

## 2. Træ som energiresource

### 2.1 Forbrugets og ressourcernes størrelse

Træ er en vigtig energikilde verden over. I Danmark kommer energitræ fra skovflis, brænde, træaffald og træpiller samt i et meget beskedent omfang fra pile dyrkning. Størsteparten af det træ, der hugges på skovarealets ca. 460.000 ha, ender som energitræ direkte eller efter anden anvendelse. I lyset af regeringens målsætning om at øge skovarealet til det dobbelte i løbet af en trægeneration vokser de samlede træbrændselsressourcer på længere sigt.

#### Energitræforbruget

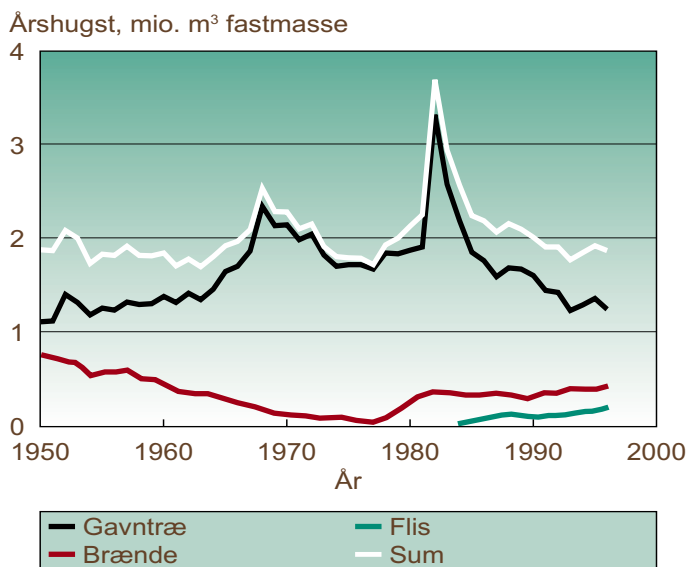
Ifølge Energistyrelsens opgørelse over energiproduktionen i 1997 dækker træ ca. 21.000 TJ svarende til 28% af den samlede produktion af vedvarende energi, hvilket er lig energiindholdet i ca. 500.000 tons olie. Tabel 1 viser fordelingen mellem de enkelte træbrændsler.

Danmarks Statistik har siden 1950 ført en detaljeret statistik over hugsten i de danske skove, og den har ligget omkring 2 mio. m<sup>3</sup> fastmasse med udsving omkring stormfaldene i 1967 og 1981. I 1996 anvendtes ca. 620.000 m<sup>3</sup> fastmasse svarende til ca. 108.000 tons olie til direkte energiproduktion, hvilket er ca. 33% af den samlede hugst.

Skovflis kommer fra første- og andengangstyndinger i granbevoks-

Brændsel	Anvendt 1997 (TJ)	Andel (%)
Skovflis	2.703	13
Brænde	9.603	46
Træaffald	5.879	28
Træpiller	2.828	13
I alt	21.013	100

Tabel 1: Anvendelse af træbrændsler. Til sammenligning har 1.000 tons olie et energiindhold på ca. 42 TJ /ref. 7/.



Figur 3: Hugsten 1950-1996 fordelt til gavntre, brænde og flis. Stormfaldene i 1967 og specielt i 1981 gav en forøget hugst /ref. 8/.

ninger, fra hugst af overmodne og delvis udgåede fyrreplantager, fra hugst i klima- og insektskadede bevoksninger, fra hugst af ammetræer (træart, der plantes ind samtidig med hovedtræarten og beskytter denne mod f.eks. frost og ukrudt) og fra trætoppe ved renafdrift (skovning af hele bevoksningen ved omdriftens slutning) i granbevoksninger. Skovflis er blevet et stadig vigtigere brændsel den seneste snes år, og produktionen er på ca. 200.000 m<sup>3</sup> fastmasse om året.

Brænde produceres overvejende i løvtræbevoksninger ved tynding og renafdrift i form af topender, fraskårne grene og afskårne rodender. Brænde var tidligere skovens vigtigste produkt, men omkring århundredskiftet blev træ som energikilde erstattet af kul og siden af olie. Oliekrisen i 1970'erne og afgiftforøgelsen i midten af 1980'erne på olie og kul betød, at træ igen blev attraktivt til energiproduktion.

Skovbruget producerer ifølge statistikken 420.000 m<sup>3</sup> fastmasse brænde, men forbruget af brænde fra haver, parker, hegn m.m. er ikke registreret. Det samlede forbrug menes at ligge på ca. 700.000 m<sup>3</sup> fastmasse om året /ref. 9/.

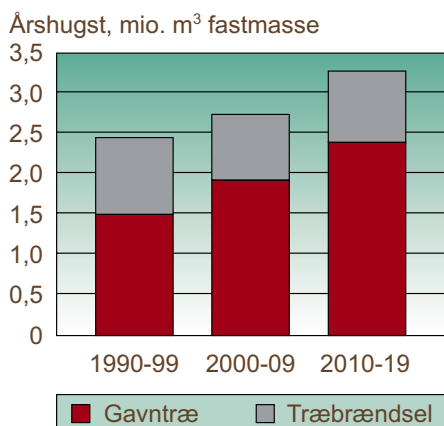
Træaffald bestående af bark, savsmuld, kutterspån, nedrivningstræ m.m. bruges primært i industriens egne fyr. Der anvendes ca.

640.000 m<sup>3</sup> fastmasse om året, hvoraf en del anvendes til fremstilling af træpiller og træbriketter, som er en forholdsvis ny produktion herhjemme. Herudover importeres også en stor mængde træaffald til denne produktion. Forbruget af træpiller og træbriketter udgør henholdsvis ca. 200.000 tons og ca. 20.000 tons om året.

Energipil dyrkes i kort omdrift på 3-4 år på landbrugsjord, men produktionen er endnu ikke så udbredt herhjemme, hvor kun ca. 500 ha er tilplantet. Brændselsmængden herfra har ikke stor betydning i forhold til andre træbrændsler.

#### Fremtidens ressourcer

Forskningscentret for Skov & Landskab har opgjort størrelsen af tilgængelige træbrændselsressourcer (brænde og flis) fra de danske skove over 0,5 ha /ref. 10/. Ressourcerne er opgjort på baggrund af skovtællingens oplysninger fra 1990 om skovenes træarts- og alderssammensætning samt vedproduktion. Beregningerne er udført som årlige gennemsnit i perioderne 1990-1999, 2000-2009 og 2010-2019 på baggrund af forudsigelser, der anses for at være realistiske under de nuværende afsætningsforhold for cellulosetræ og andre konkurrerende produkter til træbrændsel.



Figur 4: Fremskrivning fra 1994 af den potentielle årshugst af gavntræ og træbrændsel i perioderne 1990-99, 2000-09 og 2010-19. Hugsten af træ forventes at være stigende i løbet af de næste godt 20 år /ref. 10/.

Blandt andet på grund af tilplantning med ny skov forventes den samlede årlige hugst at stige til ca. 3,2 mio. m<sup>3</sup> fastmasse i løbet af de næste 20 år (figur 4). Bemærk at hugsten (figur 3) ifølge Danmarks Statistik i sammenligning med fremskrivningen for 1990-99 er ca. 500.000 m<sup>3</sup> fastmasse lavere per år. Denne tilsyneladende uoverensstemmelse skyldes, at skovbruget ikke har tilstrækkelige afsætningsmuligheder for træ til energi. Den årlige gavntræhugst forventes at være stigende i begge perioder efter år 2000, mens hugsten af brænde og skovflis er beregnet til at falde fra ca. 950.000 m<sup>3</sup> fastmasse til ca. 800.000 m<sup>3</sup> fastmasse for så at stige igen til ca. 900.000 m<sup>3</sup> fastmasse i den sidste periode (figur 4). Ændringen i hugsten skyldes en skæv aldersklassedistribution for nåletræarealet, afvikling af bjerg- og contortafyrplantager og stigende hugst af træbrændsel i løvtræbevoksninger /ref. 11/.

Medens den samlede potentielle årshugst kan fastlægges med ret stor sikkerhed vil fordeling mellem brændsel og andre produkter være bestemt af en række ydre forhold. Fortsættes de seneste års udvikling vil brændselsandelen blive større.

Ud fra tallene i opgørelsen er skovene i stand til løbende at forsyne de nuværende flisfyrede varme- og kraftvarmeværker med flis og der-

udover at levere den nødvendige mængde træ på 200.000 tons flis per år svarende til ca. 250.000 m<sup>3</sup> fastmasse, som elværkerne ifølge biomasseaftalen skal bruge fra år 2004.

## 2.2 Skovrejsning og træ til energi

**Skovrejsning omfatter nyanlæg af skov på landbrugsjord. Den fremtidige forsyning med energitræ skal delvis sikres gennem skovrejsning. Her kan energitræproduktionen øges ved at forøge plantetallet i forhold til plantetallet i normale kulturer og ved anvendelse af ammetræer.**

### Den energipolitiske målsætning

I skovlovens formålparagraf står der, at udover at værne og bevare de danske skove, samt forbedre skovbrugets stabilitet, ejendomsstruktur og produktivitet, er målet at "... medvirke til at forøge skovarealet" /ref. 12/. Det er regeringens målsætning at fordoble skovarealet i løbet af den næste trægeneration (80-100 år). Denne målsætning har også energipolitisk interesse, og det skal ses i sammenhæng med biomasseaftalen fra 1993 og regeringens energihandlingsplan, Energi 21, hvor det fremgår, at der skal ske en udbygning af anvendelsen af biomasse, herunder flis, i energisektoren /ref. 2/. I den danske strategi for bæredygtig skovdrift er det præciseret, at denne fordobling af skovarealet skal nås ved, at der "... tilstræbes en regelmæssig

plantningstakt" /ref. 13/. Det betyder, at der skal tilplantes ca. 5.000 ha per år for at nå målet, heraf 2.000-2.500 ha af private. Siden 1989 er der kun blevet plantet knap halvdelen af det tilsigtede.

I Energistyrelsens opgørelse fra 1996 over flismængderne fra de danske skove indtil år 2025, der bygger på /ref. 10/, er der regnet med en forøgelse af skovarealet med 5.000 ha per år. Energitræproduktionen i form af flis fra skovrejsningen er sat til 4 PJ per år ud af et samlet energibidrag på knap 10 PJ per år fra flis. Det forventes således, at skovrejsningen skal udgøre et væsentligt bidrag til det samlede energitræforbrug i fremtiden /ref. 14/.

### Energitræ fra fremtidig skovrejsning

Energitræproduktionen ved fremtidig skovrejsning kan forøges i forhold til energitræproduktionen i eksisterende skov ved bl.a. at øge plantetallet i forhold til almindelig praksis og ved at anvende ammetræer. En udbytteforøgelse må ikke ske på bekostning af flersidigheden i skovdriften, hvor produktion af kvalitetstræ, bevarelse af naturen, beskyttelse af kulturhistorien og rekreative mulighederne prioriteres højt.

Ved brug af større plantetal sker der en hurtigere plantedækning af arealet og dermed en større produktion. Beregninger viser, at den mulige flisproduktion i rødgran kan øges med 30-50% ved at øge plantetallet fra ca. 4.500 til 6.500 planter per ha. Da omkostningerne til plantning stiger med stigende plantetal, og mer-



foto: søren fodgaard

Nyanlæg af løvskov på landbrugsjord. Med den nuværende tilplantningstakt på 2.000 til 2.500 ha om året er det nødvendigt at øge skovrejsningstakten eller øge energitræproduktionen fra de eksisterende skovarealer for at imødekomme Energistyrelsens målsætning.

udbyttet af flis ikke dækker omkostningerne til flere planter, bliver anvendelsen af store plantetal kun interessant, hvis der ud over det øgede flisudbytte også kan opnås fordele så som øget træ kvalitet, forbedret bevoksningsstabilitet og mindre renholdelsesudgifter.

Ammetræer indplantes traditionelt samtidig med hovedtræarten, der ofte er en mere følsom art, for at give den beskyttelse mod frost, ukrudt m.v. Da ammetræer er træer med hurtig ungdomsvækst, øges vedproduktionen, og der produceres større flismængder i de første tyndinger, der udføres ved rækkevis hugst af ammetræer. Relevante ammetræerarter er bl.a. hybridlærk, rødel, poppel, skovfyr og birk. Ved brug af hybridlærk som ammetræ i en rødgrankultur kan flisudbyttet øges med ca. 35% ved et plantetal på 6.400 per ha fordelt med 4.200 rødgran og 2.200 hybridlærk sammenlignet med en ren rødgranbevoksning (figur 5) /ref. 15/.

Normalt hugges der kun flis i nåletræbevoksninger, men ved produktion af flis i løvtræ som f.eks. bøg, kan flisudbyttet øges kraftigt ved at anvende ammetræer. Indplantes hybridlærk, vil flisudbyttet kunne tredobles i forhold til en ren bølgebevoksning.

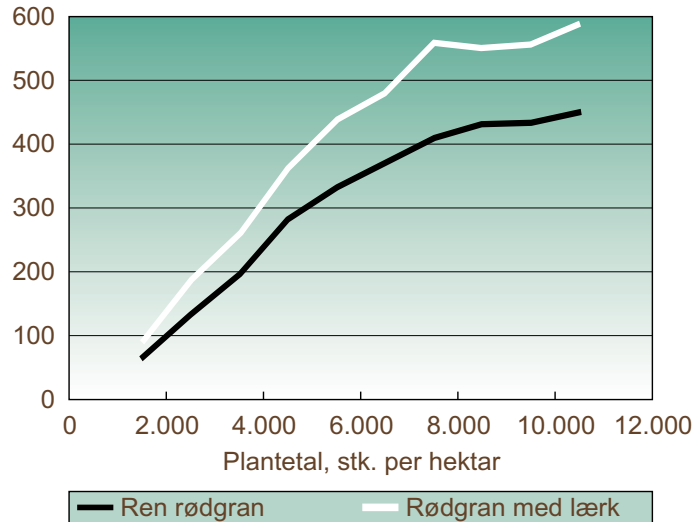
Beregningerne af flisudbyttet er foretaget på eksisterende forsøgsdata fra rødgran, men nye krav til skovene om øget diversitet og fleksible bevoksninger betyder, at der fremover etableres flere blandingskulturer.

Virkningen af de større plantetal undersøges ved forsøg.

### Demonstrationsforsøg

Forskningscentret for Skov & Landskab etablerer i 1998-99 i samarbejde med Skov- og Naturstyrelsen demonstrationsforsøg på skovrejsningsarealer tre steder i landet. Formålet med forsøgene er bl.a. at undersøge energitræproduktionen i blandingskulturer på forskellige jordtyper. Forsøgene skal demonstrere meromkostningerne ved at forøge plantetallet, mulige gevinster i form af mindskede behov for renholdelse og efterbedring (genplantning efter udgaa-

Flisproduktion, rummeter per hektar



Figur 5: Flisproduktionen i rummeter per ha for ren rødgran og rødgran med lærk som ammetræ for varierende plantetal i Øst Danmark. Flisproduktionen forøges væsentligt ved brug af ammetræer /ref.15/.

ede planter) samt på længere sigt forbedret vedkvalitet.

I demonstrationsforsøgene indgår forskellige plantningsmodeller med følgende træartsblandinger:

- Nåletræblandinger (sitkagran/rødgran og douglasgran med eller uden lærk som ammetræ).
- Rene løvtræbevoksninger og løvtræblandinger (bøg, eg og eg med rødel).
- Blandede løv- og nåletræbevoksninger (bøg med douglasgran og bøg med lærk).

Der vælges et standardplantetal, som fordobles enten med hovedtræarten (bøg, rødgran/sitkagran, eg,

douglasgran) eller ved anvendelse af hjælpetræarter (rødel, lærk).

Forsøgene følges fremover løbende med målinger, og de faktiske tal for energitræudbyttet kommer i forbindelse med de første tyndinger om ca. 15-20 år. Resultaterne anvendes ved planlægning af den fremtidige skovrejsning.

### Lovgivning og tilskud

Ved skovrejsning skal tilplantningsplaner godkendes af Jordbrugsdirektoratet, og det skal bl.a. undersøges, om skovrejsningen er i overensstemmelse med amternes udpegning i deres regionplaner af plus- og minusområder for skovrejsning, dvs. områder



foto: hedeselekskabet/berit wikkund

Det danske skovareal skal fordobles i løbet af de næste 80-100 år. Mange af de nye skove vil blive løvskove med eg og bøg som hovedtræarter /ref. 15/.

hvor skovrejsning er ønsket eller uønsket.

Fra det offentlige side søges den private skovrejsning øget via forskellige tilskudsordninger, men det er hidtil kun lykkedes delvist. Den største del af skovrejsningen finder sted på Skov- og Naturstyrelsens egne arealer eller i privat regi uden tilskud. Ved årsskiftet 1996-97 trådte en ny tilskudsordning under skovloven i kraft, og den har øget interessen for skovrejsning bl.a. pga. indkomstkompensation og øgede muligheder for tilskud, så der for nuværende indsendes flere ansøgninger, end der er støttemidler.

Rammerne for skovrejsningen og mulighederne for tilskud er fastlagt i en række love og bekendtgørelser. En betingelse for at modtage støtte er, at arealet pålægges fredskovspligt, så skovens eksistens sikres fremover. Herudover er der krav til skovens opbygning og størrelse. Tilskudsordningerne omfatter bl.a. tilskud til forberedende undersøgelser som lokalitetskortlægning (undersøgelse af jordbund) og arealfastsættelse, plantning og pleje af bevoksninger, etablering af hegn og 20-årig indkomstkompensation /ref. 16/. Yderligere oplysninger kan fås ved at henvende sig til det lokale statskovdistrikt.

### 2.3 Energiskov

**Pil har været anvendt som kulturplante i århundreder til redskaber, tøndebånd, kurveproduktion og flethejn. Med henblik på produktion af flis til energiformål har pil kun været dyrket få år her i landet, og flisen anvendes på nuværende tidspunkt kun i begrænset omfang i varmeværker i Danmark.**

#### Energiskov i Danmark

Energiskov er plantager af løvtræer (som regel pil) med hurtig ungdomsvækst og evne til stiklingeformering og stødskudsdannelse. Gennem intensiv dyrkning udnyttes disse egenskaber til at producere biomasse, der kan anvendes til energiproduktion.

Ifølge energihandlingsplanen fra 1996, Energi 21, skal bidraget af



foto: biopress/forben skøtt

*Arealet er grundigt rengjort inden pilestiklingerne plantes. Plantningen foregår med en torækket plantemaskine, og en afmærkningsarm på traktoren sikrer, at rækkerne bliver helt parallelle. Traktorens tvillinghjul fordeler marktrykket, så jorden ikke komprimeres unødigt.*

energi afgrøder eller anden biomasse eksklusiv halm i energiforsyningen vokse fra 0 i år 2005 til ca. 45 PJ i år 2030. Hvis der ikke suppleres med anden biomasse, svarer det til udbyttet fra omkring 500.000 ha pil. Dyrkning af energi afgrøder vil dog i høj grad være afhængig af EU's landbrugspolitik og støtteordninger. For at vurdere energi afgrødernes potentiale, er der igangsat et demonstrations- og udviklingsprogram, der kan belyse en fremtidig brug af energi afgrøder.

Herhjemme dyrkes kun ca. 500 ha med pilekulturer på landbrugsjord /ref. 15/, mens der i Sverige skønnes at være tilplantet ca. 17.000 ha. Energipil er en landbrugsafgrøde, hvilket betyder, at man kan stoppe dyrkningen og overgå til anden afgrøde, hvis man ønsker det.

#### Dyrkning

Pil kan dyrkes på forskellige jordtyper. Jordtyper, der sikrer en god vandforsyning, er velegnede. På lette jordtyper uden vanding bliver udbyttet ustabil. Rødder fra pil kan tilstoppe dræn. Arealet skal være egnet for maskinel indsats, herunder kunne bære maskiner i vintermånedene, hvor høsten sker /ref. 17/.

Ved etablering af energiskov i Danmark anvendes stiklinger af kloner af båndpil, der indtil nu har vist det bedste produktionspotentiale. Ved plantningen, der foregår om foråret, plantes traditionelt ca. 15.000-20.000 stiklinger per ha taget fra etårige skud. Plantningen sker med maskine, og de 20 cm lange stiklinger presses lodret ned i jorden, så kun et par cm rager op. Til sammenligning har en ny metode vist, at tilplantningsomkostningerne kan formindskes med 50% ved en vandret udlægning af ca. 20 cm langt hugget materiale, der maskinelt nedrilles i jorden /ref. 18/. Første vinter efter plantning kan skuddene afklippes i 5-8 cm's højde for at fremme udviklingen af skud. Afklipping anses for fordelagtig i tynde bestande, samt hvor der kun er 1-2 skud per stikling /ref. 19/.

Ukrudt, specielt græsser, er den værste fjende i etableringsfasen, og derfor bør arealet være grundigt rengjort inden plantning f.eks. ved reolpløjning. Ukrudtsbekæmpelsen foregår lettest og mest effektivt med herbicider kombineret med mekanisk rensning. Ved høsten, som foregår med få års mellemrum fjernes alt undtagen blade og rødder, og det betyder, at gødskning er nødvendig

for at opretholde produktionsniveauet.

Tildeling af gødning til en pilekultur de enkelte år fremgår af tabel 2.

Gødskning af energipil med spildevand, spildevandsslam eller gylle er et alternativ til gødskning med kunstgødning. Piletræernes tætte, dybtgående rodnet er velegnet til at opfange slammets indhold af plantenæringsstoffer og tungmetaller. Brændslet vil således i forhold til skovflis indeholde relativt store mængder kvælstof og cadmium. Under de rette forbrændningsforhold vil størsteparten af kvælstoffet frigives som  $N_2$ , og tungmetallerne vil tilbageholdes i asken. Dette er en vigtig forudsætning for, at anvendelsen af slam til energipil kan siges at være miljømæssigt positiv /ref. 20/.

### Høst og lagring

Der høstes første gang på arealet 3-4 år efter plantning, hvor pileskuddene er ca. 6 m høje. Det gøres om vinteren, og det følgende forår begynder planterne at gro fra stødene, og efter endnu 3-4 år kan der høstes igen. Pilene forventes at kunne gro i mindst 20 år uden produktionsnedgang, og det betyder, at der kan høstes 4-5 gange, før der skal ske nyplantning.

Forsøg har vist, at langtidsopbevaring af pileflis er vanskelig at gennemføre. Dette skyldes, at flisen har et vandindhold på omkring 55-58% af totalvægten i frisk tilstand, og at de unge pileskud indeholder meget bark og mange næringsstoffer. I stakke af pileflis sker der derfor typisk en kraftig temperaturudvikling og et betydeligt tab af tørstof. Denne udvikling er afhængig af flisens størrelse: jo større flisstykker, desto mindre er nedbrydningen. Langtidsopbevaring sker bedst, hvis pilen slet ikke er hugget til flis, men lagres som hele skud, hvilket er dyrt. En anden metode, som med succes er afprøvet i forsøg, er lufttæt indpakning af pileflis. Uden ilt sker der ingen nedbrydning /ref. 21/. Den vanskelige langtidsopbevaring betyder, at flisen normalt køres direkte til varmegærk.

	N	P	K
Plantear	-	0-30	80-130
1. produktionsår	45-60	-	-
2. produktionsår	100-150	-	-
3. produktionsår	90-120	-	-
1. år efter høst	60-80	0-30	80-160
2. år efter høst	90-110	-	-
3. år efter høst	60-80	-	-

Tabel 2: Anbefalet gødskning af energipil før og efter første høst (kg per ha). - betyder, at der ikke gødskes. Den tilførte mængde varierer med jordbundsforholdene /ref. 19/.

### Brændsegenskaber

Pileflis adskiller sig ikke væsentligt fra anden flis, men den kan indeholde mere bark og mere vand. Den nedre brændværdi af absolut tørt piletræ adskiller sig ikke fra andre træarters, men er ca. 18 GJ per ton absolut tørt materiale. Derimod er pileved let træ i sammenligning med de fleste andre træarter. Det vil sige, at en rummeter pileflis indeholder mindre tørstof (ca. 120 kg/rm) end f.eks. en rummeter bøgflis (ca. 225 kg/rm) Dette spiller en rolle for de volumenmængder, som et varmegærk skal kunne håndtere for at opnå samme varmeproduktion. Det store vandindhold gør flisen særlig egnet på værker, som har et røggaskondenseringsanlæg. I så fald genindvindes fordamplingsvarmen.

### Produktionen af energipil

I energipilebevoksninger skal alle produktionsomkostninger betales af



foto: biopress/forben skøtt

Ved høsten af helskud, som foregår med specialbyggede maskiner om vinteren, fjernes alt undtagen blade og rødder. Pileskuddene høstes tætt på jordoverfladen og føres med et transportbånd op på ladet.

et lavværdiprodukt: pileflis. Det gør produktionen af energipil sårbar i sammenligning med produktionen af halm eller skovflis. Ved produktion af halm til energi bærer kornproduktionen alle udgifter til og med mejetærskningen, og halmen skal kun betale for bjærgning, transport og lagring. På samme måde betaler produktionen af savværkstømmer for trædyrkningen, mens skovflisen betaler for flishugst, lagring og transport til varmegærk. Piledyrkning er derfor økonomisk risikabel og meget afhængig af høstens størrelse.

Der er derfor stor interesse for at fastslå produktionsniveauet for pile-skov herhjemme. Med mellemrum fremkommer høje produktionstal på 10-12 tons tørstof per ha og år eller derover, men de er ofte opnået i enkelte, mindre og meget intensivt drevne pilekulturer og er således ikke realistiske prognosetal for høstudbyttet i kommercielle kulturer. Produktionsmålinger udført i danske pilekulturer fra 1989 til 1994 viser, at den gennemsnitlige produktion ligger på ca. 7,5 tons tørstof per ha og år, hvilket ikke er så meget som hidtil antaget. Resultaterne fra produktionsmålingerne har ikke kunnet give en entydig forklaring på vækstoffaktorenes indvirkning på produktionsniveauet, men dette gennemsnitsudbytte er opnået i pilebevoksninger, som blev gødsket intensivt, og hvoraf halvdelen blev kunstvandet. Målinger af produktionen er udført på kloner, der var almindelige i starten af 1990'erne /ref. 22/. Danske målinger på nye kloner er foretaget som led i et EU-projekt. Foreløbige resultater tyder på, at de nye kloner har et beskedent merudbytte i sammenligning med de gamle.

## Fremtiden for energipil

Foreløbig er der god grund til at følge pileavlens udvikling i Sverige, som er førende. Herfra kommer nu flere og flere oplysninger om klonudvikling, høstudbytter, høstomkostninger og de jordbundstyper, som pilen vokser bedst på. Her kan man tænke sig, at pileavl kan finde en niche i landbrugslandskabet i form af jordbundstyper, som vækstmæssig passer pilen godt, men passer mindre godt til kornafgrøder. Endelig kan pilen måske erobre en plads, hvor den kan bidrage til at løse nogle miljømæssige problemer i form af spildevands- og jordrensning.

## 2.4 Fysisk karakterisering af træbrændsler

**I Danmark anvendes træ fra skovbruget og træindustrien i form af brænde, flis, bark, spåner, briketter, piller og nedrivningstræ til fyring i bl.a. brændeovne, træpillefyr, fjernvarmeværker og kraftvarmeværker. Teknologierne, som benyttes i disse anlæg, stiller forskellige krav til træets fysiske egenskaber, dvs. til størrelse, størrelsesfordeling, vandindhold, askeindhold og renhed (sten, jord og sand).**

En fysisk karakterisering af træbrændsler kan indgå i valg af brændsler til forskellige fyringsanlæg og -teknikker. Desuden kan oplysninger om træbrændsleres fysiske egenskaber benyttes i forbindelse med indgåelse af leveringskontrakter, specifikation af brændslet i relation til bestemte typer af fyringsanlæg og udarbejdelse af kvalitetsbeskrivelser af træbrændsel. Kendskab til disse egenskaber ved forskellige træbrændsler er således med til at fremme en miljømæssig og økonomisk optimal anvendelse af brændslet /ref. 23/.

### Brænde

Brænde er afkortet rundt eller kløvet træ fremstillet af afkvistede stammer, afskårne rod- og topender eller grene af løv- eller nåletræer. Færdigt bræn-

Navn	Soldsuffe	Fraktionsandel (%)	
		Fin	Grov
Overtyk flis	45 mm runde huller	< 5	< 15
Overtyk flis	8 mm spalter	< 25	< 40
Accept	7 mm runde huller	> 40	> 23
Pindflis	3 mm runde huller	< 20	< 15
Smuld		< 10	< 7
Heraf:			
Stikkere 10-20*	100-200 mm længde	< 2	< 12
Stikkere > 20*	> 200 mm længde	< 0,5	< 6

Tabel 3: Krav til størrelsesfordeling af fin og grov brændselsflis ifølge den gamle norm nr. 1, som er under revision /ref. 26/.

\* Diameter > 10 mm.

de afkortes normalt til 15-35 cm. Til de fleste brændeovne er det bedst at anvende stykker af 6-8 cm tykkelse. Brænde indeholder ved og bark.

Vandindholdet i frisk gran er ca. 55-60% af totalvægt og tilsvarende ca. 45% for bøg /ref. 24/. Efter sommertørring falder vandindholdet til ca. 15% af totalvægt, afhængig af vind og vejr, stabling og afdækning, hvilket er det anbefalede til brug i brændeovne /ref. 25/. Askeindholdet er ofte under 2% af tørstoffet.

### Flis

Flis er sønderdelt træ med en længde i fiberretningen på 5-50 mm. Desuden indgår længere kviste (stikkere) og en finere fraktion (smuld). Heltræflis er skovflis hugget af hele træer inklusive grene i førstegangstyndinger i nåletræ eller i forbindelse med konvertering af gamle bjergfyr- og contortaplantager. Flis hugges også fra topender og andet hugstaffald ved renafdrifter. Savværksflis er et biprodukt ved savning af tømmerstokke, og pileflis kommer fra hel-skud af pil dyrket på landbrugsjord.

Hvilken flis, der er den mest velegnede, afhænger af typen af fyringsanlæg. Et nyt system for kvalitetsbeskrivelse af flis baseret på størrelsesfordelingen er under udarbejdelse, fordi den gamle norm fra 1987 ikke længere dækker de flistyper, som bliver produceret og anvendt. Den gamle norm opdelte flis i fin og grov flis (tabel 3).

Den flis, som nu leveres til varmeværkerne, er grovere end grov

flis. Den nye kvalitetsbeskrivelse tager derfor udgangspunkt i tre flistyper: fin, grov og ekstra grov. Bemærk dog, at navnene sigter til størrelsesfordelingen og ikke er udtryk for en bedre eller dårligere kvalitet.

Sideløbende med udarbejdelsen af en ny dansk kvalitetsbeskrivelse er der igangsat et europæisk standardiseringsarbejde af faste bio-brændsler. Formålet med dette arbejde er at standardisere målemetoder og at komme frem til fælles kvalitetsbeskrivelser.

Soldanalyser angiver vægtfordelingen mellem forskellige størrelseskategorier af flis. Disse størrelseskategorier var ved den gamle norm baseret på et rystesold, som også anvendes til cellulose- og spånpladeflis. Den nye kvalitetsbeskrivelse, som opstilles i øjeblikket, er baseret på et nyt roterende soldanlæg, som laver en bedre sortering af flisen.

Det nye roterende sold er udstyret med en fødetragt, et rystende fødebord og en sorteringstromle. Det rystende fødebord gør det muligt at sortere stikkere fra. Den roterende tromle er udstyret med fem sold med 3, 8, 16, 45 og 63 mm runde huller. På basis af soldet er der lavet et udkast til sortering af flis i tre kvaliteter; fin, grov og ekstra grov med følgende klasser (tabel 4).

Den gamle norm beskrev stikkere som partikler længere end 10 cm og samtidig tykkere end 1 cm, fordi disse partikler kan være meget generende i transportsnegle. I den nye kvalitetsbeskrivelse dækker betegnelsen stikkere alle partikler længere end

10 cm uanset diameter. Disse partikler udgør et problem ved håndtering af flis. Andelen af partikler over 10 cm i længde har stor betydning for flisens brodannelsesegenskaber.

Vandindholdet i heltræflis afhænger af frembringelsesmetoden. Flis fra friskfældede træer har et vandindhold på ca. 50-60% af totalvægten, men efter sommertørring i 3-6 måneder af de fældede træer i bevoksningen falder vandindholdet til ca. 35-45% af totalvægten. Flisfyrede kedler med forfyr til villaer mv. kan håndtere flis med vandindhold mellem 20 og 50% af totalvægten, mens fjernvarmeværker normalt accepterer flis med 30-55% vandindhold. Fjernvarmeværker med røggaskondensering ønsker almindeligvis at få leveret flis med højt vandindhold for at udnytte kondenseringsvarmen.

I flisen kan der forekomme forurening af sten, jord og sand, som øger askeindholdet. Askeindholdet i heltræer afhænger af træart samt mængden af nåle, grene og stammeved. Det naturlige askeindhold i nåle kan være over 5% af tør vægt, i grene og bark ca. 3% og i stammeved ca. 0,6% /ref. 27/. Brændsel til små kedler og fjernvarmeværker har et askeindhold på 1-2% af tør vægt.

### Bark

Bark til energiformål fremkommer ved afbarkning på nåletræsavværker og ved afskæring af skaller på løvtræsavværker. Sønderdelt bark kan i princippet ikke henregnes under flis, og soldanalyser af bark viser, at der er tale om en meget uensartet størrelsesfordeling med en stor andel af smuld /ref. 28/.

Bark er meget fugtig, ca. 55-60% af totalvægten, og fyring med bark alene sker almindeligvis i specielle kedler på grund af problemer med det høje vandindhold. Da bark er det yderste lag på træet, er det ofte her, man finder de fleste forureninger i form af jord, sand og i visse tilfælde bly fra blyhagl.

### Savsmuld og kutterspån

Savsmuld og kutterspån, som er frembragt ved høvling, fræsning og

Navn	Soldskuffe	Fraktionsandel (%)		
		Fin	Grov	Ekstra grov
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	ingen krav	**
Mellem	> 8 og < 16 mm	ingen krav	ingen krav	< 25
Småt	> 3 og < 8 mm	< 35	< 25	< 8
Smuld	< 3 mm	< 10	< 8	< 4

\* Overlang: Hvis diameteren er større end 1 cm, må stykkerne maksimalt være 50 cm lange eller maksimalt 5 cm x 5 cm x 25 cm.

\*\* Disse tre klasser tilsammen skal udgøre mindst 60%.

*Tabel 4: Udkast til krav til de nye fliskvaliteter baseret på det roterende sold. Udkastet sendes i høring (primo 1999), og tabellens indhold er dermed ikke vedtaget endeligt i skrivende stund.*

lign., er resttræ fra træindustrien. Savsmuld og kutterspån er mellem 1 og 5 mm i diameter og længde. Vandindholdet i savsmuld varierer med emnet, der er savet. Stammer det fra den del af træindustrien, som fremstiller spær og vinduer m.m., kan fugtprocenten være 6-10% af tør vægt, men 45-65% af totalvægten, hvis det er friskfældede stammer.

Kutterspån er meget tørre med et vandindhold på mellem 5 og

15% af totalvægten. Derfor bliver de anvendt som materiale til fremstilling af træpiller og -briketter. Der er få forureninger, idet det som regel er stammeved, som anvendes, og askeindholdet er derfor mindre end 0,5% af ovntør vægt.

### Træbriketter og træpiller

Træbriketter er firkantede eller cylindformede brændsler med en læng-



foto: Finn Jensen

*Prototypen på et nyt, roterende sold. Flisen hældes i tragten foroven, ensrettes på et rystebord og transporteres hen til nedfaldet (til venstre), hvor flisen falder ned i den roterende tromle. De runde huller i tromlen stiger i størrelse fra venstre mod højre. De enkelte fraktioner sorteres og indholdet af skufferne vejes. Fra venstre er det: overlang, smuld, småt, mellem, stort, ekstra stort og overstort.*

de på 10-30 cm og en diameter/bredde på 6-12 cm. Træpiller er cylinderformede med en længde på 5-40 mm og en diameter på 8-12 mm.

Briketter og piller består af tørt, findelt træ primært bestående af kutterspån og til dels savsmuld sammenpresset under højt tryk. Størrelsesfordelingen er meget ensartet, hvilket gør brændslet let at håndtere. Piller fra samme parti vil have samme diameter. Hertil kommer et lavt vandindhold på ca. 8-10% af totalvægten /ref. 29/. Der dannes kun lidt slagge ved afbrænding af briketter og piller, og askemængden er lav, omkring 0,5-1% af tør vægt /ref. 30/.

### Nedrivnings- og affaldstræ

Nedrivningstræ er træ, der har været i anden anvendelse, f.eks. konstruktionstræ, rester fra ny-og eller ombygning og forskallingsbrædder inden anvendelse til brænde. Andet genbrugstræ omfatter bl.a. engangspaller og emballagetræ. Træet, der sønderdeles før afbrænding, varierer meget i størrelse. Nedrivningstræ er oftest forholdsvis tørt med et vand-



foto: forskningscentret for skov & landskab/flerming rune

Skovflis, savsmuld og frisk bark fra nåletræ samt træpiller.

indhold omkring 10-20% af totalvægten. Afbrænding af nedrivnings- og andet affaldstræ kan være problematisk, da træet kan være forurenet med rester af maling, lim, imprægneringsmiddel, metal, gummi og

plasticdele afhængig af den tidligere anvendelse. Hvis affaldstræ indeholder lim (mere end 1% af tørvægten), maling og lignende, skal der betales affaldsafgift, og affaldstræet må ikke afbrændes i almindelige fyr /ref. 31/.