



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R102:1980**

**Biobränslen för  
värmeproduktion i kommunal  
energiplanering**

**Rune Hardell  
Ulf Liljequist  
Robert Schuster  
Lars Wester**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	80-1615
Plac	See

K  
Pdt

**Bygghforskningsrådet**

R102:1980

BIOBRÄNSLEN FÖR VÄRMEPRODUKTION I  
KOMMUNAL ENERGIPLANERING

Rune Hardell  
Ulf Liljequist  
Robert Schuster  
Lars Wester

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
790388-4 från Statens råd för byggnadsforskning  
till SIKOB AB, Sollentuna.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R102:1980

ISBN 91-540-3312-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 055277

## INNEHÅLL

1.	INLEDNING .....	8
1.1	Allmänt .....	8
2.	SKOGSENERGI .....	10
2.1	Inledning .....	10
2.2	Skogsenergi som primärenergikälla ..	12
2.2.1	Skogsenergi i Sverige .....	12
2.2.2	Skogsenergi i kommunen .....	15
2.3	Utvinning, tillvaratagande .....	18
2.3.1	Slutavverkning .....	18
2.3.2	Gallring .....	20
2.3.3	Röjning och rensning .....	36
2.3.4	Terminalsystem .....	40
2.4	Transporter .....	44
2.5	Ekonomi .....	49
2.6	Miljöeffekter i skogen vid skogsenergiutnyttjande .....	50
2.6.1	Inverkan på näringsbalansen .....	50
2.6.2	Inverkan på djurlivet .....	51
2.6.3	Bärtillgång, friluftsliv .....	52
2.6.4	Skadeinsekter .....	52
3.	ENERGISKOG .....	54
3.1	Inledning .....	54
3.2	Energiskog som primärenergikälla ...	55
3.2.1	Val av markområden i kommunen .....	57
3.3	Utvinning av energiskogsråvara .....	59
3.3.1	Initialinsatser och uppbyggnad .....	59
3.3.2	Skörd av energiskog .....	63
3.4	Transporter .....	67
3.5	Ekonomi .....	68
3.6	Miljöeffekter .....	70

4.	LAGRING, TORKNING OCH BEREDNING AV SKOGSENERGI OCH ENERGISKOG .....	72
4.1	Lagring .....	72
4.1.1	Lagringsbehov och lagringsmetoder ...	72
4.1.2	Lagringsförluster .....	77
4.2	Torkning .....	79
5.	TORV .....	85
5.1	Inledning .....	85
5.2	Torv som primärenergikälla .....	86
5.2.1	Torvtillgångar i landet .....	88
5.2.2	Torvtillgångar i kommunen .....	90
5.3	Utvinning .....	91
5.3.1	Planeringsinsatser .....	91
5.3.2	Förberedelser för torvutvinning .....	92
5.3.3	Maskintorv .....	93
5.3.4	Frästorv .....	93
5.3.5	Ekonomi .....	95
5.4	Transporter .....	96
5.5	Miljöfrågor .....	98
6.	OMVANDLING .....	100
6.1	Biomassa som bränsle .....	100
6.1.1	Sammanfattning .....	100
6.1.2	Ved .....	102
6.1.3	Torv .....	110
6.1.4	Halm .....	114
6.1.5	Vass .....	116
6.2	Utrustning för hantering av biomasse- bränslen .....	117
6.2.1	Sammanfattning .....	117
6.2.2	Mottagningsficka och transportörer ..	118
6.2.3	Lager och utmatningsanordningar .....	123
6.2.4	Bränsleberedning .....	130
6.2.5	Driftsäkerhet .....	133

6.3	Eldningsanordningar .....	134
6.3.1	Sammanfattning .....	134
6.3.2	Inledning .....	135
6.3.3	Matningsinriktning .....	136
6.3.4	Rosttyper .....	142
6.3.5	Fluidiserad bädd .....	147
6.4	Förbränningsrummet .....	149
6.4.1	Sammanfattning .....	149
6.4.2	Allmänt .....	149
6.4.3	Förugn .....	151
6.4.4	Direkt eldning i pannan .....	153
6.5	Miljöaspekter .....	155
6.5.1	Sammanfattning .....	155
6.5.2	Buller .....	155
6.5.3	Damning .....	156
6.5.4	Stoftemissioner .....	157
6.5.5	NO <sub>x</sub> -emissioner .....	168
6.5.6	PAH-emissioner .....	169
6.6	Kostnads kalkyl .....	170
6.6.1	Sammanfattning .....	170
6.6.2	Investeringskostnader .....	170
6.6.3	Driftskostnader .....	172
6.6.4	Totala kostnader .....	175
6.7	Beskrivning av 3 typanläggningar ...	176
6.7.1	Allmänt .....	176
6.7.2	Villapanna 20 - 100 kW .....	177
6.7.3	Hetvattenpanna 3000 kW .....	184
6.7.4	Hetvattencentral 3 x 25000 kW .....	185
BILAGA: FÖRBRÄNNING AV TRÄBRÄNSLEN .....		195
REFERENSER .....		205





## SAMMANFATTNING

Projektets syfte har varit att utarbeta en översiktlig beskrivning av hur man i den kommunala energiplaneringen kan och bör ta hänsyn till möjligheterna att utnyttja bibränslen för kommunernas försörjning med värmeenergi.

De bibränsletyper som behandlas i rapporten är skogsenergi, energiskog, torv, halm och vass. En allmän beskrivning ges av

- tillgången på de olika energiråvarorna
- utvinning med olika skörde- eller brytningsteknik
- behandling, transport och lagring av bränslen
- kostnader för olika moment i tillförselkedjan
- miljöfaktorer i samband med utvinningen
- förbränningsteknik och -anläggningar för olika bränslen
- kostnader i förbränningsanläggningar
- emissioner i samband med förbränning

Rapporten är baserad på ett stort antal resultatrapporter, böcker och andra dokument, som framkommit bl.a. ur det statliga energiforskningsprogrammet fram till januari 1980. Den är avsedd att distribueras till kommunala beslutsfattare, energiplanerare, konsulter m.fl., som kan ha behov av att bedöma vilka konsekvenser det har för en kommun att introducera bi-bränslen i större skala. I de fall detaljerade kunskaper finns tillgängliga inom ett visst delområde, lämnas hänvisning till referenslitteratur.

## 1. INLEDNING

### 1.1 Allmänt

Vägande skäl talar för att biobränslen av olika slag kommer att spela en väsentlig roll i vår framtida energiförsörjning. Intresset för att utnyttja biobränslen har under de senaste åren ökat väsentligt till följd av prisstegringar och förutsedd knapphet på olja och det är därför naturligt att närmare söka belysa på vilket sätt olika biobränslen skall kunna bidra till vår energiförsörjning.

Inom kommunernas ansvarsområde ligger enligt lagen om kommunal energiplanering att främja hushållningen med energi samt att verka för en säker och tillräcklig energitillförsel. Kommunerna svarar dessutom i många fall själva för energileveranser genom egna värmeverk och har då ett omedelbart intresse av att bevaka utvecklingen på energiområdet.

Möjligheter att utnyttja förnybara energikällor eller ny teknik i olika led av energiförsörjningskedjan studeras i en rad olika forskningsprojekt och i demonstrationsanläggningar och det finns goda skäl att vänta sig att nya energitillförselsätt utvecklas som efter hand kan bli av stort intresse för den kommunala energiplaneringen. Denna rapport är avsedd att utgöra en vägledning för kommunerna då det gäller att bedöma vilken betydelse pågående utvecklingsarbeten kan ha för den kommunala energiplaneringen. Det finns skäl att söka beakta den nya tekniken på ett tidigt stadium då den inte endast är av betydelse från energiförsörjningssynpunkt utan även kan påverka andra delar av den kommunala energiplaneringen, främst olika delar av den fysiska planeringen inom kommunen.

Den bibränsletyp som man i första hand riktar in sig på att utnyttja för energiproduktion är sådana delar av den skogliga råvaran som ej är av primärt intresse för skogsindustrin d.v.s. bark, grenar, toppar och småträäd. Detta s.k. skogsavfall samt skogsråvara från gallring och hyggesrensning, avverkning av lövskog m.m. utgör redan idag ett bränsle som kostnadsmässigt är väl jämförbart med olja.

När det gäller energiskog kan man konstatera att många led i utvecklingskedjan ännu saknas och att det ej är möjligt att bedöma hur stor genomslagskraft denna energikälla kan komma att få. Av den verksamhet som pågår på området kan man dock dra slutsatsen att odling av energiskog har en betydande potential som källa för vår energiförsörjning och att de projekt som pågår förtjänar att följas med stor uppmärksamhet.

I denna rapport behandlas även torv samt övriga biomassor såsom vass och halm. Projektering av kraftvärmeverk som skall eldas med torv pågår medan det är mindre klart vilka realistiska möjligheter som föreligger att utnyttja övriga biomassor för energiproduktion.

I rapporten beskrivs för de olika råvaruslagen vilka tillgångar som finns inom landet, samt hur råvaran tas tillvara eller skördas. Vidare behandlas hantering, transporter och eventuell beredning av råvaran fram till bränsle eller till råvara för vidareförändling. Många moment i samband med hantering och användning är gemensamma för de olika bränslena, liksom många av de utvecklingslinjer som nu undersöks och utvecklas. Därför görs en för bibränslen gemensam beskrivning främst av momenten omvandling, distribution och konsumtion, men även beträffande transporter, lagring och torkning. Gränsen för vad som är omvandling och beredning och vad som ligger i utvinning är dock flytande - Så kan t.ex. torkning och sönderdelning ske på många olika platser och i olika skeden. En viss beskrivning av sådana frågor görs därför även för de olika råvarorna i anslutning till avsnitten om utvinning.

## 2. SKOGSENERGI

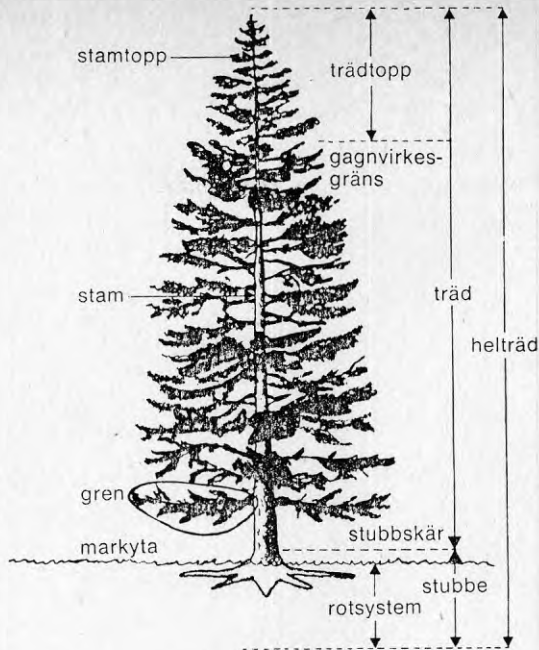
### 2.1 Inledning

Med skogsenergi avser vi här råvaran från det normala skogsbruket och då i första hand den del av råvaran som normalt inte utnyttjas av sågverk, massa- och pappers-industri eller skivindustri.

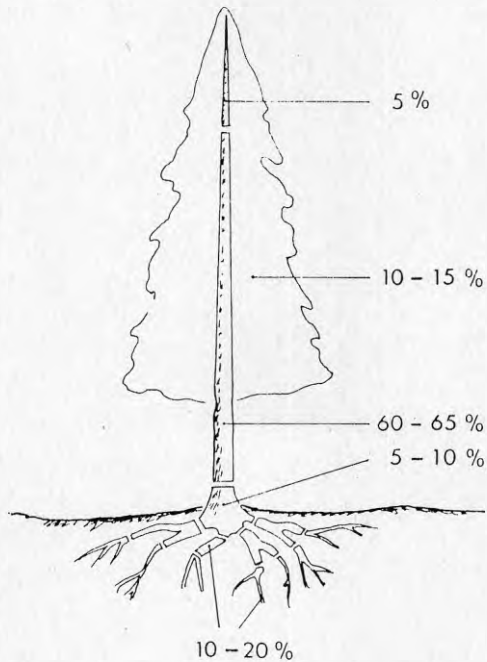
Det är naturligtvis vanskligt att göra en gränsdragning mellan det som traditionellt betraktas som industriråvara och det som nu börjar betraktas som energiråvara. Begränsade tillgångar på fiberråvara och ökande oljepriser medför att skogsindustrin tenderar att söka utnyttja delar av de trädrester, som tidigare lämnats kvar i skogen. I första hand är det denna del av råvaran som här kommer att diskuteras från kommunal nyttjandesynpunkt. Se fig. 1 - 2. En uppdelning av råvaran kan göras enligt följande:

- toppar, grenar och kvarlämnade träd på hyggen efter avverkning
- stubbar och rötter från avverkade träd
- röjningsavfall, d.v.s. klenta träd som lämnas på marken vid röjning i ungskog
- gallringsavfall, småträd, toppar och grenar som lämnas kvar vid gallring
- bark och avfall från industrin som uppstår i samband med vidareförädling
- brännved från lövträd

Flera alternativa användningssätt för råvaran kan tänkas även om man begränsar sig till att betrakta den som en energiråvara. För kommunal energiförsörjning är det närmast intressanta området sannolikt att använda trädresterna som ersättningsbränsle för olja i fjärrvärmeverk, andra värmecentraler eller i villapannor. Råvaran används då i första hand i form av flis eller liknande. Teknik och utrustning för förbränning av flis finns tillgänglig medan mycket återstår beträffande maskinutveckling för själva utvinningen av trädresterna. Utvecklingsläget idag beskrivs i följande avsnitt, liksom även transporter, lagring och torkning.



Figur 1. Benämning av trädet och dess delar



Figur 2. Biomassans ungefärliga fördelning på olika träddele, tall och gran.

Området förbränning av skogsråvara behandlas i ett särskilt kapitel med rubriken "Omvandling". Här diskuteras även framställning av mer högförädlade former av bränsle såsom pulver, pellets eller briketter. Beskrivningen av teknik för omvandling är gemensam för skogsenergi, energiskog och torv.

## 2.2 Skogsenergi som primärenergikälla

### 2.2.1 Skogsenergi i Sverige

Inom det svenska skogsbruket avverkas varje år omkring 75 miljoner  $m^3$  sk (skogskubikmeter, d.v.s. stamvolym inkl. bark), vilket ger en industriråvarumängd om 62 miljoner  $m^3$  fub (kubikmeter fast mått under bark). Vid denna avverkning lämnas ca 50 miljoner  $m^3$  f (fast mått) kvar i form av stubbar, hyggesavfall, röjningsvirke m.m. Avverkningen av lövskog understiger tillväxten och det årliga tillväxtöverskottet torde röra sig om ca 5 miljoner  $m^3$  f. Siffermaterialet ovan är behäftat med viss osäkerhet som bl.a. har att göra med att tidigare skogstaxeringar främst utformats för att mäta tillgång på industriråvara och ej tillgång på energiråvara.

Till följd av att priset på olja stigit kraftigt, har skogens värde som energiråvara närmat sig dess värde som energiråvara. Under vissa förutsättningar har det t.o.m. angetts vara lönsamt att i fjärrvärmeverk ersätta olja med flis från massaved. I en pågående statlig utredning kommer man att närmare belysa frågan om hur skogsråvaran bäst skall utnyttjas med hänsyn till industriella krav och långsiktig energiförsörjning. Det förefaller dock rimligt att anta att skogsindustrin åtminstone på kort sikt kommer att tillgodoses med avseende på råvaruleveranser och att endast den del av råvaran som idag inte utnyttjas kommer att finnas tillgänglig för energiproduktion. Utvecklingen på längre sikt är svår att överblicka.

Prisutvecklingen på såväl skogsindustrins produkter som på oljan kan påverka användningssättet för skogsråvaran. Industri- och sysselsättningspolitik i stort har även betydelse för de framtida användningsområdena.

Hur stor del av de idag outnyttjade kvantiteterna kommer då att kunna nyttiggöras för energiproduktion? Även här finns en viss konkurrenssituation med skogsindustrin, eftersom den har intresse att använda vissa delar som fiberråvara i den mån som tekniken för tillvaratagande utvecklas så att det blir lönsamt att utnyttja dessa delar (främst stubbved men även kvarlämnade träd i t.ex. gallring). Det är dock inte enbart en konkurrenssituation - Utvecklingen av ny teknik kan göra det möjligt att tillvarata ökade volymer av både fiber- och energiråvara. En annan sida är att skogsindustrin själv i ökad utsträckning kan komma att ersätta olja med skogsenergi - hur mycket kommer då att finnas tillgängligt för t.ex. kommande energibehov?

En detaljerad genomgång av tillgängliga kvantiteter har gjorts inom Projekt Helträdsutnyttjande (PHU) och redovisats i PHU:s slutrapporter samt i PHU-rapport nr 54. Där har man beräknat att följande kvantiteter finns tillgängliga för energiutvinning med hänsyn till biologiska, tekniska och ekonomiska begränsningar:

från slutavverkning	2.37	milj.	ton	torrsubstans (TS)	per	år
" gallring	1.60	"	"	"	"	"
" röjning	0.24	"	"	"	"	"
<u>" övrig avverkning</u>	<u>0.27</u>	"	"	"	"	"
Totalt	4.48	"	"	"	"	"

Dessa 4.48 milj. ton TS/år kan jämföras med den totalt kvarlämnade mängden som beräknats till ca 19 milj. ton TS/år (motsvarande 50 milj. m<sup>3</sup>f). Nya avverkningssystem med s.k. helträdsutnyttjande, vilket innebär att hela det okvistade trädet med kvarsittande del av rotsystemet uttas, kan dock i framtiden höja utbytessiffran väsentligt.

Ett betydande överskott av lövvirke finns dessutom som ej utnyttjas av skogsindustrin idag. Denna kvantitet rör sig om 2.5 milj. ton TS/år. Till detta kommer slutligen att gallring av ungskog beräknas öka.

Sammanlagt skulle detta ge en mängd av ca 8 milj. ton TS/år av skogsenergiråvara. Denna mängd motsvarar 3.4 milj. ton olja/år eller omkring 12% av Sveriges årliga oljeimport.

I PHU-rapporten har man även uppskattat kostnaderna för utvinning samt bränslets värde som ersättning för olja. Med den teknik man baserat kalkylerna på och med de då gällande oljepriserna beräknades kostnaderna för att utnyttja skogsenergin vara högre än för olja. Övergång till skogsenergiutnyttjande framstod som rimlig för villauppvärmning och då främst för skogsägare.

Längre fram i denna rapport ges beskrivningar av olika drivningssystem och hur man kan utvinna bränsleråvara samt till vilka kostnader. Den teknik som beskrivs är då främst dagens teknik. Utvecklingsarbeten bedrivs på många håll och förändrar säkerligen denna bild successivt. Kostnader för övergång till fasta bränslen diskuteras även samt bränslets värde under olika förutsättningar.

De volyminventeringar och kostnadsuppskattningar som finns kommer att förbättras och förfinas avsevärt under de närmaste åren bl.a. inom ett antal NE-projekt som nu pågår. I en utvidgning av riksskogstaxeringen görs en inventering som avser att täcka även energiråvaror. Utvinningstekniken undersöks och utvecklas i ett antal projekt som är knutna till institutionen för skogsteknik vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Garpenberg.



### 2.2.2 Skogsenergi i kommunen

Idag finns ingen fungerande marknad för skogsenergi. Försöksverksamhet pågår dock med statligt stöd för att studera förutsättningarna för uppbyggnad av teknik och organisation för skogsenergiutnyttjande. Hur skall då en kommun planera för att på sikt kunna försörja sig med sådant bränsle?

I vilken form skall man köpa bränslet och vilken egen bränslehantering och bränsleberedning behöver man bygga upp?

Vilka tillgångar finns inom kommunen och i angränsande områden? En rad frågor av denna typ måste studeras innan det är möjligt att uttala sig om förutsättningarna för skogsenergiutnyttjande i en viss kommun.

De tillgängliga kvantiteterna av skogsenergi i en kommun beror bl.a. av skogsarealen, åldersfördelningen i skogen, ägarförhållanden, konkurrensen om råvaran o.s.v. En uppskattning av hur stora dessa tillgängliga volymer är måste göras i samarbete med skogsägarna så att en prognos över slutavverkningar, gallring och röjning kan göras. Riksskogstaxeringen redovisar ej sitt material i så små regioner som enstaka kommuner.

Konkurrensförhållanden måste analyseras. Detta gäller särskilt i kommuner där skogsindustri redan finns men även konkurrensen om råvaran från villaägares sida måste beaktas. Enskilda villaägare kan möjligen bära högre fliskostnader än fjärrvärmeverk, då dessa ofta utnyttjar tunga eldningsolja som är billigare än villaolja. Därmed kan villaägarna komma att konkurrera med kommunens energiverk om råvaran speciellt om en flismarknad etableras men kanske även genom att enskilda skogsägare säljer flis direkt till villaägare.

En väsentlig fråga för kommunen är hur man uppnår acceptabel leveranssäkerhet ifråga om bibränslen. Flera alternativa vägar kan studeras:

- Leveransavtal träffas med flera olika skogsägare som levererar flis till ett värmeverk i avtalad takt. Leverantören svarar för erforderlig utrustning och håller en viss buffert i skogen. Kommunen står för investeringarna vid värmeverk och eventuellt även för transportbehållare.
- Kommunen tecknar leveranskontrakt med främst mindre skogsägare som levererar flisad eller oflisad råvara till en mottagnings- och beredningsterminal som delvis eller helt ägs av kommunen.
- Kommunen tecknar kontrakt med entreprenörer som investerar i maskinell utrustning och som levererar flis från skog som kommunen äger eller köper direkt till värmeverket.
- Råvaran levereras som avfall från närliggande skogsindustri.

Den råvara som levereras till värmeverket kan dessutom variera i kvalitet och bränslevärde. Den bästa kontrollen av råvarukvaliteten får man kanske genom att samla bränsle från olika källor till en central lagrings- och homogeniseringsanläggning eller terminal som dessutom bör vara utrustad för torkning av råvaran.

Transporter av skrymmande bränslen såsom toppar, grenar, stubbar och även flis för med sig att transportkostnaderna blir relativt stora i förhållande till bränslets värde. Detta talar för en begränsning när det gäller transportavstånd. Förutsättningarna härvidlag kan möjligen ändras när skogsenergimarknaden byggts upp eller om bränslet vidareförädlas t.ex. till pellets. I dagens situation torde man dock få inskränka sig till att hämta råvaran från områden som ligger relativt nära förbrukningsstället.

Erfarenheter från lokal fliseldning kommer successivt fram i olika projekt på området som stöds bl.a. av Statens Industriverk. Som exempel kan nämnas

- Södra Skogsägarnas projekt avseende ett regionalt flis-hanteringssystem med ca 100 småförbrukare.
- Utnyttjande av träbränslen i Mora-området. Resursinventering, uppbyggnad av organisation, fliseldning.
- Bodens Energiverks projekt som avser framtagning av flis för förbränning i hetvattencentral.
- SÅBI:s projekt avseende Fogdarps Blomsterodlingar i Skåne där uppvärmning sker med flis från skogsavfall. Insamling och transporter sker med ett nyutvecklat hanteringssystem.

## 2.3 Utvinning, tillvaratagande

### 2.3.1 Slutavverkning

Betydande mängder skogsenergi kan utvinnas i samband med slutavverkning. Toppar, grenar, stubbar och kläna träd kan endast delvis utnyttjas som industriråvara och kan därför till stor del ses som en bränsleråvara. De arealer som slutavverkas, varierar kraftigt i storlek. Huvuddelen av hyggena är relativt små. Genomsnittligt kan man räkna med 50-100 m<sup>3</sup> skogsavfall per hygge.

Inom skogsbruket talar man om olika metoder vid drivningen, d.v.s. utvinningen av skogsråvaran, nämligen

- sortiments- eller kortvirkesmetoden
- stammetoden
- träd- eller träddelemetoden

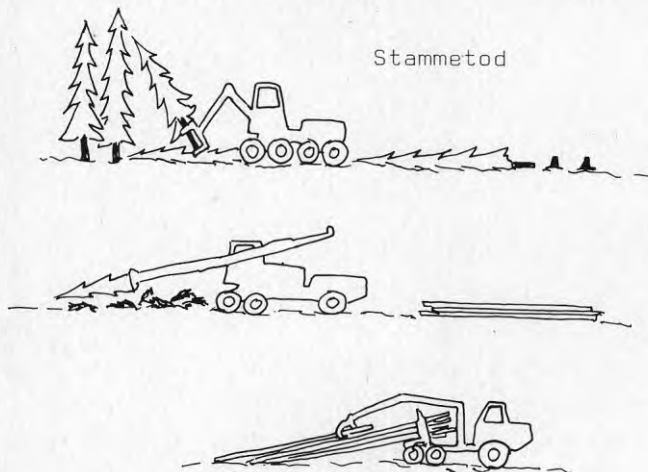
Sortimentsmetoden är den dominerande och karaktäriseras av att träden kvistas, kapas och uppdelas i sortiment på avverkningsplatsen som schematiskt visas i figuren nedan. Virket transporteras ut till ett avlägg vid bilväg med hjälp av en kranförsedd s.k. skotare.



Sortimentsmetod

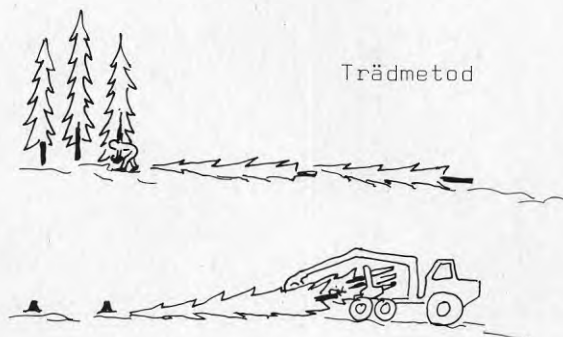
Vid stammetoden sker fällning, kvistning och frånskiljning av trädtoppen ute på hygget, varefter hela stammen trans-

porteras till avlägg. I figuren nedan illustreras hur en fällare-läggare utnyttjas för att fälla träden och lägga dem i strängar. Därefter kvistas och toppkapas träden samt



transporteras till avlägg med en s.k. lunnare, varvid ena änden av stammarna läggs upp på fordonet, medan den andra änden släpas på marken.

Träd- eller träddelemetoden innebär att endast fällning, eventuellt även kapning, men däremot ingen kvistning sker ute på fältet. De hela träden eller träddelarna transporteras sedan med skotare eller lunnare till bilväg, se fig.



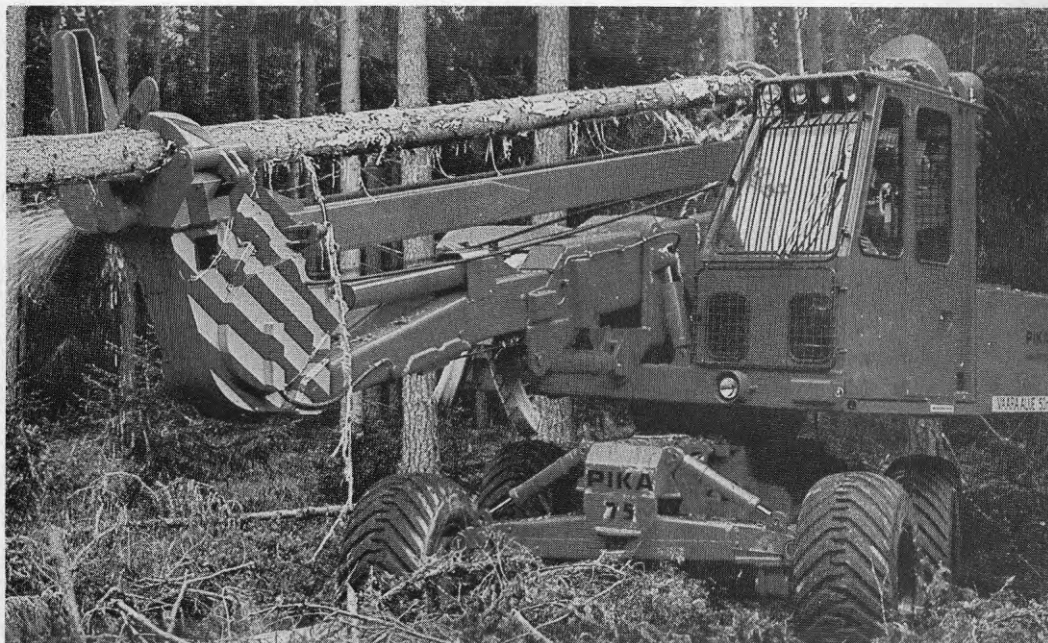
I det följande beskrivs och illustreras kortfattat en del av den maskinutrustning som används i samband med slutavverkning. Utrustningen betraktas särskilt ur aspekten hur den utnyttjas om man vill tillvarata skogsavfallet.

Det dominerande arbetsmomentet i samband med slutavverkning är att fälla, lägga och kvista trädet. Vissa maskintyper är avsedda för att endast fälla och lägga trädet, andra kvistar, kapar och transporterar virket i terrängen. Flera olika kombinationer av sådana arbetsmoment förekommer i olika maskintyper.

En fällare-lunnare enligt bilden (ÖSA) har ett kranmonterat fällhuvud och klämmer fast de fällda trädens rotände i den saxliknande anordningen baktill samt drar ut träden med kronan släpande i marken.



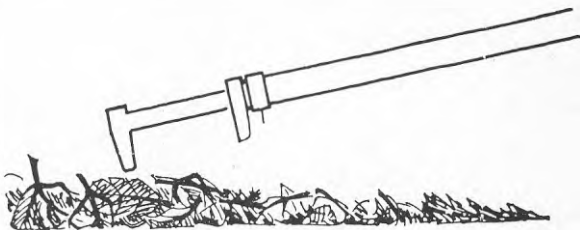
S.k. skördare har utrustning för att fälla, kvista och kapa träd. I figurerna nedan visas två olika fabrikat av skördare.



Kvistningen sker antingen med fasta knivar, varvid kvistarna och den kapade toppen faller i en koncentrerad hög vid sidan av maskinen, eller med rörliga knivar, s.k. bomkvistning, varvid kvistarna sprids över ett större område.



Kvistning med fasta knivar



Bomkvistning

Maskiner som endast kvistar och kapar kallas processorer. Flera typer finns på marknaden.



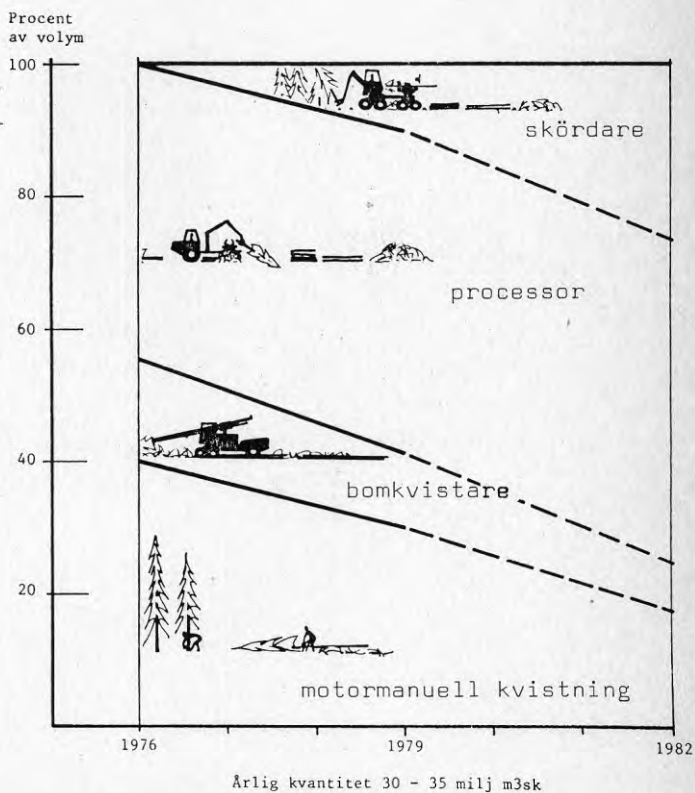
Processor





Gallringsprocessor som även utnyttjas i slutavverkningar

I vidstående figur (Forskningsstiftelsen Skogsarbeten) illustreras tendensen beträffande kvistningsteknik i slutavverkning.



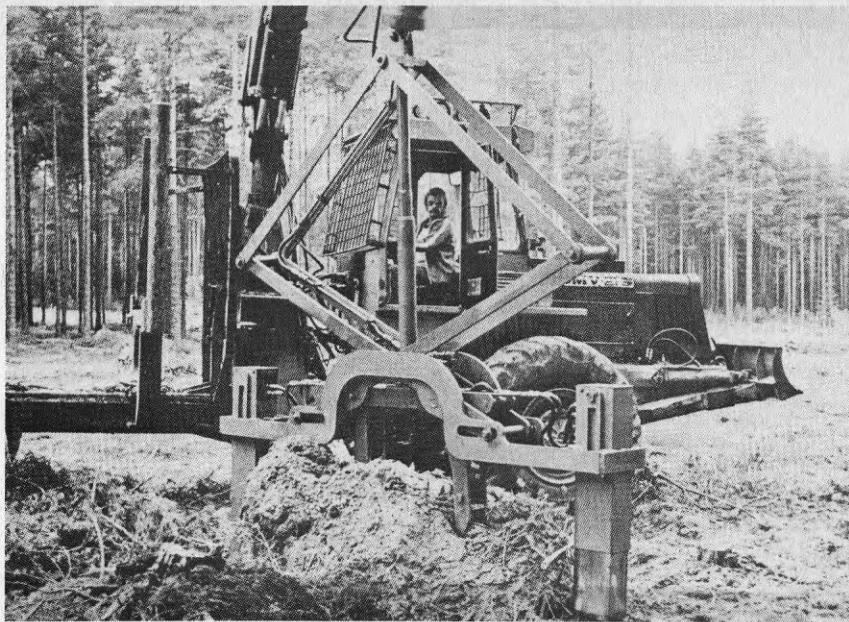
## Stubbar

En stor del av stubbmaterialet som totalt för landet representerar en volym om c:a 10 milj. m<sup>3</sup>/år är av intresse för skogsindustrin, vilket har lett till att stubbskördare utvecklats för att dels bryta upp stubbarna ur marken, dels klyva dem före uttransport.

Ett problem vid hantering av stubbar är att jord och sten följer med stubben och måste avlägsnas innan stubbmaterialet kan användas. Stubbrensningen kan till större delen utföras i skogen men en fullständig rensning före flisning kräver sannolikt behandling i någon stationär anläggning eller terminal.

I de flesta fall har man hittills tillvaratagit stubbved efter redan utförd slutavverkning. Eftersom massaindustrin har intresse av denna råvara har studier genomförts beträffande möjligt utbyte av industriflis ur stubbvirket. Det visar sig att detta utbyte kan bli av storleksordningen 80-85%. Resterande delar som utgörs av bark och vedrester kan åtminstone delvis användas som bränsle. En komplikation är att jord, sand och sten kan ingå i avfallsdelen.

Man kan därför dra slutsatsen att stubbvirke knappast i någon större utsträckning kommer att användas som bränsleråvara till följd av massaindustrins råvaruintressen. I de fall då det är oekonomiskt att transportera stubbmaterialet till en terminal för vidarebehandling kan det dock tänkas att stubbarna blir tillgängliga på en bränslemarknad. Detta torde dock inte inträffa förrän tekniken för stubbrytning utvecklats så att kostnaderna kommit ned till en lägre nivå än vad som är möjligt med dagens teknik. I figurerna nedan illustreras tekniken dels i form av en stubbrytare monterad på en skotarkran, dels i form av en större specialmaskin för stubbrytning och klyvning.

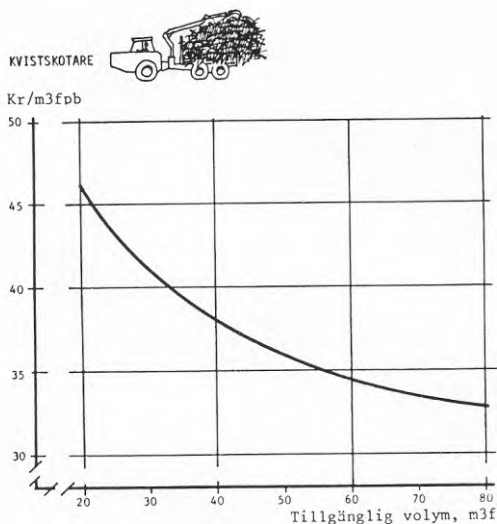


### Transport av hyggesrester

De hyggesrester som skall användas som bränsle måste transporteras ut från hygget på något sätt. Flera alternativ finns. Vid träd- eller träddelemetoden följer kvistarna med gagnvirket och kan avskiljas centralt. Vid kvistning och toppkapning på hygget måste insamling och uttransport ske, t.ex. med en kvistskotare som är försedd med kran för att plocka skogsavfall. Skotaren transporterar materialet till stickväg eller avlägg, där det är lättillgängligt för vidaretransport.

Ett ytterligare alternativ är att flisa hyggesavfallet direkt på hygget varvid flisen samlas upp i en container och avtransporteras utan lagring.

Valet av metod för tillvaratagande av hyggesavfall beror av vilken kvistningsmetod som använts och av vilka virkesvolymer det är fråga om. I ett diagram nedan (Claes Mellström, Skogsarbeten) anges kostnaden för att ta tillvara och uttransportera hyggesavfall med skotare som funktion av den tillgängliga volymen. Kalkylen bygger på antagandet att 80% av tillgänglig volym efter en kvistare - kapare kan tillvaratas.



Genomsnittlig kostnad för kvistskotare.

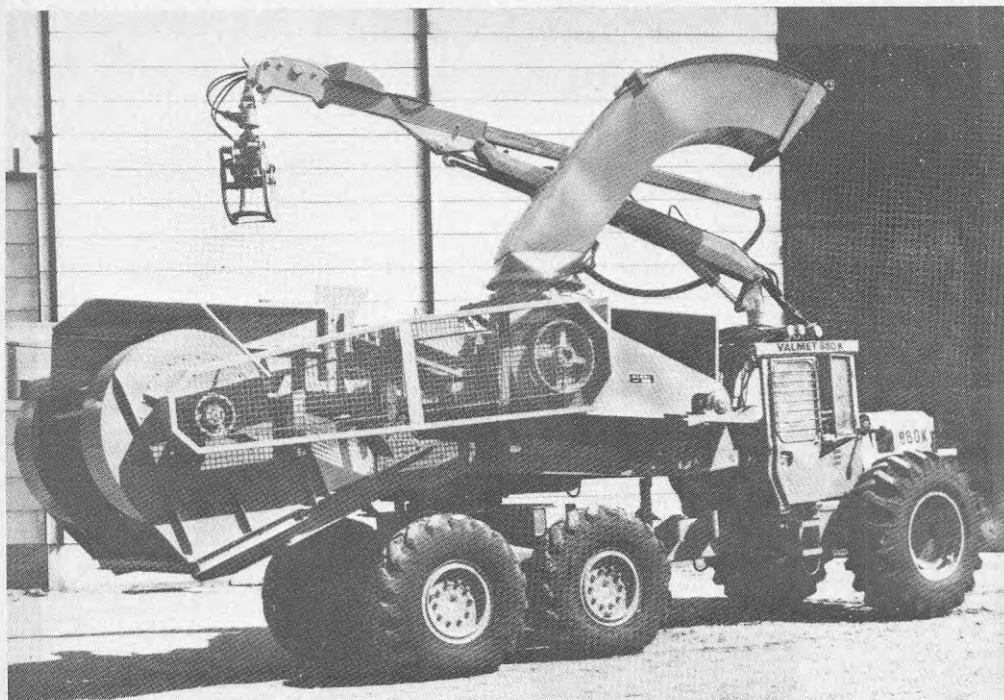
## Flisning

Det skogsavfall som kan tillvaratas i samband med slutavverkning måste i regel flisas före slutanvändning i en eldningsanläggning. Flisningsaggregat av olika typer finns tillgängliga på marknaden, dels avsedda att kopplas till traktor, dels specialfordon med större flisningskapacitet. Även stationära stora huggar förekommer.

De traktordrivna aggregaten har kapaciteter mellan 5 och 50 m<sup>3</sup> flis/timme. Aggregatpriserna varierar beroende på kapacitet och utrustningens omfattning från i runt tal omkring 10.000 kr till flera tiotusental kronor. De större aggregaten med kapacitet upp mot 200 m<sup>3</sup> flis/timme och monterade på specialfordon är betydligt dyrare.



Flisningshugg 10 - 30 m<sup>3</sup> flis/h.



Flishugg, kapacitet 30-50 lös m<sup>3</sup>/h för hyggesavfall



Stor flishugg

### 2.3.2 Gallring

I skog som växer i täta bestånd konkurrerar träden om ljus, utrymme och näring. Marken blir tätt bevuxen med klenta träd. Med ett mindre antal träd, och därigenom större avstånd mellan träden, fås grövre träd. Den totala tillväxten är inom vissa gränser i stort sett densamma per ytenhet, men den ekonomiska avkastningen blir större - Sågtimmer har ett högre värde än massaved, och avverkningskostnaderna blir lägre för grövre virke. Följaktligen är det önskvärt med en utglesning i växande bestånd, i skogsbruket kallat röjning eller gallring, beroende på när utglesningen görs. Vid röjning, som sker i unga bestånd, tillvaratas ej något virke, medan vid gallring under ett bestånds livstid såväl massaved som ibland även klent sågtimmer kan utvinnas. I detta avsnitt skall tillvaratagande av energiråvaror vid gallring beskrivas - röjning beskrivs i ett senare avsnitt.

De energiråvaror som kan utvinnas vid gallring är stamdelar, toppar, grenar och hela träd som är för klenta att använda som industriråvara. Stubbar uttas ej, eftersom stubbrytning skulle ge skador på växande träd.

Vid normal gallring tillvaratas endast sådana råvaror som är av intresse för skogsindustrin. Värdet av produkterna täcker då sällan gallringskostnaderna. Med den nya skogsvårdslagen har kostnaderna dessutom ökat, då en del klenta träd som tidigare lämnats i beståndet nu måste transporteras bort för att förhindra insektsangrepp. Redan idag tas alltså en del råvara ut som är av mindre intresse för skogsindustrin. Ett ökat tillvaratagande av skogsråvara för energiändamål kan medföra att en marknad byggs upp för bränslen såsom klenta träd och ris. En följd effekt kan då bli att den idag eftersatta gallringen ökar.

Det finns ett flertal metoder för gallring. Tunga maskiner är ej lämpliga att använda här varken i beståndet eller på stickvägar. I stället har lättare specialmaskiner för gallring utvecklats, främst för arbete från stickvägar, men även för gång i beståndet. Här finns dock ett stort behov av nyutveckling och att ersätta den idag dominerande vinschningen med mer rationella och arbetsmiljövänliga metoder. Ett ökat tillvaratagande av energiråvaror kan kanske påskynda en sådan utveckling.

En allmän synpunkt är att träden bör tas ur beståndet okvistade om grenarna skall tas tillvara. En hopsamling av gallringsrester i kvarstående bestånd medför stor risk för skador på beståndet och torde ge höga kostnader.

Vilka metoder kan då användas? Fällningen kan antingen ske motormanuellt, vilket är vanligast, eller mekaniskt. En mekanisk fällare kan se ut som figuren nedan visar. Den arbetar från stickvägarna och är utrustad med en lång kran med fällhuvud som förs in i beståndet och fäller träden samt drar ut den till stickvägen.

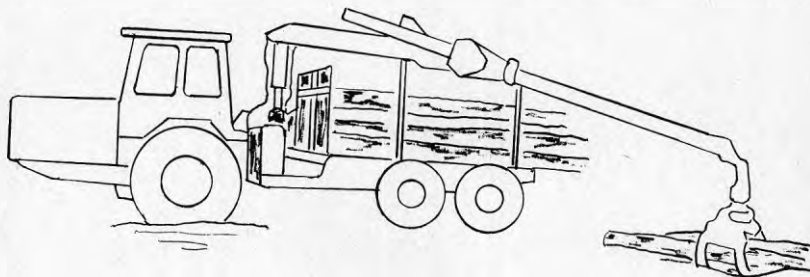


Fällare (Kockum AB)



Vid motormanuell fällning, d.v.s. med motorsåg, kan drivningen ske på flera sätt. Då träden är små och terrängen så tillåter kan sammanförningen till stickväg ske manuellt. Vid ogynnsam terräng och större träd finns maskinella metoder. Den vanligaste bygger på att träden vinschas fram till stickväg med en motordriven vinsch. Denna metod ger möjlighet att ha ett stort stickvägsavstånd, vilket är önskvärt, men ger låg kapacitet och därmed hög drivningskostnad.

En annan drivningsmetod är att med en långkransförsedd skotare dra ut träden till stickvägen, se exempel på bilden nedan.



ÖSA vikbomskran, räckvidd 10 m

De utdrivna träden kan sedan antingen som hela träd med skotare transporteras till avlägg, där eventuell vidarebehandling och vidaretransport vidtar, eller också finns möjlighet att redan vid stickvägen vidarebehandla träden. Detta kan exempelvis ske med en stickvägsgående gallringsprocessor som kvistar och lagrar träden samt lägger sortimenten efter stickvägen. Bränsleråvaran, d.v.s. toppar, grenar och övrigt spill, blir i detta fall relativt lätt-tillgänglig för vidarebehandling och avtransport.

Då hela träd transporteras till avlägg, kan träden antingen kapas till lämpliga längder och transporteras till en central upparbetningsanläggning eller också vidarebehandlas på plats. Hur skogsråvaran behandlas vid en central upparbetningsanläggning behandlas vidare under rubriken 2.3.4. Terminalsystem. Då någon central upparbetningsanläggning ej finns, kan en viss vidareförädling ske vid avlägget. Kvistning av den råvara som beräknas gå till skogsindustrin kan ske antingen manuellt eller maskinellt. Manuell kvistning av gallringsvirke ställer sig dock ekonomiskt ofördelaktig. Utveckling och prov av transportabla s.k. buntkvistare pågår, vilket kan komma att visa sig ekonomiskt gynnsammare.

Övrigt virke samt rester från kvistningen kan fraktioneras vid stickväg eller bilväg och användas som bränsleråvara. Fraktioneringen kan ske med mobila flisare och rivare, som idag finns att tillgå i ett flertal storlekar, monterade t.ex. på ett lastbils- eller skotarchassi.

Kostnads kalkyler för tillvaratagande av gallringsvirke avsett för energiproduktion finns presenterade i några genomförda projekt. Inom PHU-projekt nr 54, december 1977, redovisas kostnader för försök gjorda vid Billerud. Här jämförs en normal drivning i gallringsskog med kvistning ute i skogen samt transport till industri med en drivning där okvistat virke transporterades till industri för en efterföljande buntkvistning. Jämförelsen visade att de båda metoderna ger samma kostnad vid klana träd, varför de gallringsrester, som utvinns vid den senare metoden, erhålls utan extra kostnader vid industrin. För grövre träd erhöles en merkostnad vid den senare metoden på 75-125 kr/ton TS, varför kostnaden för gallringsresterna kommer att ligga på mellan 0 - 125 kr/ton TS vid industri.

Här är dock att notera, att kostnaden avser kvistnings-  
rejektet. En vidareförädling i form av sönderdelning samt  
ev. homogenisering tillkommer. Dessutom ingår ej transport-  
kostnaden till en eventuell förbrukare.

Inom projektet Skellefteterminal som stöds av NE och som  
avser att utreda tekniska och ekonomiska förutsättningar  
för ett terminalsystem inom Skellefteå-regionen, finns en  
utförlig ekonomisk kalkyl för tillvaratagande av energi-  
råvara vid drivning i gallringsskog. Kalkylen hänför sig  
till kontinuerlig kommersiell drift och ett gallrings-  
uttag av minst  $40 \text{ m}^3$  sk/ha. Kalkylen är utförd med ett  
övre och ett undre gränsvärde beroende på ogynnsamma resp.  
gynnsamma förhållanden.

Tre typer av drivningssystem har studerats, alla med motor-  
manuell fällning. Det visar sig att kostnaderna för fällning  
och drivning för de tre systemen är jämförbara, och om en  
uppdelning i lövved och barrved dessutom sker, blir kost-  
naden  $65 - 75 \text{ kr/m}^3\text{f}$  vid avlägg. För vidaretransport till  
terminal med en genomsnittlig transportväg av 45 km till-  
kommer  $15 - 20 \text{ kr/m}^3\text{f}$ . Kostnaden vid terminal för gallrings-  
virket blir då  $80 - 95 \text{ kr/m}^3\text{f}$ , eller c:a  $200 - 240 \text{ kr/ton TS}$ .

Till dessa kostnader kommer sedan de kostnader som terminal-  
stationen drar och som behandlas utförligare i avsnitt 2.3.4.  
Terminalkostnaden, inklusive kapital-, personal-, drifts-  
och underhållskostnader, har beräknats till  $20 - 30 \text{ kr/m}^3\text{f}$ .  
Till detta tillkommer transport- och administrationskostnader,  
varför de totala produktionskostnaderna beräknats till  
 $113 - 143 \text{ kr/m}^3\text{f}$  vid förbrukare.

Den intäktskalkyl, som skall balansera kostnadskalkylen,  
bygger på att terminalens sortiment styrs av det aktuella  
marknadsläget. Produktsortimentet kan bestå av barmassaved,

björkmassaved, boardråvara och bränsleflis. Intäkterna för de tre förstnämnda produkterna har baserats på de marknadspriser, som varit aktuella 1978/79 och hänför sig alltså till den svaga konjunktur, som då rådde inom skogsindustrin.

Intäkterna från bränsleflisen har baserats på biomassans energiinnehåll jämfört med eldningsolja 4. Vid en fukthalt på mellan 40 - 50% motsvarar 1 m<sup>3</sup> biomassa ungefär 0,2 m<sup>3</sup> eo 4. Emellertid medför eldning med träbränsle en högre eldningskostnad, och denna har i PHU-rapport nr 54 angivits till 175 kr/m<sup>3</sup> eo 4 eller 35 kr/m<sup>3</sup> biomassa vid 40% fukthalt. Värdet hos bränsleflisen skulle då kunna beskrivas med följande formel.

Värde per m<sup>3</sup> fast träbränsle = 0,2 (priset/m<sup>3</sup> eo 4 - 175) kr.

Vid de oljepriser som gäller idag skulle terminalens sortiment, sett ur lönsamhetssynpunkt, bestå av endast barmassaved och bränsleflis. Den lönsamhetskalkyl som tagits fram visar att vid oljepriser kring 900 kr/m<sup>3</sup> eo 4 kommer systemet att bära sina kostnader.

Emellertid har i denna kalkyl icke medtagits vissa faktorer som skulle kunna förbättra resultatet. Sålunda är, som ovan nämnts, nuvarande råvarupris på massaved på grund av rådande konjukturer relativt lågt. Vidare har ingen kreditering gjorts för de skogsvårdande åtgärder som en gallring innebär. Om dessutom bidrag för anläggning av terminalstationer kan utgå, skulle ekonomin redan idag kunna vara gynnsam, åtminstone för en terminal av enkelt slag.

Inom ytterligare ett NE-projekt, under ledning av Rolf Skärby Såbi AB, har en kostnadskalkyl för framtagning av bränsleråvara ur gallringsskog tagits fram.

Systemet är uppbyggt kring en skotare med vikarmskran, som försetts med en flishugg och därtill hörande inmatningsbana. Fällning och drivning sker med konventionella metoder och vid klenare bestånd flisas träden direkt vid stickvägen. Vid grövre gallringsskog utnyttjas en gallringsprocessor, som kvistar och kapar gagnvirket, varefter resterna flisas. Flisen sprutas i säckar, som transporteras ut ur området på stickvägar med speciella skotare.

Den kalkyl som redovisas i projektet anger en kostnad om 31 kr/m<sup>3</sup> s flis fritt förbrukaren. Detta motsvarar c:a 190 kr/t TS, som korresponderar mot ett oljepris om drygt 400 kr/m<sup>3</sup>. Om hänsyn tas till den högre eldningskostnaden för träbränsle, finner man i denna kalkyl att lönsamheten är god jämfört med oljeeldning om oljepriset överstiger 600 kr/m<sup>3</sup>.

### 2.3.3 Røjning\_och\_rensning

Med røjning menas avverkning av sly och småträd med avsikt att åstadkomma en utglesning av skog. Inget gagnvirke uttas i samband med røjningen. Borttransport av det røjda virket ur skogen kan vara motiverad redan av den orsaken att man därigenom minskar risken för insektsangrepp på kvarlämnade träd. Røjningsvirkesvolymen för hela landet uppskattas till c:a 2,5 milj. m<sup>3</sup> per år.

Med rensning avser man avverkning av buskar och träd på områden som ej är avsedda för skogsbruk såsom gränsområden mellan skogs- och jordbruksmark, kraftledningsgator, vägrenar, diken m.m. Även här är det, bortsett från energiaspekten, av intresse att samla ihop och uttransportera det avverkade materialet.

Røjning och rensning har hittills till övervägande del gjorts manuellt med utnyttjande av røjningsmotorsågar.



Røjning och rensning med røjmotorsåg

Efter avverkningen måste materialet hopsamlas, vilket av naturliga skäl leder till att kostnaden för hela skördearbetet blir högt. En ökad mekanisering av detta arbete skulle kunna göra röjningen ekonomiskt fördelaktigare. En finsk skogsskördare (Pallari) är utrustad med inmatningstrummor försedda med knivar och flishugg, vilket gör det möjligt att producera flis med kapaciteten 6-8 m<sup>3</sup>f/tim.

Enligt de resultat som framkommit inom PHU kan flisning vid bilvägsavlägg eller industri vara effektivare än system med flisning i terrängen. Vilket insamlings- och flisningssystem man än använder, har man hittills kommit fram till högre kostnader per m<sup>3</sup>f biomassa än vad fallet är vid energiskogsskörd. Detta hänger samman med att man vid röjning har lägre volymutbyten per ha och att man måste ta hänsyn till det kvarvarande beståndet när man gör röjning i skog.

När det gäller rensning torde det vara möjligt att på sikt utnyttja samma maskintyper som kommer att utvecklas för skörd av energiskog. Terrängförhållandena är dock ogynnsammare än på nedlagd jordbruksmark och den basmaskin som används bör därför ha samma framkomlighet i terrängen som en skotare.

I en PHU-rapport, "Avverkning och transport av skogliga energiråvaror" (1977), sammanfattas kostnaderna för tillvaratagande av röjningsvirke i nedanstående tabell. Två avverkningssystem jämförs, det ena avseende leverans av okvistade träddeklar till förbrukningsplats, det andra avseende flisning av okvistade träddeklar på avlägg. Fällningen förutsätts i båda fallen ske med motor- eller röjmotorsåg, varefter träden dras in till stickväg med skotarkran. Kostnaderna fritt förbrukningsplats blir följande:

System	Kostnad kr/m <sup>3</sup> f biomassa vid diameter:				
	4	6	8	10	12
1 Okvistade träddeklar	120	86	66	55	49
8 Flis	114	87	70	59	55

Beträffande rensning baserar man kostnadskalkylen på tre system för energiskogsskörd som behandlas på annan plats och gör antagandet att dessa system är utformade så att de kan användas på de marker där rensningen skall göras. I kostnadskalkylen har följande antaganden gjorts.

- Eftersom rensning av marken ändå skall göras, medräknas endast merkostnaden för tillvaratagandet
- 50% av kostnaden för fällning och hopsamling antas ligga på hopsamlingsmomentet
- Hopsamling och terrängtransport beräknas vara 20% dyrare än för energiskog på grund av sämre terräng

Uppskattade kostnader kr/m<sup>3</sup>f för tillvaratagande och transport av energivirke från ej utnyttjade marker.

System Operation	Svep- skördare	Sly- skördare	Motor- manuellt
Hopsamling	2,63	3,68	20,82
Terrängtransport	12,13	13,92	18,84
Vidaretransport	16,59	14,39	16,59
Summa	31,35	31,99	56,25

Flisningskostnader tillkommer och kan utgöra 20 kr/m<sup>3</sup>f. I PHU antas dessutom att ersättning till markägare utgår med 10 kr/m<sup>3</sup>f.

För röjningsvirke och virke från överloppsmarker räknar man med att omkring 9 m<sup>3</sup>f motsvarar ett ton olja. Vid en kostnad för tillvaratagande och transport av energivirke om 50 kr/m<sup>3</sup>f samt flisnings- och ersättningskostnader om 30 kr/m<sup>3</sup>f innebär detta en summerad kostnad om 720 kr för en vedmängd som motsvarar 1 ton olja.



Bilderna nedan visar en Pallari slyskördare i prototyputförande. Skördaren är försedd med två hydrauliskt drivna inmatningstrummor och flishugg.



#### 2.3.4 Terminalsystem

Inom det traditionella skogsbruket har man sedan länge prövat möjligheten att ta in hela stammar till en central uppberedningsstation eller terminal, där sedan uppdelning på längder (aptering) skett så att maximalt ekonomiskt utbyte erhålls. Då det nu blir intressant att ta till vara andra trädelar såsom toppar, grenar och stubbar samt gallrings- och röjningsvirke, kommer det även att bli aktuellt att bygga upp särskilda terminaler för hantering av såväl industriråvara som bränsleråvara. Sådana terminaler kan få funktion som

- mottagningsstationer för hela skogsråvaror (virkesterminal och bränsleterminal)
- uppberedningsanläggningar för produktion av bränsleflis
- lager för obearbetad råvara och för bränsleflis

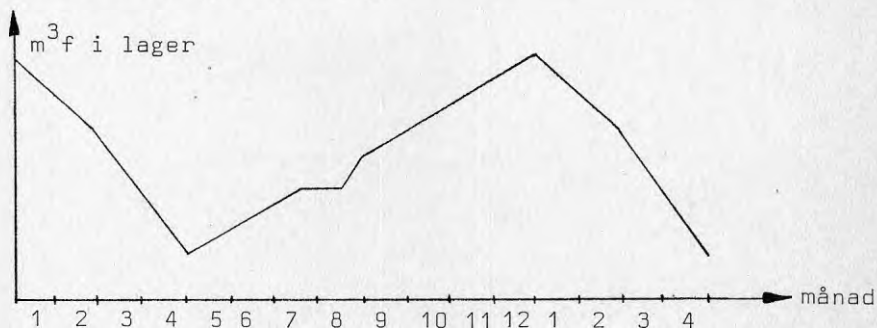
Lokaliseringen av en terminal med dessa funktioner bör ske med hänsyn såväl till fångstområdet för råvaran som till var avnämarna finns. Man kan dessutom ifrågasätta om terminalen skall vara stationär eller om det skall vara möjligt att demontera hela terminalen och flytta den till annan plats. En stationär terminal torde kräva dels att fångstområdet är betydande, dels att en relativt jämn drift kan äga rum vid terminalen under hela året. Om fångstområdena är små och utspridda geografiskt, kan det finnas skäl att överväga rörliga terminaler.

En studie av förutsättningarna att anlägga en terminal inom Skellefterregionen för beredning av okvistad klenskog och trädrester till industriella råvaror och bränsle har genomförts och redovisats år 1979 (Carl-David Bredberg, Projekt Skellefteterminal). Denna studie ger en god översikt över de frågor på kommunal nivå, som behöver studeras i samband med anläggandet av en virkes- och bränsleterminal. Råvaran utgörs här av traditionell virkesråvara för skogsindustrin samt av gallringsskog, som dels kan utnyttjas av industrin, dels som bränsle.

Vid en större terminalstation torde man generellt kunna räkna med att verksamheten omfattar följande områden:

Mätning av råvarumängden bör kunna ske på nöjaktigt sätt. Detta kan när det gäller trädrester och avfall erbjuda vissa problem och det är möjligt att en kombination av volyms- och viktmätning bör väljas.

Till följd av att leveranserna till terminalen kan väntas variera under året finns ett behov av att kunna lagra oarbetad råvara. Årstidsvariationen kan ha det schematiska utseende som figuren visar.

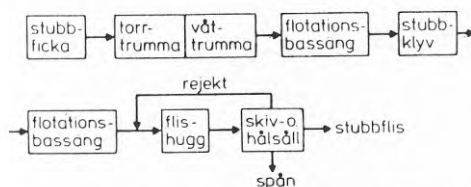


Vid dimensionering av lagervolym bör man beakta de bestämmelser som ges i skogsvårdslagen. Enligt denna får ett lager efter den 15 juli varje år ej innehålla obarkade talldelar med diameter över 5 cm och som avverkats före den 1 juni. Efter den 1 augusti får lagret ej heller innehålla obarkade grandelar över 5 cm avverkade före 1 juli.

Klena okvistade träd, grenar och toppar kan beroende på det aktuella marknadsläget tänkas gå till skogsindustrin som massaråvara eller användas som bränsle. Eftersom träden tas in okvistade till en terminal av den typ vi här avser, måste kvistning av hela eller delade träd kunna ske vid terminalen. Av ekonomiska skäl har det visat sig nödvändigt att försöka samla träden i buntar och genomföra kvistningen i buntkvistare. Utvecklingsarbeten pågår för att ta fram en sådan kvistare med goda prestanda.

Den del av råvaran i en terminal som skall användas som bränsle sönderdelas lämpligen i en flishugg. Såväl mobila som stationära flishuggar finns på marknaden. De stationära huggarna har ofta betydande kapacitet, upp till 1000 m<sup>3</sup>/timme och kräver stor effekt för sin drift.

Utnyttjandet av stubbar är av intresse för skogsindustrin och en terminal bör därför med fördel även vara utrustad för hantering av denna del av trädet. En fungerande upp-  
arbetsanläggning för stubbar finns i Mackmyra. Den togs i drift 1977 och uppbyggnaden framgår av vidstående principskiss.



Schematiskt blockschema över stubbupparbetning i Mackmyra.

I torr- och våttrummorna avskiljs rottrådar, jord, sand och bark. Ytterligare avskiljning av sten och grus sker i flotationsbassänger före och efter stubbklyv. Den flis som erhålls som produkt i processen kan användas som råvara för massaindustrin eller som bränsleråvara.

Terminalen bör slutligen vara uppbyggd så att det är möjligt att lagra och torka bränsleflis. Lagrings- och torkningsfrågor behandlas i avsnitt 4 av denna rapport.

När det gäller utförande och ekonomi för en terminalanläggning kan endast grova riktlinjer skisseras. Eftersom terminalsystemfrågor för närvarande studeras på flera håll inom landet, finns det skäl att avvakta resultat och erfarenheter från olika terminalprojekt innan man gör mer definitiva bedömningar.

I projekt Skellefteterminal redovisas lönsamhetsberäkningar för olika utföranden av den där beskrivna terminalen och under olika förutsättningar när det gäller oljepriser, värdet av de olika produkterna från terminalen och kreditering för gallringskostnader.

I ett pågående projekt "Bergslagsterminal" vid Skogshögskolan i Garpenberg studeras ett skogligt terminalsystem med syftet att påvisa vilka för- och nackdelar ett sådant system har jämfört med de sortimentsystem som nu tillämpas. Sortimentssystem innebär att uppdelning av gagnvirke sker redan på avverkningsplatsen.

I planeringsarbetet för en terminal krävs en rad utredningsaktiviteter beträffande de organisatoriska och ekonomiska förutsättningarna, exempelvis följande

- Kartläggning av avnämare för fiber- resp. energiråvara i regionen. Behovsinventering.
- Ägarförhållanden när det gäller skogen.
- Befintliga hanterings- och distributionssystem.
- Terminalens lokalisering, typ och kapacitet.

## 2.4 Transporter

När det gäller transporter från avverkningsplatsen till stickvägar eller avlägg förutsätter vi att dessa sker med den maskinutrustning som används i samband med drivningen. Vidaretransporterna till virkesterminaler eller slutanvändare av virkes- resp. skogsenergiråvaror sker sedan i regel med lastbil. Transportsättet och transportkostnaderna beror bl.a. av följande:

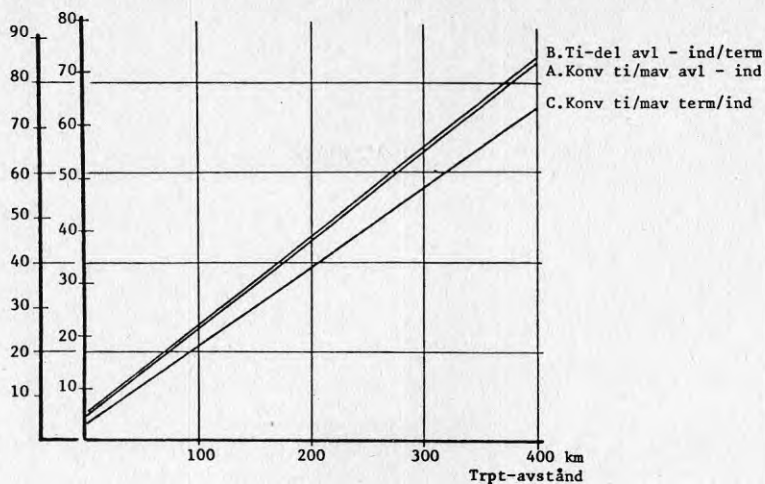
- Råvarans form (kvistad - okvistad, hela träd - träddeklar, komprimerad, lös etc.)
- Råvarans koncentration (volym per lastnings- och lossningsplats)
- Transportsträckan
- Väg-, avläggs- och terminalstandard

De råvarutyper som det från transportsynpunkt finns skäl att skilja mellan är

- timmer och massaved
- stammar
- okvistad massaved (träddeklar)
- träd (exklusive rötter)
- gren- och toppvirke
- stubbvirke
- sönderdelat virke (flis)

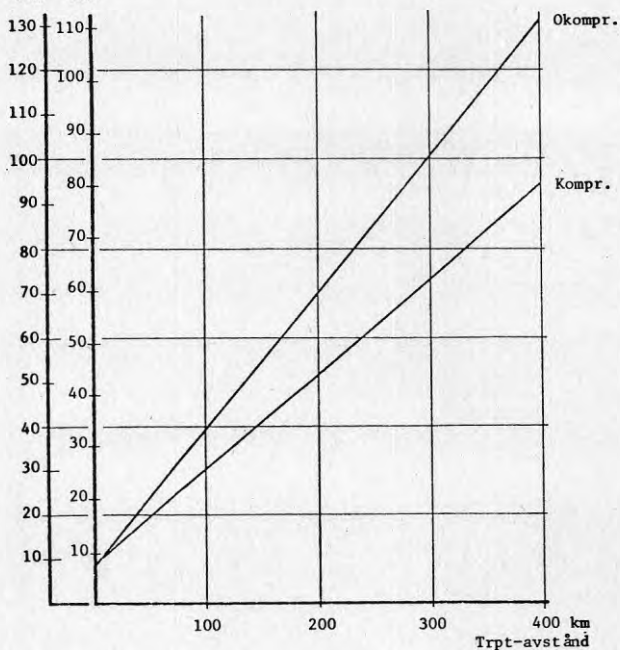
För timmer och massavedtransporter finns konventionella rundvirkesekipage och för timmerdeklar över 12 m längd samt stammar finns särskilda stamekipage med specialflak. Okvistad massaved och hela träd transporteras med samma respektive ekipagetyper, varvid ekipagen är försedda med golv och sidolämningar. Kostnaderna för transporter av timmer och massaved samt okomprimerade och komprimerade träddeklar som funktion av transportavståndet visas i följande två diagram (Skogsarbeten redogörelse nr 6, 1979.).

## TRPT-KOSTN.

Kr/  
ton Kr/  
m3f

Transportkostnaden för timmer och massaved som funktion av transportavståndet, virkeslängden och hanteringstekniken. (1979 års kostnadsnivå)

## TRPT-KOSTN.

Kr/  
ton Kr/  
m3f

Kostnader för transport av okomprimerade och komprimerade träddelar. (1979 års kostnadsnivå)

När det gäller transporter av energiråvara torde det främst vara gren- och toppvirke samt flis som är aktuella. Grenar och toppar transporteras med fördel i slutna lastutrymmen av typen flisekipage eller containerekipage. För att utnyttja ekipagets lastkapacitet bör man komprimera råvaran eller flisa den i samband med lastningen. I följande tabell redovisas vilka volymvikter som uppnås vid olika fall av komprimering samt vid sönderdelning av virket (Skogsarbeten, redogörelse nr 6, 1979).

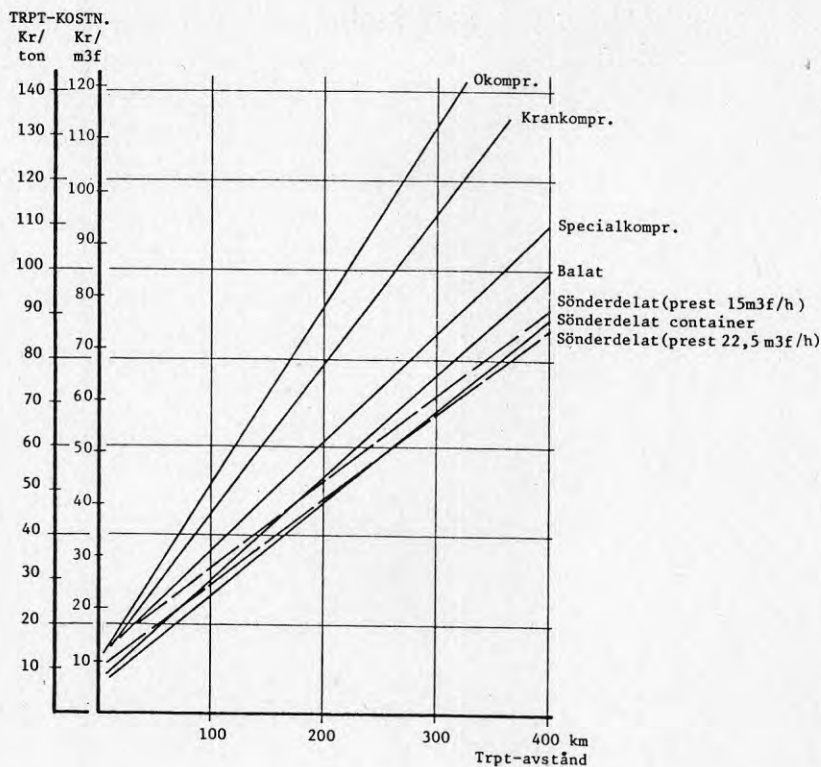
x) GROT-form	Rå- volym- vikt kg/m <sup>3</sup>	Last- volym m <sup>3</sup>	Last ton	Lastkapa- citet- sutm- nyttjande %	Terminaltid, min (exkl störningar)	
					Last- ning	Loss- ning
<u>Löst (kranlastning)</u>						
• okomprimerat	140	120	17	56	50	20
• komprimerat med egen kran	170	120	20,5	68	70	20
• komprimerat med specialutrustning	300	100	30	100	110	25
<u>Balat (kranlastning)</u>						
• ca 2 m <sup>3</sup> /bal	300	100	30	100	60	20
<u>Sönderdelat (direktlastning)</u>						
• 15 m <sup>3</sup> /h	340	100	34	100	170	20
• 22,5 m <sup>3</sup> /h	340	100	34	100	115	20
(containerbyte)						
• 3 containere	340	97	33	100	30	40

x) GROT = gren och toppvirke

Volymvikter (rått virke), lastkapacitetsutnyttjande och terminaltider för olika former av gren- och toppvirke.



I diagrammet nedan anges de enligt samma referens beräknade transportkostnaderna för olika komprimeringssätt samt för flisat virke.

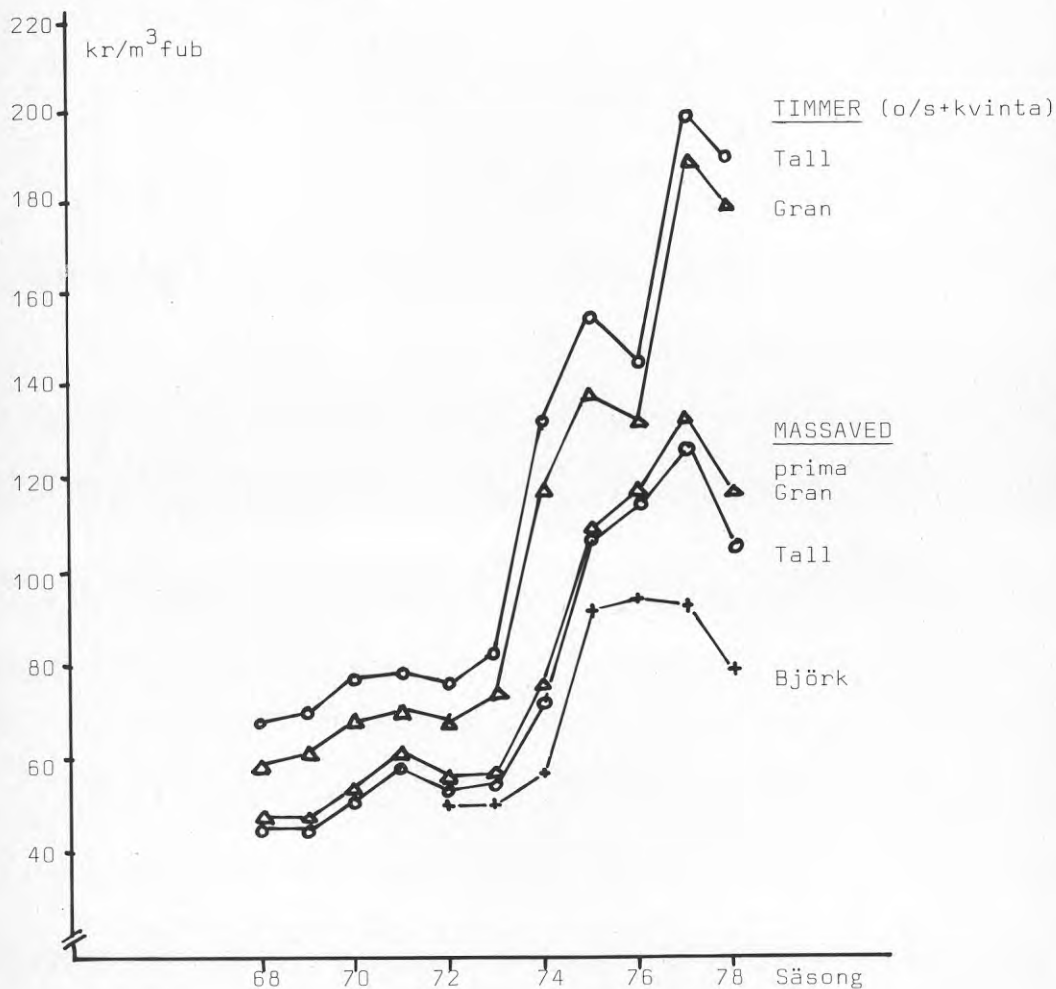


Transportkostnader för rått gren- och toppvirke som funktion av transportavstånd, form, komprimerings-, sönderdelnings- och hanteringsteknik. (1979 års kostnadsnivå)

Vid transport av flis från terminal till slutanvändare kan hanteringstiden sannolikt göras kort då lastning ofta torde kunna ske genom tömning från silo.

Allmänt kan man beträffande de refererade transportkostnaderna för energiråvaran säga, att de kan variera betydligt beroende på hur man organisatoriskt lyckas nedbringa väntetider samt lastnings- och lossningstider. Komprimeringstekniken behöver även utvecklas ytterligare.

massaved är obetydlig, kan detta tendera till användning av massaved som bränsle. Mot detta har dock flera skäl anförts. Man har bl.a. pekat på det betydande förädlingsvärde för fiberråvaran som uppnås vid papperstillverkning. Olika styrmedel kan därför komma att användas för att trygga råvaruförsörjningen för skogsindustrin och det finns här ej anledning att närmare diskutera dessa frågor.



Prisutveckling för olika sortiment under åren 1968-1976 av tall, gran och björk.

## 2.5 Ekonomi

Kostnaderna för utvinning och transport till förbrukare av sådana skogsråvaror som avses att användas för energiproduktion kan som framgått av tidigare avsnitt ej bedömas med någon större säkerhet. Orsakerna härtill är flera. Bl.a. är de praktiska erfarenheterna av utvinning och transport av skogsenergi än så länge begränsade. Utvecklingsarbeten pågår dessutom på flera håll för att ta fram rationell hanteringsutrustning för skogsenergiråvaror.

I tabellen nedan visas en sammanställning av kostnader för skogsenergi vid olika transportavstånd (DFE-rapport nr 22, 1979, Förnybara energikällor).

Skogsenergi	Kr/kubikmeter <sup>x</sup>		
	Transportavstånd, km		
	20	50	100
Stubbar	140-170	155-190	170-200
Hyggesavfall	70-100	80-110	90-120
Klena träd från gallr,röjn vid 6-8 cm dbh	100-180	110-190	120-200
Övrig avverkning	65-180	75-190	85-200
Lövvirke	90-130	95-135	110-140

<sup>x</sup>100 kr per kubikmeter ved motsvarar grovt ca 600 kr per kubikmeter olja.

Sammanställning. Kostnaden av skogsenergi per kubikmeter vid mottagningsplats år 1979.

Dessa kostnader kan jämföras med prisutvecklingen 1968-1978 på traditionella rundvirkessortiment av timmer och massaved enligt diagrammet nedan som är hämtat från samma referens. För brännved har ingen egentlig marknad funnits och priserna har legat på eller under björkmassapriset. Eftersom skillnaden mellan kostnaden för utvinning av skogsenergi och priset på

## 2.6 Miljöeffekter i skogen vid skogsenergiutnyttjande

Nya former av skogsbruk som innebär att en allt större del av den avverkade biomassan transporteras ut ur skogen påverkar givetvis den naturliga balansen i skogen.

Eftersom inga långvariga studier av sådana frågor ännu kunnat bedrivas, kan inte heller några säkra slutsatser dras. Vissa tendenser kan dock skönjas och i det följande redovisas synpunkter som kommit fram bl.a. inom PHU-projektet.

### 2.6.1 Inverkan på näringsbalansen

Näringsbalansen i skogen kan beskrivas som ett i stort sett slutet kretslopp. Vissa näringsämnen tillförs dock med nederbörd och genom vinddrift, t.ex. ammonium- och nitrat-kväve. Näringsämnen bortförs till följd av urlakning av marker i samband med nederbörd, vidare i samband med virkesuttag.

Om man successivt går över till helträdsutnyttjande, ökar naturligtvis uttaget av näringsämnen ur skogen. Löv, barr och kvistar innehåller större delen av trädens näringsämnen såsom kväve, fosfor, kalium och kalcium. 30-70% av det totala kväveinnehållet i en gran återfinns i barr och kvistar som utgör ca 20% av trädets totala biomassa.

En undersökning av näringsbalansen i skogen och dess påverkan av olika faktorer har gjorts av N. Nykvist (Helträdsutnyttjande 1974). Enligt denna undersökning kan man, om det är fråga om god skogsmark, föra ut hela den biomassa som träden i ett skogsbestånd representerar utan att näringsmängden påverkas nämnvärt. Magra marker är givetvis betydligt mer känsliga i detta avseende. Här får man vara beredd att ersätta bortförda näringsämnen genom gödsling.

Vid helträdsutnyttjande uttas förutom näringsämnen även humusbildande ämnen. Effekten av sådana uttag studeras vid Sveriges Lantbruksuniversitet.

Den långsiktiga effekten av att lämna kvar hyggesavfall i skogen har ännu ej studerats i tillräcklig omfattning. Vissa resultat har dock redovisats. Enligt en studie av G. Björkroth (PHU-rapport nr 51, 1977) beträffande tillväxten i ett 15-20 år gammalt granbestånd konstateras en statistiskt säkerställd tillväxtökning för träd som vuxit upp i hyggesavfall. Denna tillväxtökning tycks på goda marker bestå i åtminstone 10 år, medan den på magrare marker tycks vara oförminskad ännu efter 15 år.

Stubbornas innehåll av viktiga näringsämnen är enligt PHU-rapporten låg. Relativt sett är rotträdarna mest näringsrika och de blir vid stubbrytning sannolikt kvar i marken i de flesta fall. En något ökad urlakning av marken kan möjligen ske till följd av att organiskt material och mineraljord blottläggs i samband med stubbrytningen.

Sammanfattningsvis talar således erfarenheterna för att helträdsutnyttjande torde kunna genomföras utan menlig inverkan på den långsiktiga produktionsförmågan, när det gäller god skogsmark. På svagare marker bör man överväga hur näringstillförseln efter avverkning lämpligen bör ske, genom kvarlämnande av barr, kvistar och rötter, eller genom skogsgödning.

#### 2.6.2 Inverkan på djurlivet

Tänkbara förändringar i djurlivet till följd av helträdsutnyttjande med stubbrytning har undersökts av I. Ahlén (Faunavård, 1977). Enligt denna undersökning bedöms förändringarna som relativt små. För gräsätare som älg, rådjur och hare kan helträdsuttag medföra sämre bete, vilket gör att de söker sig till andra marker. Sorkförekomsten kommer sannolikt att minska, vilket återverkar på förekomsten av räv och vesslor. För rovfåglar kan hyggena bli mer lättjagade efter helträdsuttag, vilket väntas gynna rovfåglar och ugglor.

### 2.6.3 Bärtillgång, \_friluftsliv\_

Bortförande av hyggesavfall torde inte inverka nämnvärt på förekomsten av lingon och blåbär. För hallon kan däremot en betydande minskning av skördarna befaras. Om även stubbar avlägsnas från hygget, kan man detta leder till minskad tillväxt av lingon och blåbär.

Hur friluftslivet påverkas av helträdsutnyttjande är svårt att förutse. Klart är dock att framkomligheten på hyggena förbättras. Estetiskt kan det också ses som en fördel om hyggesavfallet avlägsnas.

### 2.6.4 Skadeinsekter

Kraftiga insektsangrepp har de senaste åren drabbat det svenska skogsbruket. De svåraste skadorna har orsakats av granbarkborren, som inom vissa regioner förstört praktiskt taget hela bestånd. Andra viktiga skadeinsekter är märgborren och den sextandade barkborren.

Granbarkborren förekommer i hela landet, främst dock i de mellersta delarna. Den angriper främst kullblåsta träd och avverkat obarkat virke, särskilt då tjockbarkiga partier av stammar ned till 10 cm diameter. När det gäller hyggesavfall angriper granbarkborren främst det grövre avfallet. Vid massförökning kan den angripa och döda växande granskog.

Den sextandade barkborren är allmän i hela landets gran-skogar. Den angriper försvagade eller kullblåsta granar, avverkat obarkat virke samt grövre hyggesavfall.

Den större märgborren förekommer allmänt i hela landet medan den lilla märgborren främst förekommer i de mellersta och sydöstra delarna av landet. Märgborren angriper stående försvagade träd, i vindfällena, avverkat virke samt toppar och grenar från avverkning. Den borrar sig in i och urholkar

tallskott i kronorna på friska tallar, vilket hämmar tillväxten i våra tallskogar. Skadorna har värderats till flera hundra miljoner kronor per år.

Snytbaggen och bastborren utnyttjar tall- och granstubbar för sin förökning. De angriper sedan små gran- och tallplantor som har liten motståndskraft. Praktiskt användbara metoder för att bekämpa dessa skadeinsekter finns ej inom skogsbruket. En möjlig väg är att avlägsna yngelplatserna, d.v.s. stubbar och rötter. Stubbtäkt är dock ej möjlig på alla marker, och stubbar efter gallring och röjning tillvaratas ej.

Helträdsutnyttjande med stubbtäkt reducerar således antalet yngelplatser för skadeinsekter. Skogsvårdslagen beaktar detta genom nya föreskrifter som leder till att mängden yngeldugligt virke minskar, främst då skadad skog, gallrings- och röjningsvirke, hyggesavfall samt lagrat virke. Skogsvårdslagen anger vilka kvantiteter över en viss diameter som får lämnas kvar inom ett avverkningsområde samt vilka begränsningar med hänsyn till årstid som gäller. Vidare anges när obarkat barrträdsvirke skall vara borttransporterat ur skogen.

### 3. ENERGISKOG

#### 3.1 Inledning

Med energiskog menas odling för energiproduktionsändamål av träarter med egenskaper såsom stor tillväxthastighet och god förmåga att skjuta skott och som gör att de med god avkastning kan skördas med något eller några års intervall och användas som bränsle eller för konvertering till annan energiform.

Odling av särskild energiskog på stora arealer kan naturligtvis innebära en betydande påverkan av den biologiska miljön. Det är därför nödvändigt att studera följderna på kort och på längre sikt av intensiv energiskogsodling. Det är också önskvärt att försöka avgöra hur stora energibidrag man på sikt kan vänta sig av energiskogsodling och vilka kostnader det för med sig. I energikommissionens betänkande anger man för år 1990 5 TWh/år som ett tänkbart energibidrag medan betydligt större bidrag diskuteras på längre sikt.

Med stöd av Nämnden för energiproduktionsforskning (NE) bedrivs vid Skogshögskolan under ledning av professor G. Sirén sedan några år en verksamhet av kunskapsuppbyggande karaktär. Målet för denna verksamhet är att under den första hälften av 1980-talet ha inhämtat sådana kunskaper att det är möjligt att

- utvärdera och fältmässigt testa resistent, högproduktiva kloner av snabbväxande lövträd samt anlägga klonplantager för dessa.
- producera sticklingar i erforderligt antal för storskaliga energiskogsförsök.
- ta fram anvisningar beträffande förutsättningar för energiskogsodling med avseende på mark- och klonval, förbearbetning, anläggning, skötsel, skörd och produktkontroll.



Det framgår av tidsskalan för denna verksamhet att energiskogsodling inte på flera år kan komma att vara av någon större betydelse för den kommunala energiförsörjningen. I den kommunala energiplaneringen är det emellertid väsentligt att söka bedöma försörjningsmöjligheterna på längre sikt. Det finns därför skäl för kommunen att noggrant följa utvecklingen när det gäller energiskogsodling i synnerhet med tanke på den koppling som finns till användandet av "konventionell" skogsenergi som energikälla.

### 3.2. Energiskog som primärenergikälla

Ett av målen för de odlingsförsök som genomförs av Skogshögskolan är att finna kloner, d.v.s. individer av en viss trädart, med sådana egenskaper som gör dem lämpade för energiskogsodling. I "Energiskog", utgiven av KTH, kemisk teknologi, anges dessa egenskaper förutom förmåga till extremt snabb tillväxt vara

- hög rotningsbenägenhet hos sticklingar
- god skottskjutningsförmåga
- hög motståndskraft mot svampsjukdomar och insektsangrepp
- härdighet mot hårt klimat
- god respons till gödsling
- hög densitet hos veden
- goda torkningsegenskaper

De kloner man hittills nått de bästa odlingresultaten med tillhör släktena *Populus* och *Salix*. Till *Populus*släktet hör bl.a. poppel och asp medan sälg, vide och pil tillhör *Salix*släktet.

Tiden mellan skördar bör väljas med hänsyn till tillväxthastigheten under trädets ålder. För *Salix*arter är tillväxten kraftigast under de första åren, varför det är fördelaktigt att välja korta omloppstider (1-5 år), medan *Populus*arter ofta når sin maximala tillväxttakt först efter mer än 10 år. Energiskogsodlingar väntas ha en gynnsam tillväxt under kanske 20-30 år, varefter nya plantor måste planteras.

Avkastningen från energiskogsodlingar varierar starkt med trädart och odlingsbetingelser. Ofta anges 20 ton torrsubstans per ha och år som ett realistiskt värde på avkastningen från en väl fungerande energiskogsodling.

I den fortsatta framställningen kommer vi ej att specifikt diskutera val av trädart, då detta under lång tid kommer att vara föremål för studier från Skogshögskolans sida och måste bestämmas med hänsyn till bl.a. lokala odlingsförutsättningar. Vi förutsätter emellertid relativt korta omloppstider och diskuterar teknikfrågor utgående från detta.

Man kan översiktligt söka bedöma vilka bidrag till Sveriges energiförsörjning som kan erhållas från energiskogsodlingar. Inventeringar av tillgängliga markområden måste göras dels med hänsyn till nuvarande och planerade användningsområden för dessa områden, vidare med hänsyn till markens lämplighet för energiskogsodling. Bl.a. måste vissa biologiska krav ställas på de områden som avses utnyttjas för sådana odlingar. Kraven i fråga om temperatur medför exempelvis att endast områden med begränsad höjd över havet (300 - 400 m) kan användas. Nederbörden bör överstiga 500 mm/år. Jorddjupet måste vara minst 70 cm. Marken skall ha viss naturlig fuktighet och ha god förmåga att hålla vatten.

Dessutom anges ofta tekniska krav på markområdena i fråga om jämnhet, maximal lutning (20%) och arealens minsta storlek (1 ha)

Detta gör att nedlagd jordbruksmark kan synas vara bäst lämpad för energiskogsodling, vidare torvmark och skogsmark. De totala arealer i Sverige som bedöms kunna bli tillgängliga för energiskogsodling är enligt en studie av DFE följande:

Marktyp	Areal, milj. ha
Jordbruksmark	0.1 - 0.3
Torvmark, näringsrik	0.17 - 0.35
Torvmark, annan	1.5 - 2.5
Skogsmark	1.4 - 1.7

I den refererade studien gör man bedömningen att om försöksodlingarna visar sig framgångsrika, så kan vi år 2000 ha en total odlad areal för energiskog om 250.000 ha. Årsproduktionen bedöms i denna rapport till 10 milj. m<sup>3</sup> f eller 3 milj. t TS som energimässigt kan jämföras med 1.3 milj. ton olja/år med ett förbränningsvärde som motsvarar 15 TWh/år. I Energikommissionens studie av energitillförselmöjligheterna anges för år 2000 ett bidrag från energiskogar om min. 5 TWh/år, max. 62 TWh/år. Bedömningarna varierar således kraftigt till följd av att vi ännu befinner oss i ett tidigt utvecklingsskede när det gäller energiskog.

### 3.2.1 Val av markområden i kommunen

Från kommunal synpunkt torde det när det gäller energiskog främst vara av intresse att söka bedöma vilka markområden som på sikt kan bli aktuella för energiskogsodling och vilka konkurrerande användningsområden som kan finnas. Områden såsom nedlagd jordbruksmark, myrmark och kraftledningsgator har i många fall lågt utnyttjandevärde och kan därför vara av intresse för framtida energiskogsodlingar.

Några specifika krav på markområden för energiskogsodling finns ännu ej utarbetade. Som inledningsvis nämndes, finns krav beträffande

- temperatur (odlingen får ligga högst 300-400 m över havet)
- nederbörd (större än 500 mm/år)
- jorddjup (minst 70 cm)
- naturlig fuktighet och förmåga att hålla vatten

Dessutom bör de naturliga näringsförhållandena vara relativt goda även om de kan förbättras genom åtgärder av olika slag. En allmän diskussion om olika typer av markområden och deras lämplighet för energiskogsodling ges i "Energiskog" (KTH, kemisk teknologi).

Förutom odlingsbetingelserna finns en rad andra faktorer som kan vara ekonomiskt avgörande för när energiskogsodling kan komma ifråga. Sådana faktorer är t.ex. arealens storlek och belägenhet, möjligheter till bevattning m.m. En viss uppfattning om sådana övriga krav kan man få genom att studera avsnitt 3.3. Utvinning, tillvaratagande.

Ägarförhållandena när det gäller markområden för energiskog kan vara avgörande för om kommunen skall vara entreprenör eller endast köpare av råvara. Från kommunal synpunkt torde den enklaste lösningen vara att skriva kontrakt med markägare om leveranser av energiskogsråvara. Beroende på bl.a. odlingarnas storlek kan leverantörerna sedan undersöka i vilken utsträckning det kan vara intressant att utnyttja gemensam maskinutrustning för avverkning av energiskog och transporter för att därigenom reducera kapitalkostnaderna.

Vilka lösningar som väljs blir i hög grad en ekonomisk fråga. Följande tekniska och ekonomiska beskrivningar är avsedda som underlag för bedömning av vilken teknik som kan komma att utnyttjas i ett framtida energiskogsbruk.

### 3.3 Utvinning av energiskogsråvara

#### 3.3.1 Initialinsatser och uppbyggnad

Markanskaffning: Kommunen kan antingen uppträda som entreprenör, dvs. själv anskaffa, anlägga och driva energiskogsodling eller också köpa energiskogsråvara av annan entreprenör. Valet av handlingsalternativ görs sannolikt bäst av kommunen själv. Bedömningsgrunder erfordras därvid för att avgöra vilket värde ett visst markområde kan anses ha för energiskogsodling.

#### Dränering och markberedning:

Odlingsbetingelserna för energiskog påverkas bl.a. av vattentillgången och markens struktur. Myrmarker är i många fall synnerligen vattenrika och kan erfordra utdikning om energiskogsodling skall kunna genomföras med framgång. Dikningsprojekt har givetvis stor påverkan på ett naturområdes karaktär och får därför inte genomföras utan vidare. För vattenreglering av denna typ erfordras tillstånd av vattendomstol.

Genom utdikning är det möjligt att sänka ett områdes grundvattennivå i den utsträckning som respektive trädart fordrar. Kostnaderna för dikning anges i "Energiskog" till mellan 840 och 990 kr/ha för myrmarker med olika vattenhalt.

Viss övrig markberedning erfordras i regel för att avlägsna hinder såsom stubbar och stenar samt för att ge marken lämplig struktur för plantering av sticklingar. Marken bör få så stor bärighet att maskiner för skörd och hantering av energiskog kan framföras utan att ge sådan markpåverkan att energiskogens rotsystem menligt påverkas. Även ogräsbekämpning kan erfordras.

Markberedningens omfattning beror naturligtvis främst av marktypen. Myrmark kan komma att kräva såväl stubbrytning som fräsning medan nedlagd jordbruksmark i vissa fall endast kräver enklare bearbetning såsom plöjning och fräsning. Kostnaderna för markberedning av myrmarker anges till ca 1.200 kr/ha och för nedlagd jordbruksmark 800 kr/ha, vilket dock även inkluderar planteringsmomentet.

I "Energiskog" anges som exempel på maskintyper för de olika arbetsmoment en basmaskin Meri (pris ca kr 600.000 år 1978, Lönnström OY, Finland), till vilken kan kopplas en dikesfräs (kr. 90.000) resp. stubbrytare (kr 360.000) eller utjämnings-skruv (kr 56.000). Alternativt föreslås för markberedning en djupfräs framtagen av Svenska Torv AB till ett totalt pris inklusive basmaskin om kr. 975.000:-.

Driftskostnaderna per ha har beräknats utgående från uppskattade värden på kapacitet, utnyttjningstid, bränsle, underhåll och arbetskostnader. Antalet effektiva arbetstimmar per år antas i de redovisade exemplen till 1440. Dikesfräsens hastighet anges till 260 m/h vid ett uttag om 1 m<sup>3</sup> per löp-meter. Svenska Torvs djupfräs har en kapacitet för markberedning som anges till 200 ha/år vid ett skift per dag och fräsdjupet 0.5 m.

#### Vägar

Vägar till odlingsområden måste anläggas och dessutom krävs vägar på själva området för att framföra skörde- och transportutrustning. Vägarna måste ha en bärighet som är anpassad till den maskinutrustning som skall användas. Vägnetets täthet är beroende av odlingsättet och av maskinutrustningen.

Av den kostnadsuppskattning som redovisas i "Energiskog" framgår att en betydande kostnad eller omkring 2000 kr/ha hänför sig till läggande av vägrör för det system av vägtrummor som erfordras. Själva vägen beräknas kosta omkring 1000 kr/ha odlingsområde. Härtill kommer kostnader för anslutningsväg till området.

Vägarna i odlingsområdet har i räkneexemplet anlagts med 100 m mellanrum och med tvärgående vägar på var 300:e meter.

#### Plantering

För plantering av sticklingar i samband med anläggande av en energiskogsodling är det nödvändigt att tillgå någon form av maskinutrustning då antalet sticklingar kan vara av storleks-

ordningen 20 000 per hektar.

Planteringen skall dessutom ske med sådant radavstånd att det finns plats för fordonsband eller hjul mellan raderna.

Maskinutrustning för plantering av sticklingar finns än så länge endast tillgänglig i form av försöksaggregat. Om energiskogsodling i större skala kommer igång måste även automatiserad utrustning för plantering tas fram. Kraven på sådana maskiner måste specificeras och prov genomföras innan det är möjligt att med någon större säkerhet göra kostnadskalkyler för erforderliga investeringar och planteringskostnader. I "Energiskog" redovisas en enkel kostnadsuppskattning som pekar mot kostnader för plantering om ca 400 kr/ha.

#### Näringstillförsel

Tillförsel av näring till energiskogsodlingar måste ske om avkastningen skall kunna bibehållas på en någorlunda oförändrad nivå. De frågor som måste lösas i samband med näringstillförseln är bl.a.

- vilka näringsämnen erfordras?
- i vilka mängder?
- hur ofta?
- på vilket sätt?

Markens förmåga att ta upp och behålla näringsämnen måste studeras. Markens pH-värde eller surhetsgrad kan behöva justeras genom tillförsel av kalk. Nitrathalten i grundvattnet bör kontrolleras beroende av eventuella vattentäcker i odlingsområdets närhet.

Det har föreslagits att askan från förbränningsanläggningen skall återföras och spridas i odlingsområdet, vilket skulle kunna reducera behovet av övriga näringsämnen. Sådana frågor är ännu otillräckligt studerade och måste belysas genom olika slag av försöksverksamhet.

Näringstillförseln kan ske i samband med bevattning av den aktuella odlingen eller genom spridning från flygplan som sker

vid konventionellt skogsbruk.

Kostnaden för näringstillförsel hänför sig dels till en första gödning i samband med anläggande av en odling, dels till fortlöpande näringstillförsel under därpå följande år.

I "Energiskog" har antagits att kostnaden för näringstillförseln i anläggningsskedet kan röra sig om drygt 800 kr/ha. Följande år beräknas kostnaden bli 550 kr/ha. Kalkylen avser våtmarker.

#### Bevattning

Odlingsbetingelserna för energiskog beror bl.a. på tillgången till syre och vatten i marken. Det kan som tidigare nämnts vara nödvändigt att dränera ett markområde för att sänka grundvattennivån. Å andra sidan måste tillgången på vatten vara tillräcklig för att garantera gynnsam tillväxttakt inom odlingsområdet. Det kan därför bli nödvändigt att anordna bevattning av odlingsområdet, vilket kräver relativt betydande anläggningsinsatser.

Bevattning av en energiskogsodling kräver bl.a.

- tillgång till vattentäkt
- pumpar, dieselmotorer (alt. el.anslutning och elmotor)
- distributionsledningar för vatten med anslutningsdon
- bevattningsmaskin
- personal för att ombesörja bevattningen

Vattentillgången kan tillgodoses genom utnyttjande av befintliga sjöar och vattendrag eller genom att man anlägger dammar i anslutning till dräneringssystemen i ett våtmarksområde. Närmare undersökningar får göras i varje enskilt fall. I "Energiskog" uppges som exempel att vattenbehovet under ett år i östra Sverige kan uppgå till 1000 m<sup>3</sup> per ha under vegetationsperioden. Om behovet är av denna storleksordning är det uppenbart att bevattningsfrågorna kan komma att utgöra ett problem i samband med energiskogsodling. Kostnaderna för att anlägga dammar kan även bli betydande.



För att distribuera och sprida vattnet behövs ledningar och utrustning i en omfattning som bestäms av odlingsarealernas storlek, vattentäktens belägenhet och det bedömda bevattningsbehovet. Några räkneexempel redovisas i "Energiskog". Anläggnings- och driftskostnader har beräknats för ett område på 120 ha med stort årligt bevattningsbehov och anges till 3685 kr/ha resp. 535 kr/ha och år, vilket ger en uppfattning om storleksordningen på investeringar och driftskostnader.

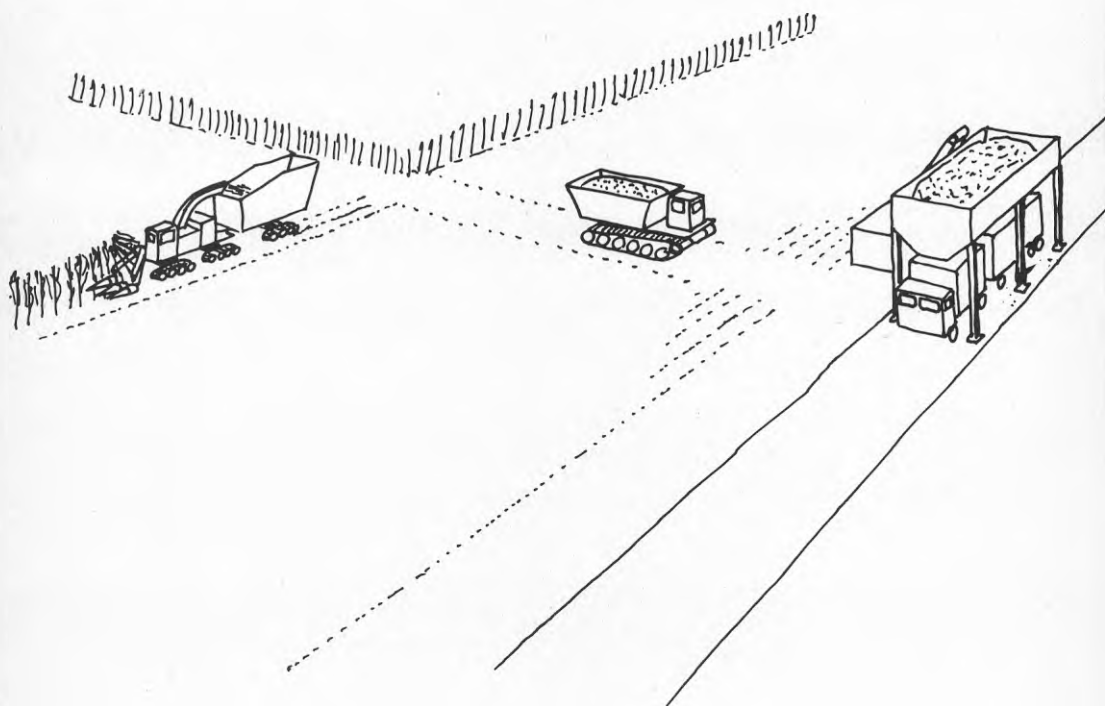
### 3.3.2 Skörd av energiskog

Den maskinutrustning som skall utnyttjas för skörd av energiskog bör väljas med hänsyn till hur den vidare hanteringen och transporten sker, vilken utrustning användaren har och i vilken form han kan hantera det skördade materialet. En översiktlig studie av dessa frågor, med kravangivelser, och några utkast till lämpliga system, har gjorts av SIKOB AB på uppdrag av NE i rapporten "Skörd och hantering av biomassa - Kravangivelser och utkast till maskinsystem". Där har en avgränsning gjorts till i första hand storskalig odling med kort omloppstid i enlighet med den inriktning som finns inom det svenska FoU-arbetet, och enligt beskrivningen ovan. De viktigaste kraven och förutsättningarna för en storskalig odling är

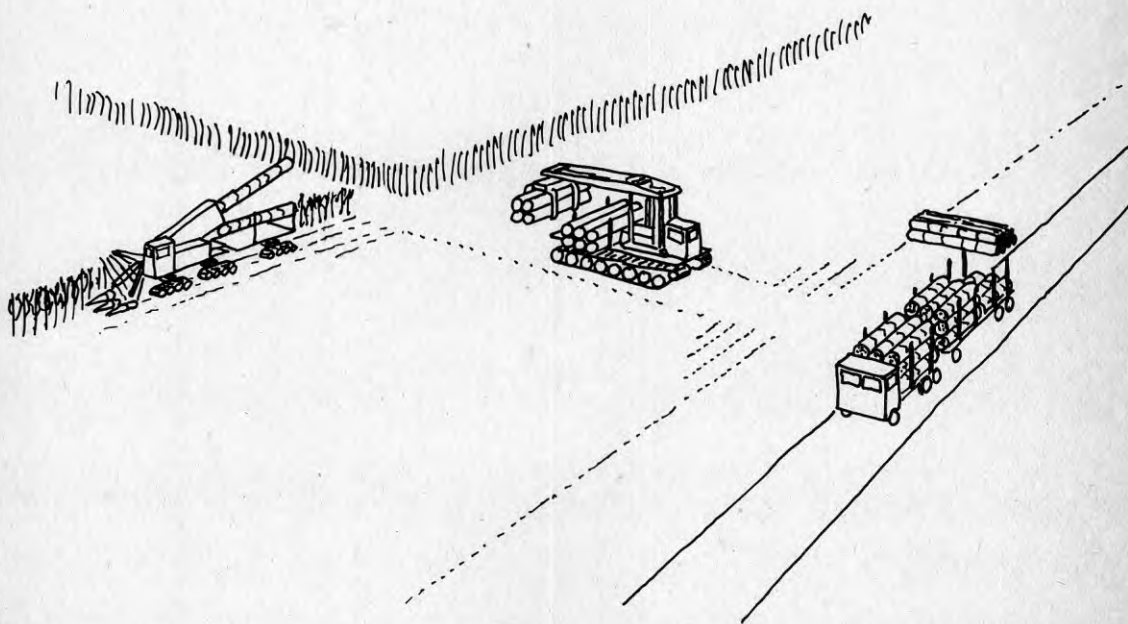
- en kort omloppstid och därmed ett måttligt uttag av biomassa per ytenhet ger ett krav på hög prestation hos skördaren och en rationell materialhantering
- odling på före detta våtmarker leder till krav på lågt marktryck och skonsam markkontakt hos maskinerna - bärigheten är tidvis låg och det går ej att förutsätta att skörd enbart sker vid tjäle
- även vid före detta jordbruksmark är det angeläget med en skonsam markkontakt för att undvika skador på rot-system och markkomprimering
- jämn och hinderfri mark på odlingsytan för att möjliggöra hög framryckningshastighet

- beträffande trädslag och omloppstid, se avsnitt 3.1
- för en god återväxt ställs krav på en fin snittyta vid avverkningen och på en skonsam hantering av stubbarna.

En huvudfråga beträffande skörd är i vilken form det skördade materialet skall samlas in och hanteras. Eldningsanläggningar och eldningsteknik är i dag främst utvecklade för flis. Hanterings- och transportteknik finns likaså klar för flis. Det ligger då nära till hands att bygga ett skördesystem där skördaren direkt flisar materialet på fältet, traktorer transporterar till ett mellanlager eller en flisstack och lastbilar vidaretransporterar flisen till användaren. De flesta komponenterna i ett sådant system finns tillgängliga, och liknande skördemaskiner förekommer, om än i mindre skala, för majs och sockerrör. Ett skisserat exempel på ett sådant system (för våtmarker med låg bärighet) visas i figuren nedan.



Ett annat alternativ är att komprimera det skördade materialet till buntar av lämplig form och sedan hantera och transportera materialet som buntar till användaren. Användaren sönderdelar därefter buntarna till en lämplig fraktion för sin anläggning. Denna fraktion kan tänkas vara grövre än flis eftersom flisningen kräver en hel del energi. Ett exempel på ett storskaligt system av denna typ ges i nästa figur (likaså ett storskaligt system för marker med låg bärighet). Även för detta system krävs endast en måttlig teknikutveckling, eftersom det i huvudsak endast är själva buntnings- och komprimeringsanordningen som behöver nytvecklas.



I valet mellan ovannämnda två alternativ finner man flera skäl som talar för det senare:

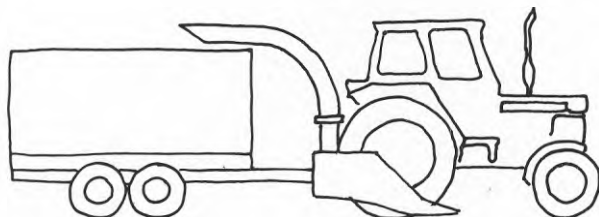
- buntarna är bättre lagringsbara och ger sannolikt en bättre naturlig torkning. Flis som lagras i stack

bryts ned snabbt (vedförlust 2 à 3% per månad) och torkar dåligt. Hanteringen av flis kan ge arbetsmiljöproblem med risker för allergier liknande justerverkssjuka

- systemet med buntar är mer flexibelt och buntarna är lagringsbara direkt på fält. Flis å andra sidan måste sannolikt lagras i stackar eller fälttransporteras direkt vid skörd till stackar. Detta binder fler maskiner till varandra och bidrar till att ge högre kostnader för flisalternativet.
- en skördare för buntar kräver lägre effekt och kan göras lättare och sannolikt mindre komplicerad, vilket också bidrar till att ge lägre kostnader.

För flisningsalternativet talar att transportanordningar och eldningsteknik finns klara och att därmed ingen ytterligare sönderdelning krävs hos användaren. Likaså kan man förutse att utnyttjande av skogsenergi medför att råvaran levereras i form av flis. Samordningsfördelar skulle därför kunna uppnås om även energiskogsråvaran levererades som flis.

För en odling och skörd i mindre skala, och då främst på f.d. jordbruksmarker, kan enklare skördeutrustningar bli aktuella, exempelvis en traktorburen flishugg enligt figuren nedan, liknande enkla foderskördare för majs. Alternativt kan man tänka sig en "självbindare" som hängs på en traktor eller basmaskin och som samlar materialet i buntar eller knippen av lämplig storlek, och som sedan hanteras vidare på ett liknande sätt som buntarna ovan.



Avståndet från en större energiskogsodling till slutanvändaren i exempelvis en centralort kan av naturliga skäl vara relativt stort. Det blir därför ofta fråga om fjärrtransporter mellan odling och användare, eventuellt via någon form av bränsleterminal. Dessa transporter kan ske på olika sätt, men i första hand torde lastbilstransporter bli aktuella. I vissa fall kan dock andra transportsätt vara lämpliga

- vid korta avstånd kan traktortåg vara ett alternativ
- vid längre avstånd och där järnvägsförbindelser finns är järnvägstransporter intressanta, kanske speciellt i en kombination där förbrukaren även transporterar torv eller skogsenergi-bränsle på järnväg
- sjö- eller istransporter kan i gynnsamma fall ge låga transportkostnader.

Vid en avvägning mellan olika transportsätt är det givetvis ej bara kostnader utan även miljöhänsyn, olycksrisker m.m. som skall vägas in. Här blir olika lokala förhållanden avgörande.

Med tanke på den stora variationsrikedomen ges här endast några schablonsiffror över kostnader för lastbilstransporter. De lastbilar som används förutsätts vara standardekipage av den typ som idag används inom skogsindustrin, antingen rundvirkesekipage för transporter av buntar eller flisekipage. Se figurer i avsnitt 3.3.2, avseende skörd av energiskog. Grovt räknat blir då kostnaden med ett transportavstånd om 50 km ca 7-10 kr/m<sup>3</sup>f (50-70 kr/toe) vid en rationell lastning och lossning. Vid ett annat transportavstånd avgår eller tillkommer ungefär 0.7 (5) kr/10 km.

Med en mindre rationell hantering blir kostnaden högre. Om buntarna t.ex. görs på enklaste sätt i form av knippen eller kärvar, torde det vara svårt att få sådan fyllnad i lasset att lastbilens kapacitet utnyttjas väl (vilket är ett av skälen att Skogsarbetens kostnadsuppskattning enl. 3.5 är hög). För flis däremot gäller att bilarnas kapacitet utnyttjas med normal utrustning, men att kostnaderna givetvis blir högre vid långa lastnings- och lossningstider.

### 3.5 Ekonomi

Eftersom energiskogsodling i praktisk drift ej provats och osäkerheten fortfarande är stor kring frågor om t.ex. vilken avkastning som kan förväntas, är det i dag svårt att ge noggranna kostnadsuppskattningar. Några uppskattningar har dock gjorts under varierande förutsättningar och med olika mekaniseringsgrad.

Rapporten "Energiskog" från Biobränslegruppen, KTH, ger dels egna uppskattningar från sammanställningar och systemstudier och redovisar även några andra siffror.

För skörd och transporter ges följande avrundade kostnader (toe = ton oljeekvivalent,  $m^3_f$  = kubikmeter fast massa):

	kr/ $m^3_f$	kr/toe
Biobränslegruppen, egen uppskattning	15-35	120-250
Mitre (amerikansk studie)	6-10	50-75
Skogsarbeten	35-70	250-550

I Mitrestudien förutsätts en mycket storskalig odling med ett högre maskinutnyttjande än som är realistiskt för svenska förhållanden (och till en ca 5 år gammal kostnadsnivå).

Biobränslegruppen förutsätter likaså en relativt storskalig drift och en avkastning som baseras på uppgifter från de tidiga odlingsförsöken i Sverige. Kostnadsberäkningen för skörd av energiskog har gjorts med utgångspunkt från maskinsystem som liknar dem som beskrivs i avsnitt 3.3.2.

Kalkylen är gjord med en realränta om 4% som i Energikommissionens beräkningar. Skogsarbeten har förutsatt en relativt låg mekanisering och i stort sett befintlig teknik för skörd och transporter, varför deras siffror framstår som pessimistiska för en framtida odling med utvecklad teknik och om avkastningen motsvarar vad som i dag bedöms möjligt.

I SIKOB-utredningen beträffande skörd och hantering gjordes likaså en uppskattning av kostnader för skörd och transporter i ett utvecklat rationellt framtida system. Där uppskattades kostnaden till 15-30 kr/m<sup>3</sup>f eller ca 120 - 250 kr/toe beroende på valet av system och förutsättningar.

Kostnaderna för odlingsmomentet, inkluderande kostnad för marken, nyanläggning, plantering, gödning, skötsel m.m., har i rapporten "energiskog" uppskattats till ca 25-50 kr/m<sup>3</sup>f eller ca 200 - 400 kr/toe både vid intensiv odling med gödning och bevattning och extensiv odling.

"Energiskog" ger alltså en total uppskattad kostnad fram till användare om ca 40 - 85 kr/m<sup>3</sup>f (300-650 kr/toe).

En uppskattning inom projekt Energiskogsodling gjord hösten 1979 ger totala kostnader om ca 75 - 150 kr/m<sup>3</sup>f (550-1100 kr/toe) fram till användare, där den låga siffran motsvarar en avkastning om 20 ton TS (torrsubstans)/ha, år och den höga 10 ton TS/ha, år.

Siffrorna är svåra att direkt jämföra eftersom många olika antaganden gjorts i de olika beräkningarna och en olika utvecklad teknik förutsatts. Om de avkastningar man erhåller motsvarar de förväntade om 15-20 ton TS/ha, år i en intensiv odling, och om en hög mekanisering förutsätts, pekar uppskattningarna på ett pris vid användare som är väl konkurrenskraftigt med de priser som i dag är aktuella för skogsenergiflis.

## 3.6

Miljöeffekter

Miljökonsekvenserna av ett aktivt energiskogsbruk och användning av bränsle från detta har diskuterats mycket. En kartläggning av olika faktorer pågår under ledning av Statens naturvårdsverk med stöd av NE, men resultaten från dessa studier väntas inte föreligga förrän om några år. Miljöeffekter som är aktuella är främst

- förändring av vattenmiljön till följd av växtnärings-tillförsel och utlakning
- förändring av hydrologiska förhållanden till följd av dränering
- förändringar av vegetation och djurliv
- påverkan på landskapsbilden
- förändring av luftmiljön som en följd av växtnärings-tillförsel
- angrepp av insekter, skadedjur och svamp
- emissioner från förbränningen av bränslet.

De största farhågorna för negativa effekter har kanske rört utlakning av kväve och fosfor från gödsling, samt förändringar av hydrologiska förhållanden. Beträffande gödningen gäller att givorna i storlek liknar dem som används i jordbruket men att de våtmarker som är aktuella för storskalig odling kanske ger större utlakningsrisker än normala jordbruksmarker. Mot detta anförs från odlingshåll att om gödningen anpassas till grödans näringsupptagningskapacitet så reduceras riskerna för utlakning väsentligt. Gödningen sprids då i små anpassade doser, upprepade gånger över hela växtperioden. De hydrologiska förändringar som kan ge negativa förändringar är främst att utdikning av våtmarker kan leda till ojämn vattenförling i nedanför liggande vattendrag eftersom den magasinsverkan som en odränerad våtmark har försvinner. Detta kan ge översvämningar under vår och höst. Likaså ger utdikningen en sänkning av grundvattenytan, men endast i en måttlig grad.

Kunskaperna om förändringar i vegetation och djurliv vid en storskalig odling är i dag ofullständiga. I den allmänna debatten har en rad olika följd effekter av energiskogsodling diskuterats, bl a av följande typer:



- Etablerandet av stora monokulturer ger risk för att hela bestånd slås ut efter massförökning av skadeorganismer (svamp, bakterier etc.) eller insekter.
- Förekomsten av gnagare kan väntas öka betydligt.
- Hjortar, rådjur och älg kan lockas till odlingarna och öka i antal.
- De odlade arterna kan oavsiktligt komma att spridas till omgivningen.
- Gödningsämnen kan utlakas och påverka växtligheten i vattensystem som ligger nedströms odlingen.

Vilka långsiktiga förändringar som man reellt måste räkna med går ej att avgöra i dag. Klart är emellertid att man med hänsyn till naturvårdsintressen, som bl.a. innebär att man vill bevara våtmarkerna i oförändrat skick, måste göra markvalet med stor omsorg. I de pågående odlingsförsöken studeras en rad av de tänkbara följderna av storskalig odling på omgivningen. Man kan förutse att energiskogsodling i stor skala kommer att bedrivas på ungefär liknande sätt som jordbruk och att man således även kommer att utnyttja kemiska bekämpningsmetoder mot insekter och kanske även ogräs.

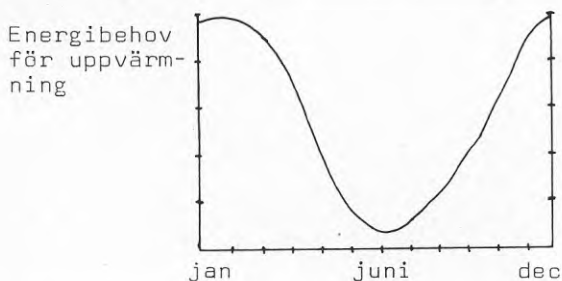
Frågor kring emissioner vid förbränning av bränslet tas upp under avsnittet förbränning gemensamt för energiskog och skogsenergi.

#### 4. LAGRING, TORKNING OCH BEREDNING AV SKOGSENERGI OCH ENERGISKOG

##### 4.1 Lagring

##### 4.1.1. Lagringsbehov och lagringsmetoder

Till följd av klimatvariationerna under året uppvisar energibehovet för uppvärmning ett årstidsberoende som har ett utseende ungefär enligt figuren nedan.



Om man vill tillgodose uppvärmningsbehovet med hjälp av biomassa, innebär detta antingen att avverkning, transporter och andra moment i hanteringen genomförs i motsvarande takt eller också att man bygger upp ett lager och utjämnar säsongsvariationerna med hjälp av lagret.

Under vilka årstider kan man då utvinna biomassan?

När det gäller energiskog bör skörden lämpligen ske under vintersäsongen, då skogen är avlövd och då marken har god bärighet. Skördesäsongen sammanfaller alltså med eldnings-säsongen.

Avverkning och transport av energiråvaror från det normala skogsbruket kan däremot förutses ske under hela året med undantag för tjällossningsperioden, då vägar och marker har dålig bärighet.

Givetvis förekommer dock betydande lokala variationer i fråga om avverkningar t.ex. till följd av ägarförhållanden. Om skogen är privatägd, kan andra ekonomiska faktorer spela in än vid kommunägd skog och därigenom påverka avverknings-tiderna.

På senare tid har man således till följd av lågt råvarupris och åtföljande låg avverkningstakt från statligt håll funnit det nödvändigt att sätta in stimulansåtgärder i form av gallringsbidrag för att reducera svackan i avverkningsstakten.

Av flera skäl finner man därför att det är nödvändigt att bygga upp någon form av lager, dels för att utjämna normala variationer i till- och avtransport av bränsleråvara, dels även för beredskapsändamål.

Lagret kan lokaliseras på olika sätt:

- inom avverkningsområdet
- vid upparbetningsstation eller terminal som betjänar flera avverkningsområden
- hos förbrukaren

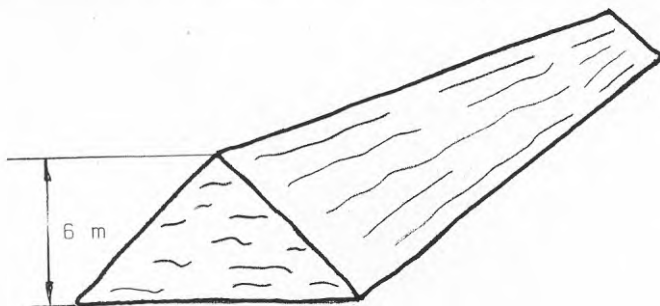
Det lagrade materialet kan ha olika beskaffenhet

- hela träd eller träddeklar
- buntar av klena träd
- obehandlade avverkningsrester såsom toppar och grenar
- fraktionerad biomassa såsom pinnar, flis, pulver etc.

Hur stort lager bör man bygga upp?

Om bränsleråvaran utvinns i jämn takt under året, kan lagringsbehovet beräknas bli ungefär 25% av det totala årsbehovet. I de flesta fall kan man dock knappast räkna med att råvarutillförseln sker utan säsongvariationer. Det finns därför skäl att räkna med större lagringsbehov, kanske 50-60% av det totala årsbehovet. Träbränsle har en 10-15 gånger lägre energitäthet än olja och detta betyder att lagervolymer kan bli betydande. I ett tätbebyggt område kan man heller inte vänta sig att det är möjligt att vid små värmecentraler bygga upp lager som täcker energibehovet för mer än någon vecka.

För att illustrera vilka utrymmesbehov som kan bli aktuella vid ett fjärrvärmeverk kan man välja exemplet Bodens Energi-  
verk, som planerar att förbruka flis upp till  $200.000 \text{ m}^3 \text{ s}$   
(stjälpt mått,  $1 \text{ m}^3 \text{ s} = 0.15-0.18 \text{ t TS}$ ) per år i en hetvatten-  
central. Om lagret skall vara så stort att det motsvarar  
25% av årsbehovet och om det utförs på det sätt som skissen  
nedan visar, blir längden på flisupplaget bortåt 1,5 km.



Eftersom lagringsvolymen således kan bli mycket betydande,  
finns det skäl att med hänsyn till ekonomin noga överväga  
var lagringen lämpligen bör ske.

Avverkningsplatsen utgör ett alternativ. Avskiljningen av  
toppar och grenar görs ute på hygget, och åtminstone under  
den varma årstiden sker här en viss upptorkning av detta  
material. Med hjälp av en gallringsprocessor, som går ut-  
efter stickvägar, kan man exempelvis lägga upp bränslerå-  
varan i högar utefter stickvägar. I princip kan råvaran  
t.o.m. flisas och läggas i strängar utefter stickvägar, men  
detta medför viss risk för att föroreningar i form av jord,  
sand och sten följer med flisen vid hopsamlandet. Med hänsyn  
till den komplikation det kan innebära att först transportera  
råvaran från en stickväg till en bilväg och därefter vidare  
till ett annat lager, utgör avverkningsplatsen i regel ingen  
idealisk lagringsplats.

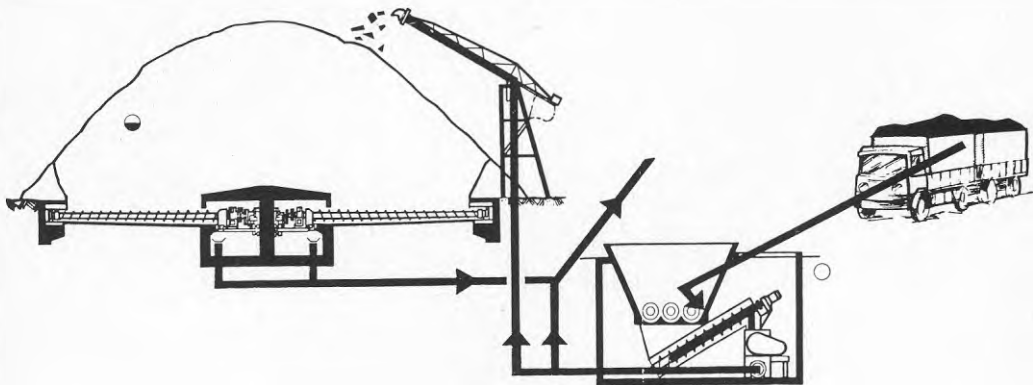
En större lagringsyta, t.ex. ett avlägg, som ligger i anslut-  
ning till en transportled, kan ofta vara att föredra. Vid  
avlägget bör hela det produktsortiment, som erhålles vid av-  
verkningen kunna lagras. Avverkningsrester som skall användas

som energiråvara kan vara skrymmande och viss komprimering är fördelaktig från hanterings- och transportsynpunkt. Torkningen försämras dock genom komprimering. Studier av komprimering av avverkningsrester pågår och det är tidigt att nu dra några slutsatser om tekniken härför. I fråga om energiskog pågår konstruktionsstudier och prov avseende komprimering av det avverkade materialet till buntar. Dessa buntar kan antingen lagras direkt vid fältet eller hellre i travar på ett avlägg.

Den skördade biomassan skall i regel omvandlas till flis och det är därför tänkbart att utföra flisningen med mobila flishuggar i samband med avverkningen eller med halvstationära flishuggar vid avlägg. Lagring av flisen kan då göras i stackar på avlägget. Till följd av biokemiska reaktioner kan betydande substansförluster ske i flisstackar, som diskuteras i avsnitt 4.1.2 om lagringsförluster.

Lagring vid någon form av upparbetnings- eller lagringsstation (terminalsystem, se avsnitt 2.3.4) kan innebära möjligheter till bättre kontroll och beredning (homogenisering) av råvaran. En sådan terminal bör innehålla utrymmen för både obehandlad och behandlad råvara. Underlaget bör vara preparerat, t.ex. asfalterat, för att undvika inblandning av föroreningar. Den färdigberedda bränsleråvaran bör förvaras i en lagerbyggnad, som kan tänkas vara utförd så att fortsatt torkning kan ske.

Ett utförandesätt för en s.k. automatstack visas i bilden nedan.



Automatstacksystem enl. C.J. Wennberg AB, Karlstad.

Inmatning av flis sker med en vagn som går i stackens längdriktning. De skruvar som visas i skissen förflyttas 2-3 dm/minut i längsled och åstadkommer en transport av flisen mot stackens mittdel. Utmatning av flisen från underdelen av stacken sker via transportband till någon form av mottagningsficka från vilken vidaretransport kan ske.

Kapaciteten hos en anläggning av ovanstående typ utgör c:a  $1200 \text{ m}^3/\text{s/h}$  för ett skruvpar. Antalet skruvpar bestäms av anläggningens längd, som kan väljas godtyckligt.

Anläggningar av den skisserade typen används idag. Kostnaderna beror i viss mån av lokala förutsättningar. Följande poster bör beaktas i en ekonomisk kalkyl.

- betongplatta
- fundamentering av utrustning
- mottagningssystem för flis
- transportskruvar
- transportband
- stålkonstruktioner
- mottagningsficka
- övrig transport- och hanteringsutrustning

Investeringskostnaderna för en lagerbyggnad av denna typ blir naturligtvis betydande. Avnämaren för flis från en sådan anläggning måste vara en storförbrukare såsom t.ex. ett kommunalt fjärrvärmeverk.

I många fall är det naturligt att sträva efter att samordna funktionerna lagring och torkning. Se avsnitt 4.2 om torkning.

#### 4.1.2. Lagringsförluster

Vid lagring av vedbränsle som ej torkats, startar kemisk och biologisk nedbrytning av materialet, vilket ger upphov till substansförluster och värmeutveckling i materialet.

Substansförlusterna orsakas av rötsvampar, som bryter ned vedfibrernas cellväggar, varvid vatten och koldioxid bildas som slutprodukter, som avges till omgivningen, vilket minskar vedens densitet. Rötsvamparnas tillväxttakt beror starkt av fukthalten i veden. I allmänhet räknar man med att svampen ej tillväxer, om fukthalten är 25% eller lägre.

I samband med nedbrytning av vedmaterialet sker värmeutveckling till följd av

- respiration hos levande splintvedceller
- inverkan av blånads-, mögel-, röt- och jästsvampar samt bakterier
- kemiska oxidationsreaktioner

Hur stora är då substansförlusterna?

Försöksresultat finns rapporterade när det gäller massaved och flis, medan när det gäller hela träd, hyggesrester och buntar av energiskog försök pågår bl.a. vid Sveriges Lantbruksuniversitet.

I en rapport av B. Henningsson, SLU, "Lövmassaveden och lagringsskadorna" anges att vid lagring av obarkad björk-massaved substansförlusten blir c:a 5% under det första året och c:a 15% under det andra året.

Undersökningar av förluster vid lagring av flis har genomförts på flera håll. Vid ett norskt försök (O. Gislerud: Heltreutnyttelse, Lagring av heltreflis) visade det sig att substansförlusten i centrum av flisstacken var 15% efter 3 månader och 21% efter 6 månader. Nedbrytningen av stackens ytterskikt gick dock väsentligt långsammare.

Inom PHU-projektet (PHU-rapport nr 29) gjordes ett försök med lagring av helträdsflis utomhus. Försöket, som inleddes i månadsskiftet oktober/november, visade att temperaturen i flisstakens centrum snabbt steg till 65-70°C för att vid rivningen av stacken 4 månader senare fortfarande hålla 60°C, trots att lagringen skedde vintertid. Vedsubstansförlusterna inuti stacken låg i medeltal kring 5 % på denna tid.

Vid lagring av helträdsflis sommartid går nedbrytningen sannolikt betydligt snabbare och temperaturen i flisstacken kan då bli så hög att självantändning inträffar. Självantändning anses kunna ske när temperaturen går upp emot 75°C. Temperaturstegring till denna nivå kan ske till följd av att den finare fraktionen biomassa, d.v.s. bark, barr, spån etc. förhindrar effektiv luftcirkulation. När man lagrar flis från hyggesavfall torde risken för stora lagringsförluster och självantändning öka, eftersom andelen fin fraktion är större än vid helträdsflis.

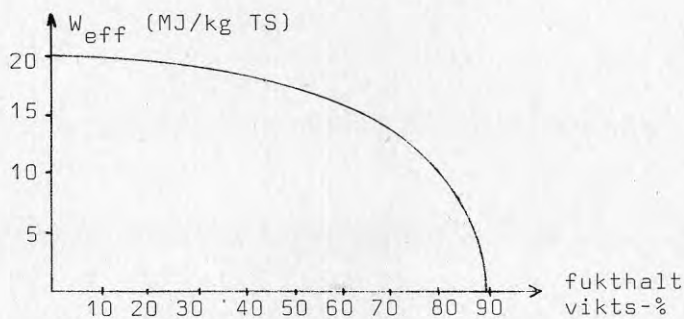
Angreppen av röt- och mögelsvampar kan dessutom orsaka miljöproblem. Svamporerna kan utlösa allergisjukdomar hos den personal, som hanterar flisen. Liknande problem finns inom sågverksindustrin.



Som framgår av detta avsnitt om lagringsförluster, kan dessa vara så stora att de ekonomiska konsekvenserna blir mycket betydande. I princip kan man gå två vägar för att undvika lagringsförluster. Man kan utnyttja flisen direkt efter flisframställningen så att rötning ej hinner komma igång. Alternativt kan man torka flisen innan man bygger upp flislager, varvid rötangreppen kraftigt reduceras.

#### 4.2 Torkning

Genom torkning av biomassa minskar man risken för lagringsförluster till följd av rötning. Bränslevärdet ökar dessutom till följd av lägre fukthalt på det sätt som figuren nedan illustrerar.



Om man eldar med träbränsle av hög fukthalt, åtgår mer energi för förångning av vatten och rökgaserna får lägre temperatur. Detta kan leda till att de värmeöverförande ytorna måste göras större än för ett torrare bränsle, vilket ökar anläggningskostnaderna.

Torkning av biomassa kan ske på naturligt sätt eller genom någon energikrävande torkningsprocess.

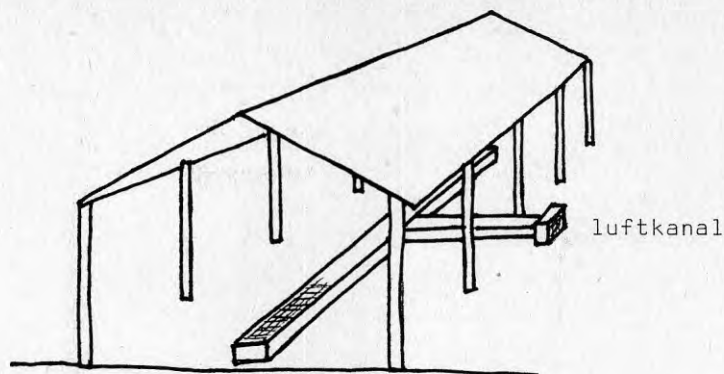
Naturlig torkning sker när hyggesrester ligger kvar på avverkningsplatsen eller läggs upp i högar på avlägg under den varma årstiden. Torkförsök med ris upplagt i högar samt sönderdelad stubb- och rotved i högar eller vältor har visat gynnsamma resultat.

Vid öppen lagring av flis i stackar sker en naturlig torkning sommartid. I de inre delarna av stacken sker en viss torkning genom att en del vatten bortgår i form av ånga till följd av värmeutveckling. Flisstackens ytskikt kan dock i ogynnsamma fall få en ökad fukthalt beroende på nederbördens omfattning och på återkondensering av den vattenånga, som kommer från de inre delarna av stacken.

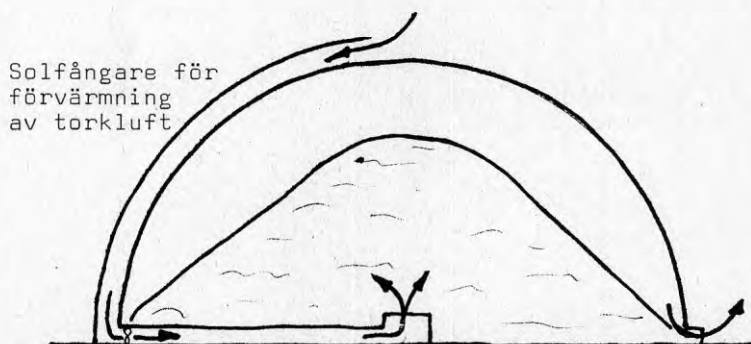
Vid lagring vintertid är den spontana torkningen mycket obetydlig.

Torkningen av en flisstack kan förbättras på olika sätt t.ex. genom att bygga upp den med luftkanaler in till stackens centrum och genom forcerad tillförsel av luft. Den tillförda luften kan vara förvärmad eller kall eller också kan rökgaser från en förbränningsanläggning utnyttjas för torkningen. Vidare bör stacken övertäckas så att skydd mot nederbörd erhålls.

En kombinerad anläggning för lagring och torkning av flis kan vara utförd på olika sätt. Nedanstående figurer illustrerar två utförandetyper. Den första är den enklaste och består av en öppen lagerbyggnad med tak som skyddar flisen mot nederbörd. Lufttillförsel via fläkt sker genom kanaler i golvnivå i båda fallen. Den andra skissen visar en anläggning försedd med solfångare som är avsedd att värma tilluften. (L. Magnusson: Skörd och hantering av biomassa från energiskog). Torkladan utgörs här av ett plasttält på en asfalterad plan. Solfångarsystemet utgörs av en transparent folie, som torkluften får passera under. Ett tält med innervolymen



Enkel torklada



Torklada i form av plasttält

2300 m<sup>3</sup> kostar c:a 120.000 kr exklusive markförberedelser (år 1979). Någon anläggning med solfångare finns dock ej realiserad ännu och ovanstående figurer skall alltså endast betraktas som principförslag.

Betydligt gynnsammare torkningsmöjligheter erbjuds genom utnyttjande av rökgaser från förbränningsanläggningar. Detta fordrar dock att flisen transporteras till förbränningsanläggningen utan mellanlagring. Beskrivning av torkanläggningar av denna typ ges under avsnittet förbränning.

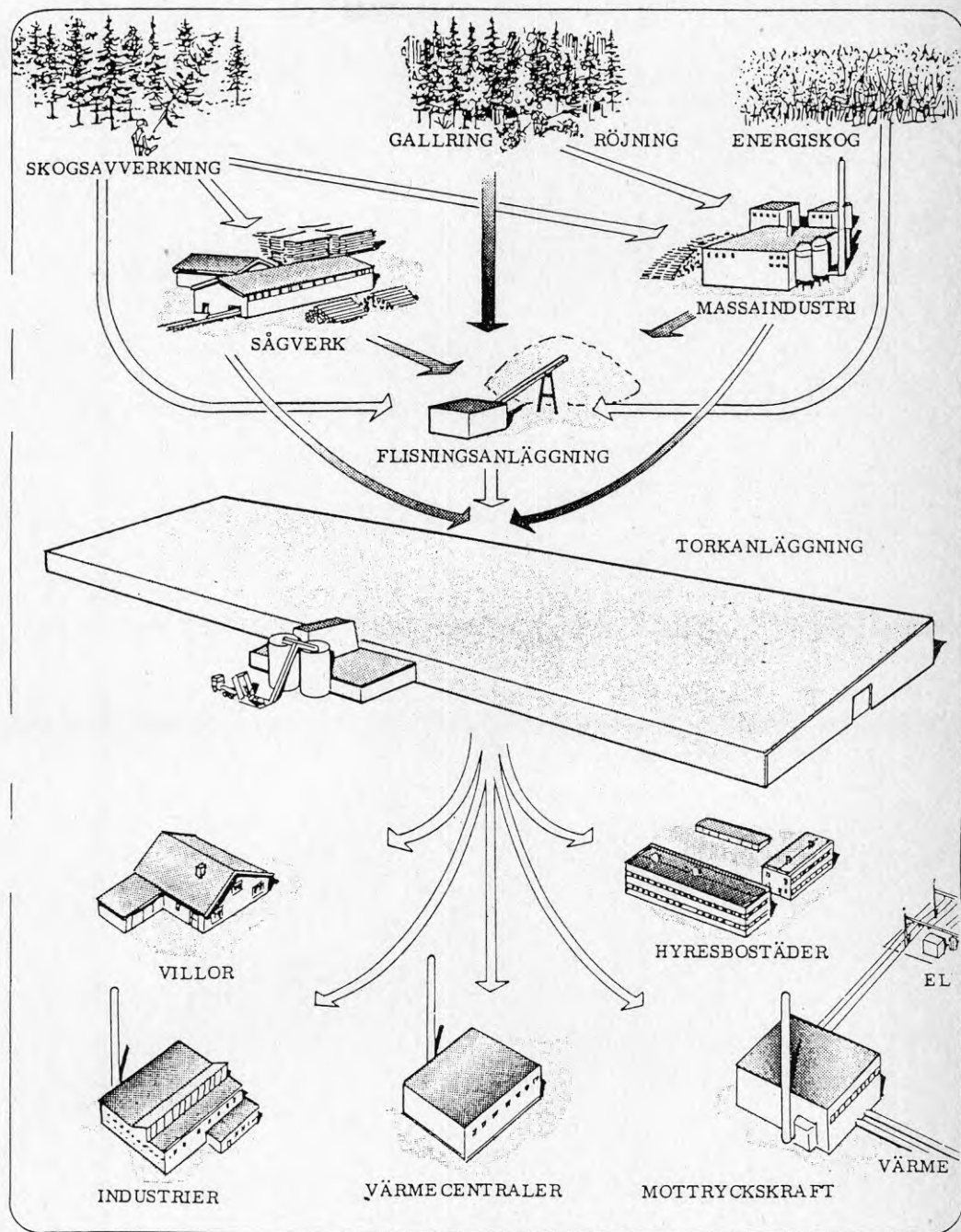
En nyligen redovisad studie av möjligheterna att torka och lagra fasta bränslen i en stor anläggning försedd med solfångare kan vara av intresse i detta sammanhang. (Roger Moström: Utredning av torkningsanläggning för fasta bränslen).

Råvarutillförseln och avnämarna till anläggningen har skisserats i ett särskilt figurblad. I kravspecifikationen för anläggningen anges att flisat skogsavfall från bl.a. gallring och röjning skall kunna torkas under sommarperioden från c:a 50% till c:a 62% torrhalt och därefter lagras inomhus. Anläggningsstorleken har valts så att c:a 60% av årskvantiteten  $140.000 \text{ lm}^3$  ryms vid 6 m lagringshöjd.

I de ekonomiska kalkyler, som gjorts, har man varierat anläggningsstorlek och oljepris och beräknat ett resultat från torknings- och lagringsmomenten, som visas i det tabellblad, som här tagits med för att illustrera vilka kostnader och besparingsposter, som medtagits i kalkylen.

Den citerade rapporten kan vara vägledande för kommunen när det gäller att belysa de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för att uppföra en stor lagrings- och torkningsanläggning.

# UTREDNING AV TORKNINGS ANLÄGGNING FÖR FASTA BRÄNSLEN. NE:s UPPDRAG NR 3065 661 TORKKLADA



Torkanläggning 15000 m<sup>2</sup> byggnadsyta, 16400 m<sup>2</sup> solfångarytaInv kostnader kkr

Byggnad och markarbeten	12 500
Transportanordningar	4 300
Belysning	150
Åskledare	30
Transformator + lågspänningsställverk	75
Fläktar	350
Projektering	550
Diverse	845
	<hr/>
	18 800

Årskostnader kkr

Kapital 11,8 % annuitet (10 %, 20 år)	2 220
Elkostnader 10 öre/kWh	100
Drift och skötsel	200
Underhåll	250
Administration	100
	<hr/>
	2 870

Besparing kkr

	Oljepris kr/m <sup>3</sup>	500	750	1 000
Bränslets värdeökning genom torkning		410	615	820
Bränslets värdeökning genom lagring		870	1 305	1 740
Minskade transportkostnader 8 kr/lm <sup>3</sup>		450	450	450
Minskad eldningsanläggning		150	150	150
		<hr/>	<hr/>	<hr/>
		1 880	2 520	3 160

Resultat

		- 990	- 350	+ 290
Bidrag 35 % - 780		- 210	+ 430	+ 1 070
50 % - 1 110		+ 120	+ 760	+ 1 400

## KOSTNADSKALKYL FÖR TORKANLÄGGNING

(Roger Moström: Utredning av torkningsanläggning för fasta bränslen. NE-uppdrag nr 3065 661 Torklada.)

## 5. TORV

5.1 Inledning

Torv är en viktig energiråvara som kan utnyttjas bl.a. för produktion av el- och värmeenergi till rimliga kostnader och med teknik som i stort sett är väl känd.

De totala energitillgångar som torven representerar i olika länder framgår av tabellen nedan som är hämtad ur "Torv i Sverige, Planeringsrapport NE 1977:1".

Land	Torvmängd i miljarder ton oljeekvivalenter
Sovjetunionen	45
Kanada	7
Finland	5
USA	4
Sverige	3
Polen	2
Västtyskland	2
Irland	1,5
Storbritannien	1,2
Norge	0,6
Övriga länder	1,0
Summa	72,3

Världens torvtillgångar omräknade till miljarder ton oljeekvivalenter.

Torvmängden i Sverige är betydande och har uppskattats till 15 miljarder ton 50%-ig torv vilket således motsvarar 3 miljarder ton olja i värmevärde. Torven förekommer i myrar av olika typer, som tillväxer mycket långsamt eller omkring 0,1 - 0,5 mm per år. Detta gör att torv i praktiken ej kan betraktas som en förnybar energikälla.

Torven kan tillvaratas som stycketorv (maskintorv) eller i finfördelad form såsom frästorv. Den senare metoden dominerar i de länder (Irland, Sovjet och Finland) som f.n. utvinna torv i nämnvärd omfattning.

Torv har tidigare utnyttjats i Sverige både som industribränsle och som hushållsbränsle. Produktionen utgjorde år 1945 1,25 milj.

ton i 880 större eller mindre torvverk (Torvenergi, IVA-rapport nr 155). Enligt "Torv i Sverige" produceras nu ca 300.000 ton frästortv per år vilket uteslutande används som jordförbättringsmedel.

Anläggningar för förbränning av torv bör såvitt möjligt uppföras relativt nära torvmossor, då torven har hög vikt i förhållande till värmevärdet (5 miljoner ton torv motsvarar 1 miljon ton oljeekvivalent) och följaktligen är dyr att transportera.

Olika uppskattningar har gjorts av vilka bidrag till energiförsörjningen som kan uppnås genom torvutnyttjande under den närmaste 20-årsperioden. Det årliga energitillskottet i Sverige torde enligt sådana uppskattningar motsvara 1-3,5 miljoner toe beroende på vilken ambitionsgrad man har i fråga om utnyttjandet. Det finns således goda skäl att regionalt och kommunalt undersöka förutsättningarna för att utvinna torv och bygga upp anläggningar för energiproduktion ur torven.

## 5.2 Torv som primärenergikälla

Torv uppkommer genom att döda växtdelar ansamlas i en syrefattig miljö i regel i samband med luftöverskott. Förvandlingen från växtdelar till torv är en humifierings- eller förmultningsprocess som orsakas av lämpliga bakterie- eller svampkulturer. En sådan process skiljer sig från omvandling till kol som är en geologisk process som bl.a. är tryck- och temperaturberoende. I tabellen nedan anges typiska analysvärden för olika omvandlingsformer av växtmaterial (Torv i Sverige, NE 1977:1).

Material	Viktprocent av organisk torrsubstans			
	Kol	Väte	Syre	Kväve
Trä	50	6	43	1
Torv	58	5,4	34,6	2
Brunkol	70	5	24	>1
Stenkol	82	5	12	>1
Antracit	94	3	3	-



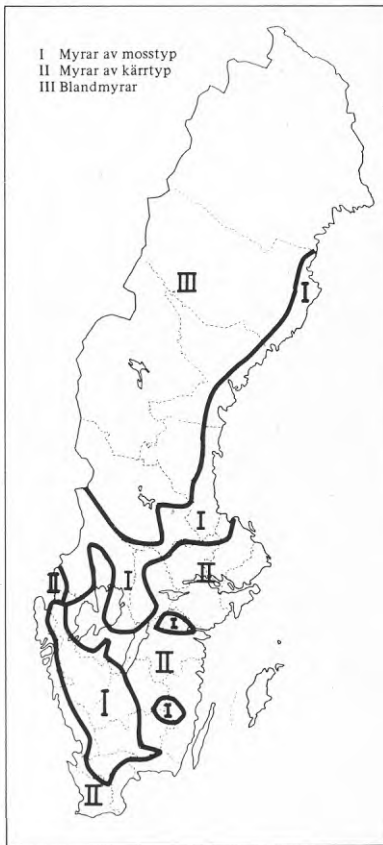
Torv är i sig inget enhetligt begrepp. Eftersom graden av nedbrytning eller humifiering av växtmaterialet kan vara mycket olika i olika förekomster av torv har man infört klassifikationssätt, skalor, för torven beroende på dess egenskaper. Man talar om torvegenskaper alltifrån helt ohumifierad, dyfri torv till fullständigt humifierad, dyartad torv där ingen växtstruktur framträder.

När man vill bedöma torvens värde som energiråvara är det framför allt vatteninnehållet i torven som är av intresse. Vattnet i torven kan dels förekomma fritt, dvs så att det rinner av vid torkning, dels vara bundet på ett eller annat sätt. I en torvmosse kan man genom dränering minska vattenhalten från 90% till 80% av torvens totalvikt. Det bundna vattnet kan delvis pressas ut men en återstod av vatten som är hårt bundet till torven kan inte avlägsnas med mekaniska medel. Ju högre vattenhalten är desto lägre energivärde har torven. Dessutom varierar askhalten för olika torvtyper. Vid högre askhalter är värmeinnehållet i torven lägre.

I tabellen nedan illustreras vattenhaltens och askhaltens betydelse för värmeinnehållet.

Askvikt i % av totalvikten	Värmeinnehåll i MJ/kg totalvikt vid vattenh.						
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
0	21,8	19,4	17,0	14,6	12,1	9,8	7,3
4	20,7	18,4	16,1	13,8	11,5	9,2	6,9
8	20,0	17,8	15,5	13,3	11,1	8,8	6,6
12	19,3	17,1	14,9	12,8	10,6	8,5	6,3

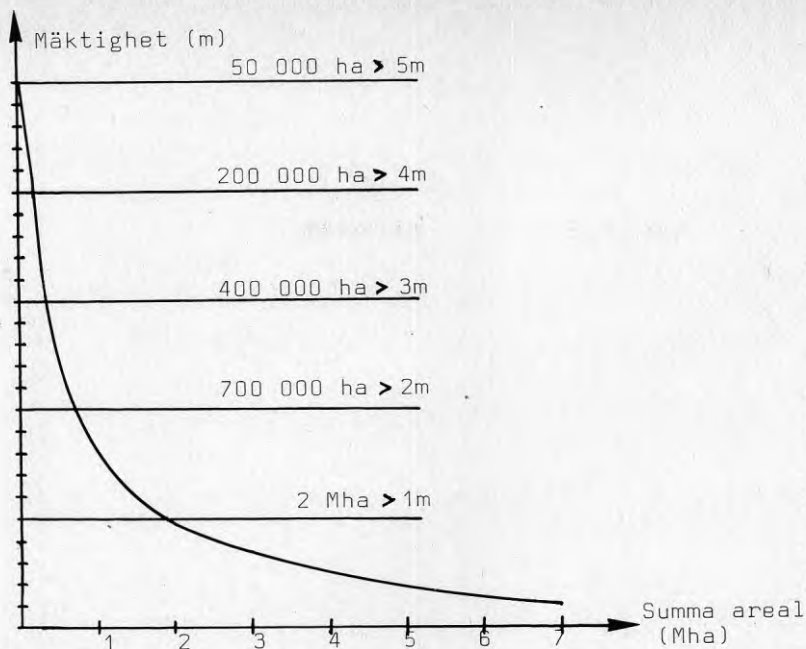
Exempel på värmevärde för kärrtorv (efter Kymmene OY)

5.2.1 Torvtilgångar\_i\_landet

Utbredning av olika torvmarkstyper

En skisserad ungefärlig fördelning av torvmarksarealen med hänsyn till mäktigheten framgår av figuren nedan som hämtats ur "Torvenergi, Rapport 155, IVA."

I "Torv i Sverige" har en grov uppdelning av hela landet gjorts med hänsyn till vilka typer av myrar som förekommer i olika regioner. Se vidstående figur. Enligt riksskogstaxeringen är Sveriges sammanlagda areal av myrmark 54000 km<sup>2</sup> eller 5.4 miljoner hektar, 70% av arealen ligger i norra Sverige, 15% i mellersta Sverige och 15% i södra Sverige. Endast myrmark med större torvmäktighet än 0,3 m har medräknats.



Fördelning av torvmarksarealen på olika mäktighet

Om man utnyttjar huvuddelen av den areal som har större torvmäktighet än 3 m tar man i anspråk endast något mer än 10% av den totala torvmarksarealen men får ut en energiråvarumängd som motsvarar ca 500 miljoner toe. Med hänsyn till att Sveriges totala oljeimport utgör drygt 30 miljoner ton/år inser man att torven i Sverige utgör en mycket betydande energiråvarureserv.

### 5.2.2 Torvtillgångar\_i\_kommunen

En relativt utförlig redovisning av hittills genomförda inventeringar av torvtillgångar i Sverige lämnas i "Torv i Sverige". Det framgår att regionala inventeringar företrädesvis gjorts i södra Sverige medan behovet av bättre kartläggningar i norra Sverige är betydande.

Om man avser att utvinna torv för energiändamål och vill utnyttja den i dag tillgängliga fräsningssmetoden så har det hittills ansetts att den sammanhängande torvmarknadsarealen minst bör vara av storleksordningen hundratal hektar. Detta krav kan dock komma att förändras med hänsyn till prisutvecklingen på andra energiråvaror och teknikutvecklingen när det gäller utvinning av torv.

I "Torv i Sverige" anges olika detaljeringsgrader A, B och C vid inventeringen av torvtillgångarna. Detaljeringsgrad A innebär en översiktlig inventering oavsett om torven kan brytas eller ej. B innebär urval av de torvmarker som har viss teknisk minimikvalitet och C innebär att man definierar de torvmarker som med dagens teknik och transportmöjligheter kan anses brytvärda. Från kommunens synpunkt är detaljeringsgrad B och C intressanta.

Syftet med detaljeringsgrad B är att kunna välja ut torvmarker som uppfyller vissa minimikrav på areal, torvmäktighet och torvqualität. Följande egenskaper bör ytligt inventeras:

- Geografiskt läge
- Storlek
- Morfologi (form)
- Lagerföljder (torvtyper) och djup
- Beskogningsgrad
- Dränerbarhet
- Humifieringsgrad (förmultningsgrad)
- Askhalt (efter förbränning)
- Eventuella dikade och förberedda ytor

En stor del av inventeringsarbetet torde kunna ske med hjälp av kartor och flygbilder, andra delar kräver fältarbete.

Vid detaljeringsgrad C har läge för torvhanteringen redan valts. Anläggningar skall projekteras och detaljundersökningar av de utvalda torvmarkerna behöver göras. Man vill bl.a. få fram uppgifter om

- Bottenbeskaffenhet
- Stubb förekomst
- Förekomst av stenöar m.m.
- Ägoförhållanden

Inventeringen bör även omfatta bl.a.

- Avstånd till tätort och dess storlek
- Vägnätets utbredning och beskaffenhet
- Järnvägsnät
- Topografi
- Sjöar
- Klimat (humiditet, nederbörd, antal soltimmar)

Inventeringsarbetet kan genomföras med metoder som normalt används inom lantmäteri och geoteknik. I "Torv i Sverige" beskrivs inventeringsmetoder som f.n. tillämpas i Sverige.

### 5.3 Utvinning

#### 5.3.1 Planeringsinsatser

För torvtäkt krävs länsstyrelsens tillstånd enligt § 18 i naturvårdslagen. Undersökning och bearbetning av torvfyndighet för energiändamål kräver dessutom koncession enligt lagen om vissa mineralfyndigheter (Statens industriverk). Om vattenförhållandena märkbart kommer att förändras till följd av torvtäkten skall Vattendomstolen pröva ärendet.

Som underlag för dessa prövningar krävs en täktplan som består av tre huvuddelar:

1. Grundkarta över nuläget
2. Exploateringsplan
3. Återställningsplan

I täktplanen redovisas bl.a. följande:

- planerade brytningsmetoder
- beräknad trafikintensitet till och från täktområdet
- damm- och bullerbekämpande åtgärder
- områdets framtida användning
- erforderliga efterbehandlingsåtgärder
- markanvändning på angränsande marker
- hydrogeologiska förhållanden före och efter täkt

Se vidare "Torv i Sverige".

Det är naturligtvis väsentligt att i täktplanen klargöra vad området för torvtäkten skall användas till efter det att brytningen avslutats. Djupa torvmossar kan omvandlas till sjöar. Vissa torvmossar kan utnyttjas som produktiv skogsmark t.ex. för energiskogsodling. Flera andra användningsområden är tänkbara.

### 5.3.2 Förberedelser för torvutvinning

Till följd av att en torvmosse måste dräneras innan utvinning kan påbörjas kan det dröja upp till 4-5 år innan torvbrytningen kommer igång. Förberedelsearbetena omfattar dessutom röjning och avverkning, avjämning av överytan, vägbyggen m.m. Anläggningar av typen lagringsplatser, transportanordningar och omlastningsstationer måste även byggas.

Dräneringsarbetet är betydande. Det område som skall dräneras indelas i 20 m breda produktionsfält skilda av diken. Dikeslängden för varje ha av torvmossen blir på detta sätt över 500 m.

Dikena görs enklast med hjälp av en roterande skiva som fräser diken ned till ett djup av 1,5 m. Man sänker härigenom mossens grundvattenyta och bärigheten ökar.

Röjningen av marken på en mosse innebär att träd och stubbar avlägsnas. Svenska Torv AB har utvecklat en särskild djupfräsningsmaskin för stubbar som fräser och sönderdelar stubbar och annat ytmateriale ned till 0,5 m under ytan. Det nedmalda materialet blandas på detta sätt med torven. Mossens yta jämnas slutligen av och torvtäkten kan sedan påbörjas.

### 5.3.3 Maskintorv

Man framställer maskintorv genom att gräva upp torv med grävmaskin ända till cirka 3,5 m djup, varefter torven mals och pressas ut genom munstycket. Efter kapning till lämpliga längder får torven torka på fält under några veckor. Torvstyckena vänds på fältet för att påskynda torkningen och stackas sedan. Vattenhalten efter torkning är 30-40%.

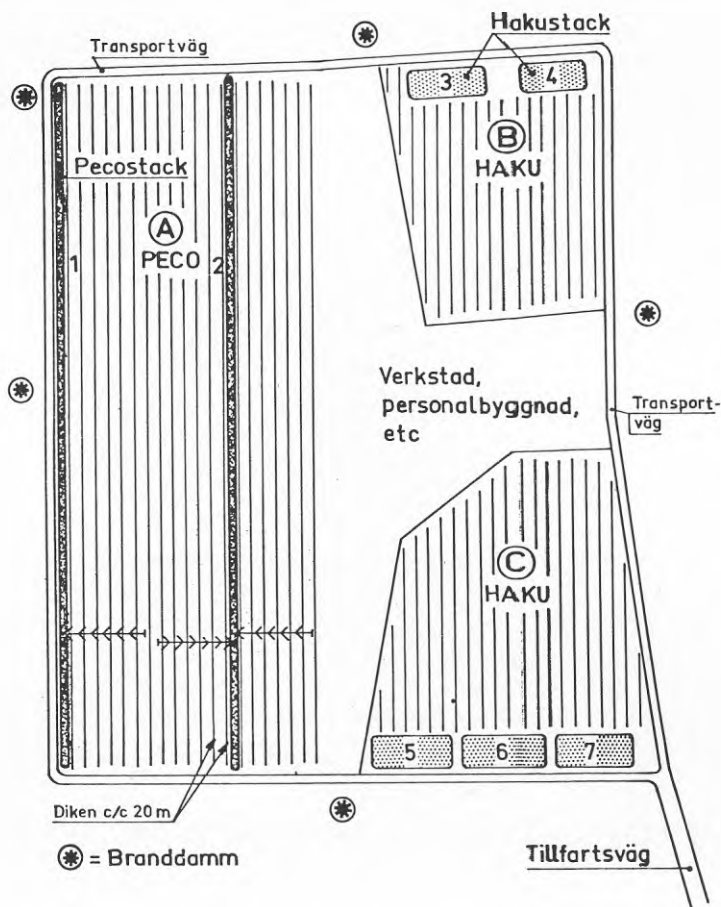
### 5.3.4 Frästorv

Fräsning av torv innebär att man kör med en traktordragen roterande pinnfräs över en mosse, varvid ett 1-2 cm tjockt skikt rivs upp. Det torvpulver som bildas får soltorka 1-3 dygn, varvid fukthalten sjunker till 45-55%. Torvpulvret vänds med en vändningsmaskin och läggs upp i strängar för att senare avtransporteras. Två olika hanteringsmetoder förekommer som kallas Peco- resp. Hakumetoden. Bilden nedan är hämtad från Vattenfalls torvutredning 1979.

På område A sker transport av torven med hjälp av bandtransportörer tvärs över fälten till stackfält där torven lagras i "Peco-stackar". I figuren indikeras vid siffran 2 hur torv från 6 produktionsfält på var sin sida samlats i en sådan Peco-stack.

Avtransport av torven kan ske antingen genom att den lastas upp på bil, vilket är möjligt vid Peco-stack 1 eller också genom att först med traktor transportera den ut till stack vid bilväg såsom vid Peco-stack 2.

## PRINCIPSKISS ÖVER PRODUKTIONSOMRÅDE FÖR FRÄSTORV



Haku-metoden innebär att man lastar upp torven direkt i vagnar som körs ut till ändarna på torvfälten. Områdena B och C i figuren är mindre långsträckta än område A, varför transportavståndet till fältens ändar inte blir så stort.

Valet av metod för hopsamling och avtransport av frästörven sker med hänsyn till lokala förhållanden såsom terräng, områdets storlek, tillgång på maskin- och transportutrustning, avståndet till förbrukaren m.m.



De maskintyper som används vid brytning av frästorv är traktordragna fräsmaskiner, vändningsmaskiner och skrapor samt vidare bandtransportörer och remlastare. Som drivfordon används jordbrukstraktorer eller bandtraktorer.

Teknik för att producera både maskintorv och frästorv finns tillgänglig redan i dag. Till följd av det aktuella intresset för att öka torvbrytningen i vårt land finns det dock behov av att ytterligare utveckla och förbättra torvbrytningstekniken.

### 5.3.5 Ekonomi

I Vattenfalls torvutredning 1979 redovisas kostnadsberäkningar för framtagning av torv till mosskant under olika förutsättningar. De beräkningar som gjorts har avsett produktionsvolymer om 50 000 resp. 250 000 ton/år. Avskrivningstiden har valts till 10 år för maskiner och 20 år för övriga investeringar.

Följande poster har inkluderats i beräkningen.

#### Investeringar

- Markförvärv, undersökningar, projektering
- Förberedelser för produktion såsom dikning och beredning av fält
- Vägar
- Byggnader (personalutrymmen, kontor)
- Maskiner (specialmaskiner för torvproduktion)

#### Driftskostnader

- Personal (sommarsäsong, tvåskift.)
- Drivmedel
- Reparationer och underhåll
- Underhållsdikning
- Kostnader för inhyrda maskiner

Totala investeringarna vid produktionen 50 000 ton/år ligger mellan 10 och 15 Mkr, och vid 250 000 ton/år mellan 40 och 60 Mkr. Driftskostnaderna beräknas i det förra fallet till mellan 1.5 och 3 Mkr/år, i det senare till mellan 8 och 14 Mkr/år.

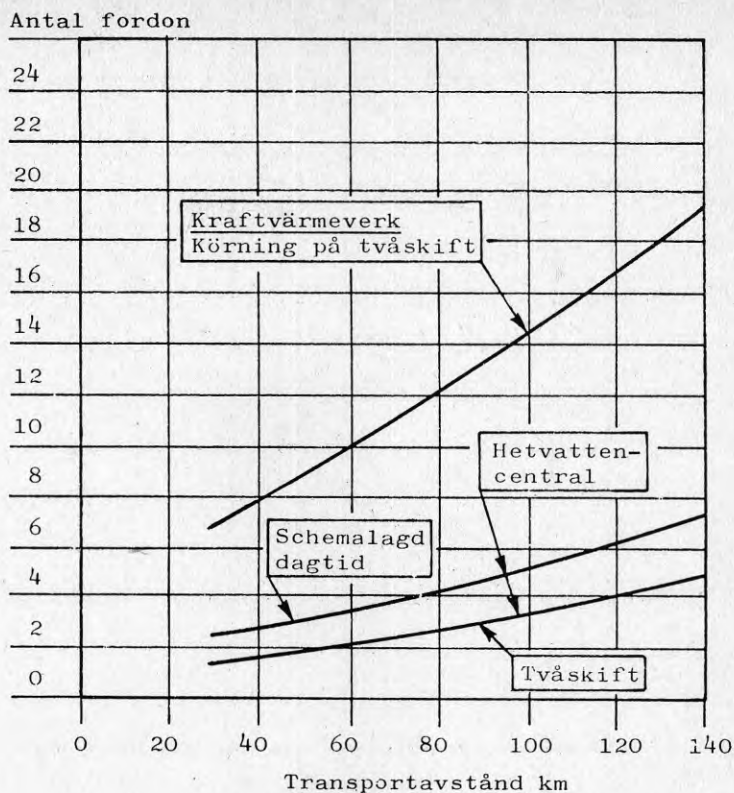
Den beräknade totalkostnaden för torv vid mosskanten varierar i de redovisade fallen mellan 60 och 100 kr/ton.

#### 5.4 Transporter

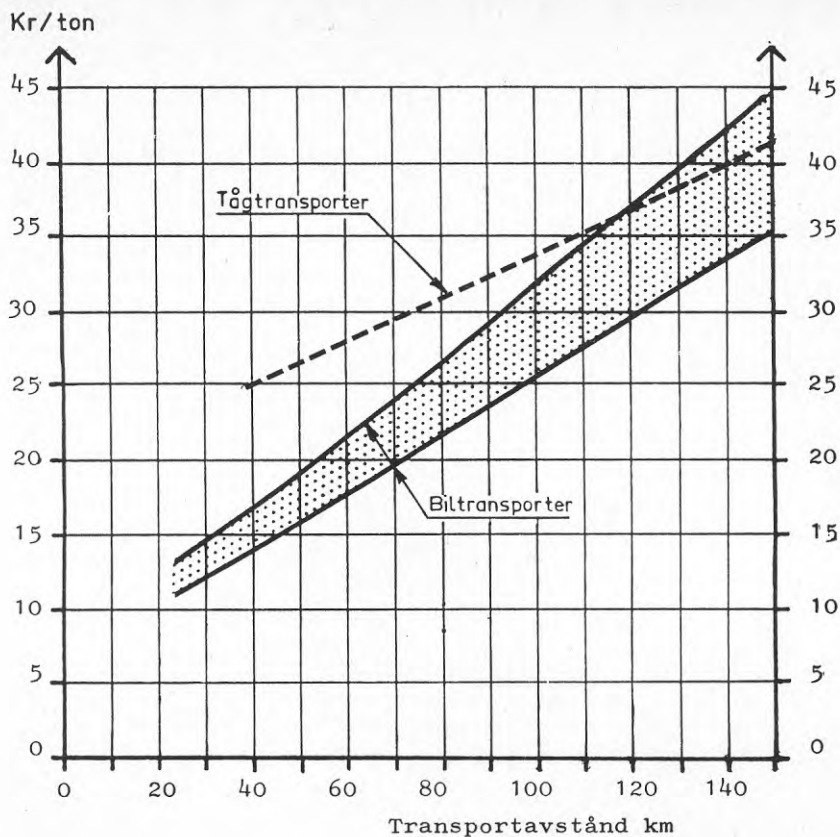
Torv är relativt och fordrar därför stor lastkapacitet hos den transportapparat som används. I de flesta fall torde man vara hänvisad till att använda sig av biltransporter (boggiebil samt släpvagn). Pålastning av torv sker med grävmaskiner eller hjullastare. Vid lossning av torven tippas hela lasset i fickor och bandtransporteras sedan till lagringslokaler.

I Vattenfalls torvutredning har en uppskattning gjorts av transportbehovet vid försörjning av en 20 MW hetvattencentral resp. ett 30/60 MW kraftvärmeverk med torv. Den maximala lasten per fordon antas vara 30 ton. I tabellen nedan visas vilken turtäthet som erfordras och i diagrammet visas fordonsbehovet vid olika transportavstånd.

	Anläggning	
	20 MW hetvattencentral	30/60 MW kraftvärmeverk
Leverans ton torv/vecka	1700	7300
Antal turer/dygn	12	50
Turtäthet minuter		
- dagtid (schemalagd >8 tim)	40-60	-
- tvåskift	60-75	20-25



När det gäller torvleveranser till stora förbränningsanläggningar såsom kraftvärmeverk måste man räkna med att många mossar behöver utnyttjas och att transportavstånden i vissa fall kan vara stora, vilket ökar kostnaderna. Planläggningen av torvtransporterna bör därför ske med hänsyn till andra transporter i området, exempelvis flistransporter, vilket kan leda till bättre utnyttjande av fordonen. I nedanstående diagram som även det är hämtat ur Vattenfalls torvutredning 1979 visas kostnaderna för lastning och transport av frästortv till hetvattencentral eller kraftvärmeverk. Kostnader för lastning ingår med 3 kr/ton. Kostnaden för tågtransporter anges med förutsättningen att spårförbindelse finns mellan torvmosse och förbrukningsort.



### 5.5 Miljöfrågor

Som framgår av avsnittet 5.3 Utvinning fordras prövning från olika myndigheters sida för att bedriva torvtäkt. En rad olika miljöhänsyn tas således innan tillstånd ges till torvtäkten. Den täktplan som därvid utarbetas måste bl a ange vad området skall användas till efter det att torvbrytningen upphör. Miljöpåverkan sker dock såväl i samband med utdikningen av en mosse som under torvbrytningen och efter det att brytningen upphört.

Vid dikning påverkas såväl grundvatten- som ytvattenförhållandena. Grundvattennivån sänks och luft får tillträde till torvens ytlager, vilket ger försurningseffekter genom oxidation av kväve- och svavelhaltiga ämnen. Sjöar och vattendrag, som ligger nedanför myrmarkerna kan i synnerhet under den första tiden efter utdikningen försuras avsevärt, vilket kan ha stor negativ inverkan på fisket. Kalkning av avrinningsvattnet kan erfordras och det kan bli nödvändigt att upprepa kalkningen ett stort antal gånger om försurningseffekterna skall begränsas.

Vattenföringen i det område som berörs av torvtäkten påverkas bl.a. så att ytavrinningen ökar i samband med nederbörd. Efter torvfräsning får detta vatten högre halt av organiska partiklar som sedimenterar i nedanför liggande vattendrag. Nedbrytningen av det organiska materialet är syrekrävande, vilket gör att dessa vattendrag dessutom kan drabbas av syrebrist.

När det gäller åtgärder efter avslutad torvtäkt kan man antingen behålla dräneringen och utnyttja området som skogsmark, eventuellt för energiskogsodling, eller också täppa till dräneringsdikena och låta området översvämmas helt eller delvis. I Sverige har man av naturliga skäl få erfarenheter av nedlagda frästortvåkter och det är således nödvändigt att under lång tid följa de olika miljöeffekter, som torvtäkten ger upphov till.

Växt- och djurriket påverkas i hög grad både under den tid då torvtäkten sker och efteråt. Detta bör givetvis beaktas när man väljer slutligt dispositionssätt för området.

Beträffande miljöfrågor i samband med förbränning av torv hänvisas till kapitel 6, Omvandling.

## 6. OMVANDLING

Avsnittet är utarbetat av AB Fjärrvärme.

### 6.1 Biomassa som bränsle

#### 6.1.1 Sammanfattning

Ersättningsbränsle för mindre anläggningar blir främst flis (i storlekar från villapannor till 20-30 MW). Tillgången på bränsle är god, speciellt om energiskogsodling sker i större omfattning. Hur fort dessa bränslen kommer att introduceras beror på oljeprisutvecklingen. Bränslepriset svarar för den absolut största andelen av totalkostnaden i både olje- och fastbränsleledat verk.

Både flis och bark-torv kommer att användas nära produktionsplatsen på grund av att de stora bränslevolymerna ger höga transportkostnader.

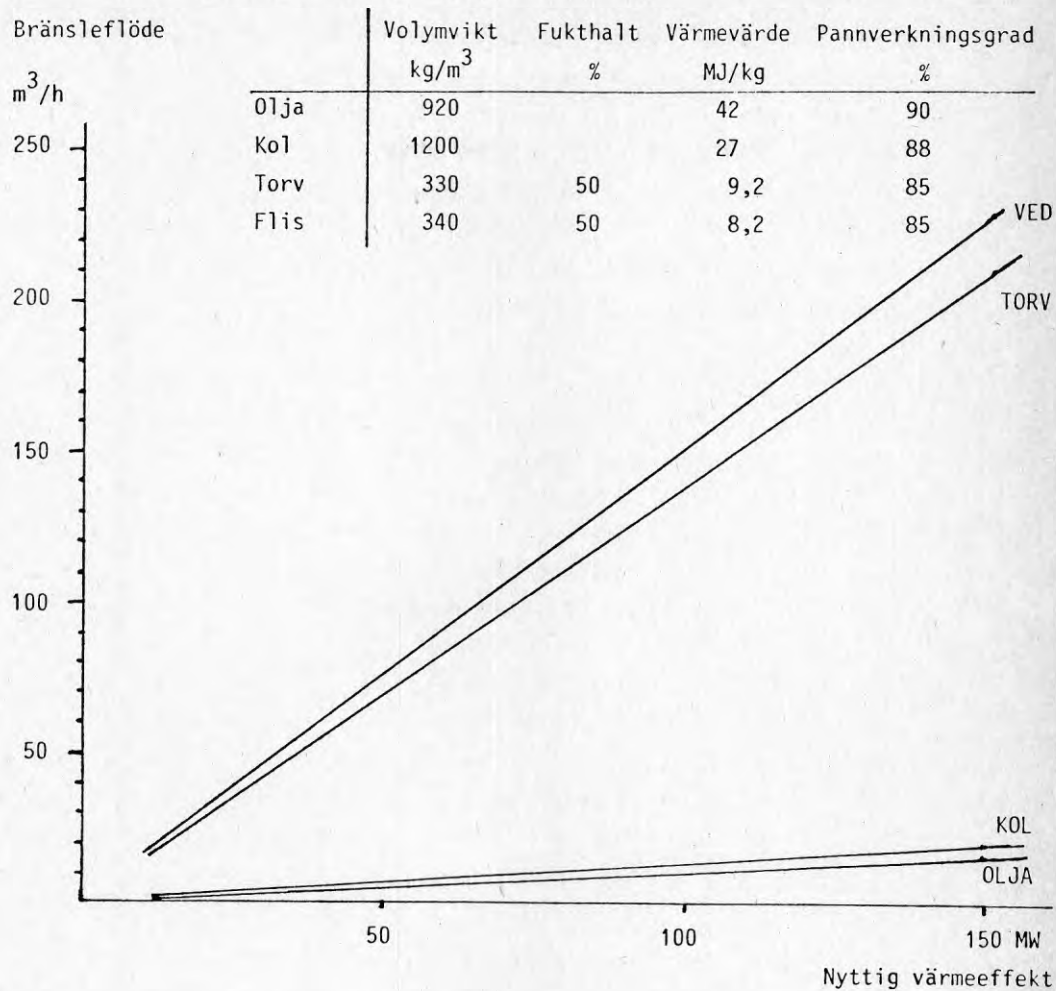
Halm och vass kan i Sverige teoretiskt ersätta ca 1 Mton olja men då främst som komplement till olja, lokalt i mindre och medelstora anläggningar. Både halm och vass produceras under en kort period under året och har stor volym vilket påverkar både transporter och lagring.

Alla fasta bränslen ger avsevärt högre volymflöden än olja, vilket ställer stora krav på bränsletransportsystem och lagringsmöjligheterna.

Figur 6.1 visar bränslebehov (volymflöde) för produktion av värme med olika bränslen i hetvattencentraler.

De fasta bränslena ger också upphov till betydligt större luft och rökgasvolymer per utvunnen energienhet jämfört med oljeeldning vilket förstorar och fördyrar anläggningen. Kan bränslet torkas minskar både bränslevolymlödet och rökgasmängden.

Några grundläggande förbränningstekniska samband som påverkar dimensionering av utrustning och komponenter vid träbränsleeldning har sammanförts i bilaga 1.



Figur 6.1 Förbrukning av olja, kol, torv och ved som funktion av nyttig värmeeffekt i en hetvattencentral.

### 6.1.2 Ved

#### Helved

Den naturliga formen för träbränslen är i form av helved eller styckeved. Stora vinster främst på hanterings och i viss mån på investeringssidan kan göras om veden inte behöver sönderdelas till flis. Med styckeved menas i detta sammanhang större bitar av stammar, gallringsvirke, grenar och toppar, rivningsvirke och buntad energiskog. Stammar förutsätts endast användas för förbränningsändamål i den utsträckning de inte kan vidareförädlas i skogsindustrin.

På grund av att veden ej flisas kan de volymer som ska transporteras bli mindre, den erforderliga lagervolymer av styckeved blir dock ungefär lika stor. Jämfört med flis är utmatning från lagret och inmatningen av helved i pannan besvärligare att göra automatisk, vilket dock är en förutsättning för att metoden ska kunna konkurrera ekonomiskt. Inmatningen till pannan bör dock kunna lösas genom någon form av slussystem eller dylikt.

Några utförda anläggningar där styckeved eldas automatiskt finns inte idag, men enligt en nyligen utförd utredning åt Nämnden för energiproduktionsforskning har Robert Schuster AB Fjärrvärme angivit en kostnadsreduktion på mellan 400-1450 kkr per år för en 20 MW anläggning som eldas med styckeved jämfört med flis.

Speciellt vid "dålig" ved, t ex stubbar eller rivningsvirke, blir också driftsäkerheten större då flishuggar är känsliga för främmande föremål som sten, spik m m.

Vedens egenskaper ur förbränningssynpunkt påverkas i princip inte av hur finfördelad den är. Flera prov det senaste året med helvedselldning har gett mycket goda resultat. Möjligen kan vissa problem uppstå vid låga laster med tjärbildning eller problem med luftfördelning m m.

#### Flis

När man idag talar om vedeldning avser man i regel eldning av flis dvs träbränslen som huggits upp till mellan 3 och 25 mm



styckestorlek. Flisning har hittills varit en förutsättning för att en anläggning ska kunna drivas automatiskt. Eldning med flis har skett under många år, speciellt inom träindustrin där träavfall eldats i flisad form.

Flisningsoperationen kräver viss insats av kapital (flishugg), energi och personal och som påpekades i föregående avsnitt finns vissa indikationer på att ett helvedssystem kan bli billigare.

Normalt sker flisningen ej i samband med förbränningsanläggningen utan av bränsleleverantören vid någon terminal. Detta är speciellt viktigt då anläggningen för fjärrvärme är belägen i närheten av bostadsbebyggelse då flisningsoperationen är relativt bullersam.

#### Kemisk sammansättning

Olika träslag har något olika sammansättning. Om medelvärden för den kemiska sammansättningen beräknas för de träslag som är vanligast i förbränningssammanhang fås enligt Kjellström och Gustafsson:

C: 49.7  $\pm$  0.8 %  
 H: 6.1  $\pm$  0.1 %  
 O + N: 43.7  $\pm$  0.8 %  
 Aska: 0.5  $\pm$  0.2 %

Ovanstående är räknat på torr substans och gäller för "normal ved".

Beroende på drivningsmetoder m m kan veden innehålla stora mängder sand och jord. Stubbar kan trots att de "rensats", innehålla upp till 40-50 % jord vilket kan medföra problem vid förbränningen.

För energiskog (unga poppel- eller salixkloner) är askhalten högre än för normal ved, mellan 1.3-2.0 %, beroende på att de klana träden innehåller förhållandevis mycket bark.

Variationen i den kemiska sammansättningen ovan saknar praktisk betydelse. Ur förbrännings synpunkt är innehållet av hartser, askans sammansättning och smältpunkt och framför allt vedens fukthalt viktigare.

Askan består främst av kisel och aluminium. Viss ved innehåller även låga halter av metaller vilket har föranlett Naturvårdsverket att ge ut förslag till skärpta normer för tillåtna stoftutsläpp vid vedeldning. Med de nu gällande normerna för stoftutsläpp behöver träbränsleeldade anläggningar endast utrustas med en låggradig stoftavskiljning, främst på grund av de låga askhalterna.

Askans sammansättning kan i vissa fall medföra att smältpunkten överskrids vid förbränningen. Detta kan i sin tur ge upphov till hopsintring av ask- och bränslepartiklar som leder till blockering av askutmatningsutrustning m m.

Som framgått av den kemiska sammansättningen ovan innehåller inte träbränsle något svavel och är ur den synpunkten ett miljövänligt bränsle. Askan är i regel också basisk (pH-värde större än 7) och stoftutsläpp och askdeponering kan då i viss utstäckning kompensera det sura nedfall i form av svavelsyra som uppstår vid förbränning av svavelhaltiga bränslen.

#### Fuktens inverkan

Bränslets fukthalt påverkar vedens egenskaper som bränsle på flera sätt, alla i princip beroende av att värmevärdet (den energi som frigörs vid förbränning) minskar med ökande fukthalt.

Den frigjorda energimängden anges idag med enheten J (joule) eller multipelenhetererna kJ (kilojoule = 1000 J) eller MJ (megajoule = 1 milj J).

1 MJ = 239 kcal (kilokalorier) = 278 Wh (Watt timmar)

1 kcal = 1.16 Wh = 4186 J

Värmevärdet hos torrt trä varierar inte speciellt mycket mellan olika träslag. Ett medelvärde beräknat på samma sätt som för den

kemiska sammansättningen ger ett effektivt värmevärde på  $18.9 \pm 0.5$  MJ/kg räknat på torrsubstans (inklusive aska). Den lilla variation som råder beror på kemiska sammansättningen där högre halter av C och H ger högre värmevärde.

Ung energiskog har åter något sämre värde, mellan 15.4 och 18.3 MJ/kg torrsubstans.

Vedens värmevärde beror förutom på bränslets kemiska sammansättning även på mängden aska och fukt i bränslet. Speciellt fukthalten påverkar värmevärdet starkt och därför är det ofta bäst att hänföra värmevärdet till just torrsubstans.

Hur fukt påverkar värmevärdet framgår av nedanstående exempel.

Vi betraktar 1 kg ved med 50 % fukthalt. Jämfört med 1 kg torrsubstans kommer värmevärdet att minska på grund av att:

- i) torrsubstansen (det brännbara) i det behandlade provet är endast 0.5 kg.
- ii) samtidigt som torrsubstansen brinner måste 0.5 kg vatten värmas upp och förångas.

Punkten i) minskar värmevärdet med 50 % och punkten ii) minskar det effektiva värmevärdet med ytterligare 13.2 % räknat på torrsubstansvikten eller i detta fall 6.6 % på totala vikten. Om rökgasens temperatur sedan kan sänkas så långt att vattenångan kondenserar kan denna sista post återvinnas.

För fuktigt bränsle kan värmevärdet ( $H_i$ ) beräknas som

$$H_i = 18.9 - 21.4 F \text{ (MJ/kg)} \quad (6.1)$$

där F är bränslets fukthalt.

I skogssammanhang är det ovanligt att ange vedmängden i kg utan man använder något volymmått t ex

$m^3$  fast bränsle ( $m^3$  f)

$m^3$  travat mått ( $m^3$  t)

$m^3$  stjälp mått ( $m^3$  s) gäller flis och bark.

Relationstalen mellan de olika måtten beror av t ex typ av huggmaskin för flis, råvaran och eventuell kompaktering. Generellt kan sägas att  $1 \text{ m}^3 \text{ f}$  motsvarar mellan  $2.5$  och  $2.8 \text{ m}^3 \text{ s}$ , se Kjellström och Gustafsson.

Om värmevärdet skall uttryckas per volymsenhet kommer torrsubstansvikten ( $\text{kg}/\text{m}^3 \text{ s}$ ) att ha betydelse. Omvandlingen från  $\text{kg}$  torrsubstans till  $\text{m}^3 \text{ s}$  fuktigt bränsle sker genom multiplikation med

$$\frac{1}{1 - F} \cdot \rho_{\text{ts}} \quad (\text{andel torrsubstans} \times \text{torrsubstansens vikt per volymsenhet})$$

Kombineras detta sedan med (6.1) får man värmevärdet för fuktigt bränsle per volymsenhet enligt

$$H_i = \frac{1}{1 - F} \cdot \rho_{\text{ts}} (18.9 - 21.4 F) (\text{MJ}/\text{m}^3 \text{ s}) \quad (6.2)$$

Torrsubstansvikten hos flis av olika beskaffenhet anges av Kjellström och Gustafsson till:

<u>Ursprungsmaterial</u>	<u>Torrsubstansvikt <math>\text{kg}/\text{m}^3 \text{ s}</math></u>
Ribbved med mycket bark	150
Sågverksflis	150
Normal ribb- och bakaved samt skogsbarrved	150-170
Blandlångved	170-190
Skogsflis (enl flera källor)	180
Torr lövved	190-220

Vid omräkning av värmevärdet mellan olika fukthalter antar man att den stjälppta volymen inte förändras vid fuktupptagning.

För bark kan värmevärden beräknas med ekvationerna (6.1) resp (6.2) med torrsubstansvikten  $115 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ s}$ . Beroende på barkens dimensioner kan dock torrsubstansvikten variera med  $\pm 20 \%$ .

Vid lagring av ved eller flis sker alltid en minskning av värmevärdet på grund av substansminskning genom rötskador och genom att flyktiga beståndsdelar avgår från bränslet. Detta har behandlats i kapitel 4 ovan.

Bränslets fukthalt påverkar också rökgasmängden som redan för torrt träbränsle är betydligt större än för oljeeldning om man räknar per utvunnen energienhet. Stora rökgasflöden medför att pannan blir större och dyrare att bygga.

Beräkning av luft och rökgasflöden vid känd bränslesammansättning beskrivs i de flesta läroböcker och uppslagsverk om förbränningslära t ex Widell (Ingenjörshandboken).

Grundläggande förbränningsteori behandlas kortfattat i samlad form i bilaga 1.

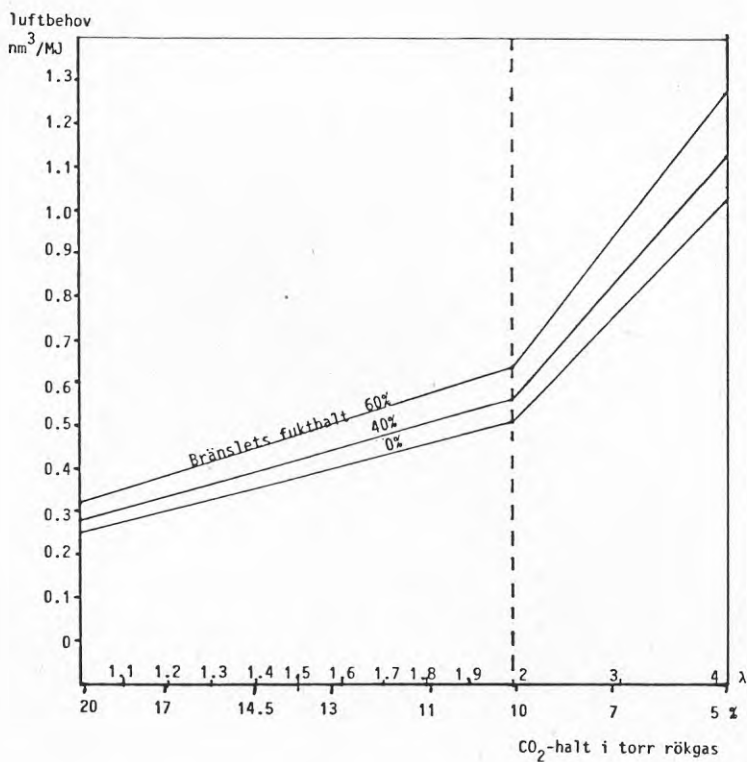
Här ska vi speciellt belysa hur bränslets fukthalt påverkar de luftmängder som erfordras för en fullgod förbränning av bränslet samt de rökgasmängder som bildas.

Det verkliga luftflödet är alltid större än vad som teoretiskt erfordras. Den extra luftmängden anges som en luftfaktor,  $\lambda$ , och definieras som  $\lambda = (\text{tillförd luftmängd}/\text{teoretiskt luftbehov})$ . Den extra luftmängden går genom pannan utan att delta i förbränningen och släpps ut genom skorstenen vid en relativt hög temperatur.

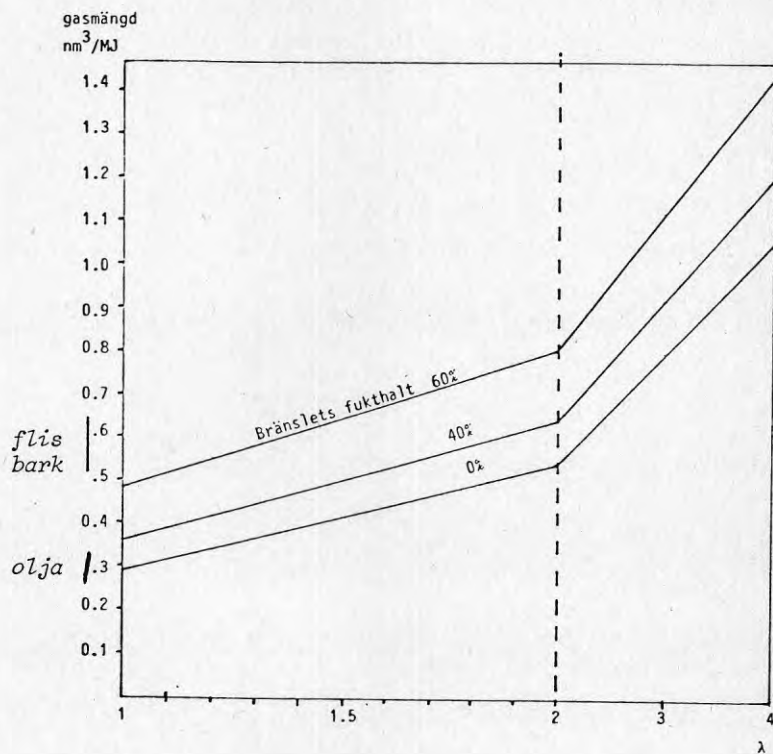
Vanliga värden på  $\lambda$  vid flis och barkeldning är 1.6 - 2.0 vilket kan jämföras med oljeeldning 1.05 - 1.10.

I figur 6.2 och 6.3 visas hur luft och rökgasflöden varierar med luftfaktor och fukthalt för träbränsle.

I figur 6.3 har vanliga värden på rökgasflödet markerats för oljeeldning respektive flis-barkeldning. Per MJ bränsleeffekt är rökgasflödet i runda tal dubbelt så stort vid fliseldning som vid oljeeldning. Eftersom pannans verkningsgrad är sämre vid vedeldning så ökas skillnaden ytterligare om jämförelsen görs per nyttiggjord energienhet.



Figur 6.2 Luftbehov per energienhet i bränslet vid förbränning av träbränslen. Inverkan av fukthalt och luftfaktor. På x-axeln visas sammanhörande värden mellan luftfaktor och rökgasens  $\text{CO}_2$ -halt.



Figur 6.3 Gasmängd per energienhet i bränslet vid förbränning av träbränsle. Vanliga driftområden för fuktigt respektive torrt bränsle har markerats på gasmängdsskalan.

Skall en fastbränsleeldad anläggning konstrueras och drivas optimalt skall givetvis luftfaktorn vara så låg som möjligt samtidigt som fukthalten skall vara låg, eventuellt kan det löna sig att torka bränslet innan det förs in i pannan.

Fukthalten påverkar enligt det ovanstående bränslets kvalitet eller värde som bränsle. Vid ökande fukthalt sjunker värmevärdet vilket medför att bränslelager och transportanordningar måste dimensioneras för större flöden. Även pannan blir dyrare på grund av de större rökgasmängder som skall passera genom den.

I Finland där man onekligen har större erfarenheter av fastbränsleanvändning än vad vi har i Sverige har man gjort en bedömning av hur bränslets fukthalt påverkar anläggningens ekonomi.

Uppskattningen är gjord av en finsk expertkommitté som var tillsatt för att utarbeta normer för bränsleflis. Man har ansatt flis med 37.5 % fukt som norm och sedan anges en pridfaktor för avvikande fukthalt enligt nedanstående tabell. Pridfaktorn tar som synes på något sätt hänsyn till andra kostnader än vad som motsvarar bränslets energiinnehåll.

Fukthalt %	Pridfaktor	Effektivt värmevärde $H_i$ MJ/m <sup>3</sup> s	$\frac{H_i}{H_i}$ 37.5
15 -30.0	1.06	3271	1.04
30.1 -35.0	1.03	3185	1.02
35.1 -40.0	1.00	3132	1.00
40.1 -45.0	0.96	3069	0.98
45.1 -50.0	0.88	2995	0.96
50.1 -55.0	0.80	2904	0.93
55.1 -60.0	0.70	2793	0.89
60.1 -65.0	0.60	2652	0.85

### 6.1.3 Torv

#### Kemisk sammansättning

Torv är en organisk jordart som bildats av döda växtrester i en syrefattig miljö. Den torv som används som bränsle är de lager som har hög förmultningsgrad eller humifieringsgrad. I naturligt tillstånd (råtorv) innehåller torv 90 % vatten och måste avvattas



till ca 50 % innan den kan användas som bränsle. En del av vattnet kan dräneras bort i samband med att mossen dikas ur innan brytningen påbörjas.

Torv är inte ett lika enhetligt ämne som t ex flis. Den organiska torrsubstansandelen kan variera mellan 50-150 kg/m<sup>3</sup> vilket påverkar bl a värmevärdet. Även den kemiska sammansättningen varierar mellan olika mossar enligt nedanstående uppställning där även typiska värden för torv från södra Sverige (Sösdala) angivits. Värdena är angivna för askfri torrsubstans.

	Variationsområde	Typisk analys
C:	50-60 %	55 %
H:	5-7 %	6 %
O:	30-40 %	37.3 %
N:	0.5-2.5 %	1.5 %
S:	0.1-0.4 %	0.2 %

Askhalten, uttryckt i % av torrsubstansen, varierar normalt mellan 2-6 % och för vissa typer av kärrtorv kan den uppgå ända till 12 %.

Det mesta av askan följer med rökgaserna vid förbränningen, mellan 30 och 95 % beroende på eldningsmetod vilket gör att det ofta fordras elektrofilter eller slangfilter för stoftavskiljningen. Avskiljningsgraden för metaller verkar vara lika stor som för askan. Metallinnehållet varierar i torv från olika brytningsplatser och kan leda till ett ekonomiskt problem för mindre anläggningar om dessa måste förses med högeffektavskiljare för att klara utsläppsnormerna.

Den mest förekommande metallen i torv är järn men även höga halter bly och kadmium har noterats vilket bl a föranlett Naturvårdsverket att se över normerna för stoftutsläpp. Uppgifterna är dock ganska varierande, blyinnehållet uppges t ex till mellan 5-120 ppm (miljondelar av torr vikt) för olika mossar. Är de höga halterna endast undantagsvis förekommande kan blyproblemet undvikas genom val av mossar där brytning sker.

Den aska som avskiljs i stoftavskiljare är liksom vid flis basisk vilket motverkar både urlakning av metaller och i viss utsträckning försurning av vattendrag.

Torvaskans smältpunkt ligger mellan 1100-1500°C vilket i de flesta fall är tillräckligt högt för att en problemfri drift ska kunna upprätthållas. Gastemperaturen måste ha sjunkit så långt att askan inte är klabbig när den lämnar eldstaden. Är temperaturen för hög fås ask- och slaggpåslag på tuberna i pannan med tämligen snabbt uppkommande driftproblem som följd.

#### Värmevärde och gasmängder

Värmevärdet påverkas givetvis också av humifieringsgraden d v s av hur långt förmultningen gått. Som ett medelvärde anger Engshagen

$$H_i = 20.9 - 23.4 F \text{ MJ/kg} \quad (6.5)$$

där F är fukthalten.

Luft och rökgasmängder är liksom vid fliseldning betydligt större än vid oljeeldning. På samma sätt som för flis påverkas både värmevärde och gasmängder av både den kemiska sammansättningen och fukthalten. Då torv uppvisar stora variationer beträffande sammansättning är det svårt att ange luft- och rökgasmängder generellt varför en beräkning får göras i varje enskilt fall när analysen är känd. För dessa beräkningar kan underlaget i bilaga 1 användas.

#### Frästorv

För produktion av torv i industriell skala används idag två metoder, frästorvmetoden och stycketorv- eller maskintorvmetoden.

Frästorv produceras genom att ett tunt skikt av torvmossen, 1-2 cm, fräses upp och får lufttorka något dygn till ca 50 % fukthalt varefter det lagras i stack övertäckt med t ex plast.

Storleksmässigt är frästorv ett relativt enhetligt ämne men för att få så små variationer som möjligt vid förbränning bör torven blandas innan den tillförs pannan. Detta sker lämpligen i samband med utlastningen ur lagret på kraftverksområdet.

Med en fukthalt på 50 % har frästorv ett värmevärde av ca 9.2 MJ/kg. Volymvikten för frästorv kan variera mellan 250 och 450 kg/m<sup>3</sup>s beroende på fukthalt. Ett normalt värde vid 50 % fukthalt är ca 330 kg/m<sup>3</sup>s.

Fördelen med frästorv som bränsle är den enhetliga storleken som gör den lätt att transportera. Vid förbränningen kan däremot finfördelningen vara till nackdel då bränsleskiktet kan blåsas bort vid rosteldning.

#### Maskintorv

Maskintorv tas upp med grävmaskin, på upp till 3.5 m djup, och mals sedan i en kvarn för att kunna passera ett avvattningssteg. I detta steg pressas torven genom munstycken med 5-8 cm diameter och kapas upp i längder om 20-30 cm.

Även maskintorv är hanteringsmässigt ett enhetligt ämne. På grund av styckestorleken är det något besvärligare att hantera men det är i gengäld lättare att elda på rost.

Maskintorv blir något dyrare att producera än frästorv och de största mängderna produceras idag som frästorv.

#### Briketter

Torv förekommer som ett något förädlat bränsle i form av briketter eller pellets. I båda fallen pressas torkad frästorv till större stycken.

Genom briketteringen minskar bränslevolymen avsevärt liksom fukthalten som blir ca 10-15 %. Torkningen sker i flera steg och flera olika metoder kan användas.

Briketter används främst i mindre anläggningar där den fasta formen innebär fördelar vid hanteringen. På grund av de många steg torven ska gå igenom vid briketteringen blir kostnaden relativt hög. Flera äldre brikettfabriker på Irland och även i Sösdala lades ned i början av 70-talet då oljepriserna var lägst. Idag tillverkas briketter i Irland, Sovjetunionen och Finland.

#### 6.1.4 Halm

##### Tillgång

Beräkningar av halmtillgången i Sverige ett normalår utförda av Sven Holmsten vid Jordbrukets utredningsinstitut, har givit följande resultat: Beräkningarna är publicerade i IVA-rapporten 169 Halm som råvara inom skogsindustrin.

	Milj ton/år
Höstvete	0.8
Vårvete	0.2
Höstråg	0.3
Korn	1.8
Havre	1.2
Blandsäd	0.1
Oljevaxter	<u>0.4</u>
Summa	4.8

Av detta förbrukas 1.2 milj ton/år som strö och foder inom jordbruket och det återstår då ca 3.6 milj ton/år som är tillgänglig som bränsle eller som råvara inom industrin.

Tillgången varierar starkt mellan goda och dåliga år vilket gör att ovanstående siffror bör förses med ett variationsintervall på  $\pm 40\%$ .

Halmen finns givetvis inom jordbruksområdena d v s främst i södra Sverige. I skogslänen uppskattas totala tillgången till ca 0.2 milj ton/år.

Kemisk sammansättning. Egenskaper

Halmens kemiska uppbyggnad varierar mellan olika arter och med klimat, växtort och position i strået.

Vid bedömning av halmens användbarhet som bränsle kan det vara lämpligt att jämföra den med t ex björkved.

	Halm %	Björkved %
Cellulosa	30-35	41
Kemicellulosa	27-28	35
Ligning	18-22	21
Aska	3-7	0.5
Övrigt	22-8	2.5

Restposten består främst av vattenlösliga sockerarter. Notabelt för halm är den relativt höga askhalten och då askans smältemperatur dessutom är relativt låg kan detta leda till svårartade beläggningar i pannen, "glasering".

#### Värmevärde

Holmsten anger värmevärdet till mellan 14.2 och 15.9 MJ/kg utan att ange någon fukthalt. Man anger också att halmens fukthalt får vara högst 20 % för att den skall kunna användas som bränsle. I Danmark klassas halm med lägre fukthalt än 18 % som prima och med fukthalten 18-22 % som sekunda.

Med hänsyn till den lägre verkningsgraden vid förbränningen jämfört med olja åtgår det 3 kg halm för att ersätta 1 kg olja. Om hela halmöverskottet i Sverige används till förbränning kan man ersätta ca 1.2 milj ton olja.

I Danmark är halmpriset i dag ca 40 svenska kronor per ton medan värdet som strö eller fodermedel för svenska jordbrukare anges till ca 70 kr per ton. För att större kvantiteter skall kunna utbjudas på bränslemarknaden bör priset vara uppemot 100 kr/ton.

Det finns således ett gott utrymme för extrainvesteringar i pannor och hanteringsutrustning när det gäller att introducera halm

som bränsle. Användning av halm kommer främst att bli aktuell lokalt i mindre anläggningar på grund av relativt höga transportkostnader.

#### 6.1.5 Vass

##### Tillgång

Bladvass förekommer naturligt i större delen av Sverige i grunda havsvikar eller insjöar.

Bladvassen är flerårig men de delar som finns ovan jord eller vattenyta vissnar på hösten. På vintern har vasstråna låg fukthalt, under 20 % och är då lämpliga som bränsle.

Några säkra uppskattningar av de totala vasstillgångarna i landet finns inte. Naturvårdsverket har uppskattat vassarealen i de stora mellansvenska sjöarna till 10 000 ha vilket motsvarar en uttagbar energimängd av ca 500 GWh per år eller ca 40 000 ton olja. Tillgången i hela landet bör vara betydligt större.

Någon erfarenhet av skördning av vass för användning som bränsle finns inte i Sverige däremot finns skördeteknik utvecklad i samband med restaurering av igenvuxna sjöar.

Vass kan knappast få någon stor betydelse för Sveriges energiförsörjning även om det lokalt kan vara lönsamt att skörda och använda som tillsatsbränsle under den kalla årstiden.

Kemisk sammansättning. Egenskaper

Vass består av

Stärkelse	10 %
Pektin	26 %
Lignin	20 %
Cellulosa	44 %

Utom C, H, N och O innehåller vass mineraler och metaller beroende på var den växer. Askan består främst av kiesel, kalium, kalçium och fosfor. Halten tyngre metaller är i regel låg.

Askhalten är relativt hög jämfört med t ex träbränsle, mellan 3.5 och 4 % räknat på torrsubstans.

Vissa uppgifter tyder också på att askans smälttemperatur är låg vilket kan ställa till problem vid förbränningen i form av glaserade pannväggar m m.

#### Värmevärde

Räknat per kg torrsubstans har vass något lägre värmevärde än trä eller 15-17 MJ/kg.

Volymvikten är dock betydligt lägre för den mest troliga leveransformen. Följande uppskattningar har gjorts för 15 % fukthalt:

Vass i flisform (ca 1 dm)	75 kg/m <sup>3</sup>
Vass i stybbform	150 kg/m <sup>3</sup>
Vass i pulverform	300 kg/m <sup>3</sup>

Utgående från dessa värden får man energiinnehållet vid fukthalten 15 % till ungefärligen

Vass i flisform	1000 MJ/m <sup>3</sup>
Vass i stybbform	2000 MJ/m <sup>3</sup>
Vass i pulverform	4000 MJ/m <sup>3</sup>

## 6.2 Utrustning för hantering av biomassebränslen

### 6.2.1 Sammanfattning

En fastbränsleeldad anläggning kräver jämfört med en oljeeldad en omfattande utrustning för bränslehantering. Det är också be-

tydligt enklare att pumpa ett bränsle i ett rör jämfört med att hantera ett inhomogent dammande bränsle.

Trots att vi i Sverige har begränsad erfarenhet av fastbränsleeldade kraft- och värmecentraler bör inte transport och lagringstekniska problem medföra några olägenheter.

Inom träindustrin finns sedan länge både erfarenhet av bränsletransport och hantering av stora mängder fast material, det senare även inom pappersindustrin, gruvindustrin m m.

För små anläggningar kan ett årsbehov av bränsle lagras vilket dock ställer speciella krav på bränslekvaliten, främst fukthalten. Vid större anläggningar blir bränslevolymlödena så stora att man endast kan ha ett mellanlager för att utjämna bränsleflödet och t ex medge drift av anläggningen över ett veckoslut utan intranport av bränsle.

Någon etablerad "dimensioneringsfilosofi" för bränslehanteringsutrustningen finns inte i dag. Vid en större omfattning av fastbränsleanvändning bör tillgänglighetsanalyser göras på de ingående komponenterna för att driftsäkerheten skall bli godtagbar. Detta får sedan avgöra om vissa funktioner ska dubbleras eller om man skall ha full reservkapacitet med t ex oljeeldning.

Med den filosofi som tillämpas för närvarande i större värmesystem att reservkapacitet motsvarande största produktionsenheten alltid skall finnas verkar det rimligt att denna reserv utgörs av en oljeeldad panna som är omställbar till fastbränsleeldning. Vid avbrott i fastbränsletillförseln kan den oljeeldade pannan startas automatiskt vilket då möjliggör obemannad drift på nätterna.

#### 6.2.2 Mottagningsficka\_och\_transportörer

De bränslen som är aktuella för fjärrvärmearläggningar antas komma till förbränningsanläggningen i någorlunda finfördelad

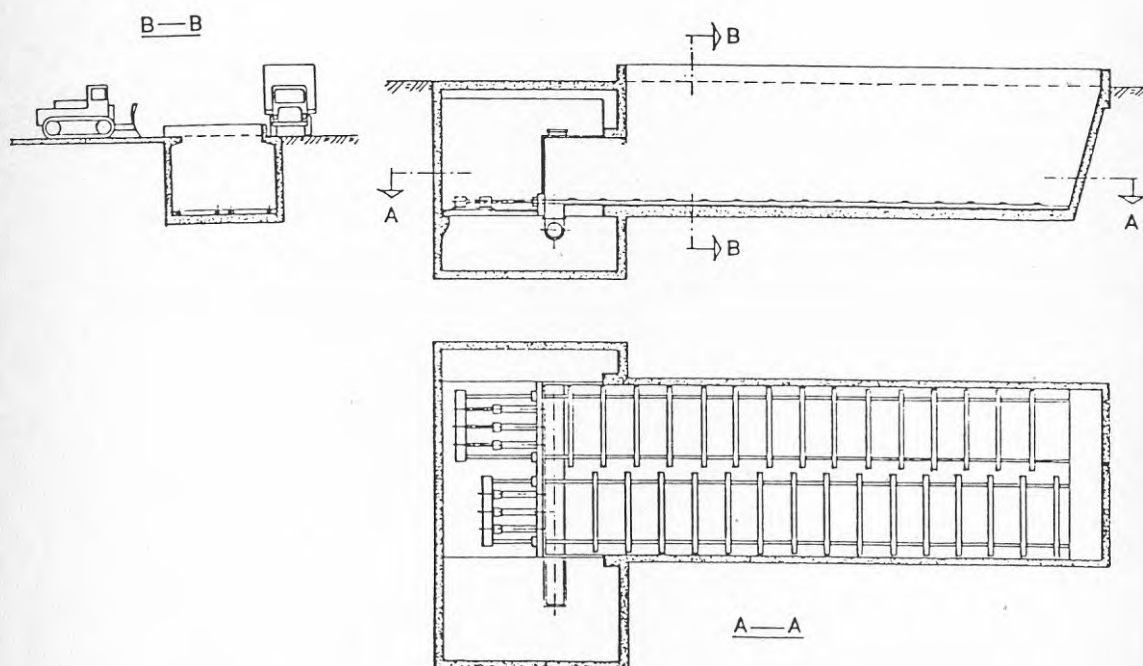


form. Detta stämmer säkert bra för flis och torv medan halm och vass eventuellt bör transporteras i balform för att minska hanteringsvolymerna. Vid mottagning av halmbalar eller vassknippen måste anläggningen förses med en rivare eller dylikt för att sönderdela bränslet i en form som överensstämmer med övriga bränslen i centralen. Halm och vass kommer förmodligen inte att kunna täcka hela årsbehovet av bränsle vid någon central utan får ses som tillskott under vissa säsonger. Det är då fördelaktigt om dessa tillskottsbränslen kan hanteras med samma transport och inmatningsutrustning som centralens ordinarie bränsle.

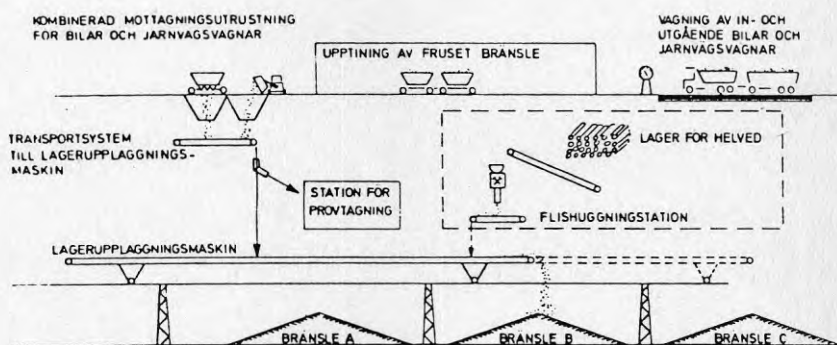
Som påpekats tidigare förefaller det som om användandet av styckeved skulle kunna bli ekonomiskt lönsamt jämfört med användning av flis. Detta fall kräver en något speciell mottagnings- och beredningsutrustning, t ex frontlastare med timmergaffel eller travers med vedgripare samt kapningsutrustning i form av såg eller hydraulisk klipp. I väntan på att dessa system provas i större skala utelämnas de i fortsättningen här och för närmare beskrivning hänvisas till Robert Schuster.

Bränsletransport till anläggningar inom det aktuella storleksområdet kommer säkerligen att ske med lastbil. Bränslet tippas i en mottagningsficka av lämplig volym för att tjäna som buffert vid den ojämna intransport av bränsle som man måste räkna med. För en 25 MW panna kan en lämplig volym vara ca  $450 \text{ m}^3$ . I botten på fickan finns en utmatningsanordning i form av vandrande skruv eller skrapspel, figur 6.4. De fram- och återgående skraporna har en kilformad profil och matar bränslet mot en transportskruv (i detta fall) eller band för vidare transport till pannan.

En flexibel mottagningsstation där man kan ta emot och lagra flera olika bränslen samtidigt visas i figur 6.5. Anläggningen blir förmodligen något i dyraste laget för det betraktade storleksområdet (upp till 25 MW) på grund av den flexibla uppbyggnaden med avancerad utrustning och lämpar sig främst för stora anläggningar.

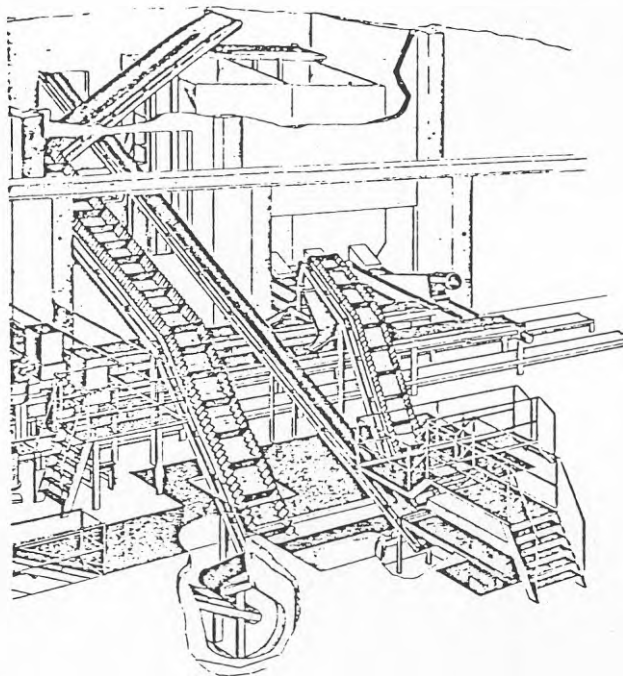


Figur 6.4 Mottagningsficka med skraputmatning. MoDoMekan.



Figur 6.5 Mottagning av fasta bränslen, principskiss enligt ASEA-ATOM och Värmeverksföreningen.

Mellan olika lager och fram till pannan kan biobränslena flis, torv, bark, halm och vass transporterats på ett flertal sätt t ex med skruvar, bandtransportörer, skrap eller kedjetransportör m fl, figur 6.6.



Figur 6.6 Skraptransportör. (KOPO)

Eftersom alla olika transportörer förekommer på marknaden finns det olika för och nackdelar med de olika transportsätten. Vid val mellan de olika transportslagen är givetvis priset en viktig faktor.

Skruvarna medger relativt fritt val av transportväg och är ganska billiga. Samtidigt är de känsliga för att stenar, kvistar eller större träbitar skall blockera skruven. Det kan också förekomma att bränsle eller främmande föremål fastnar i skruvarna och förstör den. Sitter skruven illa till kan arbetet med att byta ut den bli tämligen omfattande.

Skruvinloppet kan även lätt blockeras av till synes harmlösa kvistar och stickor genom att de lägger sig ovanpå skruvens kammar och på så sätt täpper till utloppet.

Vid utmatning ur lager är fria (ej kapslade) skruvar vanliga. I dessa fall är risken för blockering av skruvarna betydligt mindre men samtidigt måste skruven kunna förflyttas i lagret vilket ofta ger en relativt dyrbar installation.

Bandtransportörer kan användas vid transport över horisontella sträckor eller sträckor med liten lutning. Speciellt flis är besvärlig på vintern då den blir "frostig" på ytan och lätt glider på bandytan. Ett sätt att avhjälpa detta är att förse bandet med medbringare. Transportband kan göras för i princip vilken kapacitet som helst och används på oerhört många ställen inom industrin.

För kortare sträckor kan vibrerande transportörer användas d v s stålrännor som är flexibelt upplagda och sätts i vibration av en motor med obalansvikt.

En vanlig uppfattning bland fastbränsleanvändare är att skraputmatare, skraptransportörer och elevatorer är de transportörer som är minst känsliga för främmande föremål och har en säker funktion.

### 6.2.3 Lager och utmatningsanordningar

Storleken på och typ av lager vid förbränningsanläggningen beror av flera faktorer t ex:

- hur transporten till anläggningen sker
- vilken utrustning som finns för att hantera bränslet
- hur länge fastbränsleeldning ska kunna ske utan intransport av bränsle till anläggningen
- hur länge anläggningen ska kunna drivas utan bemanning för bränslehantering

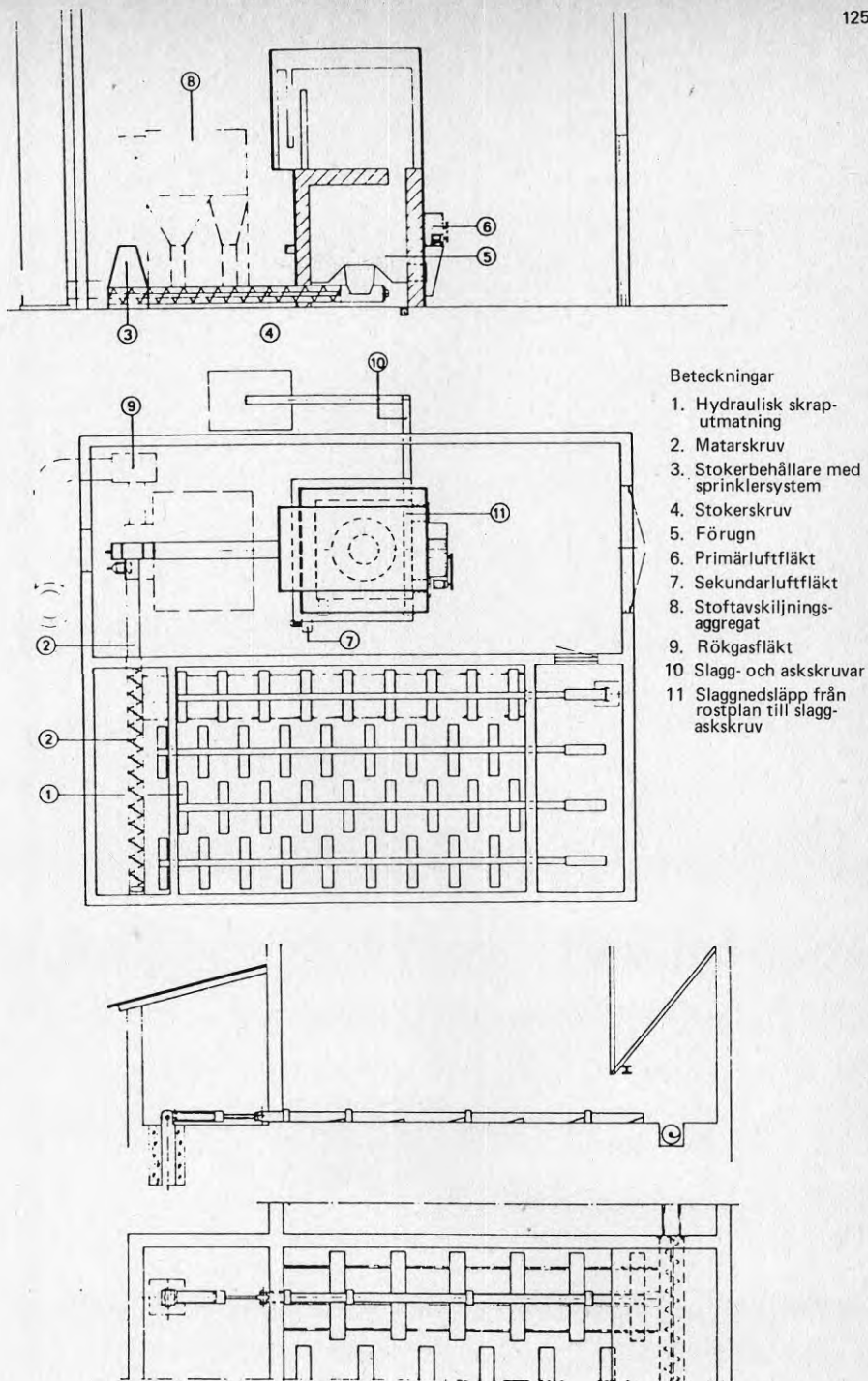
Ett idealt lager ska kunna förse pannan med bränsle av jämn kvalitet, t ex fukthalt och kanske kemisk sammansättning vid torv. Det kan således vara en fördel om bränslet blandas i samband med lagringen eller utmatningen från lagret så att kvalitetsskillnaden mellan olika bränslelass utjämnas.

I det enklaste fallet består lagret endast av mottagningsfickan och ett litet buffertlager nära pannan (pannsilo) för att jämna ut fluktuationen i den utmatade bränslemängden. I detta fall klarar man en driftperiod av 12-16 h utan att bränsle behöver fyllas på. Vid längre driftperioder utan bränsletillförsel måste ett reservlager tas i anspråk. Det enklaste reservlagret består av en bränslehög, ev lagrad under ett enkelt tak, som lastas ned i mottagningsfickan med en frontlastare.

Även reservlagret kan förses med automatisk utmatning. Hur man gör är i sista hand en ekonomisk fråga som beror av de faktorer som räknades upp i början av detta avsnitt.

Ett lager med betongsilo med plan botten och skraputmatning är enligt samstämmiga uppgifter minst känsligt för variation i bränslekvalitet. En silo för bark och träavfall har lodräta eller i vissa fall väggar med negativ släppning för att valvbildning och stockning ej skall uppkomma. Bränslet matas ut med hydrauliskt drivna fram- och återgående skrapor som täcker hela botten. Skraporna matar ned bränslet i en öppen skruv som sedan transporterar bränslet vidare, se figur 6.7. Skraporna är kilformade och transporterar således endast bränslet åt ena hållet. Kraften som fordras för returrörelsen blir mindre än för arbetslaget och hydraulkolvarna bör därför placeras enligt figuren så att de trycker skraporna i arbetsriktningen (en hydraulkolv ger större tryckkraft än dragkraft). I vissa anläggningar med dragna skrapor har man haft problem då kraften helt enkelt inte har räckt till.

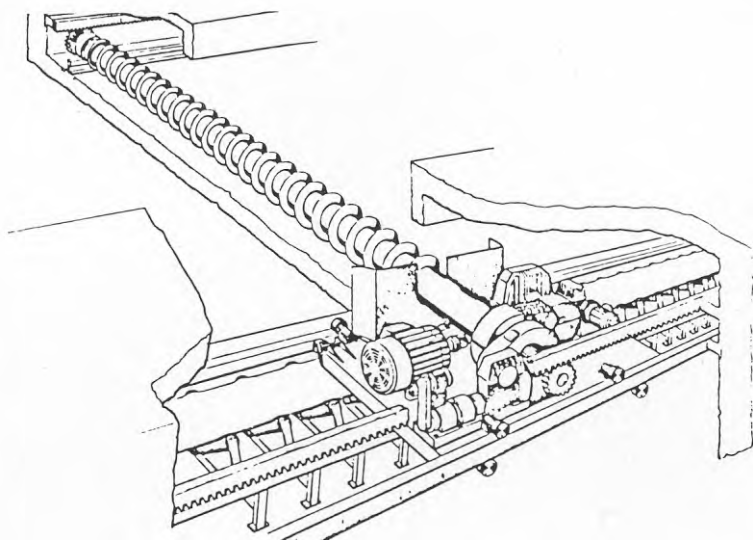
Om silon har fyllts av bränsle med ojämn kvalitet kommer man att få en viss omblandning i samband med utmatningen. Skrapustruktionen fungerar för de flesta bränslen t o m för dåligt riven bark.



Figur 6.7 Skraputmatning. Överst layoutritning och underst detalj av de hydrauliskt drivna skraporna. (ÅV-Halmstad)

Det i figur 6.7 visade lagret är ett kombinerat drift + reservlager för en mindre pannanläggning. Lagret har stora likheter med mottagningsfickan vid större anläggningar men i det senare fallet måste man även ha ett buffertlager närmare pannan för att utjämna bränsleflödet.

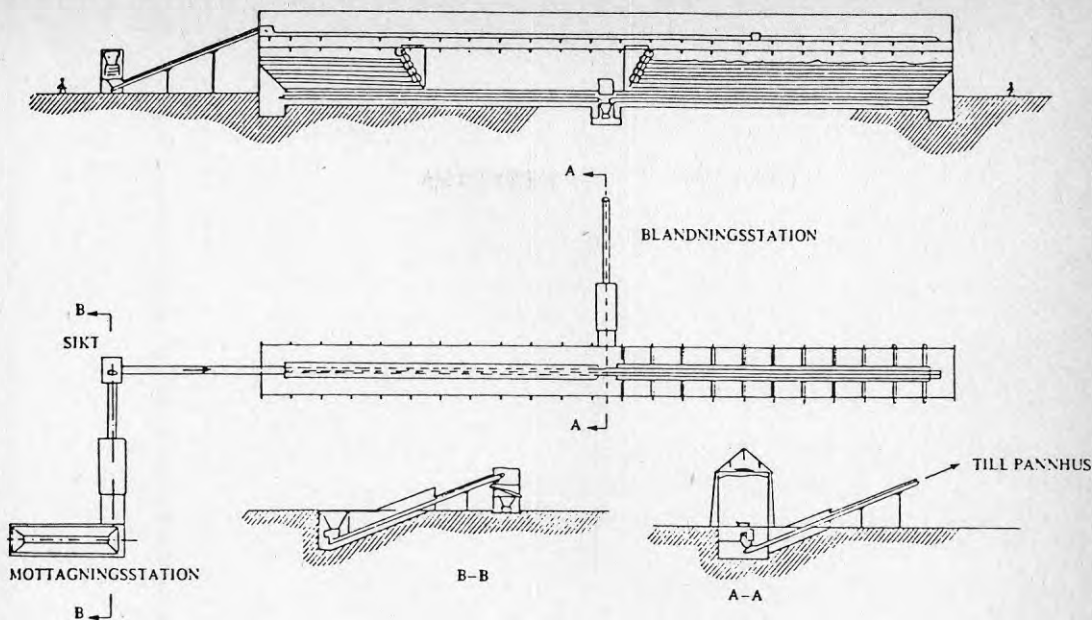
Utmatning från en mottagningsficka eller större lager kan även ske med en vandrande skruv enligt figur 6.8



Figur 6.8 Längsgående vandrande öppen skruv för stora lager. Bränslet matas ned på en bandtransportör. KOPO

Har man behov av ett större driftlager eller mellanlager som omsätts kontinuerligt kan den kombinerade blandningsstationen och lagret enligt Svenska Torv AB användas, figur 6.9. Bränslet töms från lastbil i en mottagningsficka och förs på band via en sikt in i blandningsstationen där den lastas av i ena halvan i horisontella sikt. Under tiden matas bränslet ut från andra



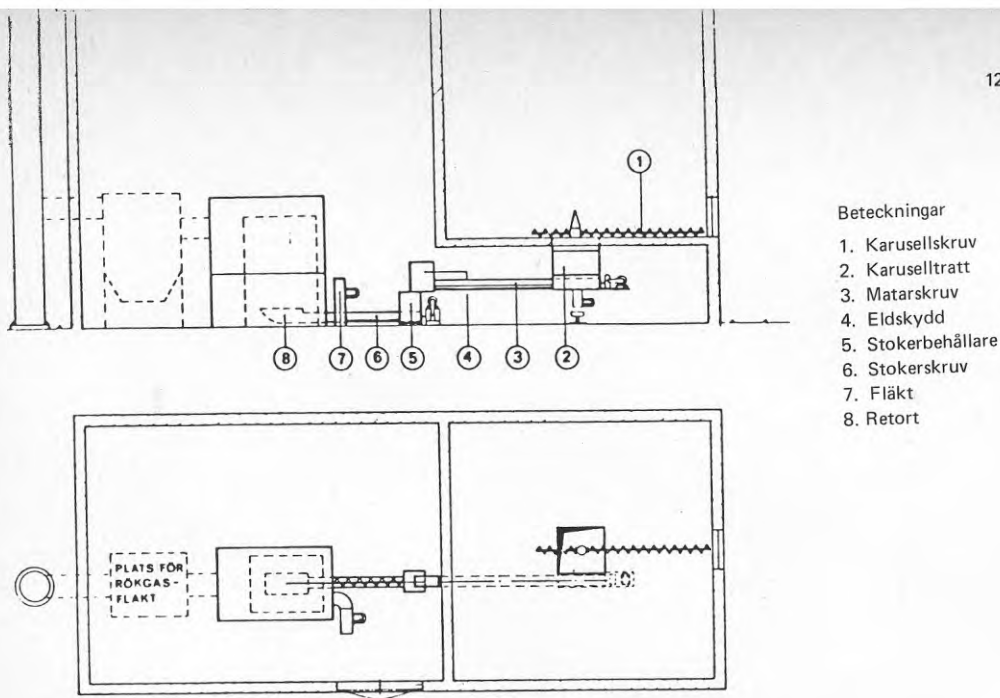


Figur 6.9 Torvblandningsstation enligt Svenska Torv AB.

halvan av stationen av en rivare som skär ut vertikala skikt ur förrådet. Skruvar matar ned det rivna bränslet till ett transportband som ligger under förrådet varifrån det förs över på ett transportband som leder upp till pannhuset.

Även vid denna lagertyp bör man ha en mindre ficka eller bunker i samband med pannan för att säkerställa en jämn bränsletillförsel till pannan.

Mindre lager för bark och torv kan utformas enligt Figur 6.7, eller om man inte har alltför fuktig flis, silolagring med utmatning genom ett hål i botten med hjälp av en roterande skruv eller vingar inuti silon enligt figur 6.10. Denna lagertyp kan även användas för fastighets- och villapannor om man har krav på automatisk drift. För de flesta villapannor som används idag i samband med fliseldning har man dock inte automatisk påfyllning av pannans eller ugnens flisbehållare.



## Beteckningar

1. Karusellskruv
2. Karuselltratt
3. Matarskruv
4. Eldskydd
5. Stokerbehållare
6. Stokerskruv
7. Fläkt
8. Retort

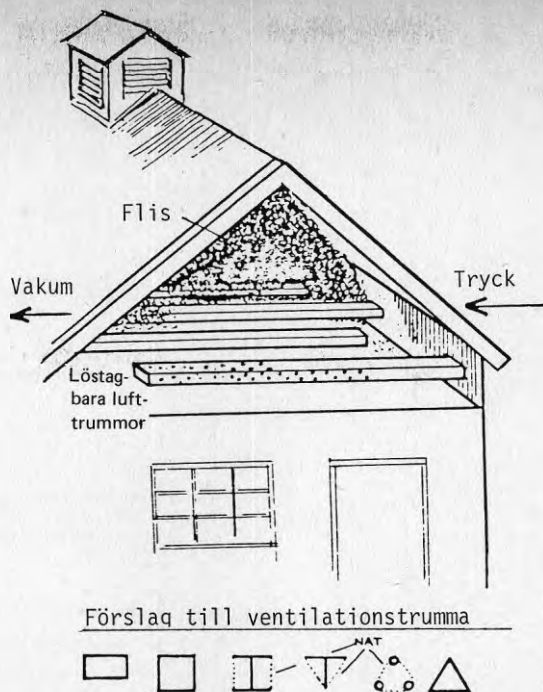
Figur 6.10 Siloutmatning med roterande öppen skruv.  
ÅV-Halmstad

För villor har man även problem av annan karaktär då lagret ofta skall ligga en längre tid, i bästa fall ett år mellan påfyllningarna. För att kunna lagra flis så länge bör den vara torr och lagret ventilerat. Att lagra flis i en källare ställer således krav på ett särskilt ventilationssystem för lagringsutrymmet.

Beijbom ger förslag till enkla lager som kan vara lämpliga för skogsägande bönder m fl som har gott om utrymme, figur 6.11. Genom att syrafälla <sup>1)</sup>trädet efter lövsprickningen på våren och sedan låta dem torka till i juli-augusti och flisa dem då kan man nå fukthalter på ca 30 % i ventilerade lager enligt figuren.

För villor i mera tät bebyggelse ställs stora krav på lagrings- och distributionssystemen då de erforderliga bränslevolymer är så stora. Ännu har inte någon riktigt bra metod presenterats. Eventuellt skall bränslet förädlas på något sätt, t ex till bri-ketter eller pellets för användning i tätbebyggda områden. Som påpekats tidigare behandlas dessa frågor i flera projekt för närvarande.

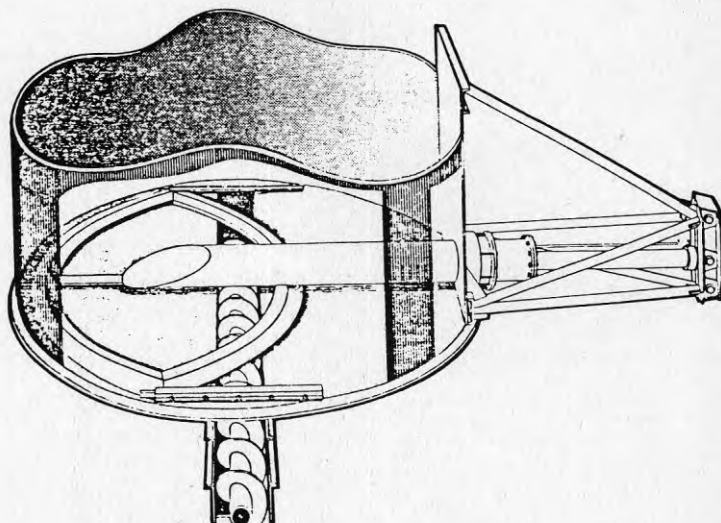
1) Trädet fälls strax efter lövsprickningstiden och lämnas okvistade några månader.



Figur 6.11 Exempel på utförande av mindre manuellt flislager enligt Beijbom.

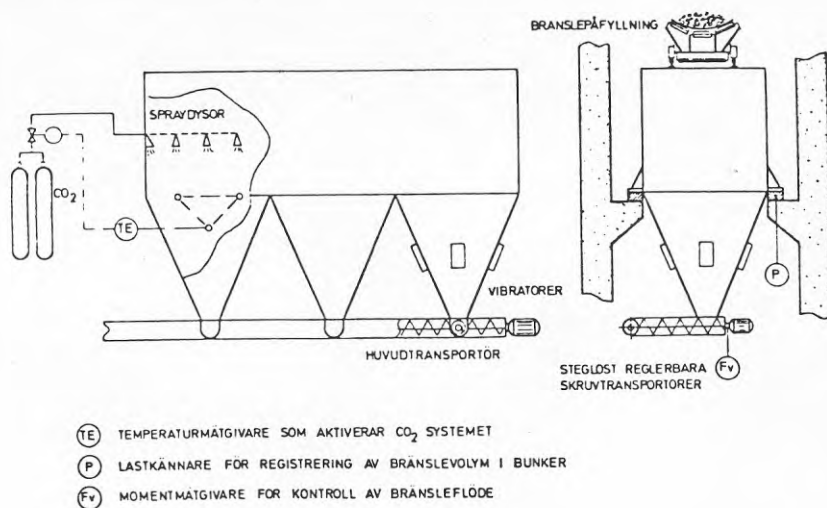
Utmatning från panssilo eller buffertlager kan även ske med t ex glidramsutmatning enligt figur 6.12. För torra bränslen kan man även använda skruvutmatning direkt ur en konisk silo. Vid fuktigt eller inhomogent bränsle uppstår lätt valvbildning i denna typ av silo varför man bör tänka sig noga för innan man bestämmer sig för

Figur 6.12



glidramsutmatning enligt Saxlunds.

att installera dem. Figur 6.13 visar ett större utmatningssystem



Figur 6.13 Principskiss för bunkersystem för kol eller annat torrt bränsle. ASEA-ATOM och Värmeverksföreningen.

enligt denna princip. System för villapannor bygger ofta på detta system. I dessa förses ofta silon med någon form av omrörare för att förhindra valvbildning. Exempel på villapanneinstallationer visas i avsnitt 6.7.1.

#### 6.2.4 Bränsleberedning

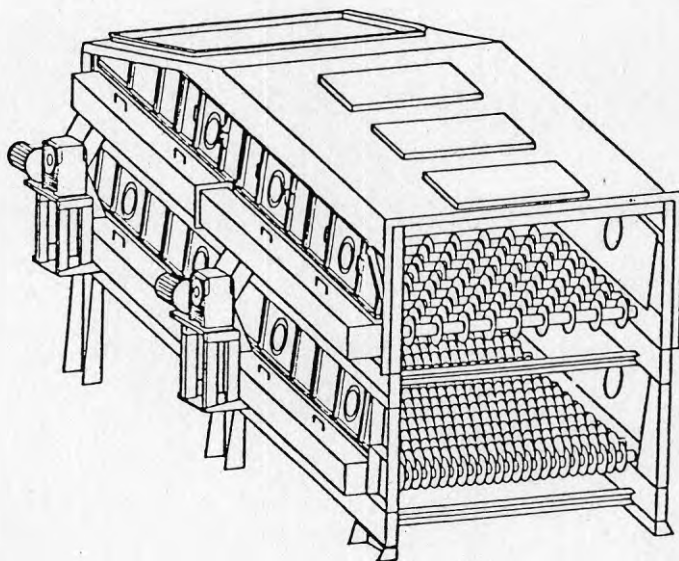
Beroende på lokala förhållanden kan bränslet behöva genomgå ett eller flera av nedanstående steg innan det kan anses vara ett bra bränsle

- blandningsstation för homogenisering av bränslet
- sikt för avskiljning av stubbar eller andra större föremål
- flishugg, om veden levereras hel
- barkpress för avvattning vid våta barkningsmetoder m m
- barkrivare, om barken kommer i långa stycken direkt från en barkningsanläggning
- utrustning för torkning av bränslet

En viss blandning av bränslet kan även uppnås genom att en cirkulation av bränslet sker inom lagret. En konstant bränslemängd matas då ut från lagret oberoende av pannans last. Den mängd som inte behövs i pannan matas tillbaka till bränsleförrådet. En cirkulation av bränslet minskar även risken för hopfrysning vintertid.

Då denna rapport främst ska behandla utrustning för fjärrvärmeverk kan barkpressar m m utelämnas här då denna hantering lämpligen sker i samband med barkningen.

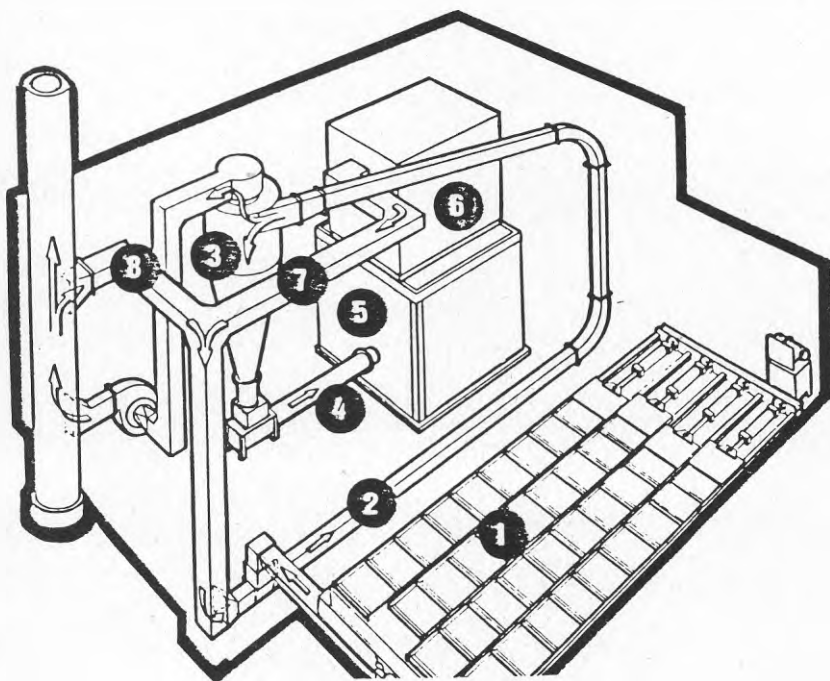
Flishuggar och siktar placeras om möjligt vid terminalen eller större lager för att kunna betjäna flera användare. Kommer bränslet till förbränningsanläggningen i rått tillstånd måste denna utrustning installeras även där. En sikt är t ex mycket värdefull om man befarar att bränslet kan innehålla större bitar av grenar eller stubbar. Figur 6.14 visar exempel på en skivsikt för torv.



Figur 6.14 Skivsikt för torv. (KOPO)

Den utrustning för torkning av bränsle som kan förekomma vid förbränningsanläggningen utnyttjar de varma rökgaserna för att driva av fukten ur bränslet. Som påpekats tidigare ökar bränslets värmevärde när fukthalten sjunker samtidigt som rökgasvolymen minskar. Kostnaderna för installation av torkningsutrustningen kompenseras då av en billigare panninstallation och möjligheten att driva pannan med en högre verkningsgrad.

Figur 6.15 visar ett system där bränslet transporteras fram till



Figur 6.15 Bränsletork enligt Saxlunds. 1) skraputmatning från bränslelager, 2) transport av bränsle med återcirkulerande rökgaser, 3) cyklon för att skilja transportgas och bränsle, 4) bränsleinmatning till pannan, 5) förugn, 6) panna, 7) rökgasutlopp och 8) återcirkulerande rökgaser.

pannan med hjälp av varma rökgaser. Innan bränslet slutligen förs in i pannan separeras det från rökgasen i en cyklon.

### 6.2.5 Driftsäkerhet

Den omfattande kringutrustning som fordras för en fastbränsleeldad anläggning och bränslets struktur medför givetvis att risken för driftavbrott ökar. En sak som kan påverka tillgängligheten i negativ riktning för en fastbränsleeldad anläggning jämfört med en oljeeldad är t ex bränsletransportsystemet. De bestämmelser och normer som finns för ång- och hetvattenpannor syftar inte primärt till att förbättra driftsäkerheten annat än i fall där risk finns för skador på anläggningen och personalen. Genom att dubblera vissa kritiska komponenter kan risken för driftavbrott minskas, givetvis till priset av ökade investeringskostnader.

Att dubblera transportutrustning tidigt i bränslekedjan är ej lika nödvändigt då man har en viss buffert i panssilon. Vid inmatningen från panssilon till pannan däremot får ett stopp i bränsleinmatningen så gott som genast till följd att panneffekten sjunker. En dubblering av inmatningsanordningen skulle där ge en förbättrad tillgänglighet. Tyvärr kan det ofta av utrymmesskäl eller beroende på pannkonstruktionen vara svårt att åstadkomma detta i praktiken.

Är pannan utrustad för att även kunna förbränna olja uppnår man förmodligen den högre driftsäkerheten billigare genom att starta oljebrännaren när fastbränsletransporten blir avbruten. För att kunna bedöma det ekonomiska utfallet säkert bör en bättre driftstatistik från fastbränsleeldade anläggningar insamlas och framför allt bör orsakerna till driftavbrotten klarläggas.

I de fliseldade pannor som beskrivs mer i detalj i avsnitt 6.7 har inte någon utrustning dubblerats just med hänsyn till att möjligheten till oljeeldning (för villapannor eventuellt genom elpatroner i pannan) kommer att ge en tillfredsställande driftsäkerhet.

En säkerhetsrisk som föreligger vid fastbränsleanläggningar men knappast vid oljeeldade anläggningar är brand i bränsletransportsystemet, t ex bakeld i bränsleinmatningsskruben till pannan.

Systemet kan dock relativt lätt skyddas med bakeld genom att en termostat placeras i bränsleskruven relativt nära pannan. Termostaten styr en vatteninsprutning till skruvinloppet antingen från vattennätet eller från en högt belägen tank. Bränslet kan även slussas fram till den sista skruven genom en anordning som är försedd med termostatstyrda fallluckor eller anordningar som stoppar bakelden.

Vid olämplig lagring av fuktigt bränsle vintertid kan man få sammanfrysningar i lagret vilket effektivt stoppar anläggningen. Riskerna för sammanfrysning kan minskas genom att bränslet cirkuleras i lagret eller genom att lagret värms med hjälp av rökgaser eller cirkulerande vatten.

### 6.3 Eldningsanordningar

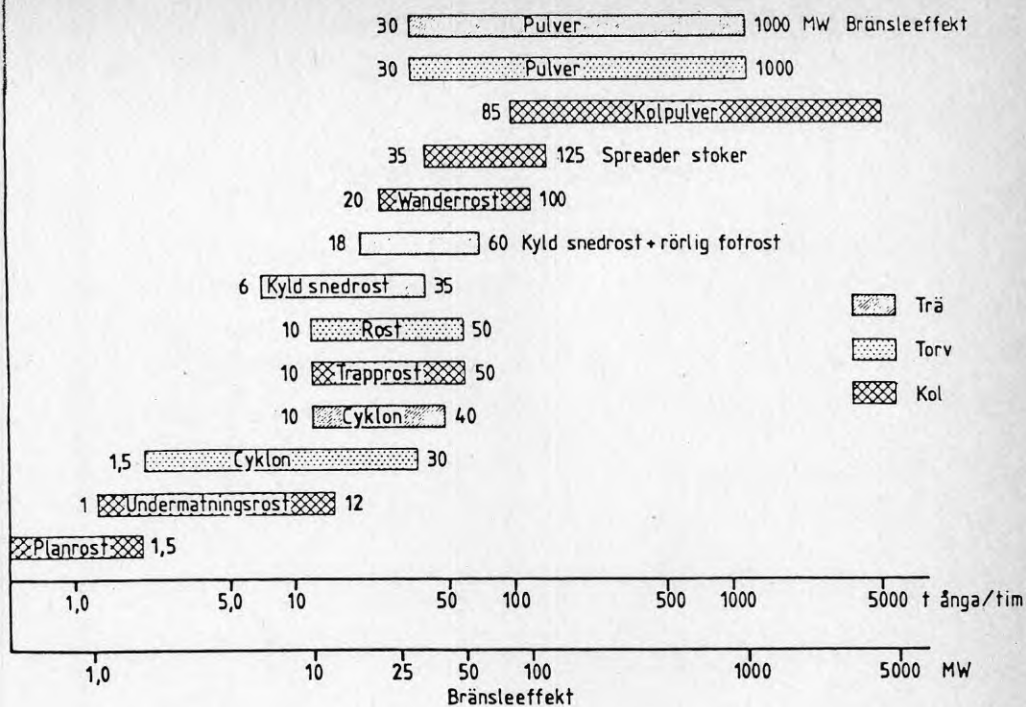
#### 6.3.1 Sammanfattning

Fasta bränslen förbränns i regel på olika typer av roster, d v s stavar eller tuber som bär bränslebädden och är lagda på sådant sätt att en del av förbränningsluften kan tillföras genom bädden.

Bästa förbränningsresultatet uppnås med rörliga roster, eventuellt i kombination med fasta roster, till priset av högre investeringskostnader. En fast rost används mest på mindre anläggningar och där man är säker på att få elda ett homogent, gärna torrt, bränsle. Rosten är en mycket viktig komponent för pannans funktion och bör ägnas stor omsorg vid dimensioneringen av pannan.

Det finns en mängd olika rosttyper med olika egenskaper. Exempel på hur olika förbränningsanordningar för fasta bränslen kan användas i olika effektregister visas i figur 6.16.





Figur 6.16 Olika förbränningsmetoder för fasta bränslen. ASEA-ATOM och Värmeverksföreningen

### 6.3.2 Inledning

Fasta bränslen kan förbrännas på rost, i suspension (pulvereldning) i cykloner eller i fluidiserade bäddar (svävbäddar). Horizontella cyklonugnar och renodlad pulvereldning kräver en sönderdelning till små partiklar vilket medför en dyr malnings- och hanteringsutrustning som endast kan betalas i en större skala.

Fluidiserade bäddar är i princip möjliga för alla bränslen. Den har ansetts som en mycket lovande förbränningsanordning under de senaste 15 åren men har ännu inte fått sitt definitiva kommersiella genombrott. Fluidiseringstekniken med några tillämpningsexempel kommer att beskrivas i avsnitt 6.3.5.

Med rost i samband med förbränningsteknik menas ett gallerverk på vilket bränslebädden vilar. Genom öppningar i rosten strömmar en del av luft som fordras för bränslets förbränning.

För att uppnå ett gott förbränningsresultat ska varje bränslepartikel nås av lagom mycket luft. För mycket luft ger förluster och för lite luft ger sotbildning m m. För att underlätta för luften att träffa bränslepartiklarna byggs ibland rosten upp av stavar som kan röra sig och "vältra om" bränslebädden.

En del av bränslet förgasas från bäddytan och brinner ovanför rosten. För att även denna del av förbränningsförloppet ska bli effektivt fordras att luft tillförs även ovanför bädden. Denna luft brukar kallas sekundärluft till skillnad från luften genom rosten som kallas primärluft.

För att skilja mellan olika typer av roster kan man dela in dem på flera olika sätt, t ex

plana - sneda roster  
 fasta - rörliga roster  
 över - tvär - undermatade roster

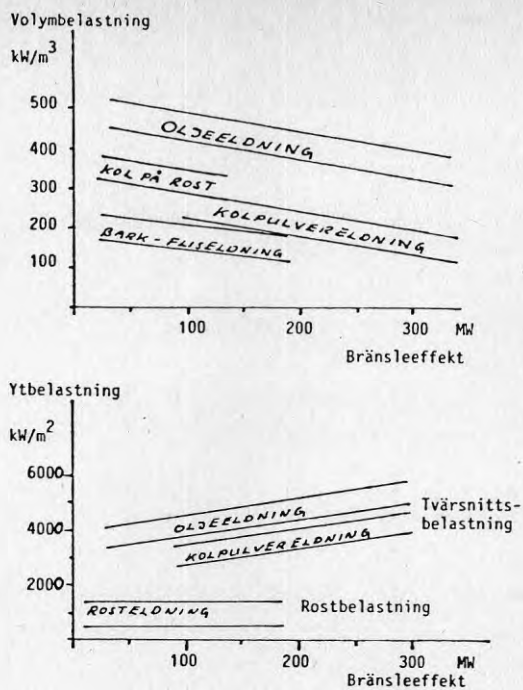
Vad de olika begreppen innebär kommer att framgå av de följande beskrivningarna.

Rosteldning eller fastbränsleeldning överhuvudtaget innebär att pannans prestanda blir lägre än för oljeeldning. Prestanda eller belastningar för pannan uttrycks antingen som frigjord effekt per volymsenhet i förbränningsrummet, (volymsbelastning) eller som frigjord effekt per ytenhet av rosten eller per ytenhet av pannans tvärsnittsarea (yt- eller tvärsnittsbelastning). På figur 6.17 visas volyms- och ytbelastningar för olika eldningsanordningar

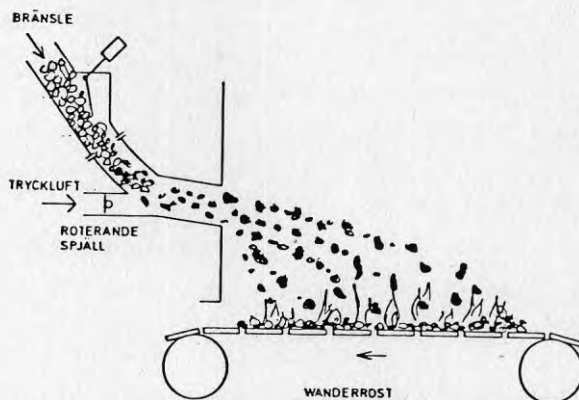
### 6.3.3 Matningsriktning

#### Övermatning

Övermatning innebär i detta fall att bränslet tillföres ovanifrån med hjälp av en mekanisk eller pneumatisk kastapparat, figur 6.18. Denna typ av bränsleinmatning kallas ofta "spreader stoker".



Figur 6.17 Eldstadsbelastningar vid några olika förbränningsmetoder enligt Rörgren.



Figur 6.18 Spreader stoker. Bränsleinmatningen sker här pneumatiskt och slutförbränningen sker på en wanderrost. ASEA-ATOM och Värmeverksföreningen.

De finfördelade bränslepartiklarna förbränns svävande i luften medan de grövre partiklarna faller ned på en fast, vibrerande eller mot kastriktningen rörlig rost där slutförbränningen sker.

Det finns så gott som ingen erfarenhet av spreader stokers i Sverige. Den inmatningsformen är dock mycket vanlig i USA och används i stor utsträckning för kol, bark, flis m fl bränslen.

En tämligen utbredd uppfattning i Sverige tycks vara att spreader stokers endast kan användas över 30 - 40 MW. I USA används den från de minsta pannorna med fasta planroster (någon MW) upp till ca 80 MW där pulvereldning blir mera gynnsam.

Övermatning där en del (25-50 %) av bränslet förbränns i suspension leder till relativt tunna bränsleskikt på rosten vilket i sin tur gör att pannan svarar relativt snabbt på belastningsändringar. Bädden brinner i regel ut inom ett par minuter efter det att bränsletillförseln stoppats. Minimilasten för en spreader stoker är ca 20 % av fullast.

Lufttillförseln är uppdelad dels på primärluft genom rosten (ofta något förvärmad) och dels på sekundärluft (overfire air) som tillförs ovanför bädden och ofta ovanför bränsleinmatningen för att skapa turbulens och förbättra utbränningen. Suspensionsförbränningen medför i regel att en del oförbrända partiklar följer med rökgaserna vilket innebär en verkningsgradsförsämring och en miljöbelastning. Beroende på bränslestorlek m m kan upp till 8 % av bränslet lämna eldstaden oförbränt. Genom att återföra stoft från fickor i pannans konvektionsytor och stoftavskiljaren till rosten kan man förbättra verkningsgraden med 2-4 %. Detta arrangemang innebär att anläggningen blir mer komplicerad och dyrare vilket framför allt påverkar mindre anläggningar.

Slutförbränningen sker på rörliga eller fasta plana roster. I figur 6.18 visades en wanderrost d v s en plan rostmatta som rör sig mot kastriktningen. Vid främre vändpunkten för rostmattan bör allt bränsle vara slutförbränt och askan faller ned i en ficka för utmatning ur pannan.

Andra roster beskrivs i följande avsnitt.

En trevlig egenskap hos spreader stokern är att flera olika bränslen kan eldas samtidigt dock måste varje bränsle ha sin egen kastapparat.

#### Tvärmatning

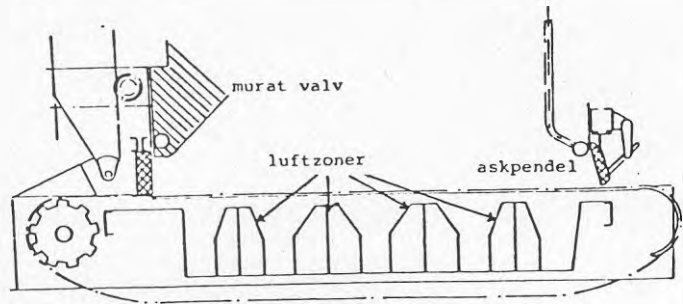
Till tvärmatning räknas i detta fall alla förbränningsanordningar där bränslet tillförs och rör sig genom eldstaden i ett plan, t ex kedjerost, lutande tubroster m m. Vissa av dessa, t ex wanderrosten brukar i andra sammanhang hänföras till övermatningsrost, speciellt som man ofta delar in förbränningsanordningarna i över- och undermatade. Då bränslet passerar in i eldstaden "på tvären" kan det vara logiskt att införa denna tredje indelningsgrund, tvärmatning.

Pannor med tvärmatning byggs i storlekar från ca 3 MW upp till drygt 100 MW. Eftersom denna kategori omfattar även fasta och rörliga snedroster kan i stort sett alla fasta bränslen förbrännas. En rörlig plan rost kan hantera så gott som samtliga fasta bränslen. Används fasta snedroster skall rostens lutning anpassas till bränslets rasvinkel vilket ger en begränsad flexibilitet beträffande bränsleval.

Tvärmatningsanläggningar måste dimensioneras så att bränslet hinner genomgå alla faserna: torkning-avdrivning och slutförbränning innan det når fram till askutloppet. Man får för effektreglering variera bränsleskiktets tjocklek och i vissa fall rostens rörelsehastighet. Gemensamt för alla dessa typer är att det finns ganska mycket bränsle i eldstaden samtidigt vilket gör att belastningsändringar måste ske relativt långsamt.

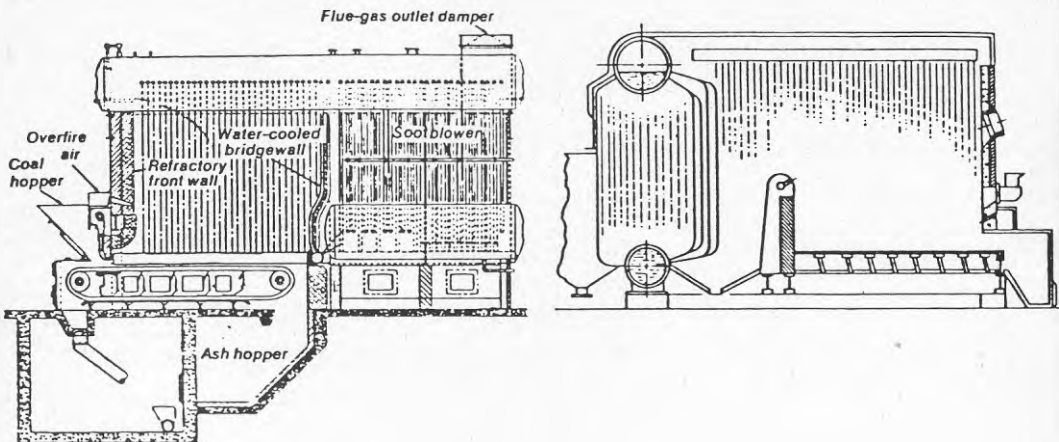
Förbränningsluften tillförs genom rosten som primärluft och ovanför bränslebedden som sekundärluft. Lufttillförseln genom rosten är ofta uppdelad på flera individuellt reglerbara zoner för att förbränningsresultatet skall bli det bästa. På figur 6.19 visas

lufttillförseln under en wanderrost som exempel. Vid fuktiga bränslen och för att underlätta antändning brukar förbränningsluften förvärmas till ca 150°C.



Figur 6.19 Principutförande av wanderrost.

Hur wander eller kedjerosten placeras in i pannan visas i figur 6.20 (vänstra delen av figur). I högra delen visas en planrost uppbyggd av gjutjärnsstavar där kolet transporteras längs rosten genom att den vibrerar.



Figur 6.20 Fabriksmonterade ångpannor med wanderrost (till vänster) och en vibrerande rost.

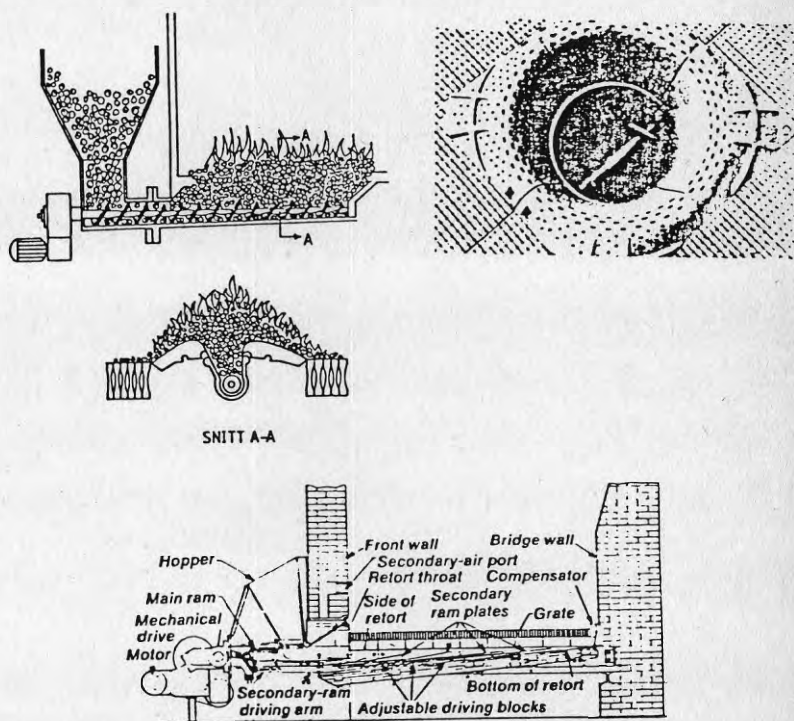
Antändning sker vanligtvis genom värmestrålning från bränsle som ligger längre in i pannan. Ofta muras valv kring bränsleinloppet för att bränslet inte skall kylas i början utan snabbt torka och antändas. I detta sammanhang kan även påpekas att t ex alltför rikligt med primärluft försvårar antändning genom att det råa bränslet kyls för kraftigt.

## Undermatning

Vid undermatning tillförs det "råa" bränslet underifrån upp i en ränna, "retort", varifrån det väller över kanten och ner på en rost, figur 6.21.

Undermatning förekommer från de allra minsta pannorna (villa-pannor) upp till ca 15 MW (enkel-retort) eller ca 150 MW (multipel-retort). Några stora multipel-retortanläggningar kommer förmodligen inte att byggas mer.

Undermatning används för kol, bark (t ex i Axon-ugnen) och flis (åtminstone i små anläggningar).



Figur 6.21 Undermatning. Överst med skruv till längsgående respektive cirkulär retort och underst med en fram och återgående kolvmatare.

Bränsle kan tillföras genom kolvmatning där plattor utrustade med snedställda klackar forslar fram materialet, ett annat vanligt sätt är tillförsel med skruv. Rosten kan vara horisontell eller luta från retorten (som på figuren) antingen åt ena eller båda sidorna. Plana roster måste i regel askas för hand. Lutande roster kan förses med automatisk utaskning. Små pannor för träbränslen har ofta planrost på grund av de låga askinnehållet.

Utaskning från plana roster kan ske genom att rosten öppnas så att askan faller ned i underliggande ficka (dumprost). För att utaskning ska kunna ske måste bränslet på hela rosten vara utbränt vilket medför ett intermitterent förbränningsförlopp. Större planroster kan göras zonindelade där varje zon har sin egen bränsletillförsel och dumpmekanism. Då behöver endast en zon i taget ställas av för utaskning.

#### 6.3.4 Rosttyper

##### Allmänt

I det tidigare avsnittet om inmatningssystem har redan rosten berörts vid ett flertal tillfällen. Vissa rosttyper kan passa till alla inmatningstyper. Beroende på pannstorlek, bränsleslag m m har olika roster olika egenskaper. De roster som är mest flexibla med hänsyn till bränsleval är wander- och kedjerosterna.

En bit på väg mot en allbränslepanna kan man också nå med en mekanisk spreader stoker för kol och en pneumatisk inmatning i samma panna för trä- eller avfallsbränslen och t ex en wanderrost för slutförbränning. Med rörliga snedroster kan också flera olika bränslen förbrännas godtagbart. Rostens rörelsehastighet och bränsleskiktets tjocklek måste dock kunna regleras.

Rosten har en dubbel uppgift, dels skall den bära bränslet och dels skall förbränningsluften kunna fördelas jämnt genom bränslebädden.

Som framgår av det ovanstående kan roster delas in i fasta och rörliga. I vissa fall görs en uppdelning mellan kylda och okylda vilket kan ha betydelse för bränslets torknings- och antändningshastighet samt rostbelastningen.

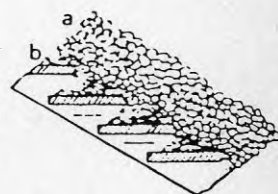
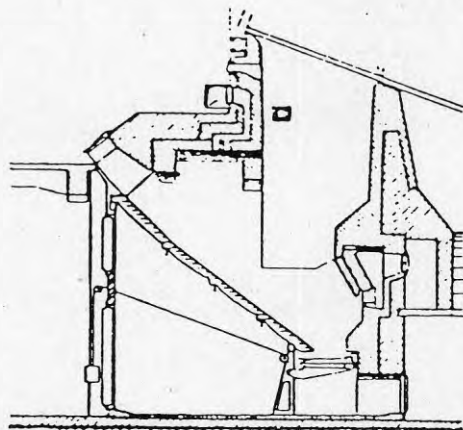


Några olika rosttyper har redan beskrivits. I fortsättningen kommer denna beskrivning att kompletteras genom att rosterna behandlas med utgångspunkt från om roststavar är fasta eller rörliga. En rörlig rost medger en bättre utbränning och är mindre känslig för variationer i bränslekvalitet. En fast rost kan ge bra förbränningsresultat med ett väl specificerat homogent bränsle. Den rörliga rosten är givetvis betydligt dyrare än den fasta.

#### Fasta roster

Den enklaste rosten är en plan rost bestående av gjutna järnstavar med distansklackar för att få lagom luftgenomsläpp. Denna rosttyp kräver manuell bränsle- och askhantering och lämpar sig endast för mycket små anläggningar. Den kan möjligen också användas för träbränslen (med låga askhalter) tillsammans med en undermatningsstoker (typ Axon-ugn).

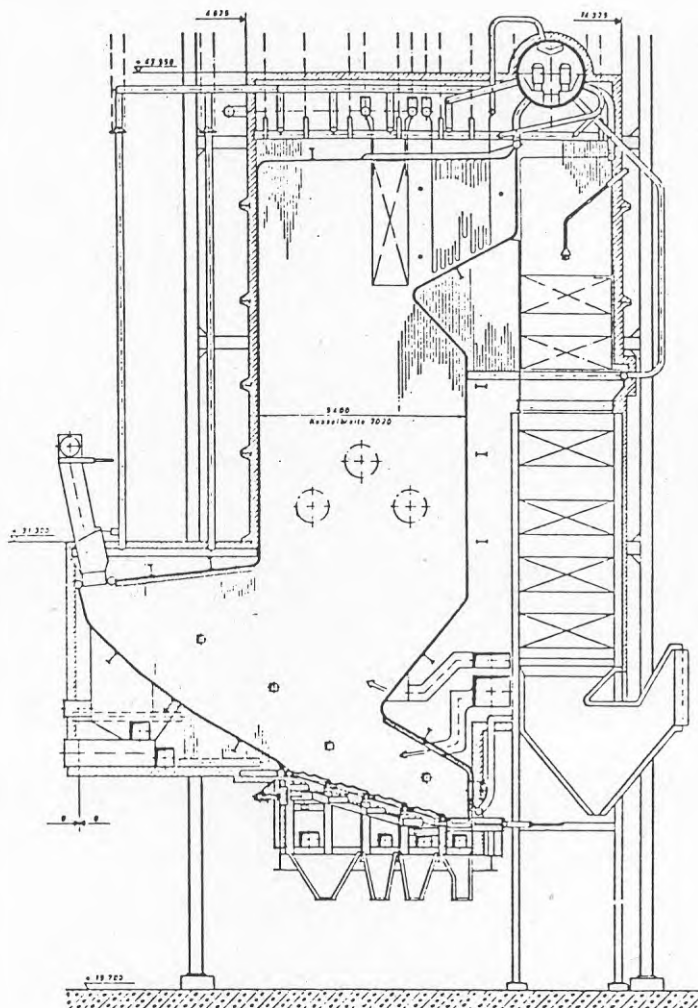
Vanligare än den plana rosten är snedrosten bestående av stavar, figur 6.22, eller vattenkylda tuber, figur 6.23.



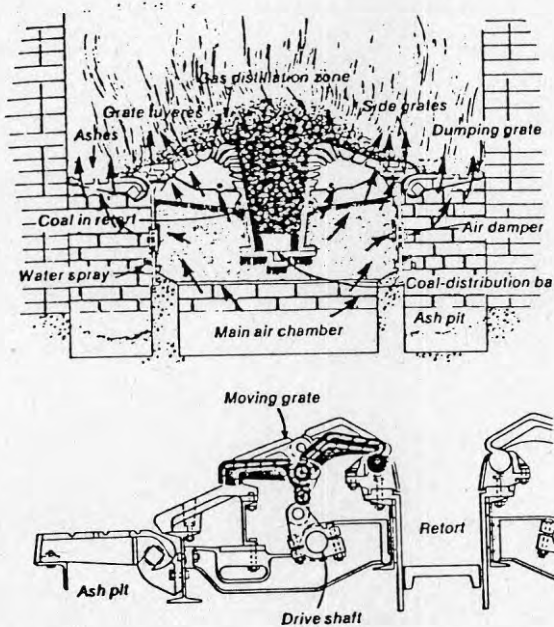
Kolbädd i trapprost

- a. bränslebädd
- b. tändbädd

Figur 6.22 Fast trapprost för koleldning.



Figur 6.23 Angpanna för eldning av träavfall och olja. Träavfallet eldas på en fast tubrost med en rörlig slutförbränningsrost av fabrikat Kablitz. (Svenska Maskinverken)



Figur 6.24 Undermatad rörlig rost. Utanför den rörliga rosten finns en plan slutförbränningsrost av dumptyp d v s den kan öppnas och tippa ned askan i en underliggande ficka.

Rostens lutningsvinkel skall vara något mindre än det färska bränslets rasvinkel (vilket begränsar möjligheten att elda olika bränslen på samma rost). Utbränningen är ofta dålig på fasta roster och för att få en effektivare slutförbränning förses pannan ofta med en rörlig fotrost (slutförbränningsrost), figur 6.23.

Ett mellanting mellan fast och rörlig rost är vibrationsrosten. Den består av en "vanlig" plan- eller snedrost som är flexibelt upphängd i pannkonstruktionen och är försedd med en vibrations-generator (motor med obalansvikt). Rosttypen är numera relativt sällsynt.

Fasta snedroster (möjligen med rörlig slutförbränningsrost) är vanligt förekommande vid flis-, torv- och barkeldning.

#### Rörliga roster

En typ av rörlig rost är kedje- eller wanderrosten. Ur förbränningsteknisk synpunkt är dessa roster närmast att betrakta som en transportanordning för bränslen. För att nå goda resultat vid fuktiga eller askrika fordras att rosten mer aktivt vältrar och rör om i bränslebädden som t ex kablitz-rosten i figur 6.23. Denna rost består av individuellt rörliga, hydrauliskt drivna roststavar.

En annan typ av rörlig rost som används i samband med undermatade roster visas i figur 6.24. Rosten lutar i detta fall ut från retorten där bränslet tillförs. Utaskning sker i det visade fallet genom att den yttersta plana delen av rosten är byggd som dumprost.

### 6.3.5 Fluidiserad bädd

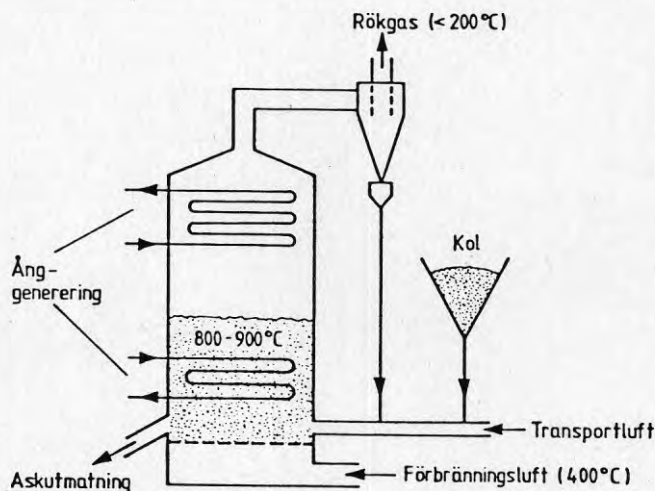
Fluidiserad bädd är som fenomen inte alls något nytt utan har förekommit inom kemiska industrin under flera decennier.

I förbrännings-sammanhang lanserades bädden för 15-20 år sedan främst av skälet att pannorna skulle kunna byggas mycket kompakta på grund av höga värmeövergångstal. Senare ansågs de största fördelarna med fluidiserad bädd vara att man genom inblandning av dolomit eller kalksten skulle kunna binda det svavel som finns i vissa bränslen.

Idag har tekniken passerat prototypstadiet och håller på att etableras kommersiellt. Erfarenheterna världen över är något blandade och i dagsläget fordras egentligen någon extra pådrivande faktor, som t ex svavelhaltigt bränsle eller dylikt, för att en anläggning ska komma till stånd. Den är fortfarande betydligt dyrare än motsvarande rosteldade anläggningar.

Ett omfattande utvecklingsarbete pågår världen över och metoden anses fortfarande vara lovande för t ex "allbränslepannor" eller för pannor som ska eldas med bränslen med höga svavelinnehåll.

Principen för en fluidiserad bädd framgår av figur 6.25.

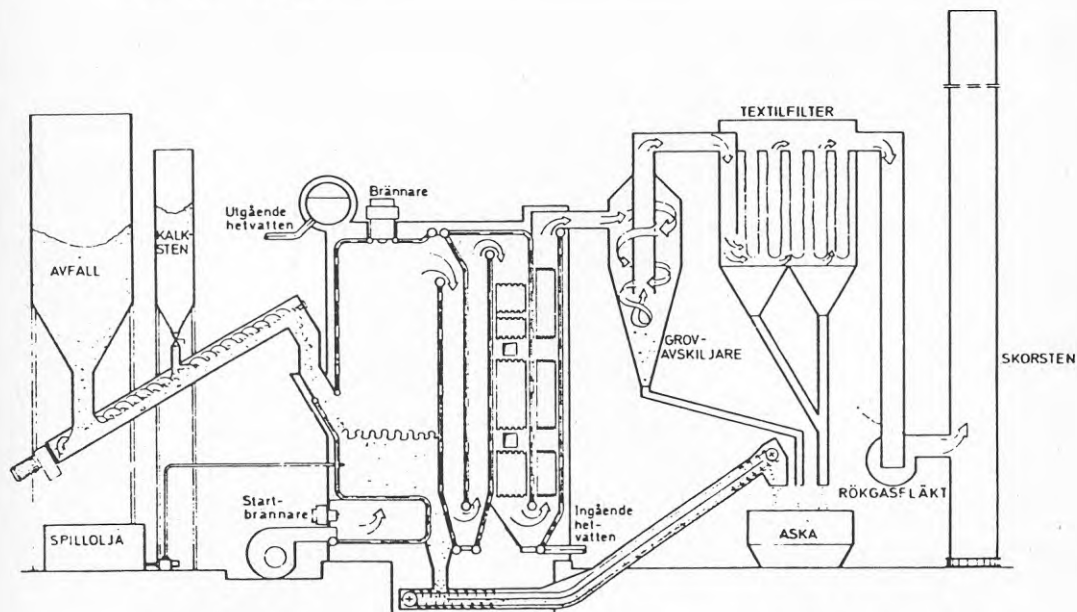


Figur 6.25 Princip för virvelbäddspanna eller fluidiserad bädd. ASEA-ATOM och Värmeverksföreningen.

Bädden består till största delen av aska eller vid bränslen med låga askhalter av sand. När luft blåses genom bädden kommer de fasta partiklarna att skiljas åt och sväva eller flyta på luftströmmen. Genom att tillföra bränsle till denna bädd, antingen med tryckluft i bädden som i figuren eller uppifrån, kommer en förbränning att ske i bädden. På grund av den effektiva blandningen i bädden är värmeövergångstalet till slingorna i bädden höga och man får en kompakt panna.

Bäddtemperaturen varierar något beroende på bränsle- och askgenskaper. En kolbädd där man önskar binda svavel bör ha en temperatur på mellan 800-900°C för att svavelbindningen ska vara effektiv. Även bildning av kväveoxider (NOx) är låg vid dessa temperaturer vilket också är gynnsamt ur miljösynpunkt.

En intressant anläggning uppbyggd kring en fluidiserad bädd togs i drift i Eksjö i slutet av år 1979. I anläggningen eldas avfall (hushållssopor), bark och flis i en bäddpanna av Generators konstruktion, figur 6.26. Pannans effekt är 5 MW vid fastbränsleeldning eller 10 MW vid oljeeldning (toppbrännaren). Vid start värms bädden upp till ca 550-600°C med hjälp av en speciell startoljebrännare innan bränslet tillförs uppifrån via ett stup.



Figur 6.26 Schema över förbränningsanläggning för avfall och flis. Generator.

Som framgår av figuren har mycket möda ägnats åt att eliminera de problem som lätt uppstår vid stofthaltiga gaser. Anläggningen är utrustad med en grovavskiljare (cyklon) och textilfilter på stoftsidan, möjlighet att återföra ev oförbränt stoft från grovavskiljaren och botten på de vertikala stråken till bädden m m. Denna utrustning har bidragit till att anläggningen blivit dyr men stora krav har ålagts anläggningen av de naturvårdande myndigheterna med tanke på avfallsförbränningen.

#### 6.4 Förbränningsrummet

##### 6.4.1 Sammanfattning

Inom det behandlade storleksområdet, upp till ca 25 MW, är endast någon form av rosteldning aktuell.

Fuktiga bränslen eldas i murad förugn utan värmeupptagning. Vid små pannor (villapannor) ligger gränsen för möjlig direkteldning i pannan runt 30 % fukthalt medan man vid större pannor där man kan mura in valv kan höja gränsen till 45-50 %. I vissa fall utgörs eldstaden helt enkelt av en murad "förugn" som har byggts på i nedre delen av pannan.

Bästa förbränningsresultaten, speciellt om bränslekvaliten varierar, får man med rörliga roster.

Även fluidiserade bäddar installeras som förugnar eller integrerade i pannorna. Kylningen sker dels med hjälp av eldrummets väggar (som måste vara kyllda). Vid högvärdiga bränslen förses dessutom bädden med kylslingor.

##### 6.4.2 Allmänt

Förbränningsrummets utseende och egenskaper påverkas av flera olika faktorer. En av de viktigaste är bränslets fukthalt. Vid ett fuktigt bränsle får inte bränslebädden omges av kyllda ytor

för att bränslet ska kunna torkas och antändas. Bädde n bör då omges av t ex ett murverk vilket vanligen åstadkoms genom att en murad ugn placeras bredvid eller under pannan.

Andra faktorer som påverkar valet är helt enkelt pannkonstruktionen. Många pannor som från början är byggda för oljeeldning kan helt enkelt inte byggas om för direkteldning med fast bränsle i pannan utan man blir hänvisad till en förugn. Ugnarna är ofta helt murade och har således inte någon värmeupptagning vilket medför att man inte kan utnyttja torrt bränsle utan att installera kylning i ugnen. I vissa fall kan "normala" oljeeldade pannor genom en förlängning nedåt förses med en ny bottensektion med fast eller rörlig snedrost. Man kan även i sådana fall ha tillbyggnaden murad och ha murade valv i fram- och bakkant av rosten (för att kunna bränna fuktigt bränsle). Hela konstruktionen får då förugns egenskaper men är hopbyggd med pannan och man skulle kunna tala om integrerad förugn.

Vilken av de båda konstruktionerna som är bäst är svårt att säga. Det finns ingen konstruktion som idag bränner alla bränslen från kol till fuktig bark eller torv på samma rost. Är eldstaden kyld lämpar den sig för kol och torrt bränsle medan det fuktiga bränslet knappast brinner. Å andra sidan kan man inte elda kol eller annat torrt bränsle i en murad förugn utan att få oacceptabelt höga temperaturer.

Jämfört med en oljeeldad panna måste den fastbränsleeldade pannan, vare sig förbränningen sker i förugn eller direkt i pannan, dimensioneras upp på gassidan då gasflödet per producerad effektenhet är större än vid motsvarande oljeeldade panna.

Vid fluidiserade bäddar utgörs förbränningsrummet av själva bädden och ett "free board" (utrymmet ovanför bädden).

Detta kan antingen ställas upp vid sidan av pannan som en förugn eller byggas inuti själva pannan som i de visade figurerna. Skälet till detta är nu inte att åstadkomma något visst torkningsförlopp utan snarare att anpassa bädden till någon utvecklad pannkonstruktion.

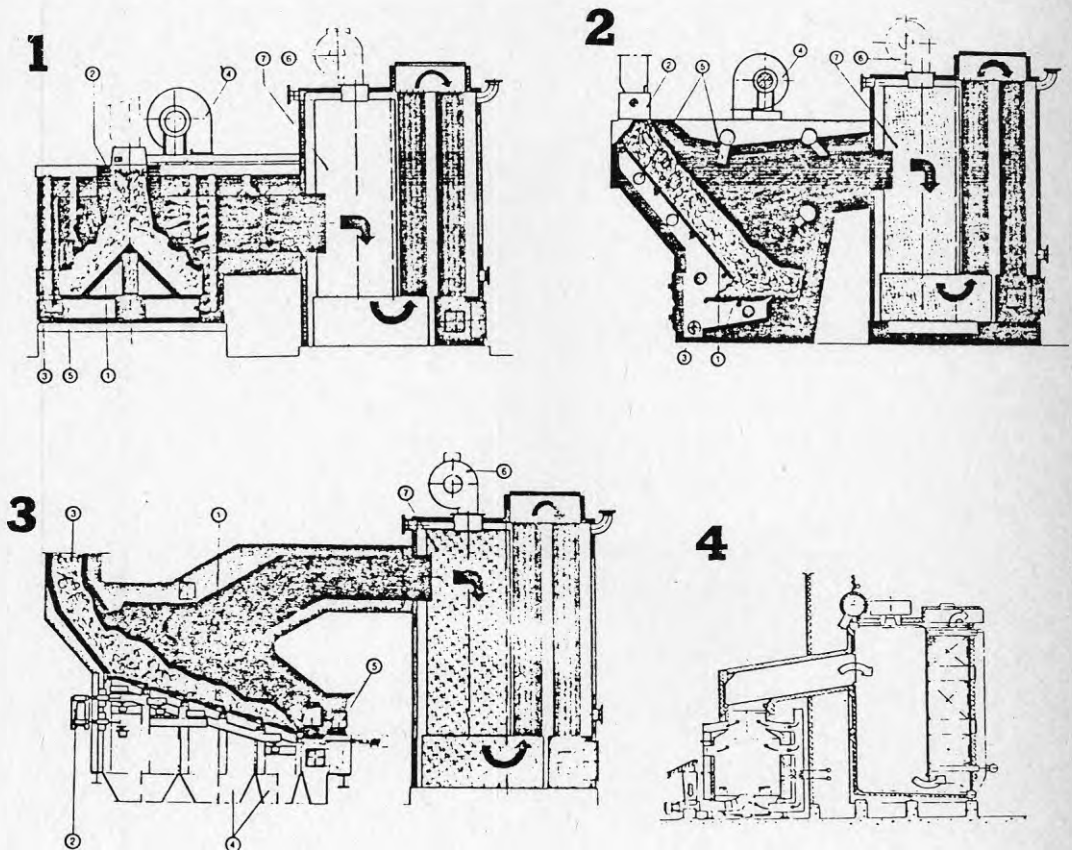


Väggarna till förbränningsrummet (ovanför bädden) bör alltid vara kyllda. Vid högvärdiga bränslen som kol eller olja bör dessutom bädden förses med kylslingar för att bäddtemperaturen ska kunna kontrolleras.

### 6.4.3 Föruugn

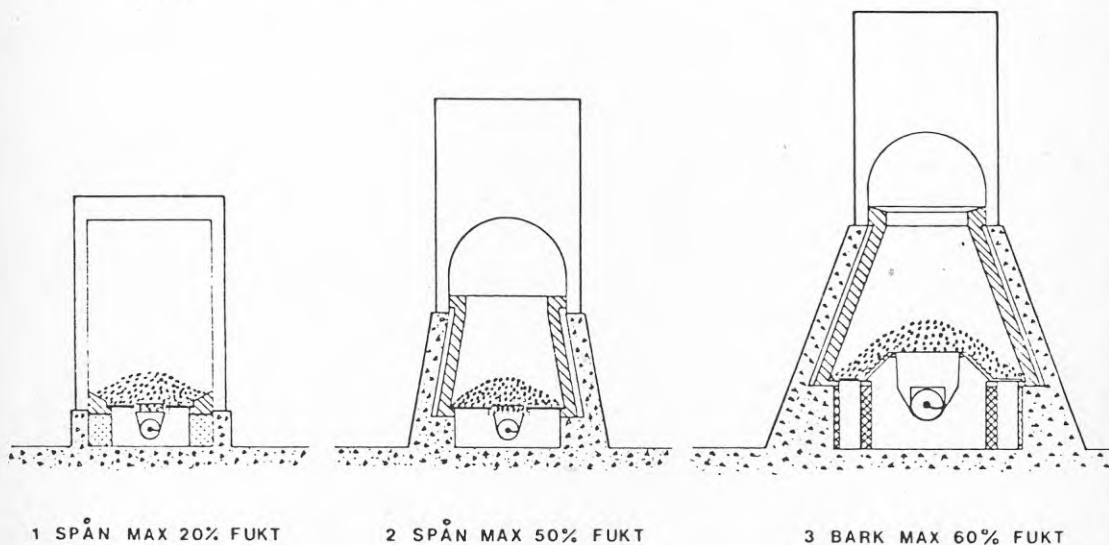
Det finns ett otal utföranden av förugnar. Normalt är dessa murade (okyllda) och avsedda för fuktiga bränslen men i de fall det gäller komplettering av existerande oljepannor för fastbränsleledning med torra bränslen kan kylning bli nödvändig.

Figur 6.27 visar några exempel på fristående förugnar för eldning med fuktiga bränslen.



Figur 6.27 Olika förugnar. 1) konisk centrirost (Witermo), 2) fast tuburost med zonindelad lufttillförsel (Witermo), 3) mekanisk rost och 4) fristående murad cyklonugn. axonugn.

Hur den integrerade förugnen utvecklas beroende på fukthalten för en och samma panna visas i figur 6.28. För torrt bränsle sker förbränningen direkt i den kylda eldstaden medan de fuktiga bränslena förbränns i murade eldstäder eller ugnar under pannan. Dessa ugnar skulle lika gärna kunna ligga framför pannan.



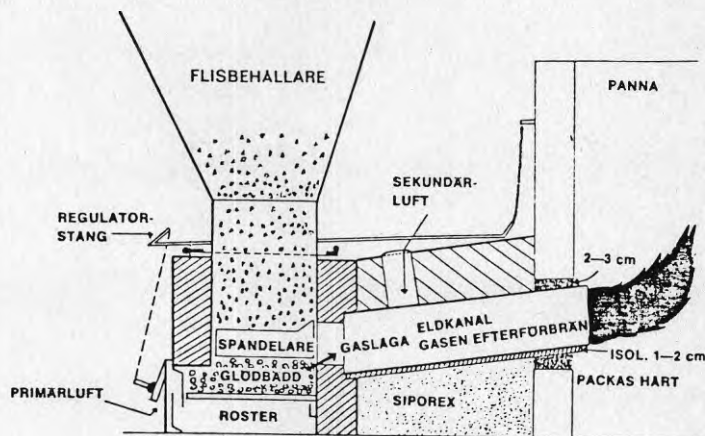
Figur 6.28 Olika eldstadstyper för träbränslen med varierande fukthalt. Det sektionerade partiet anger murverk. AV-Halmstad.

Gemensamt för de flesta förugnar är att primärluft tillförs genom rosten och att sekundärluft tillförs ovanför bränslebädden. I vissa fall tillförs dessutom tertiärluft för slutförbränning i förbindelsekanalen till pannan.

De visade figurerna är endast ett litet urval av alla förugnar som finns. De flesta ugnarna byggs dock enligt någon av de visade principerna.

Även ugnar för villapannor är konstruerade på liknande sätt även om rosterna där är plana och undermatade (i regel). En något avvikande konstruktion visas i figur 6.29 där flisen av sin egen tyngd faller ned i förbränningszonen via en spändelare.

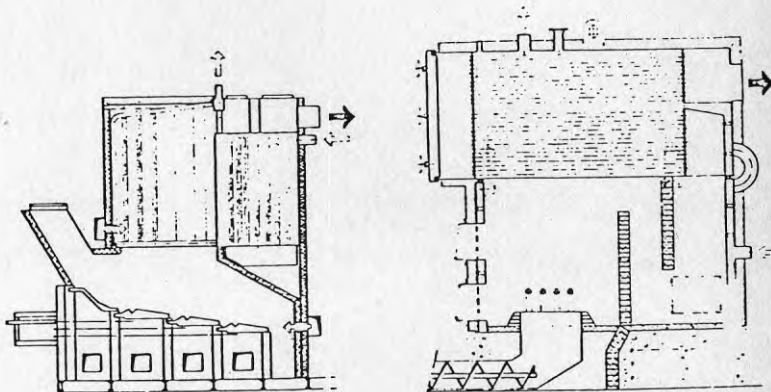
Effektutvecklingen kan regleras i någon mån genom att rosten kan höjas eller sänkas.



Figur 6.29 Förugn för villapanna. Flisinmatning sker genom tyngdkraften som fyller på flis i ugnen alltefter den förbränns. IWABO.

#### 6.4.4 Direkt eldning i pannan

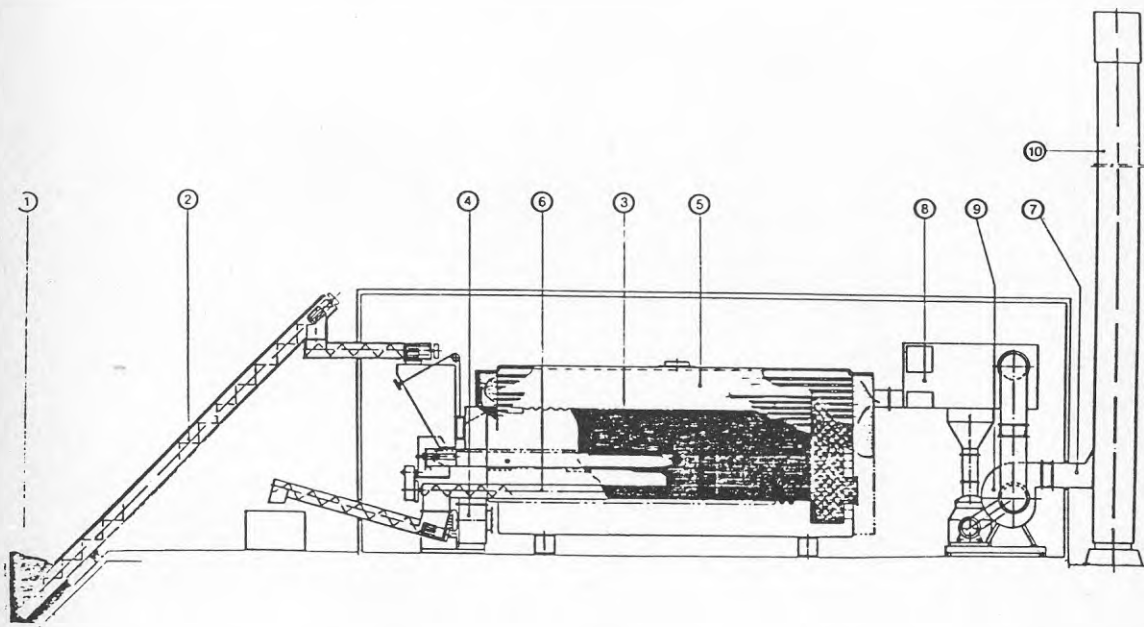
Torrt bränsle kan eldas på rost direkt i den kylda eldstaden. Rosttypen varierar från snedroster vid större effekter till plana roster vid små effekter. Figur 6.30 visar exempel på dels en rörlig snedrost och dels en undermatad rost.



Figur 6.30 Direktförbränning i pannan. Den vänstra delfiguren är egentligen en integrerad murad förugn i direkt anslutning till pannans eldstad. Witermo.

Vid mindre pannor (villapannor-fastighetspannor) sker förbränningen i regel på fast planrost i plåtpannor eller gjutna pannor. Bränslet skruvas oftast in eller tillförs med "störtrör" ovanifrån.

Även de till synes trånga eldrörspannorna kan byggas om till fastbränsleeldning. Figur 6.31 visar en liggande eldrörs-rökrörspanna med en kedjerost för koleldning inlagd i eldröret. Under rosten går ett band, skruv eller skrapspel framåt i pannan för transport av askan. Om torv eller träbränsle ska förbrännas i en anläggning med eldrörspannor är det i regel enklare att använda förugn.



Figur 6.31 Koleldad eldrörspanna. 1) bränslefförråd, 2) bränsleinmatning, 3) rost, 4) luftfläkt, 5) panna, 6) askutmatning, 7) rökgaskanal, 8) stoftavskiljare, 9) rökgasfläkt och 10) skorsten. (Witermo)

## 6.5 Miljöaspekter

### 6.5.1 Sammanfattning

Jämfört med en oljeeldad anläggning innebär krav på stoftavskiljning en komplikation. Träbränslen och framför allt torv har betydligt högre askhalter än olja och måste förses med stoftavskiljare. Hittills har det i regel varit tillräckligt med relativt enkla stoftavskiljare av cyklontyp som varit aktuella vid torv- eller träbränsleeldning med max 25 MW effekt. Naturvårdsverket har nyligen föreslagit skärpta krav på stoftavskiljning med bakgrund mot främst metallinnehållet i askan. Går förslagen igenom måste en torveldad panna med 25 MW effekt utrustas med en högeffektavskiljare (elektrofilter eller slangfilter).

Inget av de inhemska bränslena innehåller några större mängder svavel och askan har till och med i de flesta fall visat sig vara basisk.

Beträffande NO<sub>x</sub><sup>1)</sup> och PAH<sup>2)</sup> emissioner så medför en övergång till inhemska bränslen en förbättring jämfört med dagsläget för NO<sub>x</sub> medan PAH-halten i rökgaserna blir betydligt högre.

PAH-utsläppen från i stort sett alla förbränningsanläggningar är relativt dåligt utforskade och man känner idag inte till någon säker metod för att driftmässigt minska utsläppen. Om det är möjligt att öka förbränningstemperaturen minskar PAH-halten men då ökar samtidigt NO<sub>x</sub>-halten.

Några normer för utsläpp av PAH och NO<sub>x</sub> från anläggningar för inhemska bränslen finns inte idag.

### 6.5.2 Buller

En förbränningsanläggning för fasta bränslen förorsakar inte högre bullernivåer än medeltung industriell verksamhet.

1) Kväveoxider (nitrosa gaser)

2) Polyaromatiska kolväten (kan ge cancer)

Den största bullerkällan för omgivningen blir förmodligen de tunga transportfordon som svarar för bränsletillförseln till centralen. Hantering i lager kan också skapa visst buller t ex om en större frontlastare behöver användas nattetid.

Spridning av det buller och slammer som alltid uppkommer vid grövre hantering kan förhindras genom att bullervallar läggs upp.

Huggs flis inom området måste speciell hänsyn tas till bulleremissioner, vilket gör att anläggningen måste ligga längre från bostadsbebyggelse än vad annars skulle behöva vara fallet.

I ett normalfall kommer den högsta bullernivån i omgivningen att orsakas av rökgasfläkten vars buller sprids från skorstens-  
toppen. Några oacceptabelt höga ljudnivåer i bostäder på ca 300 m avstånd kommer dock inte att orsakas av detta.

Internt buller är i många fall svårare att eliminera. De största bullerkällorna är fläktar, hydraulaggregat och vissa större motorer. Vid behov kan även dessa bullerkällor kapslas in med ljudabsorberande material. Då den personal som är verksam i anläggningen normalt befinner sig i ett kontrollrum och endast kortvarigt befinner sig ute i själva anläggningen är inte heller internt buller något problem.

### 6.5.3 Dammning

Det bränsle som medför största problemet ur dammningssynpunkt är torv, speciellt i form av frästörv. Detta innebär att transport och hantering bör ske med täckta bilar respektive täckta eller kapslade transportörer. Mottagningsfickan bör byggas in med ett portsystem som är stängt då tippning sker.

Genom att försöka undvika onödiga hyllor och göra inkapslingar och kåpor med släta ytor går det lätt att hålla rent i centralen.

Flis är ur damningssynpunkt ett betydligt trevligare bränsle. Den allra finaste fraktionen, "trämjölet", kan fångas av vinden vid tippning och ge en viss markbeläggning i närheten av mottagningsfickan och dylikt. Några olägenheter för omgivningen bör dock inte uppstå.

Beträffande de hittills i liten omfattning använda bränslena halm och vass finns egentligen inte någon erfarenhet beträffande damning. Båda bränslena kommer dock att användas i relativt stora bitar. Speciellt vass är dock mycket lätt och om delar av vassen krossats vid hanteringen kommer den fina fraktionen att blåsa bort vid tippning eller annan oförsiktig hantering.

#### 6.5.4 Stoftemissioner

Inverkan av bränsleslag och eldningsmetod

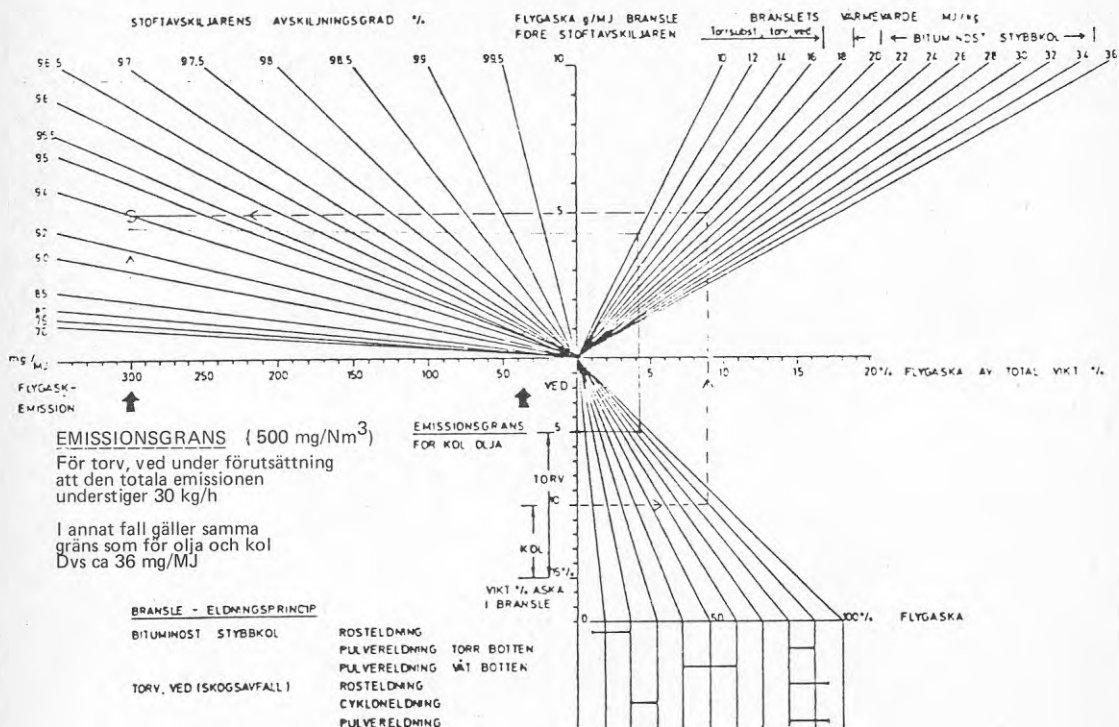
Bränsleslaget är intressant ur stoftemissionssynpunkt av två skäl. Det främsta är hur mycket tungmetaller eller andra icke önskvärda ämnen som finns i bränslet och kommer att följa med stoftet. Ett andra skäl är hur mycket aska som rycks med vid förbränningen.

I det andra fallet spelar eldningsmetoden kanske väl så stor betydelse men även bränslets form och askinnehåll inverkar.

Torv är ett lätt bränsle och över 80 % av askan förekommer som flygaska d v s den följer med rökgaserna både vid rost och pulvereldning. Eldas torv i cyklon fås endast en ca 20 % av askan som flygaska resten tappas av i flytande form ur cyklonen.

Nuvarande normer medger stoftutsläpp från torveldning med ca 300 mg/MJ eller ca 500 mg/nm<sup>3</sup> under förutsättning att den totala emissionen understiger 30 kg/h (vilket motsvarar knappt 30 MW bränsleeffekt med utsläppet 300 mg/MJ). Förslag om att sänka emissionsgränsen för torv till 100 mg/nm<sup>3</sup> har föreslagits (något beslut är inte fattat vid årsskiftet 79/80).

Vad detta innebär för anläggningen kan åskådliggöras med hjälp av ett prognosdiagram för stoftavskiljare, figur 6.32.



6.32 Prognosdiagram för dimensionering av stoftavskiljares avskiljningsgrad vid olika bränslen och eldningsprinciper. ASEA-ATOM och Värmeverksföreningen

För torv med 5 % aska och värmevärdet 10 MJ/kg räcker det att installera en stoftavskiljare med en avskiljningsgrad av ca 93 % för att klara nuvarande normer (a) medan förslaget 100 mg/nm (60 mg/MJ) skulle fordra en avskiljningsgrad av ca 98.5 % (b). För att klara så hög avskiljning fordras att högeffektavskiljare används (se nedan).

För flis gäller även gränsen 500 mg/nm<sup>3</sup> idag medan förslaget anger 200 mg/nm<sup>3</sup>. Då flis har betydligt lägre askhalt kommer inte detta att medföra alltför stora problem. För flis med säg 1 % askhalt (högt värde!) behövs avskiljningsgraden 65 % för att klara dagens norm. Med den föreslagna emissionsgränsen 200 mg/nm<sup>3</sup> skulle avskiljningsgraden behöva ökas till ca 85 % vilket inte torde vara något problem att uppnå med enkla avskiljare.



Anledningen till att nya förslaget skiljer på torv och flis är det högre metallinnehållet i torvaskan.

Det bör kanske påpekas att de höga stoft och askhalterna däri-  
genom innebär ytterligare en komplikation jämfört med en olje-  
eldad panna som idag byggs utan stoftavskiljare i det betraktade  
effektområdet.

#### Stoftavskiljare

De stoftavskiljare som kan förekomma vid fastbränsleeldade an-  
läggningar är

- elektrofilter
- slangfilter
- våtavskiljare (skrubber)
- cykloner

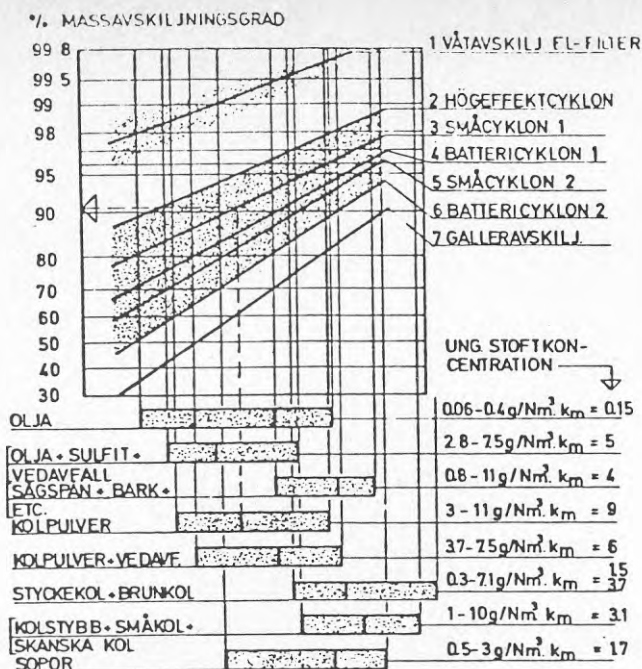
De tre första typerna har hög avskiljningsgrad och högt pris.  
Avskiljningsgraden för dessa är bättre än 99 %, figur 6.33.

Hur pris och avskiljningsgrad varierar för de olika typerna  
framgår även av nedanstående tabell som är omräknade värden  
från en artikelserie i tidskriften Power år 1974.

	Avskilj- ningsgrad %	Tryck- fall mmV <sub>p</sub>	Installations- kostnad kr/(m <sup>3</sup> /h) <sup>1)</sup>
Cykloner	85-95	85-125	0.95-2.80
Slangfilter			
rening med skakning	99	60	2.00-3.35
rening med blåsning	99+	85	2.70-4.00
Elektrofilter	99+	20	2.70-9.40
Skrubber			
lågenergi	95-98	120-370	2.00-4.0
medelenergi	98-99	370-500	2.70-5.40

1) Amerikanska uppgifter år 1974.

Efter en sammanvägning av erforderlig avskiljningsgrad och  
kostnader framstår cyklon och slangfilter som intressantast  
inom det betraktade storleksintervallet. Elektrofilter och  
skrubbers blir i regel för dyra vid små anläggningar, möjli-  
gen kan en 25 MW torveldad anläggning bli utrustad med elek-  
trofilter.



Figur 6.33 Avskiljningsgraden för olika typer av stoftavskiljare. Diagrammet ger en ungefärlig uppfattning av avskiljningsgraden för olika stoftavskiljare. Den undre delen av figuren visar inverkan av kornstorleksfördelningen i stoftet. Finkornigt stoft (vänstra kanten) kan avskiljas till den grad som anges vid skärningen med linjerna för respektive stoftavskiljare. För olja fås t ex 80 % avskiljning av fint stoft i en småcyklon enligt linje 3. ASEA-ATOM och Värmeverksföreningen.

Hur de olika avskiljarna fungerar beskrivs kortfattat i det följande. Skrubbers har utelämnats då de bedöms som ointressanta för de betraktade bränslena.

Cyklonen är en dynamisk avskiljare d v s det är densitetsskillnaden (viktsskillnaden per volymenhet) mellan stoftet och gasen som gör att stoftet kan avskiljas genom avlänkning eller centrifugalkrafter m m.

Ju mindre diameter en cyklon har desto högre blir avskiljningsgraden men desto högre blir också slitaget m m vid grovt stoft.

Man talar om tre typer av cykloner, stora enhetscykloner för stora gasflöden och grovt slitande stoft, battericykloner för måttliga gasmängder och medelgrovt stoft samt småcykloner för små gasflöden per enhet och finkornigt stoft.

Enhetscykloner installeras knappast som enda stoftavskiljare utan förekommer som sekundäravskiljare, se nedan, eller som föravskiljare för grovt stoft tillsammans med t ex ett slangfilter.

Hur cyklonen fungerar framgår av figur 6.34. Vid mindre anläggningar kan det räcka med en cyklon men då med mindre diameter än vad man normalt har vid enhetscykloner. Vid måttliga krav på avskiljningsgrad, kan man inte låta cyklonens diameter öka utan man får parallellkoppla flera enheter, figur 6.35, till en battericyklon.

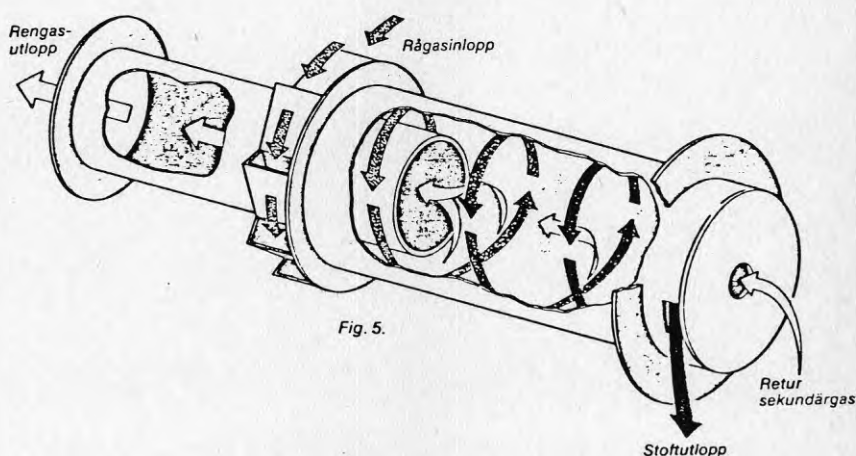
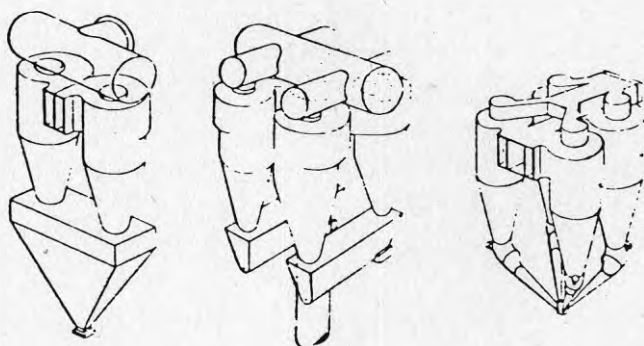


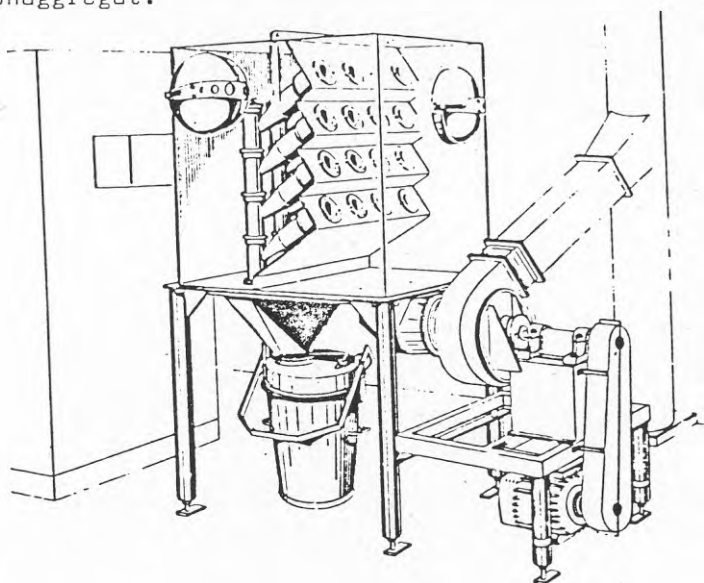
Fig. 5.

Figur 6.34 Principen för stoftavskiljning med cyklon. AMER-clone, Industrifilter.



Figur 6.35 Parallellkopplade cyklonaggregat.

Den effektivaste cyklontypen, småcykloner, har en diameter på mellan 100 och 250 mm. För att kunna behandla större gasflöden måste ett stort antal, upp till 100-tals, sådana småcykloner parallellkopplas. Figur 6.36 visar ett exempel på ett mindre småcyklonaggregat.



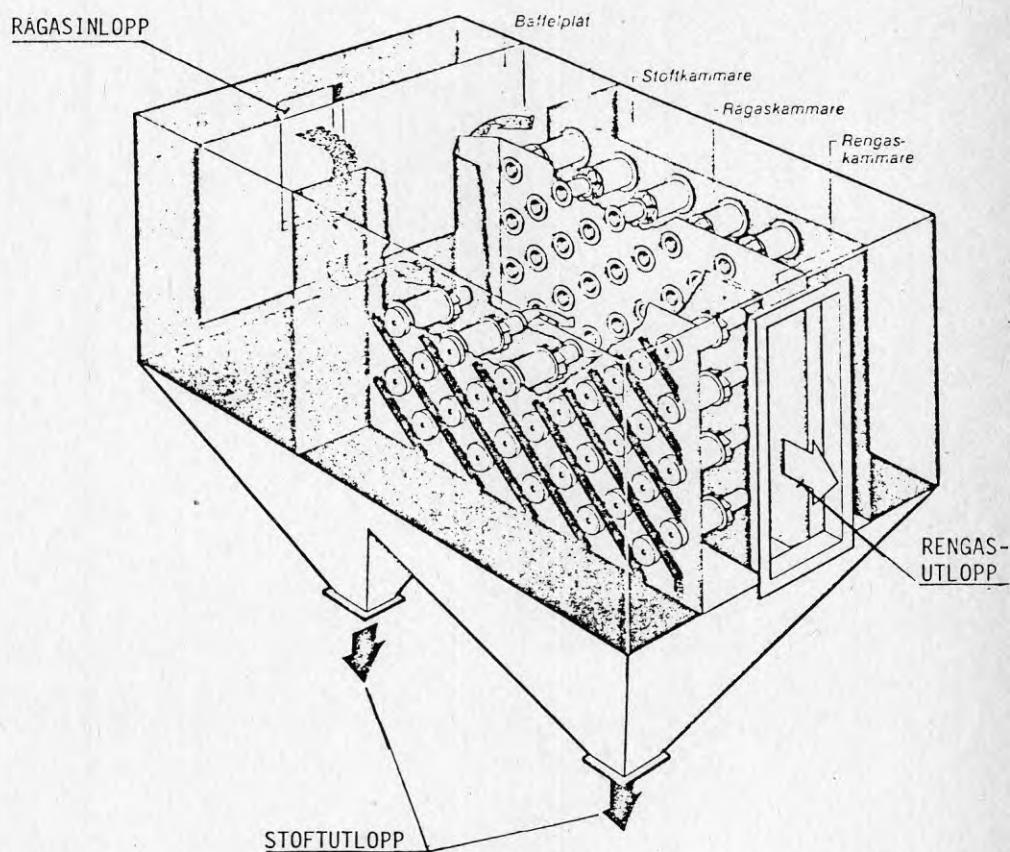
Figur 6.36 Småcyklonaggregat för rökgasrening. Paraklone, Svenska Fläktfabriken.

En ytterligare förbättrad avskiljning får man om de större stoftpartiklarna avskiljs före småcyklonaggregatet i en enhetscyklon eller förficka, figur 6.37. De grövre stoftpartiklarna innehåller ofta brännbar substans och kan återföras till eldstaden.

Ytterligare förbättring av avskiljningen får man genom installation av en sekundäravskiljare, jfr figur 6.42 nedan.

I elektrofiltret avskiljs stoftet i ett högspänt elektriskt likspänningsfält, figur 6.38. Som framgår ovan har elektrofiltret mycket höga avskiljningsgrader men är å andra sidan dyrt och kräver ett visst kvalificerat underhåll.

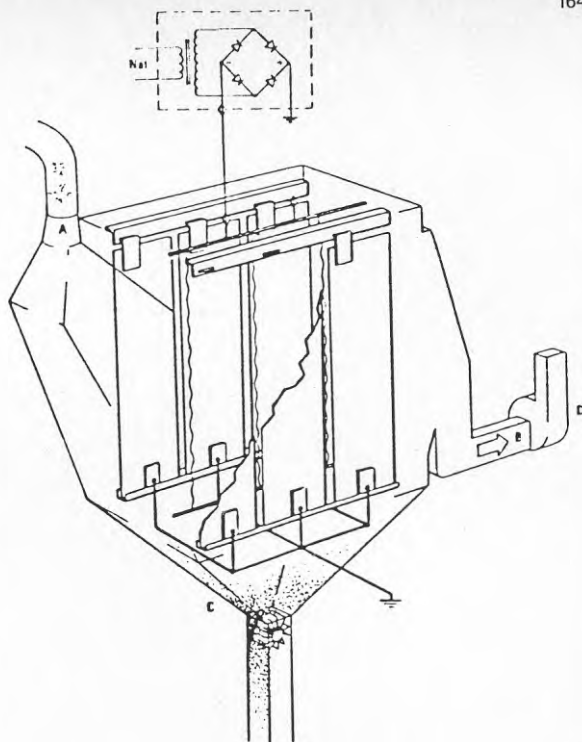
För träbränsleeldade anläggningar under 25 MW är elektrofiltret knappast något realistiskt alternativ på grund av de höga kostnaderna. Möjligen kan de vara konkurrenskraftiga vid torveldade anläggningar som har högre askhalter.



Figur 6.37 Småcyklonaggregat med förficka där rågasen omlänkas  $180^\circ$ . Figuren visar ett aggregat för stora gasflöden med dubbla rågaskammare och stoftkammare. AMER-Clone, Industrifilter.

Figur 6.38

Funktion hos elektrofilter.  
 A) gasinlopp, B) rengasutlopp,  
 C) stoftutlopp och D) rökgas-  
 fläkt. Svenska Fläktfabriken

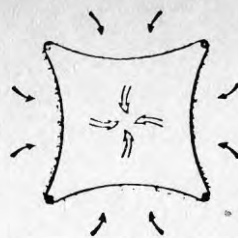
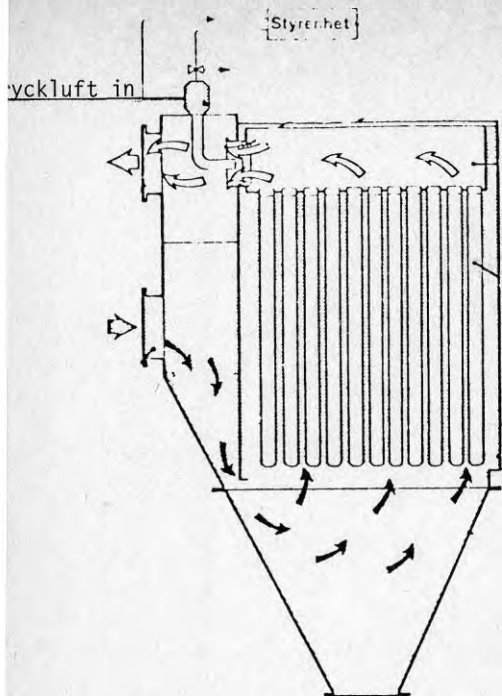


Ett slangfilter består av slangar av textilmaterial som genomströmmas av gasen, figur 6.39. Stoftet avskiljs genom silverkan mellan fibrerna i textilmaterialet men man har även konstaterat att avskiljningsgraden är hög för små mycket fina partiklar beroende på att dessa attraheras av fibrerna på grund av olika elektrisk laddning eller av den s k Brownska molekyllarrörelsen.

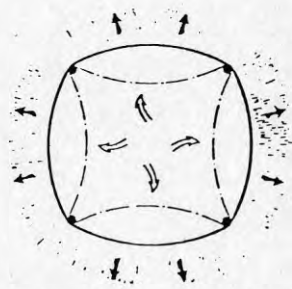
Filtermaterialet vävs numera av konstfiber som tål ca 250-270°C. Man gör även försök med glasfiberbaserade filtermaterial som förväntas tåla avsevärt högre temperaturer.

Det stoft som fastnat på filterduken avlägsnas genom skakning eller genom en tryckstöt av gas eller luft mot den normala strömningsriktningen. Stoftet faller ned i en ficka varifrån det transporteras bort till stoftsilos, container eller dylikt.

Är det risk att glödande partiklar finns kvar i gasen efter pannan bör en föravskiljare, förficka eller enhetscyklon, installeras med tanke på brandrisken.



Principskiss visande  
filterslang i arbetsläge



Principskiss visande  
filterslang i rensningsläge

Figur 6.39 Uppbyggnad av slangfilter. Det visade filtret rensas med en kortvarig tryckluftstöt mot den normala strömningsriktningen.

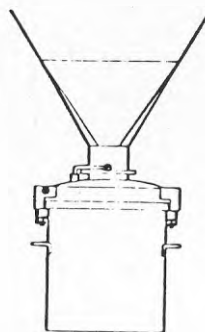
Avskiljningsgraden är mycket hög, långt över 99 %, och man har även noterat en avskiljning av tungmetaller inklusive kvicksilver.

#### Stoft och askhantering

Både stoft (flygaska) och aska från rosten ska samlas upp för deponering. Askan från flis och torv är basisk (høgt pH-värde) och ur den synpunkten knappast något problem då den skulle bidra till att mildra den försurning vi har i omgivningen idag. Det mesta av metallinnehållet kommer dock att finnas kvar i askan varför en viss försiktighet med deponering kan vara nödvändigt med tanke på eventuell urlakning. Mycket tyder dock på att det høga pH-värdet minskar urlakningsrisken. Normalt tippas idag askan från träbränsleeldade anläggningar utan restriktioner (det finns ingen erfarenhet av torveldning i Sverige ännu). Skulle urlakning av tungmetaller bedömas som ett problem är det relativt lätt att tippa askan på ett område med tätad botten och kontrollerad avrinning.

För den mer praktiska sidan av stofthanteringen gäller att stoft från mindre anläggningar oftast samlas upp i utbytbara behållare för manuell tömning, figur 6.40.

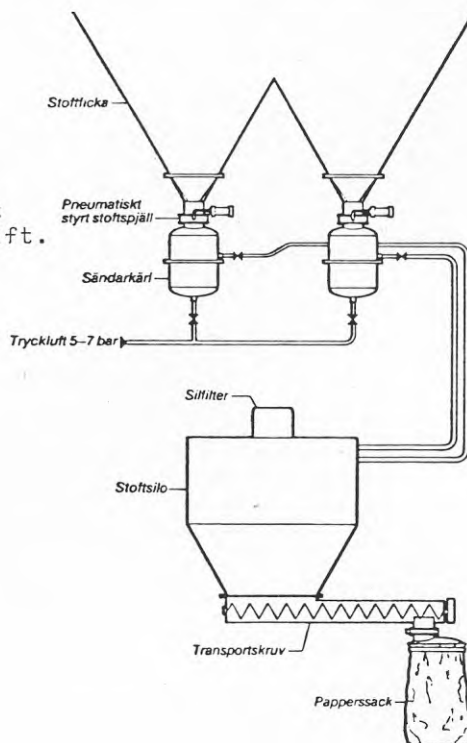
Figur 6.40 Stoftspjäll med stoftbehållare för mindre anläggningar. Industrifilter.



Vid större anläggningar för trä eller vid eldning med askrika bränslen automatiseras ofta stofthanteringen. En vanlig metod är då att pneumatiskt sända stoftet från stoftfickan till en stoftsilo med vissa intervaller. Transportluften renas i ett filter på silons topp. Silon kan placeras i ett utrymme lämpligt för säckhantering, figur 6.41.

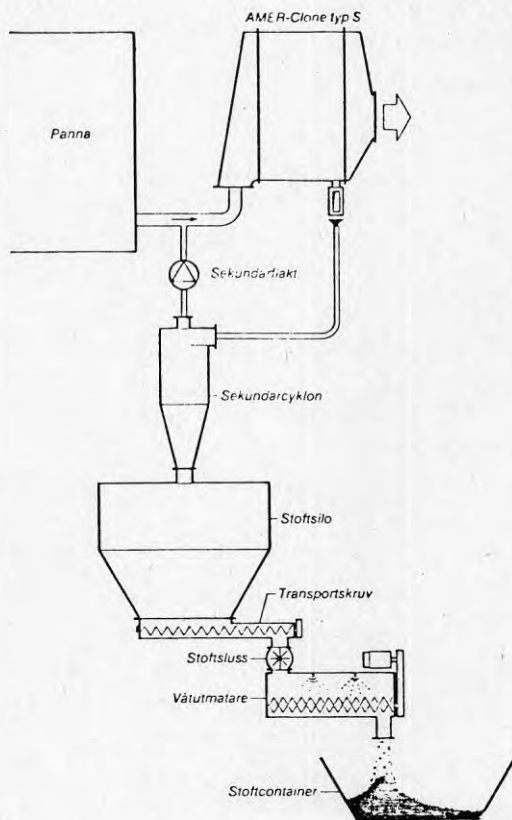
Figur 6.41

Högtryckstransport för automatisk drift. Industrifilter.





För att förbättra avskiljningsgraden vid småcyklonaggregat kan dessa förses med ett sekundärsystem. Är avståndet från primäravskiljaren till ett lämpligt ställe för stoftlagring inte alltför långt kan sekundärsystemet användas för stofttransport enligt figur 6.42, där sekundäravskiljaren sätts direkt på stoftsilon. Rengasen från sekundäravskiljaren blåses in i rågasen från pannan med en fläkt som således arbetar kontinuerligt och svarar för cirkulationen i sekundärsystemet.



Figur 6.42 Småcyklonaggregat med sekundärkrets. Industrifilter.

Från stoftavskiljaren kan olika typer av utmatning användas t ex skruv och våtutmatning till container vid korta avstånd eller pneumatiska system kombinerade med våtutmatare för längre transportavstånd. Oberoende av typ körs dessa system diskontinuerligt för att kunna fungera med bra fyllning. Våtutmatning måste användas i samband med öppna containers på grund av damningsrisken. Detta medför givetvis i sin tur frysrisk vintertid och det har hänt att containers har fått ställas undan fyllda med "fruset" stoft i väntan på blidväder.

Man kan även använda en sluten container där dammet avskiljs i ett filter på samma sätt som i figur 6.41.

För transport av aska från rosten ska i princip samma metoder användas som för stofthanteringen. Askan som faller på pannbotten eller i slutet av rosten transporteras i regel ut ur panna med skruv eller skrapspel. På grund av de höga temperaturerna och risken för antändning används i regel mekaniska transportörer ända till en asksilo eller container.

#### 6.5.5 NO<sub>x</sub> emissioner

Olika kväveoxider kan bildas vid förbränningsprocessen då dels de flesta bränslen innehåller något kväve och framför allt med tanke på att förbränningsluften består av ca 80 % kväve. De bildade kväveoxiderna brukar betecknas med ett samlingsnamn NO<sub>x</sub>.

NO<sub>x</sub> bidrar till bildande av fotokemisk smog, försurning av nederbörd samt har vissa direkta hälsoeffekter, främst skador på lungorna.

Det som bidrar till NO<sub>x</sub>-bildning vid förbränning är framför allt temperaturen i förbränningszonen. Då de inhemska bränslena är lågvärdiga och ofta fuktiga blir förbränningstemperaturen låg och därmed även NO<sub>x</sub>-bildningen. Att ersätta olja med inhemska bränslen medför således endast fördelar om man endast betraktar NO<sub>x</sub> problemet.

Vid nya eldningsmetoder för fasta bränslen, t ex eldning med mycket torrt pulver av torv eller trä kan förbränningstemperaturen bli betydligt högre varför man i sådana fall måste ta hänsyn till NO<sub>x</sub> emissioner. Det finns emellertid etablerad teknik för minskning av NO<sub>x</sub> vid kulpulvereldning som även bör kunna användas vid torv- och träpulvereldning.

#### 6.5.6 PAH-emissioner

Ur risksynpunkt (hälsoeffekter) är de aromatiska kolväten som förekommer i rökgaser det största problemet. Många av dessa föreningar ger upphov till cancer i större koncentrationer.

Bildning av polyaromater sker från långa komplicerade molekyler som finns i organiskt material. Hur mycket PAH som bildas vid förbränning avgörs av utgångsmaterialet och dess kemiska sammansättning, förbränningstemperatur och luftöverskott. I detta sammanhang ger låga förbränningstemperaturer (500-850°C) hög PAH-bildning d v s temperaturen har motsatt inflytande jämfört med NO<sub>x</sub>-bildningen. Även luftöverskottet vid förbränningen verkar på flera sätt "åt fel håll". Låga luftöverskott eftersträvas för att man ska få låga rökgasförluster och minska halten NO<sub>x</sub> i rökgasen. Beträffande PAH har man under laboratorieförhållanden konstaterat en drastisk sänkning av PAH vid ökning av luftöverskottet.

Hur bildningen av PAH sker i detalj är relativt okänt ännu. Man har dock konstaterat höga halter vid förbränning av träbränslen (jämfört med oljeeldning) och ännu mycket mera (i storleksordningen 1000 gånger mer) vid förbränning av gräs, löv och annat trädgårdsavfall.

Några normer för utsläpp av NO<sub>x</sub> eller PAH från torv- eller träbränsleeldade anläggningar finns inte idag.

## 6.6 Kostnadskalkyl

### 6.6.1 Sammanfattning

Den totala kostnaden för en anläggning sammansätts i huvudsak av kapital-, bränsle-, personal- och underhållskostnader.

Kapitalkostnaden är i princip oberoende av den producerade energin och bestäms av anläggningens avskrivningstid och den ränta man får betala för lånat eller på annat sätt insatt kapital. Med nuvarande höga inflationstakt bör någon form av realränta, d v s en inflationskorrigerad ränta användas.

Bränslekostnaden å andra sidan är helt beroende av den producerade energin. Den påverkas också i viss utsträckning av pannans skötsel.

Personal- och underhållskostnader intar en mellan de båda ovanstående kostnadstyperna. Då personal inte kan anställas efter hur belastningen på anläggningen varierar från dag till dag måste kostnaden i regel anses som oberoende av producerad energi.

### 6.6.2 Investeringskostnader

En fastbränsleeldad anläggning är avsevärt mycket dyrare att bygga än en oljeeldad. Skälen till detta är egentligen helt uppenbara då vi ovan konstaterat bl a:

- större bränslevolymlöde
- större rökgasflöde
- krav på stoftavskiljning
- ökade kostnader för bemanning och underhåll

På ett par punkter måste då också den fastbränsleeldade anläggningen vara billigare för att den med nuvarande jämförelsekriterier överhuvudtaget ska kunna komma ifråga som ett alternativ till oljeeldade anläggningar. Den största posten ligger då i minskade bränslekostnader (behandlas senare) och i viss utsträck-

ning inverkar även det krav på beredskapslagring av bränsle som man har vid en oljeeldad anläggning. Hur mycket olja som ska lagras avgörs bl a av om pannan är utrustad för eller kan ställas om till fastbränsleeldning. Maximal lagringsplikt är ca 82 % av en medelårsförbrukning. Det bör kanske påpekas att lagringsplikt endast finns för anläggningar med en årsförbrukning större än 5000 m<sup>3</sup> olja.

Hur stor investeringskostnaden blir i ett enskilt verkligt fall beror av en mängd faktorer som ibland kan ha en mycket lokal karaktär. Det kan därför ibland vara litet svårt att jämföra olika alternativa lösningar, speciellt givetvis om de är gjorda med olika förutsättningar.

För att få en bättre blick över investeringskostnaderna är det ofta bra om dessa kan delas upp i ett antal mindre poster  
t ex

- a) panna inklusive eventuell förugn
- b) eldningsanordningar
- c) bränslehanteringssystem
- d) reservlager (kan ingå i c i vissa fall)
- e) byggnadskostnader inklusive fundament
- f) pumpar för anläggningen
- g) rörarbeten
- h) VVS arbeten
- i) elinstallationer inklusive transformator
- j) skorsten och rökrör
- k) utrustning för rökgasrening
- l) vattenbehandlingsutrustning
- m) instrumentering och regleringsutrustning
- n) övrigt, ej specificerat
- o) projektering, kontroll och igångkörning
- p) ränta under byggnadstid

Genom ovanstående uppställning fås en god överblick över hur de olika posterna påverkar den totala investeringen. Ändringar av förutsättningarna påverkar nu dels investeringen för en viss post ovan men får ibland återverkningar på driftkostnaderna.

Genom att t ex lägga ned stor omsorg på ett automatiskt bränslehanteringssystem kommer posten c att bli hög medan anläggningen kan köras med låg bemanning t ex övervakningsfritt över helger.

En rörlig rost är dyrare än en fast (posten b blir högre) men ger också ett bättre förbränningsresultat och därmed lägre bränslekostnader.

Hur långt uppdelningen enligt ovan ska drivas beror på i vilket stadie projekteringen befinner sig. Ofta kan det vara bekvämt att sammanföra osäkerheterna i en post, n, som beräknas som ett procentuellt påslag på summan a-m. Även posterna projektering m m, o, och ränta under byggnadstiden, p, brukar beräknas som ett procentuell påslag på samma delsumma.

Summan av alla posterna utgör den totala investeringskostnaden eller anläggningskostnaden.

Ovanstående exempel på kostnadsuppdelning är på intet sätt standardiserat utan både grövre och finare indelningar förekommer. Exempel på anläggningskostnader och deras uppdelning ges i avsnittet 6.7 nedan där 3 typanläggningar beskrivs.

### 6.6.3 Driftkostnader

#### Bränsle

När en anläggning är färdigbyggd ska den dels amorteras d v s det uppstår en kostnad som är oberoende om anläggningen är i drift eller inte. Körs anläggningen tillkommer kostnader som:

- bränslekostnader
- elenergikostnader
- underhållskostnader
- personalkostnader

De båda första posterna är proportionella mot den i anläggningen genererade energin. För att minimera bränslekostnaden ska pannans verkningsgrad, d v s hur väl pannan kan tillgodogöra sig bränslets energi, vara så hög som möjligt. Pannverkningsgrader för fastbränsleeldade anläggningar varierar mellan ca 75 och 88 %. För en viss anläggning och enhetligt bränsle beror verkningsgraden bl a av:

- rökgastemperatur, som i sin tur beror av hur mycket sot som finns på pannans ytor m m
- luftöverskott, d v s hur mycket "extra" luft utöver den som krävs vid förbränningen som transporteras genom pannan
- eventuella icke förbrända bränslepartiklar som följer med rökgaserna eller askan

Samtliga dessa poster kan påverkas genom pannans drift. Genom sotning eller annan rengöring av pannytorna kan rökgastemperaturen sänkas. Ett lågt luftöverskott fås genom justering av spjällen för lufttillförsel. För litet luft ger risk för sotbildning och oförbrända bränslepartiklar. Förbränningsresultatet kan i någon mån också påverkas av roststavarnas rörelsehastighet (om man har rörlig rost).

Divideras den genererade energin i pannan med pannans medelverkningsgrad får den tillförda bränsleenergin ( $Q_D = \frac{Q_n}{\eta}$ ) som med hjälp av data för bränslet kan omvandlas till ett lämpligt mängdmått ( $m^3$  eller kg).

Ovanstående gäller för ett projekteringsstadie. I drift bestäms den tillförda energin direkt genom vägning och analys av bränslet.

Kostnaden för erforderlig elenergi inom ett värmeverk räknas ofta schablonmässigt per producerad MWh, ca 15-20 kWh/el per MWh/värme.

#### Personal

Drift av oljeeldade anläggningar sker idag med mycket låg personalinsats. Mindre och medelstora centraler övervakas endast

under dagtid eller del av dagtid. På nätter och helger finns då en viss jourtjänstgöring.

En fastbränsleeldad anläggning innehåller många kritiska komponenter, främst i bränslehanteringssystemet, som kan fordra manuella insatser. Beroende på driftlagrets storlek och reservlagrets automatiseringsgrad kan även manuella insatser, t ex med hjälp av en frontlastare, behövas där.

Måste en viss funktion bemannas kontinuerligt innebär det med nuvarande avtal på arbetsmarknaden att 7-skift måste tillgripas. En ungefärlig medelkostnad för en kvalificerad pannskötare är idag ca 110 000 kr per år vilket gör personalkostnaden till en tung post. Å andra sidan skapar de höga personalkostnaderna utrymme för relativt stora investeringskostnader för att göra bemanningsbehovet mindre. Tekniskt sett är det inga problem att driva en fastbränsleeldad anläggning utan tillsyn nattetid.

#### Underhåll

All utrustning speciellt den omfattande mekaniska utrustningen i bränslehanteringssystemen kräver regelbundet underhållsarbete för att onödiga driftstopp inte ska uppstå.

Kalkylmässigt räknas underhållskostnader på projekteringsstadiet oftast i årliga belopp uttryckta i procent av anläggningskostnaden. I en noggrann kalkyl upptas då olika procentsatser för de olika posterna enligt avsnitt 6.6.2. För överslagsmässiga kalkyler kan det vara tillräckligt noga att räkna årliga underhållskostnaderna på totala anläggningskostnaden. Ofta använda värden är 2 % för oljeeldade anläggningar och 3 % för fastbränsleeldade anläggningar.



#### 6.6.4 Totala kostnader

##### Kapitalkostnader (fasta kostnader)

Den totala anläggningskostnaden fördelas i regel ut även flera år genom t ex att ett lån tas upp. Detta medför att vissa fasta kostnader, ränta och amortering, ska betalas varje år oberoende av om anläggningen är i drift eller inte.

Vid val mellan olika anläggningar bör, åtminstone ur national-ekonomisk synpunkt, kostnaderna fördelas över anläggningens (eller komponentens) beräknade livslängd. Den räntesats som används bör i dagens läge på något sätt korrigeras med hänsyn till inflationen då värdet av ett upptaget lån "urholkas" med tiden. Det enklaste sättet att beräkna den reala eller verkliga räntan är helt enkelt att minska den nominella räntan med den förmodade inflationen vilket gör att troliga värden idag är på 4-6 %.

Realräntemetoden användes vid Energikommissionens bedömningar och används t ex av Vattenfall idag.

I vissa fall passar denna metod mindre bra t ex i en industri där investeringen till en stor del internfinansieras och där man har helt andra förräntningskrav på kapitalet.

Utöver kapitalkostnaderna finns det några mindre poster som också är oberoende av hur anläggningen drivs nämligen:

- försäkringar (ca 0.7 % per år av anläggningskostnaden)
- ränta på beredskapslager för bränsle. Då detta lager inte används ska det ej amorteras.

I ett verkligt fall är också i regel personalkostnaden oberoende av den verkliga driften då personal inte kan anställas och avskedas i takt med anläggningens energiproduktion.

## Totala kostnader

Vid en jämförelse mellan olika anläggningar är det ofta lämpligt att beräkna de totala kostnaderna för ett års drift. Den totala årskostnaden sammansätts då av

- kapitalkostnader inklusive försäkring
- bränslekostnader inklusive elenergi
- underhållskostnader
- personalkostnader

Jämförelsen kommer alltid att vara beroende av en mängd lokala faktorer vilket ofta gör det svårt att jämföra totala kostnader från olika utredningar.

Saker som påverkar resultatet är t ex

- om pannan är en av flera pannor i en central då vissa funktioner kan utnyttjas gemensamt
- om personal även kan användas för andra uppgifter jämsides med anläggningens drift
- önskad grad av leveranssäkerhet

Några exempel på hur de totala kostnaderna påverkas av de olika faktorerna ovan ges i nästa avsnitt.

## 6.7 Beskrivning av 3 typanläggningar

### 6.7.1 Allmänt

I det följande beskrivs 3 typanläggningar för fliseldning i storleksklasserna ca 50 kW, 3000 kW och 25000 kW. De valda exemplen ska uppfattas som just exempel på medelanläggningar och avsikten är inte att beskriva de bästa, billigaste eller på något annat sätt utmärkande anläggningar.

## 6.7.2 Villapanna\_20-100\_kW\_ Beskrivning av anläggningen

Det finns ingen möjlighet att bygga en fastbränsleeldad villapanna som fordrar lika litet tillsyn som en oljeeldad panna. Man kan i och för sig nå långt i en strävan mot en helt automatisk drift men detta sker då till priset av mycket höga investeringskostnader. Den anläggning som kan bli aktuell i praktiken kräver t ex manuell utaskning några gånger per vecka något som i och för sig tar någon minut per gång men som alltså innebär att pannan inte kan lämnas utan tillsyn mer än något dygn.

Även bränslesidan är tämligen svår att göra helautomatisk. Själva inmatningen i pannan eller förugnen är automatisk men att göra en transportanordning från ett stort lager fram till pannan blir mycket dyrare än alla övriga komponenter tillsammans. För att klara ett årsbehov behöver flislagret omfatta ca 50-60 m<sup>3</sup> vilket också kräver avsevärda kostnader, åtminstone i den typ av normalvilla som byggs idag. Distributionen blir också ett problem i villaområdet och något riktigt bra sätt för distributionen finns väl knappast idag.

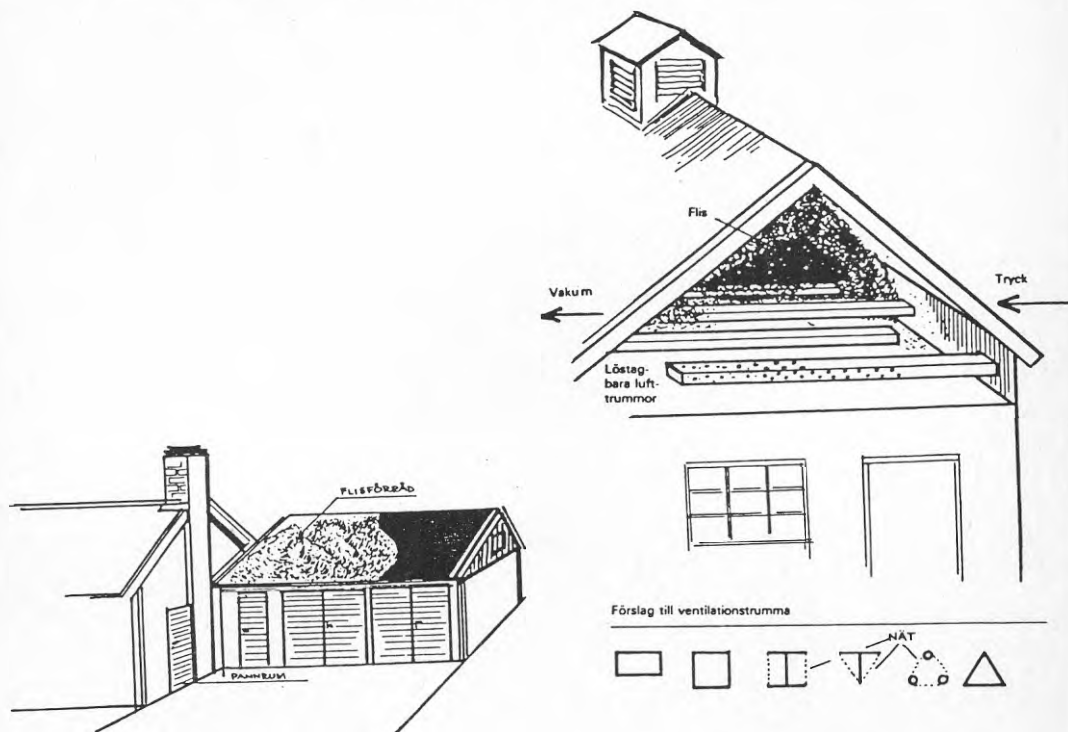
Kan distributionsproblemet lösas effektivt skulle man kunna tänka sig att använda ett relativt litet flislager i villan och i stället fylla på det flera gånger om året.

I det följande beskrivs en anläggning för fliseldning som bygger på delvis idealiserade förhållanden, t ex att pannrummet är gynnsamt placerat och att man med enkla medel kan ordna ett flisförråd på t ex en vind.

Bränslet flisas antingen i anslutning till förbrukningsstället och blåses då direkt upp i lagret eller levereras färdigflisat på sådant sätt att det kan lastas in i lagret enkelt.

För att man inte ska få problem med mögelbildning eller värmeutveckling under lagringen bör flisens fukthalt inte vara högre än ca 30 % när den läggs in i lagret. Lagret bör dessutom vara

luftigt vilket kan ordnas med ventilationstrummor av enkel konstruktion, figur 6.43 enligt Beijbom visar exempel på hur lager och ventilationstrummor kan anordnas.



Figur 6.43 Exempel på lager för flis enligt Beijbom.

Från det stora flislagret fylls en mindre behållare, ca 500 liters volym, manuellt varje eller varannan dag beroende på effektbehovet. Från denna behållare sker sedan bränsleinmatningen automatiskt till en förugn eller retort i pannan. När det gäller val mellan förbränning i förugn eller i retort direkt i pannan bör man först och främst ta hänsyn till flisens fukthalt.

Är fukthalten någon gång under eldningssäsongen 30 % eller högre bör förugn väljas då man annars får problem vid förbränningen. Ytorna i en villapanna är normalt kalla ( $75-80^{\circ}\text{C}$ ) varför den första torkningsfasen vid förbränningen försvåras.

Det finns över 10 förbränningsanordningar för villapannor på marknaden i Sverige. På grund av det stora intresset för fastbränsleeldning har det under de senaste åren lanserats en mängd nya varianter på marknaden. Många fabriker har ganska snabbt försvunnit igen då konstruktionerna helt enkelt varit undermåliga.

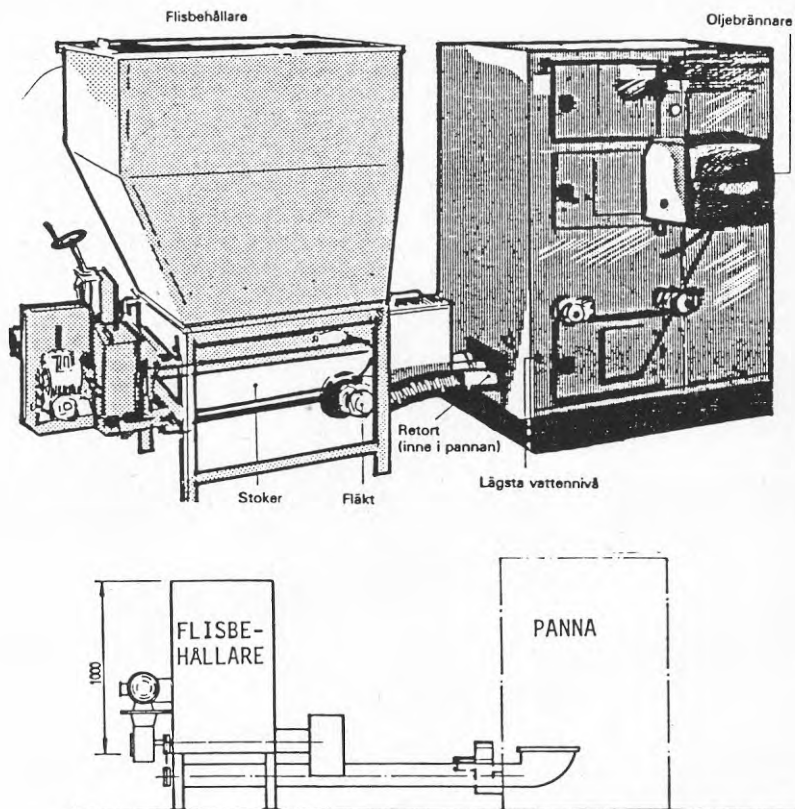
Figurerna 6.44 och 6.45 visar exempel på väl etablerade anläggningar uppbyggda kring bränsleinmatning med skruv. Båda anläggningarna har också fläkt för tillförsel av förbränningsluft vilket har visat sig ge det bästa förbränningsresultatet.

Förugnen är i regel något dyrare och tar något större plats men är i gengäld lättare att kombinera med befintliga pannor och ställer mindre krav på bränslekvalitet.

Båda anläggningarna förses med någon typ av skydd mot bakeld. Antingen vatteninsprutning i skruven styrd av en temperaturkännare i slutet av skruven eller genom en delad inmatningsskruv med mellanliggande slusslåda.

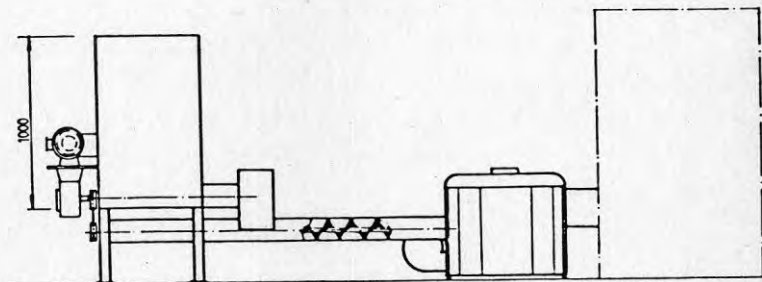
Effektreglering sker på i princip samma sätt som vid oljeeldning d v s att pannvattnets temperatur startar och stoppar bränsleinmatningen. För att fyren inte skall slockna när stilleståndstiderna blir långa kompletteras automatiken med ett fyrhållningsrelä som gör att små bränslemängder matas in med jämna mellanrum t ex 10 sekunder var 4:e minut.

Som reserv eller komplement kan pannan förses med t ex elpatroner eller oljebrännare. På grund av kostnaderna är elpatronerna det enda realistiska alternativet vid nyinstallationer. Utöver den beskrivna utrustningen fordras endast några verktyg för utaskning för att anläggningen skall vara fullt driftduglig.



Figur 6.44 Panna med retort för eldning av torr flis. Flisen matas in med skruv.

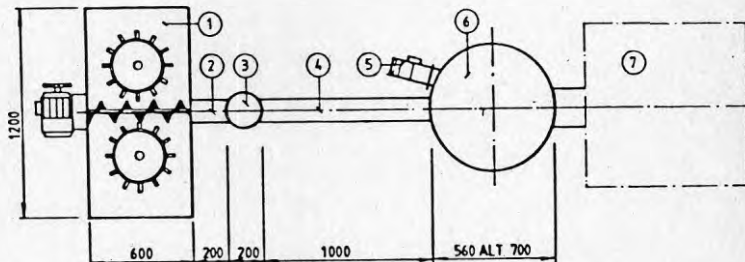
## ALTERNATIV 2 FÖR TORRT BRÄNSLE



## ALTERNATIV 1 FÖR FUKTIGT BRÄNSLE

## BETECKNINGAR

- 1 BRÄNSLEBEHÅLLARE
- 2 MATARSKRUV
- 3 MELLANBEHÅLLARE
- 4 STOKERSKRUV
- 5 FLAKT
- 6 FÖRBRÄNNINGSUGN
- 7 PANNA



Figur 6.45 Skruvmatad förugn för förbränning av fuktig flis.  
ÅV-Halmstad.

## Driftsätt

Anläggningen förutsätts drivas automatiskt med tillsyn för bränslepåfyllning och utaskning ca en gång per dygn på vintern. Beroende på hur bränslelagret är ordnat tar tillsynen olika lång tid för olika installationer. I regel åtgår mindre än 5 minuter per dygn.

På sommarhalvåret kan effektbehovet vara så lågt att kontinuerlig drift omöjliggörs d v s man måste använda ett alternativbränsle (el eller olja) eller satselda anläggningen. Satseldningen innebär att systemet värms en eller ett par gånger per dygn vilket då innebär en något större insats då upptändning i regel måste ske manuellt. I denna jämförelse har inte några kostnader tagits upp för tillsynen utan den förutsätts fastighetsägaren kunna klara av "gratis".

## Kostnader

Kostnaden för en förugn eller en inmatningsanordning och retort kan variera inom vida gränser beroende av typ och hur tekniskt avancerad anläggningen är.

Ett system med skruvinmatning till retort i pannan betingade vid samma tidpunkt ett pris av mellan 7.600-9.400 kronor inklusive automatik beroende på fabrikat och viss detaljutrustning.

En skruvmatad förugn betingade under samma förutsättningar ett pris av mellan 9.000-12.500 kronor.

Utöver installationskostnaden för inmatningssystem och ev förugn tillkommer kostnader för lagret som uppgår till ca 1.000 kronor eller mer beroende på förutsättningarna. Skall ett nytt utrymme tillskapas för en normalvilla kommer kostnaden att uppgå till flera 10.000-tals kronor.

Jämfört med den oljeeldade anläggningen kan installationskostnaden ev minskas med kostnaderna för oljebrännare och oljetank.



För att bedöma ekonomin på en fliseldad anläggning kan den jämföras med en oljeeldad anläggning.

Extrainvesteringen för fliseldningsutrustningen sätts till 5.000 kronor vilket innebär att kostnaderna för oljebrännare och oljetank dragits ifrån kostnaderna för den fliseldade anläggningen.

Alla driftkostnader utom bränslekostnaderna sätts lika vilket gör att ett högsta pris för flis kan beräknas.

Räknat med en inflationskorrigerad ränta på 4 % och en ekonomisk livslängd av 15 år fås den årliga extra kapitalkostnaden till 450 kronor.

Energimängden kan produceras med hjälp av  $4 \text{ m}^3$  olja per år till en kostnad av 5.200 kronor per år. Minskas denna kostnad med den extra kapitalkostnaden fås den högsta kostnaden man kan betala för flis för att detta alternativ fortfarande ska vara lönsamt.

Är flisens fukthalt 40 % åtgår ca  $50 \text{ m}^3$  flis för att ersätta oljan. Man kan då betala upp till 95 kr/ $\text{m}^3$  för flisen. Är flisen billigare fås med i övrigt lika förutsättningar en direkt vinst jämfört med oljeeldning.

För en villapanneinstallation kan lokala förhållanden påverka resultatet och en närmare utredning bör göras för att bedöma lönsamheten av en eventuell investering.

Sammanfattningsvis kan sägas att om man är beredd att göra vissa insatser själv och har möjligheter att lagra flisen utan speciellt höga kostnader bör fliseldning vara ett intressant alternativ under förutsättning att man kan finna en lämplig leverantör av flis.

6.7.3 Hetvattenpanna\_3000\_kW\_  
Beskrivning av anläggningen

Med en drifttid av 5000 h per år avger anläggningen 15000 MWh nyttig energi per år vilket med en medelverkningsgrad av 83 % motsvarar en årlig flisförbrukning av 21700 m<sup>3</sup> per år eller 4,34 m<sup>3</sup> per timme om flisens fukthalt är 50 %. Motsvarande förbrukning i en oljeeldad panna är 1600 m<sup>3</sup> per år.

Anläggningen har en mottagningsficka för flis med volymen 150 m<sup>3</sup> vilket räcker för ca 34 h drift. Om anläggningen ska köras över t ex en helg måste flispåfyllning ske från ett reservlager t ex med hjälp av en inhyrd frontlastare.

I den kommande jämförelsen har kalkylerats med en insats av frontlastare 100 h per år (mest på obekväma arbetstid) till en kostnad av 270 kr/h.

För driften i övrigt svarar 1 man under del av dagtid med ett jourssystem för nätter och helger. Personalkostnaden uppskattas till 110 kkr per år.

Någon reservkapacitet för flispannan har inte tagits med i bedömningen. Beroende på lokala förhållanden kan ev önskvärd reservkapacitet fås genom användandet av äldre oljeeldad panna eller genom möjlighet att montera oljebrännare i flispannan.

#### Kostnader

Total anläggningskostnad för det fliseldade alternativet är 2.400 kkr eller 800 kr/kW och för det oljeeldade alternativet 375 kr/kW. En kostnadsjämförelse mellan de båda alternativen ger följande resultat.

	Flis kkr/år	Olja kkr/år
<u>Kapitalkostnad</u>	192.0	90.1
8 % (4 % realränta, 17.5 år)		
<u>Försäkring</u>	16.8	7.9
0.7 % av anläggningskostnaden		
<u>Underhåll</u>	72.0	33.8
3 % av anläggningskostnaden		
<u>Elenergi</u>	36.0	32.0
<u>Personal</u>	110.0	10.0
<u>Frontlastare</u>	27.0	-
<u>Bränsle</u>	1302.0	1440
21700 m <sup>3</sup> à 60 kr (flis) resp 1600 m <sup>3</sup> olja à 900 kr		
	<hr/>	<hr/>
	1756	1614

Som synes av jämförelsen utgör bränslekostnaden den helt dominerande posten i kostnadsjämförelsen (74 resp 89 %).

Det flispris som kan betalas för att anläggningen ska vara billigare än en oljeeldad anläggning är mindre än 60 kr/m<sup>3</sup>s (flis med 50 % fukthalt). En prishöjning på oljan på ca 100 kr/m<sup>3</sup> skulle göra det valda fliseldningsalternativet billigare.

#### 6.7.4 Hetvattencentral 3 x 25000 kW

Beskrivning av anläggningen

För denna enhetsstorlek görs jämförelsen för en hetvattencentral med 3 lika stora pannor. I ett fjärrvärmesystem är det vanligt med en uppbyggnad med flera enheter för att skapa flexibilitet och få en inbyggd reservkapacitet.

I centralen antas en panna kunna tillgodose 60 % av energibehovet och därvid ha utnyttningstiden 5000 h. Detta ger med medelverkningsgraden 91 % en oljeförbrukning för "huvudpannan" på 12800 m<sup>3</sup> per år eller 21300 m<sup>3</sup> för hela centralen.

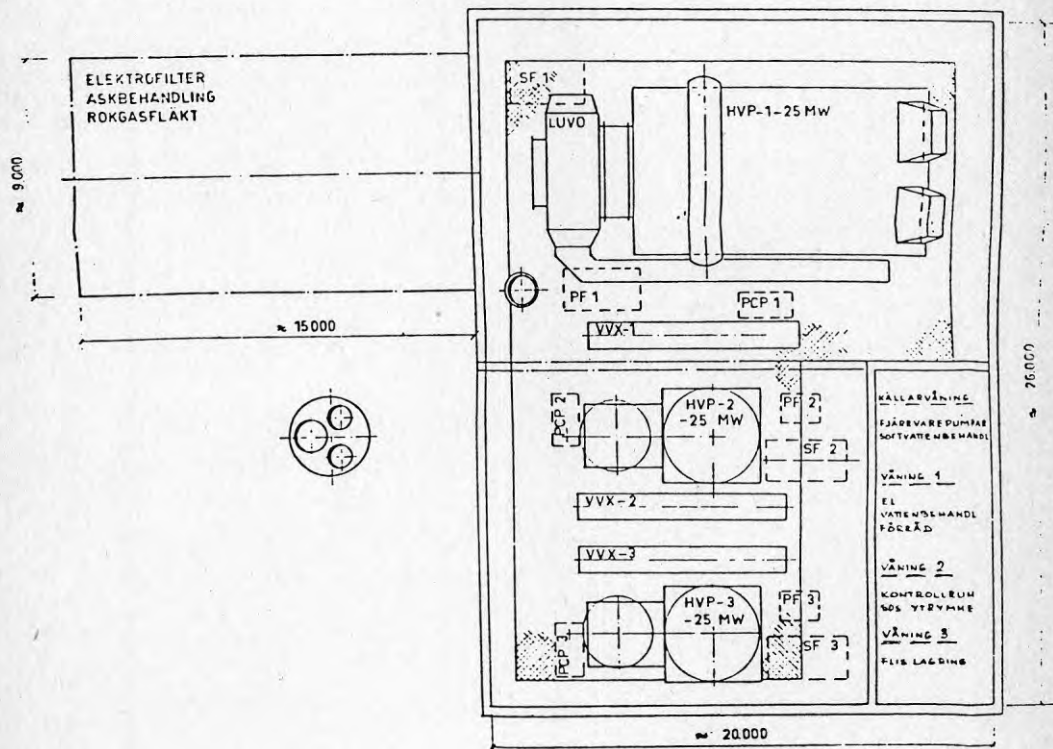
En central med 3 enbart oljeeldade pannor blir så stor att beredskapslagring av olja måste ske. Pannorna antas inte från början vara utrustade för fastbränsleeldning utan vid en eventuell övergång till fastbränsleeldning krävs en omställningstid av två år. Beredskapslagret ska i detta fall vara 40 % + 5/12 av årsförbrukningen eller ca 82 % . Av detta ska minst 1/3 av de 40 procenten lagras på platsen. På centralens område finns därför två cisterner om vardera 2800 m<sup>3</sup> varav således den ena kan betraktas som ett beredskapslager. Den andra delen av beredskapslagret kan byggas på något annat ställe antingen i egen regi eller som ett centrallager i samband med en hamn tillsammans med andra stora förbrukare av olja. Volymen på detta lager blir då 14700 m<sup>3</sup>.

I fliseldningsalternativet byts endast en av de tre oljeeldade pannorna ut. Installationen i pannhuset framgår av figur 6.46.

Den fliseldade pannan har en utnyttjningstid av 5000 h per år vilket ger en bränsleförbrukning av 176000 m<sup>3</sup> flis per år om flisen har fukthalten 50 % och värmevärdet 3000 MJ/m<sup>3</sup>. Flispannan antas svara för 60 % av centralens energiproduktion vilket innebär att man förutom flisen även förbrukar 8500 m<sup>3</sup> eldningsolja per år.

På grund av att flispannan svarar för så stor andel av centralens energiproduktion sker ingen beredskapslagring av olja utan på centralens område finns endast en cistern om 500 m<sup>3</sup>.

Flisen lagras dels i mottagningsfickan som har 450 m<sup>3</sup> volym och dels i ett enkelt stacklager. Båda lagren är av driftskaraktär och omsätts regelbundet. Något reservlager behövs inte då det finns tillräcklig reservkapacitet i oljeeldningen. Förutom mottagningsfickan finns ett mindre utjämningslager i pannhuset. Volymen på detta är 35 m<sup>3</sup> och det är till endast för att jämna ut flödet från mottagningsfickan som kan variera beroende på transportanordningarna. Pannan förbrukar vid full last ca 35.3 m<sup>3</sup> flis per timme.



Figur 6.46 Layoutritning för hetvattencentral med en fliseldad och två oljeeldade pannor om vardera 25 MW. Witermo.

Storleken av och hanteringen i stacklagret beror hur flistransporterna till anläggningen sker. Om intransporten kan ske i minst 2-skift under alla dagar behövs överhuvudtaget inte stacklagret. Detta vore i och för sig att vältra över kostnaderna för lagring på leverantören och därför har intransporten antagits ske under dagtid på vardagar. Transporterna från stacklagret till transportörerna sker då i detta fall med frontlastare vilken behöver transportera ca 150-200 m<sup>3</sup> flis per natt eller över en helg i stort sett 35 m<sup>3</sup> flis per timme. Då transportavstånden är korta och en frontlastare har en kapacitet på mellan 2 och 4 m<sup>3</sup> kommer behovet lätt att kunna täckas med en frontlastare som endast behöver vara i drift 1 à 2 timmar per natt.

Enklast placeras stacklagret på hårdgjord mark och utlastningen från detta görs till mottagningsfickan eller en speciell ficka.

Figur 6.47 visar en enkel situationsplan för anläggningen. Stacklagret visas inte på figuren men bör ligga i nära anslutning till mottagningsfickan.

Flispannan är utrustad med en fast snedrost och en rörlig slutförbränningsrost enligt figur 6.48.

#### Kostnader

För att få en klarare bild över hur olika delar av anläggningen påverkar investeringskostnaderna görs i detta fall en uppspaltning av investeringskostnaderna för olje- respektive fliseldningsalternativen.

#### Oljeeldning:

<u>Pannor 3x25 MW</u>	2700 kkr
Inkl brännare och fläktar	

<u>Pumpar</u>	500 kkr
---------------	---------

Fjärrvärmepumpar, panncirkulationspumpar och tryckhållningspumpar

<u>Rörarbeten</u>	1500 kkr
Inom byggnaden inkl VVS	
<u>Elinstallationer</u>	1500 kkr
Inkl transformator 1200 kW	
<u>Instrumentering</u>	700 kkr
<u>Vattenbehandlingsutrustning</u>	200 kkr
<u>Oljecisterner</u>	2700 kkr
Vid centraler 2x2800 m <sup>3</sup> (1100 kkr)	
Centralt 14700 m <sup>3</sup> (1670 kkr)	
<u>Skorsten</u>	950 kkr
Inkl rökrör	
<u>Byggnadskostnader</u>	4000 kkr
Inkl fundament och serviceutrymmen	
<u>Tomtplanering m m</u>	<u>300 kkr</u>
Summa komponentkostnader	15120 kkr
<u>Projektering, kontroll och igångkörning</u>	1210 kkr
8 % av komponentkostnaderna	
<u>Diverse ej specificerat</u>	1512 kkr
10 % av komponentkostnaderna	
<u>Räntor under byggnadstid</u>	605 kkr
4 % under 1 år	<u>                    </u>
TOTAL ANLÄGGNINGSKOSTNAD (oljeeldning)	18447 kkr

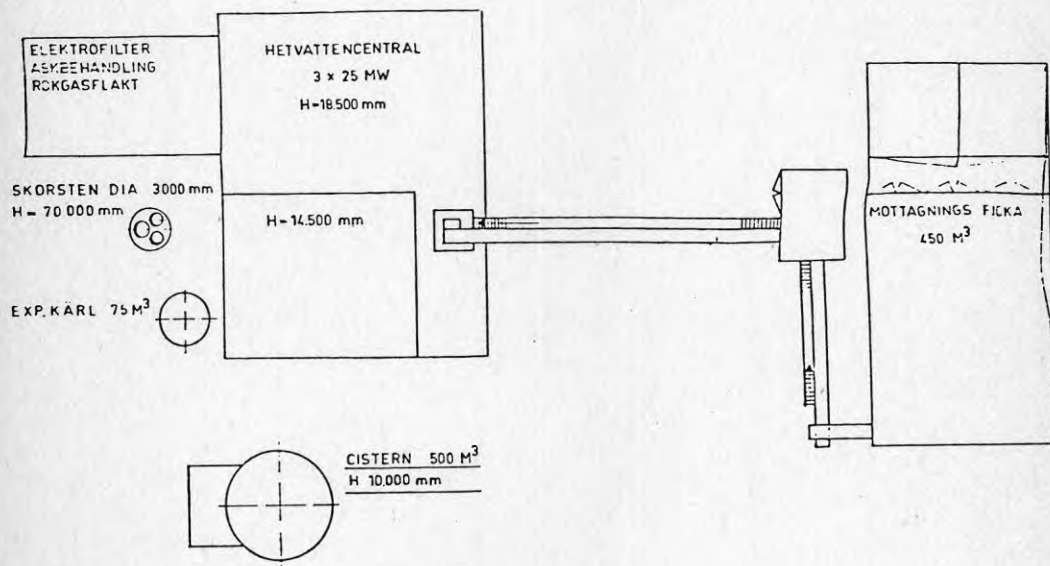
Anm. Att hyra in sig i ett centrallager för olja blir dyrare än att investera under ovan givna förhållanden.

Fliseldning:

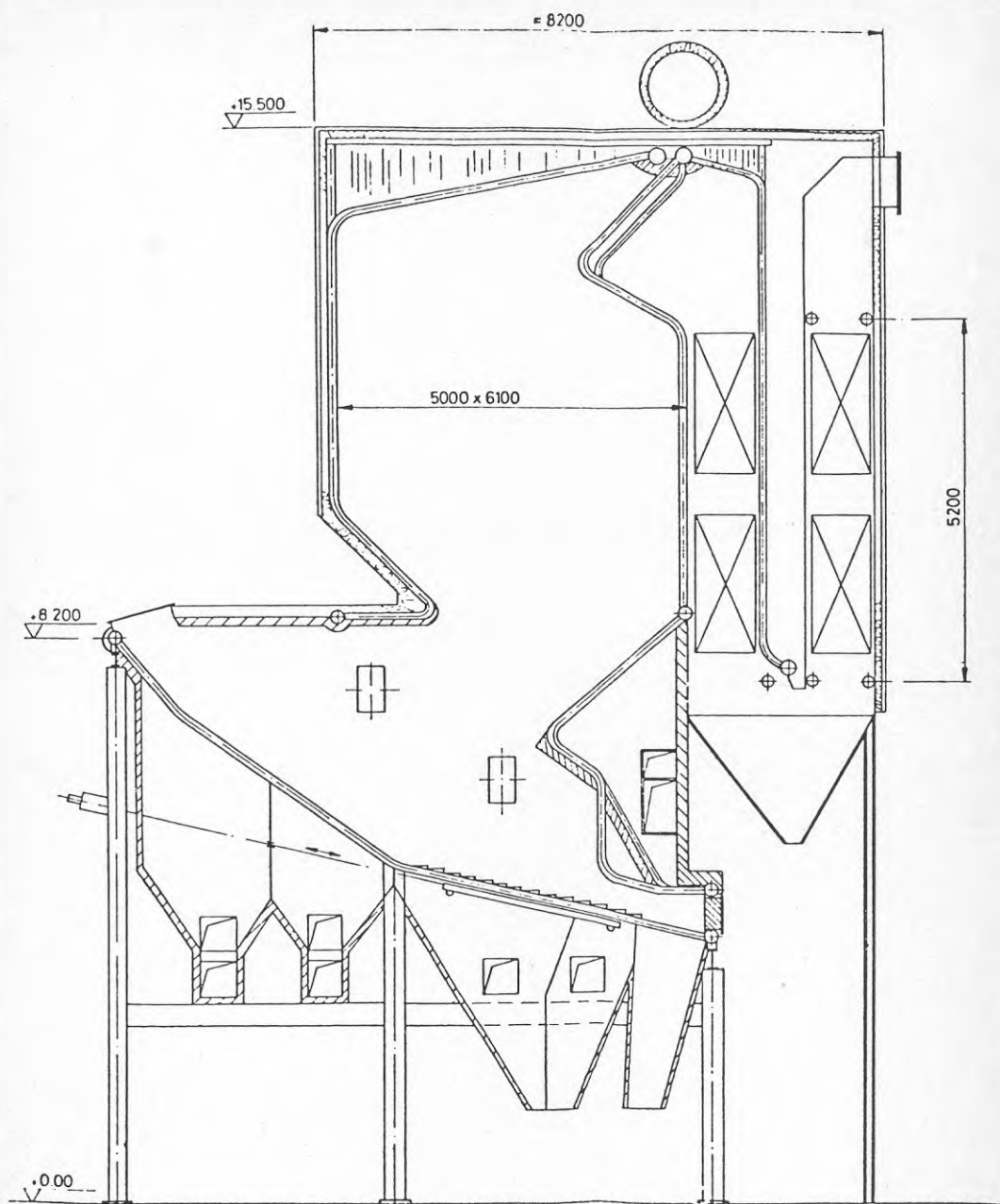
<u>Pannor 3x25 MW</u>	4580 kkr
2 st oljeeldade och 1 fliseldad panna. Exkl eldningsutrustning	
<u>Eldningsutrustning</u>	3475 kkr
2 st rotationsoljebrännare med fläktar, reglerutrustn m m. Utrustning för fliseldning bestående av totalt 48 m <sup>2</sup> rostyta fördelade på fast snedrost och rörlig slutförbränningsrost, fläktar, trummor och spjäll samt luftförvärmare	

<u>Bränslelagring</u>	3370 kkr
Oljecistern 500 m <sup>3</sup> Mottagningsficka 450 m <sup>3</sup> , transporter och utjämningslager	
<u>Stacklager</u>	1200 kkr
Hårdgörning av mark och hjullastare. OBS på grund av att hjullastaren har kortare livslängd än övriga komponenter i centralen har kostnaden för 4 lastare tagits med.	
<u>Rökgassystem</u>	5095 kkr
Inkl elektrofilter (OBS) med askutmatning, rökgasfläkt för flispannan, skorsten med kanaler och rökrör m m	
<u>Rörsystem</u>	3485 kkr
Inkl värmeväxlare, rörledningar, pumpar, tryckhållningssystem, vattenreningssystem, värme- och VVS-installationer m m	
<u>Instrument</u>	925 kkr
Reglerings- och övervakningsutrustning	
<u>El och belysning</u>	950 kkr
<u>Byggnader</u>	2200 kkr
Inkl fundament, personalutrymmen m m	
<u>Vägar och tomtplanering</u>	<u>400 kkr</u>
Totala komponentkostnader	25680 kkr
<u>Projektering, kontroll och igångsättning</u>	2054 kkr
8 % av komponentkostnaden	
<u>Diverse ej specificerat</u>	2568 kkr
10 % av komponentkostnaden	
<u>Ränta under byggnadstid</u>	1027 kkr
4 % av komponentkostnaden	
Total anläggningskostnad	<u>31329 kkr</u>





Figur 6.47 Situationsplan för hetvattencentral 3 x 25 MW.



Figur 6.48 25 MW hetvattenpanna för fliseldning. Witermo.

Som ett "lågprisalternativ" kan lanseras ovanstående anläggning men med ett småcyklonaggregat istället för elektrofiltret vilket gör att posten "Rökgassystem" minskar till 3500 kkr.

#### Kostnader

Anläggningen drivs med flispannan som baslast och oljepannorna används som reserv och spetskraft. Flispannan kan mycket väl tänkas gå obemannad under vissa tider av dygnet med en oljepanna som automatiskt startade reservpanna om fliseldningen faller ur.

Om flistransporterna till verket kan ske i minst 2-skift alla dagar skulle då centralen inte behöva mer än ca 4 man för driften. Då det är mer realistiskt att förutsätta att flistransporten endast kommer att ske under dagtid kommer det att behövas viss bemanning till stacklagret nattetid. Strängt taget behövs inte heller då kontinuerlig bemanning utan det skulle räcka med ett nattskift plus helgtjänstgöring speciellt med tanke på de interna flistransporterna samt dagtidsbemanning i kontrollrum och för underhåll. Om man dessutom på orten har möjlighet att hyra in folk för att avhjälpa oförutsedda händelser, och viss arbetsledning kan antas ske från någon central instans, skulle det räcka med 8 man för centralens drift.

I följande driftkostnadskalkyl har flispriset satts till 50 kr/m<sup>3</sup> om flisen har en fukthalt på 50 %. Flispannan antas ha en utnyttjningstid av 5000 h och resterande energibehov täcks med olja.

	Flis kkr/år	Olja kkr/år
<u>Kapitalkostnader</u>	2005	1181
6.4 % (4 % realränta, 25 år)		
<u>Försäkringar</u>	219	129
0,7 % av anläggningskostnaden		
<u>Underhåll</u>	750	369
2 % för oljeeldningsdel och byggnader (uppskattat till 18 Mkr)		
3 % för flispannan med utrustning (uppskattat till 13 Mkr)		

<u>Elenergi à 150 kr/MWh</u>	431	375
12 kWh/MWh <sub>t</sub> för olja (83000 MWh <sub>t</sub> )		
15 kWh/MWh <sub>t</sub> för flis (125000 MWh <sub>t</sub> )		
<u>Personal</u>	880	330
8 man à 110 kkr resp 3 man à 110 kkr		
<u>Bränsle</u>	16450	-
8500 m <sup>3</sup> olja à 900 kr (7650 kkr)		
176000 m <sup>3</sup> flis à 50 kr (8800 kkr)		
<u>Bränsle</u>	-	19170
21300 m <sup>3</sup> à 900 kr		
<u>Bränslelagring</u>		695
4 % ränta på beredskapslagret och halva driftlagret (680 kkr)		
Varmhållningskostnad (15 kkr)		
Total årskostnad	20735	22249

Även i detta fall är bränslekostnaden den i särklass största posten. På grund av kostnaderna för beredskapslagring av bränsle blir de totala kapital och räntekostnaderna ungefär lika för de båda alternativen vilket gör att andra räntesatser inte kommer att påverka resultatet av jämförelsen.

Kostnadsjämvikt med data enligt ovan fås vid ett flispris av 58,6 kr/m<sup>3</sup>s. Genom olika alternativa utföranden kan detta värde komma att variera mellan 55 och 60 kr per m<sup>3</sup>s vilket är ett realistiskt flispris i många regioner idag.

Alternativet med en fliseldad panna blir givetvis attraktivare ju högre oljepriset blir. En höjning av oljepriset med 100 kr/m<sup>3</sup> skulle öka skillnaden mellan alternativen med 1355 kkr till 2870 kkr vilket i sin tur då skulle innebära att flisen kan betalas med 66,3 kr/m<sup>3</sup>s.

## FÖRBRÄNNING AV TRÄBRÄNSLEN

### 1 Trä som bränsle

Träbränsle består i "rått" tillstånd av:

- flyktiga beståndsdelar
- "fast" kol
- fukt ( F )
- aska ( A )

De båda första delarna utgör tillsammans de brännbara delarna. De flyktiga beståndsdelarna består främst av olika kolväten (  $C_nH_m$  ) och koloxid ( CO ) som avgår i gasform när träbränsle värms upp. Återstoden, räknat på brännbar substans, kan kallas fast kol.

Andelen flyktiga beståndsdelar är viktig för förbränningsförloppet som på grund därav ofta brukar delas in i olika temperaturberoende faser enligt fig 1.

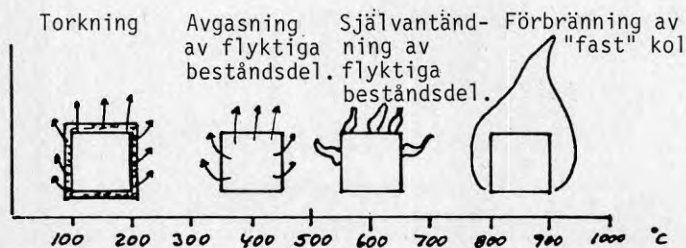


Fig 1. Olika temperaturfaser under förbränningsförloppet.

Askan består till största delen av oxider av olika metaller ( Al, Si, Fe, Ca, Mg, K, och Na ). Speciellt viktigt är när och hur askan mjuknar och smälter då smält aska (slagg) kan medföra problem vid förbränningen.

Speciellt svåra förhållanden kan uppstå vid höga halter  $\text{SiO}_2$  i askan då den i dessa fall inte har någon väl definierad smältpunkt utan mjuknar efter hand och kan ge upphov till en glasartig beläggning i pannan.

För ett finfördelat bränsle inleds förbränningsförloppet med en torkningsfas upp till ca  $200^\circ\text{C}$ . Vid  $350^\circ\text{C}$  börjar främst metan ( $\text{CH}_4$ ) och koloxid ( $\text{CO}$ ) att drivas ut och vid ca  $550^\circ\text{C}$  självantänds de avdrivna gaserna. Det kvarvarande kolet brinner sedan i fast tillstånd från ca  $800^\circ\text{C}$ .

Trä har i allmänhet hög andel flyktiga beståndsdelar, 75-85% (vikt) räknat på brännbar substans, vilket påverkar förbränningsförloppet i hög grad. När den intensiva avgasningen sker kan inte syremolekylerna komma i kontakt med den fasta koldelen utan detta kan ske först mot slutet av avgasningsperioden. Den klara uppdelningen i olika faser påverkar givetvis förbränningsförloppet både när bränslet tillförs satsvis, då de olika faserna blir tidsförskjutna, eller vid kontinuerlig bränsletillförsel då de olika förbränningsfaserna sker inom olika, relativt klart avgränsade, områden på rosten.

Vid pulverförbränning genomlöps de olika faserna mycket snabbt på grund av de mycket finfördelade bränslepartiklarna. Typiska uppvärmningshastigheter för bränslet är  $10^4$  K/s.

## 2 Träbränsle

Färskt träbränsle har mellan 35 och 55% fukthalt beroende på träslag och årstid då avverkningen sker. Genom lufttorkning kan denna halt teoretiskt sänkas till mellan 12 och 25%. Askhalten varierar i regel mellan 0,2 och 0,8% räknat på lufttorkad substans.

En mycket typisk elementaranalys för träbränsle räknat på brännbar substans är: 50% C, 6% H och 44% O.

Effektiva värmevärdet, också räknat på askfri torrsbstans, kan beräknas enligt Boie som

$$H_i^* = 35C + 94H - 10.80 \quad \{ \text{MJ/kg} \} \quad (1)$$

där C, H och O är respektive viktsandlear i bränslet. För medelbränslet ovan fås då  $H_i^* = 18.3$  MJ/kg.

Räknat på total substans reduceras värmeverdet främst med hänsyn till fukthalten. Om den lilla askhalten försummas fås:

$$H_i = H_i^* (1 - F - A) - F r \quad \{ \text{MJ/kg} \} \quad (2)$$

där  $r$  är vattnets ångbildningsvärme vid 25 °C,  $r = 2.44$  MJ/kg.  
För normalbränslet med analys enligt ovan fås åter:

$$H_i = 18.3 - 20.7 F \quad \{ \text{MJ/kg} \} \quad (3)$$

vilket återges grafiskt i fig 2.

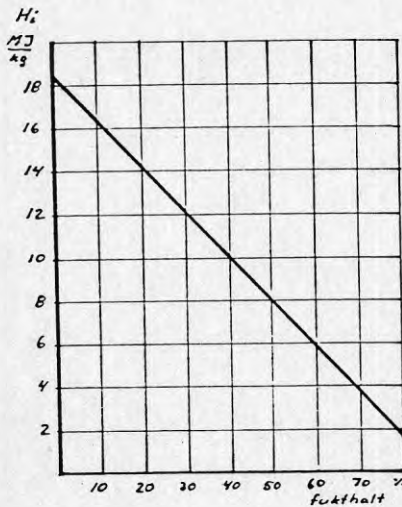


Fig 2 Effektiva värmeverdet för träbränsle som funktion av bränslets fukthalt.

### 3 Luft- och rökgasmängder

Utgående från elementaranalysen fås följande uttryck för syrebehovet räknat på brännbar substans:

$$q_{vO_2} = 22.7 \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) \quad \{ \text{nm}^3/\text{kg} \} \quad (4)$$

Motsvarande luftmängd blir:

$$q_{vL} = \frac{q_{vO_2}}{0.21} \quad \{ \text{nm}^3/\text{kg} \} \quad (5)$$

Vilket för normalbränslet ovan ger  $q_{vL} = 4.50 \text{ nm}^3/\text{kg}$ .

I praktiken är luftbehovet betydligt större vilket anges genom luftfaktorn  $\lambda$  enligt:

$$q_L = \lambda q_{vL} \quad \{ \text{nm}^3/\text{kg} \} \quad (6)$$

Motsvarande beräkning för rökgasmängden ger teoretiskt:

$$q_{vr} = 22.7 \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{2} \right) + 0.79 q_{vL} \quad \{ \text{nm}^3/\text{kg} \} \quad (7)$$

eller för vårt normalbränsle,  $q_{vr} = 5.18 \text{ nm}^3/\text{kg}$ .

Tas hänsyn till luftfaktorn även här fås:

$$q_r = q_{vr} + (\lambda - 1) q_{vL} \quad \{ \text{nm}^3/\text{kg} \} \quad (8)$$

Ett samband mellan värmevärde, luftfaktor och luft- och rökgasmängder som kan anses gälla för godtyckliga träbränslen med tillräckligt stor noggrannhet för de flesta praktiska beräkningar som förekommer återges grafiskt i fig 3 (nästa sida).

#### 4 Förbränningstemperatur

Den teoretiskt högsta temperatur som kan uppstå vid förbränningen fås om den frigjorda energin endast värmer rökgasen dvs värmeutbytet med omgivningen kan försummas (adiabat förbränning).

$$\theta_a = \frac{H_i - \Delta h_d}{q_r c_{pr}} + T_L \quad \{ ^\circ\text{C} \} \quad (9)$$



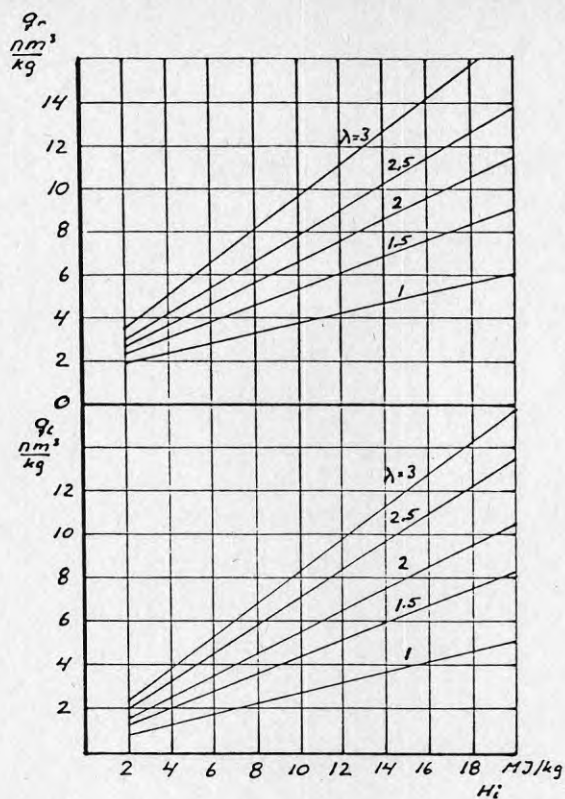


Fig 3 Luft- ( $q_l$ ) och rökgasmängder ( $q_g$ ) vid förbränning av träbränslen.

Inflytandet av dissociation, dvs sönderdelning av  $\text{CO}_2$  och  $\text{H}_2\text{O}$ , innebär att värme binds i dissociationsreaktionerna motsvarande  $\Delta h_d$ . Dessa reaktioner kan dock försummas vid temperaturer under ca  $1500^\circ\text{C}$  dvs för de flesta fall i samband med träbränsleeldning.

I ekv (9) är vidare  $c_{p,r}$  medelvärdet av rökgasernas värmekapacitet mellan  $0^\circ\text{C}$  och aktuell temperatur.  $T_1$  i ekvation (9) är lufttemperaturen i  $^\circ\text{C}$ .

Värmekapaciteterna för rökgas och luft kan beräknas ur följande formler:

$$c_{p_r} = 1.35 + \frac{0.15}{1000} T_r \quad \{ \text{kJ/nm}^3 \} \quad (10)$$

$$c_{p_l} = 1.30 + \frac{0.10}{1000} T_l \quad \{ \text{kJ/nm}^3 \} \quad (11)$$

$T_r$  och  $T_l$  är rökgas- respektive lufttemperaturerna i  $^{\circ}\text{C}$ .

Omformas ekv (9) med hjälp av ekv (7), (8) och (10) fås:

$$\theta_a = \frac{H_i}{\{5.18 + (\lambda-1) 4.5\} \{1.35 + \frac{0.15}{1000} \theta_a\}} + T_l \quad \{ ^{\circ}\text{C} \} \quad (12)$$

Detta är en andragsradsekvation som för ett fall utan luftförvärmning kan lösas för  $H_i$  och  $\lambda$  enligt fig 4.

I praktiken sker alltid förbränningen med ett visst värmeutbyte med omgivningen och den verkliga maximala temperaturen fås ur:

$$\theta = f \theta_a \quad \{ ^{\circ}\text{C} \} \quad (13)$$

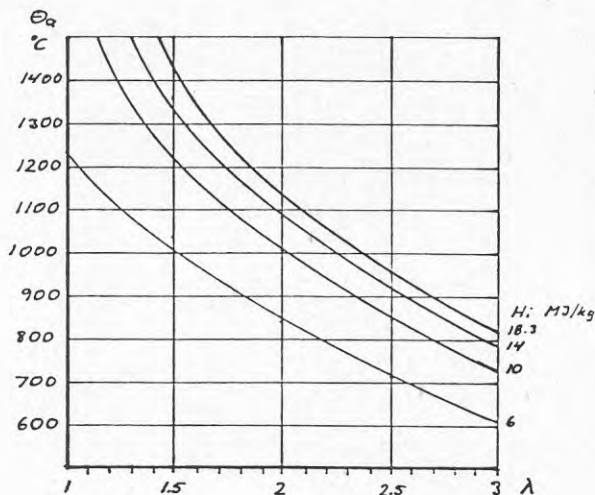


Fig 4 Adiabats förbränningstemperatur vid förbränning av träbränslen.

För en murad eldstad är  $f$  ca 0.9 och för en kylld eldstad är  $f$  ca 0.8.

## 5 Temperaturgränser

Förbränningstemperaturen bör ligga inom ett visst intervall för att man ska få en problemfri förbränning. Den undre temperaturgränsen sätts vid ca 850 °C för att det fasta kolet ska förbrännas.

Den övre gränsen bestäms av askans mjukningstemperatur och ligger mellan 1100 och 1300 °C för rena bränslen. Finns jord, sand eller andra föroreningar i bränslet kan temperaturgränsen sänkas betydligt.

Om den verkliga temperaturen ska ligga mellan säg 850 och 1100 °C motsvarar detta enligt ekv (13) en adiabatisk temperatur för t ex en murad eldstad ( $f=0.9$ ) på mellan 945 och 1220 °C. För ett bränsle med 40% fukthalt ( $H_i = 10$  MJ/kg) innebär detta att luftfaktorn  $\lambda$  ska ligga mellan ca 1.6 och 2.25 för att förbränningen ska ske inom rätt temperaturintervall enligt fig 4.

För bränslen med höga fukthalter blir det nödvändigt att förvärma förbränningsluften för att den lägsta temperaturgränsen ska kunna uppnås med de luftfaktorer man kan uppnå vid praktisk drift.

## 6 Avgasanalys

Halten koldioxid ( $CO_2$ ) vid stökiometrisk förbränning av normalbränslet enligt ovan är 20.4%. Denna halt varierar sedan med luftfaktorn ungefär enligt:

$$CO_2 \sim \frac{20.4}{\lambda} \quad \{ \% \} \quad (14)$$

Motsvarande värden för  $O_2$ -halten i rökgaserna fås ur

$$O_2 = 21 - \frac{21}{\lambda} \quad \{ \% \} \quad (15)$$

Dessa båda ekvationer återges grafiskt i fig 5 (nästa sida).

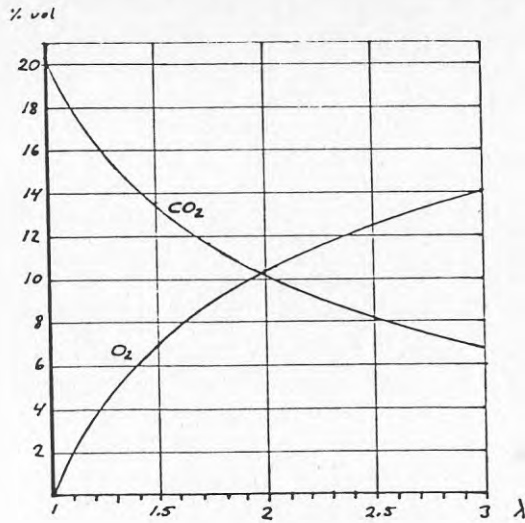


Fig 5 Samband mellan  $CO_2$ - resp  $O_2$ -halt och luftfaktorn vid träbränslen.

## 7 Eldstaden

Erfarenhetsvärden för eldstadsdimensionering mm ges av t ex Wagner / 1 /. För att få en godtagbar utbränning fordras en eldstadslängd av

$$L_e = L_{fl} 1.1 = 0.17 \sqrt{B} \quad \{ m \} \quad (16)$$

där B är bränsleflöde i kg/h. För eldstadsdiametern gäller:

$$D_e = D_{fl} 1.1 = 0.15 \sqrt[3]{B} \quad \{ m \} \quad (17)$$

Detta ger en minsta eldstadsvolym av:

$$V_{min} = \frac{D_e^2 \pi}{4} L_e = 0.003 B_{max}^{7/6} \quad \{ m^3 \} \quad (18)$$

vilket motsvarar en eldstadsbelastning ( volymsbelastning ) av:

$$Q_v = \frac{B_{max} H_i}{V_{min}} = \frac{333 H_i}{B_{max}^{1/6}} \quad \{ MJ/(m^3, h) \} \quad (19)$$

Görs en omräkning till SI-enheter,  $\text{kW/m}^3$ , fås:

$$Q_v = \frac{93 H_i}{B_{max}^{1/6}} \quad \{ \text{kW/m}^3 \} \quad (20)$$

Värdena enligt ekv (20) återges grafiskt i fig 6.

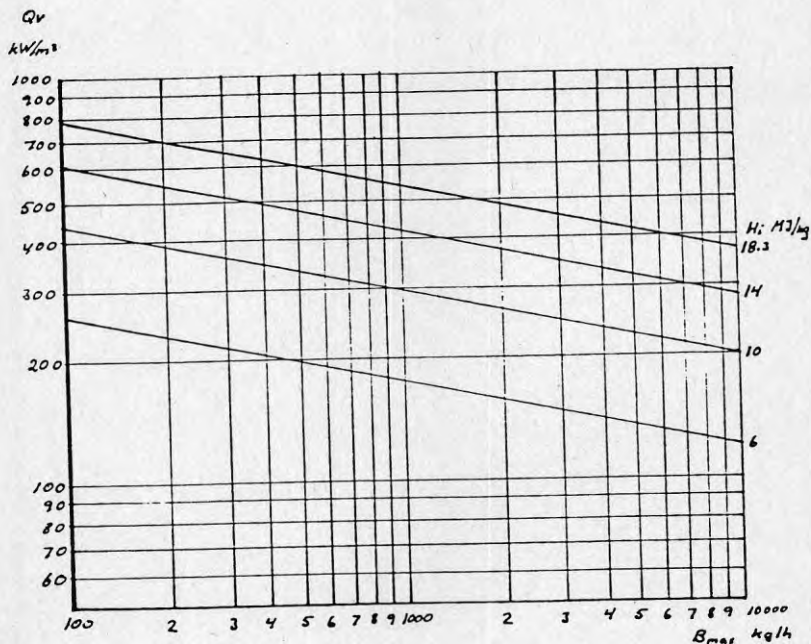


Fig 6 Maximalt tillåten eldstadsbelastning som funktion av värmevärde och bränsleflöde. / 1 /

"Svåra" bränslen kan medföra att volymsbelastningen måste halveras för att man inte ska få oförbränt i rökgasen. Genom att öka turbulensen i eldstaden eller genom att tillföra förvärmad sekundärluft kan man däremot öka volymsbelastningen.

Tvärsnittsbelastningen eller rostbelastningen fås enligt / 1 / till:

$$Q_y = \frac{B_{max} H_i}{D_e^2 \pi} \cdot \frac{4}{\pi} = \frac{H_i B_{max}^{1/3}}{0.018} \quad \{ \text{MJ}/(\text{m}^2, \text{h}) \} \quad (21)$$

eller

$$Q_y = 15.8 H_i B_{max}^{1/3} \quad \{ kW/m^2 \} \quad (22)$$

I ekvationerna (20) och (22) ska  $H_i$  sättas in i MJ/kg och B i kg/h.

## 8 Referenser

- / 1 / Wagner W: Wärmeträgertechnik. 3. Auflage 1977. Technischen Verlag Resch K G, Gräfelfing.

ReferenserKapitel 2

- Ahlén I. 1977. Faunavård om bevarande av hotade djurarter i Sverige. Skogshögskolan - Naturvårdsverket, Liber förlag.
- Andersson S., Jonsson Y., Nylinder M. 1977. Avverkning och transport av skogliga energiråvaror. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse nr 4, 1977.
- Björkroth G., 1977. Hyggesavfallets betydelse för granens överlevnad och tillväxt. PHU internrapport nr 51, 1977.
- Bredberg C.D. 1979. Skellefte-Terminal. NE-projekt nr 3065311.
- Danielsson B.O., Mattson J.E., Nilsson P.O. 1977. Preliminär bedömning av skogen som energikälla. PHU internrapport nr 54.
- Förnybara energikällor. 1979. DFE-rapport nr 22, 1979.
- Ingelög T. 1977. Hyggesavfallets betydelse för bärrisens förekomst och fertilitet. En orienterande studie. PHU internrapport nr 53, 1977.
- Kardell L. et al. 1977. Konsekvenser för det rörliga friluftslivet av helträdsutnyttjande. Skogshögskolan, avdelningen för landskapsvård. Rapport och Uppsatser nr 7, 1977.
- Nykvist N. 1974. Helträdsutnyttjande. Föredrag från helträds-konferens i Stockholm den 27 mars 1974. Skogshögskolan, inst. för skogsteknik. Rapporter och Uppsatser nr 76, 1974.
- Skärby R. 1978. Förstudie av produktion och användning av skoglig energiråvara inom SABI-området. NE-projekt nr 306534, 1978.

- Beijbom L., Nilsson M. 1979. Fliseldning i gårdar och småhus. Silviconsult, Bjärred.
- Engshagen A. 1976. Torv som bränsle. STF Kurskompendium Eldningsteknik.
- Halm som råvara inom skogsindustrin. 1979. Slutrapport från IVAs och KSLAs arbetsgrupp för halm. IVA rapport nr 169. Ingenjörsvetenskapsakademien, 1979.
- Kjellström B., Gustafsson B. 1978. Värmevärde för träbränslen. AB Fjärrvärme, rapport FV-78-0007.
- Rörgren L. 1979. Konvertering av befintliga större pannor. STF-kurs: Övergång till inhemska bränslen, 1979.
- Schuster R. 1979. Utredning av tekniska och ekonomiska förutsättningar för utnyttjande av styckeved i anläggningar för fjärrvärmeproduktion. AB Fjärrvärme, rapport FV-79-0009/01.



Slutrapport från projektgrupp Massa. PHU-projekt, 1977.

Slutrapport från projektgrupp Skog. PHU-projekt, 1977.

Tillvaratagande av skogsenergi - idag och i morgon. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse nr 6, 1979.

### Kapitel 3

Avverkning och transport av skogliga energiråvaror. 1977.

Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse nr 4, 1977.

Energi. 1978. Betänkande av energikommissionen. Statens offentliga utredningar, 1978:17.

Förnybara energikällor. DFE-rapport nr 22. 1979.

Ljungblom L., Lundberg H., Marklund A., Sjöberg S.O. 1978.

Energiskog. NE-projekt nr 3065 16, 1978.

Magnusson L. 1978. Skörd och hantering av biomassa från energiskog - kravangivelser och utkast till maskinsystem. NE-projekt nr 3065 28, 1978.

Sirén G. 1979. Projekt Energiskogsodling. NE-projekt nr 3065 01, 1979.

Site-Specific Production Studies and Cost Analyses. 1977.

Mitre Technical Report nr 7347, vol. 4, 1977.

Kapitel\_4

Bergman Ö., Nilsson T. 1977. Vednedbrytning vid utomhuslagring av helträdsflis. PHU-rapport nr 29, 1977.

Gislerud O. 1975. Heltreutnyttelse. Lagring av heltreflis. Norsk institutt for skogforskning, rapport nr 1432 AS-NLH, 1975.

Henningson B. 1973. Lövmassaveden och lagringsskadorna. Skogshögskolan, inst. för virkeslära, rapport nr R 81, 1973.

Ljungblom L., Lundberg H., Marklund A., Sjöberg S.O. 1978. Energiskog. NE-rapport nr 3065 16, 1978.

Magnusson L. 1978. Skörd och hantering av biomassa från energiskog - kravangivelser och utkast till maskinsystem. NE-rapport nr 3065 28, 1978.

Moström R. 1979. Utredning av torkningsanläggning för fasta bränslen. NE-rapport nr 3065 66, 1979.

Kapitel\_5

Torvenergi. 1979. IVA-rapport nr 155, 1979.

Torv i Sverige. 1977. Planeringsrapport NE 1977:1.

Vattenfalls torvutredning 1979.

Kapitel\_6

ASEA-ATOM - Värmeverksföreningen. 1979. Alternativbränsleverk för fjärrvärmeproduktion. NE-projekt 3066 321, 1979.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
790388-4 från Statens råd för byggnadsforskning  
till SIKOB AB, Sollentuna.**

**R102: 1980**

**ISBN 91-540-3312-8**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700202**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 40 kr exkl moms**