningscentret for Skov & Landskab (i dag Center for Skov, Landskab og Planlægning, Københavns Universitet) udarbejdet en specifikation af, hvornår flis kan betegnes som fin, grov eller ekstra grov (se tabel 3.1).

På samme måde som der kan være forskellige krav til størrelsen af flisstykkerne, kan der være forskellige krav til, hvilke træsorter de enkelte vær-

Navn	Størrelse	Fin fraktion	Grov fraktion	Ekstra grov fraktion
Overlang 20	> 200 mm længde	< 0,5 %	< 1,5 %	< 1,5 %
Overlang 10	100 – 200 mm længde	< 3 %	< 6 %	< 6 %
Overstor	> 63 mm	0 %	< 3 %	**
Ekstra stor	> 45 og < 63 mm	< 2 %	< 15 %	**
Stor	> 16 og < 45 mm	< 60 %	–	**
Mellem	> 8 og < 16 mm	–	–	< 25 %
Småt	> 3 og < 8 mm	< 35 %	< 25 %	< 8 %
Smuld	< 3 mm	< 10 %	< 8 %	< 4 %

ker foretrækker at anvende. Er der tale om en hård træsort, som for eksempel bøg, er brændværdien på volumenbasis væsentligt højere end for flis, der er produceret på basis af gran eller pil (tabel 3.2). Økonomisk har det ikke nogen betydning for værkerne, da flisen afregnes i forhold til energiindholdet, men hvis fyringsanlægget er underdimensioneret, kan det være problematisk at bruge flis med en lav brændværdi.

I flis kan der forekomme forskellige urenheder i form af sten, jord og sand, hvilket medfører et større indhold af aske, når flisen brændes af. Askeindholdet afhænger endvidere af træsort samt af mængden af nåle, grene og ved. Det naturlige askeindhold i nåle kan være på over fem procent, i grene og bark cirka tre procent, mens det i stamved kun er på cirka 0,6 procent. Mange kedelanlæg kan justeres til forskel-

lige flistyper, så for flere af værkerne gælder det især om at sikre sig flisleverancer, hvor der ikke er for store variationer mellem de enkelte læs.

Brændelspiller

Brændelspiller er især velegnede, hvis biomassen skal transporteres over lange afstande, idet energitætheden er større end ved for eksempel halmballer og flis. Det giver bedre mulighed for at udnytte de enorme ressourcer af biomasse, som findes rundt om i verden, ligesom det flere steder kan være mere hensigtsmæssigt at transportere piller end for eksempel halmballer.

I 2001 besluttede energiselskabet Energi E2 (i dag DONG Energy) at bruge 450.000 tons biopiller på de eksisterende kraftværker i stedet for at bygge nye kraftværker, der kan udnytte biomassen direkte. Kort tid efter gik man i gang med at

Tabel 3.1. Oversigt over de krav, der i dag stilles til fin, grov og ekstra grov flis.

Træart	Brændværdi
Pil	2,0 GJ/rummeter
Gran	2,6 GJ/rummeter
Fyr	3,0 GJ/rummeter
Bøg	3,6 GJ/rummeter

Tabel 3.2. Typiske brændværdier for forskellige typer flis med et vandindhold på 50 procent.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Køge Biopillefabrik, hvor der produceres både træpiller og halmpiller. Pillerne sejles til henholdsvis Avedøre- og Amagerværket, hvor de bruges som brændsel.

En af de tre halmolinier på Køge Biopillefabrik. Her fjernes snorene, der holder ballerne sammen, og halmen snittes i mindre stykker, inden den formales til smuld i tre store hammermøller.



Foto: Torben Skøtt/BioPress



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Aflæsning af halm på pillefabrikken i Køge.

etablere en fabrik i Køge med en kapacitet til fremstilling af 150.000 tons halmpiller og 180.000 tons træpiller om året. Fabrikken, der stod klar i 2003, forsyner Amagerværket med halmpiller og Avedøreværket med en del af de 300.000 tons piller, der skal bruges om året – resten bliver købt på det frie marked.

Piller til eksisterende kraftværker

Umiddelbart kan det virke både dyrt og besværligt at bruge brændselspiller i store kraftværksanlæg. I første omgang skal såvel træflisen som halmstråene sønderdeles ved hjælp af hammermøller, og træsmuldet skal tørres, inden det kan blive presset til piller. Derefter skal pillerne fragtes til henholdsvis Amager- og Avedøreværket, hvor man som det første går i gang med at ødelægge dem. Pillerne kan nemlig ikke bruges direkte som brændsel på kraftværkerne – de skal først sønderdeles, hvorefter de kan indfyres som støv på samme måde som kulstøv.

Fordelen ved brændselspiller er, at de kan anvendes på eksisterende anlæg, så man slipper for at bygge nye kraftværker, der kan aftage biomassen direkte fra landbruget og skovbruget. Dertil kommer, at pillerne fylder væsentligt mindre end både flis og halmballer, og dermed reduceres udgifterne til transport. Det har ikke mindst betydning i forbindelse med import af biomasse, og ved Amagerværket har det i øvrigt været et krav, at transporten af biomasse skulle foregå ad søvejen. Myndighederne ville ganske enkelt ikke give tilladelse til lastbiltransport gennem Københavns i forvejen overfyldte vejnet.

Produktionen af brændselspiller kræver naturligvis energi, men til gengæld kan pillerne anvendes

på meget store kraftværker med en høj elvirkningsgrad. Den høje elvirkningsgrad medfører ganske vist en lidt lavere varmeproduktion, men det har mindre betydning, da de fleste kraftværker producerer mere varme, end der kan afsættes til fjernvarme.

Ved halmpiller er det cirka fire procent af halmens energiindhold, der bliver brugt til fremstilling af pillerne, mens det tilsvarende tal for træpiller er på omkring to procent.

Systemet med brændselspiller har endvidere den fordel, at det er meget fleksibelt. De kan transporteres fra et hvilket som helst sted i verden til et hvilket som helst kraftværk, så ejerne af kraftværkerne er ikke afhængige af lokale leverandører af biomasse.

Indkøring af anlægget

Indkøringen af den nye fabrik har imidlertid voldt en del vanskeligheder. Da fabrikken blev bygget, var der stort set ingen, der havde erfaringer med anlæg til fremstilling af halmpiller, ligesom der var meget begrænsede erfaringer med produktion af brændselspiller baseret på våd flis fra forskellige træsorter.

Problemerne med produktionen af træpillerne har især været knyttet til tørreprocessen, der skal sikre, at vandindholdet bliver reduceret fra cirka 45 til 10 procent. Den første del af tørreprocessen foregår i et tørreanlæg drevet af damp fra det nærliggende kraftværk ved Junckers Industrier. I tilknytning til tørreanlægget er der installeret en såkaldt dampomformer, der gør det muligt at genbruge 85 procent af dampen, samtidig med at de urenheder, som bliver frigivet under tørringen, kan sendes til et rensningsanlæg.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Losning af halmpiller til Amagerværket.

I teorien lyder det forholdsvis enkelt, men i praksis har det ikke været nogen let opgave at få vådt træsmuld ført ind i en beholder, hvor der er et tryk på fire bar og bagefter få det ud igen på kontrolleret vis. Men i dag fungerer det, og den viden, der er opbygget i Køge, kan formentlig komme mange andre anlæg til gavn.

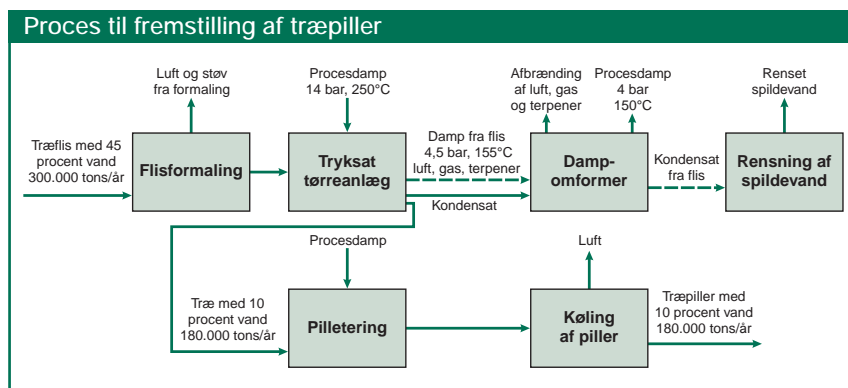
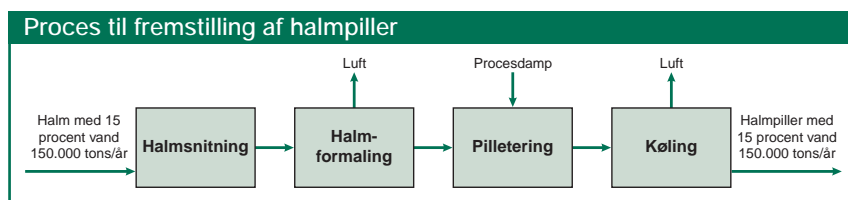
Halmpiller

Halmen, som indgår i pilleproduktionen i Køge, bliver udelukkende leveret af landmænd på Sjælland, Møn og Lolland-Falser. Taksterne på Storebæltsbroen er endnu for høje til, at det kan betale sig at transportere halm fra Fyn, hvor halmpriserne generelt har været lidt lavere end på Sjælland.

På pillefabrikken bliver halmen læsset af ved hjælp af en specialbygget løbekran, der kan tømme en lastbil for halm i to arbejdsgange. Halmballerne løftes i første omgang ind i et lagerområde, hvorfra de senere bliver transporteret ind på fabrikken. Her fjernes snorene, der holder ballerne sammen, og halmen snittes i mindre stykker, inden den formales til smuld i en hammermølle. Pilleteringen foregår i en pillepresse under tilsætning af en mindre mængde damp og vand. Til sidst afkøles pillerne, inden de transporteres på et 800 meter langt transportbånd til et pillelager ved Køge havn.

Træpiller

Når træerne fældes i de danske skove, bliver en del af træet anvendt til fremstilling af blandt andet gulve hos Junckers Industrier. Overskudsstræet



fra denne produktion bliver i dag brugt på pillefabrikken, men derudover bliver der også brugt en del træ, som kommer direkte fra skovene. Det er træ, der af den ene eller anden årsag ikke kan anvendes som gavntræ.

De store mængder træflis, som indgår i pilleproduktionen, bliver oplagret udendørs, hvorfra det føres til en hammermølle, der formaler flisen til smuld. Dernæst bliver smuldet tørret ved hjælp af damp fra kraftværket ved Junckers Industrier, inden det presses til piller. Efterfølgende afkøles pillerne og transporteres til en lagerhal på havnen.



Foto: Torben Skott/BioPress

Pillepresse åbnet for inspektion.

Opbygning af halmlager hos Halm80 i Nyborg. I højsæsonen beskæftiger virksomheden 80 mand med høst, halmpresning og håndtering af halm.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Biomasse som brændsel

– en udfordring for kraftværkerne

Biomasse som træ og halm er CO₂-neutrale brændsler, der kan være med til at begrænse drivhuseffekten. Det skyldes, at den CO₂-mængde, som frigøres ved forbrænding af biomasse, svarer til den mængde CO₂, der er optaget fra atmosfæren ved biomassens vækst. Ved delvist at erstatte anvendelse af fossile brændsler som kul, olie og gas med biomasse kan CO₂-emissionen fra produktion af el- og varme reduceres betydeligt. Endvidere har biobrændsler et lavere indhold af svovl og tungmetaller end kul, hvilket bidrager til et bedre miljø.

Til gengæld har biobrændsler en række egenskaber, der giver store udfordringer ved anvendelse til el-produktion:

- Biobrændsler fylder betydeligt mere end kul og olie, så kraftværkerne skal håndtere langt større mængder brændsel.
- Biobrændsler er vanskelige at håndtere, så det har været nødvendigt at udvikle nye håndteringssystemer. For eksempel kan det drille, når snorene om en halmballe skal fjernes automatisk, eller når vinterens kulde forplanter sig til biomasselageret og tilhørende transportanlæg.
- Biobrændsler indeholder kalium og klor, der kan give problemer med belægningsdannelse, korrosion, emissioner og nyttiggørelse af restprodukter.

- Biobrændsler kan give problemer med arbejdsmiljøet i form af blandt andet støv og svampesporer, der kan medføre luftvejslidelser.

Lidt kemi

Biomassen er hovedsageligt opbygget af kulhydrat-forbindelser (cellulose og hemicellulose) og lignin. Disse forbindelser består primært af kulstof, brint og ilt, der ved forbrænding omdannes til CO₂ og vand.

Biomasse har et højere indhold af ilt end kul og har derfor en lavere brændværdi. Hertil kommer, at træflis har et højt vandindhold, hvilket yderligere reducerer brændværdien. Typiske værdier

Brændsel	Vandindhold	Brændværdi
Kul	10 %	25 MJ/kg
Træpiller	8 %	17,5 MJ/kg
Halm	14 %	15 MJ/kg
Træflis	45 %	9,5 MJ/kg

Tabel 4.1. Typiske værdier for vand- og energindhold for kul, halm, træpiller og træflis. Bemærk, at træpiller er det brændsel, der kommer tættest på kul, hvad angår vandindhold og brændværdi.



Flishugning i Klosterhede Plantage nord for Holstebro

Foto: Torben Skøtt/BioPress

for vand- og energiindhold for de forskellige brændsler er vist i tabel 4.1.

Endvidere har biomasse et mindre indhold af kvælstof (N), svovl (S) og klor (Cl), der ved forbrænding delvist omdannes til luftformige emissioner i form af NO_x , SO_2 og HCl . Hertil kommer de askedannende grundstoffer som blandt andet silicium (Si), calcium (Ca) og kalium (K). Under forbrænding danner disse stoffer oxider, sulfater og klorider, der udskilles fra fyringsanlægget som bundaske og flyveaske.

I figur 4.1 er indholdet af svovl, kvælstof, klor, kalium og silicium i halm og træflis sammenlignet med kul. Af hensyn til sammenligneligheden af brændsler med forskellig brændværdi er indholdet af de forskellige stoffer i figuren relateret til brændværdien. Det ses tydeligt, at indholdet af svovl er betydeligt større i kul end i halm og træflis, og at indholdet af klor og kalium i halm er meget højere end i kul og træflis.

Ved forbrænding af halm afsættes kalium og klor på kedlens rør som en saltbelægning (kaliumklorid), der er stærkt korrosiv i anlæg med høj dampetemperatur. Indholdet af kalium og klor i træflis er på samme niveau som i kul, men alligevel er korrosionsrisikoen ved forbrænding af træflis meget højere end for kul. Dette skyldes, at kul – som vist i figuren – har et højt indhold af silicium, der kan reagere med kaliumklorid, hvorved klorholdige belægninger undgås.

Forskel på halm

Halmens sammensætning er påvirket af art, gødskning og nedbørsforhold. Halm fra hvede, byg og rug har en nogenlunde ens sammensætning, bortset fra at hvede har et højere indhold af silicium end byg og rug. Halm fra raps er karakteriseret ved at have et meget lavt indhold af silicium og et forholdsvis højt indhold af calcium.

Halmens indhold af klor stammer i vid udtrækning fra brugen af kunstgødning. Dyrkningsforsøg med anvendelse af klorfri og normal klorholdig gødning har vist et betydeligt fald i halmens klorindhold på de arealer, hvor den klorfrie gødning blev anvendt. Derimod betyder tilførsel af kalium med gødning ikke umiddelbart noget for halmens indhold af kalium, hvilket hænger sammen med, at landbrugsjorden som regel indeholder et stort overskud af kalium.

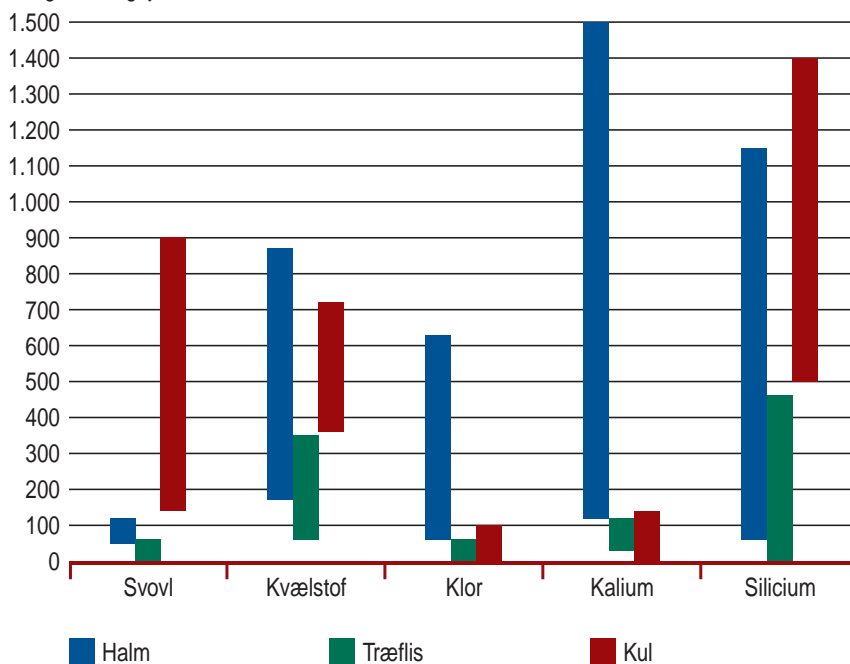


Foto: Torben Skott/BioPress

Opbygning af flislager ved Heringværket, der bruger cirka 250.000 tons flis om året.

Kalium og klor udvaskes fra halmstråene, når det regner. Det gælder både for stående strå umiddelbart inden høst og for strå, der ligger på marken efter høst. Tørke i perioden før og efter høst medfører derfor en fyringssæson med højt indhold af kalium og klor i halmen og deraf følgende driftsproblemer på de halmfyrede kraftvarmeværker.

Milligram/megajoule



Figur 4.1. Indholdet af svovl, kvælstof, klor, kalium og silicium i biobrændsler og kul. Bemærk, at indholdet af de forskellige stoffer er relateret til brændværdien.

Kraftværksteknologier

– forbrænding af halm og træ i dampturbineanlæg

Da interessen for biomassebaseret el- og varme- produktion begyndte at vise sig i Danmark i slutningen af 1980'erne, stod det klart, at den internationale erfaring var begrænset og udelukkende omfattede anvendelse af træ som brændsel.

Halmbaseret kraftvarmeproduktion var ukendt, men fra halmfyrede fjernvarmeværker var det kendt, at halm er et vanskeligt brændsel.

For at kunne realisere målet om anvendelse af store mængder biomasse til kraftvarmeproduktion var det derfor nødvendigt for danske kraftværker og leverandører at igangsætte et ambitiøst udviklings- og demonstrationsprogram, især rettet mod kraftværksteknologi for halm.

Tiltagene har omfattet både forbrændings- og forgasningsteknologier. Det er dog kun forbrændingstekniske løsninger, der indtil nu har bidraget væsentligt til biomassebaseret el-produktion i Danmark, og forgasningsteknologien er derfor ikke medtaget i dette afsnit. Inden for biomasseforbrænding er følgende fire teknologier blevet fulgt:

- ristefyring af halm og træ
- tilsatsfyring af halm på kulfyret kraftværkskedel
- biostøvfyring (samfyring af træpiller, gas og olie)
- cirkulerende fluid bed (CFB) forbrænding af halm og kul.

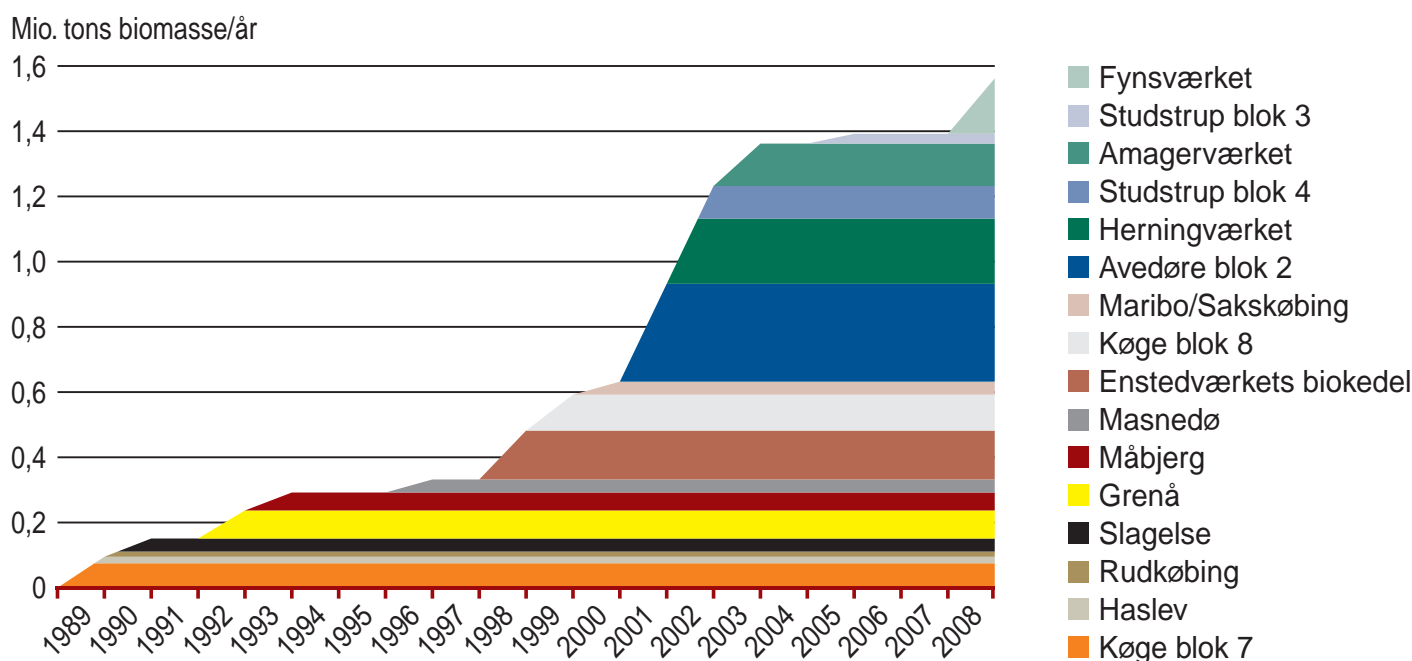
En oversigt over etablering af de forskellige anlæg er vist i tabel 5.1 og figur 5.1. Fælles for alle anlæg er, at el produceres ved hjælp af en dampturbine. Energien fra forbrændingsprocessen i fyrrummet overføres i kedlen til et vand/damp-kredsløb, hvor der produceres damp ved højt tryk og høj temperatur. Dampens energi omdannes via dampturbinen til elektrisk energi. Derefter kondenserer dampen og føres tilbage til vand/damp-kredsløbet. Endvidere kan der produceres fjernvarme, der leveres til forbrugerne via et fjernvarmenet.

Ristefyring af halm og træ

Som det fremgår af tabel 5.1, er ristefyring den mest udbredte teknologi til kraftvarmeproduktion i Danmark. Som navnet indikerer, indfødtes bio-

Anlæg	Teknologi	Biomasseforbrug/år	Damptemperatur	Damptryk	Idriftsat
Haslev Kraftvarmeværk	Ristefyring af halm	26.000 tons	455 °C	67 bar	1989
Rudkøbing Kraftvarmeværk	Ristefyring af halm	14.000 tons	450 °C	60 bar	1990
Slagelse Kraftvarmeværk	Ristefyring af halm	30.000 tons	450 °C	67 bar	1990
Maribo-Sakskøbing Kraftvarmeværk	Ristefyring af halm	45.000 tons	540 °C	93 bar	2000
Fynsværket	Ristefyring af halm	150.000 tons	540 °C	110 bar	2009
Køge Kraftvarmeværk blok 7	Ristefyring af træ	80.000 tons	525 °C	93 bar	1987
Køge Kraftvarmeværk blok 8	Ristefyring af træ	120.000 tons	525 °C	93 bar	1999
Herningværket	Ristefyring af træ	250.000 tons	525 °C	115 bar	2002
Assens Kraftvarmeværk	Ristefyring af træ	45.000 tons	525 °C	77 bar	1999
Randers	Ristefyring af kul og tør biomasse	74.000 tons	525 °C	111 bar	2002*
Måbjerg biokedel	Ristefyring af træ og halm	65.000 tons	520 °C	67 bar	1993
Masnedø Kraftvarmeværk	Ristefyring af træ og halm	45.000 tons	522 °C	92 bar	1996
Ensted biokedel	Ristefyring af træ og halm	150.000 tons	510 °C	210 bar	1998
Avedøre 2 biokedel	Ristefyring af halm	150.000 tons	545 °C	310 bar	2001
Studstrupværket blok 4	Tilsatsfyring, halm til kul	100.000 tons	540 °C	270 bar	2002*
Studstrupværket blok 3	Tilsatsfyring, halm til kul	30.000 tons	540 °C	270 bar	2005*
Avedøre 2 hovedkedel	Biostøvfyring i kraftværkskedel	300.000 tons	542 °C	310 bar	2001
Amagerværket	Biostøvfyring	130.000 tons	480 °C	120 bar	2003
Grenaa	CFB forbrænding af halm og kul	40.000 tons	505 °C	92 bar	1992

Tabel 5.1. Oversigt over biomassefyrede kraftvarmeværker i Danmark. * Ombygning til biomasse.



brændslet på en rist i bunden af fyrrummet, og det er her, biomasseforbrændingen finder sted. Et tværsnit af en typisk moderne ristefyret halmkedel er vist i figur 5.2.

Fra halm lageret overføres halmballerne til typisk 2-4 halm linier. På de fleste anlæg føres halmballerne igennem en opriver, hvor halmen løsnes op og indføres på risten ved hjælp af transportsnegle. Når halmen presses gennem indfødningskanalen dannes en halmprop, der sikrer mod tilbagebrænding i transportsystemet og indtrængning af falsk luft i fyrrummet.

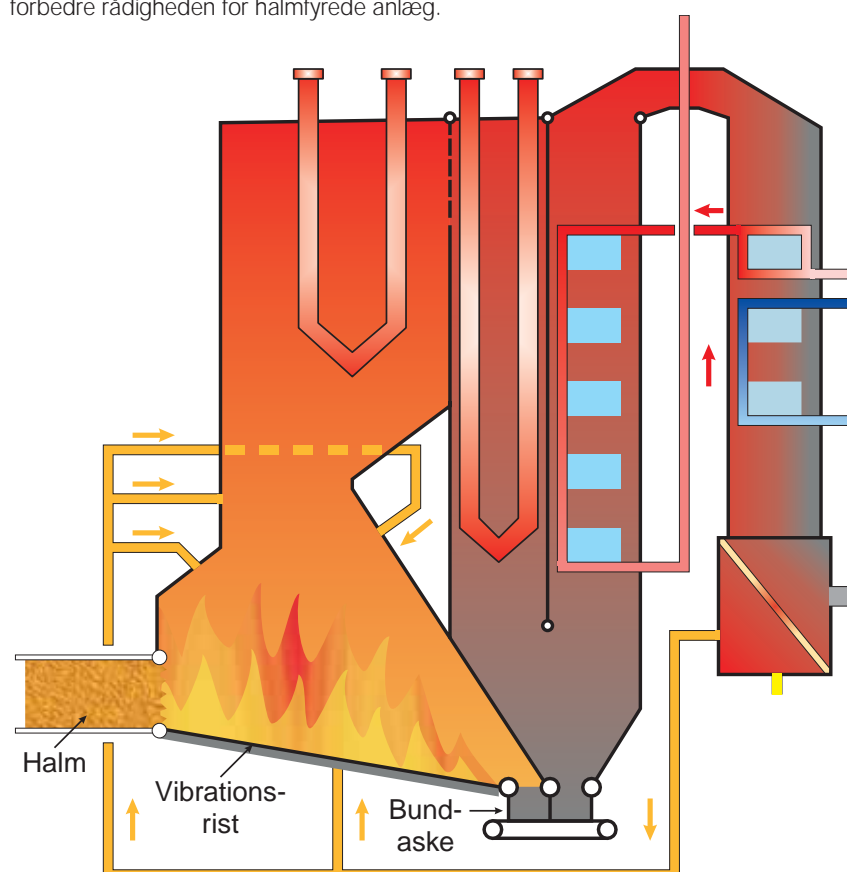
Halmen indføres på en rist i bunden af fyrrummet. På næsten alle anlæg er der tale om en skrå, vandkølet rist, der vibrerer med jævne mellemrum, hvorved brændslet bevæges hen over risten. Den aske, der bliver tilbage efter forbrændingen på vibrationsristen (bundasken), opsamlers for enden af risten i et vandfyldt kar. En mindre del af asken (flyveasken) føres igennem kedelanlægget med røggassen.

På anlæggene i Haslev og Måbjerg fødes ballerne direkte ind i kedlen efter det såkaldte "cigarbrænderprincip". Der foregår således ikke nogen neddeling af halmen, idet ballerne blot brænder fra den ene ende. En del af halmstråene vil naturligvis falde ned på risten, hvor de udbrænder.

Design af overhedere med pålidelig drift og høje dampdata har været en af de største udfordringer på de ristefyrede halm anlæg. Halmasker har et lavt smeltepunkt, og der er stor risiko for belægninger på overhederrørene, som kan gøre det

nødvendigt at stoppe kedlen og få rensede rørene. På de nyere anlæg er der installeret en overhedersektion i toppen af fyrrummet, hvor afstanden mellem overhederrørene er så stor, at der er plads til opbygning af en tyk belægning af halmasker. I kombination med sodblæsere til rensning af de øvrige hedeflader er det på den måde lykkedes at forbedre rådigheden for halmfyrede anlæg.

Figur 5.1. Udviklingen i forbruget af biomasse på de elværksejede kraftvarmeværker i perioden 1989 – 2002.



Figur 5.2. Tværsnit af moderne ristefyret halmkedel.

Figur 5.3. Udviklingen i temperatur og tryk på de biomassefyrede anlæg.

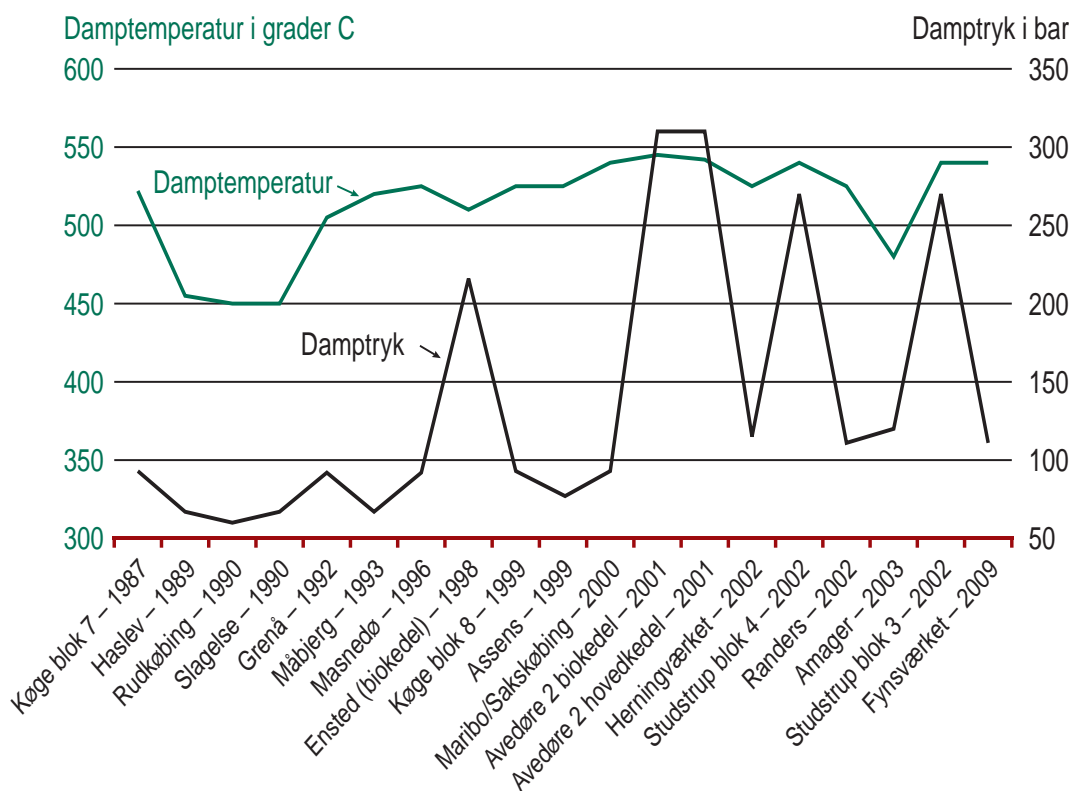


Foto: Forskningscentret CHEC

Belægninger på overhederrør på halmfyret kraftværk.

Det nyeste overhederdesign har også gjort det muligt at hæve damptemperaturen og dermed den elektriske virkningsgrad. I figur 5.3 ses udviklingen i temperatur og tryk på de ristede anlæg. Det er lykkedes at hæve temperaturen fra 450° C på de første anlæg til 540° C på de senere anlæg. Moderne kulfyrede kraftværker har damptemperaturer på 580 – 600° C, men så højt er det ikke muligt at nå ved biomasseforbrænding på rist. Det skyldes, at de kloridholdige belægninger, som dannes på overhederne, er stærkt korrosive.

Der er forsket meget i belægningsdannelse og korrosion ved ristede anlæg. Det er blandt andet kortlagt, hvordan kaliumklorid fra halm fordamper under forbrændingen og afsættes på overhederrørene.

Tilsvarende er korrosionsmekanismerne blevet nøje undersøgt. Overhederrør indeholder jern, krom og nikkel, og det har vist sig, at kloriderne ved høje temperaturer selektivt fjerner krom fra stålet og dermed svækker den mekaniske styrke af rørene. Et indhold af krom på 12 – 18 procent har vist sig at give den bedste beskyttelse af overhederrørene.

Der har endvidere været udført forsøg med at tilføje forskellige additiver til forbrændingen for at reducere korrosionsangrebene. Ved træfyring er det muligt at fjerne klorid i belægningerne, men ved halmfyring er askemængderne så store, at

forbruget af additiver bliver for højt til, at det er økonomisk rentabelt.

Inden røggassen ledes ud til atmosfæren gennem skorstenen, skal den renses for flyveaske. En stor del af halmflyveasken er meget finkornet og kan være vanskelig at udskille i et elektrofilter. De fleste halmfyrede kraftvarmeværker bruger derfor posefilter til røggasrensning.

På flisfyrede kraftvarmeværker er kedelanlægget bygget efter tilsvarende principper som vist i figur 5.2, men indføddningen foregår ved hjælp af



Foto: Torben Skjøtt/BioPress

På de fleste anlæg føres halmballerne igennem en opriver, hvor halmen løsnes op, inden den føres ind på vibrationsristen i kedlen.



Foto: Torben Skjøtt/BioPress

Afbrænding af halm på vibrationsrist. Ristede anlæg er i dag den mest udbredte teknologi til forbrænding af biomasse i kraftværkskedler.



To af de fire halmlinier på Studstrupværket, der fører halmen fra lageret hen til op-riverne.

spreaderstokere, der kaster træflisen ind på risten. Træ har et betydeligt lavere indhold af aske end halm, og træaske har et højere smeltepunkt end halmaske. Belægninger i kedlen er derfor ikke så stort et problem ved træfyring som ved halmfyring. Også for flisfyrede anlæg er den maksimale dampetemperatur begrænset til 540° C på grund af kloridholdige belægninger.

Tilsatsfyring af halm på kulfyret kraftværkskedel

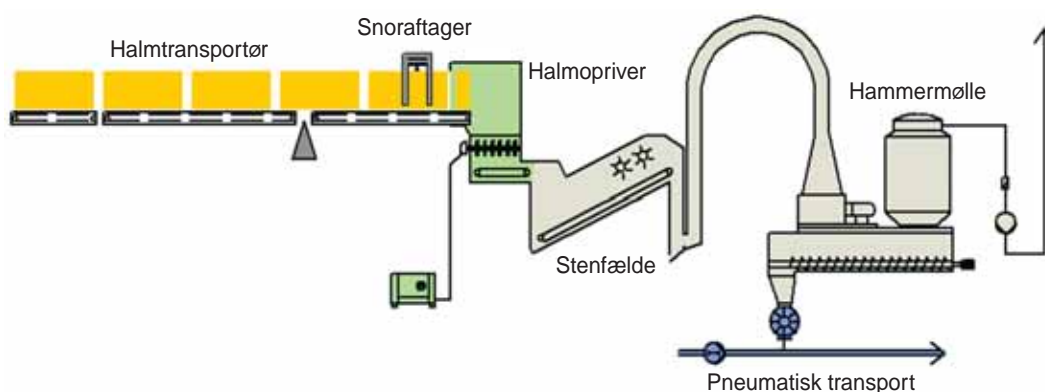
Ved tilsatsfyring forbrændes halm sammen med kul i en kulstøvsfyret kraftværkskedel. Ved denne løsning skal der ikke etableres et nyt kedel- og turbineanlæg, og investeringsomkostningerne er derfor meget lavere end for ristefyrede anlæg. Samtidig er emissioner til atmosfæren begrænsede, da de kulfyrede kraftværker i forvejen er udstyret med effektive røgrensningsanlæg til reduktion af SO₂, HCl og NO_x.

Tilsatsfyring blev udviklet i begyndelsen af 90'erne og blev demonstreret i fuld skala på Studstrupværkets blok 1 i 1996 – 97. Det blev eftervist, at tilsatsfyring er en pålidelig forbrændingsteknisk løsning, men på det tidspunkt kunne der ikke peges på anvendelsesmuligheder for flyve-

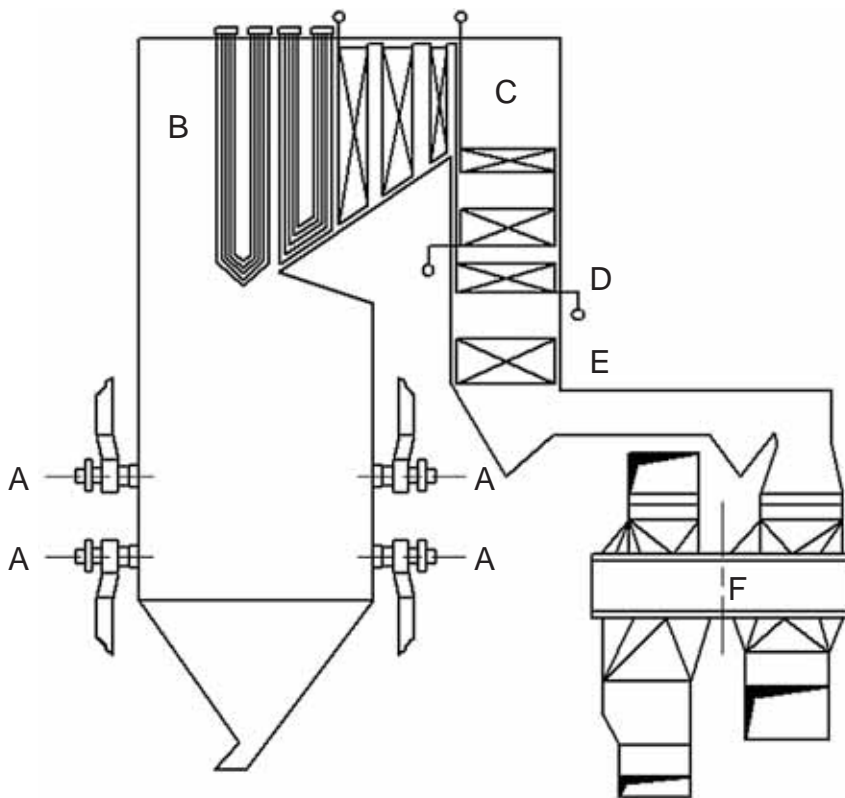
asken. Efter nogle år åbnede der sig dog en mulighed for at afsætte asken til cementproduktion, og dermed var vejen banet for etablering af det første kommercielle anlæg på Studstrupværkets blok 4, der blev idriftsat i 2002. Senere er det også blevet muligt at anvende flyveaske til betonfremstilling. Af hensyn til nyttiggørelse af asken begrænses andelen af halm til 20 vægtprocent, svarende til 13 procent af den indfyrede energi.

Halmhåndteringsanlægget på Studstrupværket er vist i figur 5.4. Med en kæde-transportør føres halmballerne fra lageret til en snoraftager, hvor de snore, der holder ballen sammen, fjernes. Herefter bliver halmen løsnet i en halmopriver og suget igennem en stenfælde, hvor sten og andre fremmedlegemer udskilles. I sidste trin bearbejdes halmen i en hammermølle til en længde på maksimalt 50 mm og sendes med luft til kedlens brændere.

Halmen forbrændes sammen med kul i kombinerede kul/halm-brændere. Fire ud af kedlens 24 brændere er ombygget til kul/halm, idet der er gjort plads til at sende halmen ind i brænderens centerrør. Brændernes placering i kedlen ses i figur 5.5 og en skitse af en ombygget brænder er vist i figur 5.6. Den kombinerede kul/halm-



Figur 5.4 Halmhåndteringsanlægget på Studstrupværket.



A: Brænder
B: Sekundær overheder
C: Genoverheder

D: Primær overheder
E: Economiser
F: Luftforvarmer

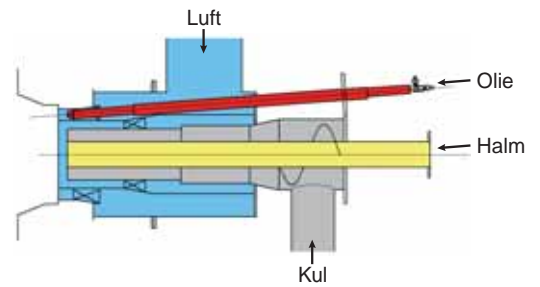
Figur 5.5. Placering af brænderne på Studstrupværket.

brænder giver en meget effektiv forbrænding, og indholdet af restkulstof i asken er generelt lavere ved halmtilsatsfyring end ved forbrænding af kul alene.

Under udvikling af teknologien med tilsatsfyring var der stor opmærksomhed på risikoen for forøget korrosion i kedlen, som det er kendt fra de riste-fyrede anlæg. Det har dog vist sig, at kulasken har en meget gunstig indvirkning på de korrosive bestanddele i halmen. Ved en reaktion mellem



Forsøgsreaktor til undersøgelse af katalysatordeaktivering.



Figur 5.6. Skitse af kulbrænder, der er ombygget til at kunne fyre med både kul og halm.

kaliumklorid fra halmen og kulaske indbindes kalium i asken, og klorid frigøres som HCl i røggassen. Såfremt halmandelen ikke er for høj, dannes der ikke kloridholdige belægninger i kedlen, og korrosionsrisikoen er derfor begrænset.

Reaktionen mellem kaliumklorid og kulaske har også en gavnlig effekt på de SCR-katalysatorer, der er sat ind for at reducere emission af NO_x . Katalysatorerne bliver forgiftet af kaliumforbindelser og bliver hurtigt deaktiveret i røggas fra riste-fyrede halmanlæg. Ved tilsatsfyring indbindes kalium i kulasken og bliver dermed mindre skadelig. Dette er eftervist i et forsøg på Studstrupværket, hvor røggas fra halmtilsatsfyring blev sendt igennem en reaktor med ni katalysatorelementer i 15.000 timer.

Biostøvfyning i kraftværkskedel

På Avedøre 2's hovedkedel anvendes gas, olie og træpiller som brændsel. Der er tale om en moderne kraftværkskedel designet til en damptemperatur på $580\text{ }^\circ\text{C}$ for højtryksdamp og $600\text{ }^\circ\text{C}$ for mellemtryksdamp. Der er fire niveauer af brændere placeret i kedlens hjørner, og de tre nederste rækker er indrettet til træpillefyning. Anlægget er udstyret med røggasrensning i form af SCR-anlæg til NO_x -reduktion, elektrofilter og vådt afsvovlingsanlæg.

Træpillerne transporteres på bånd fra værkets lager til siloer i kedelbygningen. Fra siloerne føres træpillerne til traditionelle kulmøller, hvor pillerne pulveriseres, og træpulveret føres til de 12 pulverbrændere. Der kan indfyres 135 tons træpiller i timen. Da træpulver er eksplosionsfarligt, er der installeret udstyr til eksplosionsundertrykkelse i transportsystemet.

Ved samfyring af træpiller og olie dannes der belægninger på kedelrørene bestående af kalium fra biomassen samt svovl og vanadium fra olien. Sådanne belægninger er korrosive, og for at begrænse korrosionsrisikoen er damptemperaturen reduceret. Asken fra samfyring af træpiller og olie

giver også anledning til forøget deaktivering af SCR-katalysatorer.

Der er udført forsøg med at tilsætte kulaske til kedlen, og resultaterne viser, at kulaske kan reducere både korrosionsrisikoen og deaktivering af katalysatoren. Kulaske hjælper også med til at minimere problemer med tilstopning af luftforvarmer, reducerer dannelsen af svovlsyre, gør askeproduktet mere egnet til nyttiggørelse og reducerer støvemissionen fra anlægget. Der er derfor installeret udstyr til permanent indblæsning af kul- aske i fyrrummet.

Cirkulerende fluid bed forbrænding af halm og kul

På Grenaa Kraftvarmeværk forbrændes halm sammen med kul i en cirkulerende fluid bed kedel. I fluid bed kedler foregår forbrændingen i et fluidiseret leje af sandpartikler. I en cirkulerende fluid bed føres en del af partiklerne med røggassen ud af fyrrummet, udskilles i en cyklon og recirkuleres.

Ved fluid bed forbrænding er forbrændingstemperaturen lavere end ved tilsatsfyring og riste- fyring, og derved reduceres dannelsen af NO_x . Derudover er det muligt at fjerne svovl fra røggassen ved at tilføre kalk til bedden.

Fluid bed kedler er fleksible med hensyn til brændselsvalg, men er følsomme overfor aske med lavt smeltepunkt, som for eksempel halm- aske. Årsagen er, at smeltet aske får sandpartik- lerne i bedden til at klæbe sammen, hvilket fører til, at partiklerne ikke længere kan holdes svæ- vende. Derfor kan halmandelen maksimalt ud- gøre 50 procent. I Grenaa anvendes foruden kul og halm også andre biobrændsler i mindre mængder.

Ligesom på de ristetfyrede halmforbrændingsan- læg har der på fluid bed anlægget i Grenaa været mange udfordringer med hensyn til belægnings- dannelselse og korrosion. Derudover har der også været problemer med mekanisk slid på kedel- rørene, men diverse udskiftninger og ombygning- er har løst de største problemer.

Ved fluid bed forbrænding af kul og halm frem- kommer et restprodukt, der er en blanding af kulaske, halmaske, kalk og afsvovlingsprodukter. Det har endnu ikke været muligt at finde anvendelse for dette produkt, der derfor må depone- res. Den manglende nyttiggørelse af restproduk- tet er en af de væsentligste årsager til, at fluid bed princippet kun bliver anvendt på anlægget i Grenaa.

Ved firing med biomasse udtages asken som henholdsvis bundaske fra kedlen og som flyveaske udskilt fra røggassen. Begge typer aske indeholder gødningsstoffer, primært kalium, som biomassen har optaget fra jorden.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Emissioner og restprodukter

– røggas og aske fra biobrændsler

Ved alle former for energiproduktion gælder det om at udnytte restprodukterne bedst muligt for på den måde at reducere miljøbelastningen. Ved traditionel kulfyring anvendes asken til produktion af cement og beton, mens gips fra afsvovlingen anvendes til produktion af gipsplader. Ved forbrænding af biomasse afhænger mulighederne for at nyttiggøre asken af den anvendte firingsteknologi.

Ved ristefyring af biomasse udtages asken som henholdsvis bundaske fra risten og som flyveaske udskilt fra røggassen. Begge typer aske indeholder gødningsstoffer, primært kalium, som biomassen har optaget fra jorden. Tilbageføring af asken til land- og skovbruget kan sikre, at en del af gødningsstofferne bliver i kredsløbet, og at der kan spares lidt på importen af kunstgødning.

Udspreddning af bundaske fra halmfyret kraftvarmeværk. Bundasken udgør cirka 80 procent af den samlede mængde halmaske fra anlægget.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Bioaskebekendtgørelsen

Udspreddning af bioaske i land- og skovbruget reguleres i Danmark af "Bioaskebekendtgørelsen" (Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse og biomasseseaffald til jordbrugsformål). Bekendtgørelsen fastsætter regler for hvor store mængder aske, der må udspreddes per hektar, og hvilke krav asken skal opfylde. I dag udspreddes bundasken fra de halmfyrede værker på landbrugsjorden, og dermed bliver hovedparten af halmasken nyttiggjort.

Flyveasken udgør cirka 20 procent af den samlede mængde halmaske, men den indeholder store mængder værdifuld gødning i form af kaliumklorid og kaliumsulfat. Kaliumsaltene frigøres under forbrændingen til røggassen og opkoncentreres derfor i flyveasken. Det samme er dog også tilfældet for tungmetallet cadmium, hvilket medfører, at flyveasken ikke kan opfylde bioaskebekendtgørelsens krav til indhold af cadmium. Halmflyveaske må derfor ikke udsprede på landbrugsjord og er i en lang årrække blevet deponeret.

På det seneste er det imidlertid lykkedes at udvikle en ny proces, der gør det muligt at udvinde flydende kaliumgødning fra flyveasken, stort set uden indhold af tungmetaller. Gødningsproduktet kan leveres enten til en gødningsproducent eller direkte til landmanden. Et produktionsanlæg af denne type er etableret på Kommune Kemi og et lignende anlæg i mindre skala findes på Enstedværket.

Asken fra forbrænding af flis kan i princippet anvendes i skovbruget, men udspreddning af træaske finder stort set ikke sted i Danmark. Det skyldes enten, at bioaskebekendtgørelsens grænseværdier for tungmetaller ikke kan overholdes, eller at de tilladte udspreddningsmængder per hektar er for små til, at udspreddning er økonomisk interessant. Der forskes dog i, om en forbehandling af træaske kan gøre den mere egnet til udspreddning.

Ved tilsatsfyring af halm udgør halmasken kun en mindre del af askemængden – hovedparten er fortsat kulaske. Indsatsen har derfor været koncentreret om at sikre, at den traditionelle nyttiggørelse af asken til beton- og cementproduktion kan bibeholdes, selvom der tilføres store mængder kalium med halmen. I et samarbejde med aftagerne af flyveaske i industrien er det lykkedes at demonstrere, at flyveaske fra tilsatsfyring kan anvendes på lige fod med den kendte kulaske under forudsætning af, at halmindelen ikke er for høj, og/eller der anvendes kul med et lavt indhold af alkali.

Emissionsforhold

Emissionerne fra biomasseforbrænding afhænger af biomassens sammensætning, den anvendte



Foto: Per Kynde/Thy Statskovdistrikt

fyringsteknologi og hvilke røggasrensingsanlæg, der er anvendt.

Ved ristefyring af biomasse omfatter røggasrensningen typisk et posefilter, der fjerner askepartiklerne, og emissionen af støv er derfor meget lav. Biomassens indhold af S, Cl og N omdannes delvist til SO₂, HCl og NO_x, der udsendes sammen med røggassen.

Ved halmfyring indbindes en del af indholdet af S og Cl i asken som kaliumsulfat og kaliumklorid, og det er kun en lille del af indholdet af N, der omdannes til NO_x – resten bliver til N₂, der i forvejen er hovedbestanddelen i luft. Emissionen af dioxiner er meget lav fra ristefyrede kraftvarmeanlæg og ligger betydeligt under de krav, der stilles til affaldsforbrændingsanlæg. Træ indeholder mindre S og Cl end halm, og emissionen af SO₂ og HCl er derfor lavere.

Ved tilsatsfyring af halm er det kulfyrede kraftværk udstyret med afsvovlingsanlæg og som regel også SCR-anlæg til katalytisk NO_x-reduktion med ammoniak. Emissionerne af HCl, SO₂ og NO_x er derfor lavere end ved ristefyring af halm. På grund af den effektive forbrændingsproces ved kulstøvsfyring er også emissionen af CO betydeligt lavere. Tilsvarende forhold gør sig gældende ved samfyring af olie og træpiller, som det er tilfældet på Avedøreværkets blok 2.

Forsøg med udspreddning af flisaske i skoven.

Emission	10% O ₂ , tør
CO	200 mg/Nm ³
SO ₂	100 mg/Nm ³
HCl	50 mg/Nm ³
NO _x	200 mg/Nm ³
Støv	10 mg/Nm ³

Tabel 6.1. Typiske årsmiddelværdier for emissioner fra ristefyrede halmanlæg.

Emission	10% O ₂ , tør
CO	75 mg/Nm ³
SO ₂	5 mg/Nm ³
NO _x	150 mg/Nm ³
Støv	10 mg/Nm ³

Tabel 6.2. Typiske årsmiddelværdier for emissioner fra ristefyrede flisanlæg.

Rengøring af Måbjerg- værket ved Holstebro. Medarbejderen bærer beskyttelsesudstyr med maske, P3-filte og blæser under arbejdet.



Foto: Nils Rosenbold

Arbejds miljø

– med fokus på støv og skimmelsvampe

Medarbejdere, der arbejder med biobrændsler, skal naturligvis tage højde for de sikkerhedsmæssige problemer, der kan opstå, når tunge træstammer og halbkugler skal håndteres, men derudover er der en række sundhedsmæssige aspekter, som man også skal være opmærksom på.

Det drejer sig om støv og mikroorganismer i form af svampesporer fra skimmel og bakterier. Støv kan være et problem ved håndtering af alle former for biobrændsler, men det er normalt ved håndtering af brændselspiller og halm, at generne er størst. Ved håndtering af flis er det derimod svampesporer, som udgør den største risiko.

Støv kan indeholde forskellige former for faste partikler, men uanset hvad støvet består af, vil tilstrækkelige mængder kunne påvirke helbredet. Symptomer kan være irritation af slimhinder i øjne, luftveje og hud. Påvirkning i længere tid kan blandt andet medføre lungesygdomme og i værste tilfælde kræft. I Danmark arbejder cirka 650.000 personer i erhverv, hvor der jævnligt forekommer høje koncentrationer af støv.

Hvis flisen bruges umiddelbart efter fremstilling, vil der sjældent være problemer. Det er hovedsageligt i flislagre, svampesporerne har mulighed for at formere sig i stor stil. Derfor er det primært,

når flisen efterfølgende håndteres, at der kan opstå problemer med arbejdsmiljøet.

Skimmelsvampe

Svampesporer fra skimmel findes overalt og er uundværlige i naturens kredsløb. Svampenes sporer svæver frit omkring i luften, og når de lander på et egnet levested, etablerer de sig og danner hurtigt en hel koloni. I private hjem støder vi blandt andet på skimmelsvampe i forbindelse med gamle madvarer og i vådrum, hvor der ikke er luftet ordentligt ud.

Biobrændsler består af organisk materiale og er derfor et godt vækstmedium for skimmelsvampe – især når der er fugt til stede som i en flisstak. Her vokser svampene meget hurtigt, og det tager ikke lang tid, før hele stakken er inficeret af skimmelsvampe. Der findes også andre mikroorganismer i forbindelse med flis, herunder forskellige bakterier, men den altovervejende risiko består i kontakten med skimmelsvampe.

Sygdom

Udsættes en person for store mængder svampesporer over længere tid, kan det medføre alvorlige helbredsproblemer. De typiske symptomer er øjne, der løber i vand, åndedrætsbesvær, hoste, forkølelse, hovedpine og maveonde.



Foto: Torben Skjøtt/BioPress

Ved losning af flis, som her på Grenaa havn, kan luften være fyldt med støv og svampesporer.

Sygdom som følge af indånding af svampesporer og bakterier kan være enten akut eller kronisk. Den akutte lidelse opstår normalt, når man bliver udsat for en meget høj koncentration af sporer – typisk 500 gange højere end det normale niveau i luften. Symptomerne minder om influenza, eventuelt ledsaget af hoste og let åndenød. De første tegn viser sig 4 – 8 timer efter, at man har været udsat for svampesporer, men sygdommen varer sjældent mere end 1 – 3 dage. Den er ikke behandlingskrævende og giver ikke varige skader, men ved gentagne påvirkninger kan sygdommen udvikle sig til en kronisk lidelse.

Udsættes man gennem længere tid for svampesporer, er der risiko for at udvikle allergi. Derved kan selv små mængder sporer resultere i for eksempel astma, løbende næse, rindende øjne, hoste og generel utilpashed.

De kroniske luftvejslidelser har normalt navn efter de sammenhænge, hvor de normalt optræder. Det gælder for eksempel for sygdommen tærskerlunge, der er kendetegnet ved åndenød, hoste, feber og vægttab. Sygdommen udvikler sig ofte snigende, men er heldigvis sjælden og forudsætter formentlig en vis disponering hos den pågældende person.

I det hele taget er det individuelt, hvor mange svampesporer og bakterier der skal til, før man bliver syg. Derfor findes der ingen grænseværdier for, hvor store mængder man må udsættes for i løbet af en arbejdsdag. I arbejdsmiljøloven står der blot, at eksponeringen for skadelige organismer skal begrænses mest muligt.

Arbejdspladsvurdering

I dag kræver Arbejdsmiljøloven, at enhver virksomhed med ansatte skal udarbejde en arbejdspladsvurdering for hele virksomhedens arbejdsmiljø. Heraf skal det blandt andet fremgå, hvor der er risiko for indånding af støv og mikroorganismer, ligesom vurderingen skal indeholde in-



Foto: Lars Nikolaisen

Halm har et forholdsvist lavt vandindhold, så der er ikke den store risiko for skimmelsvampe. Til gengæld kan der være masser af støv, når halmen flyttes til og fra lagerpladsen.

struktioner om, hvordan man undgår at blive udsat for forurenede luft.

Arbejdspladsen skal naturligvis være indrettet, så arbejdsmiljøet sikres bedst muligt. Eksempelvis skal flislagre være skarpt adskilt fra den øvrige del af værket, så luft med svampesporer ikke spredes unødigt. Frontlæssere, gaffeltruck og andre maskiner skal være udstyret med ventilationsanlæg og filtre, der sikrer et fornuftigt indeklima i førerkabinen. Personligt beskyttelsesudstyr som åndedrætsværn og heldragter skal benyttes på de steder, hvor der er en særlig risiko for, at medarbejderen kan blive udsat for svampesporer og støv. Der findes forskellige typer åndedrætsværn til de forskellige opgaver, og det er vigtigt at følge instruktionerne nøje, både hvad angår anvendelse, rengøring og vedligeholdelse.

Daglig rengøring og systematisk vedligeholdelse af anlæggene er vigtigt for at minimere risikoen. Samtidig er det vigtigt, at medarbejderne er grundigt informeret om, hvordan de håndterer bio-brændslerne.



Foto: Simon Skov

Når flis håndteres i kortere perioder, er en halvmaske med A2 og P3 filtre velegnet.

Videnscentre og forskningsmiljøer

– øget fokus på forskning i bioenergi

Som led i det danske udviklings- og demonstrationsprogram for biomassebaseret kraftvarme er der siden midten af 90'erne opbygget kompetente danske videnscentre og forskningsmiljøer inden for bioenergi, og der er samlet set anvendt meget betydelige midler til gennemførelse af forskningsprojekter på området.

I begyndelsen var indsatsen primært finansieret af kraftværkernes F&U-programmer og af statslige støtteordninger, men siden slutningen af 90'erne har de såkaldte PSO-midler, der nu administreres af Energinet.dk, spillet en vigtig rolle. Også internationalt samarbejde via EU's forskningsprogrammer har haft stor betydning.

Forskningsarbejdet har omfattet stort set alle aspekter ved anvendelse af biomasse til kraftvarmeproduktion. Hele kæden – fra mark og skov til emissioner og restprodukter fra kraftværkerne – er blevet undersøgt.

Forskningens formål er at etablere den grundlæggende viden, der er nødvendig for en kvalificeret teknisk udvikling og bidrage til løsning af konkrete tekniske udfordringer hos leverandører og kraftværker. En stor del af forskningen har været rettet mod halm som brændsel, da det er en væsentlig dansk ressource og et område, hvor de internationale erfaringer er meget begrænsede. Udnyttelse af træflis og andre biobrændsler er dog også blevet grundigt undersøgt.

Der er næppe tvivl om, at der i de kommende år fortsat vil være fokus på forskningen i bioenergi,

På CHEC forskningscentret på Danmarks Tekniske Universitet er der opbygget en række forsøgsanlæg, som kan simulere forholdene i kedelanlæg og anlæg til rensning af røggas.

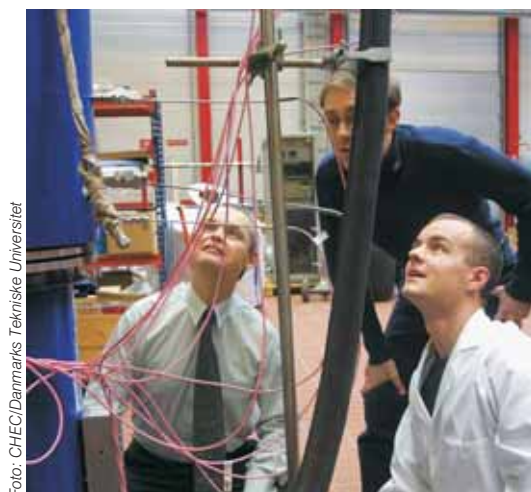


Foto: CHEC/Danmarks Tekniske Universitet

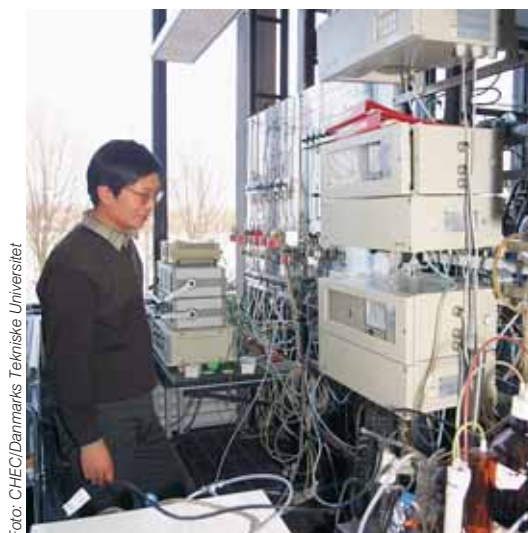


Foto: CHEC/Danmarks Tekniske Universitet

På CHEC forskningscentret på Danmarks Tekniske Universitet arbejder mere end 40 forskere og studerende, af ti forskellige nationaliteter, målrettet på at forbedre udnyttelsen af biomasse til energiformål.

men efter alt at dømme vil vægten blive lagt på udviklingen af biobrændstoffer og ikke så meget på kraftvarmeanlæg. I det seneste rammeprogram fra EU får forskningen i energi et gevaldigt løft, og ved fordelingen af energiforskningsmidlerne fra PSO-ordningen i 2007 fik bioenergi og affald knap halvdelen af den samlede ramme på 130 millioner kroner.

Der er især kommet fokus på forskningen i udviklingen af biobrændstoffer, herunder ikke mindst den såkaldte 2. generationsteknologi til produktion af bioethanol. Restfraktionerne fra produktion af ethanol vil i mange tilfælde kunne udnyttes som brændsel på kraftværkerne, ligesom kraftværkernes overskudsproduktion af damp vil kunne udnyttes som procesenergi til fremstilling af ethanol.

To hovedområder

Forskningsarbejdet inden for biomassebaseret kraftvarme kan opdeles i to hovedområder. Det ene område drejer sig om produktion og håndtering af biomasse samt biomassens egenskaber som brændsel på et kraftværk. I den sammenhæng er der blevet forsket i emner som:

- kortlægning af tilgængelige ressourcer af halm, træ og anden biomasse

- fysisk/kemisk karakterisering af biobrændsler
- prøvetagning og analyse
- biobrændsleres kemiske sammensætning i forhold til jordbundsforhold, nedbørsforhold, gødskning, art og sort m.v.
- optimering af maskinudrustning og logistik ved produktion og levering af biobrændsler
- modtagekontrol og udvikling af fugtmålemetoder
- arbejdsmiljø ved håndtering af biobrændsler
- europæisk standardisering
- dyrkning af energiafgrøder.

Det andet hovedområde omfatter de fire forskellige teknologier, der bliver anvendt på biomassefyrede kraftvarmeanlæg. Det drejer sig om riste-fyring af halm og træ, tilsatsfyring af halm på kul-fyret kraftværk, støvfyring med træpulver samt cir-kulerende fluid bed forbrænding af kul og halm. In-den for hver teknologi er der forsket i forbrændings-processer, regulering, korrosion, belægningsdannelse, røggasrensning, emissionsforhold og restpro-dukter. Eksempler på forskningsområder er:

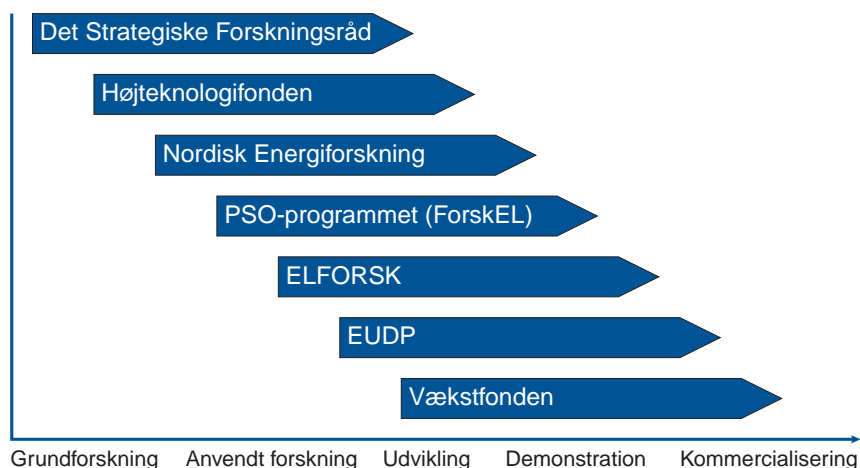
- indføddning af biobrændsler
- forbrændingsoptimering
- CFD-modellering af biomassekedler (CFD står for computational fluid dynamics)
- problemer med alkali, klor og svovl ved for-brænding af biomasse
- mekanismer for belægningsdannelse og korrosion
- undersøgelser af kedelmateriale
- anvendelse af additiver for at begrænse belægningsdannelse og korrosion
- undersøgelse af deaktivering af SCR-katalysatorer til NO_x-reduktion
- udvikling af alkali-resistente katalysatorer
- røggasrensning for SO₂ og HCl
- metoder til recirkulation af aske fra riste-fyring til mark og skov.

Der er herudover gennemført en betydelig for-skningsindsats inden for termisk forgasning, bio-gas og bioethanol. Beskrivelse heraf ligger dog uden for rammerne af denne publikation.

Forskningsprogrammer

Energiforskningen inden for bioenergi er støttet af en række offentlige forskningsprogrammer i både Danmark og EU. Derudover har der ved flere af projekterne været en betydelig medfinansiering fra aktørernes side, ligesom der i enkelte tilfælde har været støtte fra forskningsprogrammer i lan-de uden for EU.

I dag er der ikke mindre end fem forskellige pro-grammer i Danmark, der yder støtte til energi-



forskning, og dertil kommer et nordisk program for energiforskning samt EU's rammeprogram, der ligeledes yder støtte til energiforskning.

For nye ansøgere kan det ofte være svært at gennemskue, hvilket forskningsprogram der er mest oplagt til et konkret projekt. Der bliver lø-bende arbejdet på at gøre det lettere for ansø-gerne at gennemskue området, og der er blandt andet etableret en fælles internetportal på adres-sen www.energiforskning.dk, ligesom der i dag er næsten samme regelsæt for flere af program-merne. Derudover er der et tæt samarbejde mel-lem flere af forskningsprogrammerne, og man udveksler jævnligt ansøgninger mellem de enkel-te programmer. Ansøgere skal derfor ikke fortviv-le, hvis de har indsendt en ansøgning til for eks-empel et PSO-program, og det efterfølgende vi-ser sig at høre hjemme under EUDP-ordningen, der administreres af Energistyrelsen.

Figur 8.1. Valget af energi-forskningsprogram afhænger i høj grad af, om der er tale om grundforskning eller en teknologi, som er tæt på at være færdigudviklet. EUDP, der står for Energiteknologisk Udviklings- og Demonstra-tionsprogram, afløser fra 2007 Energiforskningspro-grammet under Energistyrelsen.



Foto: Lasse Rosendahl, Aalborg Universitet

Forskere og teknikere fra Institut for Energiteknik på Aalborg Universitet i færd med at klargøre måleudstyr til test af et kedelanlæg.



Medarbejdere fra CHEC-gruppen på Danmarks Tekniske Universitet i færd med at måle belægningerne på en biomassefyret kraftværkskedel.

Valget af energiforskningsprogram afhænger i høj grad af, om der er tale om grundforskning eller en teknologi, som er tæt på at være færdigudviklet. Er det grundforskning, vil det være fornuftigt at satse på Det Strategiske Forskningsråd. Er det derimod en teknologi, som er tæt på at kunne blive afprøvet i praksis, skal man vælge et af de andre programmer. Endelig er der mulighed for at søge Vækstfonden om støtte, hvis man er ved at være klar til det helt store eksporteventyr.

Som noget nyt er en del af forskningsmidlerne for 2007 givet til konsortier, hvor private virksomheder er gået sammen med universiteter og andre forskningsinstitutioner om større projekter. Konsortierne har generelt fået lidt mere fleksible rammer, men skal til gengæld bidrage til en høj grad af medfinansiering.

Det Strategiske Forskningsråd

Det Strategiske Forskningsråd under Forsknings- og Innovationsstyrelsen yder støtte til forskning inden for en række politisk prioriterede områder og skal bidrage til at styrke samspejlet mellem offentlig og privat forskning. Rådet skal desuden opføre nye forskningstendenser og yde faglig rådgivning til videnskabsministeren.

Forskningsrådet består af en bestyrelse og en række programkomiteer, herunder en komite for energi og miljø, der kan bevilge støtte til forskning i bioenergi. I 2006 havde komiteen godt 100 millioner kroner til rådighed.

Yderligere oplysninger på internetadressen www.fist.dk.

Højteknologifonden

Højteknologifonden er etableret for at stimulere forsknings- og innovationsindsatsen inden for områder, hvor Danmark har særlige forudsætninger og potentialer.

Højteknologifonden har i 2006 startet nye forskningssamarbejder for knap 400 millioner kroner. Med de midler parterne selv skyder ind i projekterne, er der i regi af Højteknologifonden investeret godt 800 millioner kroner i ny dansk teknologi. En del af pengene er gået til projekter om biobrændstoffer, herunder udviklingen af den såkaldte 2. generationsteknologi til fremstilling af bioethanol og biodiesel.

Yderligere oplysninger på internetadressen www.hoejteknologifonden.dk

Nordisk Energiforskning

Nordisk Energiforskning er en institution under Nordisk Ministerråd, der skal bidrage til at nå de politiske mål inden for det nordiske energisamarbejde. Nordisk Energiforskning støtter udvalgte projekter inden for følgende fem hovedområder:

- reduktion af drivhusgasser
- brintteknologi
- energieffektivitet
- vedvarende energi
- integration af energimarkederne

Yderligere oplysninger på internetadressen www.nordicenergy.net

PSO-programmet

PSO, der står for Public Service Obligation, administreres af Energinet.dk. Virksomheden har som systemansvarlig for el- og naturgasnettet pligt til at bruge penge på forskning og udvikling. Aktiviteterne finansieres via de tariffer som Energinet.dk opkræver for transport af el og naturgas. Derudover finansieres forskningen i miljøvenlige elproduktionsteknologier via en særlig PSO-tarif på 0,4 øre/kWh, som alle elkunder betaler over elregningen.

Energinet.dk administrerer ikke mindre end tre forskningsprogrammer: ForskNG, ForskIN og FokEL-programmet. Sidstnævnte yder tilskud til miljøvenlige elproduktionsteknologier, og det er herfra, midlerne til forskning i bioenergi stammer. I perioden 2005 – 2008 er den årlige ramme på 130 millioner kroner.

Yderligere oplysninger på internetadressen www.energinet.dk

ELFORSK

Dansk Energi | Net administrerer energiforskningsprogrammet ELFORSK, der står for forskning og udvikling i effektiv energianvendelse. Programmet råder over 25 millioner kroner om året, der finansieres via PSO-bidragene fra elforbrugerne.

Yderligere oplysninger på internetadressen www.elforsk.dk

EUDP

Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP) afløser fra 2007 Energiforskningsprogrammet under Energistyrelsen. Programmet har fokus på etablering af pilotanlæg og gennemførelse af demonstrationsprojekter, men kan også støtte egentlige forskningsaktiviteter. I 2007 råder EUDP-programmet over 186 millioner kroner, men beløbet stiger løbende frem til 2010, hvor der vil være 394 millioner kroner til rådighed. Programmet har sekretariat i Energistyrelsen og en uafhængig bestyrelse, der udpeges af transport- og energiministeren.

Yderligere oplysninger på internetadressen www.ens.dk

Vækstfonden

Vækstfonden yder ikke tilskud til forskning, men investerer i danske virksomheder, der beskæftiger sig med udviklingen af ny teknologi. Fonden er en del af det danske erhvervsfremmesystem og har som formål at skabe finansieringsmuligheder for perspektivrige projekter i små og mellemstore virksomheder.

Vækstfonden har et kapitalgrundlag på over to milliarder kroner og er dermed en af de største ventureinvestorer i Danmark. Fonden finansierer på kommercielle vilkår, hvor andre tøver, og arbejder aktivt for at styrke virksomhedernes netværk.

Yderligere oplysninger på internetadressen www.vf.dk



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Forsøg med vådoxidering af halm på Forskningscenter RISØ. Vådoxidering er første trin i en proces, hvor halmen omdannes til bioethanol, foder og brændsel til kraftværkerne.

EU's 7. rammeprogram

Ministerrådet i EU besluttede i juni 2006 at afsætte cirka 400 milliarder kroner til forskning og udvikling i det 7. rammeprogram, der løber fra 2007 til 2013. Det er et markant løft i forhold til tidligere programmer, og samtidig har energien fået sit helt eget budget med en ramme på omkring 17 milliarder kroner, der vil blive fordelt på områderne:

- brint og brændselsceller
- vedvarende energi til elproduktion
- vedvarende energi til brændstof
- vedvarende energi til varme/køling
- CO₂ fri elproduktion (lagring af CO₂)
- rene kulteknologier
- energieffektivitet og energibesparelser
- viden om energipolitik.

Foruden et større forskningsbudget lægger det 7. rammeprogram op til, at virksomhedernes deltagelse i europæisk forskning skal styrkes.

Aktører

En lang række aktører har bidraget til den danske forskning og udvikling inden for biomasseforbrænding. Nedenstående liste omfatter et udvalg af væsentlige danske forsknings- og udviklingsmiljøer inden for biomasseforbrænding.

Universiteter og forskningscentre

Danmarks Tekniske Universitet (DTU):

- CHEC/Institut for Kemiteknik
telefon 45 25 28 00
www.kt.dtu.dk
- Institut for Produktion og Ledelse (IPL)
telefon 45 25 47 08
www.ipl.dtu.dk
- Institut for Mekanik, Energi og Konstruktion
telefon 45 25 19 60
www.mek.dtu.dk

Aalborg Universitet (AAU):

- Institut for Energiteknik
telefon 96 35 92 40,
www.iet.aau.dk
- Esbjerg Tekniske Institut
telefon 7912 76 66
www.aaue.dk

Forskningscenter Risø

telefon 46 77 46 77
<http://risoe-staged.risoe.dk>

Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet,

Aarhus Universitet
telefon 89 99 19 00
www.agrsci.dk/ny_navigation/om_djf

Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø

telefon 39 16 52 00
www.arbejdsmiljoforskning.dk

Skov&Landskab

telefon 35 28 15 00
www.sl.kvl.dk

Teknologiske serviceinstitutter

Teknologisk Institut
telefon 72 20 20 00
www.teknologisk.dk

FORCE Technology
telefon 43 26 70 00
<http://force.dk/da>

Dansk Landbrugsrådgivning
telefon 87 40 50 00
www.lr.dk

Kraftværker og leverandører

DONG Energy Generation
telefon 76 22 20 00
www.dongenergy.com

Vattenfall
telefon 88 27 50 00
www.vattenfall.dk

Babcock & Wilcox Vølund
telefon 76 14 34 00
www.volund.dk

Burmeister & Wain Energy
telefon 39 45 20 00
www.bwe.dk

Bioener
telefon 36 18 12 00
www.bioener.dk/index.html

Thomas Koch Energi
telefon 46 18 90 00
www.tke.dk

Aalborg Energie Teknik
telefon 96 32 86 00
www.aet-biomass.com/aet/dk

Alternativ udnyttelse af biomasse

– samtidig produktion af biobrændstoffer, el og varme



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Ved traditionel anvendelse af biomasse i energisektoren omdannes biomassen til el og varme, og herudover fås et restprodukt i form af aske, der helt eller delvist kan nyttiggøres. Den bioteknologiske udvikling vil gøre det muligt i fremtiden at integrere biomassebaseret el- og varmeproduktion med fremstilling af flydende biobrændstof til transportsektoren i form af bioethanol og med foder som et værdifuldt biprodukt. Herved får anvendelsen af biomasse en højere værdi, og der ydes et bidrag til at reducere transportsektorens udledning af CO₂.

Fremstilling af bioethanol på basis af korn, majs eller sukkerrør er kendt teknologi. En lang række af disse 1. generationsanlæg er etableret i blandt andet USA og Brasilien og leverer store mængder bioethanol til erstatning for benzin. Bioethanol produceres ved fermentering af sukkerstoffer og fra korn, majs og sukkerrør kan der ret enkelt udvindes sukkerstoffer til processen.

Halm og andre overskudsprodukter fra landbruget indeholder også sukkerstoffer, men i form af cellulose og hemicellulose, der er svært nedbrydelige. Halmen skal først gennemgå en forbehandling under tryk og ved temperaturer tæt ved 200° C, hvorefter der skal tilsættes enzymer, som kan nedbryde biomassen. Hidtil har der ikke været pålidelige teknologier til rådighed for for-

behandlingen, og enzymomkostningerne har været alt for høje. På begge områder sker der i disse år betydelige fremskridt, og danske virksomheder spiller en væsentlig rolle i udviklingen af denne 2. generationsteknologi.

Enzymudvikling

Novozymes og det Danisco-ejede firma Genencor er på verdensplan førende inden for udvikling og fremstilling af industrielle enzymer, og begge bidrager til udvikling af enzymer, der kan omdanne cellulose og hemicellulose til sukker.

I januar 2001 indgik Novozymes og National Renewable Energy Laboratory (NREL), med støtte fra det amerikanske energiministerium, en tre-årig forskningsaftale, der i april 2004 blev efterfulgt af en et-årig forlængelse. Aftalen havde til formål at opnå en væsentlig reduktion af omkostningerne ved omdannelse af celluloseholdig biomasse som majsblade og -stilke til sukker.

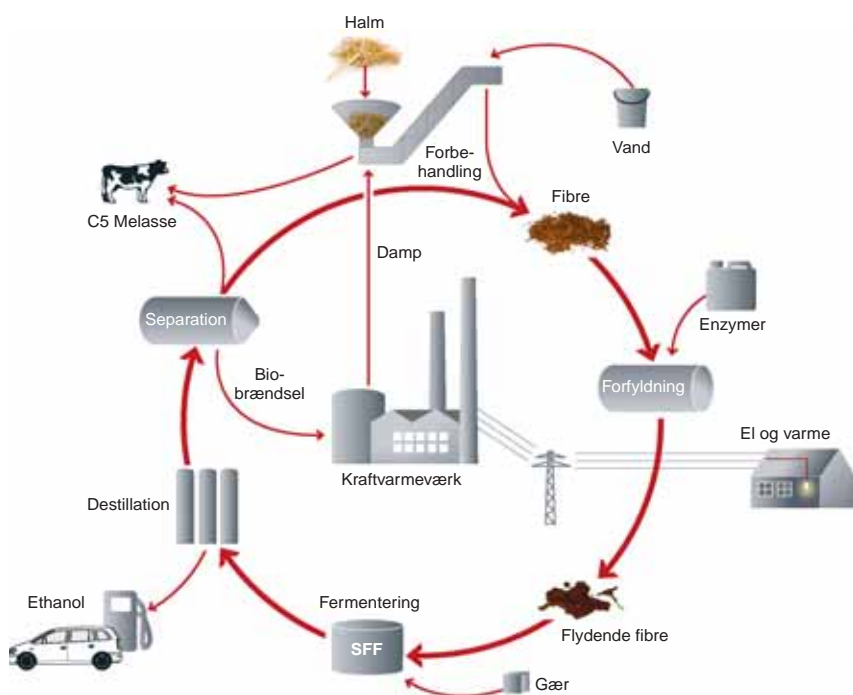
Novozymes har anvendt sit omfattende udvalg af patenterede teknologier til at finde nye enzymer og øge udbyttet, og det er lykkedes at nedbringe de samlede enzymomkostninger med en faktor 30. Dermed er en økonomisk konkurrencedygtig fremstilling af bioethanol ud fra majsblade og -stilke ved at være inden for rækkevidde.

Fra indvielsen af IBUS-anlægget på Fynsværket i efteråret 2005. Forsøgsanlægget er senere flyttet til Skærbækværket ved Fredericia.



Foto: Volvo

I dag er det muligt at tanke bioethanol på en lang række tankstationer i Europa.



Figur 9.1. Princippet i IBUS-processen.

Parallelt hermed har Genencor indgået en lignende forskningsaftale med NREL og har opnået tilsvarende gode resultater.

IBUS-processen

IBUS står for Integreret Biomasse Udnyttelses System og er et koncept, hvor halm og lignende restprodukter omdannes til bioethanol, fast bio-brændsel og foder i en proces, der er integreret med et kraftværk. IBUS-konceptet er karakteriseret ved et højt tørstofindhold i processen, en simpel proces uden andre hjælpestoffer end vand og enzymer og et lavt energiforbrug, idet overskudsvarmen fra kraftværket kan udnyttes til fremstilling af ethanol.

IBUS er også betegnelsen for et EU-projekt, der er gennemført i perioden 2002 – 2006, med DONG Energy som projektkoordinator og med deltagelse af tre danske partnere (Sicco, Landbohøjskolen og Forskningscenter Risø) samt en engelsk partner (TMO Biotech). I projektet er der etableret et demonstrationsanlæg med det formål at få afprøvet og optimeret de vigtigste processtrin og at få afdækket synergien mellem ethanolproduktion og et kraftvarmeværk. Anlægget er placeret på Skærbækværket ved Fredericia.

Princippet i IBUS-processen er vist i figur 9.1. Halmen snittes og forbehandles i en kontinuerlig hydrotermisk proces ved 180 – 200° C. Herved bliver cellulosen gjort tilgængelig for en enzymatisk

nedbrydning og kloridsaltene i halmen udvaskes. Fibrene tilsættes enzymer i en specielt udviklet reaktor, der kan håndtere fibre med et højt tørstofindhold. Cellulosen omdannes til sukkerstoffer, der efterfølgende fermenteres til ethanol og opkoncentreres ved destillation. Den resterende biomasse separeres i en fast brændselsfraktion, der kan anvendes på kraftværket, og i en fraktion (C5 melasse) der kan anvendes som foder.

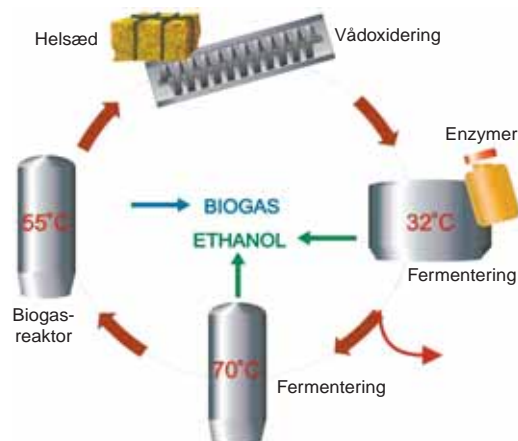
I perioden 2007 – 2010 er det hensigten at opføre et komplet IBUS-demonstrationsanlæg med en halmkapacitet på 4 ton/time. Det er det sidste skridt, før et kommercielt fuldskala IBUS-anlæg kan etableres.

MaxiFuel

Det danske udviklingselskab BIOGASOL har udviklet et andet dansk koncept til produktion af bioethanol, hvor biprodukterne foruden fast bio-brændsel også omfatter gasformige brændsler i form af metan og brint. Princippet i processen er vist i figur 9.2.

Først gennemføres en termisk forbehandling af halmen under tilførsel af ilt. Enzymatisk nedbrydning og fermentering udføres i to trin, hvor det første trin omsætter glucose fra cellulose til bioethanol, og det andet trin omsætter xylose fra hemicellulose. I processens afsluttende trin føres procesvand med biomasserester til en reaktor, hvor der produceres metan og brint.

Et pilotanlæg med betegnelsen Maxi-Fuel blev indviet i september 2006 på Danmarks Tekniske Universitet. I MaxiFuel-anlægget kan alle processens trin efterprøves og optimeres med henblik på efterfølgende opskalering af processen.



Figur 9.2. Princippet i Maxifuel-processen.

Del 2

Beskrivelse af biomassefyrede kraftvarmeværker

Køge Kraftvarmeværk

– *bioenergi til industrien*

Køge Kraftvarmeværk består af to kraftværksblokke, der leverer el og damp til Junckers Industrier og Køge Biopillefabrik.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Køge Kraftvarmeværk er et træfyret kraftvarmeanlæg, der leverer procesdamp til Junckers Industrier og Køge Biopillefabrik. Kraftvarmeværket blev oprindeligt etableret af Junckers Industrier, men blev i 2001 overtaget af Energi E2, der efterfølgende etablerede en fabrik til produktion af biopiller ved værket. I juni 2006 overgik kraftvarmeværket til det nye store energiselskab DONG Energy.

Værket består af to kraftværksblokke, blok 7 og blok 8, som blev taget i drift i henholdsvis 1987 og 1999. Der er tale om to kedelanlæg med hver sin dampturbine og elgenerator. Da begge kedler leverer damp til industriformål, er elproduktionen naturligvis afhængig af, hvor meget damp virksomhederne har brug for.

Begge anlæg fyres med forskellige træbrændsler som flis, savsmuld, spåner og støv fra blandt andet Junckers Industrier. Flisen opbevares på en udendørs lagerplads, mens savsmuld, spåner og støv opbevares i siloer. Et fælles transportsystem



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Udendørs flislager i Køge

sørger for at transportere de forskellige brændsler til de to kraftværksblokke.

Blok 7

Indtil 1998 var blok 7 med en eleffekt på 9,4 MW den største træfyrede kraftværksblok i Danmark. Kedlen er en traditionel beholderkedel med en vandkølet vibrationsrist, to overhedere i andet træk og en overheder i selve fyrrummet.

Fyringsanlægget omfatter tre spreaderstokere, to kombinerede støv- og oliebrændere samt en særskilt støvbrænder. Flis og spåner indfyres gennem de tre stokere, mens pudsestøv tilføres via støvbrændere. Kedlen kan ud over træbrændsler fyres med fuelolie op til 75 procent last.

Blok 8

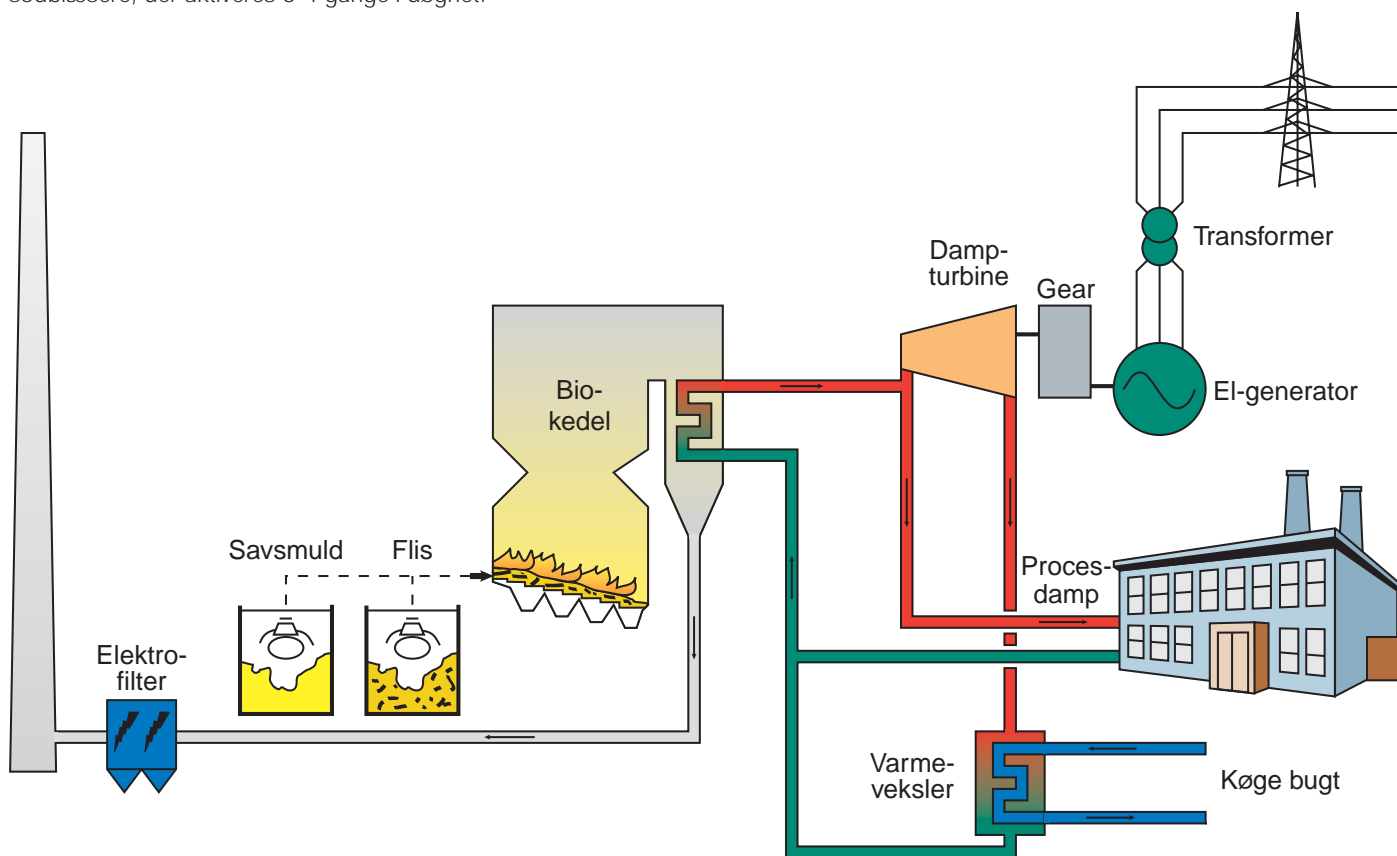
Blok 8 minder på mange måder om blok 7, men har en lidt større kapacitet. Der er igen tale om en beholderkedel med spreaderstokere og støvbrændere til indfyring af brændslet. Damptryk og temperaturer er ens for de to kedelanlæg, men hvor blok 7 leverer 55 tons damp i timen, kan blok 8 levere 64 tons damp i timen. For at holde kedlens hedeflader rene er blok 8 forsynet med damp-sodblæsere, der aktiveres 3-4 gange i døgnet.

Data for Køge Kraftvarmeværk

Kommerciel drift (blok 7/8)	1987/1999
Leverandør (blok 7/8)	Burmeister & Wain Energi/Vølund
Brændsler	Flis, savsmuld, spåner og støv
Forbrug af træbrændsler (blok 7/8)	16/19 tons/time
Indfyret effekt (blok 7/8)	46/56 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Vibrationsrist
Damptryk	93 bar
Dampmængde (blok 7/8)	15/18 kg/sekund
Damptemperatur	525 °C
Elvirkningsgrad (blok 7/8)	20/29 procent
Kedelvirkningsgrad (blok 7/8)	90/91 procent
Røggasrensning	Elektrofilter
El-effekt (blok 7/8)	10/16 MW
Dampydelse til industri (blok 7/8)	75/62 tons/time

Røggas og aske

Røggassen fra de to kedler renses for flyveaske i hver sit elektrofilter. Såvel flyveaske som bundaske deponeres.



Figur 10.1. Principskitse af Køge Kraftvarmeværk.

Haslev Kraftvarmeværk

– verdens første halmfyrede kraftvarmeværk



Haslev Kraftvarmeværk leverer elektricitet til det østdanske højspændingsnet og fjernvarme til omkring 2.000 boliger i Haslev.

Foto: Mogens Carrebye

Kraftvarmeværket i Haslev blev sat i drift i 1989 som verdens første halmfyrede kraftvarmeværk. Det leverer elektricitet til det østdanske højspændingsnet og fjernvarme til omkring 2.000 boliger i Haslev.

I 1999 blev værket bygget om. Systemet til transport af halmen blev udskiftet, der blev installeret nye brændere, og værket fik et nyt styresystem. Ombygningen var med til at hæve virkningsgraden og gøre anlægget mere robust. Haslev Kraftvarmeværk er et fuldautomatisk anlæg, der er godkendt til 24 timers ubemandet drift, hvor al styring og overvågning kan foretages fra et centralt kontrolrum på Kyndbyværket ved Frederikssund.

Anlægget bruger cirka 26.000 tons halm om året, som leveres af landmændene på Sydsjælland. Halmlageret kan rumme op til 700 storballer, svarende til 2-3 dages fuld produktion, så i vintermånederne modtager anlægget halmballer dagligt.

Kedelanlæg

Kedelanlægget er leveret af Vølund og består af en beholderkedel med naturlig cirkulation i for-dampersystemet.

Der er installeret fire halmbrændere, der kontinuerligt føder ballerne direkte ind i kedlen efter det såkaldte "cigar-brænderprincip". Der foregår således ikke nogen neddeling af halmen, idet ballerne blot brænder fra den ene ende til den anden. En del af halmstråene vil naturligvis falde ned på risten, hvor de udbrænder.

Omkring 90 procent af den forvarmede forbrændingsluft blæses direkte mod enden af halmballerne, mens cirka tre procent tilsættes gennem risten i bunden af kedlen. Den resterende mængde luft tilsættes umiddelbart over halmballerne som sekundær luft.

Askepartiklerne smelter ved forholdsvis lave temperaturer og kan derfor være tilbøjelige til at danne en fast og klæbrig slagge, som er vanskelig at

fjerne under normal drift. Slaggen vil hæmme varmeoverførslen fra røggassen til dampen i rørene, og i svære tilfælde kan den lukke så meget af for røgen, at kedlen ikke kan køre på fuld last. For at minimere problemerne med slaggedannelse har man derfor valgt at begrænse overhedertemperaturen til maksimalt 455 °C, men det er samtidig med til at begrænse elvirkningsgraden.

Kedlen er udstyret med to sodblæsere, der er placeret mellem de tre overhedere øverst i kedlen. Derudover er der installeret et såkaldt kuglerenseanlæg, som skal holde overhederne rene. Det fungerer ved, at der hældes metalkugler med en diameter på 4-6 mm ned gennem rørene, hvorved belægningerne bankes af. Kuglerne ender i askeudtaget, hvor de separeres fra og genbruges.

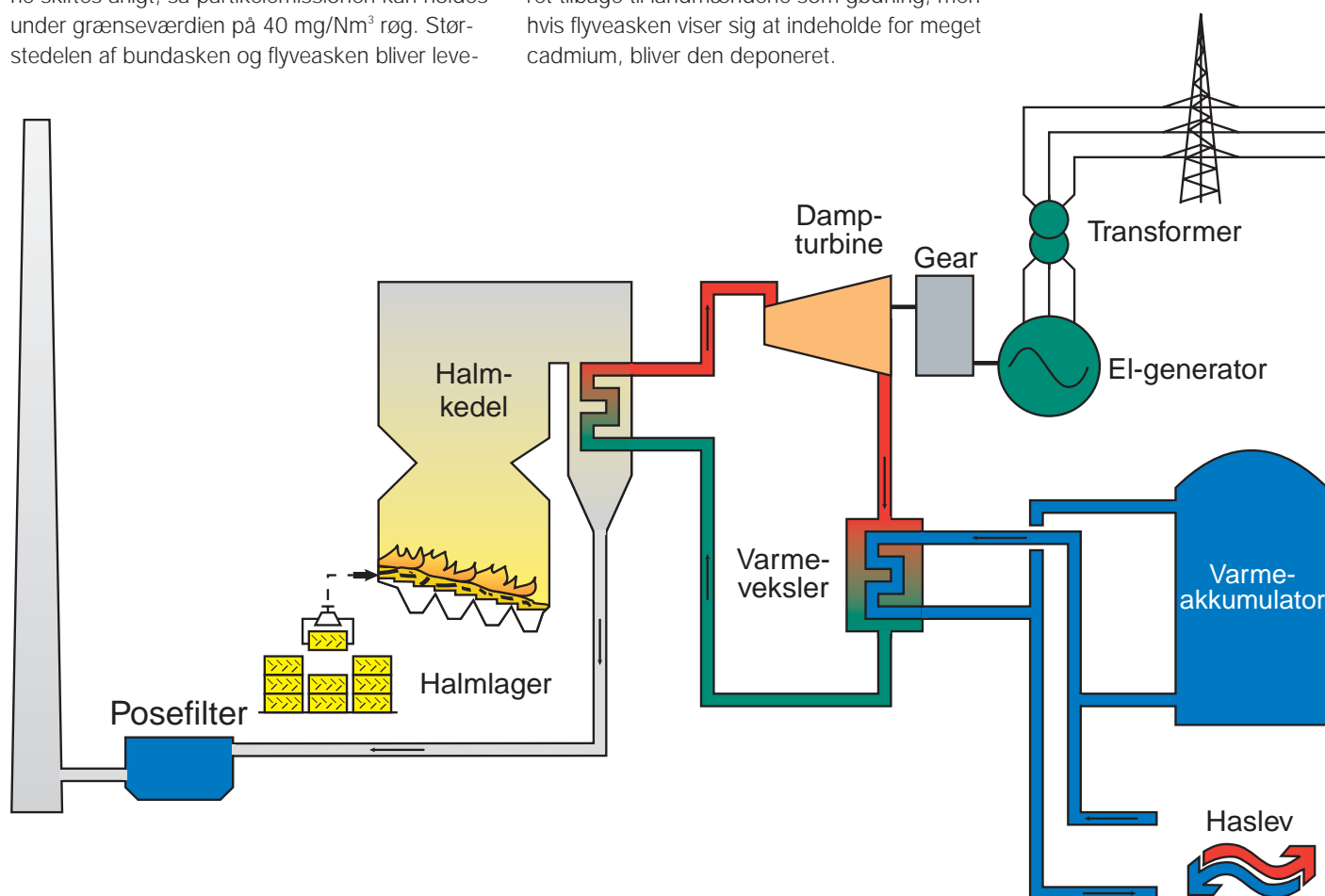
Røggas og aske

Anlægget er forsynet med et posefilter til rensning af røggassen. Filterarrangementet består af 792 poser med en længde på 2,3 meter. Poserne skiftes årligt, så partikelemissionen kan holdes under grænseværdien på 40 mg/Nm³ røg. Størstedelen af bundasken og flyveasken bliver leve-

Data for Haslev Kraftvarmeværk

Kommerciel drift	1989
Leverandør af kedelanlæg	Vølund
Brændsler	Halm
Forbrug af halm	26.000 tons/år
Indfyret effekt	20 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Cigarbrænder og fast rist
Damptryk	67 bar
Dampmængde	7,37 kg/sekund
Damptemperatur	455 °C
Elvirkningsgrad	19 procent
Kedelvirkningsgrad	88 procent
Røggasrensning	Posefilter
El-effekt	5 MW
Fjernvarmelydelse	13 MJ/sekund

ret tilbage til landmændene som gødning, men hvis flyveasken viser sig at indeholde for meget cadmium, bliver den deponeret.



Figur 11.1. Principskitse af det halmfyrede kraftvarmeværk i Haslev.

Rudkøbing Kraftvarmeværk

– første halmfyrede anlæg i Vestdanmark

Værket i Rudkøbing er det mindste halmfyrede kraftvarmeværk i Danmark.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Kraftvarmeværket i Rudkøbing blev sat i drift i 1990 som det første halmfyrede kraftvarmeværk i Vestdanmark. Anlægget, der leverer fjernvarme til cirka 1.900 forbrugere, har en el-effekt på kun

2,55 MW, og er dermed et af de mindste kraftvarmeværker, som fyrrer med biobrændsler. Det årlige halmforbrug er på 14.000 tons. Halmageret kan rumme 700 storballer svarende til fem døgn forbrug ved fuld last. Lageret betjenes manuelt, idet halmballerne stables ved hjælp af en gaffeltruck.

I tilknytning til anlægget er der etableret en akkumulatortank på 2.500 m³, som er i stand til at dække fjernvarmeforbruget i 5 – 10 timer om vinteren. Derudover er anlægget udstyret med en bypass ventil, så det i perioder er muligt at øge varmeproduktionen ved at lede dampen uden om turbinen.

Kedelanlæg

Kedlen er en ristefyret beholderkedel med naturlig cirkulation i fordampersystemet. Efter kedlen overhedes dampen ved hjælp af to overhedere og en stråleoverheder, og temperaturen reguleres med kølevand, inden dampen når turbinen.

Slagge og bundaske fra kedlen opsamles i containere og returneres til landmændene, der anvender det som gødning.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Askepartiklerne smelter ved forholdsvis lave temperaturer og kan derfor være tilbøjelig til at danne en fast og klæbrig slagge, som er vanskelig at fjerne under normal drift. Slaggen vil hæmme varmeoverførslen fra røggassen til dampen i rørene, og i svære tilfælde kan den lukke så meget af for røgen, at kedlen ikke kan køre på fuld last. For at minimere problemerne har man – ligesom i Haslev – valgt at begrænse overhedertemperaturen til maksimalt 450 °C.

Fra halmlageret transporteres ballerne til en opriver, hvor halmen findeles. Herfra doseres halmstråene ned i en vandkølet skakt ved hjælp af en stokersnegl, der presser halmen som en prop gennem indfyriingskanalen og ind på vibrationsristen i kedlen.

Vibrationsristens køling er blevet ændret fra dampkøling til køling med fødevand, hvorved der er opnået en koldere rist med mindre tendens til, at asken danner slagger.

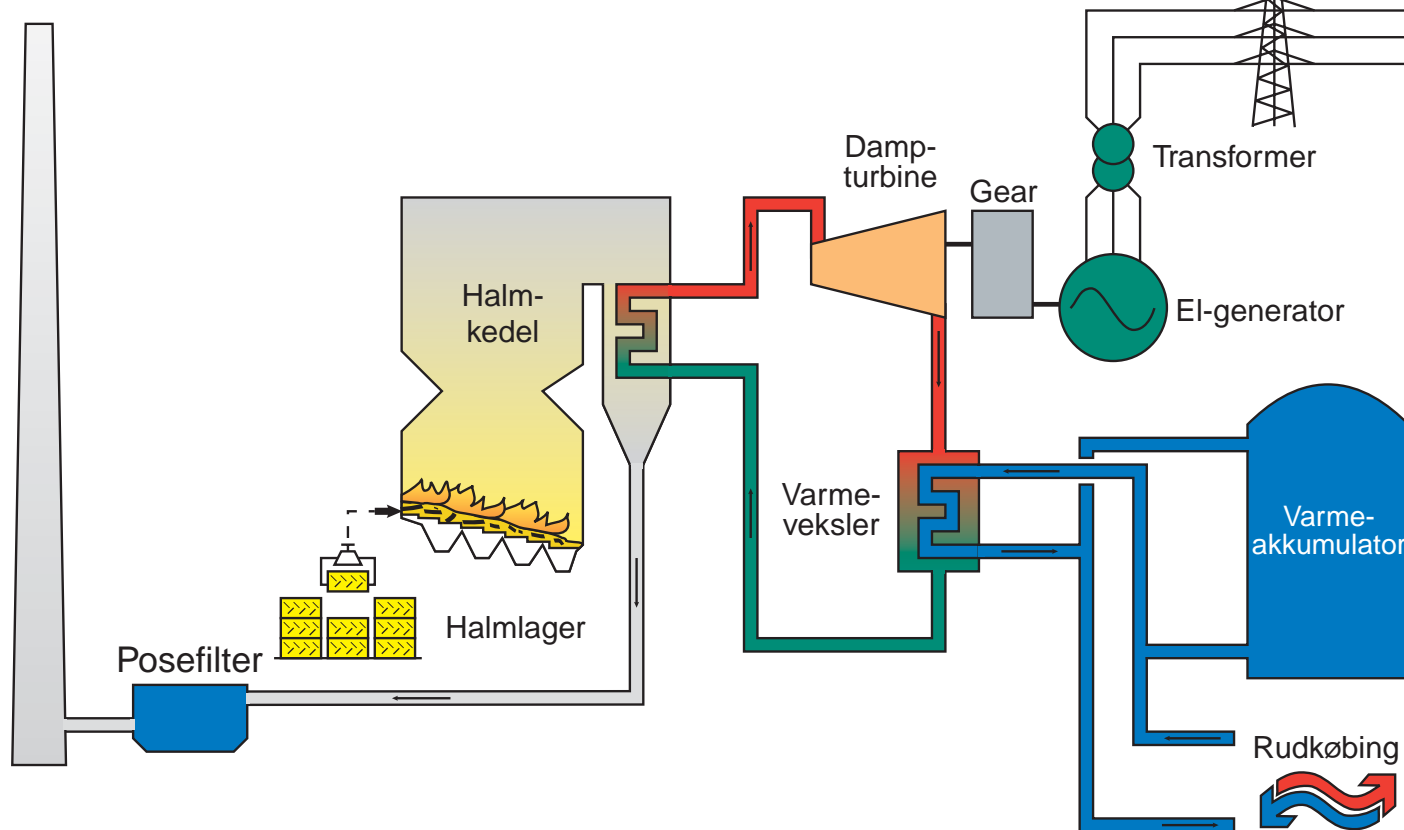
Røggas og aske

Det oprindelige elektrofilter er udskiftet med et posefilter. I forbindelse med opstart af kedlen forvarmes filteret med olie, så det er klar til brug

Data for Rudkøbing Kraftvarmeværk

Kommerciel drift	1990
Leverandør af kedelanlæg	Burmeister & Wain Energi
Brændsler	Halm
Forbrug af halm	14.000 tons/år
Indfyret effekt	11,2 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Vibrationsrist
Damptryk	60 bar
Dampmængde	3,6 kg/sekund
Damptemperatur	450 °C
Elvirkningsgrad	22 procent
Kedelvirkningsgrad	89 procent
Røggasrensning	Posefilter
El-effekt	2,55 MW
Fjernvarmeydelse	7,5 MJ/sekund

med det samme. Flyveaske fra filteret er hidtil blevet deponeret, men i dag findes der anlæg, som kan oparbejde asken til kunstgødning. Bundaske fra kedlen returneres til landmændene, der anvender det som gødning.



Figur 12.1. Principskitse af det halmfyrede kraftvarmeværk i Rudkøbing.

Slagelse Kraftvarmeværk

– *samspil mellem halmfyring og affaldsforbrænding*



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Kraftvarmeværket i Slagelse er koblet sammen med det nærliggende affaldsforbrændingsanlæg.

Slagelse Kraftvarmeværk blev sat i drift i 1990 og hører således til blandt de første biomassefyrede værker. På det tidspunkt var erfaringerne med at fyre med halm i dampkedler begrænsede, så overhedertemperaturen er begrænset til 450 °C,

hvilket medfører en forholdsvis lav elvirkningsgrad på 25 procent.

Kraftvarmeværket i Slagelse adskiller sig fra de andre biomassefyrede værker ved, at der modtages damp og varmt vand fra et nærliggende affaldsforbrændingsanlæg. Værket har en el-effekt på 12 MW, svarende til forbruget i cirka 9.000 husstande. Derudover leverer det fjernvarme til omkring 6.000 boliger eller cirka 85 procent af varmebehovet i Slagelse.

Kedelanlægget er leveret af Aalborg Boilers. Der er tale om en beholderkedel med naturlig cirkulation i fordamperkredsen og fem røggastræk med to vandretliggende overhedere.

I fyrrummet er der installeret fem sodblæsere, to sodblæsere under den nederste overheder og et såkaldt kugle-renselanlæg, der skal holde overhederne rene. Det fungerer ved, at der hældes metalkugler med en diameter på 4-6 mm ned gennem rørene, hvorved belæggingerne bankes af. Kuglerne ender i askeudtaget, hvor de separeres fra og genbruges.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Vandindholdet i halmballerne kontrolleres før aflæsning. Er de for fugtige, bliver de afløst. Ballerne læses af med en gaffeltruck.

Brændselshåndtering

To automatiske kraner sørger for transport af storballerne fra lageret frem til tre parallelle halm-linier. Snorene, der holder halmballerne sammen, skæres over og fyres med ind i kedlen. Efter at snorene er fjernet, føres halmen hen til halmopri-verne, der hver består af tre roterende cylindre placeret vandret over hinanden. Den løse halm falder ned i en cellesluse og herfra hen til sto-kersneglene, der presser halmen gennem en ind-fyringskanal ind på risten.

Risten består af to dele, en skråtliggende hovedrist og en vandretliggende udbrændingsrist. Hoved-risten er en skubberist, hvilket betyder, at halmen skubbes frem i fyrrummet under forbrænding. Derved minimerer man risikoen for, at halmen væl-ter rundt, som det ofte sker på en rysterist.

Hovedristen er delt op i 3 x 3 sektioner, hvorigen-nem tilsætningen af primærluft sker. Efter hoved-risten falder halmen ned på udbrændingsristen, der er delt op i tre sektioner på tværs, men kun én på langs. Fordeling af luft mellem de enkelte sektioner kan varieres vilkårligt. Halmens op-holdstid på risten er vurderet til at være på om-kring 30 minutter.

Ved fuld produktion indfyres 16-18 baller i timen, og det årlige brændselsforbrug ligger på cirka 30.000 tons halm. Halm lageret kan rumme op til

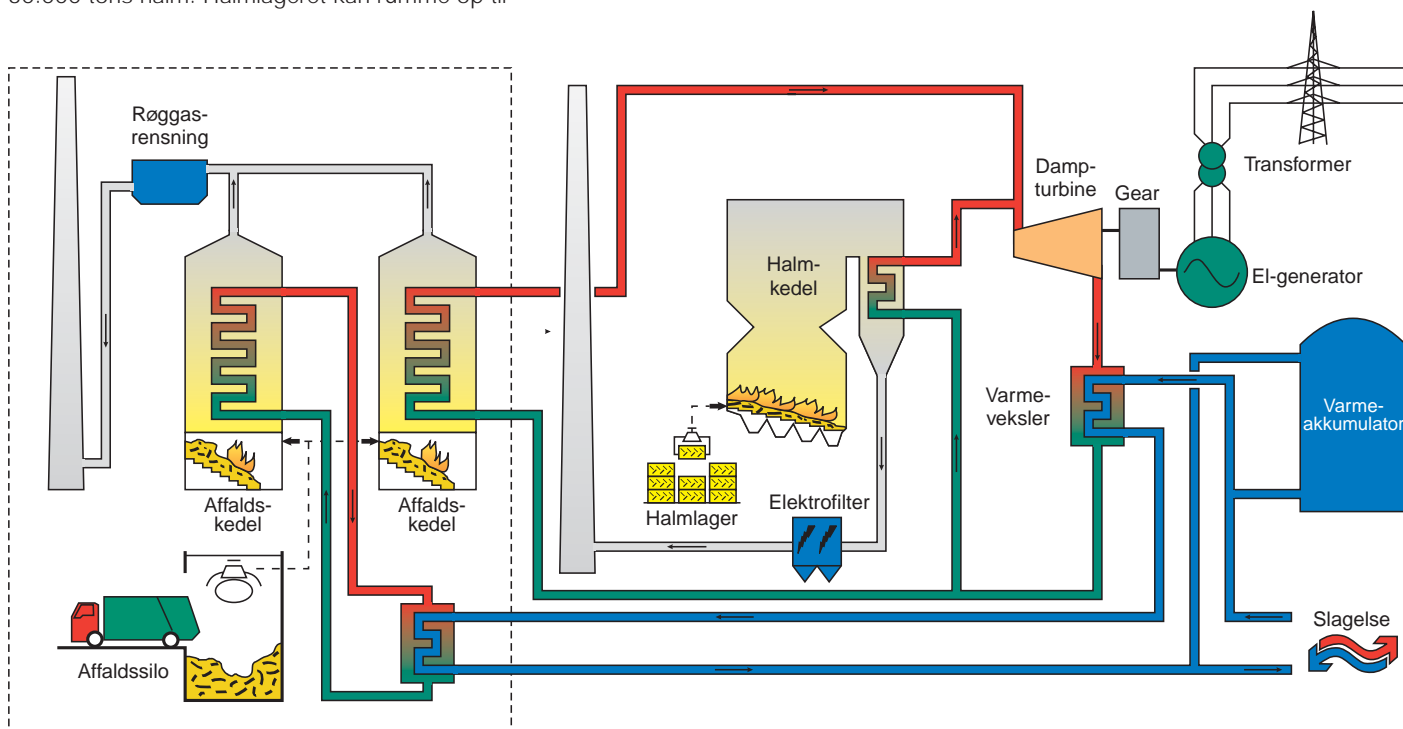
Data for Slagelse Kraftvarmeværk

Kommerciel drift	1990
Leverandør af kedelanlæg	Aalborg Boilers
Brændsler	Halm
Forbrug af halm	30.000 tons/år
Indfyret effekt	31 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Skubberist
Damptryk	67 bar
Dampmængde	16 kg/sekund
Damptemperatur	450 °C
Elvirkningsgrad	25 procent
Kedelvirkningsgrad	89 procent
Røggasrensning	Elektrofilter
El-effekt	11,4 MW
Fjernvarmeydelse	28 MJ/sekund

1.200 storballer, hvilket svarer til cirka tre døgns forbrug ved fuldlast.

Røggas og aske

Som røggasrensning anvendes et elfilter med tre trin. Hovedparten af flyveasken fra filteret depo-neres. Bundaske fra kedlen returneres til land-mændene, der anvender det som gødning.



Figur 13.1. Principskitse af kraftvarmeværket i Slagelse og sammenkoblingen med affaldsforbrændingsanlægget.

Grenaa Kraftvarmeværk

– *eneste anlæg med fluid bed kedel*

Grenaa Kraftvarmeværk er placeret i en industriområde og leverer damp til flere virksomheder.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Grenaa Kraftvarmeværk ligger nordøst for Grenaa bymidte i et industriområde, som er præget af en række energiintensive virksomheder. Værket, der blev indviet i 1992, leverer damp til flere af disse virksomheder, og derudover leveres der fjernvarme til Grenaa samt el til højspændingsnettet.

Grenaa Kraftvarmeværk anvender en blanding af kul og halm, men i perioder er der også fyret med andre former for biobrændsler som energikorn, solsikke-skaller, olivenkerner og kornafrens. Værket kan fungere som et rent kulfyret værk eller med kul og halm i en blanding med op til 60 procent halm.

Driftslederen på Grenaa Kraftvarmeværk ved en halmopri-ver, der er åbnet for inspektion.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Fluid bed kedel

Som det foreløbig eneste biomassefyrede anlæg i Danmark er værket i Grenaa udstyret med en såkaldt cirkulerende fluid bed kedel, der især er velegnet til at håndtere forskellige typer brændsler.

Princippet går ud på, at der inde i kedlen findes et partikulært materiale som for eksempel sand eller kulasker, der får egenskaber som en væske, når forbrændingsluften blæses igennem. Det har flere fordele: Det er nemt at holde en ensartet temperatur, brændslet bliver hurtigt fordelt i kedlen, og det er muligt at tilsætte kalk, så kullene

kan blive "afsvovlet" i selve fyrrummet. Endelig kan forbrændingen foregå ved en relativt lav temperatur, hvilket er med til at reducere udledningen af kvælstofilter.

Halmhåndtering

Med en årlig leverance på omkring 55.000 tons halm har det været nødvendigt at udvikle et system, der kan sikre en hurtig aflæsning af de mange tons halm, som hver dag bliver fragtet til værket. Der er således installeret en kran, der kan løfte 12 storballer ad gangen, så hvert lastvognstog kan tømmes i to operationer. Samtidig med at kranen løfter ballerne, sendes der mikrobølger gennem halmen for at registrere vandindholdet. Oplysningerne om vægt, vandindhold og leverandør bliver efterfølgende registreret i en database og brugt, når der skal afregnes med landmanden.

Fra lageret hentes ballerne med kran til fire transportbånd og derfra videre til fire halmoprivere. Den løse halm transporteres derefter via celleduser til to indfyringssystemer, som blæser halmen ind i kedlen.

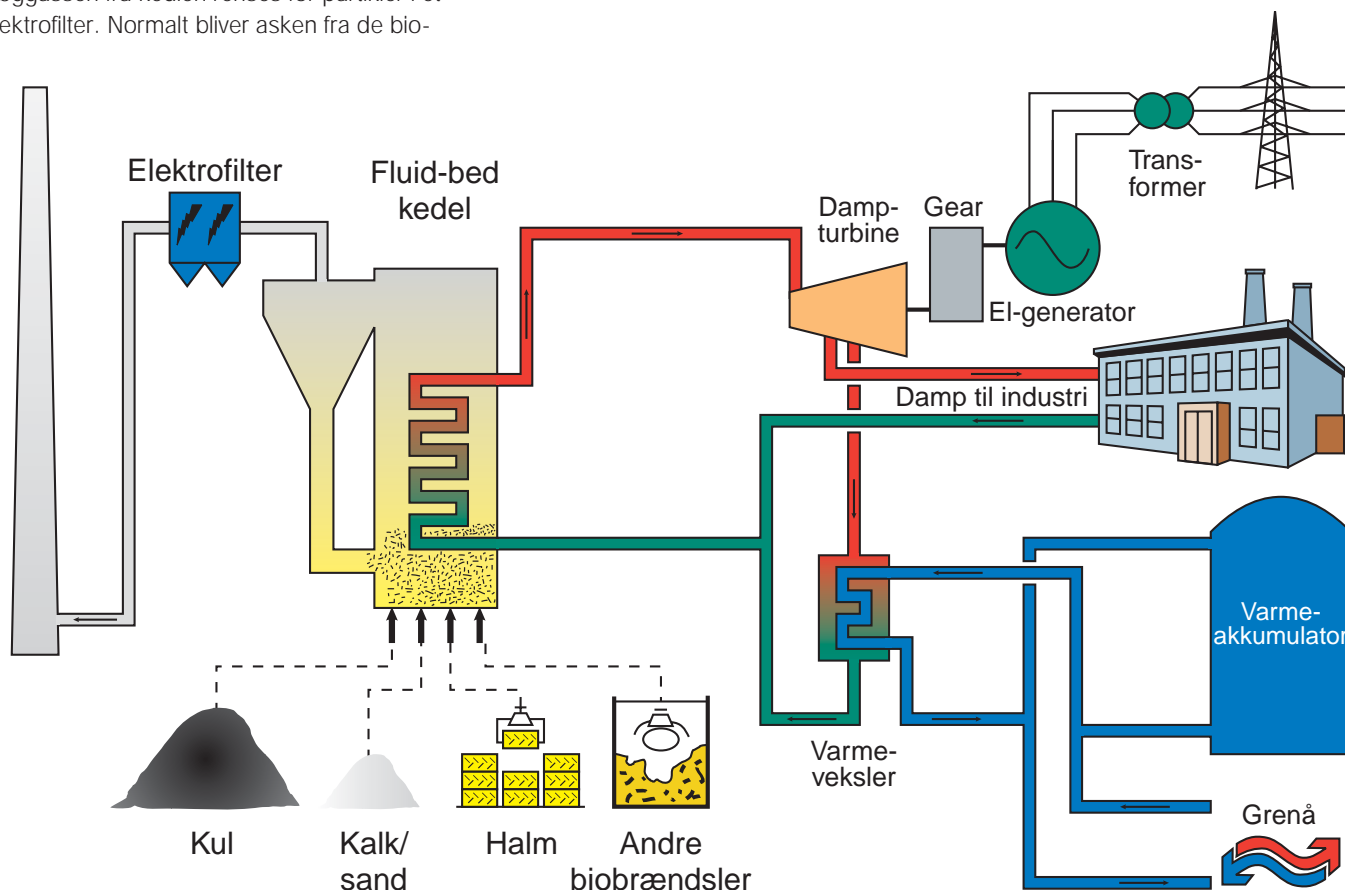
Røggas og aske

Røggassen fra kedlen renses for partikler i et elektrofilter. Normalt bliver asken fra de bio-

Data for Grenaa Kraftvarmeværk

Kommerciel drift	1992
Leverandør af kedelanlæg	Aalborg Boilers & Ahlstrøm
Brændsler	Halm og kul
Forbrug af biomasse	40.000 tons/år
Indfyret effekt	88 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Fluid bed
Damptryk	92 bar
Dampmængde	28,9 kg/sekund
Damptemperatur	505 °C
Elvirkningsgrad	22 procent
Røggasrensning	Elektrofilter
El-effekt	19,6 MW
Fjernvarmeydelse	40 MJ/sekund

massefyrede værker brugt som gødning, men da asken i Grenaa stammer fra både kul og biomasse, er det nødvendigt at deponere alle restprodukter fra anlægget.



Figur 14.1. Principskitse af det halm- og kulfyrede kraftvarmeværk i Grenaa.

Måbjergværket

— første multifyrede kraftvarmeværk

Måbjergværket ved Holstebro dækker hovedparten af fjernvarmebehovet i Holstebro og Struer.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Måbjergværket ved Holstebro leverer el til højspændingsnettet og dækker hovedparten af varmebehovet i Holstebro og Struer kommuner. Værket, der blev sat i drift i 1993, er som det første i landet opbygget som et multifyret kraftvarmeanlæg, hvor der både anvendes affald, flis, halm og gas. Der er to kedler til affald og en kedel til biobrændsler. Fra starten var hver kedel udstyret med naturgasfyrede overhedere, men i

dag er overhederen til biokedlen erstattet af to biomassefyrede overhedere.

I tilknytning til anlægget er der etableret et affaldslager på 5.500 m³, et halmlager til 800 store baller, en silo til træflis på 700 m³ og en udendørs lagerplads til flis. Anlægget er endvidere forsynet med en fjernvarmeakkumulator på 5.000 m³, hvilket svarer til tre timers varmeforbrug ved fuldlast.

Mobil flishugger i færd med at fylde lageret op på Måbjergværket.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Kedelanlæg

Biokedlen, der er leveret af Vølund, er en stående beholderkedel med naturlig cirkulation, hvor kedlens vægge, bund og loft udgør fordampningskredsen.

Indfyringssystemet til halm består af en skakt, hvorfra halmballerne bliver skubbet direkte ind i kedlen efter det såkaldte cigarbrænderprincip. Der foregår således ikke nogen neddeling af halmballerne, inden de brændes af i kedlen via seks cigarbrændere, der er placeret tre og tre over for hinanden. Ved alle brændere er der placeret luftdyser til indblæsning af forbrændingsluft,

og derudover har fire af de seks brændere fået indbygget vandkølede riste.

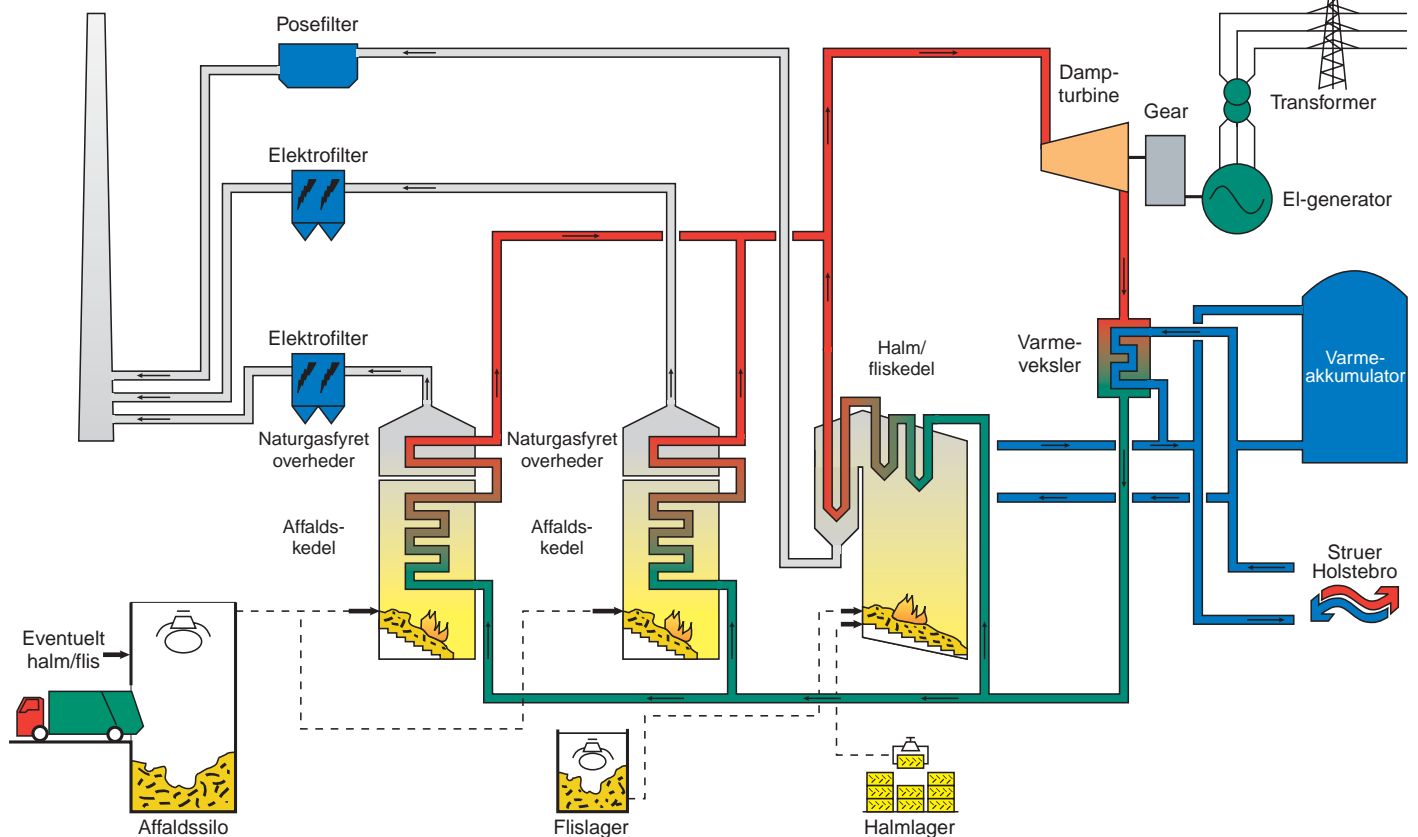
Flisen indfyres med spreaderstokere i den nederste del af kedlen. Den del af biomassen, som ikke brænder ved direkte indfyring, udbrænder på risten, der er inddelt i ni zoner, hvor tilførsel af luft kan reguleres individuelt. Fyrrummets udformning adskiller sig fra andre biomassekedler ved ikke at have den karakteristiske indsnævring, der er med til at øge turbulensen.

I 2005 blev der indbygget to biomassefyrede overhedere i kedlen til biobrændsler som erstatning for den naturgasfyrede overheder. Systemet er udformet, så der kan opbygges et tykt lag slagge på overhederrørene. De nye overhedere øger damptemperaturen til cirka 522 °C eller samme temperaturniveau, som blev brugt før ombygningen.

Biokedlen var oprindelig designet til at kunne køre fuldlast på enten halm eller flis, men i praksis har det vist sig, at det kun er muligt at indfyre op til 70 procent halm, svarende til cirka 9 tons i timen.

Røggas og aske

Røggassen fra biokedlen renses i et posefilter, mens røgen fra affaldskedlerne renses i elfiltre.



Figur 15.1. Principskitse af Måbjergværket, herunder sammenkoblingen mellem biokedlen og de affaldsfyrede kedler.

Data for Måbjergværkets biokedel

Kommerciel drift	1993
Leverandør af kedelanlæg	Vølund
Brændsler	Halm, flis og biopiller
Forbrug af halm	30.000 tons/år
Forbrug af flis	35.000 tons/år
Indfyret effekt (biomasse)	39 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Vibrationsrist og cigarbrændere
Damptryk	67 bar
Dampmængde	14 kg/sekund
Damptemperatur	520 °C
Kedelvirkningsgrad	90 – 92 procent
Røggasrensning	Posefilter
El-effekt	28 MW ¹

Noter:

1. Effekten er for både biokedlen og de to kedler til affald. Biokedlen leverer cirka 27 procent af den samlede effekt.

De tre kedler har separate røggasrør i den 120 meter høje skorsten. Bundasken fra biokedlen bringes tilbage til landbruget og skovbruget, hvorimod flyveasken deponeres.

Masnedø Kraftvarmeværk

– første 2. generationsanlæg til biobrændsler

Masnedø Kraftvarmeværk er et såkaldt 2. generationsanlæg, hvor såvel damptryk som temperaturer er forøget væsentligt i forhold til de halmanlæg, der blev bygget omkring 1990.

Foto: Torben Skøtt/BioPress



Kraftvarmeværket ved Masnedø blev sat i drift i 1996 og leverer el til det østdanske højspændingsnet samt varme til cirka 7.000 husstande i Vordingborg.

Masnedø-anlægget er et fuldautomatisk anlæg, hvor al regulering og overvågning kan foregå fra et kontrolrum på Kyndbyværket ved Frederikssund. Anlægget er godkendt til ubemandet drift i

op til 24 timer, men inden for den normale arbejdstid er der ni ansatte på værket.

I 2002 blev anlæggets produktion øget med cirka 12 procent, da det viste sig, at der var en uudnyttet kapacitet i kedelanlægget, samtidig med at fjernvarmeforbruget i Vordingborg var stigende.

Masnedø Kraftvarmeværk er beregnet til halm, men er designet til, at 25 procent af halmen kan erstattes med flis. Det årlige brændselsforbrug er på 40.000 tons halm og 5-10.000 tons træflis. Halmageret kan rumme 2.000 storballer, svarende til cirka tre dages produktion ved fuldlast.

Kedelanlæg

Kedlen på Masnedø-værket er en beholderkedel med naturlig cirkulation. Værket er et såkaldt 2. generations anlæg, hvor såvel damptryk som temperaturer er forøget væsentligt i forhold til de halmanlæg, der blev bygget omkring 1990.

Erfaringer fra Masnedø viser, at det er et godt koncept. Overhederne er konstrueret, så der skal betydelige mængder slagge til, før de stopper til, og kedlen er udstyret med 12 sodblæsere for at

Masnedø-værket bruger 40.000 tons halm om året. Halmageret kan rumme 2.000 storballer, svarende til tre dages produktion ved fuld last.

Foto: Torben Skøtt/BioPress



sikre en god varmeoverføring. Derudover er toppen af kedlen og overhederne konstrueret, så de enkelte dele forholdsvis nemt kan skiftes ud.

I sommeren 2000 blev der installeret en ny røggaskøler, da den gamle viste sig at være gennemtæret. Den nye køler er 30 procent større end den gamle, så det har været muligt at hæve vandtemperaturen til 90 °C og dermed minimere risikoen for korrosion.

Halmhåndtering

Halmen håndteres frem til indfyringssystemet ved hjælp af en kran og to halmlinier. Ballerne rives op af to lodretstående snegle, hvorefter halmen føres ind i fyrrummet som en lufttæt prop ved hjælp af to sæt stokersnegle. På hvert af de to systemer er det muligt at indfyre træflis sammen med halmen.

Anlægget til flis består af to skubbebunde på lageret, hvorfra flisen transporteres til en såkaldt dagsilo. Fra siloen transporteres flisen frem til indfyringssystemet, hvor den blandes med halm og fyres ind på en vibrationsrist i kedlen.

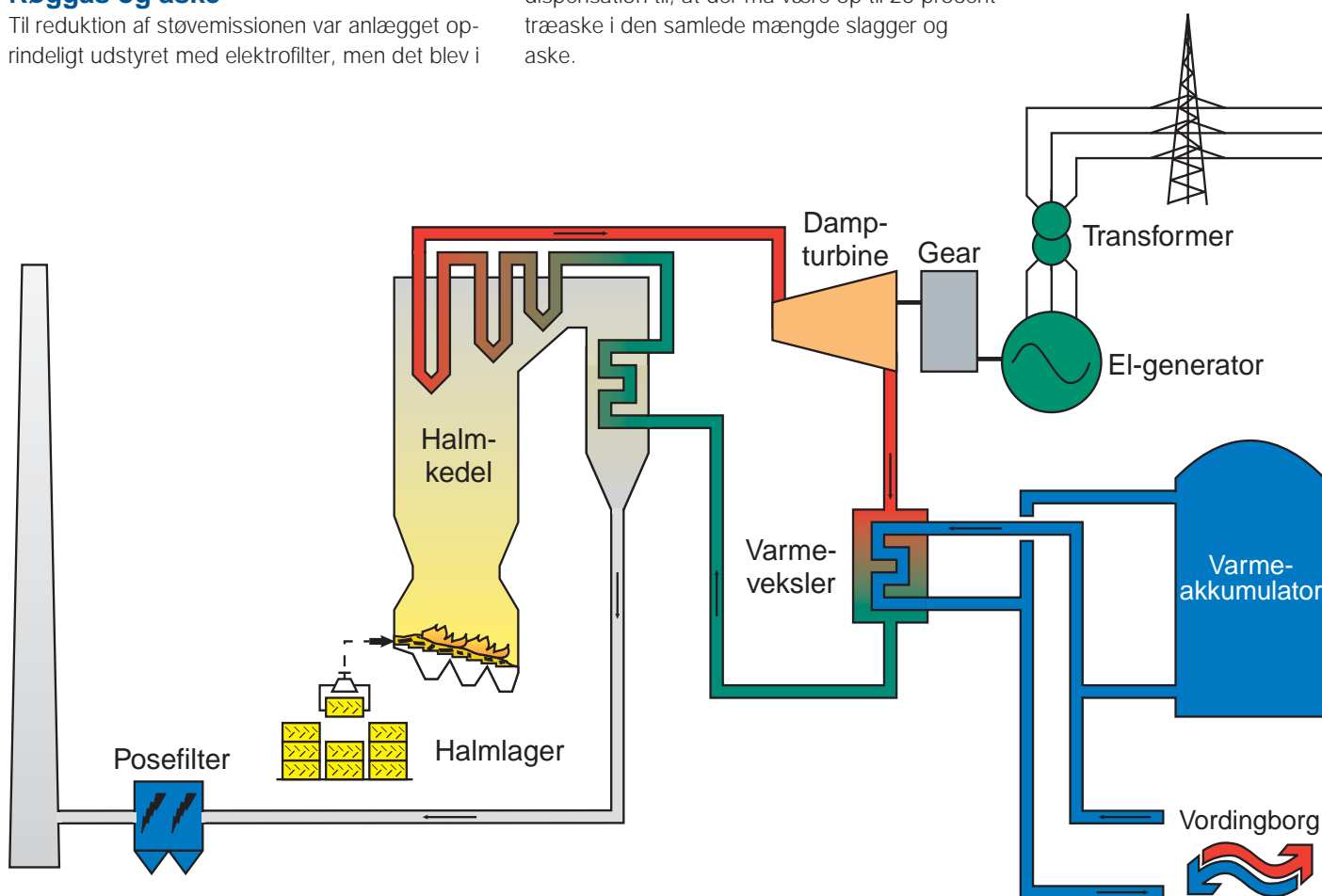
Røggas og aske

Til reduktion af støvemissionen var anlægget oprindeligt udstyret med elektrofilter, men det blev i

Data for Masnedø Kraftvarmeværk

Kommerciel drift	1996
Leverandør af kedelanlæg	Burmeister & Wain Energi A/S
Brændsler	Halm og flis
Forbrug af halm	40.000 tons/år
Forbrug af flis	5 – 10.000 tons/år
Indfyret effekt	36,4 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Vibrationsrist
Damptryk	92 bar
Dampmængde	12,9 kg/sekund
Damptemperatur	522 °C
Elvirkningsgrad	25 procent
Kedelvirkningsgrad	88 procent
Røggasrensning	Posefilter
El-effekt	9 MW

2005 skiftet ud med et posefilter. På Masnedø har man siden maj 2000 blandet flyveasken med bundaske. Den leveres tilbage til halmleverandørerne, der bruger den som gødning, idet man har dispensation til, at der må være op til 25 procent træaske i den samlede mængde slagger og aske.



Figur 16.1. Principskitse af Masnedø Kraftvarmeværk.

Enstedværket

– effektiv halmkedel med flisfyret overheder

Enstedværkets biokedel er installeret i en ældre bygning, der tidligere husede en kul-fyret kraftværksblok.

Foto: Torben Skøtt/BioPress



Enstedværkets biokedel var det første biomassefyrede anlæg i Danmark, som blev bygget efter principper, udviklet til deciderede kraftværksblokke. Tidligere blev biokedler normalt udført som beholderkedler med relativt lave damptryk og temperaturer, men på Enstedværket blev det for første gang muligt at anvende damp ved et tryk på over 200 bar og en temperatur på 540 °C. Derved lykkedes det at få elvirkningsgraden op på 41 procent.

Biokedlen på Enstedværket er placeret i en ældre bygning, der tidligere husede en kulfyret kraftværksblok. Anlægget er delt op i to trin: en halmkedel, der producerer damp ved 470 °C og en flisfyret overheder, der hæver temperaturen til maksimalt 542 °C.

Baggrunden for den konstruktion var en formodning om, at korrosionen af kedlens overhederrør ville være væsentligt lavere ved fyring med flis frem for halm, der indeholder betydelige mængder alkali og klor. Alligevel kunne man allerede to år efter at kedlen var taget i brug konstatere, at flisoverhederen var voldsomt angrebet af tæring. I dag har en stor del af flisoverhederen derfor fået

ny belægning, og damptemperaturen er sænket fra 540 °C til 510 °C.

Dampproduktionen fra biokedlen samles med dampen fra Enstedsværkets blok 3, der er kulfyret, hvorefter den ledes til en fælles turbine. Biokedlen bliver primært brugt til grundlast med cirka 6.000 driftstimer om året eller mere i samdrift med blok 3. I perioder, hvor denne blok ikke er i drift, bliver biokedlen ofte brugt til udelukkende at levere damp til produktion af fjernvarme.

Røggassen fra biokedlen renses i elektrofiltre og posefiltre. Flyveasken og bundasken holdes adskilt, så man har mulighed for at anvende bundasken som gødning.

Halm lageret har en kapacitet på cirka 1.000 storballer svarende til cirka et døgn forbrug. I gennemsnit får anlægget tilført godt 900 storballer i døgnet eller 38 vognlæs med hver 24 baller. Derudover modtager anlægget cirka 6 vognlæs flis.

Halmkedel

Halmkedlen er udstyret med fire halm-linier, men anlægget er i stand til at køre på fuld drift med



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Halm lageret kan rumme 1.000 storballer svarende til et døgn forbrug.

kun tre linier i brug. Hver linie består af en brandsluse, kædetransportører, halmoprøver, brandspjæld, indfyriingsstoker og indfyriingskanal. Halmopriveren består som på Masnedøværket af to lodrette snegle, som halmballen presses frem imod, hvorved halmen løsnes. Fra opriveren doseres halmstråene via et brandspjæld ned i stokersneglen, der presser halmen som en prop gennem indfyriingskanalen og ind på vibrationsristen i kedlen.

Indfyriingskanalen til halmen er vandkølet, og temperaturen holdes så tæt på 60 °C som muligt, men ikke over. Herved reduceres risikoen for korrosion, ligesom tendensen til at der dannes belægninger mindskes. I indfyriingskanalen komprimeres halmen til en let prop, som har til formål at hindre indtrængning af falsk luft til kedlen, samtidig med at den yder beskyttelse mod varme-stråling.

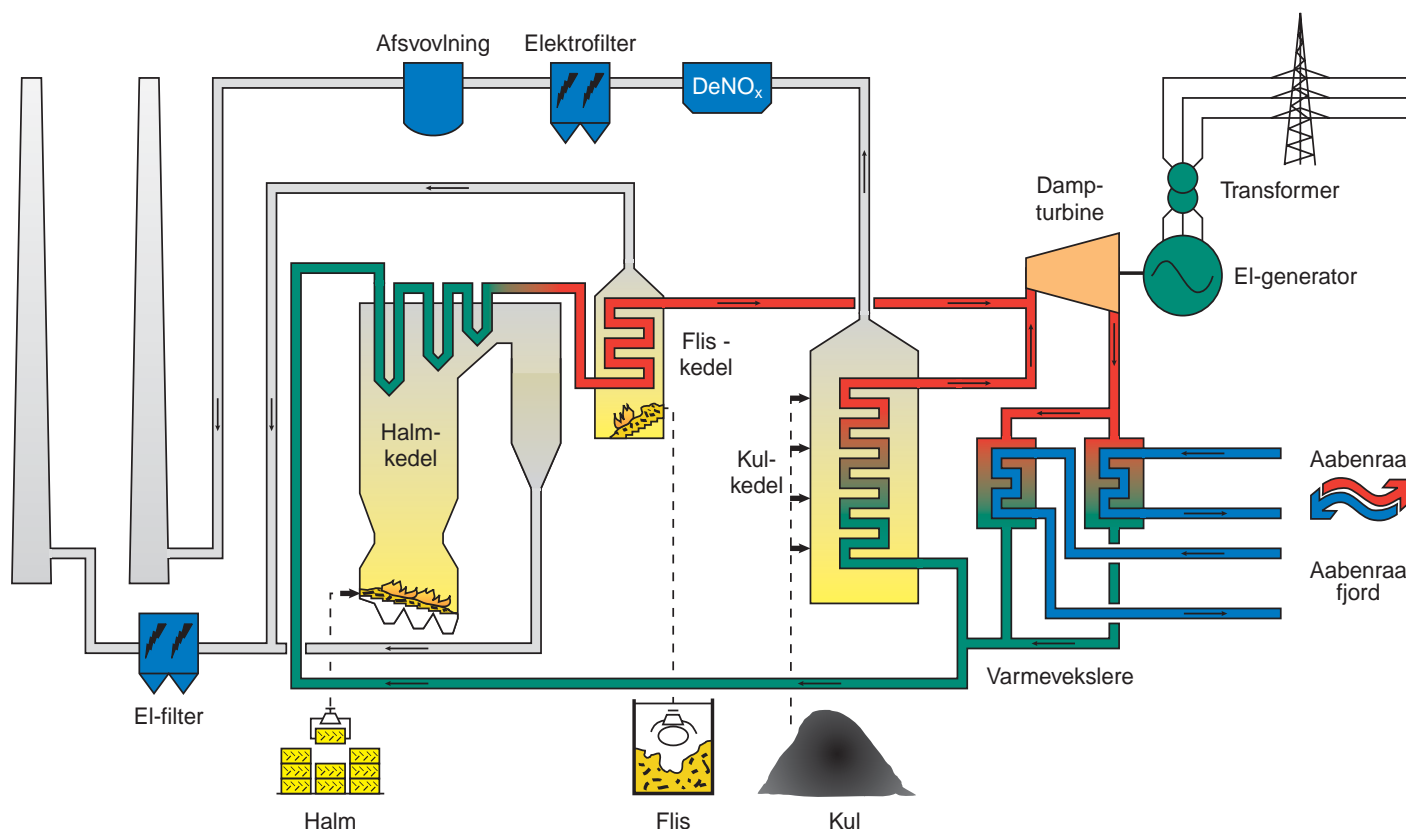
Flis kan også indfyres i halmkedlen og erstatte op til 20 procent halm. Tilsætning af flis foretages med fire snegle, der doserer flis til halmopriverkanalerne.

Fliskedlen

Fliskedlen er forsynet med 2 spreaderstokere til indfyriing og fordeling af flisen på vibrationsristen.

Data for Enstedværkets biokedel	
Kommerciel drift	1998
Leverandør af kedelanlæg	Burmeister & Wain Energi
Brændsler	Halm og flis
Halmforbrug	120.000 tons/år
Flisforbrug	30.000 tons/år
Indfyret effekt for halmkedel	80 MJ/s
Indfyret effekt for flisoverheder	15 MJ/s
Kedeltype	Kedel med tvangsgennemløb
Fyringskoncept	Vibrationsrist
Damptryk	210 bar
Dampmængde	34 kg/sekund
Aktuel damptemperatur	510 °C
Maksimal damptemperatur	542 °C
Elvirkningsgrad	41 procent
Kedelvirkningsgrad	92 procent
Røggasrensning	Elektrofilter og posefilter

De er begge drevet af luft, og det bevirker, at de største stykker lander længst tilbage på risten nær bagvæggen, mens de mindre stykker lander længere nede på risten. Derved opnås en lang opholdstid på risten for de store stykker og en forholdsvis kort opholdstid for de mindre stykker.



Figur 17.1. Principskitse af Enstedværket herunder sammenkoblingen mellem biokedlen og den kulfyrede kedel.

Assens Kraftvarmeværk

– et af de mindste dampturbineanlæg til biobrændsler



Foto: Torben Skott/BioPress

Assens kraftvarmeværk på Fyn er et af de mindste dampturbineanlæg i landet, der udelukkende fyrer med biomasse.

Assens Kraftvarmeværk blev opført i 1999 af Assens Fjernvarme Amba og er et af de mindste dampturbineanlæg i landet, der udelukkende fyrer med biomasse. Værket leverer fjernvarme til 2.500 kunder i Assens på Fyn, herunder stort set alle industrier i området. Omkring 98 procent af varmeforbruget i byen bliver dækket ved hjælp af fjernvarme, hvilket er med til at give en god udnyttelse af den installerede effekt.

Kraftvarmeværket er udstyret med to varmeakkumuleringsstanke på hver 2.500 m³. Det giver mulighed for at lukke produktionen ned i perioder med lavt varmeforbrug, ligesom driftslederen bedre kan tilpasse produktionen til de aktuelle el-afregningspriser. Strømmen bliver nemlig afregnet efter den såkaldte treleds-tarif, så det gælder om at producere så meget el som muligt i perioder med spidslast på nettet.

Kedelanlæg

Anlægget har en eleffekt på 5 MW ved den maksimale last, der er tilladt fra leverandørens side. Kedlen kan levere 10,3 MJ varme i sekundet til fjernvarmenettet, men ved tilslutning af en røgga-skondensator kan varmeydelsen hæves 15,1

MJ/sekund. I henhold til de oprindelige data fra leverandøren skulle totalvirkningsgraden være på 108 procent, men det er kun lykkedes at komme op på 94 procent.

Oprindelig var det hensigten at køre anlægget op til 110 procent last, men det har vist sig at give problemer, hvis energiindholdet i brændslet varierer. Under normale forhold bliver anlægget derfor holdt på den nominelle ydelse.



Foto: Torben Skott/BioPress

Assens Kraftvarmeværk importerer betydelige mængder træstammer, som hugges til flis med en mobil flishugger uden for værket.

Brændselshåndtering

Brændslet er overvejende træflis, men der kan anvendes et bredt spektrum af rene træbrændsler med et vandindhold på mellem 5 og 55 procent. Hovedparten af brændslet består af træflis, men der bliver også brugt træpiller samt savsmuld og andre restprodukter fra træindustrien.

Anlægget har en indendørs lagerkapacitet på 5.800 m³ brændsel, svarende til cirka 10 døgn forbrug. Derudover er der en betydelig udendørs lagerkapacitet til opbevaring af såvel hele træstammer som træflis og smuld. En væsentlig del af brændselsforbruget er gennem årene blevet dækket af import af flis og hele træstammer fra blandt andet Tyskland, Polen og Estland. Træstammerne lagres udendørs og bliver efterfølgende hugget til flis på værket med en mobil flis-hugger.

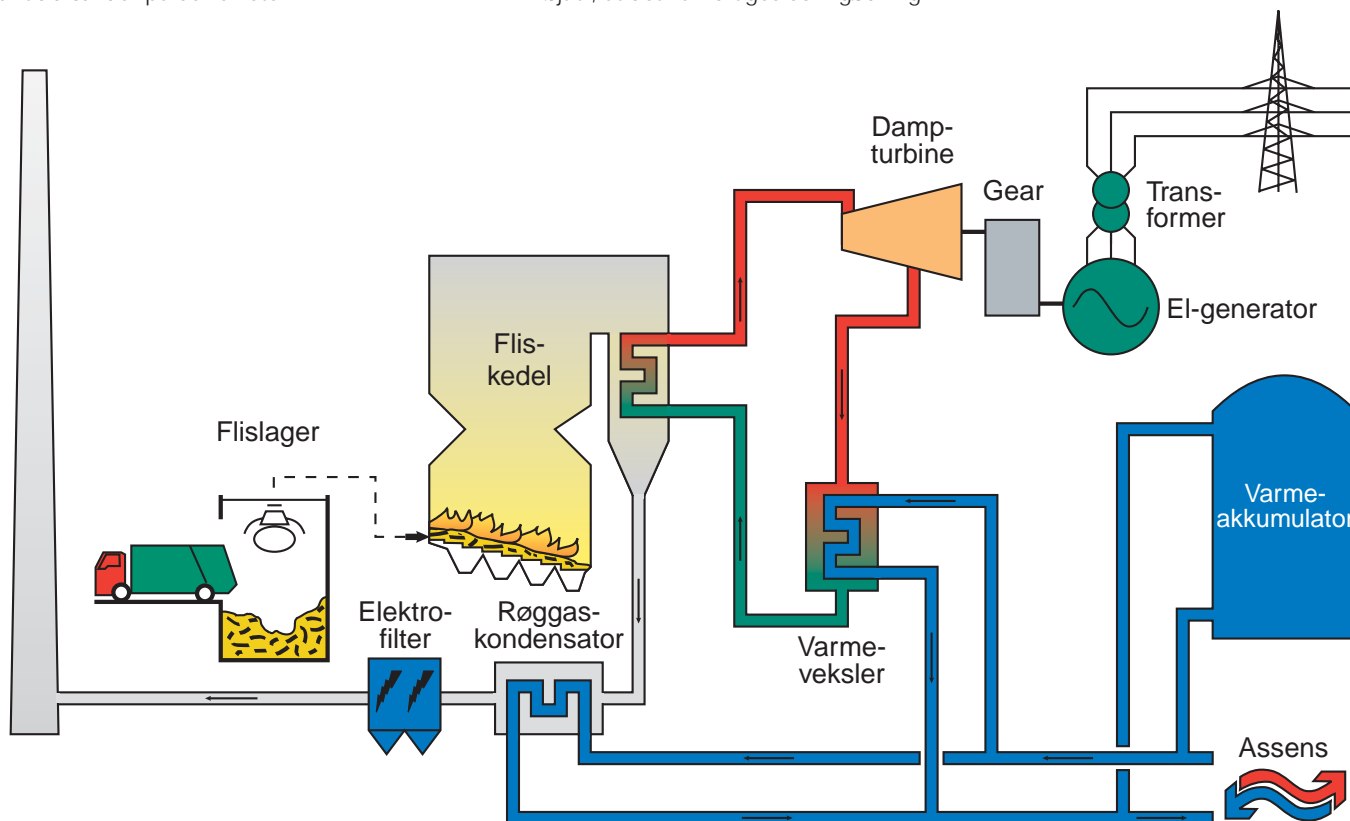
Fra lageret transporteres brændslerne ved hjælp af automatiske kraner til et særligt blandearrangement, hvor der for eksempel kan laves en blanding bestående af 70 procent flis og 30 procent smuld. Via transportbånd føres blandingen over i en doseringssilo og videre til to spreader-stokere, der kaster brændslet ind i fyrrummet. De lette bestanddele udbrænder, mens de svæver ned mod risten i fyrrummet, mens de større stykker udbrænder på selve risten.

Data for Assens Kraftvarmeværk

Kommerciel drift	1999
Leverandør af kedelanlæg	Ansaldo Vølund A/S
Brændsler	Skovflis, træpiller og savsmuld
Forbrug af træbrændsler	45.000 tons/år
Indfyret effekt	22 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Vibrationsrist
Damptryk	77 bar
Dampmængde	5,8 kg/sekund
Damptemperatur	525 °C
Elvirkningsgrad	24 procent
Kedelvirkningsgrad	94 procent
Røggasrensning	Elektrofilter
El-effekt	5 MW
Fjernvarmeydelse	15 MJ/sekund (med kondensering)

Røggas og aske

Røggassen renses for flyveaske i et elektrofilter, hvorefter den ledes gennem røggaskondensatoren, hvis der er behov for yderligere varme. I perioder med lavt varmeforbrug ledes røgen direkte fra elektrofilteret op gennem skorstenen. Slagge og aske deponeres, da indholdet af cadmium er for højt til, at det kan bruges som gødning.



Figur 18.1. Principskitse af Assens Kraftvarmeværk.

Maribo Saksøbing Kraftvarmeværk

– *senest opførte halmanlæg i Danmark*

Kraftvarmeværket i Maribo Saksøbing dækker cirka 90 procent af fjernvarmeforbruget i de to byer.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Værket i Maribo Saksøbing er det senest opførte decentrale kraftvarmeværk i Danmark, der fyrer med halm. Det blev indviet i 1999 og dækker cirka 90 procent af fjernvarmebehovet i Maribo og Saksøbing.

Anlægget er en videreudvikling af det halmfyrede anlæg i Masnedø. De to værker har samme indfyrede effekt, men ved at sænke fjernvarmetemperaturen, hæve damptemperaturen og modificere turbinen er der opnået en række bemærkelsesværdige forbedringer. Elproduktionen er således øget med 10 procent, elforbruget er sænket med 15 procent, og investeringerne er reduceret med cirka 10 procent i forhold til Masnedø.

Kraftvarmeværket er godkendt til 24 timers ubemandet drift og kan – som en række andre de-



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Mellem halmlageret og kedelbygningen er der to brandporte for at minimere risikoen for brand.

centrale værker på Sjælland – overvåges fra Kyndbyværket ved Frederikssund. Der er syv ansatte på værket, som betjener anlægget inden for den normale arbejdstid.

Værket har et årligt forbrug på cirka 40.000 tons halm, der leveres af landmænd på Lolland-Falster. Halmlageret kan rumme 900 tons, hvilket svarer til cirka fire dages forbrug ved fuld produktion.

Kedelanlæg

Kedlen er af samme type som på Masnedø, men i kraft af en højere damptemperatur er elvirkningsgraden oppe på 29 procent mod 25 procent i Masnedø. I starten var der en dampproduktion på 12 kg i sekundet, men efter de seneste års udvidelse af fjernvarmenettet i Maribo er anlægget blevet opgraderet til at kunne levere 13,8 kg damp i sekundet. Produktionen kan varieres fra 35 til 100 procent af fuldlast, men normalt går man ikke under 70 procent af fuldlast.

For at opretholde varmeovergangen mellem røggassen og kedlens hedeblædere er der installeret en række sodblæsere, som anvender overhedet damp med en temperatur på 350 °C. Trykket fra de enkelte sodblæsere varierer mellem 6 og 13 bar afhængigt af placeringen. Sodblæsningen sker automatisk efter behov, hvilket i praksis vil sige cirka tre gange i døgnet. I 2006 er systemet udbygget med vandsodblæsere i fyrrummet.

Normalt er der højst 25 procent fugt i de halmballer, værket modtager, men hvis fugten er no-

genlunde ligeligt fordelt i ballen, kan der brændes baller med op til 35 procent fugt. Det sker dog kun i perioder, hvor værket er bemanded, da den fugtige halm kan give anledning til problemer under indfyringen.

Halmhåndtering

Kedlen forsynes med brændsel fra to halmlinier. Der er ligeledes indbygget to brandporte mellem halmlager og kedelbygning, men for at minimere risikoen for brand er der kun én port, der er i drift ad gangen.

Halmballerne rives op af to lodretstående snegle, hvorefter halmen føres ind i fyrrummet som en lufttæt prop ved hjælp af to sæt stokersnegle.

Brændslets fugtindhold måles ikke i forbindelse med indfyringen. Når man vælger at anvende halm med et højt vandindhold, øges mængden af primærluft, og mængden af sekundærluft reduceres tilsvarende. Det gøres manuelt.

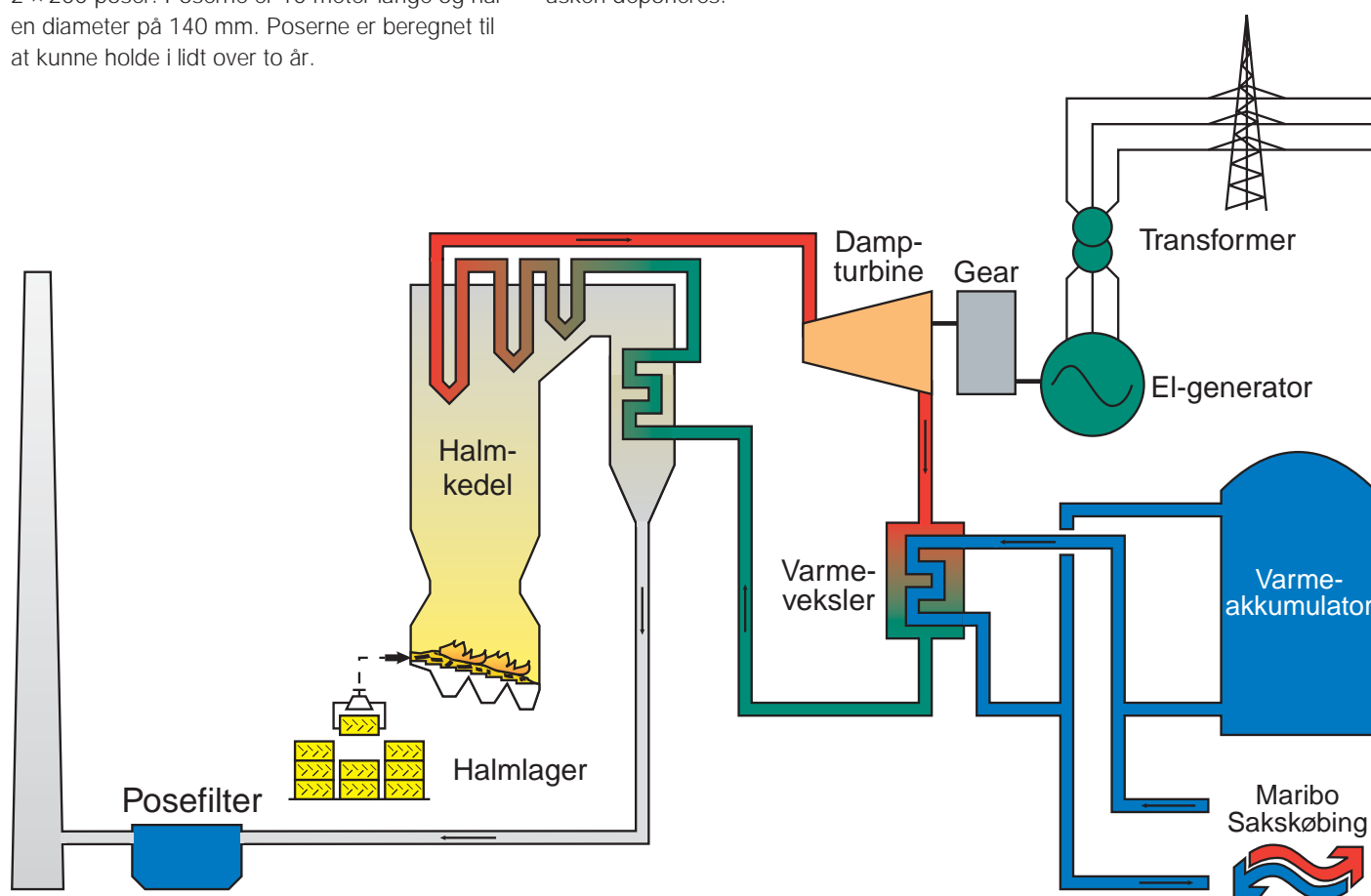
Røggas og aske

Røggassen renses i et filtersystem bestående af 2 × 200 poser. Poserne er 10 meter lange og har en diameter på 140 mm. Poserne er beregnet til at kunne holde i lidt over to år.

Data for Maribo Sakskøbing Kraftvarmeværk

Kommerciel drift	2000
Leverandør af kedelanlæg	FLS Miljø A/S
Brændsler	Halm
Forbrug af halm	45.000 tons/år
Indfyret effekt	37 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Vibrationsrist
Damptryk	102 bar
Dampmængde	13,8 kg/sekund
Damptemperatur	540 °C
Elvirkningsgrad	29 procent
Kedelvirkningsgrad	88 procent
Røggasrensning	Posefilter
El-effekt	10,6 MW
Fjernvarmeydelse	22,5 MJ/sekund

En del af flyveasken blandes med bundasken og leveres tilbage til landmændene, hvor den spredes ud på markerne. Den resterende del af flyveasken deponeres.



Figur 19.1. Principskitse af Maribo Sakskøbing Kraftvarmeværk.

Avedøreværket

– *et af verdens mest effektive kraftværker*

Avedøreværket syd for København består af to kraftværksblokke. Den nyeste blok kan aftage 150.00 tons halm og 300.000 tons træpiller om året.

Foto: Torben Skøtt/BioPress



Avedøreværket ligger på Avedøre Holme syd for København og består af to kraftværksblokke, Avedøre 1 fra 1990 og Avedøre 2 fra 2001. Avedøre 1 benytter primært kul, mens Avedøre 2 kan fyre med mange forskellige former for brændsler herunder naturgas, olie, halm og træpiller.

Avedøre 2 hører til en af de mest effektive kraftværksblokke i verden. Anlægget er i stand til at udnytte op til 94 procent af energien i brændslerne, og elvirkningsgraden er helt oppe på 49 procent. Det er et forholdsvis kompliceret værk, men grundlæggende set består det af en hovedkedel, som kan fyres med olie, naturgas eller træpiller samt en halmkedel, der kan aftage 150.000 tons halm om året. Til anlægget hører også to gasturbiner, der blandt andet bliver brugt til opvarmning af fødevand.

Hovedkedlen på Avedøre 2, hvor der kan indfyres op til 300.000 tons træpiller om året.

Foto: Energi E2



Hovedkedlen

Hovedkedlen er en såkaldt tårnkedel, det vil sige en kedel med ét røggatræk. Der er fire højtryksoverhedere og tre mellemtryksoverhedere. For at opretholde temperaturen på den overhedede damp, og dermed virkningsgraden, er der installeret et system til recirkulering af røggassen.

Oprindeligt var hovedkedlen kun beregnet til olie og naturgas, men i 2002 blev anlægget bygget om, så det blev muligt at indfyre op til 300.000 tons træpiller om året. Træpillerne pulveriseres i traditionelle kulmøller og blæses ind i fyrrummet

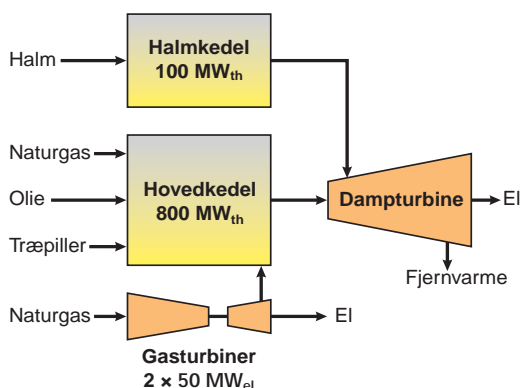
gennem 12 af de 16 brændere, som kedlen er udstyret med.

Træpillerne stammer dels fra DONG's egen pil-lefabrik i Køge, dels fra piller der er købt på mar-kedsvilkår. Ved kullageret på Avedøreværket er der bygget et korttidslager til 13.000 tons træ-piller og to langtidslagre til i alt 36.000 tons træ-piller.

Halmkedel og halmlager

Halmkedlen er en såkaldt Benson-kedel med hængende overhedere i fyrrummet. Oprindeligt var kedlen udstyret med to gasbrændere, men de blev demonteret i foråret 2004. Kedlen er ud-styret med en vibrationsrist, som for hver af de fire halm-linier er opdelt i tre luftzoner.

Halmlageret kan rumme knap 3.000 storballer og er indrettet, så det er muligt at modtage 10-12 lastbiler i timen. Fra lageret transporteres halm-ballerne i fire linier til kedlen. Der anvendes her en ny type halmoprøver, hvor de løsnede halmballe-



Figur 20.1. Principskitse af Avedøreværket.

Data for Avedøreværket (Avedøre 2)	
Kommerciel drift	2001
Leverandør af kedelanlæg	FLS miljø, BWE, Vølund
Brændsler	Olie, naturgas, træpiller og halm
Forbrug af træpiller	300.000 tons/år
Forbrug af halm	150.000 tons/år
Indfyret effekt	800/ MW
Kedeltype	Benson
Fyringskoncept	Biostøvfyiring/vibrationsrist
Damptryk (hovedkedel/halmkedel)	305/310 bar
Dampmængde (hovedkedel/halmkedel)	296/40 kg/sekund
Damptemperatur (hovedkedel/halmkedel)	582/545 °C
Elvirkningsgrad	49 procent
Kedelvirkningsgrad	94 procent
Røggasrensning (hovedkedel/halmkedel)	DeNO _x -anlæg, el-filter og afsvovningsanlæg/posefilter
El-effekt	390/275 MW

slag oprives mellem to tromler. Den oprevne halm transporteres ind i kedlen ved hjælp af stokersnegle.

Røggas og aske

Bundasken fra halmkedlen returneres til land-mændene, mens flyveasken sendes til Kommu-nekemi i Nyborg, hvor den oparbejdes til han-delsgødning. Hovedkedlen er udstyret med deNO_x- anlæg, el-filter og afsvovningsanlæg til rensning af røgen.

Randers Kraftvarmeværk

– fra kul til biomasse

Randers Kraftvarmeværk er for en forholdsvis beskednen investering blevet ombygget til at kunne fyre med forskellige former for biomasse.

Foto: Torben Skøtt/BioPress



Randers Kraftvarmeværk, med det officielle navn Energi Randers Produktion A/S, er ejet af det lokale energiselskab i Randers Kommune. Værket, der blev sat i drift i 1982, er oprindeligt kulfyret, men er senere blevet ombygget til at kunne fyre med en høj andel af biomasse.

Kedelanlægget består af to beholderkedler med naturlig cirkulation. Det giver en høj driftssikkerhed og gode muligheder for at kunne tilpasse produktionen til det aktuelle fjernvarmeforbrug.

Foto: Torben Skøtt/BioPress



Et kig ind i én af de to lagerhaller, der kan rumme i alt 25.000 m³ biomasse.

Dampsystemet omfatter en economizer, en fordamper som danner væggene i fyrrummet, en kedelbeholder og tre overhedere.

Som reserve for turbineanlægget er der installeret en dampomformer, så fjernvarmeleverancen kan ske uden om turbinen. I november 1991 installerede Randers Kommunale Værker en varmeakkumulator på værket, så elproduktionen i højere grad kan frigøres fra varmeproduktionen.

Ombygning til biomasse

Kedlerne er oprindeligt udstyret med spreaderstokere til kulfyring, men i 1994 blev systemet udvidet med gasbrændere, så der ud over kul kan afbrændes biogas fra den kommunale losseplads i byen. I 2002 blev anlægget udstyret med pneumatisk indfyring af biomasse i tre positioner over spreaderstokkerne, og i 2004 blev systemet udbygget yderligere for at give mulighed for at tilsætte op til 75 procent biomasse. I praksis er det dog kun lykkedes at komme op på 50

procent biomasse, men i 2008 er der planer om endnu en ombygning, som skal gøre det muligt at indfyre op til 100 procent biomasse på risten.

Ombygning af værket til fyring med biomasse har kostet knap 30 millioner kroner. Pengene er blandt andet brugt på et system, der kan håndtere de forskellige typer biomasse, to siloer samt to lagerhaller, der kan rumme i alt 25.000 m³ biomasse.

I starten blev der fyret med olivenkerner fra Spanien. Senere blev der anvendt kød- og benmel, men det gav problemer med anvendelse af restprodukterne fra anlægget. I dag anvendes der en lang række forskellige typer biomasse som kakao-skaller, sheanødder, træpiller, olivenkerner, samt rester af foderpiller og kaffebønner. Kravene til leverandørerne er, at der skal være tale om tør biomasse, som er nævnt i Biomassebekendtgørelsen. Der har aldrig været fyret med flis på grund af det høje vandindhold, ligesom man undgår halm for at minimere risikoen for korrosion. I 2006 bestod brændslet af 62 procent kul og 38 procent biomasse (beregnet på energibasis).

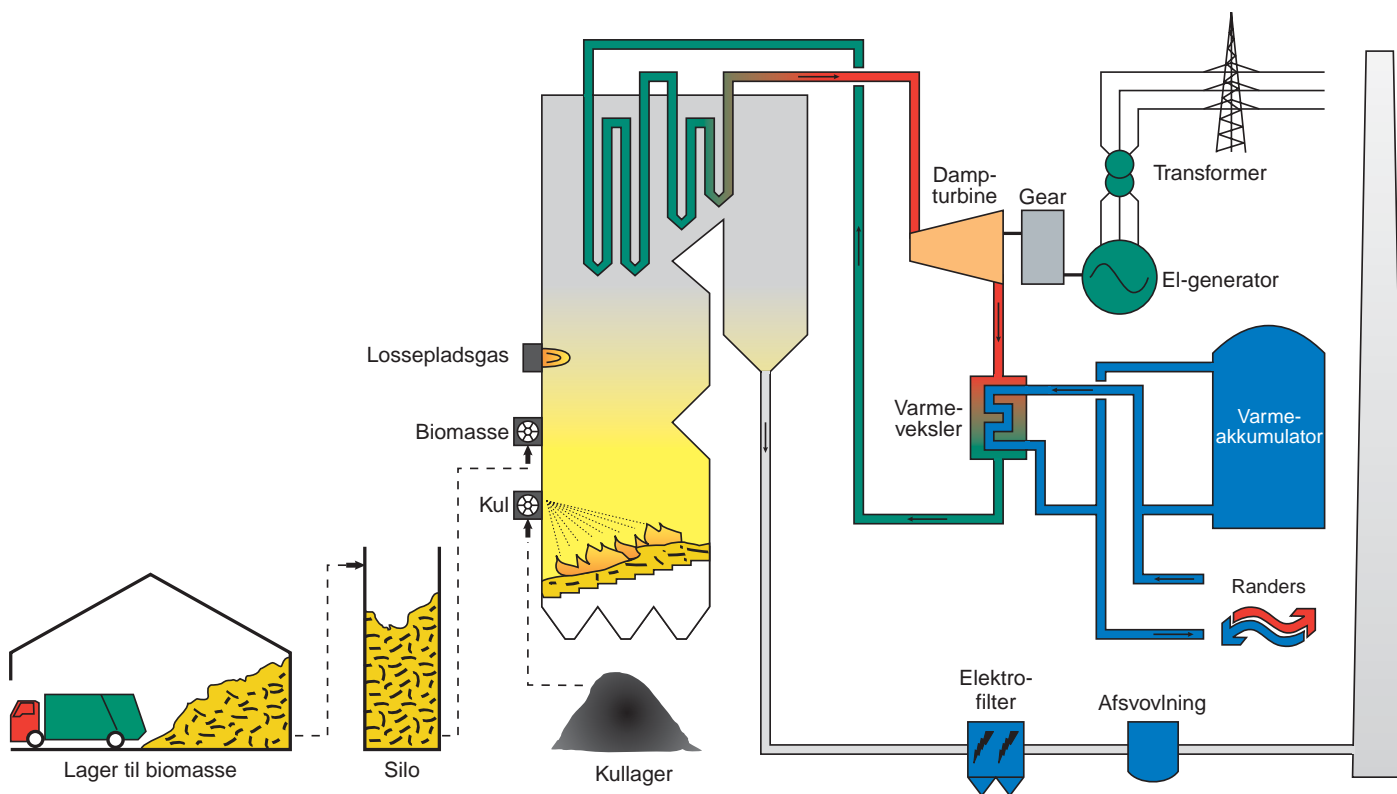
Restprodukter

Anlægget er udstyret med et elektrofilter til røggasrensning samt et afsvovningsanlæg, der fjerner

Data for Randersværket

Kommerciel drift	1982/1994/2002
Leverandør af kedelanlæg	Aalborg Værft/Aalborg Energie Teknik
Brændsler	Kul og tør biomasse
Forbrug af biomasse	74.000 tons/år
Indfyret effekt	180 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Spreaderstoker og vandrerist
Damptryk	111 bar
Dampmængde	32 kg/sekund
Damptemperatur	525 °C
Elvirkningsgrad	25 procent
Kedelvirkningsgrad	89 procent
Røggasrensning	Elektrofilter
El-effekt	52 MW
Fjernvarmeydelse	112 MJ/sekund

97 procent af svovlindholdet i røgen. Flyveasken sendes til Sverige, hvor den anvendes til fremstilling af cement, mens restprodukterne fra afsvovningsanlægget bruges til produktion af gipsplader. Slagger fra de to beholderkedler afhentes af en lokal vognmand, der blandt andet bruger det til vejfyld.



Figur 21.1. Principskitse af Randers Kraftvarmeværk

Herningværket

– største flisfyrede anlæg i Danmark



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Herningværket med flislager i forgrunden.

Herningværket, der er fra 1984, blev oprindeligt bygget til at fyre med kul og olie. I år 2000 blev værket ombygget til naturgas, men allerede to år senere blev det bygget om til at kunne fyre med en kombination af naturgas og træflis.

Ved ombygningen er den nederste del af kedlen skiftet ud, og der er installeret en vibrationsrist til forbrænding af flis. Derudover er der monteret udstyr til håndtering af flisen, der er etableret lagerfaciliteter, og endelig er der installeret en stor flishugger, så værket er i stand til at modtage hele træstammer som brændsel.

Beslutningen om at skifte kullene ud med naturgas og træflis hænger blandt andet sammen med de skærpede miljøkrav, der bliver stillet til kraftværkerne. I Herning stod valget mellem at installere et afsvovningsanlæg eller finde et mere miljøvenligt brændsel, og da man samtidig havde brug for at øge kapaciteten til biobrændsler for at kunne leve op til kravene i Biomasseplanen, var træflis et naturligt valg.

Kedelanlæg

Det er Burmeister & Wain Energi, der har stået for ombygningen sammen med FLS Miljø og Raumaster, der har installeret anlægget til transport og håndtering af flis.

Kedlen er en såkaldt hængende beholderkedel med naturlig cirkulation, hvor kedlens vægge, bund og loft er opbygget af panelsektioner, der udgør fordampersystemet. Ved ombygningen til flisfyring er der installeret en vibrationsrist, og den nederste sektion har fået den karakteristiske "gashals", som findes på hovedparten af de biomassefyrede kedler. Kedlen er udstyret med tre overhedere placeret som to strålingsoverhedere i toppen af fyrrummet og en konvektionsoverheder i kedlens andet træk. Dampen strømmer først til konvektionsoverhederen, der hæver temperaturen til 453 °C og derfra videre til de to strålingsoverhedere, som sørger for en yderligere temperaturstigning til 525 °C.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Der tages løbende prøver af flisen for at bestemme vandindholdet.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Etablering af flislager ved Herningværket.

Brændselshåndtering

Efter ombygningen er Herningværket i stand til at aftage 250.000 tons træflis om året og er dermed det kraftvarmeværk i landet, der har det største forbrug af flis.

Til håndtering af de store mængder flis er der installeret siloer, diverse transportsystemer og et indendørs lager på 13.000 m³ svarende til cirka 75 timers drift. Derudover er der installeret et system til udtagning af flisprøver, en metalseparator til at fjerne urenheder og en stationær flishugger, der kan håndtere hele stammer.

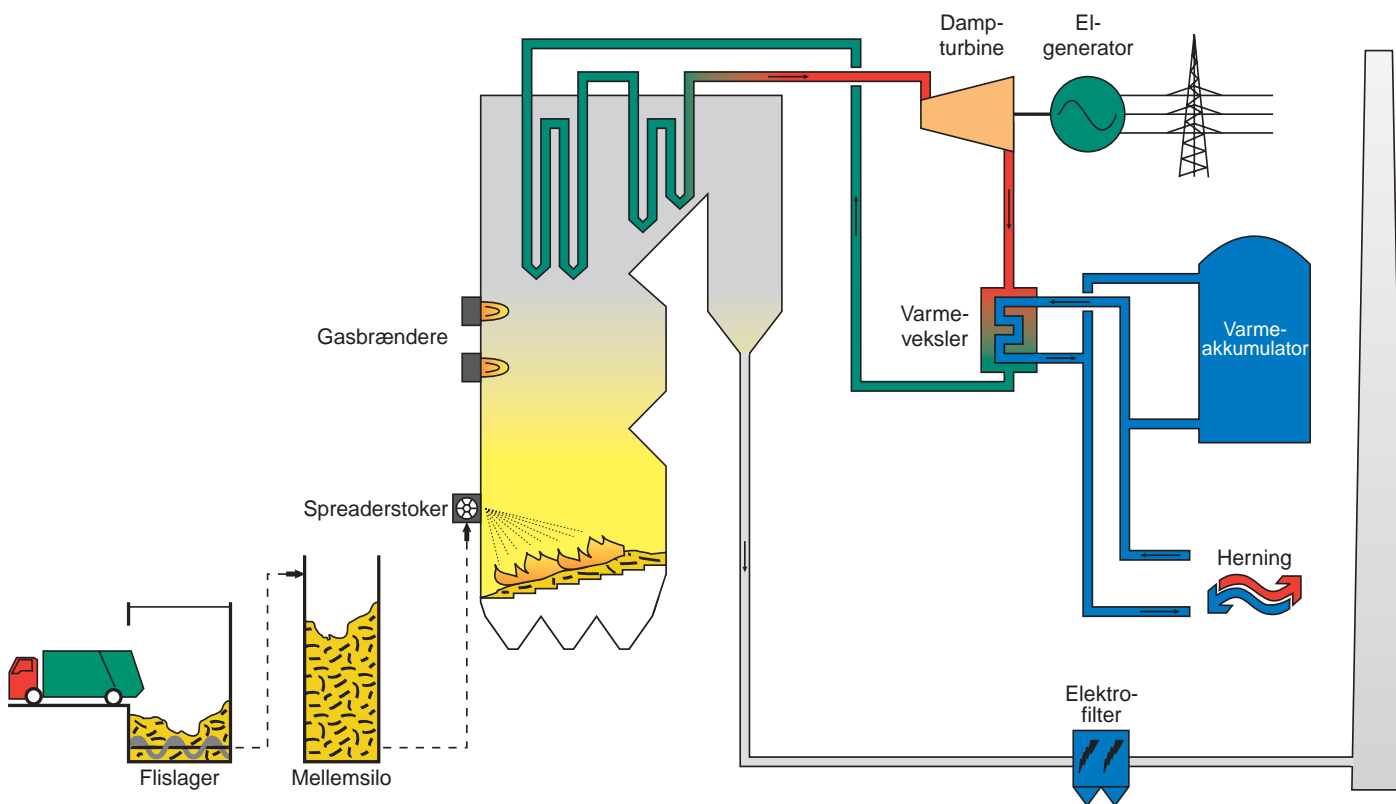
Indfyringsystemet til flis består af to siloer på hver 75 m³, som begge er tilkoblet et sneglebaseret transportsystem, der føder seks spreaderstokere. Stokerne sørger for, at brændslet bliver kastet ind på vibrationsristen. Her tørres, afgases og forbrændes de lette bestanddele i kedelrummet over risten, mens de større partikler udbrænder på selve risten.

Den vandkølede vibrationsrist dækker et areal på 90 m². I risten er der over 43.000 små huller,

Data for Herningværket

Kommerciel drift (kul/gas/flis)	1984/2000/2003
Leverandør af kedelanlæg	Burmeister & Wain Energi
Brændsler	Flis og naturgas
Forbrug af flis	250.000 tons/år
Indfyret effekt	288 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Vibrationsrist
Damptryk	115 bar
Dampmængde	118 kg/sekund
Damptemperatur	525 °C
Elvirkningsgrad	30 procent
Røggasrensning	Elektrofilter
El-effekt	89 MW
Fjernvarmeydelse	174 MJ/sekund

som bruges til fordeling af primærluften. Hver fjerde minut vibrerer risten i cirka 4 – 5 sekunder, hvorved brændslet flyttes 200 – 300 mm frem.



Figur 22.1. Principskitse af Herningværket, hvor der på årsbasis bliver brugt 250.000 tons træflis.

Amagerværket

– fra kul til halmpiller



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Amagerværket med surfer i forgrunden.



Foto: Torben Skøtt/BioPress

Losning af halmpiller fra pillefabrikken i Køge.

Amagerværket består af ikke mindre end tre kraftværksblokke, der oprindeligt var designet til at fyre med kul som det primære brændsel. Blok 1 og 2 er fra starten af 1970'erne, mens den noget større blok 3 er fra 1989. I tilknytning til værket er der endvidere etableret en varmeakkumulator, som kan indeholde 24.000 m³ fjernvarmevand.

Blok 3 er udstyret med både afsvovlingsanlæg og deNO_x-anlæg, hvorimod der ikke er gjort meget ud af miljøanlæggene på de to ældre kraftværksblokke. På et tidspunkt blev der imidlertid stillet krav om, at blok 1 og 2 skulle udstyres med moderne miljøanlæg senest den 1. januar 2005, hvis der fortsat skulle fyres med kul i kedlerne.

I 2003 valgte man at gennemføre en mindre ombygning af blok 2 fra kul til halmpiller, og i 2006 gik man i gang med en totalreivering af blok 1.

Alle installationer bliver skiftet ud, så anlægget i 2008 kan stå færdigt som et nyt multibrændselsværk, der kan fyres med kul, halmpiller og træpiller.

Blok 2

Ved at bruge et tørt brændsel som halmpiller har det været muligt at anvende den eksisterende kulfyrede kedel på blok 2. De oprindelige kulmøller er renoveret og bruges nu til at neddele pillerne, hvorefter halmstøvet fordeles til de 12 brændere, kedlen er udstyret med.

Forbrændingen af halm kan som bekendt give problemer med korrosion i kedlens overhederrør. For at minimere risikoen, og dermed forlænge kedlens levetid, har man valgt at reducere damptemperaturen til 480 °C. Derved er kedlens indfyrede effekt reduceret til cirka 70 procent last i forhold til kulfyring.

Efter ombygningen af blok 2 til halmpiller kan der på årsbasis afbrændes 130.000 tons piller, svarende til cirka 2.100 fuldlasttimer. Pillerne bliver fremstillet på Køge Biopillefabrik og transporteres frem til værket med skib, da vejnettet mellem Køge og Amagerværket er hårdt belastet.

Blok 1

Ombygningen af blok 1 er en del af den såkaldte Københavnsplan, der skal sikre varmeforsyningen i København de næste 20 år. Blok 1 får i den forbindelse en ny kedel, hvor der kan fyres med kul og biomasse, en ny turbine, et nyt miljøanlæg samt en ny skorsten. Planen indebærer endvidere etablering af en fire kilometer lang damptunnel, som skal transportere dampen fra Amagerværket til det københavnske fjernvarmenet i den indre by.

Det nye kedelanlæg vil kunne fyres 100 procent med enten kul eller træ, 90 procent på ren halm eller kombinationer heraf. I forhold til ren kulfyring er det især halmen, der byder på udfordringer. Det gælder både korrosionsforhold, belægninger i kedlen og hvilken type miljøanlæg, anlægget skal udstyres med.

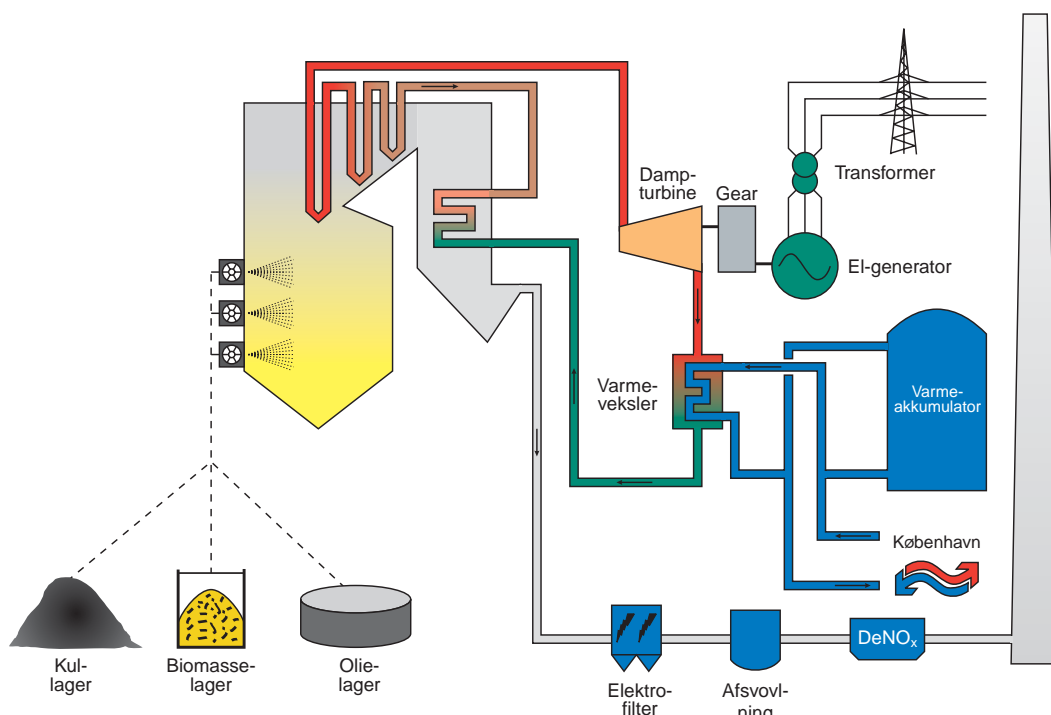
Røgen fra det nye kedelanlæg ledes igennem et afsvovningsanlæg og et deNOx-anlæg, der fjerner cirka 90 procent af røggassens indhold af kvælstofilter. Da halmaske indeholder kalium, som forgifter katalysatoren, er deNOx-anlægget

Data for Amagerværkets blok 1

Kommerciel drift	1971/2009
Leverandør af kedelanlæg	Burmeister og Wain Energy
Brændsler	Kul, olie, træpiller og halmpiller
Forbrug af brændsel	150.000 tons/år
Indfyret effekt	350 MW
Kedeltype	Benson
Fyringskoncept	Støvfyring
Damptryk	185 bar
Dampmængde	139 kg/sekund
Damptemperatur	562 °C
Elvirkningsgrad	23 procent
Kedelvirkningsgrad	95 procent
Røggasrensning	Afsvovningsanlæg og deNOx-anlæg
El-effekt	80 MW
Fjernvarmeydelse	250 MJ/sekund

placeret efter askeudskilleren og afsvovningsanlægget, så indholdet af kalium i røggassen er minimeret.

Den nyrenoverede blok 1 får en kapacitet på 80 MW el og 250 MJ/s fjernvarme. I 2008, når ombygningen er færdig, vil de tre kraftværksblokke tilsammen dække omkring 13 procent af det sjællandske elforbrug, og hvad der svarer til varmebehovet i 115.000 parcelhuse.



Figur 23.1. Principskitse af Amagerværkets blok 1.

Studstrupværket

– samfyring af kul og halm



Studstrupværket, hvor der i dag fyres med en blanding af kul og halm på blok 3 og 4. Blok 1 og 2 er ikke længere i drift.

Foto: Torben Skott/BioPress

Studstrupværket nord for Århus blev sat i drift i 1968. Der har været i alt fire blokke på værket, men i dag er det kun blok 3 og 4, der er i drift.

I 1995 blev Studstrupværkets blok 1 ombygget fra kulfyring til kombineret kul- og halmfyring som led i et to-årigt demonstrationsprogram. Formålet var at få undersøgt, hvilken indflydelse halmen havde på kedelydelse, forbrændingskemi, belægningsdannelse, emissioner og korrosion.

Efter to års drift kunne man konkludere, at teknologien var bæredygtig – i det mindste op til en halmandel på maksimalt 20 procent. Halmen havde ikke påvirket kedlens ydelse nævneværdigt, og såvel korrosion af kedlen som dannelse af belægnings kunne holdes på et acceptabelt niveau.

På den baggrund blev det besluttet at konvertere den store blok 4 om til samfyring af kul og halm. I praksis foregik det ved at ombygge fire af de

eksisterende 24 kulstøvbrændere til fyring med halm. Anlægget blev idriftsat i 2002 og har siden været i kommerciel drift.

I 2005 blev det vedtaget at foretage den samme ombygning af blok 3, så i dag kan begge kraftværksblokke på Studstrup fyre med en kombination af halm og kul.

Ombygning til halmfyring

Studstrupværkets blok 3 og 4 er begge fra 1985. Der er tale om to såkaldte Benson-kedler, udstyret med 24 brændere i to niveauer.

Ombygningen af de to blokke til tilsatsfyring med halm har blandt andet omfattet modifikation af fire brændere i det øverste brænderpanel på kedlens bagvæg. Modifikationen omfatter blandt andet flytning af olielansen for at gøre plads til indfyring af formalet halm i centerrøret. De ombyggede brændere kan hver brænde op til fem tons halm i timen.

Halmhåndtering

Studstrupværket er i dag udstyret med et halm-lager, der kan rumme cirka 1.150 halmballer. Af-læsning af lastbiler foretages med semi-automatiske kraner, og der kan aflæsses to lastbiler ad gangen.

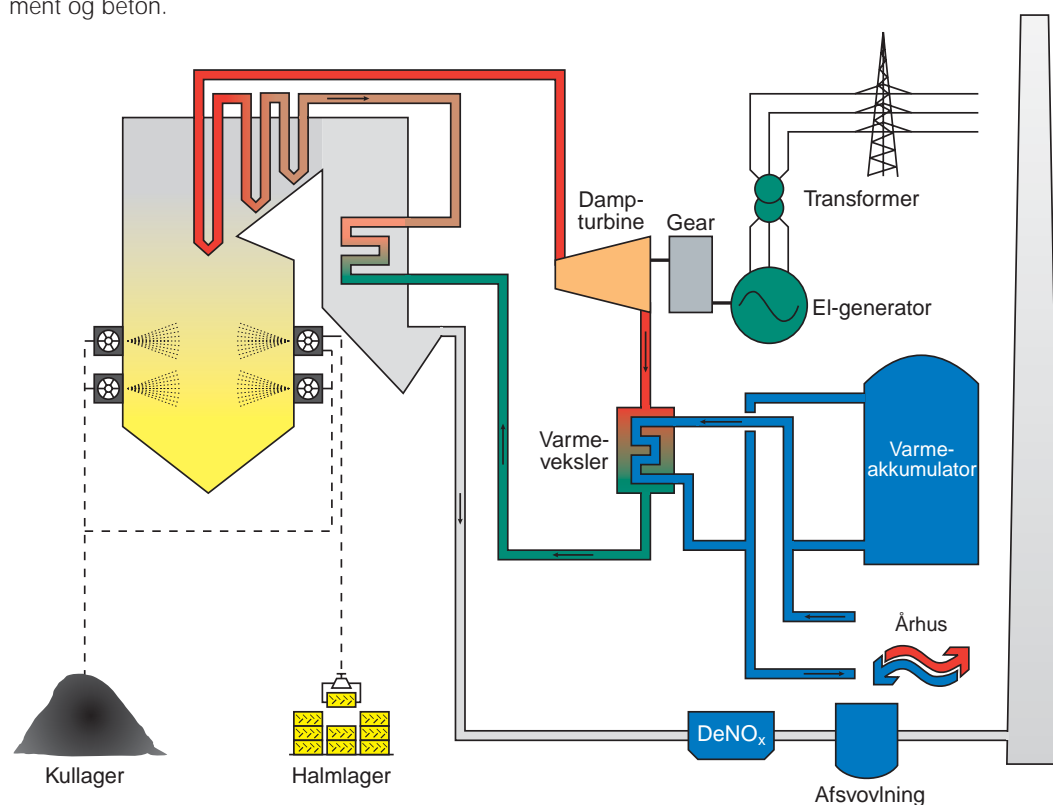
Anlægget er udstyret med fire halm-linier til bearbejdning af halmen, inden den fyres ind i de to kedler. Først fjernes snorene, der holder ballerne sammen. Derefter rives halmen op, sten og andre urenheder fjernes, hvorefter halmen formales i en hammermølle. Transporten af halm til brænderne på kedlen foretages via et pneumatisk transportsystem udstyret med kapselblæser.

Røggas og aske

Et elektrofilter sørger for at rense røggassens indhold af partikler, og derudover er anlægget udstyret med afsvovlingsanlæg og efterfølgende posefilter. Flyveasken anvendes til produktion af cement og beton.

Data for Studstrupværket

Kommerciel drift af halmfyring	2002 (blok 4) og 2005 (blok 3)
Leverandør af kedelanlæg	Babcock
Brændsler	Halm og kul
Forbrug af halm	130.000 tons/år
Kedeltype	Benson
Fyringskoncept	Tilsatsfyring
Damptryk	250 bar
Dampmængde	287 kg/sekund
Damptemperatur	540 °C
Elvirkningsgrad	42 procent
Røggasrensning	Elfilter, deNO _x -anlæg og afsvovlning
El-effekt	2 × 350 MW
Fjernvarmeydelse	2 × 455 MJ/sekund



Figur 24.1. Principskitse af Studstrupværket.

Fynsværket

– *nyt halmværk klar i 2009*



Fynsværket som det ser ud i dag. Den nye halmfyrede kraftværksblok placeres nederst til venstre i billedet.

Foto: Eisam

Fredag den 2. marts 2007 blev det første spadestik taget til et stort halmfyret kraftvarmeværk ved Fynsværket, og dermed faldt den sidste brik i det store puslespil om Biomasseplanen fra 1993 endelig på plads. Oprindeligt gik planen ud på, at kraftværkerne skulle aftage 1,4 millioner tons biomasse inden udgangen af 2000, men af forskellige årsager bliver målet først nået, når den nye kraftværksblok i Odense bliver taget i brug i foråret 2009.

Det er Vattenfall, der står bag opførelsen af det nye anlæg til 750 millioner kroner. Værket etableres som en selvstændig enhed, der vil kunne fungere uafhængigt af de øvrige anlæg på Fynsværket, der anvender kul og affald. Den nye kedel bliver i stand til at brænde flere forskellige typer biomasse, men i starten vil der kun blive brugt halm. På årsbasis vil anlægget være i stand til at aftage 170.000 tons halm, og det vil betyde en reduktion af CO₂-udslippet på cirka 200.000 tons om året i forhold til en kulfyret kraftværksblok.

Kraftvarmeværket får en eleffekt på 38 MW, og den årlige produktion bliver på godt 190 millioner kWh, svarende til elforbruget i cirka 43.000 husholdninger. Varmeproduktionen vil kunne dække behovet i omkring 20.000 husholdninger eller cirka 15 procent af fjernvarmeforbruget i Odense.

Tekniske installationer

Halmen transporteres til værket på lastbiler, der hver kan rumme 24 storballer med en samlet vægt på cirka 13 tons. Der vil være åbent for halmodtagelse mandag til fredag klokken 7 – 17 og på lørdage 7 – 14.

I halmageret aflæsses halmballerne med en kran, der løfter 12 baller ad gangen. Kranen placerer halmballerne på en transportør, der transporterer ballerne frem til kedlen eller placerer dem på halmageret til senere brug. Lageret har en kapacitet på 2.300 halmballer, der svarer til forbruget fra lørdag klokken 14 til mandag morgen. Det svarer til det tidsrum, hvor der ikke modtages halm.

Halmen transporteres til kedlen ved hjælp af en kæde-transportør. Umiddelbart før kedlen oprives halmen, hvorefter den ved hjælp af en snegle-transportør føres ind på kedlens vibrationsrist.

I kedlen produceres der damp ved et tryk på 110 bar og en temperatur på 540 °C. Røggassen renses for flyveaske i et posefilter. Derudover er der installeret et røggaskondenseringsanlæg, som udover at producere 10 MJ/s fjernvarme også renser røggassen for saltsyre og svovl.

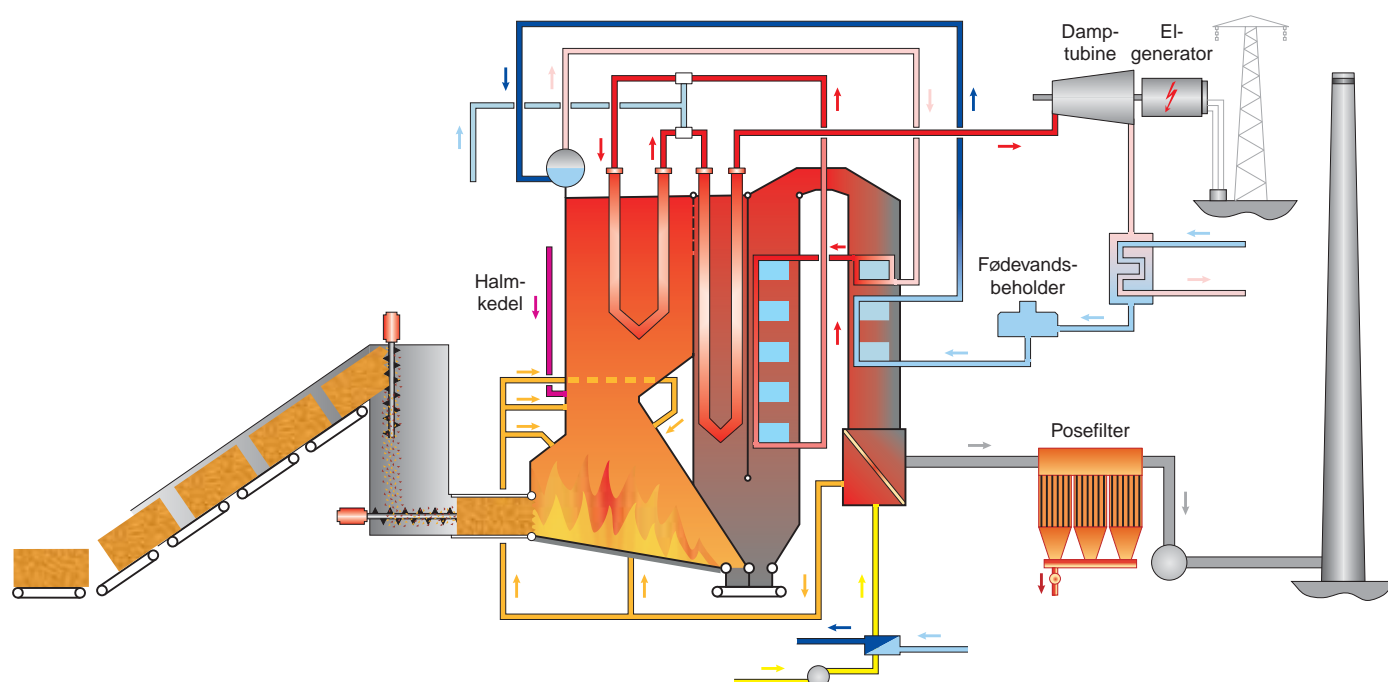
Kedelanlægget leveres af Bioener, der har eksisteret som selskab siden 2001, hvor det blev udskilt fra FLS-miljø. Bioeners forretningsområde er bygning af halmfyrede kedelanlæg, og flere af medarbejderne har erfaringer fra de tidligere halmfyrede anlæg, herunder Masnedø, Enstedværket og Maribo-Sakskøbing. Turbineanlægget leveres af Skoda i Tjekkiet.

Tidsplan

Opførelsen af anlægget er som nævnt gået i gang, og montagen af kedelanlægget forventes at blive påbegyndt omkring årsskiftet 2007-2008. Et år senere starter de første test, og man for-

Data for Fynsværket	
Kommerciel drift	2009
Leverandør af kedelanlæg	Bioener
Brændsler	Halm
Forbrug af halm	150.000 tons/år
Indfyret effekt	118 MW
Kedeltype	Beholderkedel
Fyringskoncept	Vibrationsrist
Damptryk	110 bar
Dampmængde	46 kg/sekund
Damptemperatur	540 °C
Elvirkningsgrad	33 procent
Kedelvirkningsgrad	93 procent
Røggasrensning	Posefilter samt HCl og SO ₂ -rensning
El-effekt	35 MW
Fjernvarmeydelse	75 MJ/sekund uden røggaskondensering 86 MJ/sekund med røggaskondensering

venter, at turbinen vil være i drift den 1. marts 2009. Anlægget skal ifølge kontrakten afleveres den 1. juni 2009.



Figur 25.1. Principskitse af Fynsværket.



Udgivet af:
DONG Energy
Kraftværksvej 53
7000 Fredericia
Telefon 79 23 33 33
www.dongenergy.dk

Vattenfall
Støberigade 14
2450 København SV
Telefon 88 27 50 00
www.vattenfall.dk