CHALMERS

TRÄPELLETS
som småskaligt biobränsle

MARIA OLSSON

Avdelningen för kemisk miljövetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2001

Energimyndigheten

Träpellets som småskaligt biobränsle

MARIA OLSSON

Avdelningen för kemisk miljövetenskap
Chalmers tekniska högskola
Göteborg 2001

Energimyndigheten

Träpellets som småskaligt biobränsle

MARIA OLSSON

© MARIA OLSSON, 2001

Avdelningen för kemisk miljövetenskap

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Tel 031-772 1000

Omslag: Maria mäter utsläpp av ämnen i rök från pelletseldning i Härryda.
Foto: Jennica Kjällstrand

Chalmers Reproservice

Göteborg, november 2001

SAMMANFATTNING

Detta projekt har haft tre syften. Ett av dem var att göra en marknadsundersökning av den svenska tillverkningen och användningen av bränslepellets. Ett andra var att genom ekologiska och ekotoxikologiska jämförelser och resonemang komma fram till om pellets bör eldas storskaligt eller småskaligt. Ytterligare ett var att utförda rökgasanalyser vid förbränning av träpellets för att se vilka organiska ämnen som fanns i rökgaserna.

En intervjubaserad marknadsundersökning visade att det hösten 2001 fanns 22 tillverkningsanläggningar för träpellets i Sverige. Dessa har en total produktion på 700 000 årston. De pellets som tillverkas innehåller sågspån och/eller kutterspån av barrved, samt i vissa fall även bindemedel. Den svenska produktionen har ökat dramatiskt sedan tillverkningen startade i början på 80-talet. Större delen av de pellets som produceras används fortfarande vid storskalig förbränning i värmeverk. En mindre del, ungefär 12%, går till småskalig användning i villahushåll. För tillfället finns det omkring 20 000 hus som helt eller delvis värms upp med pellets. Större delen av dessa var tidigare vedeldade. Anledningen till att många vedeldare gått över till pellets är att det är ett bekvämt bränsle, med bland annat automatisk matning, och att pellets är ett billigt alternativ. Idag byter även allt fler hushåll från olja till pellets. Detta beror på att oljan blivit allt dyrare samtidigt som pellets blivit tillgängligt som ett miljövänligt alternativ. Priset för träpellets till villor var under 2001 ca 34 öre/kWh.

Bränslepellets av sågspån och kutterspån är ett rent och homogent bränsle och lämpar sig därför väl för småskalig eldning i mindre förbränningsutrustningar. Biobränsle i form av grenar och toppar från skogsavverkning innehåller mer kväve och andra mineralnäringsämnen och bör därför eldas i storskaliga anläggningar med rökgasrening och möjligheter till askåterföring. Biologiskt avfall är ett biobränsle som sannolikt får en ökad betydelse i framtiden på grund av nya avfallsregler och höga deponiskatter. Detta bränsle är, i jämförelse med träpellets, orent och bör hanteras i storskaliga anläggningar med väl utbyggd rökgasrening. Slutsatsen av ovanstående resonemang blir att bränslepellets bör reserveras för småskalig eldning.

Två olika studier av rök från pelletseldning genomfördes. Den första utfördes i laboratorieskala då pellets från några olika tillverkare eldades för att undersöka det organiska innehållet i rökgaserna med GC/MS. Analyserna utformades för att simulera ofullständig förbränning i en pelletsbrännare eller en pelletskamin. Det visade sig att förbränningsförhållandena hade stor inverkan på innehållet i rökgaserna, men att de olika pelletssorterna gav mycket likartade emissioner. De organiska ämnen som bestämdes vid flammande förbränning av pellets var huvudsakligen 2-metoxifenoler med antioxidant-egenskaper. Vid glödförbränning var det däremot bensen som dominerade. En andra studie utfördes på några fast installerade brännare och kaminer. Denna gång togs rökgasprov vid skorstensmynningen vid normal drift. Organiska ämnen i rökgaserna analyserades med GC/MS samtidigt som andra rökkaraktäristika undersöktes. Vid förbränning i pelletskamin dominerade bensen tillsammans med 2-metoxifenoler. I rökgaserna från en pelletsbrännare saknades däremot metoxifenoler helt. Halterna av aromatiska kolväten var här något högre än från pelletskaminen. Resultaten från de båda studierna visar att det är mycket viktigt att inte enbart mäta totalmängden organiskt bundet kol (OGC) utan att också undersöka vilka enskilda organiska ämnen som egentligen bildas vid förbränning av träpellets.

ABSTRACT

There were three aims of this study. One of them was to investigate the production and use of fuel pellets in order to describe the situation on the Swedish pellet market. Another one was to ecologically and ecotoxicologically discuss whether pellets should be used in small scale or large scale combustion plants. Finally, the organic content of the flue gases from combustion of wood pellets were analysed.

Some conclusions could be made based on the investigation of the Swedish pellet market. In the autumn 2001 there were 22 production sites for wood pellets in Sweden, with a total production of 700,000 tonnes per annum. The produced pellets consist of softwood saw dust and/or softwood shavings, and in some cases also an additive. The Swedish production started in the beginning of the 80's and has increased dramatically ever since. The main part of the pellets is burnt in large scale heating plants. However, approximately 12% are used for residential heating. There are at present about 20,000 residential heating devices for wood pellets in Sweden, of which most have replaced wood stoves. The reasons for the change from firewood to pellets are the simplicity, mainly due to the automatic feeding, and the fact that pellets are a cheap alternative. Today, the number of oil burners being replaced by pellet burners is increasing. The reasons are that pellets are an environmentally friendly alternative and that oil is relatively expensive. The price for a small scale customer is approximately 0.38 SEK/kWh, to be compared to 0.60 SEK/kWh for oil and 0.48 SEK/kWh for electricity. Thus, wood pellets are much cheaper than these alternatives.

Fuel pellets made from wood chips and wood shavings are clean and homogeneous and a suitable fuel for combustion in small heating devices. Biofuel from forest felling, such as branchwood, contains a higher amount of mineral nutritients. Hence it should be burnt in large combustion plants with flue gas purification and possibilities for returning the nutritients in the ashes to the forest ecosystem. Biowaste is a biofuel with future potential due to new waste regulations and high deposition taxes. Compared to wood pellets, this fuel is contaminated and should be handled in large scale combustion plants with advanced flue gas purification. The conclusion from the discussion above is that fuel pellets should be reserved for residential heating.

Two kinds of studies of the smoke from pellet burning were made. The first one was performed in laboratory scale when pellets from three different manufacturers were burnt in order to analyse the organic fraction of the flue gases with GC/MS. The analyses were designed to simulate incomplete combustion in a pellet burner or a pellet stove. It was clear that the combustion conditions largely affected the contents of the flue gases, but also that the different pellet brands gave rise to similar emissions. The organic substances found during flaming combustion of pellets were mainly 2-methoxyphenols with antioxidant properties. Benzene was, however, predominant during glowing combustion. The second study of pellet smoke was performed on some burners and stoves installed at consumers. This time the smoke was sampled in the chimney pipe during normal operation of the burning equipment. The organic content of the flue gases was analysed with GC/MS at the same time as other smoke characteristics were studied. Benzene together with 2-methoxyphenols was dominant in the flue gases from the pellet stove. The 2-methoxyphenols were, however, missing in the flue gas samples from the pellet burner. The concentrations were somewhat higher than from the pellet stove. The results from both these studies emphasise the importance of measuring not only the total amount of emitted organic carbon (OGC), but also the specific organic substances emitted during combustion of wood pellets.

FÖRORD

Denna rapport har tagits fram inom projektet ”Antioxidanter och andra organiska ämnen i emissioner från småskalig biobränsleanvändning”, som ingår i forskningsprogrammet ”Småskalig förbränning av biobränslen” och finansieras av Energimyndigheten.

Uppläggningen har skett i samråd med projektledarna tekn lic Jennica Kjällstrand och docent Göran Petersson vid avdelningen för Kemisk Miljövetenskap, Chalmers. Även forskningsunderlaget har tagits fram tillsammans med Jennica Kjällstrand och Göran Petersson. Rapportförfattare är civ ing Maria Olsson vid samma avdelning. Rapporten är bl a avsedd att ge underlag för fortsatt forskning kring emissioner av organiska ämnen, med inriktning på internationell publicering.

Detta arbete har bara varit genomförbart tack vare att ett flertal personer har ställt upp med hjälp.

Först skulle jag vilja tacka alla på Baxi AB i Falköping, samt Bengt-Erik Löfgren, Äfab AB för hjälp under arbetets gång.

Ett särskilt tack vill jag rikta till alla Sveriges pelletstillverkare, pelletsforskare och pelletsentusiaster som hjälpt mig med information och inspiration.

Slutligen vill jag tacka Energimyndigheten för finansiellt stöd.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING 1
1.1 BRÄNSLEPELLETS 1
1.2 SYFTE 1
2 BAKGRUND 3
2.1 DET SVENSKA ENERGILÄGET 3
2.1.1 BIOBRÄNSLEN 3
2.1.2 BIOBRÄNSLEPOTENTIAL 4
2.1.3 VILLAUPPVÄRMNING 4
2.2 FÖRÄDLADE BIOBRÄNSLEN 7
2.2.1 JÄMFÖRELSE MED OFÖRÄDLADE BIOBRÄNSLEN 7
2.2.2 JÄMFÖRELSE MED ANDRA UPPVÄRMNINGSSÄTT 8
2.3 HISTORISK UTVECKLING 9
2.3.1 GLOBALT 9
2.3.2 SVERIGE 10
3 EKOLOGISKA ASPEKTER 11
4 PELLETS I SVERIGE IDAG 13
4.1 PELLETSANVÄNDNING I NULÄGET 13
4.1.1 SVERIGE 14
4.1.1.1 STORSKALIG ANVÄNDNING 14
4.1.1.2 SMÅSKALIG ANVÄNDNING 15
4.1.2 EUROPA 16
4.1.3 NORDAMERIKA 16
4.2 RÅMATERIAL 17
4.2.1 SKOGSBRUK & AVVERKNINGSRESTER 18
4.2.2 TORV & TORVTÄKTER 18
4.3 PELLETSTILLVERKNING 19
4.3.1 LOKALISERING 19
4.3.1.1 RÅVARA 19
4.3.1.2 ENERGI 19
4.3.1.3 KUNDER 19
4.3.1.4 BEFINTLIG ANLÄGGNING 19
4.3.2 TILLVERKNINGSMETODER 20
4.3.2.1 TORKNING 20
4.3.2.2 MALNING 20
4.3.2.3 PRESSNING 20
4.3.3 BINDEMEDEL 21
4.3.3.1 WAFOLIN S 21
4.3.3.2 POTATISSTÄRKELSE 21
4.4 TRANSPORT, LAGRING & EKONOMI 23
4.4.1 TRANSPORT 23
4.4.2 LAGRING 24
4.4.3 EKONOMI 25
4.5 DIMENSIONER & EGENSKAPER 27
4.5.1 DENSITET 27
4.5.2 DIAMETER 27
4.5.3 EFFEKTIVT VÄRMEVÄRDE 27

4.5.4 FUKTHALT 28
4.5.5 ASKHALT 28
4.5.6 FINFRAKTION 28
4.6 FÖRBRÄNNINGSUTRUSTNING 29
4.6.1 BRÄNNARE 29
4.6.2 PANNOR 30
4.6.3 KAMINER 30
4.6.4 P-MÄRKNING 31
4.6.5 ELDKORG 31
5 EMISSIONER FRÅN PELLETSELDNING 33
5.1 LABORATORIEFÖRSÖK 33
5.1.1 FÖRSÖKSMATERIAL 33
5.1.2 FLAMELDNING 34
5.1.3 GLÖDELDNING 34
5.2 SKORSTENSANALYSER 35
5.2.1 PELLETSBRÄNNARE 35
5.2.2 PELETSKAMINER 36
5.3 ANALYS 37
5.4 ELDNINGSRESULTAT 39
5.4.1 LABORATORIEFÖRSÖK 39
5.4.1.1 FLAMELDNING 39
5.4.1.2 GLÖDELDNING 40
5.4.2 SKORSTENSANALYSER 42
5.4.2.1 PELLETSBRÄNNARE 43
5.4.2.2 PELLETSKAMINER 44
5.5 EMISSIONER 45
5.5.1 EMISSIONERNAS TEMPERATURBEROENDE 45
5.5.2 ORGANISKA ÄMNEN 46
5.5.2.1 METAN 46
5.5.2.2 BENSEN 46
5.5.2.3 BENSONITRIL 47
5.5.2.4 POLYCYKLISKA AROMATISKA KOLVÄTEN 47
5.5.2.5 ANHYDROGLUKOS & FURANER 47
5.5.2.6 POLYKLORFÖRENINGAR 48
5.5.2.7 FENOLER 48
5.5.2.8 METOXIFENOLER 49
5.5.2.9 TERPENER 50
5.5.3 ANDRA EMISSIONER 51
5.5.3.1 KOLDIOXID 51
5.5.3.2 KOLMONOXID 51
5.5.3.3 KVÄVEOXIDER 51
5.5.3.4 TJÄRA 51
5.5.3.5 STOFT 51
6 SLUTSATSER 53
6.1 EKOLOGI 53
6.2 POTENTIAL 53
6.3 EMISSIONER 53
6.4 FRAMTIDA PUBLIKATIONER 53
7 REFERENSER 55

BILAGOR

BILAGA 1	SVERIGES PELLETSTILLVERKARE - ÖVERSIKT
BILAGA 2	SVERIGES PELLETSTILLVERKARE - DETALJERAT
BILAGA 3	SVENSK STANDARD FÖR BRÄNSLEPELLETS
BILAGA 4	GRUNDÄMNESSAMMANSÄTTNING HOS PELLETS
BILAGA 5	SKOGSBRÄNSLEN, OLJA OCH STENKOL
BILAGA 6	ASKSAMMANSÄTTNING HOS PELLETS
BILAGA 7	FÖRBRÄNNINGSUTRUSTNING
BILAGA 8	FÖRBRÄNNINGSANALYSER
BILAGA 9	SAMMANFATTNING AV PELLETSARTIKLAR
BILAGA 10	PRESS-PM

1 INLEDNING

Ordet pellets kommer ifrån det latinska ordet *pi´la* som betyder boll eller kula. En bränslepellets är enligt definition ett kort, cylindriskt stycke avsett för eldning, framställt genom pressning av finfördelat torrt bränsle och med en diameter på mindre än 25 mm.[48]

1.1 BRÄNSLEPELLETS

Träpellets består av komprimerade sågspån eller kutterspån, vanligen av barrträd. Träpellets har en mycket låg fukthalt, runt 8% och är därför ett torrare och mer homogent bränsle än oförädlade biobränslen, som till exempel ved.

För tillfället finns det 22 produktionsanläggningar i Sverige som producerar 700 000 årston pellets. Pelletsanvändningen ökar med ungefär 20% årligen och optimismen inför framtiden är stor.[74] Det är dock på den småskaliga marknaden och inom närvärme som den största ökningen sker. Detta beror på det höga oljepriset och det instabila elpriset. Villaanvändningen ökar med 30-35% årligen och för tillfället finns det ca 8 000 pellets-kaminer, 10 000 pelletsbrännare och ett fåtal pelletspannor installerade.[63] Dessa konsumerade under år 2000 ungefär 90 000 ton pellets.[36] Hittills har pellets främst ersatt ved i villapannor, men börjar nu även ersätta en stor del av oljan.

Varför har då pellets potential att bli ett viktigt småskaligt bränsle?

- Ekonomiskt intressant alternativ
- Inhemskt bränsle
- Förnyelsebart, det vill säga ger inget nettoutsläpp av koldioxid
- Kan ersätta el, eldningsolja och ved
- Har potential att eldas med endast små effekter på den yttre miljön
- Förväntas ha jämn prisutveckling i jämförelse med olja

Vid analys av utsläppen från pelletseldade utrustningar mäts vanligen alla organiska kolväten som ett totalvärde – OGC (organiskt bundet kol). Det är dock ganska oklart vilka kemiska ämnen detta OGC egentligen innehåller och vilka miljö- och hälsoeffekter respektive ämne har. Denna frågeställning är speciellt viktig då pellets har potential att i framtiden svara för en stor del av den småskaliga bostadsuppvärmningen och då ämnen från rökgaserna således kommer att finnas i människors livsmiljö.

1.2 SYFTE

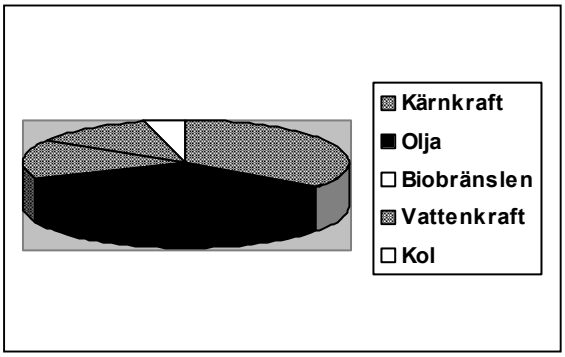
Detta arbete har haft tre delmål:

- Att göra en marknadsundersökning av den svenska tillverkningen och användningen av bränslepellets. Detta syftar till att få en bild av pelletsmarknaden
- Att genom ekologiska och ekotoxikologiska jämförelser och resonemang komma fram till huruvida pellets bör eldas storskaligt eller småskaligt.
- Att utföra rökgasanalyser vid förbränning av träpellets. För att undersöka vilka organiska ämnen som återfinns i rökgaserna.

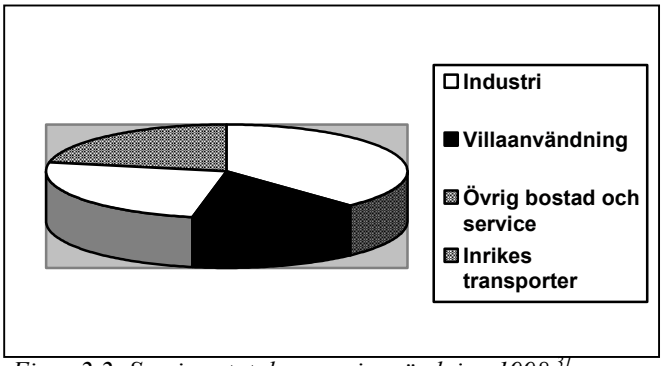
2 BAKGRUND

2.1 DET SVENSKA ENERGILÄGET

Sveriges totala energitillförsel var 622 TWh 1998.[31] Av detta var 15% biobränslen. Figur 2.1 visar hur energitillförseln fördelade sig på övriga energislag. Av den totala energitillförseln försvann 30% som omvandlingsförluster. Den totala energianvändningen i Sverige uppgick till 395 TWh 1998. Av denna energi gick 15% till villaanvändning. Var den resterande energin användes ses i figur 2.2.



Figur 2.1: Sveriges totala energitillförsel 1998. I biobränslen är i detta fall även torv inkluderat. [31]



Figur 2.2: Sveriges totala energianvändning 1998.[31]

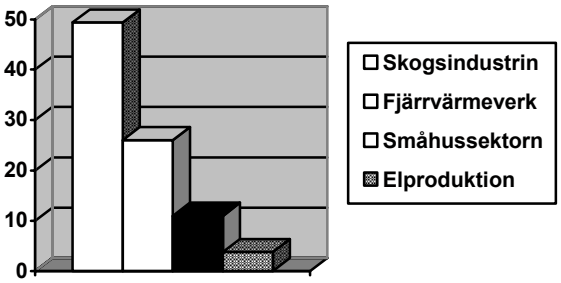
2.1.1 BIOBRÄNSLEN

Biobränslen definieras som bränsle bestående av biomassa.[48] Den miljömässigt största fördelen med en ökad användning av biobränslen är att dessa är förnyelsebara och därmed inte bidrar till växthuseffekten. Under år 1998 uppgick användningen av biobränslen och torv i Sverige till 92 TWh.

De bränslen som ingår i begreppet biobränslen är huvudsakligen inhemskt producerade och utgörs av:

- avlutar (biprodukt vid kemisk framställning av pappersmassa)
- trädbränslen (ved, bark, spån och energiskog)
- avfall (returpapper, kompost, rivningsvirke)
- torv (ingår i begreppet bioenergi)
- stråbränslen (halm och energigräs)

Biobränslen används av skogsindustrin, småhussektorn, fjärrvärmeverken och elproducenterna (figur 2.3). En viss import av biobränslen 7-9 TWh förekommer också, vilket pressar priserna på inhemska energiråvaror.



Figur 2.3: Användningen av biobränsle inom olika sektorer år 1998 i TWh.[31]

2.1.2 BIOBRÄNSLEPOTENTIAL

Världen skogsareal minskar för närvarande med 15 miljoner hektar per år.[42] Endast lite mer än hälften av de 6 miljarder hektar skog som täckte jorden för 8 000 år sedan finns nu kvar. Skogen avverkas för att ge plats åt jordbruksmark, för virkes och pappersproduktion och för att ge bränsle. År 1997 användes 1,7 miljarder m^3 ved som trädbränsle.

I Sverige är dock situationen den omvända. Tillväxten av skog är större än avverkningen.[40] Skogsuttaget var 70 skogkubikmeter år 1998, men skulle kunna ökas till 75-80 m^3. Samma år kom 18% (87 TWh) av Sveriges totala energianvändning från biobränslen. Enligt Kretsloppsdelegationens bedömning är potentialen mycket större, 120-220 TWh. Den mer exakta slutsiffran beror på hur mycket avverkningsrester som kommer att kunna utnyttjas som biobränsle och det beror i sin tur på möjligheterna att kompensera uttaget av näringsämnen genom askåterföring. Institutionen för Skog-Industri-Marknad studier vid Lantbruksuniversitetet ansåg att 65-81 TWh/år kunde tas ut ur skogen.[44] Motsvarande siffra från Naturvårdsverket var 20-25 TWh/år. Ungefär 14%, d v s 500 000 ha av den svenska jordbruksmarken ligger i träda.[40] Denna mark skulle kunna användas till att producera energigrödor motsvarande 20 TWh/år.

Svenska Bioenergiföreningen har förutsagt den totala biobränslepotentialen år 2020, enligt tabell 2.1.

Tabell 2.1: Prediktion av den totala biobränslepotentialen år 2020.[78]

	År 2020 (TWh/år)
Trädbränslen	120
Avlutar	34
Åkerbränslen	20
Torv	12
Hushålls- & industriavfall	15
Summa	**201**
	(1998 användes 92 TWh)

2.1.3 VILLAUPPVÄRMNING

Totalt användes ungefär 41 TWh till uppvärmning av småhus och jordbruksfastigheter under 1999.[47] Hur dessa fördelades på olika energislag syns i tabell 2.2.

Omkring 10 TWh av den energi som användes för småskalig uppvärmning utgjordes av skogsbiobränslen, i huvudsak helved och flis. Vedeldning är vanligast hos husägare med god tillgång till skog, exempelvis på landsbygden.[31] Användningen av pellets i småhussektorn är relativt liten och uppgick 1999 till 0,4 TWh, vilket motsvarar 75 000 ton.[47]

Tabell 2.2: Energianvändning för uppvärmning av småhus och jordbruksfastigheter under 1999.[26, 47]

	TWh	**Bränslemängd**
Elvärme	16,1	-
Olja	12,6	1 226 000 m^3
Fjärrvärme	2,5	-
Naturgas	0,1	-
Trädbränslen	9,6	-
Ved	8,9	7 181 000 m^3
Flis & spån	0,3	483 000 m^3
Pellets	0,4	75 000 ton
Summa	**40,9**	-

I Sverige fanns det 1999 drygt 1,5 miljoner permanent bebodda småhus.[47] De uppvärmningssätt som dominerade under detta år syns i tabell 2.3. Den genomsnittliga energianvändningen för ett småhus var 160 kWh/m^2. I genomsnitt användes 21,2 liter olja per uppvärmd m^2 bostadsyta, eller 156 kWh el per m^2. Av samtliga småhus värmdes 35% upp med enbart el. Näst vanligast var uppvärmning med både trädbränsle och el. Det tredje vanligaste uppvärmningssättet var oljeeldning. Dock hade dessa tre uppvärmningsalternativ minskat något jämfört med 1998. Istället har användningen av trädbränslen, berg/jordvärme och fjärrvärme ökat.

Tabell 2.3: Använda energislag för uppvärmning av småhus under 1999.[47]

Använda energislag	**Antal villor (st)**	**Procentandel[a] (%)**
Enbart elvärme	531 000	35,0
Enbart olja	216 000	14,2
Olja och trädbränsle[a]	67 000	4,4
El, olja och trädbränsle[a]	34 000	2,3
El och olja	99 000	6,6
El och trädbränsle[a]	264 000	17,4
Enbart trädbränsle[a]	75 000	4,9
Berg- eller jordvärme	27 000	1,8
Fjärrvärme	111 000	7,3
Övrigt	91 000	6,0
Summa	**1 516 000**	**100,0**

[a] Ved, spån, flis, pellets och briketter

För flerbostadshus och lokaler dominerades uppvärmningen av fjärrvärme. Trenden är en fortsatt ökad anslutning till fjärrvärmenätet.

2.2 FÖRÄDLADE BIOBRÄNSLEN

Förädlade biobränslen finns idag i form av pellets, briketter och pulver. Det är dock främst pellets som lämpar sig för den småskaliga marknaden. Att tillverka briketter är billigare än att tillverka pellets, både med avseende på investeringskostnader och med avseende på driftskostnader.[34] Pelletering innebär större slitage på delar av tillverkningsutrustningen. Briketter är dock svårare att transportera och att mata in i pannor och är därför inte särskilt lämpliga för småskalig användning.[74]

Ett biobränsles höga fukthalt är en nackdel vid jämförelse med andra bränslen eftersom det ger en högre transportkostnad och mikrobiell nedbrytning vid felaktig hantering och lagring.[34] Oförädlade biobränslen har en varierande fukthalt vilket ger en ojämn förbränning med onödiga emissioner och en lägre verkningsgrad. Detta är främst ett problem vid småskalig eldning. Ett biobränsle kan torkas och komprimeras för att få en högra energitäthet och bättre hanterings- och lagringsegenskaper. Bränslet blir då dyrare, men detta kompenseras med lägre kostnader för transport och lagring på grund av den högre energitätheten. Biobränslen ger även ökad sysselsättning (ca 5 000 heltidstjänster inom biobränslesektorn 1991), importoberoende, och beredskap inför elavbrott och internationella kriser.

Pellets

Briketter

Pulver

2.2.1 JÄMFÖRELSE MED OFÖRÄDLADE BIOBRÄNSLEN

Pellets har många fördelar jämfört med oförädlade biobränslen:[34,35]

- Mindre arbete för kunden som till exempel slipper hugga ved
- Automatisk inmatning gör eldningen bekvämare
- Högt energiinnehåll per viktsenhet ger färre och billigare transporter och liten lagringsvolym
- Högt och jämnt energiinnehåll ger enklare styrning av pannan
- Pellets kan lagras nästan helt utan förluster
- Kan eldas i konverterade oljepannor eller vedpannor med bibehållen effekt, bättre verkningsgrad och mindre miljöskadliga utsläpp
- Mindre mängd aska per producerad energimängd
- Pellets ”rinner” lätt och kan därför lagras i silos och ha en sluten distributionskedja

Det finns dock ett antal nackdelar:

- Dyrare
- Känsligare för förändringar i råvaran
- Finfraktionen kan störa förbränning och matning

2.2.2 JÄMFÖRELSE MED ANDRA UPPVÄRMNINGSSÄTT

Pellets har även många fördelar jämfört med olja:

- Pellets är billigare och har dessutom en jämn prisutveckling
- Förnybart bränsle, oljan kommer inte att räcka för alltid
- Ger inte något nettotillskott av koldioxid till atmosfären. Förbränning av 5 m^3 olja gör att 13,8 ton koldioxid bildas
- Inhemskt bränsle

Några nackdelar:

- Kräver större lager för bränsle
- Kräver regelbunden tillsyn och uraskning

Även jämfört med el är pellets billigare. Pellets har dessutom en lägre och mer jämn prisutveckling än både olja och el. Oljepriset har ökat med 70% sedan 1995 och elpriset med 13%.[41] Det är dock svårt att säga vilket uppvärmningssätt som är det mest miljövänliga när pellets och el jämförs eftersom det beror på hur den ersatta elektriciteten producerats.

2.3 HISTORISK UTVECKLING

Några av de drivande krafterna för att börja förädla trädbränslen har varit och är:[22]

- Restprodukter med stora volymer som är svåra att hantera
- Undvika miljöförstörande deponering
- Energikriser
- Ersätta miljömässigt sämre bränslen
- Årstidsbunden överkapacitet hos tillverkare av foderpellets

2.3.1 GLOBALT

Trots att användningen av träpellets för villauppvärmning är ett relativt nytt fenomen är metoderna för att komprimera trädbränsle dock inte nya.[22] Dessa metoder har sitt ursprung i foderindustrins pelletering av djurfoder samt bränsleindustrins brikettering av kol tillsammans med skogsindustrirester.

Den historiska utvecklingen av komprimerade trädbränslen startade i USA under mitten av 1800-talet. År 1864 utvecklades en process som gick ut på att formpressa sågspån, tjära, träflisor och vatten vid hög temperatur. Följande år lanserades även en maskin som gjorde bränslebriketter av torv.

Fram till 1920-talet förädlade inte virkesindustrin sina egna produkter utan skeppade råtimmer till kunden. Detta förändrades mot slutet av 20-talet och det mesta timmer förädlades på plats. Resterna av detta, som till exempel sågspån och kutterspån, har mycket låg densitet och var svårt att förbränna med hög verkningsgrad i dåtidens förbränningsutrustningar.

De tidiga metoderna för att tillverka briketter användes först i USA och Tyskland, medan tillverkningen av briketter utan bindemedel utvecklades i Europa. Fram till 30-talet hade trädbränslebriketter dålig hållfasthet, trots ett relativt högt värmevärde och låga askhalt. De hade inte heller någon ekonomisk konkurrenskraft gentemot briketter av kol och koks.

En ny briketteringsmaskin ”Pres-to-Log” utvecklades 1929 i Lewiston, Idaho för att kunna ta hand om restprodukterna vid förädlingen av skogsprodukter. Denna maskin använde sig av skruvprincipen för att få ett homogent bränsle. År 1942 tillverkades mer än 180 000 ton briketter av 60 Pres-to-Log maskiner i USA. Sedan tiden runt andra världskriget har flertalet nya, billigare och mer effektiva briketteringsmaskiner baserade på skruvprincipen utvecklats och tillverkats i USA och Japan. Dessa har använts både för att brikettera trädbränsle och kol.

Pelletspressar extruderar pellets med en diameter på 5-30 mm genom en matris med flera hål. Dessa utvecklades ursprungligen för tillverkning av djurfoder och malmpellets och baserades på formpressning. Den första pelletsmaskin som använde sig av extrudering utvecklades 1910. Första gången trädbränsle pelleterades var 1959 vid ett massabruk i Tennessee, då restprodukten ekbark pelleterades. Under det följande decenniet gjordes flera försök att tillverka träpellets, dock var den ekonomiska konkurrenskraften för dålig.

Under tiden runt andra världskriget trängdes förädlingsrester av trä ut från pelletsmarknaden av billiga fossila bränslen och spånskiveindustrins behov av trädråvaran.

De globala oljekriserna under 1970-talet ledde till att komprimerade skogsindustrirester framstod som ett intressant alternativ till oljeuppvärmning av bostäder och träpellets fick ett uppsving, speciellt i Skandinavien, USA och Kanada.[22,35] I USA drevs utvecklingen ytterligare framåt av krav på mindre utsläpp vid vedeldning.[35] Under åren 77-78 tillverkades pellets i mer än 30 anläggningar i USA och Kanada.[22] Flertalet av dessa tvingades dock upphöra då oljepriset 1986 började sjunka igen.

I USA har användningen av bränslepellets för villauppvärmning varit under utveckling sedan tidigt 80-tal. Under mitten av 90-talet expanderade villaanvändningen i Europa, speciellt i Skandinaven och Sydeuropa, med Sverige och Österrike som föregångsländer. Ur internationell synvinkel är intresset för bränslepellets fokuserat på villamarknaden. Hur attraktiv den småskaliga pelletsanvändningen kommer att vara i framtiden beror på förutsättningar, ekonomisk konkurrenskraft och hushållens attityder.

2.3.2 SVERIGE

Förädlade biobränslen i form av briketter, pellets och pulver har funnits på den svenska marknaden sedan mitten av 80-talet.[34] De första riktiga fabrikerna för tillverkning av pellets startades i början på 80-talet. Det fanns då varken ekonomisk konkurrenskraft eller lämpliga förbränningsutrustningar för villamarknaden, vilket gjorde en småskalig pelletsanvändning ointressant.

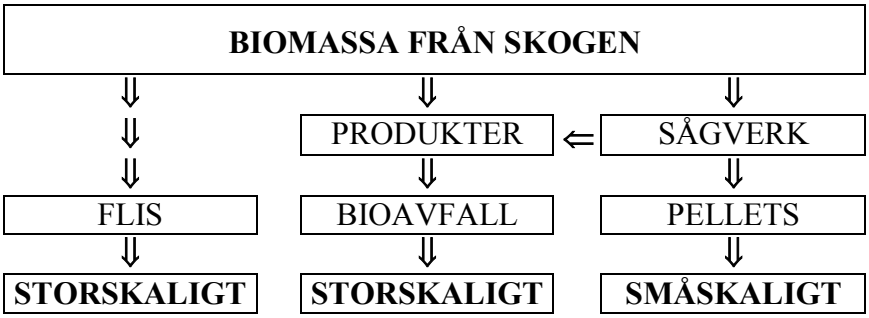
År 1980 byggde Mora kommun en produktionsanläggning för pellets med en kapacitet på 45 000 årston.[22] Huvudkunden var det kommunala värmeverket i Mora. Det fanns vid den tiden planer på att bygga ett 70-tal anläggningar runt om i Sverige. Målet var att försöka få fram ett billigare bränsle än olja. Ett stort problem var dock att det inte fanns någon utvecklad förbränningsteknik för komprimerade trädbränslen. Endast ett fåtal av de 70 planerade anläggningarna byggdes och anläggningen i Mora stängdes 1986.

Ungefär samtidigt, 1982, startades SBE Svensk BrikettEnergi AB såsom första företag i Sverige med storskalig produktion av förädlat trädbränsle.[51] Deras affärsidé har varit att geografiskt placera sina, för tillfället sju, bränslefabriker och terminaler så att transporterna har kunnat minimeras. Detta gynnar såväl miljön som leveranstryggheten till kunden. Säsongen 85-86 tillverkade SBE 60-70 000 ton förädlat trädbränsle vilket var 90% av den svenska marknaden.[22] Produktionsmålet för år 2000 är 225 000 ton briketter, pellets och pulver.[80]

Pelletskaminen uppfanns i USA under tidigt 80-tal och kom till Sverige 1987.[9] Dessa används för att ersätta el vid luftburna värmesystem. Eftersom de flesta villor i Sverige har vattenburen värme har pelletsbrännare som kan installeras i befintliga ved- och oljepannor gradvis utvecklats under de senaste 15 åren. Idag finns både kaminer, pannor och brännare för pelletseldning på den svenska marknaden.

3 EKOLOGISKA ASPEKTER

För att kunna diskutera pellets på ett ekologisk och miljömässig riktigt sätt måste dessa jämföras med andra biobränslen. När pellets jämförs med grenar och toppar från skogsavverkning (GROT) och med biologiskt avfall ter det sig självklart att pellets är ett utmärkt småskaligt biobränsle medan GROT och bioavfall bör eldas storskaligt.



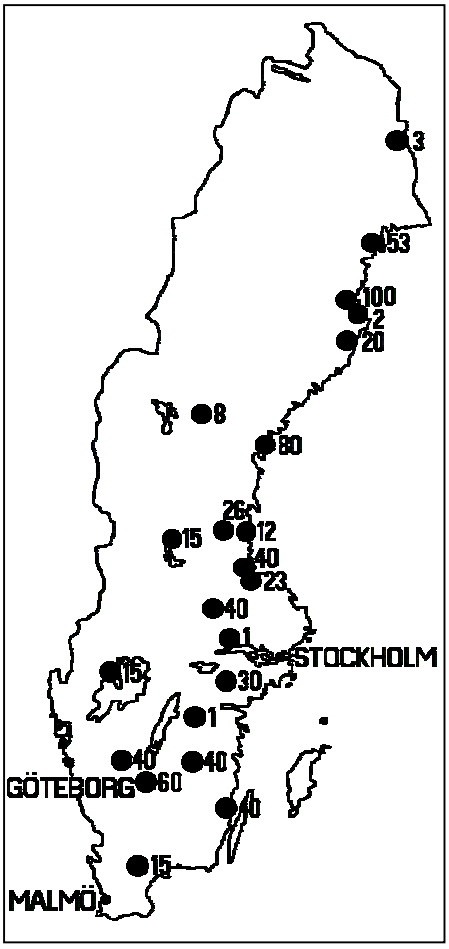
Figur 3.1: Principiellt schema över fördelaktiga användningsområden för skogsbiomassa.

Att ta ut grenar och toppar ur skogen när stammar tas ut för timmer eller massatillverkning ger problem både direkt i skogen och senare vid förbränning. I skogsekosystemet beror detta på att större delen av trädens mineralnäringsämnen, som till exempel magnesium, kalcium, kalium, kväve och fosfor, finns i just grenar och toppar.[18] När dessa bortförs från skogen innebär det en förlust av mineralnäring. Förlusten av basiska katjoner leder dessutom till en ökad markförsurning.[18] Det är därför tveksamt att ta ut GROT ur känsliga ekosystem. Vid förbränning av flisad GROT leder det större mineralnärings-innehållet till högre utsläpp av kväveoxider och en större askmängd. Denna sorts flis är därför endast lämpligt för större anläggningar där det finns möjlighet att rena rökgaserna bättre. Denna flis kan även pelleteras med goda resultat.[16] Miljöproblemen kvarstår dock. Försök görs att återföra askan från förbränning av grenar och toppar för att motverka förlusten av mineralnäringsämnen. Det är dock viktigt att inte askan blivit förorenad och att den återförs på ett ekologiskt riktigt sätt. Dessa möjligheter finns inte vid småskalig förbränning.

Avfall som består av trä, papper och annan biomassa är ett utmärkt biobränsle. Även om materialet återvinns ett antal gånger blir det till slut avfall. Tidigare har delar av detta avfall deponerats, men nya och högre deponiskatter och regler kommer att ändra på denna hantering.[27] Sedan årsskiftet 99/00 är deponiskatten 250 SEK/ton avfall och avgiften till tippen är ungefär lika stor. Totalt bildas det 8,5 miljoner ton avfall i Sverige varje år. Förbränningskapaciteten är endast 2,1 miljoner ton. Om andelen avfallsbiobränslen som förbränns storskaligt ökas kan de ersätta skogsbränslen och på så sätt minska störningarna på skogens naturliga, ekologiskt väl fungerande ekosystem. Bioavfall är ofta kemiskt komplext på grund av tillsatser och föroreningar. Därför är storskaliga förbränningsanläggningar med noga kontrollerade förbränningsförhållanden och avancerad rökgasrening är ett måste.[15]

Det sågspån och kutterspån som används som råmaterial till pellets är en biprodukt och således avfall. Det skiljer sig dock från produktavfall eftersom det är relativt fritt från föroreningar. Mineralnäringsmängden i träpellets är mycket mindre än i grenar och toppar och endast ett fåtal typer av pellets innehåller kemiska tillsatser. Detta och den låga halten av mineralnäringsämnen gör att utsläppen av svaveloxider och kväveoxider blir små och att askmängden blir liten. Rökgasrening och askåterföring är därför inte lika nödvändigt, vilket gör pellets till ett lämpligt småskaligt bränsle. Då det finns ett stort överskott av billigt produktavfall, exempelvis hushållssopor, är det dessutom oekonomiskt att elda pellets i stora värmeverk. Varken pellets eller produktavfall ger extra mineralnäringsförluster eller påverkan på skogen eftersom ursprungsmaterialen redan är uttagna ur ekosystemen av andra anledningar.

4 PELLETS I SVERIGE IDAG



Figur 4.1: Den svenska produktionen av pellets under år 2000 i tusentals ton.

För att få en bild av den svenska produktionen av pellets kontaktades i stort sett alla tillverkare. Detta gjordes med hjälp av telefon eller e-post. Den totala svenska produktionsvolymen kunde uppskattas till 700 000 årston pellets. Produktionskapaciteten är något högre, runt en miljon årston. Av tillverkningen går i snitt 10% till villamarknaden. Denna procentsats skiljer sig dock mycket mellan olika tillverkare och andelen villakunder varierar mellan 0-100%.

Pellets tillverkas i 22 produktionsanläggningar mellan vilka produktionsvolymen varierar från 1 000 till 100 000 årston (bilaga 1 och 2). De största produktionsanläggningarna i Sverige är Skellefteå Kraft AB:s anläggning i Skellefteå och Mellansvenska Biobränsle AB:s anläggning i Främlingshem utanför Gävle. Den största enskilda tillverkaren av bränslepellets är SBE Svensk BrikettEnergi AB med pelletsproduktion i Norberg, Nävlinge och Ulricehamn, samt Talsi i Lettland. Några av de minsta tillverkarna har bränslepelletstillverkning som en bisyssla till exempelvis produktion av foderpellets eller övrig trävaruindustri. Tillverkningsvolymen styrs i dessa fall ofta av kunderna i närområdets efterfrågan.

Svenska pellets görs i stort sett uteslutande av trä från tall och gran. De dominerande råvarorna är sågspån och kutterspån, varav sågspån utgör 60-70%. Kutterspån är redan torrt och kommer ifrån hyvlerier. Sågspån köps antingen in redan torkad eller färsk, för att torkas på plats. Om färsk sågspån används kommer den oftast, helt eller delvis, från tillverkarens egna sågverk. Lite mer än hälften av tillverkarna torkar sågspån själva.

Den vanligaste pelletsdiametern för villakunder är 8 mm, men även 6 mm är vanligt. För storskalig användning har diametern mindre betydelse. Det är endast ett fåtal tillverkare som använder bindemedel. De bindemedel som för tillfället används är potatisstärkelse och Wafolin S (kaliumlignosulfonat). Det senare kommer antagligen att fasas ut inom en snar framtid på grund av sitt svavelinnehåll. Många tillverkare pressar sina pellets med ånga, vilket förbättrar ligninets förmåga att binda samman träspånen.

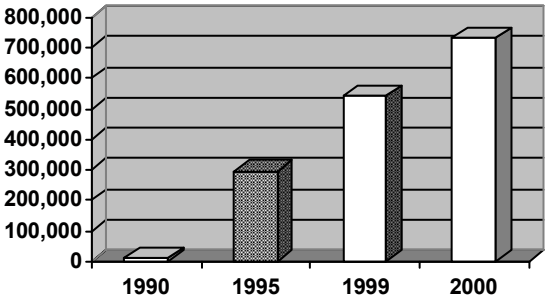
4.1 PELLETSANVÄNDNING I NULÄGET

Framtiden för träpellets ser ljus ut. Sverige är tillsammans med USA och Kanada en av världens största pelletsproducenter.

I Sverige gör det höga oljepriset och det instabila elpriset att många villaägare börjar se sig om efter ett alternativt uppvärmningssätt. Pelletsanvändningen ökar med ungefär 20% årligen och de flesta tillverkare som kontaktats i denna studie har varit mycket positiva inför framtiden.

4.1.1 SVERIGE

Sverige är en världsledande pelletsproducent och den svenska produktionen har ökat dramatiskt under 90-talet, från ca 10 000 ton 1990.[22] För att uppskatta nuläget gjordes en marknadsundersökning över tillverkare och deras respektive produktionsvolymer (bilaga 1 och bilaga 2). De flesta av Sveriges 22 produktionsanläggningar kontaktades. Den totala svenska produktionsvolymen kunde därmed uppskattas till 700 000 årston pellets.



Figur 4.2: Den svenska totalproduktionen av pellets 1990[35], 1995[35], 1999[26] och 2000.

Tillverkningskapaciteten uppskattades till omkring 1 miljon årston, vilket motsvarar 5 TWh. Med ganska små medel, till exempel införande av treskift och inköp av extra pelletspressar, kan produktionskapaciteten ökas till 1,5 miljon årston (7,5 TWh).[74] Mängden tillgänglig råvara i form av kutterspån är idag 2,6 miljoner ton (räknat på torr råvara). Av detta används 600 000 ton kutterspån till hältström. Om all råvara istället användes till pellets skulle 3 miljoner ton pellets (15 TWh) kunna produceras och ersätta all eldningsolja i villapannor (för närvarande 15 TWh). Om inte detta skulle räcka för att täcka efterfrågan genereras det 5 miljoner ton sågspån i Baltikum årligen och ännu mer i Ryssland. Pellets importeras redan idag från Kanada och Estland och exporteras till Danmark.

4.1.1.1 STORSKALIG ANVÄNDNING

Pelletsmarknaden i Sverige domineras sedan början av 80-talet av mellan- och på senare tid storskalig pelletskonsumtion.[35] Mer än 90% av tillverkningen går till stora kunder, som till exempel kommunala kraftvärmeverk, för tillverkning av fjärrvärme eller värme och el (Combined Heat and Power, CHP).[74] Anledningen till att värmeverken har gått över till trädbränslen är höga skatter och avgifter på kol. Hässelbyverken i Stockholm är ett exempel där kol bytts ut mot pellets i en stor kolpulverpanna. Övergången har ofta kunnat göras utan stora förändringar i anläggningarna.[35] I dessa anläggningar eldas pellets på roster, eller mals före förbränningen och eldas i brännare. I det senare fallet motiveras pelleteringen enbart av låga kostnader för transport och lagring.[74] Pellets ses i det fallet enbart som en form av förpackning. Den dag pannor och andra stora investeringar behöver bytas ut är det troligt att åtminstone en del av dem anpassas för ett billigare bränsle än pellets, till exempel träflis. Det innebär att det blir möjligt att tillverka stora mängder pellets för småskalig användning. Exempel på billigare bränslen som lämpar sig för storskalig förbränning är restbiobränslen såsom sopor och returflis. Returflis är återvunnet virke. Större delen av den returflis som eldas i Sverige kommer från Tyskland, då det inte finns några förbränningsanläggningar för fastbränsle i Tyskland. Förutom att det är billigare är det dessutom miljömässigt bättre att elda förorenade biobränslen som slam och sopor storskaligt och reservera rena träpellets till småskalig användning.

En annan möjlig storskalig användning av pellets är som spetsbränsle när värmebehovet är som störst.[70] Ofta används olja vid spetslast eftersom det är lätt att lagra. Denna fördel har även pellets. Pulveriserade pellets används redan inom denna tillämpning vid flera värmeverk som till exempel Enköpings Värmeverk.

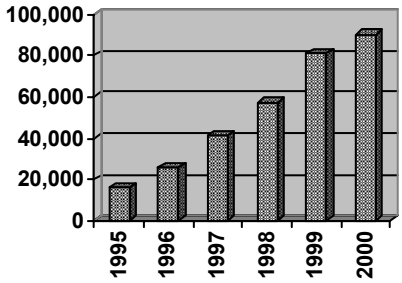
Större delen av Sveriges fjärrvärmeproduktion baseras redan på biobränslen och det mesta av det lönsamma fjärrvärmenätet är redan utbyggt.[74] Eventuellt kan fjärrvärmeanvändningen ökas med ytterligare 1-2 TWh. Här finns således ingen stor potential för ökad pelletsanvändning. För närvärme används 10-15 TWh. Detta skulle kunna ersättas med pellets.

4.1.1.2 SMÅSKALIG ANVÄNDNING

Villamarknaden för pellets är för tillfället i ett expansivt skede. Orsakerna till detta är bland annat ett rekordhögt oljepris, ett högt dollarpris, ett stabilt pelletspris, bättre pelletsbrännare på grund av hård konkurrens, miljömedvetenhet och fler pelletsanvändare som rekommenderar pellets till grannar och vänner.

Den svenska pelletsanvändningen har ökat med 20% sedan förra året.[74] Det är på den småskaliga marknaden och inom närvärmesektorn som den största ökningen sker. Villaanvändningen ökar med 30-35% årligen. Ungefär 17 000 ton pellets konsumerades av villakunder säsongen 1995-1996.[9] Motsvarande siffra för 1999 var omkring 75 000 ton.[22,47] Den milda våren och hösten under år 2000 har gjort att ökningen inte riktigt blivit så stor som branschen hoppats.[74] Ett annat sätt att uppskatta ökningen av den småskaliga pelletsanvändningen är att jämföra antalet hushåll med pelletseldning. År 1997 använde ungefär 8 000 hushåll pellets.[87] För tillfället finns det ca 8 000 pelletskaminer, 10 000 pelletsbrännare och ett fåtal pelletspannor installerade i Sverige.[63] År 2000 installerades 6 000 pelletsbrännare i Sverige. Det gjorde att producenterna av brännare inte riktigt hann med och att leveranstiden på en pelletsbrännare kunde vara mer än tre månader.

Ungefär 80% av de hushåll som hittills bytt till pellets var tidigare uppvärmda med ved.[74] De valde pellets av bekvämlighetsskäl, eftersom vedeldning är fysiskt ansträngande, ej automatiserat och tar mycket tid. Nu har trenden svängt något och det är mest oljeeldare som byter till pelletseldning.[36] Detta görs av ekonomiska och miljömässiga skäl och trots att det betyder mer jobb med pelletshantering och skötsel av pannan.



Figur 4.3: Villaanvändningen av pellets under 95-00.[26, 47, 36]

För uppvärmning av villor används 23 TWh el och 15 TWh olja.[32] Här finns den stora potentialen för biobränslen. Den totala svenska produktionen skulle räcka till att värma ungefär 300 000 villor.[30] Det finns en möjlig marknad med mer än 800 000 fastighetsägare som helt eller delvis skulle kunna utnyttja pellets för uppvärmning.[34] Av dessa villor värms 400 000 upp med ved.[33]

Den typiske svenske pelletseldaren är enligt resultaten från Johan Vinterbäck och Anders Roos undersökning mycket nöjd med sin pelletsbrännare.[25] Anledningarna till detta är

både ekonomiska, miljömässiga och att det är bekvämt med pellets. Han värmde tidigare upp sitt ca 140 m^2 stora hus med ved eller olja och har installerat pelletsbrännaren i sin gamla panna. Pelletseldaren är i fyrtioårsåldern och såg sin första pelletseldade utrustning på en marknad eller i ett skyltfönster. Han använder oftast mer än fem ton 8 mm pellets varje år och köper dem direkt från tillverkaren.

4.1.2 EUROPA

Sverige är Europas ledande pelletsnation, men det finns även tillverkning och konsumtion i andra länder. Danmark tillverkar i nuläget 90 000 ton pellets per år, men konsumerar närmare 180 000 ton årligen. De pellets som inte tillverkas i Danmark importeras, varav ca 13 000 ton från Sverige.[60] I Österrike och Italien tillverkas ungefär 30 000 årston.[74] Det fanns 1997 ungefär 4 000 pelletseldade utrustningar i Österrike som förbrukade 28 000 ton pellets.[25] Där har pellets ersatt kol och ved. I Holland tillverkas varje år 15 000 ton pellets av biprodukter från möbelindustrin.[74] Även Frankrike och Portugal har börjat tillverka pellets.

4.1.3 NORDAMERIKA

I USA har pellets använts för villauppvärmning i 15 år.[25] Till skillnad från den svenska marknaden har pelletsmarknaden i USA hela tiden dominerats av småskalig eldning i pelletskamin. Anledningen är att många hus i USA har en väl fungerande och relativt billig el- eller oljeuppvärmning och att pelletskaminen ses som ett bra komplement under de kallare årstiderna.

I USA finns det för tillfället ungefär 400 000 pelletskaminer som årligen konsumerar 800 000 ton pellets.[32] Marknaden för pelletskaminer är relativt stabil och omkring 20-30 000 nya kaminer installeras årligen, de flesta i norra USA.

Det finns mer än 70 träpelletstillverkare i Nordamerika.[25] Pellets säljs nästan enbart i 20 kg säckar hos kaminåterförsäljare, på bensinstationer och i varuhus.[32] Priset varierar mellan 90-135 USD per ton. Detta motsvarar 720-1 100 SEK/ton och pellets är således dyrare än både gas och olja. Miljöfrågor och utsläpp är på väg att få en ökande betydelse, men tyvärr föredrar den amerikanske konsumenten en billig kamin framför bättre och renare förbränning.

Trenden för framtiden är att intresset på den mellanskaliga marknaden ökar. Det finns även grillar och spisar avsedda för matlagning utomhus som eldas med pellets. I dessa eldas en dyrare sorts pellets utan barrträdsinslag. Det pågår undersökningar för att hitta nya råvaror för pelletering som papper, bark och andra restprodukter, till exempel jordnötsskal.

4.2 RÅMATERIAL

De helt dominerande råmaterialen vid tillverkning av pellets är kutterspån och sågspån från sågverk och hyvlerier. Tidigare användes en stor del av dessa biprodukter av byggskiveindustrin. Under början av 1990-talet minskade tillverkningen av byggskivor kraftigt, vilket frigjorde råvara till bränslemarknaden.[35] De trädslag som dominerar vid pelletstillverkning är tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*).

Det finns dock ett antal undantag där andra råvaror används:

- Vid Södra Skogsenergi AB:s massabruk i Mönsterås tillverkas barkpellets i en bränslefabrik som är integrerad i bruket.[86] En tioprocentig inblandning av träflis med naturligt innehåll av lignin krävs dock för att dessa pellets ska binda vid pressningen. Pellets av bark ger 3% askhalt, vilket inte är bra vid småskalig eldning och dessa säljs därför mest till värmeverk. Den tillgängliga mängden bark ökar dock i och med att svartlutsförgasning leder till ett minskat behov av barkförbränning i massabruk.[74]
- Förädling av torv sker i Sveg där Härjedalen Mineral AB tillverkar 330 000 ton briketter av torv per år.[69] Även dessa har en inblandning av sågspån och säljs i stort sett enbart till stora värmeverk. I detta fall är kunderna en anläggning i Jordbro utanför Stockholm och Uppsala Energi AB. Torven kommer från 30 torvtäkter i Härjedalen, Jämtland, Dalarna och Hälsingland, med en total area på 2000 ha.
- Skånska Lantmännen tillverkar pellets av spannmålsavrens och halm. Dessa eldas i den egna pannan i Ystad för att få värme till torkning av spannmål och fjärrvärme.[83] Dessa pellets säljs över huvud taget inte till villakunder.
- På Umeå Reningsverk tillverkas pellets av avloppsslam i en pilotanläggning. Dessa pellets ska användas för storskalig förbränning.[37]
- Råmaterial med eventuell framtidspotential som ännu ej pelleteras storskaligt är; energiskog, avverkningsrester, jäsningsrester, avloppsslam, kompost, returpapper, jordbruksavfall, etc.

Sågspån *Kutterspån* *Skogsflis* *Bark*

4.2.1 SKOGSBRUK & AVVERKNINGSRESTER

Ungefär en tredjedel av Sverige är täckt av skog.[42] De dominerande trädslagen är tall och gran. Det bedrivs skogsbruk på 21 miljoner hektar produktiv skogsmark. Årligen avverkas 70 miljoner m^3sk, 60% vid avverkning av mogen skog och resten vid gallring av uppväxande bestånd. Några av de ekologiska problemen med det moderna skogsbruket är körskador vid avverkning och gallring, inplantering av monokulturer, utbyggnad av vägnätet, kvävegödning och markförsurning.

Intresset för att ta tillvara avverkningsrester har ökat under senare år. Grenar och toppar innehåller en stor del av trädens mineralnäring och om denna inte återförs till marken leder det till försurning och förlust av mineralnäringsämnen. När grenar och toppar får ligga kvar efter avverkningen kompenseras näringsförlusterna från uttag av timmer och massaved i stort sett av den vittring som sker från mineraler i marken. Skogsstyrelsen ställer ett generellt krav på återföring av aska vid trädbränsleuttag från skog, eftersom näring på så sätt kan returneras till skogsmarken.[42] Forskning och utveckling pågår för att uppfylla krav på den aska som sprids. Askan ska vara stabiliserad och lösa sig långsamt. Även ett stort inslag av björk och andra lövträd kan begränsa markförsurningen.

4.2.2 TORV & TORVTÄKTER

Det finns 4 miljoner m^2 torvmark på jorden.[57] Detta motsvarar 3% av landytan. Ungefär 90% av torvmarkerna finns på norra halvklotet. Energitorvens höga konkurrenskraft grundar sig på dess höga värmevärde som beror på hög kolhalt och låg askhalt, samt möjlighet till emissionssnål förbränning.

Figur 4.4: Torvbriketter

Den svenska brytningen och användningen av torv har anor från 1800-talet, men före 1980 var användningen inte så stor.[42] Energikrisen på 70-talet med ökande världsmarknadspriser på bränslen gjorde att användningen av energitorv fick ett uppsving. I dagsläget skördas under vädermässigt normala år drygt 3,5 miljoner kubikmeter energitorv och drygt 1 miljon kubikmeter odlingstorv.[57] Den totala årliga tillväxten beräknas till 25 miljoner m^3.

Energitorv används framför allt i ett 40-tal värmeverk i Sverige. Under 90-talet har användningen varit runt 4 miljoner m^3 motsvarande 3 TWh per år.[42] Detta räcker för att värma upp 100 000 villor.[57] Vilka emissioner det blir vid eldning av energitorv beror på torvens innehåll och detta beror i sin tur på från vilken mark torven har tagits upp.[43] Utsläpp sker av koldioxid, svavel och kväve, radioaktiva ämnen och tungmetaller. Eldning av torv ger ett direkt bidrag till växthuseffekten. Över ett längre tidsperspektiv, mer än 300 år, bidrar dock inte torv till växthuseffekten ifall myren och den omgivande ytan planteras med ny skog efter torvskörden. Det är fortfarande oklart ifall torv bör anses vara ett biobränsle eller ett fossilt bränsle.

Energitorv förädlas till frästorv, stycketorv, briketter och pellets beroende på konsumentens panntyp.[57] Förädlad torv innehåller ofta en viss fraktion träflis med naturligt lignin för att kunna binda vid pressningen. Förädlad energitorv säljs nästan uteslutande till värmeverk.

4.3 PELLETSTILLVERKNING

För tillfället finns det tillverkning av träpellets på 22 platser i landet, se figur 4.5. Kontakt har tagits med majoriteten av tillverkarna för att få information om var pellets tillverkas, anledningar till platsvalet, tillverkningsmetoder, råmaterial, bindemedel etc. Bilaga 1 och 2 innehåller ytterligare information om den svenska pelletstillverkningen.

4.3.1 LOKALISERING

För att få produktionen av pellets tekniskt, ekonomiskt och miljömässigt effektiv är placeringen av tillverkningsanläggningen viktig. Det finns fyra huvudaspekter att ta hänsyn till vid val av lämplig produktionsplats för bränslepellets:

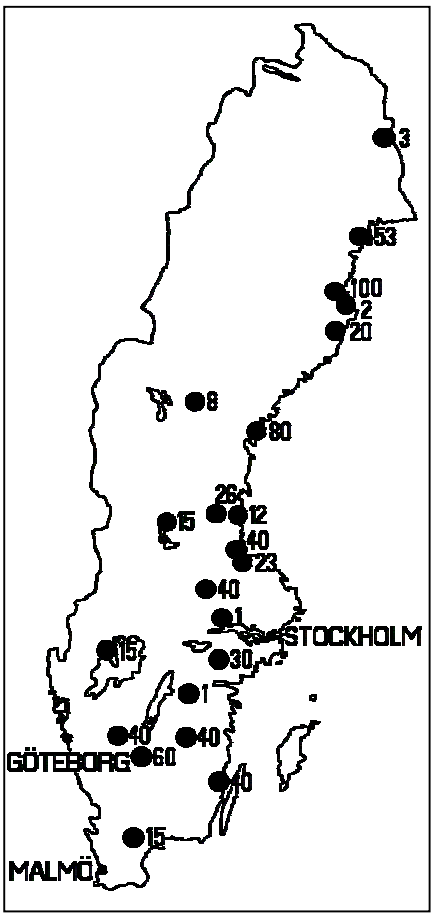
- Råvarutillgång
- Energitillgång
- Kunder
- Befintlig anläggning

4.3.1.1 RÅVARA

Att placera tillverkningen där det finns god tillgång till billig råvara i form av restprodukter är mycket vanligt. Så är till exempel fallet hos Jämtlamell i Stugun där kasserade träbitar från det egna sågverket rivs och används för tillverkning av pellets. På vissa platser i landet kan det vara ekonomiskt fördelaktigt att köpa in redan torkad råvara, till exempel kutterspån från hyvlerier för att pelletera. Anledningen till detta kan vara att de stora kraftvärmeverken på platsen köper in all fuktig råvara och ratar den torra. Detta på grund av att deras förbränningsutrustning är anpassad för förbränning av våta bränslen och att det är svårare att lagra torra bränslen då det finns risk för självantändning.

4.3.1.2 ENERGI

Det är mycket ekonomiskt att placera produktionen av pellets på de platser där det finns tillgång till överskottsenergi i form av ånga till torkning och pressning. Södra Skogsenergi AB har sin tillverkning av barkpellets integrerad i massabruket i Mönsterås och får både energi och råmaterial från bruket.[86]



Figur 4.5: Den svenska produktionen av pellets under år 2000 i tusentals ton.

4.3.1.3 KUNDER

Det är självklart viktigt att placera pelletstillverkningen så nära kunderna som möjligt för att undvika onödigt kostsamma transporter. Pajala Bioenergi AB har placerat sin produktion med närhet till både svenska och norska kunder.[79] Många tillverkare säljer och marknadsför även pelletsbrännare eller pellets från andra producenter för att ytterligare utvidga kundkretsen. Ett exempel på detta är Våla Bioenergi AB som säljer både kaminer och brännare och dessutom säljer och distribuerar pellets från Mellanskogs Bränsle AB i Ljusne när den egna produktionen inte räcker till.[88]

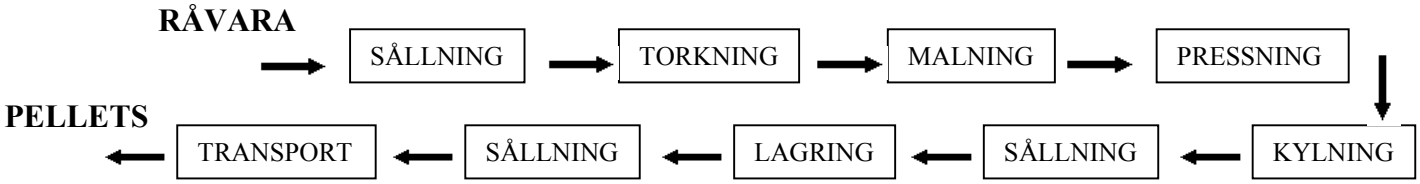
4.3.1.4 BEFINTLIG ANLÄGGNING

Bobergs Valltork har en anläggning utanför Borensberg för pelletering av djurfoder och utnyttjar denna under lågsäsong för att tillverka bränslepellets till kunderna i närområdet.[64]

4.3.2 TILLVERKNINGSMETODER

Stegen i tillverkningsprocessen är följande: [34,85]

- Rensning av råvaran genom sållning och med hjälp av metalldetektor
- Torkning - i de fall då råvaran är fuktig
- Malning
- Pressning
- Kylning
- Sållning - finfraktion sorteras bort och återförs till processen
- Lagring
- Sållning och transport till kund förpackat i säckar eller med bulkbil



Figur 4.6: Flödesschema över pelletstillverkning.[34]

4.3.2.1 TORKNING

Fuktig råvara i form av sågspån kommer från sågverk. Normalt används rökgaser eller ånga för att torka den fuktiga råvaran från 50-55% fukthalt till 8-12%. Vanligtvis används en del av den inkommande råvaran för att generera värme till torkningen, som sker i en trumtork, i en rörvärmeväxlare eller i kvarnen under malning. I vissa fall kan så mycket som en femtedel av råvaran gå åt till torkningen. Det är dock i nuläget inte lönsamt att investera i dyra, energieffektiva anläggningar för torkning av bränsleråvara.

Kutterspån är en restprodukt från hyvlerier. De är redan från början ganska torra, med en fukthalt på 15%, eftersom brädorna torkas innan de hyvlas. Eventuell torr råvara, såsom kutterspån, kan blandas in före eller efter torkning. Det senare är oftast lämpligast ur energisynpunkt.

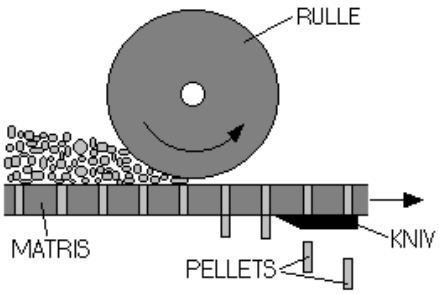
4.3.2.2 MALNING

Råvaran mals i en eller flera kvarnar samtidigt som eventuellt bindemedel tillsätts. Malningen gör spånet finare och mer homogent. Den mest använda typen av kvarn är hammarkvarnen. Efter malningen blåses pulvret vidare till en cyklon där det avskiljs från luften.

4.3.2.3 PRESSNING

Det finns två olika metoder för komprimering av biomassa: varm- och högtrycksmetoden respektive kall- och lågtrycksmetoden. Den i Sverige mest använda metoden är den förstnämnda.

Pelletspressen består i princip av en matrisplåt och två till fem rullar. Matrisen kan vara plan eller ringformig. Pulvret pressas genom tryck från rullarna in genom konformade hål i matrisen och formas till långa cylindrar. Friktionen i samband med detta får temperaturen att stiga till över 100°C. Pelletssträngarna skärs av med knivar eller bryts automatiskt av under passagen genom matrisen. Efter pressningen är pelletstemperaturen 60-90°C och dessa måste kylas för att bli hållbara.



Figur 4.7: Plan cirkulär pelletsmatris.[34]

Slitage på matrisplåtar och rullar är ett problem då dessa efter en viss tids användning måste bytas ut. Ånga tillsätts ofta vid pressningen för minska energiförbrukning och slitage.

4.3.3 BINDEMEDEL

De bindemedel som för tillfället används vid tillverkning av bränslepellets är Wafolin S och potatisstärkelse. Det är dock vanligast att tillverka pellets utan någon tillsats av bindemedel. Oftast är vedens naturliga innehåll av lignin fullt tillräckligt för att träspånen ska hålla samman och då ger bindemedlet endast en merkostnad. I de fall då bränslet ska eldas i större kraftvärmeverk kan pelleteringen ibland göras endast för att få en ”förpackning” av bränslet, vilket ger enklare och billigare transport. I sådana fall rivs alla pellets ofta sönder före förbränning och ett påkostat bindemedel är onödigt.

De kemiska mekanismerna bakom vedens naturliga förmåga att hålla ihop en pellets är inte helt klarlagda. En teori är att gränsen för uppmjukning vid plastisk deformation i närvaro av vatten sjunker till under 100°C.[34] Detta uppmjukade lignin skulle kunna fungera som ett inre lim under kompakteringen och ge upphov till självbindningen. Ligninet i biomassan mjukas vanligtvis upp vid 130-190°C. Enligt en annan teori pressas pektin och andra lågmolekylära föreningar ur cellstrukturen vid högt tryck och hög temperatur och dessa kan då fungera som bindemedel.

4.3.3.1 WAFOLIN S

Wafolin S utvinns av LignoTech Sweden AB ur sulfitavlutar från framställningen av pappersmassa enligt kalciumsulfitmetoden.[38] Det gula vattenlösliga pulvret består av kalciumlignosulfonat (60%), socker och andra kolhydrater (25%) och kalciumsalter av organiska syror (15%). Det användes ursprungligen som bindemedel i foderpellets.

I de fall då Wafolin S tillsätts vid pelletstillverkning används vanligen 0,5-1%. En tillsats av Wafolin S gör det lättare att pressa ut pellets genom matrisen och ger en mer hållfast pellets.[34] Att pressningen blir lättare gör att slitaget på matris och rullar minskar, samt att energiåtgången blir lägre. Den högre hållfastheten beror på att de sammanhållande krafterna i varje pellets ökar avsevärt genom de oxidativa sammankopplande reaktionerna i lignosulfonaten.

En tillsats av 1% Wafolin S används vid Statoil Pellets AB:s produktion i Säffle.[84] SCA använder 0,5% till villapellets i bulk vid sin produktionsenhet i Edsbyn, men håller på att fasa ut detta.[81] MEBIO (Mellansvenska Biobränsle AB) i Gävle använder ibland Wafolin S, till exempel när matrisen precis har bytts ut mot en ny.[76]

Veden innehåller naturligt 0,01-0,02% svavel, baserat på mängden torrsubstans.[35] Eftersom Wafolin S innehåller 6 viktprocent svavel ökar bränslets svavelinnehåll efter tillsats av Wafolin S till ca 0,08 viktprocent. Detta motsvarar 45 mg/MJ, vilket kan jämföras med eldningsolja 1 som innehåller mindre än 25 mg svavel/MJ. En tillsats av Wafolin S ökar dessutom askhalten med 0,1-0,2 procentenheter.

4.3.3.2 POTATISSTÄRKELSE

Potatisstärkelse tillsätts i vissa fall som bindemedel i pellets. Potatisstärkelsen tillverkas av Lyckeby Stärkelsen Industrial Starches AB och består enbart av nativ potatisstärkelse.[73] Detta anses bättre än Wafolin S eftersom det ej innehåller något svavel och dessutom är mindre klibbigt och lättare att hantera. Prismässigt är det inte någon större skillnad mellan bindemedlen. En tillsats av 1% Lyckebystärkelse till villapellets används av Mellanskogs Bränsle AB vid deras produktionsanläggningar i Valbo och Ljusne.[77] Jämtlamell i Stugun använder stärkelse som bindemedel till exempel när grov furukärnved som är svår att binda ska pelleteras.[71]

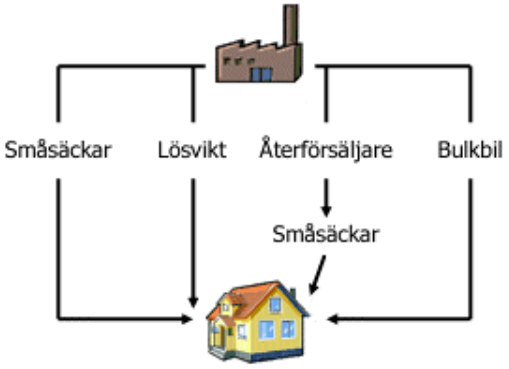
4.4 TRANSPORT, LAGRING & EKONOMI

Den största framtida potentialen för biobränslen är småskalig eldning. En av de stora drivkrafterna för övergång till skogsbiobränslen är det, relativt sett, låga priset. Ett av de stora hindren för en ökad användning bland småskaliga eldare är idag avsaknaden av ett väl fungerande distributionssystem.[24] Fördelen med träpellets framför andra biobränslen är att pellets kan distribueras i en sluten kedja och har bra lagringsegenskaper. För foderpellets finns det redan ett väl fungerande distributionsnät. Ett exempel på att detta utnyttjas för bränslepellets är Skånska Lantmännens försäljning av pellets från SBE Svensk BrikettEnergi AB:s fabrik i Nävlinge.[83] Skånska Lantmännen har 25 bulkbilar för foderleveranser och passar på att leverera träpellets när det passar.

4.4.1 TRANSPORT

Distributionskostnaden utgör ofta en stor del av priset för en lågförädlad produkt.[24] För pellets uppgår den till närmare 30%. Råvarukostnad och tillverkning utgör 25% var av totalkostnaden. De resterande 20% är skatter.

En av de stora fördelarna med pellets är att bränslet kan hanteras som en bulkvara och därmed är lätt att transportera och lagra. Idag hanteras pellets både förpackad och löst. Till större värmeverk levereras pellets vanligen med båt eller i bulkbil, i container eller på flakbil. För distribution till villaägare finns det flera olika alternativ.

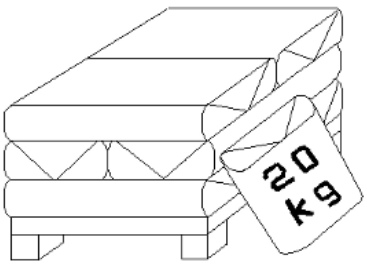


Figur 4.8: Olika distributionssätt för villapellets.

Eftersom pellets är fuktkänsliga och dammar är det lämpligt att förvara dem i en silo efter tillverkningen. Lastning till bulkbil sker genom att pellets, på grund av sin tyngd, faller igenom en flexibel bälg med en konisk nederdel, direkt kopplad till tankbilens tank. Dessa bulkbilar kan lasta 30-32 ton pellets. Avlastning hos kunden sker genom att pellets blåses genom en gummislang kopplad till mottagarsilon eller lagringsutrymmet.

Till småförbrukare säljs pellets även i säckar på 15-25 kg, som packas av pelletstillverkaren.[35] Dessa säckar säljs och levereras ofta pallvis med ungefär 800 kg pellets.

Ungefär hälften av de småskaliga användarna av pellets får dessa levererade direkt hem medan den andra hälften hämtar pellets hos tillverkaren.[25] SCA marknadsför och säljer pellets från Bio Norr i Härnösand AB, Jämtlamell i Stugun och Edsbyns pelletsfabrik under varunamnet Norrbränslen och har ett utbyggt distributionsnät.[81]



Figur 4.9: Pelletssäckar på pall

Pellets transporteras ibland långa sträckor inom Sverige. Ett par exempel på detta är Bio Norr i Härnösand och Skellefteå Kraft AB som säljer 70% respektive 60% av sin produktion till Stockholm Energi, ägare av Sveriges största pelletsförbrukare: Hässelbyverken.[62,82] Medeltransportkostnaden för att transportera pellets 15 km är 228 SEK/ton.[9]

Traditionellt sett används trädbränslen i den region de tillverkas.[23] På senare tid har detta mönster ändrats i vissa delar av Europa. Detta har sin grund i den storskaliga användningen av trädbränslen för fjärrvärmetillverkning och har möjliggjorts av billiga sjötransporter. Endast omkring 75% av den årliga skogstillväxten i Europa avverkas, vilket tyder på att det finns utrymme för en ökad användning av biomassa. Den största mängden skogsråvara finns i norra Europa medan befolkningen är koncentrerad till de centrala, södra och västra delarna av Europa. En högre mobilitet av biobränslen gör således dessa mer attraktiva för storskalig användning.

Hur stor den storskaliga användningen av trädbränslen är i olika länder beror av priset på konkurrerande energibärare som olja och kol. Genom ekonomiska styrmedel, till exempel koldioxidskatt kan myndigheter gynna användandet av biobränslen. EU har som övergripande mål att öka andelen förnyelsebar energi till 12% år 2010.

I motsats till andra biobränslen finns det en utbredd interkontinental handel med träpellets. I Sverige är pellets, efter tallolja, det näst viktigaste handelsbränslet och fjärrvärmesektorns import uppgick 1997 till 4,35 PJ (10^{15} J), vilket är 18% av totalimporten av biobränslen. Sverige har genom åren importerat pellets från Kanada, USA, Chile, Nederländerna, Finland, Norge och Polen. Pellets har exporterats till Österrike och Danmark.

Den största produktionen av träpellets i Europa, och dessutom god tillgång på träråvara, finns i Baltikum. Här har svenska företag tagit chansen att investera i fabriker för att kunna exportera pellets till marknader med högre priser. Ett exempel på detta är SBE Svensk Brikettenergi AB som har byggt en pelletsproducerande anläggning med en kapacitet på 40 000 årston pellets i Talsi i Lettland.[80] Produktionen exporteras till länder inom EU.

Nästan en tredjedel av den pelletsmängd som konsumerades i Sverige 1998 var importerad.[23] Billiga sjötransporter och investeringar i pelletsproducerande anläggningar utanför Sveriges gränser förvandlar Nordsjö- och Östersjöområdet till en integrerad pelletsmarknad. Även de multinationella oljebolagen har visat intresse för bränslepellets. Shell International äger en anläggning för tillverkning av bränslepellets i Danmark och norska Statoil marknadsför bränslepellets i Sverige och ska investera i produktionen av bränslebriketter i Norge.

4.4.2 LAGRING

Pellets ska lagras fuktfritt och under tak, men kräver ingen uppvärmning. Den låga fukthalten (8%) är lägre än den lägsta fukthalt då svampar och bakterier är aktiva.[35] Det finns många olika möjligheter för ett hushåll att lagra pellets: ombyggd oljetank, silo av glasfiberarmerad plast, aluminium eller plywood eller betonggolv med fuktspärr.

Pellets har en volymvikt på 550-700 kg/m^3. Detta gör att det minst behövs 1,8 m^3 för att lagra ett ton pellets. Ett hushåll som värms upp enbart med en pelletsbrännare förbrukar ungefär 7 ton pellets per år. För att kunna lagra hela årsbehovet av pellets krävs då ett lagringsutrymme på 12,6 m^3. Det är viktigt att väga kostnader och utrymmesbehov för ett större lager mot den merkostnad det blir att ta hem mindre mängder pellets i taget.

Kvaliteten på lagrad biomassa påverkas av biologiska, mikrobiologiska och kemiska reaktioner. Lagring i mer än 5 månader ger trots allt en minskad pelletskvalite i avseendet att lagrade pellets lättare faller sönder.[17] Om andelen finfraktion är stor absorberas vatten lätt och risken för svampangrepp är stor. För att motverka detta är det viktigt att nytillverkade pellets får svalna på ett riktigt sätt, så att fukthalt och temperatur sjunker till lämpliga nivåer. Om de inte hinner svalna ordentligt och lagras i stora högar kan pellets ackumulera värme och i värsta fall självantända.

4.4.3 EKONOMI

Medelåtgången för att värma upp en villa är ungefär 20 kg/dygn eller 7 årston pellets.[26] Om pellets endast används som sekundär värmekälla, till exempel i en pelletskamin, är åtgången självklart lägre, runt 3-4 årston. Pelletsåtgången varierar stort med årstidsbundna väderfaktorer, som till exempel utomhustemperatur, vindhastighet, nederbörd och snödjup.

Den generella pristrenden för förädlade trädbränslen i Sverige har varit stadigt sjunkande.[9] Priset är avgörande för hur många som kommer att elda pellets i framtiden, även om andra faktorer givetvis spelar in. Eftersom pellets produceras med olika densitet är priset satt per kilo. För närvarande ligger priset för pellets i bulk runt 1 450 SEK/ton (30 öre/kWh) och pellets i 16 kg säck omkring 1 800 SEK/ton (37 öre/kWh).[52,56] En pall med säckar med 16 kg pellets väger ungefär 832 kg. Vid köp av mer än 3 ton pellets i bulk eller 4 pallar pellets packad i säckar brukar frakten ingå. Det går ofta även att få ett bättre pris ifall man själv hämtar sina pellets hos tillverkaren.

Kostnaden för uppvärmning uppgår till 3-4% av den totala hushållskostnaden för en svensk familj.[9] Hushållens energikostnader har ökat kraftigt sedan 1991, främst beroende på moms och koldioxidskatt. Enligt beräkningar gjorda av Bengt Hillring och Johan Vinterbäck är pelletseldning det billigaste alternativet vid jämförelse av fjärrvärme, olja, naturgas, pellets och el. Priset på villaolja var i början av år 2001 ungefär 6 000 SEK/m^3 i Göteborgsområdet, vilket motsvarar 60 öre/kWh.[65,67] Elpriset var 48 öre/kWh.[55,58] Detta kan jämföras med kostnaden för pellets, som samtidigt var omkring 30-38 öre/kWh. Vid en jämförelse av vilket alternativ som blir mest ekonomiskt måste givetvis hänsyn tas till att en pelletsbrännare kostar 25 000 SEK och en pelletspanna 30 000 - 40 000 SEK.[36] Ägaren till en genomsnittlig villa kan tjäna runt 10 000 SEK om året i bränslekostnader genom att byta från olja till pellets. Ett sådant byte kan därmed betala sig på 2-3 år om köparen väljer att installera en pelletsbrännare, och på 3-4 år om han i stället väljer en pelletspanna. Vid luftburen värme kan 50-75% av den årliga elförbrukningen elimineras genom installation av en pelletskamin. En sådan kostar 20 000 - 25 000 SEK.

Pelletskostnaden för en storkonsument som till exempel Birka Energi i Stockholm, är givetvis betydligt lägre, mindre än 800 kr/ton inklusive transporter.[74]

4.5 DIMENSIONER & EGENSKAPER

Egenskaper för träpellets beskrivs kort nedan i tabell 4.1. Dessa regleras av Svensk Standard (SS 18 71 20) för bränslepellets, som ges ut av Swedish Standard Institutes (bilaga 3).

Tabell 4.1: Fysikaliska och kemiska data för träpellets av ren stamved.[35]

SKRYMDENSITET	550-700	kg/m^3
DIAMETER	5-12	mm
EFFEKTIVT VÄRMEVÄRDE	17,0-17,9	MJ/kg
	4,7-5,0	MWh/ton
FUKTHALT	6-10	vikt-%
ASKHALT	0,3-0,8	vikt-%
SVAVEL	5-10	mg/MJ
	0,01-0,02	vikt-% av torrsubstans
KVÄVE	ca 0,05	vikt-% av torrsubstans
FINFRAKTION	Varierar avsevärt	

4.5.1 DENSITET

Pellets har vanligen en skrymdensitet på 600-700 kg/m^3.[35] Den minimala skrymdensiteten enligt Svensk Standard är 600 kg/m^3.[49] En m^3 eldningsolja 1 har samma energiinnehåll som tre m^3 pellets, 7-9 m^3 ved eller 11 m^3 flis (bilaga 5).[77] Densiteten på pellets kan variera mellan olika tillverkare. En låg pelletsdensitet ger ibland upphov till sämre förbränning.[30]

4.5.2 DIAMETER

Att tillverka pellets av olika diameter är inget problem för pelletstillverkarna. Diametern styrs av storleken på hålen i den matrisplåt genom vilken de pressas och det är vanligt att en tillverkare har flera olika matriser och tillverkar pellets av olika diameter beroende på kundernas efterfrågan. Längden på pellets kan variera ganska mycket, men är oftast mellan 5 mm och 50 mm.

De vanligaste diametrarna för pellets till villaanvändning är 6 eller 8 mm, med en viss dominans för 8 mm. Vilken diameter kunden efterfrågar beror på hur pelletsbrännaren är utformad och på hur pannan är inställd. Generellt sett har pelletsdiametern ingen betydelse för förbränningsresultaten och rökgasernas innehåll, men skillnaden i effekt kan variera mycket.[30] Det är därför viktigt att förbränningsanläggningens inställningar justeras vid byte av pelletsdiameter. För pellets som ska eldas i större kraftvärmeverk är storleken av mindre betydelse. Dock köper oftast större kraftvärmeverk in en så stor del av en tillverkares produktion att de kan välja diameter helt efter egna önskemål.

4.5.3 EFFEKTIVT VÄRMEVÄRDE

Ett bränsles värmevärde definieras som den energimängd som frigörs vid fullständig förbränning i förhållande till bränslets massa.[34] Det finns två olika värmevärden: det effektiva värmevärdet som förutsätter att förångat vatten avgå tillsammans med rökgaserna och det kalorimetriska värmevärdet som inkluderar den energi som frigörs vid kondensering av det från bränslet avgivna vattnet. Det effektiva värmevärdet används mer än det kalorimetriska, trots att det är något lägre.

Det effektiva värmevärdet för träpellets är ungefär 4,7-5,0 MWh/ton, vilket motsvarar 17,0-17,9 MJ/kg bränsle. Enligt Svensk Standard ska det effektiva värmevärdet vara minst 4,7 MWh/ton, motsvarande 16,9 MJ/kg.[49] Det effektiva värmevärdet är relativt konstant, eftersom fukthalten hos pellets är konstant. Detta är en stor fördel med pellets jämfört med oförädlade biobränslen.

4.5.4 FUKTHALT

Fukthalten hos pellets är vanligen runt 8%, men kan variera från 6% till 10%.[35] Motsvarande värde för torr ved är ungefär det dubbla. Den maximala fukthalten är enligt Svensk Standard 10 viktprocent.[49]

4.5.5 ASKHALT

Askhalten definieras som mängden aska dividerat med mängden torrt bränsle och uttrycks i procent.[34] Askhalten för träpellets ligger vanligen runt 0,4-0,5 viktprocent. Askhalten för barkpellets är ungefär 3,5 viktprocent.[86] Den maximala askhalten är enligt Svensk Standard 0,7 viktprocent.[49]

Askan består av naturlig aska och föroreningsaska.[34] Den naturliga askan kommer från oorganiskt material i biomassan, medan föroreningsaskhalten kommer från material som förorenat bränslet i samband med skörd, hantering, transport och lagring.

Pelletsbrännaren, pannan eller kaminen måste askas ur varje eller varannan vecka. Det vanligaste sättet att bli av med askan är att lägga ut den i trädgården.[25] Hela 65% av alla pelletseldare sprider askan i trädgården antingen direkt eller efter kompostering i hushållskompost. Askan dammar inte så mycket, utan är lätt att sprida i trädgården, där den fungerar som ett näringstillskott och ger en höjning av mark-pH. Det går även bra att lägga askan i den komposterbara fraktionen vid kommunens avfallshantering, vilket 14% gör.

Askan innehåller större delen av de mineralnäringsämnen som ursprungligen fanns i veden (tabell 4.2). Vid storskalig användning av pellets behöver askan återföras till skogen för att inte marken på lång sikt ska bli utarmad. Försök görs med att sprida pelleterad aska i skogen.

Tabell 4.2: Pelletsaskas innehåll av växtnäringsämne, bilaga 6.[35]

	vikt-%
Fosfor	1
Kalium	6
Kalcium	20
Magnesium	2,5

Det finns även små mängder av tungmetaller i askan som i höga koncentrationer ger långsiktiga effekter på miljön och människan. Detta är särskilt viktigt att tänka på vid eventuell askåterföring till skogen, så att inte halten av tungmetaller i marken blir alltför hög.

4.5.6 FINFRAKTION

Andelen löst material, finfraktion, har stor betydelse för hur bra en förbränningsanläggning för pellets fungerar. Finfraktion bildas vid all hantering av pellets genom att små bitar av bränslet lossnar. Före transport till kund siktas bränslet hos tillverkaren, men ny finfraktion bildas under leverans och lagring hos kunden. Bildningen av finfraktion kan i vissa fall förhindras genom tillsats av bindemedel. Den största tillåtna andelen finfraktion, mindre än 3 mm, är enligt Svensk Standard 0,8 viktprocent.[49]

Att halten av finfraktion är låg är mycket viktigt för små anläggningar, och särskilt för brännare och kaminer med övermatning.[35] Finfraktionen hindrar matningen och ger därmed en ojämn förbränning med sänkt verkningsgrad, ökade utsläpp av stoft och hög halt oförbränt material i askan. Det orsakar även ökad damning.

4.6 FÖRBRÄNNINGSUTRUSTNING

Pellets kan småskaligt eldas i:

- Pelletsbrännare
- Pelletspanna
- Pelletskamin
- Pelletskorg

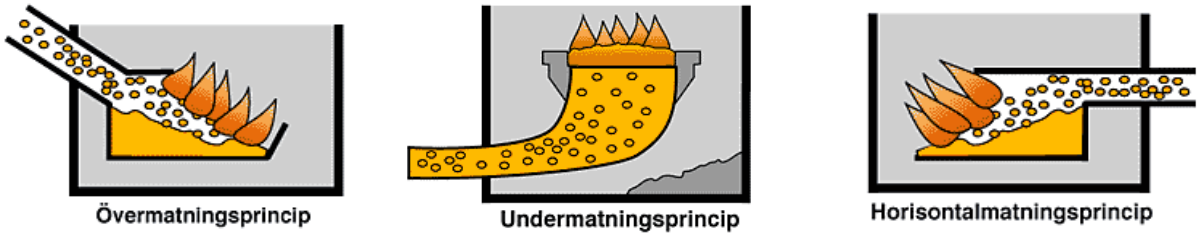
Tekniken att elda pellets varierar från den manuella påfyllningen av en pelletskorg till den helt automatiserade pelletsbrännaren som tänder och släcker förbränningen för att hålla en jämn temperatur i huset.[35] Förbränningsluften, primärluft och sekundärluft, tillsätts ofta via en fläkt. Bäst prestanda och jämnast temperatur fås med en effektutjämnande ackumulatortank.

Det finns ett stort utbud av förbränningsutrustningar för pellets på den svenska marknaden. Den här studien inriktades på de kaminer, brännare och pannor som är P-märkta. P-märket är Sveriges Provnings- och Forskningsinstituts (SP) eget system för certifiering av produkter, i detta fall pelletseldade utrustningar.

4.6.1 BRÄNNARE

En pelletsbrännare är en fristående eldningsapparat som monteras i en värmepanna, till exempel en olje- eller vedpanna.[35]

Bränslet matas in i brännaren från ett pelletsförråd med hjälp av en skruv. Förrådet kan vara litet och påbyggt direkt på brännaren, med plats för några dagars pelletsbehov, eller större och placerat längre bort från brännaren, med en lång skruv för frammatning av pellets. Det finns tre olika matningstekniker vid pelletseldning:



Figur 4.10: Olika matningsprinciper för pellets

Eldaren ställer in den önskade effekten och tilluftsfläktens varvtal. Den mängd bränsle som matas fram per tidsenhet bestäms av effektinställningen. När pannvattnet uppnått den önskade temperaturen sänks matningen automatiskt så att endast en underhållsfyr erhålls.

Traditionella pelletsbrännare har alla uppåtbrinnande flamma. På senare tid har även pelletsbrännare med framåtbrinnande (horisontell) flamma utvecklats. Dessa brinner på ett sätt som mer liknar det i en modern oljepanna och det är därför lättare att få plats med flamman i pannan utan att den kyls mot pannväggarna. Utveckling pågår även med att automatiskt reglera varvtalet hos tilluftsfläkten med hjälp av en lambdasond som registrerar syrehalten i rökgasen. På detta sätt kan optimala förhållanden uppnås vid varierande effektuttag.

Sverige är världsledande på att konstruera och tillverka pelletsbrännare. De flesta brännare på marknaden är övermatade och har en effekt runt 10-20 kW. En villabrännare för pellets har vanligen en pannverkningsgrad på omkring 90%.[50] Pannverkningsgraden definieras som förhållandet mellan till vattnet eller annat energibärande medium överförd energi och den genom bränslet tillförda energin.[35] En brännare kostar ungefär 25 000 SEK inklusive pelletsförråd och installation.[36]

För tillfället finns det tio P-märkta pelletsbrännare:[54]

- EP-brännaren från Altbergs Plåt AB
- Bentone P12 som tillverkas av Bentone AB
- Bio Warm som tillverkas av El-Team AB
- PellX 20 kW som tillverkas av Kalmar Maskinprojekt AB
- IWABO Villa S, Villa och Villa XL från NE Naturenergi AB
- EcoTec A3 från Sahlins EcoTec AB
- Janfire Flex A och Minor A från SBS Janfire AB

Ytterligare information om respektive brännare finns i bilaga 7.

4.6.2 PANNOR

Med pelletspanna avses brännare och varmvattenpanna sammanbyggda i en enhet. Pannor har ofta ett internt pelletsförråd som kan rymma 200 liter. En pelletspanna har vanligen en verkningsgrad på 85-95% och kostar 30 000 - 40 000 SEK.[36]

För närvarande finns det sju olika P-märkta pannor:[54]

- Multiheat 1,5 från Baxi AB i Danmark
- Compact C1, C2, C4 och C6 som tillverkas i Danmark av Passat Energi A/S
- Tellus VA15 och Tellus VAP 25/15 som tillverkas av Verner A/S i Tjeckien och marknadsförs av Tellus Rör Svets & Smide AB

Mer information om pelletspannorna finns i bilaga 7.

En eventuell framtida möjlighet är att koppla ackumulatortanken på en pelletspanna till en solfångare och styra pannan så att förbränning endast sker då solvärmen inte räcker till.[34, 53] Detta används av Stocksbroverken AB i Bio-Sol pannan.

4.6.3 KAMINER

För tillfället finns det endast tre P-märkta pelletskaminer:[54]

- Pitekaminen som tillverkas av Nordisk Miljöenergi
- PellX K6 från Kalmar Maskinprojekt AB
- Quadra-fire CB1200 som tillverkas i USA och marknadsförs av EZY Energi AB

Ytterligare information om de olika kaminerna finns i bilaga 7.

De allra flesta modeller av kaminer som tillverkas är traditionellt övermatade där pellets via en skruv och fallrör fyller en bränningskopp med bränsle. Alla kaminerna ovan har en effekt runt 4-7 kW och är utrustade med konvektionsfläkt. En pelletskamin har en verkningsgrad på 75-90% och kostar ungefär 20 000 - 25 000 SEK.[50]

Sverige importerade under 1997 mer än 1 000 pelletskaminer från USA.[32] Nordamerikanska pelletskaminer dominerar idag helt den svenska marknaden. I USA finns inga miljökrav på pelletskaminer, men det finns omfattande säkerhetstest som alla kaminer måste gå igenom. Den nordamerikanska pelletsindustrin producerar billiga kaminer med snygg design och stor glaslucka där elden ska synas. Detta uppfyller inte den svenska marknadens krav på hög verkningsgrad, rationellt handhavande, bra miljövärden och lågt buller. Kamintillverkarna kan tänka sig att kompromissa med P-märkningens krav på minst 75% verkningsgrad och låg bullernivå eftersom de är intresserade av den svenska marknaden. Nordamerikanska kaminer behöver ej genomgå några miljötester ifall de eldas med stort luftöverskott (>17%). Ett högt luftöverskott ger en sämre verkningsgrad. Vissa tillverkare konstruerar kaminer med stort luftöverskott för att slippa den extra kostnaden för miljötester och konsumenterna är mer intresserade av ett lågt kaminpris än en hög verkningsgrad/lägre utsläpp.

4.6.4 P-MÄRKNING

P-märkning är ett kvalitetsmärkningssystem för pelletsbrännare med en effekt upp till 25 kW, som Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) tagit fram i samarbete med tillverkare av pelletsbrännare och berörda myndigheter. En projektgrupp har lett arbetet, som genomförts på NUTEKs uppdrag.[32, 39, 46, 50, 54]

För tillfället finns det 10 brännare, 7 pannor och 3 kaminer som är P-märkta. Information om alla P-märkta pelletseldade utrustningar finns i bilaga 7.[54]

Certifieringsreglerna för pelletsbrännare och kaminer ställer höga tekniska krav vad avser:[32]

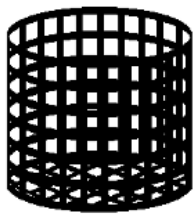
- Utsläpp - Utsläppen av organiskt bundet kol får ej överstiga 100 mg/Nm^3 torr gas vid 10% O_2 som medelvärde vid utsläppsprovningarna. Utsläppen av CO får under samma betingelser ej överstiga 3 000 mg/Nm^3 torr gas.
- Effektivitet - pannverkningsgraden ska vara minst provpannans pannverkningsgrad vid oljeeldning under motsvarande belastningsförhållanden minskad med 10 procentenheter. För kaminer måste verkningsgraden vara minst 75% i effektintervallet 3-5 kW.
- Säkerhetsfunktioner - för säkerhet mot bakbrand krävs tre av varandra oberoende säkerhetssystem till exempel fallschakt, tät cellmatare, vattensprinklersystem med temperaturutlösning eller tryck- och temperaturvakter.
- Driftsäkerhet - vid provning av driftsäkerhet får pelletsbrännaren gå ojämnt i en vecka med 6 kW effektuttag från pannan. Utsläppen mäts den sista dagen för att kontrollera att gränsvärdena inte överstigits.

P-märkningen ställer även krav på teknisk dokumentation, installations- och skötselanvisningar för brännare och kaminer samt på kvalitetssäkring i tillverkningsprocessen. I systemet ingår också krav på en övervakande tillverkningskontroll.

Reglerna omfattar pelletsbrännare med en nominell effekt av max 25 kW för montering i varmvattenpannor, pelletspannor med en nominell effekt av max 100 kW samt pelletskaminer. Reglerna omfattar ej externa matningssystem mellan bränsleförråd och brännare. Produkter som uppfyller kraven får förses med märkning som innehåller SP:s P-märke. Det kostar ungefär 59 000 SEK att P-märka en pelletskamin. En årlig kostnad på 5 000-7 000 SEK tillkommer för tillverknings- eller importkontroll.

4.6.5 ELDKORG

Pelletskorgen gör det möjligt att elda pellets i vilken kakelugn, kamin eller öppen spis som helst.[56] Korgen fylls med ungefär 3 kg pellets och tänds på ovanifrån med tändvätska eller tändbrickett. En full korg har en brinntid på upp till fyra timmar och ger då ifrån sig 10-15 kWh energi. Eldkorgen kan även användas utomhus som ett alternativ till spritköket eller grillen.



Figur 4.11: Pelletskorg.

5 EMISSIONER FRÅN PELLETSELDNING

Vid förbränning av träpellets avges organiska och oorganiska ämnen till luft. Träpellets eldades i laboratorieskala, samt i pelletsutrustning installerad hos konsument och försäljare. Rökgasernas organiska fraktion analyserades.

5.1 LABORATORIEFÖRSÖK

Pellets från tre olika pelletstillverkare och med olika egenskaper med avseende på råmaterial, trädslagsfördelning och bindemedelstillsats eldades i laboratorieskala. Organiska rökgaskomponenter insamlades på tenaxadsorbent och analyserades med hjälp av gaskromatografi och masspektrometri.

5.1.1 FÖRSÖKSMATERIAL

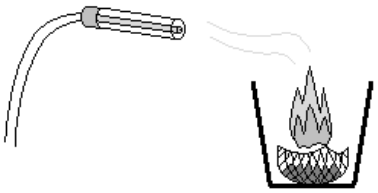
De pellets som eldades i laboratorieförsök var alla av 8 mm diameter. De var tillverkade av AB Forssjö Bruk, Bioenergi i Luleå AB och Mellanskogs Bränsle AB, och valda så att de skulle vara gjorda av varierande råmaterial, trädslag och bindemedelstillsats.

Forssjö Bruk ligger utanför Katrineholm.[59] Pellets tillverkas i sågverket av hälften eget och hälften inköpt sågspån, samt en del kutterspån. Trädslagsfördelningen är vanligen 50% tall (*Pinus sylvestris*) och resten gran (*Picea abies*). Spånen torkas och hettas före pelleteringen upp med ånga så att ligninet lättare binder. Den vanligaste diametern är 8 mm. Vid Forssjö Bruk har pellets tillverkats sedan 1995 och i dagsläget tillverkas 30 000 årston. Vid framtida införande av treskift och inköp av en tredje pressenhet blir kapaciteten 65 000 årston. De största kunderna är företag och kommuner.

Bioenergi i Luleå AB ägs gemensamt av Luleå Energi och SCA Skog AB.[61] Råvaran är sågspån av 95% tall och 5% gran, huvudsakligen från SCA Skog AB:s sågverk 50 km från Luleå. Spånet torkas i en rökgastork av rökgaser från det närbelägna kraftvärmeverket LuleKraft. Därefter mals råvaran i två kvarnlinjer och pressas i en av fyra pressar till pellets med 8 mm diameter. Produktionen år 2000 var ungefär 53 000 ton, men kapaciteten är större, 90 000 årston. De största kunderna är större kraftvärmeverk som till exempel Birka Energi i Stockholm, samt några utländska kunder.

Mellanskogs Bränsle AB har tre pelletsfabriker.[77] Fabrikerna i Valbo, Gävle och Ljusne, Söderhamn ägs helt av Mellanskogs Bränsle AB, medan fabriken i Orsa även ägs till 25% av Orsa Jordägande Socknemän och 25% av Hedlunds Trävaru AB. Fabriken i Orsa tillverkar endast 12 mm pellets och har ingen försäljning till villakunder. Råvaran vid pelletstillverkning är kutterspån av barrträd och kommer ifrån hyvlerier och sågverk. Kutterspånen mals till pulver och blandas med 1% potatisstärkelse. Lyckebystärkelse tillsätts till pellets för villamarknaden för att de bättre ska tåla transport och leverans. Spånblandningen pressas sedan igenom en matris till pellets av 6 mm och 8 mm diameter till privatkunder eller 12 mm diameter till värmeverk. År 1999 var Mellanskogs Bränsle AB:s tillverkningskapacitet 25 000 ton pellets i Valbo och 15 000 ton pellets i Ljusne. De största kunderna är kommunala värmeverk, men ungefär 10% av årsproduktionen brukar gå till villamarknaden.

5.1.2 FLAMELDNING



Figur 5.1: Försöksuppställning

Dessa experiment genomfördes för att efterlikna ofullständig förbränning i en pelletskamin eller brännare. Förbrännings-temperaturen i flammans hetaste del var endast 700-850 °C vilket är lägre än de 900-1 000 °C som det normalt är i en pelletsbrännare.

Sex medelstora pellets lades på ett nät av rostfritt stål och antändes med hjälp av en butanbrännare (figur 5.2). Ytterligare två pellets lades på innan nätet sänktes ner i en glaserad lerkruka med en volym av 1,5 liter. Ett glasrör, fyllt med ungefär 0,1 g Tenax TA (60-80 mesh), kopplades till en pump och placerades ca 10 cm från krukkanten. Rökgaserna pumpades genom adsorbentröret under fyra minuter varvid föreningar och partiklar uppsamlades (figur 5.1). Den totala provvolymen uppgick till ungefär 20 ml. Detta verifierades med hjälp av en flödesmätare. Under provtagningstiden lades ytterligare tre pellets ner i nätet, först två och senare ytterligare en, för att efterlikna matning under kontinuerlig drift.

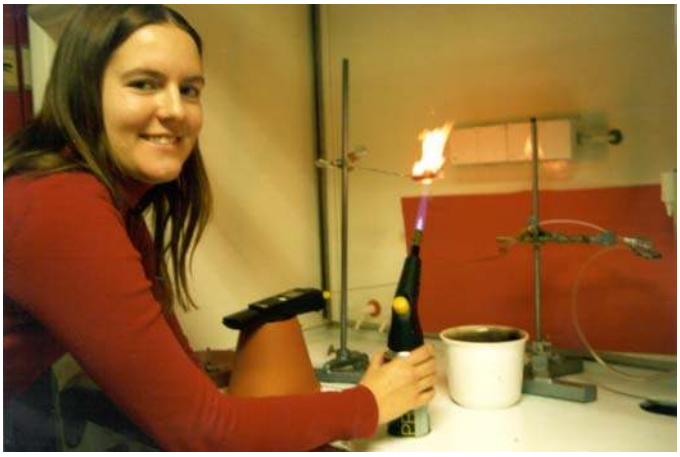


Fig. 5.2: Maria antänder pellets med butanbrännare före provtagning

5.1.3 GLÖDELDNING

Dessa experiment utfördes för att efterlikna förbränningsförhållandena i en panna med låg effekt alternativt i en panna på väg att slockna. Glödtemperaturen var ungefär 400°C.

Eldning och provtagning gick i stort sett till på samma sätt som vid flameldning (figur 5.3). Nu fick dock de pellets som ursprungligen lades på brinna ut innan nätet med glödande pellets nedsänktes i krukan och rökgaserna uppsamlades. Adsorbentröret placerades under dessa försök alldeles intill krukkanten. Inga fler pellets lades på under eller före provtagning.

Fig. 5.3: Provtagning på glödande pellets

5.2 SKORSTENSANALYSER

För att få en bild av de verkliga utsläppen från pelletseldning i Sverige togs prov av rökgaserna direkt vid skorstensmynningen. De eldningsutrustningar som undersöktes användes alla för uppvärmning med normal, småskalig pelletseldning. Två olika pelletsbrännare och två pelletskaminer undersöktes. Rökgaserna insamlades på tenaxadsorbent och analyserades med hjälp av gaskromatografi och masspektrometri.

5.2.1 PELLETSBRÄNNARE

Figur 5.4: Sahlins EcoTec A3

Den ena pelletsbrännaren användes för att värma upp ett flerfamiljshus i en ekologisk by i Ubbhult, Härryda. Brännaren var av märket Sahlins EcoTec A3 (figur 5.4) och hade en maximal effekt av 25 kW. Denna var installerad i en vedpanna från 1996 (Albin Kombi 952). De pellets som eldades var 8 mm pellets från SBE Svensk BrikettEnergi AB och de matades i regelbundna intervall, 10-20 st åt gången.

Den andra pelletsbrännaren var också från Sahlins EcoTec, men modellen var B1 och effekten 30-50 kW (figur 5.5). Vedpannan som brännaren var installerad i var en Arimax 360 Bio. Denna utrustning användes för att värma upp delar av Sahlins EcoTec AB:s brännarfabrik i Skene. De pellets som eldades var 8 mm pellets från SÅBI AB.

Figur 5.5: Sahlins EcoTec B1

För analys av det organiska innehållet i rökgaserna från de två pelletsbrännarna togs prov vid skorstensmynningen vid normal drift. Samtidigt mättes temperatur, flödeshastighet, syrgashalt, kolmonoxidhalt och metanhalt i röken.

Rökgasflödet mättes med flödesmätaren Testo 445 från Nordtech Instruments AB och rökgastemperaturen med den direktvisande rökgasmätaren Testo 300M från samma tillverkare. Med Testo 300M mättes även halten syrgas och kolmonoxid och koldioxidhalten beräknades automatiskt (figur 5.6).

Figur 5.6: Maria med rökgasmätare och pumpar

Halterna av kolmonoxid, koldioxid och metan bestämdes dessutom genom gaskromatografi. Rök från skorstenen samlades i Tedlarpåse och analyserades på laboratorium. Kolmonoxid och koldioxid separerades på gaskromatografikolonner med Molekylsikt 13X respektive HayeSep Q (60-80 mesh). Ämnena detekterades med värmeledningsförmågedetektor. Metan separerades från övriga gaser i en kolonn med Molekylsikt 13X och detekterades med flamjonisationsdetektor.

Vid provtagning av rökens organiska innehåll kopplades ett glasrör fyllt med Tenax TA (60-80 mesh, ca 0,1 g) till en pump. Rökgaserna från skorstenen pumpades genom adsorbentröret under två till tio minuter varvid ämnen i gasfas och på partiklar uppsamlades (figur 5.7 och 5.8). Den totala provvolymen uppgick till 8-43 ml.

Figur 5.7: Jennica tar prov i Ubbhult

Figur 5.8 : Provtagning i skorstensmynningen.

5.2.2 PELLETSKAMINER

En av pelletskaminerna stod i Falköping och användes för att värma upp ett extra lagerutrymme på Baxi AB. Kaminen var av märket Calimax Sandor, 7 kW (figur 5.9). Calimax Sandor tillverkas i Österrike av Calimax. De pellets som eldades kom från SÅBI AB och hade en diameter på 6 mm. Dessa matades kontinuerligt en i taget.

Figur 5.9: Calimax Sandor

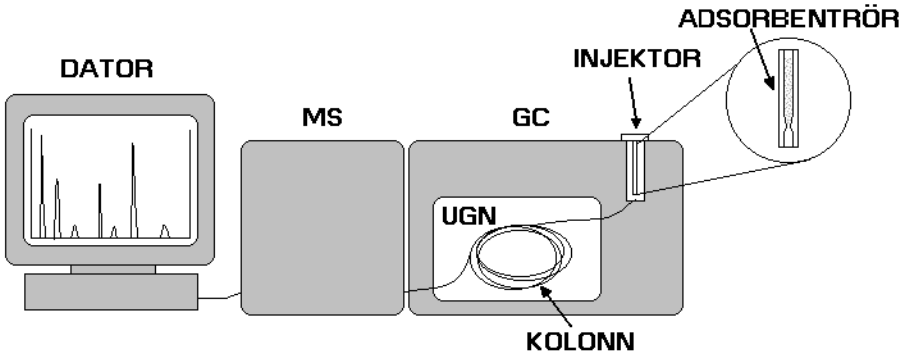
Den andra kaminen var av märket Austroflamm Integra (figur 5.10) och var installerad hos Äfab AB i Lidköping. Kaminen tillverkas av Austroflamm Industries Inc och har en effekt på 11 kW. De pellets som eldades var 6 mm pellets från SÅBI AB.

Figur 5.10: Austroflamm Integra

Rökgasprov från pelletskaminer togs på motsvarande sätt som för pelletsbrännare. I detta fall togs rökgasprov under tre till sex minuter och den totala provvolymen var omkring 10 ml. Från kaminen Austroflamm Integra togs dock prov på kalla rökgaser i en förlängning av rökgaskanalen och inte i skorstensmynningen på taket.

5.3 ANALYS

Det organiska innehållet i rökgaserna analyserades med GC/MS, det vill säga med en masspektrometer kopplad som detektor till en gaskromatograf (figur 5.11). Gaskromatografens uppgift är att separera ämnena från varandra, medan masspektrometern identifierar ämnena. Identifieringen baserades även på gaskromatografisk retentionstid.



Figur 5.11: Översiktsbild över den använda analysutrustningen

Nedan följer en kort beskrivning av tillvägagångssättet vid analyserna. Ytterligare information om utrustning och inställningar finns i tabell 5.1.

Adsorbentröret placerades inuti injektorn på en gaskromatograf. Ämnena från rökgaserna desorberades från tenaxadsorbenten genom att injektortemperaturen höjdes till 220°C. För att alla ämnen skulle börja vandra samtidigt genom kolonnen var denna nedkyld till -50°C med hjälp av flytande kväve.

Som bärgas användes helium. Bärgasen ska föra med sig ämnena genom kolonnen. Som stationär fas användes en polär silikonpolymer. Det är främst ett ämnes löslighet i den stationära fasen som påverkar dess retentionstid (den tid det tar för ett specifikt ämne att vandra igenom kolonnen). Ofta vandrar små molekyler fortare än stora. Även andra faktorer, som till exempel ett ämnes polaritet, avgör retentionstiden. Genom att kolonntemperaturen långsamt höjdes från -50°C till 250°C separerades ämnena bättre från varandra än ifall temperaturen hade varit konstant hög.

Kolonnen var kopplad till en masspektrometer. När en molekyl når jonkällan beskjuts det med elektroner och joniseras därmed. Oftast sönderdelas samtidigt molekylen till mindre joner, på ett för ämnet mycket karakteristiskt sätt. De bildade jonerna separeras i ett elektromagnetiskt fält och detekteras med hjälp av en elektronmultiplikator. Detta ger upphov till ett masspektrum där jonerna är separerade efter förhållandet mellan deras massa och laddning (*m/z*). Detta masspektrum är specifikt för varje förening och gör det möjligt att bestämma vilken förening som fanns i provet.

Resultatet blir GC/MS-kromatogram, med ämnenas retentionstid på x-axeln och ämnenas relativa mängd på y-axeln. Föreningar i provet kan sedan identifieras utifrån gaskromatografisk retentionstid och masspektrats fragmenteringsmönster. De relativa proportionerna mellan olika ämnen kan uppskattas genom att jämföra ämnenas kromatografiska topparea.

För koncentrationsbestämning användes en referensgasblandning från Scott Speciality Gases med 10,5 ppm bensen och 10,5 ppm toluen (±5%).

Tabell 5.1: Analysutrustningens egenskaper och inställningar.

Gaskromatograf	Varian 3800
Kolonn	FSOT
Längd (m)	30
Innerdiameter (mm)	0,25
Stationär fas	cyanopropylfenylsilikon
Skikttjocklek (µm)	0,25
Kolonntemperatur (°C)	-50 – 50, 10°C/min 50 – 250, 5°C/min
Bärgas	Helium
Flöde (ml/min)	1,1
Tryck (psi)	10
Injektortemperatur (°C)	40 – 220, 60°C/min
Masspektrometer	Varian Saturn 2000
Jonfällans temperatur (°C)	120
Joniseringsenergi (eV)	70
Antal scan per sekund	1
Masstalsområde	50 – 300

5.4 ELDNINGSRESULTAT

Resultaten från analyserna från laboratorieförsök och skorstensanalyser sammanställdes enligt nedan. Mer om de olika ämnena i rökgaserna finns att läsa i kapitel 5.5.

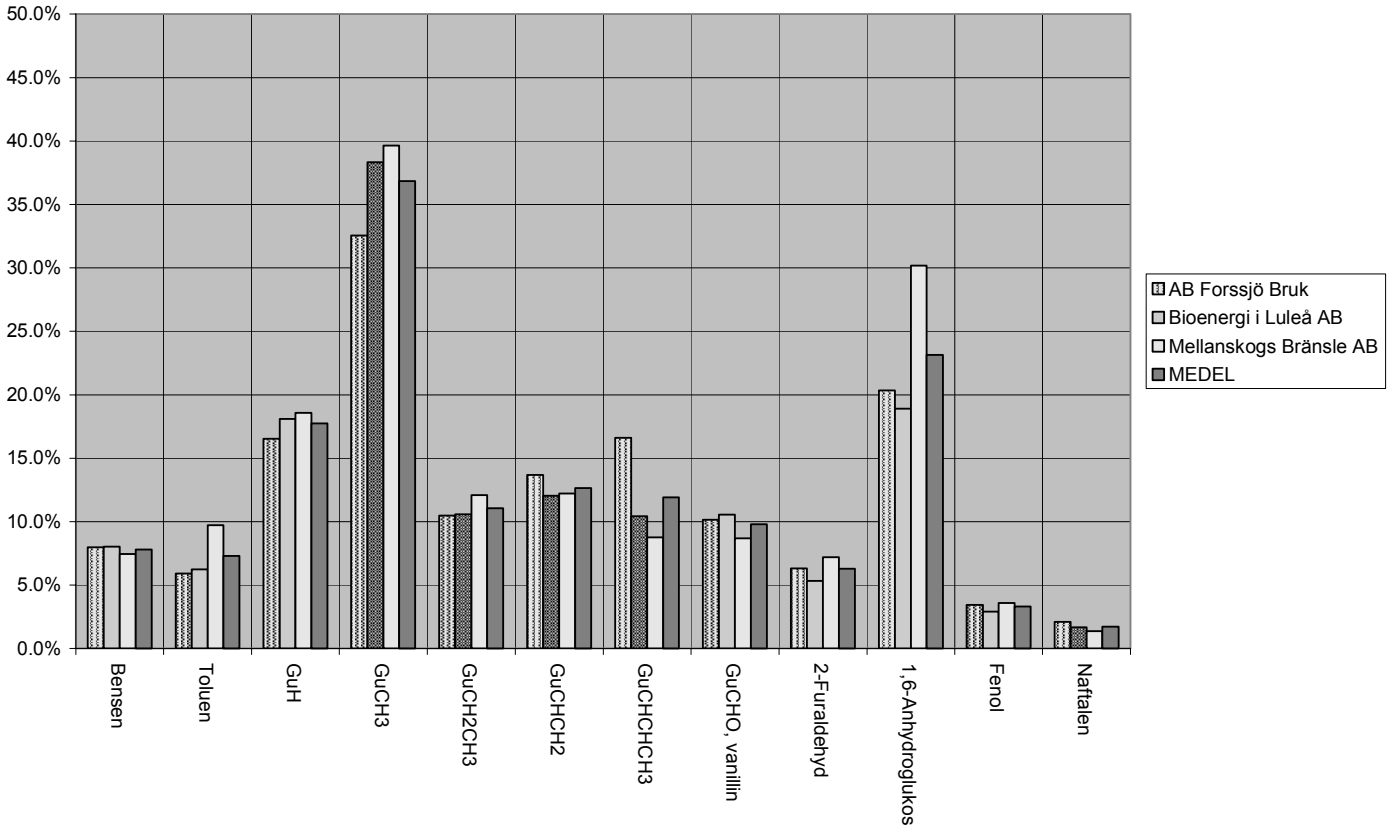
5.4.1 LABORATORIEFÖRSÖK

Resultaten från de två typerna av laboratorieförsök, flameldning och glödeldning finns i följande kapitel.

5.4.1.1 FLAMELDNING

Dessa försök gjordes för att studera förbränningskemin och för att efterlikna ofullständig förbränning i en pelletskamin eller pelletsbrännare. Förbränningstemperaturen i flammans hetaste del var ganska hög, 700-850°C, men den var ändå något lägre än den som normalt återfinns i en pelletsbrännare.

Vid utvärdering av analysresultaten och således rökgasernas innehåll av halvflyktiga ämnen valdes de dominerande ämnena, samt vissa särskilt intressanta ämnen ut. För att få möjlighet att jämföra olika analyser med varandra sattes totalhalten av utvalda metoxifenoler, det vill säga summan av mängden guajakol, metylguajakol, etylguajakol, etenylguajakol, propenylguajakol och vanillin, till 100%. Övriga ämnen relaterades sedan till denna totalhalt. Sammanfattade resultat från flameldningsförsöken finns i figur 5.12 och tabell 5.2, medan mer utförliga analysresultat finns i bilaga 8.



Figur 5.12: Relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid flamförbränning av pellets från AB Forssjö Bruk, Bioenergi i Luleå AB, Mellanskogs Bränsle AB, samt ett medelvärde av de olika pelletsfabrikaten.

Metoxifenoler var den ämnesgrupp som dominerade, liksom i vedrök, bland halvflyktiga kolväten i rök från flamförbränning av pellets. Totalhalten av metoxifenoler var runt 0,1 mg/m^3. Det enskilda ämne som fanns i störst mängd var metylguajakol. Alla metoxifenoler var guajacylföreningar, och inga syringylföreningar kunde urskiljas. Detta

tyder på att det inte ingick någon lövved i de pellets som analyserades. Levoglukosan, eller 1,6-anhydroglukos, var det ämne som förekom i näst störst mängd. Detta ämne var dock svårt att haltbestämma eftersom det har hög polaritet och speciella egenskaper, både kromatografiskt och masspektrometriskt.

Rökgasernas innehåll av bensen var endast 8% av dess innehåll av metoxifenoler. Som alltid vid förbränning av trädbiomassa var bensenhalten högre än halten av toluen (metylbensen). De relativa halterna av polycykliska aromatiska kolväten var mycket låga vid flamförbränning av pellets, vilket indikerades av den låga halten av naftalen. Detta tyder på att förbränningstemperaturen var relativt låg eftersom PAH börjar bildas vid 800°C.

Det fanns ingen signifikant skillnad mellan de olika pelletssorterna. De variationer som ändå fanns beror antagligen på variationer i förbränningsförhållandena.

Tabell 5.2: Relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid flamförbränning av pellets från AB Forssjö Bruk, Bioenergi i Luleå AB, Mellanskogs Bränsle AB samt vid förbränning i en kamin.

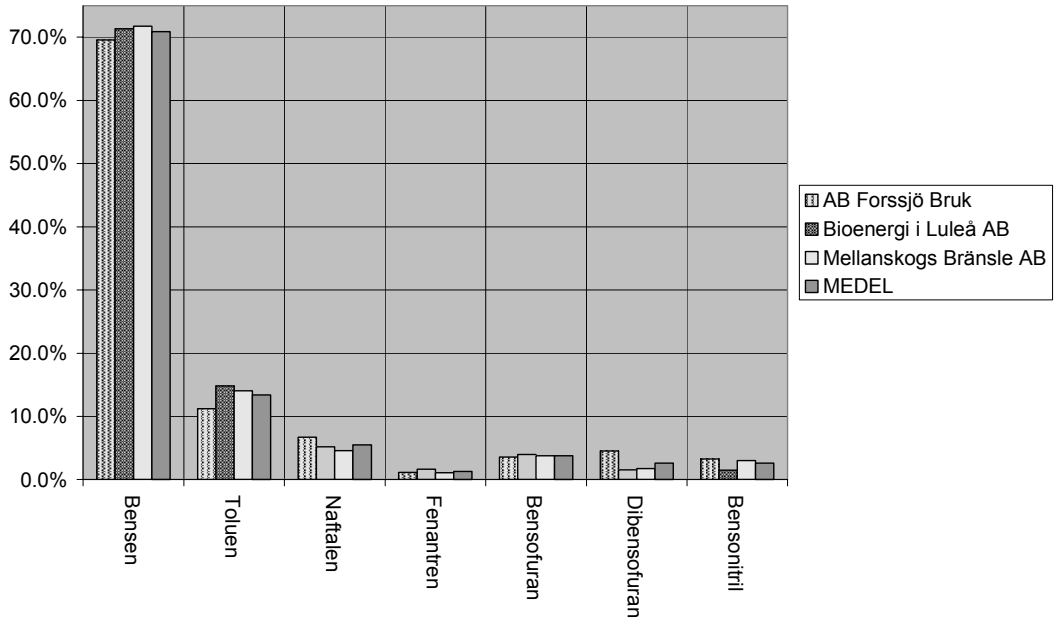
PELLETS	**Bioenergi i Luleå AB**	**AB Forssjö Bruk**	**Mellanskogs Bränsle AB 1% potatisstärkelse**	**SÅBI AB Kamin**
ANTAL PROV	**4**	**6**	**3**	**1**
METOXIFENOLER				
GuH	18,1	16,5 ± 2,3	18,6	35,6
$GuCH_3$	38,3	32,6 ± 5,9	39,6	40,9
$GuCH_2CH_3$	10,6	10,5 ±1,8	12,1	6,1
$GuCHCH_2$	12,0	13,7 ± 1,7	12,2	10,2
***trans*-$GuCHCHCH_3$**	10,4	16,6 ± 5,2	8,8	4,3
GuCHO, vanillin	10,5	10,2 ± 3,6	8,7	3,0
KOLHYDRATDERIVAT				
Furfural	5,3	6,3 ± 1,6	7,2	27,5
1,6-Anhydroglukos	18,9	20,3 ± 3,2	30,2	21,2
FLYKTIGA KOLVÄTEN				
Bensen	8,0	8,0 ± 4,5	7,4	55,1
Toluen	6,2	5,9 ± 1,8	9,7	22,2
ÖVRIGA UTVALDA ÄMNEN				
Fenol	2,9	3,4 ± 1,1	3,6	12,2
Naftalen	1,7	2,1 ± 1,3	1,4	21,2

För att få en bild av hur väl försöken liknade verkligheten gjordes analyser på en kamin av märket Austroflamm Integra hos Äfab i Lidköping. Det försök som mest liknade flameldningsförsöken togs under uppstart av kaminen fram till kontinuerlig drift (tabell 5.2). Resultaten var trots det inte helt likartade. Skillnaderna beror antagligen främst på att det var högre temperatur i kaminen än vid laboratorieförsöken.

5.4.1.2 GLÖDELDNING

Dessa försök gjordes för att studera förbränningskemin vid glödförbränning och för att efterlikna förbränningsförhållandena i en panna på låg effekt, alternativt i en panna på väg att slockna. Temperaturen på glödande pellets var under experimenten omkring 400°C.

Vid utvärdering av analysresultaten och av rökgasernas innehåll av halvflyktiga ämnen valdes de dominerande ämnena, samt vissa särskilt intressanta ämnen ut. Dessa ämnen var bensen, toluen, naftalen, fenantren, bensofuran, dibensofuran samt bensonitril. För att få möjlighet att jämföra olika analyser med varandra sattes totalhalten av dessa ämnen till 100% så att en relativ halt av de olika ämnena kunde fås. En sammanfattning av resultaten från glödeldningsförsöken finns i figur 5.13 och tabell 5.3, medan de mer utförliga resultaten finns i bilaga 8.



Figur 5.13: Relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid glödförbränning av pellets från AB Forssjö Bruk, Bioenergi i Luleå AB, Mellanskogs Bränsle AB, samt ett medelvärde av de olika pelletsfabrikaten.

Bensen dominerade bland de halvflyktiga kolväten som fanns i rök från glödförbränning av pellets. Detta var uppseendeväckande eftersom den låga temperaturen vid glödförbränning borde resultera i en hög andel av andra ämnen. Att resultatet blev som det blev kan delvis bero på att de flesta ämnen redan hunnit avgå under de tidigare stadierna av förbränningen. Denna skillnad, jämfört med vedeldning, kanske kan förklaras av låg värmeledningsförmåga i vedträn till skillnad från i pellets.[14] Halten av bensen var dock låg, runt 0,05 mg/m^3.

Inte heller under dessa försök gick det att se någon skillnad mellan de olika pelletssorterna. De små variationer som fanns beror antagligen på varierande förhållanden vid förbränningen.

Tabell 5.3: Relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid glödförbränning av pellets från AB Forssjö Bruk, Bioenergi i Luleå AB, Mellanskogs Bränsle AB samt vid förbränning i en kamin.

PELLETS	**Bioenergi i Luleå AB**	**AB Forssjö Bruk**	**Mellanskogs Bränsle AB 1% potatisstärkelse**	**SÅBI AB Kamin**
ANTAL PROV	**4**	**4**	**2**	**1**
FLYKTIGA KOLVÄTEN				
Bensen	70,9	69,6 ± 1,7	71,7	56,3
Toluen	13,4	11,2 ± 3,3	14,1	12,3
POLYCYKLISKA AROMATISKA KOLVÄTEN				
Naftalen	5,5	6,7 ± 0,6	4,6	20,8
Fenantren	1,3	1,1 ± 0,4	1,1	4,4
BENSOFURANER				
Bensofuran	3,8	3,6 ± 0,3	3,8	5,0
Dibensofuran	2,6	4,5 ± 1,2	1,7	1,2
NITRILER				
Bensonitril	2,6	3,3 ± 0,6	3,0	0,0

Vid det försök som gjordes i en kamin hos Äfab i Lidköping och som mest liknade glödeldningsförsöken gick kaminen på låg effekt (omkring 3 kW), med en låg matning och mycket glöd (tabell 5.3). De relativa halterna stämmer mycket väl överens med laboratorieförsöken. En högre relativ halt av polycykliska aromatiska kolväten indikerar att temperaturen var något högre vid kaminförsöket.

5.4.2 SKORSTENSANALYSER

Rökgaserna i skorstensmynningen analyserades för att få en bild av de verkliga utsläppen från pelletseldning i Sverige. De eldningsutrustningar som undersöktes användes alla för uppvärmning med normal, småskalig pelletseldning. De utrustningar som undersöktes var två olika pelletsbrännare och två pelletskaminer. Samtliga prov togs vid normal drift utan några ingrepp i utrustningen.

Vid provtagningen mättes även temperatur, flödeshastighet, syrgashalt, kolmonoxidhalt och metanhalt i röken med instrument ifrån Nordtech Instruments AB. Koldioxidhalten beräknades automatiskt av instrumentet. Dessutom fastställdes halterna av kolmonoxid, koldioxid och metan genom gaskromatografiska analyser.

Jämförande värden för rökgasdata, halter av oorganiska gaser och metan, samt koncentrationer av halvflyktiga organiska ämnen finns i tabell 5.4 för en pelletsbrännare och en pelletskamin.

Tabell 5.4: Jämförande data för en pelletsbrännare och en pelletskamin.

	Pelletsbrännare Härryda	Pelletskamin Falköping
Effekt (kW)	25	7
Rökgastemperatur (°C)	50-60	40-50
Rökgasflöde (m^3/h)	130	50
O_2 (%, direktmätning)	17 (16-18)	18 (17-20)
CO (ppm, direktmätning)	1000 (200-2100)	500 (100-800)
(ppm, Tedlarpåse - GC) [a]	1500 (800-2800)	550 (500-600)
CO_2 (%, direktmätning)	3,4 (1,7-5,3)	2,5 (1,7-3,4)
(%, Tedlarpåse - GC) [a]	2,9 (2,4-3,7)	2,4 (1,7-3,1)
$CO_2/(CO+CO_2)$ (%, direktmätning)	97 (93-100)	97 (95-100)
(%, Tedlarpåse - GC) [a]	95 (91-97)	98 (96-99)
Metan (ppm, Tedlarpåse - GC) [a]	28 (22-35)	7,9 (7,8-8,0)
Alla ämnen i figur 5.14 och 5.15 (mg/m^3) [b]	21 (5-48)	2,2 (1,3-2,9)
Metoxifenoler (mg/m^3) [b]	-	1,2 (0,5-1,8)
Bensen (mg/m^3) [b]	11 (3-24)	0,6 (0,5-0,7)
Bensen (mg/h) [b]	1400 (500-3400)	30 (28-33)

[a] *Medel, lägsta och högsta värde för analyser på rökgaserna med Tedlarpåse och gaskromatografi i pelletsbrännare (fyra) och pelletskamin (två).*
[b] *Medel, lägsta och högsta värde för de första fyra analyserna i figur 5.14 och de första tre analyserna i figur 5.15.*

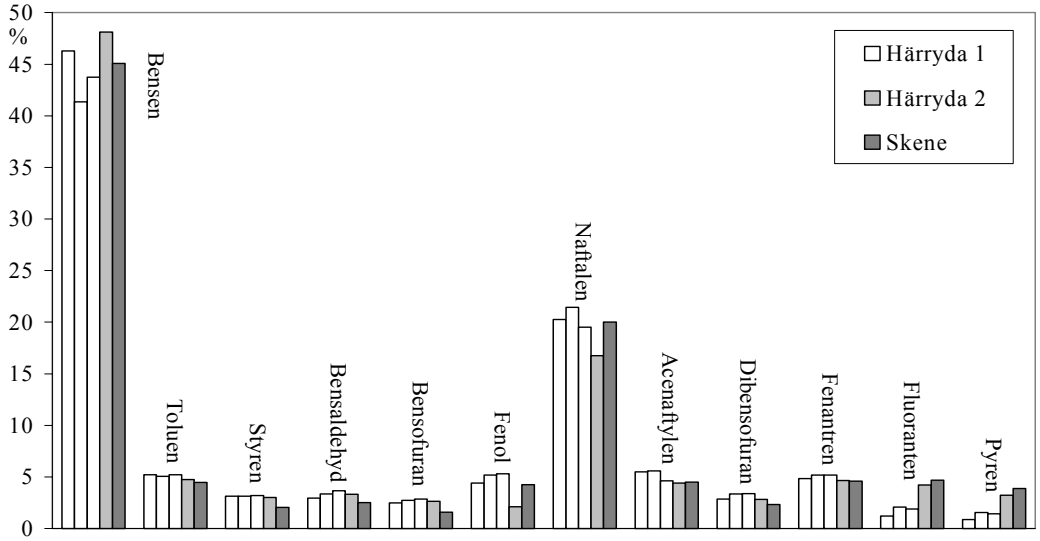
I tabell 5.4 ovan jämförs den pelletsbrännare i Härryda där flest prover togs med den pelletskamin i Falköping där flest prover togs. Effekten på brännaren är 3-4 gånger högre än effekten för pelletskaminen, vilket är viktigt att ta hänsyn till vid jämförelse av utsläppen. Samtidigt är rökgasflödet ungefär dubbelt så stort från brännaren.

Syrgashalten är ungefär den samma för både brännaren och kaminen. Koldioxid- och kolmonoxidhalterna är dock betydligt högre för brännaren än för kaminen. Metan bildas ofta i större mängd än andra organiska ämnen vid förbränning av såväl biobränslen som fossila bränslen. Metanhalten visade sig vara hög även vid förbränning av pellets, men lägre än för vedeldning.[19] Det är viktigt att bestämma utsläppen av metan eftersom metan är en växthusgas.

5.4.2.1 PELLETSBRÄNNARE

Vid utvärdering av analysresultaten och således rökgasernas innehåll av halvflyktiga ämnen valdes de dominerande ämnena ut. För att få möjlighet att jämföra olika analyser med varandra sattes totalhalten av utvalda ämnen till 100%. Ämneshalterna relaterades sedan till denna totalhalt.

Sammanfattande resultat från analyserna av organiska ämnen i rökgaserna från en pelletsbrännare illustreras av figur 5.14. Resultaten för övriga analyser och mätningar finns i tabell 5.4 där de jämförs med motsvarande värden för en pelletskamin.



Figur 5.11: Relativ fördelning av aromatiska ämnen vid analyser av skorstensröken från två olika pelletsbrännare. Vid de första tre analyserna användes en pelletsbrännare i Härryda. Det fjärde provet togs några veckor senare på samma brännare. För det femte provet användes en pelletsbrännare i Skene.

Av figur 5.14 framgår det tydligt att det organiska innehållet i rökgaserna från de fem olika analyserna inte varierar särskilt mycket.

Det aromatiska kolväte som finns i högst halt är bensen. Koncentrationen av bensen i rökgaserna från en pelletsbrännare är runt 10 mg/m^3 (tabell 5.4). Detta värde kan jämföras med bakgrundshalten av bensen som på landet är 0,001 mg/m^3,[45] som i trafikmiljö är 0,05 mg/m^3 och som i omgivningsluften i Tingstadstunneln under hög trafikbelastning kan vara 0,45 mg/m^3.[3] En pelletsbrännare med ett utsläpp av 1400 mg/h använd 200 dygn om året skulle släppa ut några kg bensen årligen. Detta är ungefär lika mycket som en medelstor bil.[2] Hänsyn måste då även tas till att utsläppen från en pelletsbrännare sker i skorstenshöjd och inte i marknivå där människor befinner sig. Därför bidrar en bil i större utsträckning till människors exposition för bensen. Halten bensen är ungefär tio gånger högre än halten av toluen. Detta haltförhållande är högre än haltförhållandet 3-4 för vedrök.[13]

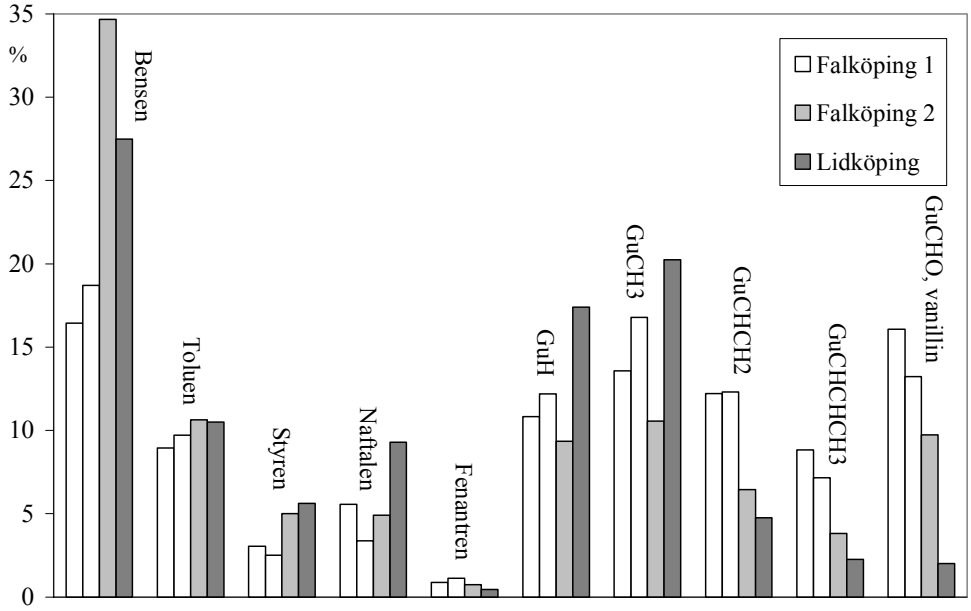
Det halvflyktiga ämne som förekommer i näst störst utsträckning är naftalen. Ämnesgruppen PAH (polycykliska aromatiska kolväten) representerades av fenantren, fluoranten samt pyren. Bildandet av PAH ökar med ökande temperatur, vilket kan förklara mindre variationer mellan de olika proverna.[7,13] Det finns även många syreinnehållande föreningar i rökgaserna. Exempel på sådana är bensaldehyd, bensofuran, fenol och dibensofuran. Anledningen till detta är det höga syreinnehållet i trä. Även styren är en vanligt förekommande förening i vedrök.[13]

De i vedrök vanliga nedbrytningsprodukter från lignin och cellulosa så som metoxifenoler och 1,6-anhydroglukos återfanns inte i röken från pelletsbrännare. Detta beror antagligen huvudsakligen på en mer fullständig förbränning av pellets i pelletsbrännaren.

5.4.2.2 PELLETSKAMINER

Vid utvärdering av analysresultaten och således rökgasernas innehåll av halvflyktiga ämnen valdes de dominerande ämnena, samt vissa särskilt intressanta ämnen ut. För att få möjlighet att jämföra olika analyser med varandra sattes totalhalten av utvalda ämnen till 100%. Ämneshalterna relaterades sedan till denna totalhalt.

Sammanfattande resultat från analyserna av organiska ämnen i rökgaserna från en pelletskamin illustreras av figur 5.12. Resultaten för övriga analyser och mätningar finns i tabell 5.4 där de jämförs med motsvarande värden för en pelletsbrännare.



Figur 5.12: Relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid analyser av skorstensröken från två olika pelletskaminer. Vid de första två analyserna användes en pelletskamin i Falköping. Det tredje provet togs några veckor senare på samma kamin. För det fjärde provet användes en pelletskamin i Lidköping.

Ur figur 5.12 framgår det tydligt att samma ämnen bildas vid förbränning i de olika kaminerna och vid de olika tillfällena. Förhållandet mellan olika ämnen varierar dock en hel del mellan olika analyserna. Dessa variationer beror antagligen på variationer i förbränningsförhållandet, vilket inte undersökts närmare i denna studie.

Bensen är även här den mest framträdande föreningen. Halterna, som ligger runt 0,6 mg/m^3, är dock bara en hundradel av motsvarande värden för en pelletsbrännare (tabell 5.4). Förhållandet mellan bensen och toluen är vid kamineldning lägre och mer likt det för vedrök.[13] Även de relativa utsläppen av naftalen och PAH var lägre i rök från kaminerna jämfört med pelletsbrännarna.

Det som skiljer förbränningen i pelletskamin mest från förbränningen i pelletsbrännare är att metoxifenoler avges från pelletskaminen. Metoxifenoler har även hittats i stor utsträckning i rök från småskalig vedeldning.[8,13] Att de finns i röken från pelletskaminer beror antagligen på en lägre och mer ojämn förbränningstemperatur, samt kortare gasuppehållstid jämfört med pelletsbrännarna. De som finns i störst mängd är 4-metyl-2-metoxifenol ($GuCH_3$) samt 2-metoxifenol (GuH, guajakol). Att inga syringylföreningar fanns i röken visar att eldade pellets enbart bestod av barrträ. Även halterna av 2-metoxifenolerna $GuCHCH_2$, $GuCHCHCH_3$ samt GuCHO (vanillin) var höga. Metoxifenoler har antioxidanteffekt, vilket beskrivs närmare i kapitel 5.5.2.7.

5.5 EMISSIONER

Emissioner av kolmonoxid, kväveoxider, tjära, stoft och organiskt bundet kol (OGC) från pelletseldning ligger på en lägre nivå än motsvarande från vedeldning.[33] De bästa teknikerna närmar sig emissionsmängderna från en oljebrännare. Det finns möjligheter att i framtiden använda katalysatorer för att minska utsläppen av CO, OGC och NO_x från småskaliga förbränningsanläggningar för biobränslen.

Vid eldning av pellets i en brännare eller kamin vid låg effekt blir utsläppen av kolmonoxid, kväveoxider och organiska ämnen höge per mängd utvunnen energi än de blir vid full effekt.[34]

5.5.1 EMISSIONERNAS TEMPERATURBEROENDE

Temperaturens påverkan på förbränningsförloppet visas översiktligt i tabell 5.5.

Vid fullständig förbränning binds allt bränslets kol i koldioxid och allt väte i vatten. För att uppnå fullständig förbränning måste flammans temperatur vara högre än 850°C.[35] Om temperaturen är lägre förbränns inte kolmonoxid och vissa kolväten. Vid ofullständig förbränning vid temperaturer runt 600-700°C utgörs en stor del av emissionerna av metoxifenoler med antioxidantegenskaper. Metoxifenoler är primära nedbrytningsprodukter från vedens lignin. Vid temperaturnivåer runt 800°C bildas de flesta polycykliska aromatiska kolväten (PAH). Så är ofta fallet vid traditionell, småskalig vedeldning. På de kalla ytor som finns i en vattenmantlad panna eller en luftkyld braskamin kan de syror som bildas då bränslet hettas upp kondensera och orsaka korrosion.

Bildningen av kväveoxider från luftens kväve ökar med ökande förbrännings-temperatur. Om temperaturen i förbränningszonen överstiger 1 050°C ökar bildningen av kväveoxider mycket kraftigt. Vid normala temperaturer i en pelletsbrännare, 900 - 1 000°C, är utsläppen av kväveoxider acceptabla. Då förbränns även en stor del av de flyktiga kolväten som bildas och frigörs vid förbränningen. Det blir dock en övervägande stor andel PAH och liknande otrevliga ämnen i röken medan metoxifenoler och andra primära förbränningsprodukter förbränns.

Tabell 5.5: Temperaturens påverkan på förbränningsförloppet.[10]

Fas	Temperatur	
Torkning	100-300°C	Fukten i bränslet avdunstar
Förgasning	300-800°C	Bränslets temperatur ökar och det förgasas genom pyrolys
Gasförbränning	500-900°C	De flyktiga gaserna förbränns
Kolförbränning	700-1000°C	Långsam förbränning av ickeförgasat kol

5.5.2 ORGANISKA ÄMNEN

Organiska ämnen bildas och frigörs vid förbränning. Organiskt bundet kol, OGC, är en samlingsparameter för organiska ämnen inklusive metan och innefattar alltså ett mycket stort antal ämnen med vitt skilda egenskaper. En stor del av dessa ämnen har låg flyktighet och den tidigare använda beteckningen VOC, flyktiga organiska ämnen, är därför olämplig för rök från ved och pellets.

De relativt sett mycket stora utsläppen av organiska ämnen från småskalig vedeldning har fått stor uppmärksamhet. Detta beror främst på att de polycykliska aromatiska kolvätena (PAH) liksom bensen tillhör denna grupp av ämnen. Forskning pågår för att optimera förbränningen i vedpannor och genom högre temperatur och gynnsammare förbränningsförhållanden minska utsläppen av organiska ämnen. Vad man i första hand tittar på är dock inte vilka enskilda ämnen som bildas utan totalhalten av OGC.

Denna studie gick delvis ut på att få klarhet i vilka ämnen som egentligen utgör OGC vid pelletseldning.

Förbränningen börjar med att bränslet pyrolyseras till ämnen som övergår till gasfas och där förbränns mer eller minde fullständigt.[45] Vid låga förbränningstemperaturer och ofullständig förbränning består endast en mindre del av de organiska ämnena i röken från trä av flyktiga kolväten.[10]

Eldning vid låg effekt med pyrande ineffektiv förbränning ger betydligt högre utsläpp av organiska ämnen än eldning med effektiv flamförbränning. Utsläppen av totalmängden oförbränt organiskt bundet kol (OGC) från nuvarande pelletseldade utrustningar ligger vanligen mellan 2-100 mg/MJ (räknat som metanekvivalenter).[33]

De organiska ämnen som bildas och frigörs vid förbränning av biomassa har mycket varierande struktur och egenskaper. Att mäta totalmängden OGC i rökgaserna från biomassa ger därför inte särskilt mycket information om rökens innehåll och egenskaper. På följande sidor diskuteras några särskilt intressanta ämnesgrupper som finns i pelletsrök lite mera ingående.

5.5.2.1 METAN

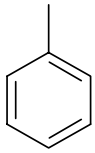
Metan är ett av de organiska ämnen som bildas i störst mängd vid förbränning av kolinnehållande material. Detta är ett problem eftersom metan är en växthusgas som absorberar värmestrålning 30 gånger effektivare än koldioxid.[45]

5.5.2.2 BENSEN

Bensen (figur 5.16) är ett humancancerogent kolväte som bland annat bildas vid ofullständig förbränning av fossila bränslen och organiskt material.[45] Den bensen som finns i tätortsluft kommer till stor del ifrån fordonstrafik.[45] Vid förbränning av biomassa bildas bensen främst från de aromatiska strukturelementen i lignin.

Metylbensen (figur 5.17), även kallad toluen, är mindre giftigt än bensen på grund av att metabolismens mellanprodukter och slutprodukt är mindre farliga än motsvarande för bensen.[29] Vid förbränning av trädbiomassa blir bensenhalten i röken alltid högre än halten av toluen.[4,13] Detta är inte fallet för bilavgaser, där halten toluen är 2-3 gånger högre än halten av bensen.[3]

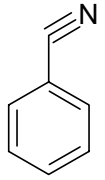
Figur 5.16: Bensen



Figur 5.17: Toluen

5.5.2.3 BENSONITRIL

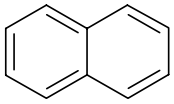
Bensonitril (figur 5.18) består av en bensenring med en cyanidgrupp, -CN. Denna identifierades som enda kväveinnehållande förening vid analyser av rökgaserna från träpellets.



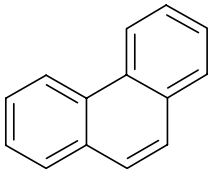
Figur 5.18: Bensonitril

5.5.2.4 POLYCYKLISKA AROMATISKA KOLVÄTEN (PAH)

Polycykliska aromatiska kolväten består av två eller flera kondenserade bensenringar. Dessa ämnen är i många fall både högtoxiska och cancerogena.[45] PAH bildas i små mängder vid upphettning och förbränning av organiskt material och sprids oftast bundna till partiklar. På grund av detta kan de spridas över stora områden trots att de inte är flyktiga. Totalhalten av PAH kan vid förbränning av granflis vara ungefär 37 $\mu g/Nm^3$.[21] Nedan syns två exempel på polycykliska aromatiska kolväten som återfinns i rökgaserna från pellets; naftalen (figur 5.19) och fenantren (figur 5.20).

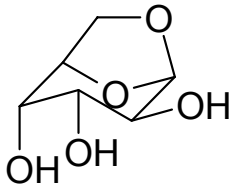


Figur 5.19: Naftalen



Figur 5.20: Fenantren

5.5.2.5 ANHYDROGLUKOS & FURANER

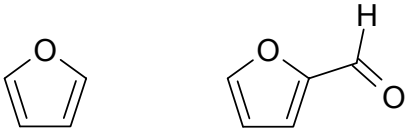


Figur 5.21: 1,6-Anhydroglukos

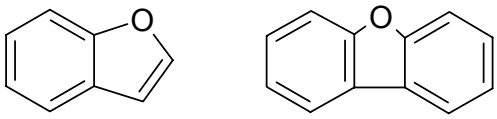
Anhydrosocker och furaner kommer från vedens cellulosa och hemicellulosa.[5,10]

Det mest framträdande anhydrosockret är 1,6-anhydroglukos (figur 5.21), även kallad levoglukosan, som bildas vid ofullständig förbränning av en mängd olika sorters biomassa.[20] Anhydroglukos är den huvudsakliga nedbrytnings-produkten från cellulosa vid 400-600°C.[1] Vid högre temperaturer bryts anhydroglukos ned till flyktigare ämnen.

Furaner (figur 5.22) bildas som förbränningsprodukter från polysackarider i trä.[10] Även mängden furaner i rök från trädbränslen minskar med ökad förbränningseffektivitet. Bensofuran och dibensofuran (figur 5.23) är förbränningsprodukter med furanstruktur från träpellets.



Figur 5.22: Furan och 2-furaldehyd

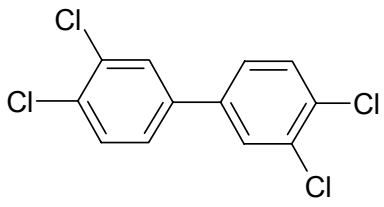


Figur 5.23: Bensofuran och dibensofuran

5.5.2.6 POLYKLORFÖRENINGAR

Trädbränslen innehåller en viss mängd klor. Som ett exempel innehåller granflis 120 mg klor/kg.[21] Detta klor kan vid dålig förbränning ge upphov till att mer eller mindre skadliga klorerade föreningar bildas. Träpellets ger lägre utsläpp av klorerade kolväten än pellets av avloppsslam och annat biologiskt avfall med högre klorinnehåll.

De ämnen som diskuteras nedan är toxiska spårämnen som bildas i koncentrationer som är flera tiopotenser lägre än de flesta andra organiska ämnen i pelletsrök.

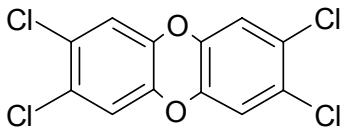


Figur 5.24: Ett exempel på en PCB

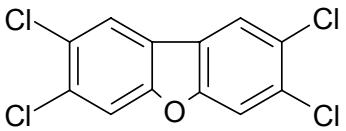
Polyklorbifenyler (PCB, figur 5.24) är en ämnesgrupp som består av hundratals enskilda ämnen med varierande egenskaper och miljö- och hälsofarlighet.[45] PCB är utpräglat fettlösliga föreningar med en stor förmåga att anrikas i näringskedjor. Koncentrationen av PCB är låg vid förbränning av trä och biogena bränslen såsom halm, hö och andra avverkningsrester från jordbruket.[21] För granflis kan koncentrationen ligga runt 60 ng/Nm^3.

Dioxiner är en gemensam beteckning för en mängd polyklordibensodioxiner (PCDD, figur 5.25) och polyklordibensofuraner (PCDF, figur 5.26).[45] Dessa bildas bland annat vid upphettning och ofullständig förbränning av organiskt material i närvaro av organiskt bundet eller oorganiskt klor. Dioxiner är högtoxiska och den för människor kritiska dosen kan motsvara endast några ng per kilo kroppsvikt. Dessutom är dioxiner lipofila, vilket gör att de anrikas i fettvävnader hos djur och människor.

Vissa biobränslen, som till exempel hö och halm, har ett högre innehåll av klor än vad trädbränslen har.[21] I rökgaser från hö och halm finns det därför polyklordibensofuraner (PCDF) och polyklordibenso-*p*-dioxiner (PCDD) i nivåer runt ng-TE/Nm^3. Vid förbränning av granflis kan koncentrationen av PCDD vara så låg som 0,063 ng-TE/Nm^3. Toxiska ekvivalenter (TE eller TEQ) uppskattar hur mycket TCDD som en dioxinblandnings totala verkan motsvarar.[28]



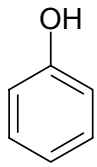
Figur 5.25: Ett exempel på en PCDD



Figur 5.26: Ett exempel på en PCDF

5.5.2.7 FENOLER

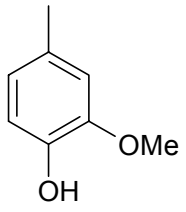
Fenol (figur 5.27) är ett välkänt ämne som bildas vid förbränning av biomassa, både från vedens lignin och från andra komponenter i veden.[6] Vid jämförelse med metoxifenoler är fenol mer lättflyktigt och bildas vid en högre förbränningstemperatur.



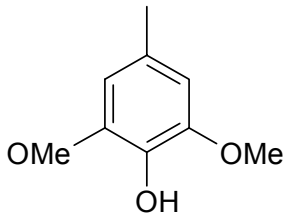
Figur 5.27: Fenol

5.5.2.8 METOXIFENOLER

Ved består till ungefär 30% av lignin och rökens metoxifenoler har sitt ursprung i detta.[10] Bland metoxifenoler från barrved dominerar de med guajacylstruktur (Gu, 4-hydroxi-3-metoxifenyl, figur 5.28), medan det i lövved är de med syringylstruktur (Sy, 4-hydroxi-3,5-dimetoxifenyl, figur 5.29) som dominerar. Denna skillnad beror på skillnader i strukturen hos ligninet.

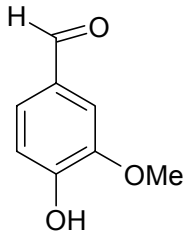


Figur 5.28: Guajacylstruktur, Gu

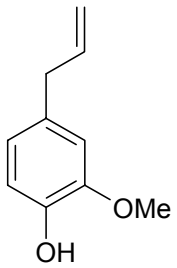


Figur 5.29: Syringylstruktur, Sy

Metoxifenoler är en av de mest framträdande halvflyktiga ämnesgrupperna i vedrök. Bland välkända metoxifenoler kan nämnas vanillin (figur 5.30) som används i livsmedel och parfym samt eugenol (figur 5.31) som finns i kryddnejlikor.



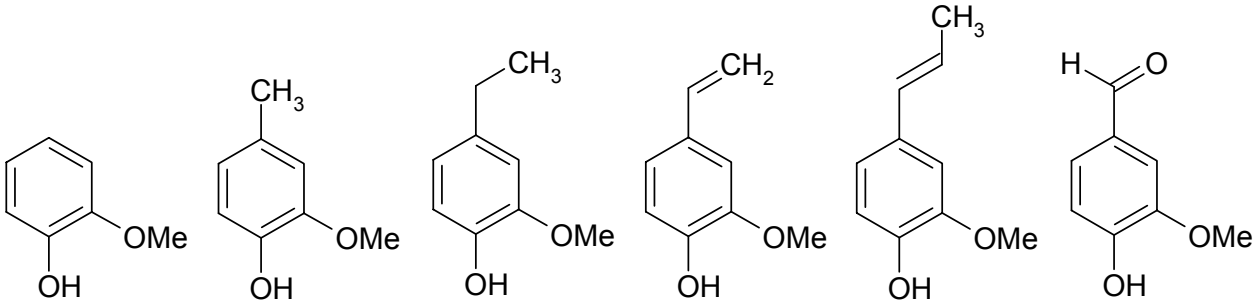
Figur 5.30: Vanillin



Figur 5.31: Eugenol

Vid pyrolys av lignin vid temperaturer runt 400°C bildas huvudsakligen primära förbränningsprodukter som metoxifenoler.[1] Vid 600°C börjar dessa brytas ner. Vid ännu högre temperaturer, 800-1000°C, bildas polycykliska aromatiska kolväten.

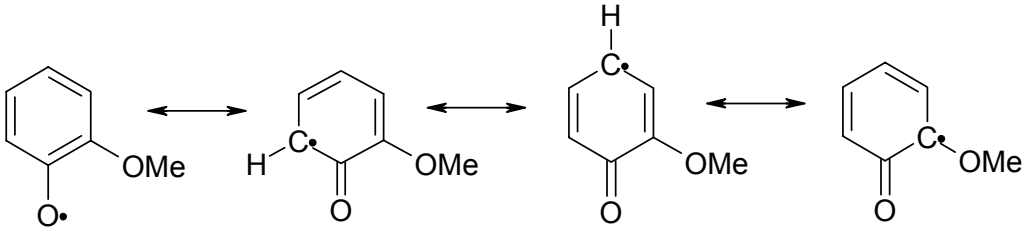
De mest framträdande metoxifenolerna i rök från träpellets är guajakol, metylguajakol, etylguajakol, etenylguajakol, *trans*-propenylguajakol och vanillin (figur 5.32).



Figur 5.32: Analyserade metoxifenoler; guajakol, metylguajakol, etylguajakol, etenylguajakol, trans-propenylguajakol och vanillin.

Fria radikaler har en oparad elektron och är därför extremt reaktiva. Dessa bildas kontinuerligt i kroppen eftersom andningskedjan läcker fria radikaler. Denna bildning ökas vid inandning av kolväten från till exempel cigarettrök, bilavgaser eller vedrök. De bildade radikalerna kan reagera med lipider i cellmembran eller DNA i cellkärnan. Radikalreaktioner är kedjereaktioner, då en eller flera nya radikaler bildas av att en fri radikal reagerar med en annan molekyl

Antioxidanter är ämnen som skyddar mot oxidation genom att reducera oxiderande ämnen.[45] De utgör således ett skydd mot fria radikaler genom att hindra dessa från att reagera med viktiga delar av cellstrukturen. Detta kan till exempel ske genom att radikalens oparade elektron stabiliseras genom resonans (figur 5.33).[10] Metoxifenolerna är antioxidanter.[12]



Figur 5.33: Resonansstabilisering av guajacylradikalen

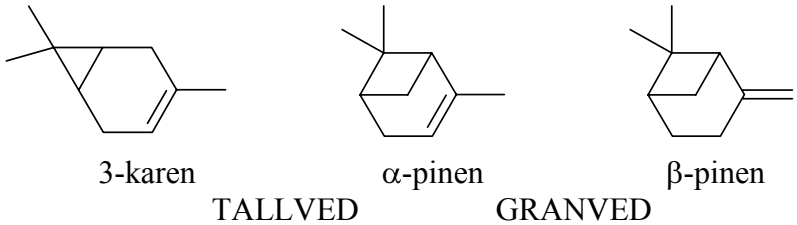
En fördel med att inandas metoxifenoler och andra antioxidanter är att dessa i stället för att tas upp via maten och passera matspjälkningssystemet direkt når luftvägarna där de kan hindra attacker från fria radikaler.[10] Ett exempel på att ämnen i vedrök har skyddande egenskaper är rökning av livsmedel, vilket ger en förlängd hållbarhet och bättre smak. Metoxifenoler har hittats i stora mängder i rök som använts industriellt för att röka livsmedel.[11]

Det är troligt att det är antioxidanterna i vedrök som gjort att människan genom tiderna inte utvecklat allergi och astma på grund av vedrök. En ökad exponering för bilavgaser och andra luftföroreningar har gjort att antalet astma och allergifall har ökat.

Förmodligen gör metoxifenoler röken från ved och träpellets mindre farlig.

5.5.2.9 TERPENER

Terpener som innehåller tio kolatomer betecknas monoterpener.[45] I tallved dominerar monoterpenerna α-pinen och 3-karen, medan β-pinen och 3-karen dominerar i granved (figur 5.34). Tallved innehåller mer än dubbelt så mycket terpener som granved. Lövved innehåller en obetydlig mängd terpener. Terpener i levande växter har viktiga ekologiska funktioner, bland annat som skydd av de levande barren mot oxidanter och som signalsubstanser för många insektsarter. Terpenerna reagerar med ozon och hydroxyradikaler och ger upphov till fotooxidanter. Denna bildning ökar vid närvaro av kväveoxider från bland annat fordonstrafik. Vid förbränning av pellets avges mindre mängd terpener än vid förbränning av ved. Detta kan bero på att en stor del av terpenerna avgår när pellets pressas och på att pellets görs av rent sågspån utan inblandning av barr och bark där huvuddelen av terpenerna finns.



Figur 5.34: De i barrträd dominerande monoterpenerna.[45]

5.5.3 ANDRA EMISSIONER

Att elda med biobränslen har den miljömässiga fördelen att det inte ger något nettobidrag till växthuseffekten. Utsläppen av kväveoxider är emellertid lika dem man får vid förbränning av fossila bränslen.[42] Utsläppen av polycykliska aromatiska kolväten och vissa metaller kan till och med vara större vid biomassaeldning än vid eldning med olja.

Tabell 5.7 visar totalutsläppen av koldioxid, kväveoxider och svaveldioxid till luft vid förbränning av olika bränsleslag, både biobränslen och fossila bränslen.

Tabell 5.6: Totala utsläpp till luft från förbränning av olika bränsleslag 1998.[42]

	CO_2 miljoner ton	NO_x (angivet som NO_2) 1000 ton	SO_2 1000 ton
Eldningsoljor (1-5)	16,3	14	18
Trädbränsle	-	13	6
Torv	1,3	1	2
Sopor	0,6	2	2
Avlutar	0,0	<1	-

5.5.3.1 KOLDIOXID (CO_2)

Med avseende på växthuseffekten är biobränslen, såsom pellets, ett utmärkt alternativ eftersom växterna binder lika mycket koldioxid när de lever och växer som de senare avger vid förbränning. Så är inte fallet med fossila bränslen som ger ett nettotillskott av koldioxid till atmosfären vid förbränning.

5.5.3.2 KOLMONOXID (CO)

En hög halt av kolmonoxid indikerar på syreunderskott vid förbränningen, som därmed blir ofullständig.[10] Eldning vid låg effekt ger betydligt högre utsläpp av kolmonoxid än eldning vid hög effekt.[30] Utsläppen av CO från nuvarande pelletseldade utrustningar ligger vanligen mellan 80-1000 mg/MJ.[30]

5.5.3.3 KVÄVEOXIDER (NO_x)

All förbränning vid hög temperatur ger generellt utsläpp av kväveoxider. Dessa bidrar bland annat till försurning och bildande av marknära ozon. Den helt dominerande delen av utsläppen i Sverige kommer från trafiken. År 1993 kom mindre än 5% av utsläppen från förbränning av biobränslen.[35]

Vid eldning med biobränslen påverkas kväveoxidutsläppen av förbrännings-utrustningen, men mest av bränslets kväveinnehåll.[30] Pellets av ren stamved innehåller relativt lite kväve, endast 0,05 viktprocent.[33] Generellt sett ligger utsläppen av NO_x från nuvarande pelletseldade utrustningar mellan 50-70 mg/MJ. Detta värde är ganska högt, men motsvarar utsläppen från dagens bästa brännare för eldningsolja 1.[35] För moderna vedpannor kopplade till en ackumulatortank kan utsläppen vara upp mot 160 mg/MJ.

5.5.3.4 TJÄRA

Utsläppen av tjära från nuvarande pelletseldade utrustningar ligger vanligen mellan 0,3-19,0 mg/MJ.[33]

5.5.3.5 STOFT

Vid pelletseldning är utsläppen av stoft vanligen mellan 20-40 mg/MJ.[33] Dessa stoftpartiklar består av helt andra ämnen än partiklar från bensin- och dieseldrivna fordon och har därmed andra egenskaper än dessa.[10] De har även en kortare livstid.

6 SLUTSATSER

Resultaten från denna studie gav mycket ny information om ekologiska aspekter på pellets som biobränsle, om den svenska pelletsmarknaden, samt om det organiska innehållet i rökgaserna från pelletseldning. Studien resulterade även i underlag för kommande publikationer.

6.1 EKOLOGI

Den ekologiska och ekotoxikologiska slutsatsen blir att pellets bör eldas småskaligt på grund av att det är ett så rent bränsle med låg askhalt och låga utsläpp av kväveoxider. Mer komplexa och förorenade biobränslen bör däremot eldas storskaligt, där möjligheter till effektiv rökgasrening finns.

6.2 POTENTIAL

Pellets har stora förutsättningar för en ökad småskalig användning. Den främsta anledningen är att pellets är billigare än olja och el, men också att det är ett miljövänligt bränsle. Det finns även utrymme för en ökning då den nuvarande pelletstillverkningen och tillverkningskapaciteten är mycket större än den småskaliga användningen. Det framtida pelletsanvändandet är dock beroende av människors inställning och produktionen av pelletsbrännare.

6.3 EMISSIONER

Den organiska fraktionen i rök från pelletseldning utgörs av många olika ämnen med vitt skilda egenskaper. Några har miljö- och hälsoskadliga effekter, som till exempel polycykliska aromatiska kolväten, medan andra, till exempel metoxifenoler, kan ha en positiv effekt. Vilka ämnen som rökgaserna från pellets innehåller beror till stor del på förbränningstemperatur och andra förbränningsförhållanden. Detta är viktigt att ta hänsyn till vid konstruktion av förbränningsutrustning och val av förbränningsförhållanden, såväl som vid politiska beslut.

6.4 FRAMTIDA PUBLIKATIONER

De vetenskapligt intressantaste resultaten från denna rapport och bakomliggande forskning har resulterat i manuskript som är avsedda att publiceras i lämpliga vetenskapliga tidskrifter. De svenska sammanfattningarna av dessa artiklar finns i bilaga 9. Viktiga delar av forskningen har även sammanfattats i ett press-PM, ”Träpellets Villapannans Miljöguld”, som finns i bilaga 10.

Denna rapport kommer också att användas som underlag för slutrapporten i projektet ”Antioxidanter och andra organiska ämnen i emissioner från småskalig biobränsle-användning” som ingår i forskningsprogrammet ”Småskalig förbränning av biobränslen” och finansieras av Energimyndigheten.

7 REFERENSER

VETENSKAPLIGA ARTIKLAR

1. **Alén** R, Kuoppala E, Oesch P, Formation of the main degradation compound groups from wood and its components during pyrolysis. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 36 (1996) 137-148

2. **Barrefors** G, Petersson G, Assessment of ambient volatile hydrocarbons from tobacco smoke and from vehicle emissions. Journal of Chromatography 643 (1993) 71-76

3. **Barrefors** G, Petersson G, Volatile hazardous hydrocarbons in a Scandinavian urban road tunnel. Chemosphere 25 (1992) 691

4. **Barrefors** G, Petersson G, Volatile hydrocarbons from domestic wood burning. Chemosphere 30 (1995) 1551-1556

5. **Faix** O, Fortmann I, Bremer J, Meier D, Thermal degradation products of wood. Holz als Roh- und Werkstoff 49 (1991) 213-219

6. **Faix** O, Meier D, Fortmann I, Thermal degradation products of wood. Holz als Roh- und Werkstoff 48 (1990) 281-285

7. **Hauk** A, Sklorz M, Bergmann G, Hutzinger O, Analysis and toxicity testing of combustion gases. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 28 (1994) 1-12

8. **Hawthorne** S B, Krieger M S, Miller D J, Mathiason M B, Collection and quantitation of methoxylated phenol tracers for atmospheric pollution from residential wood stoves. Environmental Science and Technology 23 (1989) 470-475

9. **Hillring** B, Vinterbäck J, Wood pellets in the Swedish residential market. Forest Products Journal 48 (1998) 67-72

10. **Kjällstrand** J, Methoxyphenols in Smoke from Biomass Burning. Department of Chemical Environmental Science, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2000

11. **Kjällstrand** J, Petersson G, Phenolic antioxidants in alder smoke during industrial meat curing. Food chemistry 74 (2001) 85-89

12. **Kjällstrand** J, Petersson G, Phenolic antioxidants in wood smoke. The Science of the Total Environment 2001, in press

13. **Kjällstrand** J, Petersson G, Phenols and aromatic hydrocarbons in chimney emissions from traditional and modern residential wood burning. Environmental Technology 22 (2001) 391-395

14. **Larfeldt** J, Leckner B, Melaaen M C, Modelling and measurements of heat transfer in charcoal from pyrolysis of large wood particles. Biomass and Bioenergy 18 (2000) 507-514

15. **Launhardt** T, Strehler A, Dumler-Gradl R, Thoma H, Vierle O, PCDD/F- and PAH-emission from house heating systems. Chemosphere 37 (1998) 2013-2020

16. **Lehtikangas** P, Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. Biomass and Bioenergy 20 (2001) 351-360

17. **Lehtikangas** P, Storage effects on pelletised sawdust, logging residues and bark. Biomass and Bioenergy 19 (2000) 287-293

18. **Olsson** B A, Bengtsson J, Lundkvist H, Effects of different forest harvest intensities on the pools of exchangeable cations in coniferous forest soils. Forest Ecology and Management 84 (1996) 135-147

19. **Schauer** J J, Kleeman M J, Cass G R, Simoneit B R T, Measurement of emissions from air pollution sources. 3. C_1-C_{29} organic compounds from fireplace combustion of wood. Environmental Science and Technology 35 (2001) 1716-1728

20. **Simoneit** B R T, Schauer J J, Nolte C G, Oros D R, Elias V O, Fraser M P, Rogge W F, Cass G R, Levoglucosan, a tracer for cellulose in biomass burning and atmospheric particles. Atmospheric Environment 33 (1999) 173-182

21. **Vierle** O, Launhardt T, Strehler A, Dumler-Grandl R, Thoma H, Schreiner M, Investigation of Organic pollutants from house heating systems using biogenic fuels and correlations with other exhaust gas components. Analytica Chimica Acta 393 (1999) 131-140

22. **Vinterbäck** J, Densification of Wood and Bark for Fuel Production - a Story of 150 Years. Manuskript i Wood Pellet Use in Sweden, A system Approach to the residential sector. SLU Service/Repro, Uppsala 2000.

23. **Vinterbäck** J, Hillring B, Development of European Wood-Fuel Trade. Holzforschung und Holzverwertung 52 (2000) 114-118

24. **Vinterbäck** J, *Pell-Sim* – Dynamic Model for Forecasting Storage and distribution of Wood Pellets to Residential Consumers. Manuskript i Wood Pellet Use in Sweden, A system Approach to the residential sector. SLU Service/Repro, Uppsala 2000

25. **Vinterbäck** J, Roos A, Residential Wood Pellet Heating in Austria, Northeastern US and Sweden. Accepterad för publicering i Forest Products Journal

26. **Vinterbäck** J, Wood Pellet Use in Sweden, A system Approach to the residential sector. SLU Service/Repro, Uppsala 2000

RAPPORTER & ARTIKLAR

27. **Ahnland** R, Bränsle finns för mer förbränning av avfall. Energimagasinet 5/00

28. **Bernes** C, Organiska miljögifter. Naturvårdsverkets Förlag 1998, sid 120

29. **Birgersson** B, Sterner O, Zimerson E, Kemiska hälsorisker - Toxikologi i kemiskt perspektiv. 1993, Liber-Hermods AB

30. **Energimyndigheten,** Eldningstester med olika pelletskvalitéer. Projektrapport från programmet småskalig förbränning av biobränslen. ER 7:1999

31. **Energimyndigheten**, Energiläget 1999, ET 81:1999

32. **Energimyndigheten,** P-märkning av pelletskaminer, utveckling av ett kvalitetssystem. Projektrapport från programmet småskalig förbränning av biobränslen. ER 9:1999

33. **Energimyndigheten,** Småskalig förbränning av biobränslen. Sammanfattning av forskningsrapporter. ER 13:2000

34. **Energimyndigheten,** Småskalig förbränning av pellets och distribution. Projektrapport från programmet Småskalig förbränning av biobränslen. ER 10:1999

35. **Hadders** G, Pelletspärmen, Jordbrukstekniska Institutet, december 1997

36. **Köhler** N, Rekordförsäljning av pannor för träpellets – Högt oljepris och miljö skapar efterfrågan. Ny Teknik 2001:7

37. **Laurén** C, Umeå förändrar ett problem till resurs, Slam blir bränsle, Energimagasinet 1/00

38. **LignoTech AB**, Vargön, Produktdata för Wafolin S.

39. **Ljungblom** L, P-märkning av pelletsbrännare, Bioenergi 2/98

40. **Ljungblom** L, Bioenergin kan öka mer, Bioenergi 3/98

41. **Markström** S, Mmm, pannan doftar skog. Land 6/01

42. **Naturvårdsverket och Statistiska centralbyrån**, Naturmiljön i siffror 2000. Sveriges officiella statistik. 6:e upplagan, 2000, sid 26, 48-53, 82-91

43. **Nyström** K, Torven och växthuseffekten. Torvfakta, Stiftelsen Svensk Torvforskning

44. **Nyström** K, Stora trädbränsletillgångar enligt MKB, Bioenergi 2/98

45. **Petersson** G, Kemisk Miljövetenskap. 4:e upplagan, 1999

46. **Samuelsson** S, SPCR 093. Bioenergi 6/98

47. **Statistiska Centralbyrån**, Energistatistik för småhus 1999, Sveriges officiella statistik, Statistiska meddelanden, EN 16SM 0003

48. **Swedish Standard Institutes,** Svensk Standard SS 18 71 06, utgåva 2, Fasta biobränslen och torvbränslen - Terminologi

49. **Swedish Standard Institutes,** Svensk Standard SS 18 71 20, Biobränslen och torv - Bränslepellets

HEMSIDOR

50. **EcoTec**, www.ecotec.net, 2000-11-24

51. **SBE Svensk BrikettEnergi AB**, www.brikettenergi.se, 2000-12-11

52. **Statoil AB**, www.statoil.se, 2001-01-27

53. **Stockbroverken AB**, www.lantbruksnet.se/stocksbro/bio.htm, 2001-01-23

54. **Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut**, www.sp.se, 2000-11-29

55. **Sydkraft**, www.sydkraft.se, 2001-01-27

56. **SÅBI Pellets AB**, www.sabi.se, 2001-02-27

57. **Torvproducenterna,** www.torvproducenterna.se, 2000-11-29

58. **Vattenfall**, www.vattenfall.se, 2001-01-27

PERSONER & FÖRETAG

59. **AB Forssjö Bruk,** Bränslekvalitet träpellets AB Forssjö Bruk

60. **Bertelsen** F, Energistyrelsen, Miljö- og Energiministeriet, Danmark)

61. **Bioenergi i Luleå AB**

62. **Bio Norr -** Bioenergi i Norrland AB

63. **Björkman** B, Sveriges Skorstensfejaremästares Riksförbund

64. **Bobergs Valltork ek. för.**

65. **Bryn** A-L, Preem Petroleum AB, Region Väst

66. **Bureå Pellets AB**

67. **Hansson** V-A, Sannes Göteborg AB

68. **HMAB -** Härjedalens Mineral AB

69. **Härjedalen Mineral AB**

70. **Johansson** E, Enköpings Värmeverk

71. **Jämtlamell Industri AB**

72. **Kastberg** S, Fakta om biobränslen, www.novator.se/bioenergy/facts/fakta-1.html, 2000-08-31

73. **Lyckeby Stärkelsen Industrial Starches AB**

74. **Löfgren** B-E, Äfab

75. **MBAB -** Martin Bäckman AB

76. **MEBIO -** Mellansvenska Biobränsle AB

77. **Mellanskogs Bränsle AB**

78. **Nyström** K, SVEBIO, ”Ersättning av olja och elvärme med biobränslen” anförande vid ”Hållbart energisystem med skogen som råvara”, Göteborg 970826

79. **Pajala Bioenergi AB**

80. **SBE -** Svensk BrikettEnergi AB

81. **SCA Skog AB, Norrbränslen**

82. **Skellefteå Kraft AB**

83. **Skånska Lantmännen**

84. **Statoil Pellets AB**

85. **SÅBI Pellets AB**

86. **Södra Skogsenergi AB**

87. **Vinterbäck** J, SLU/Skogshushållning

88. **Våla Bioenergi AB**

BILAGA 1

SVENSKA PELLETSTILLVERKARE - ÖVERSIKT

Företag	Fabriksort	Produktion	Kapacitet	Råvaror	Råvaru-	Träslag (%)	Binde-	Diam	Kunder
		(årston)	(årston)		tork		medel		
Bioenergi i Luleå AB	Luleå	53000	90000	Sågspån	Ja	95% tall, 5% gran	Nej	8	15% villakunder
Bio Norr i Härnösand	Härnösand	80000	80000	Sågspån	Ja	50% tall, 50% gran	Nej	6	15% villakunder
Bobergs Valltork	Boberg	1000	2000	Sågspån	Ja	Barrträd	Nej	6	Enbart villakunder
Bureå Pellets AB	Bureå	2000	7000	Sågspån, flis	Nej	Mest tall	Nej	6, 8	Enbart villakunder
AB Forssjö Bruk	Katrineholm	30000	65000	Sågspån, lite kutter	Ja	50% tall, 50% gran	Nej	8	Mest värmeverk
Jämtlamell i Stugun	Stugun	8000	15000	50%kutt,50%torrflis	Nej	55% tall, 45% gran	(pot)	8	15% villakunder
MBAB	Robertsfors	20000	30000	Kutterspån	Nej	Alla träslag	Nej	8	Både villa och värmeverk
MEBIO	Gävle	40000	40000	85% kutt, 15% sågt	Ja	50% tall, 50% gran	(Waf)	8	33% villakunder
Mellanskogs Bränsle	Gävle		25000	Kutterspån	Nej	Barrträd	1% pot	12,6,8	10% villakunder
Mellanskogs Bränsle	Söderhamn		15000	Kutterspån	Nej	Barrträd	1% pot	12,6,8	10% villakunder
Mellanskogs Bränsle	Orsa		40000	Kutterspån	Nej	Barrträd	Nej	12	10% villakunder
Pajala Bioenergi AB	Pajala	3000	15000	Kutterspån	Nej	95% tall, 5% gran	Nej	8	Mest värmeverk
SBE	Norberg	40000	40000	50% såg, 50% kutt	Ja	Mest barrträd	Nej	8	17% villakunder
SBE	Nävlinge	15000	20000	50% såg, 50% kutt	Ja	Mest barrträd	Nej	8	17% villakunder
SBE	Ulricehamn	40000	50000	50% såg, 50% kutt	Ja	Mest barrträd	Nej	8	17% villakunder
SBE	Talsi, Lettland	20000	40000	50% såg, 50% kutt	Ja	Mest barrträd	Nej	8	17% villakunder
SCA	Edsbyn	26000	42000	Sågspån	Ja	Barrträd	0.5% Waf	8	17% villakunder
Skellefteå Kraft AB	Skellefteå	100000	130000	Sågspån	Ja	Barrträd	Nej	8	9% villakunder
Statoil Pellets AB	Säffle	15200	20000	Kutterspån	Nej	Barrträd	1% Waf	8, (10)	Mest värmeverk
SÅBI Pellets AB	Vaggeryd	60000	70000	Sågspån, lite kutter	Ja	Mest barrträd	Nej	8	Mest villakunder
SÅBI Pellets AB	Forsnäs	40000	50000	Sågspån, lite kutter	Ja	Mest barrträd	Nej	8	Mest villakunder
Södra	Mönsterås	40000	50000	90% bark, flis	Ja	Gran, tall och lövträd	Nej	8	Mest värmeverk
Våla Bioenergi AB	Västerås	700	4000	Kutterspån, torrflis	Nej	Helst tall	Nej	6	Enbart villakunder
SUMMA		**700000**	**940000**						

BILAGA 2

SVERIGES PELLETSTILLVERKARE - DETALJERAT

Bioenergi i Luleå AB[61]
Bioenergi i Luleå AB ägs gemensamt av Luleå Energi (91%) och SCA Skog AB (9%). Råvaran är sågspån från skogs- och sågverksindustrin och består av ungefär 95% furuspån och 5% granspån. Inga bindemedel används. Huvuddelen av råvaran kommer ifrån SCA Skog AB:s sågverk, beläget 50 km från Luleå. Den resterande råvaran kommer från andra sågverk i närområdet.
Spånet torkas med hjälp av rökgaser från det närbelägna kraftvärmeverket, LuleKraft, i en rökgastork. Därefter mals råvaran i två kvarnlinjer och transporteras fram till fyra presslinjer där råvaran pressas till pellets. Endast pellets med en diameter på 8 mm tillverkas. Fukthalten är 6,5% och askhalten <0,5 %.
De största kunderna är större kraftvärmeverk, däribland Birka Energi i Stockholm. Företaget har även vissa utländska kunder. Andelen villakunder är omkring 15%.

- **Luleå, Aronstorp** Bioenergi i Luleå AB

Tillverkningskapaciteten var 90 000 årston pellets år 2000. Produktionen var under samma år 53 000 ton.

Bio Norr – Bioenergi i Norrland AB[62]
SCA Skog AB äger 42% av företaget, Graninge äger 42% och Såtab äger 16%.
Pellets med 6 mm diameter tillverkas av sågspån från ägarnas sågverk i närheten. Trädslagsfördelningen är ungefär hälften tall och hälften gran, men gran är att föredra eftersom det passar bättre i pressarna. Inga bindemedel används.
Råvaran mals och torkas samtidigt. Sedan pressas den till pellets utan tillsats av ånga. Vid pressningen blir temperaturen i råmaterialet runt 100°C. Fukthalt är 7-8% och askhalt runt 0,4%.
Det mesta av tillverkningen, 70%, går till Stockholm Energi som äger Sveriges största pelletsförbrukare, Hässelbyverket. Resten säljs till närvärmeverk och villor. Andelen villakunder är omkring 15%.

- **Härnösand** Bio Norr

Tillverkningskapaciteten var 80 000 årston pellets år 2000. Produktionen var lika stor.

Bobergs Valltork ek. för.[64]
Bobergs Valltork är en foderproducent som tillverkar bränslepellets som utfyllnad i fabriken under vintersäsongen. Tillverkar bränslepellets marknadsförs i närområdet och främst till kunder som installerat pelletskaminer eller en pelletsbrännare i sin villapanna. Pellets hämtas av kund antingen i bulk, storsäck på 800 kg eller i 25 kg småsäck.
Råvaran består av färsk spån från barrträd som köps in från sågverk. Spånet torkas och pelleteras i den befintliga foderproduktionslinjen. Pelletsdiametern är 6 mm. Vid pressningen tillsätts ånga och temperaturen är högre än 100°C.
Fukthalten är 9,2%, askhalten 0,4%, svavelhalten 0,05%. Det torra värmevärdet är 20,6 MJ/kg och det fuktigt värmevärde 18,5 MJ/kg

- **Boberg, Borensberg** Bobergs Valltork ek. för.

Tillverkade år 2000 totalt ca 16 000 ton pellets varav tillverkningen av bränslepellets var ca 1 000 ton. Har som målsättning att producera 2 000 årston pellets.

Bureå Pellets AB[66]
Råvarorna är spån och flis från sågverket. Mest furu. Gran kan ge problem i Norra Sverige eftersom det är så torrt och strävt, men en liten inblandning används. Inget bindemedel eller bark används. Bureå Pellets AB kan torka sin råvara, men gör det inte i nuläget utan köper torr råvara som lagras inomhus. Det är billigt att köpa redan torkad råvara eftersom kraftverkspannor ofta är anpassade för fuktigt spån och kraftverken köper upp allt sådant. Diameter på tillverkade pellets är 6 mm och 8 mm. Kunderna vill till största delen ha pellets av 6 mm diameter. Detta beror på att de ställt in pannan för 6 mm första gången de eldade. Större delen av tillverkningen säljs till villakunder. Kommunen tillverkar sina egna pellets billigt. Bureå Pellets AB tillverkar ungefär 1 500 kg pellets per timme.

- **Bureå** Bureå Pellets AB

Tillverkade ca 2000 ton pellets år 2000. Kapaciteten var år 1999 7 000 årston.

AB Forssjö Bruk[59]
Pellets tillverkas i sågverket av hälften eget sågspån och hälften sågspån inköpt från närliggande sågverk. Fuktigt sågspån, samt en del kutterspån, med lika delar gran och tall används som råvara. Bark och annat lågvärdigt bränsle används som bränsle till hetgasugnen där varm gas produceras. AB Forssjö Bruk har tillverkat pellets sedan 1995.
AB Forssjö Bruk använde tidigare kalciumlignosulfonat (Wafolin S) som bindemedel. Detta är dyrt och vid förbränning bildas svavelföreningar av svavelinnehållet. Numera hettar AB Forssjö Bruk upp spånen med torrmättad ånga före pelleteringen, så att ligninet frigörs.
Den mest tillverkade diametern är 8 mm. Tillverkade pellets har en torrhalt på 92,2% och en askhalt på 0,5-0,6%. De största kunderna är företag och kommuner.

- **Forssjö, Katrineholm** AB Forssjö Bruk

År 2000 tillverkades 30 000 ton pellets. I framtiden kan en tredje pressenhet samt 5-skift införas så att årskapaciteten blir 65 000 ton.

Jämtlamell Industri AB[71]
Jämtlamell är ett sågverk som producerar 140 000 m^3 sågat trä årligen. Till pelletstillverkningen används avkap från justerverken, det vill säga efter torkningen avkapade felaktigheter som kvisthål, och ändar eller avkapning när brädorna är för långa för att passa standardmåtten. Dessa rivs vid sågen. Pelletsproduktionen begränsas av den mängd material som finns, men även av efterfrågan. Ifall efterfrågan hade varit mycket större skulle råvaror köpts in utifrån och 3-skift införts. Jämtlamell använder ibland bara gran, ibland bara tall och ibland en blandning, beroende på vad som sågas för tillfället. Sågverket sågar ca 55% tall och resten gran. Efter sågningen transporteras materialet till pelletstillverkningen.
Råmaterialet silas, rivs igen och pressas. Därefter tillsätts ånga. Potatismjöl används som bindemedel när så är nödvändigt t ex när grov furukärnved som innehåller mycket fett och hartser och har svårt att binda ska pelleteras. Potatismjölet förbränns helt och ger inga beläggningar i pelletspannan. För tillfället tillverkas pellets med 8 mm diameter, men även 6 mm kan tillverkas.
Jämtlamell har ett distributionsavtal med Norrbränsle som levererar pellets till bland annat Vattenfall och lantmannabutiker i Jämtland, Västernorrland och Hälsingland och tillverkade pellets säljs därför av SCA under varunamnet Norrbränslen.
Ungefär 15% av tillverkning, det vill säga 1 200 ton levereras till villor. Intresset var under hösten år 2000 större än tidigare på grund av det höga oljepriset. Kunderna använder 6-7 ton per år och villa.

- **Stugun** Jämtlamell Industri AB

År 2000 tillverkades 8 000 ton pellets medan kapaciteten samma år var 15 000 ton.

MBAB - Martin Bäckman AB[75]
Råvaran vid pelletstillverkning är torrt kutterspån av alla träslag och fås från sågverk. Inget bindemedel eller bark används.
Spånet mals, pressas och ånga tillsätts eventuellet vid pressningen ifall råvaran är för torr. På grund av tryck och friktion blir det varmt vid pressningen. MBAB tillverkar mest pellets av 8 mm diameter. En del av tillverkningen säljs till villor, men den största kunden är Skelleftekraft.

- **Överklinten, Robertsfors** MBAB

År 1999 tillverkades ungefär 20 000 ton pellets och 7 000 ton briketter. Kapacitet var under samma år 30 000 ton pellets.

MEBIO - Mellansvenska Biobränsle AB[76]
MEBIO tillverkar mest 8 mm pellets av 85% kutterspån och resten sågspån. Dessa säljs under produktnamnet MEBIOPELLETS. Råvarorna består av hälften tall och hälften gran. Alla råvaror köps in, bland annat från Stora Enso och torkas i med värme från förbränning av träplver. Ett ton pulver går åt för att torka 18 ton pelletsmaterial. Materialet siktas och det som behöver malas mals i en kvarn innan det pressas i en pelletsmatris. Ånga används när det behövs och Wafolin S används som bindemedel till exempel när matrisen precis har bytts.
De största kunderna är Sandviken Energi och Graninge Värme. Av produktionen går en tredjedel till stora värmeverk, en tredjedel till mindre värmeverk samt en tredjedel till villamarknaden. MEBIO har ett återförsäljarnät för leverans till villor där bland andra Gävle Energi deltar. En ökande marknad är sjukhem och skolor utanför fjärrvärmenätet.
Pellets tillverkas med en fukthalt på 7-9% och en askhalt på 0,4%. De flesta kunderna finns i Dalarna, Falun, Borlänge och Ljusne.

- **Främlingshem, Gävle** MEBIO

Under vintern tillverkas 40 000 ton pellets, detta motsvarar hela tillverkningskapaciteten, men det är egentligen endast marknaden och tillverkningen av brännare som begränsar.

Mellanskog Bränsle AB[77]
Råvaran är kutterspån från hyvlerier och sågverk. Trädslagen är furu och gran, troligen ingen lövved. Lyckebystärkelse (potatismjöl) tillsätts i 1% i pellets för villakunder. Om inget bindemedel tillsätts blir produkten för ömtålig och smulas sönder vid hanteringen, särskilt vid bulktransporter då den blåses in i lagerutrymmen under högt tryck. Där är problemet störst vid leverans till villor, som sällan har bra mottagning. Vid leverans till värmeverk behöver inget bindemedel tillsättas, eftersom de ändå river sönder sina pellets innan de eldar dem. Pelleteringen ger i detta fall enbart en enklare transport. Ånga används inte vid pressningen eftersom det skulle kräva ytterligare en dyr investering i en anläggning som producerar ångan.
Kutterspånet mals till pulver, pressas genom en matris, passerar kylning, siktning och går sedan till lagring.
Mellanskog Bränsle AB tillverkar mest 12 mm pellets till värmeverk, men även en del pellets av 6 och 8 mm diameter för privatmarknaden.
De största kunderna är kommunala värmeverk. Under år 2000 gick 90% av tillverkningen till värmeverk och 10% till privatmarknaden.

- **Valbo, Gävle** Mellanskog Bränsle AB

Tillverkningskapaciteten är 25 000 ton.

- **Ljusne, Söderhamn** Mellanskog Bränsle AB

Tillverkningskapaciteten är 15 000 ton pellets respektive 2 000 ton bricketter.

Mellanskog Bränsle AB, Orsa Jordägande Socknemän och Hedlunds Trävaru AB
Mellanskog Bränsle AB äger 50%, Orsa Jordägande Socknemän 25% och Hedlunds Trävaru AB 25%. Produktionen av pellets sker i gammal plattfabrik. Endast 12 mm pellets tillverkas för värmeverken. I övrigt gäller samma information som för Mellanskogs Bränsle AB

- **Orsa** Mellanskog, Orsa Jordägande, Hedlunds

Tillverkningskapaciteten är 40 000 årston.

Pajala Bioenergi AB[79]
Råvarorna är torrt kutterspån från lokala sågverk. Av råvaran kommer 95% från tall och 5% från gran. Kutterspånen mals och ånga tillsätts före pressning. Pellets av 8 mm och briketter av 75 mm tillverkas.
Tillverkningen startade i januari 2000 och största delen av produktionen säljs till Pajala och Övertorneå kommuner, men även en hel del till villor. Briketterna säljs till villaägare med vedeldning.
Pajala Pajala Bioenergi AB
År 2000 tillverkades 3 000 ton pellets och 1 000 ton briketter. Kapacitet är 15 000 årston pellets.

SBE Svensk BrikettEnergi AB[80]
Som råvara vid pelletstillverkningen används sågverksrestprodukter från sågverksindustrin i form av sågspån och kutterspån. Inga tillsatser används.
Fuktig råvara (sågspån ca 55% fukt), sållas för att få bort överstora fraktioner. Därefter sker torkning i rökgastorkar. Torr råvara (kutterspån ca 15% fukt) sållas. Torr råvara sönderdelas i kvarnar för att få rätt storlek för respektive produkt. Därefter sker brikettering respektive pelletering. Efter kylning transporteras produkten ut till lager. Pellets lastas ut via silo, medan briketter lastas med lastmaskin ur lager. Pulver mals och korttidslagras i silo.
Nästan enbart 8 mm pellets tillverkas och dessa har en torrhalt på 91%.
De största kunderna är kommunala och privata energiverk (fjärrvärmeverk). Av den totala tillverkningen säljs 17% på villamarknaden.
Produktionsmålet för SBE var 225 000 ton år 2000. Således är SBE Sveriges största bränslepelletstillverkare.

- **Norberg** SBE

Pellets som tillverkas här förbrukas i Jordbro i södra Stockholm.
År 2000 tillverkades 40 000 ton pellets. Kapaciteten var 40 000 ton pellets 1999, medan kapaciteten för briketter och pulver var 35 000 respektive 30 000 ton 1997.

- **Nävlinge, Vinslöv** SBE

Skånska Lantmännen svarar för villadistributionen av pellets tillverkade i Nävlinge.
År 2000 tillverkades 15 000 ton pellets och mycket lite briketter. Pelletskapaciteten är 20 000 ton.

- **Ulricehamn** SBE

Kapaciteten var 50 000 ton pellets och 50 000 ton pulver 1999. Samma år tillverkades 40 000 ton pellets.

- **Talsi, Lettland** SBE

Produktionskapaciteten var 40 000 ton pellets 2000. Tillverkade pellets säljs i Lettland och Sverige. År 2000 såldes ungefär 20 000 ton pellets tillverkade i Talsi i Sverige.

SCA Skog AB, Norrbränslen[81]
SCA Norrbränslen planerar att sälja 125 000 ton pellets år 2000 varav 20 000 ton till privata konsumenter. Resten säljs till företag och nästan inget säljs till kommuner.
SCA Norrbränsle säljer pellets från Bio Norr i Härnösand AB, Jämtlamell i Stugun och Edsbyns pelletsfabrik.

- **Edsbyn** SCA Skog AB, Norrbränslen

Pellets av 8 mm diameter tillverkas av rå sågspån. Som bindemedel används 0,5% Wafolin S till villapellets i bulk. Denna användning håller dock på att fasas ut.
Tillverkningsanläggningen ägs av koncernen Persson Invest. Lokaler och maskiner hyrs sedan oktober 1999 ut till SCA Skog AB, Norrbränslen.
Produktionskapacitet var 42 000 årston pellets 1999. Samma år tillverkades 26 000 ton pellets.

Skellefteå Kraft AB[82]
Skellefteå Kraft AB äger Sveriges största pelletsfabrik och säljer sina pellets under varunamnet SoLett.
Råvaran är rå sågspån av tall och gran som torkas. Varken bindemedel eller bark används. Skellefteå Kraft AB tillverkar mest 8 mm pellets, men kan tillverka de flesta diametrar. Ånga tillsätts vid pressningen och det blir mer än 100°C varmt.
Tillverkade pellets har en torrhalt på 93-94% och en askhalt på mindre än 0,5%.
Den största kunden är Stockholms Energi som köper 60% av produktionen. Pellets säljs även till skolor, sjukhus och mindre värmeverk. Ungefär 9 000 ton per år säljs till villakunder. Skellefteå Kraft AB säljer även Janfires brännare och pelletskaminer.

- **Skellefteå** Skellefteå Kraft AB

Tillverkar 100 000 årston pellets år 2001. Kapaciteten är högre, ca 130 000 årston pellets.

Statoil Pellets AB[84]
Sedan april 2000 ägs pelletstillverkningen till 80,2% av Statoil AB och 19,8% av Vänerbränsle AB.
Råvaran är nästan enbart kutterspån från barrträd, som köps in från olika sågverk av Vänerbränsle AB. Sågspån kan ej använda eftersom det inte finns någon torkanläggning. Kutterspånen blandas, mals och pressas. Vid pressningen gör friktionen att det blir varmt. Statoil Pellets AB tillverkar mest 8 mm pellets till villapannor, men även en del 10 mm. Det mesta säljs till stora pannor och medelstora pannor (sjukhus, skolor, bostadsrättsföreningar), men även en stor och ökande del till villapannor.

- **Säffle** Statoil Pellets AB

Lite ren lignin (ca 1%) används som bindemedel. Detta levereras av Lingotech, Vargön.
År 2000 tillverkades 15 200 ton pellets. Kapaciteten är 20 000 årston.

SÅBI Pellets AB[85]
SÅBI Pellets AB använder inga bindemedel. Tillverkade pellets består endast av spån. Den övervägande delen av dessa är sågspån, men för att minska torkbehovet under de blötaste månaderna används även kutterspån. Sågspånet kommer till största delen från barrträd från sågverk i södra Sverige
Spån sållas från orenheter, torkas i ugn, mals och pressas genom konformade hål i en matris för att bli kompakt och hanterligt. Bildade pellets kyls för att bli hållbara.
Större delen av tillverkade pellets har en diameter av 8 mm. Torrhalten är 90-92% och askhalten 0,5%. Energivärdet är 4,9 MWh/ton.
De största kunderna är villakunder, kommunala anläggningar och större värmeverk, med någon övervikt för villakunder.

- **Vaggeryd** SÅBI

Pelletstillverkningen ligger med 70 % av Sveriges träbearbetande industri inom en radie av 22 mil. Ånga till pelletstillverkningen fås från en barkpanna
År 1999 levererades 60 000 ton pellets. Kapaciteten är omkring 70 000 årston.

- **Forsnäs, Österbymo** SÅBI

Det gamla sågverketet byggdes 95/96 ut till en pelletsfabrik. Energin till tillverkningen tas från förbränning av bark på en rörlig snedrost. Totalt fås 9 MW varav 8 MW används för rökgastorken och 1 MW för ångproduktionen (ånga används som förbehandling innan pressen).
SÅBI köpte anläggningen från Sydved 1999.
År 1999 levererades 40 000 ton pellets. Kapaciteten är omkring 50 000 årston.

Södra Skogsenergi AB[86]
Södra Skogsenergi AB använder i huvudsak bark som råvara i en bränslefabrik som är integrerad i massabruket. Minst 90% av råvarorna är bark och resten är flis från egen tillverkningsindustri. Trädslagen är gran, tall och lövträd och inget bindemedel används.
Vid produktionen används ångtork och matrispressar. Till största delen tillverkas pellets av 8 mm diameter. Tillverkade pellets har en torrhalt på 92% och en askhalt på ca 3,4%. Det effektiva värmevärdet är ca 5 MWh/ton.
De största kunderna är värmeverk.

- **Mönsterås** Södra Skogsenergi AB

Å 2000 tillverkades 40 000 ton pellets. Kapaciteten var 1999 50 000 årston.

Våla Bioenergi AB[88]
Med sex anställda tillverkar Våla Bioenergi 80 000 m^3 flis/år till värmeverk i Västerås, Märsta, Enköping och Sala. För tio år sedan startade Våla Bioenergi AB som en av de första i Sverige pelletstillverkning. Företaget importerar och säljer även brännare och kaminer från Austroflamm och Withfield. Tillverkar pellets när det finns tid till detta och säljer enbart till villakunder. Som råvara används inköpt kutterspån eller torrflis från snickerier och sågverk. En kvarn mal råvaran och ingen ånga tillsätts före pressningen. Tillverkade pellets har en diameter av 6 mm
Våla Bionergi AB köper även in och distribuerar pellets från Mellanskogs fabrik i Ljusne. Pellets levereras till 100-150 kunder i Hedby, Uppsala, Tiarp och Sala. De flesta kunder köper 2,5-3,0 ton per år ifall de har luftburen värme och 7 ton per år ifall de har vattenburen värme.

- **Östervåla, Västerås** Våla Bioenergi AB

Tillverkar endast 600-700 ton pellets per år på grund av tidsbrist. Kapaciteten är omkring 4 000 årston.

BILAGA 3

SVENSK STANDARD FÖR BRÄNSLEPELLETS

Tabell : Svensk Standard för bränslepellets - SS 18 71 20.[35]

EGENSKAPER	PROVNINGSMETOD	ENHET	GRUPP 1
Diameter	Mätning av minst 10 slumpvis uttagna pellets	mm	Anges
Längd i producentens lager	Mätning av minst 10 slumpvis uttagna pellets	mm	Max 4 ggr diametern
Skrymdensitet	SS 18 71 78	kg/m3	≥ 600
Hållfasthet i producentens lager	SS 18 71 80	Finandel < 3 mm i vikt%	≤ 0,8
Effektivt värmevärde (i levererat tillstånd)	SS–ISO 1928	MJ/kg kWh/kg	≥ 16,9 ≥ 4,7
Askhalt	SS 18 71 71	Vikt% av TS	≤ 0,7
Total fukthalt (i levererat tillstånd)	SS 18 71 70	Vikt% av TS	≤ 10
Total svavelhalt	SS 18 77 77	Vikt% av TS	≤ 0,08
Halt tillsatsmedel		Vikt% av TS	Halt och typ anges
Klorider	SS 18 71 85	Vikt% av TS	≤ 0,03
Asksmältförlopp	SS-ISO 540	°C	Initialtemperatur anges

BILAGA 4

GRUNDÄMNESSAMMANSÄTTNING HOS PELLETS

Tabell: Approximativ procentuell sammansättning av grundämnen i träpellets.[59]

GRUNDÄMNE		Sammansättning (% av TS)
Kol	C	50
Syre	O	44
Väte	H	6,0-6,2
Kväve	N	<0,1
Svavel	S	0,04-0,05
Klor	Cl	<0,03

Tabell: Approximativ koncentration av tungmetaller i bränslepellets.[59]

TUNGMETALL		Koncentration (mg/kg TS)
Bly	Pb	0,243
Kadmium	Cd	0,166
Arsenik	As	<0,080
Kvicksilver	Hg	<0,0100

Tabell: Innehåll av radioaktiva nuklider av cesium i bränslepellets.[59]

NUKLID		Radioaktivitet (Bq/kg)
Cesium-134	^{134}Cs	0,3 ± 0,3
Cesium-137	^{137}Cs	6,0 ± 0,4

BILAGA 5

SKOGSBRÄNSLEN, OLJA OCH STENKOL

Tabell: Jämförande tabell för skogsbränslen, olja och stenkol.[72]

BRÄNSLE	Fukthalt (%)	Effektivt värmevärde (MWh/ton)	Effektivt värmevärde (MJ/kg)	Relativ lagringsvolym (m^3)
Eldningsolja 1	0,01	11,9	42,7	1,0
Stenkol	12	7,6	27,2	2,2
GROT	45	2,6	9,5	13,0
Ved	25	3,8	13,8	9,0
Flis	35-40	2,6-3,6	9,4-13,0	11,0
Sågspån	50-55	1,8-2,4	6,5-8,6	-
Kutterspån	10-15	3,5-5,7	12,6-20,5	13,5
Träbriketter	10	4,7	16,8	3,0
Träpellets	8	4,7-5,0	17,0-17,9	3,0
Träpulver	7	4,9	17,7	8,5

BILAGA 6

ASKSAMMANSÄTTNING HOS PELLETS

Tabell: Approximativ asksammansättning hos träpellets.[59]

FÖRENING		Sammansättning (%)
Kalciumoxid	CaO	30,0-35,0
Kiseldioxid	SiO_2	10,0-14,0
Kaliumoxid	K_2O	5,0-10,0
Magnesiumoxid	MgO	4,0
Aluminiumoxid	Al_2O_3	2,5-3,0
Manganoxid	MnO	2,5
Fosforpentaoxid	P_2O_5	1,5-2,5
Järnoxid	Fe_2O_3	1,5-2,0
Natriumoxid	Na_2O	1,0-1,5
Titanoxid	TiO_2	0,05-0,1

BILAGA 7

FÖRBRÄNNINGSUTRUSTNING - P-MÄRKTA PANNOR, BRÄNNARE OCH KAMINER

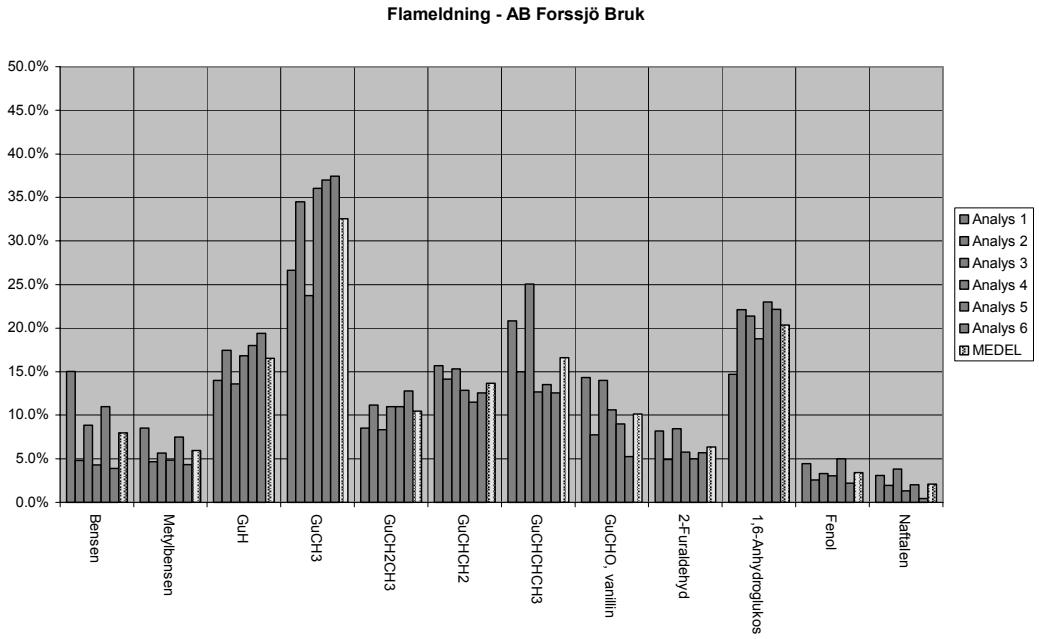
TILLVERKARE.	NAMN	PROD	BRÄNSLE-FÖRRÅD	PRIS	EFFEKT	MATN	TÄNDN
Altbergs Plåt AB	EP-brännaren	Brännare	Internt	18 700 s	22 kW	-	manuell tändning
Baxi AB	Multiheat 1,5	Panna	Internt	45 000 s	15 kW	sidomatad	manuell tändning
Bentone AB	Bentone P12	Brännare	Internt	-	12 kW	övermatad	manuell tändning
El-Team AB	Bio Warm	Brännare	Internt	17 300 s	8-35 kW	övermatad	-
EZY Energi AB	Quadra-fire CB1200	Kamin	Internt	24 200	4-9,5 kW	övermatad	eltändning
Kalmar Maskinprojekt AB	PellX 20 kW	Brännare	Externt	16 500 s	10-20 kW	-	automatisk eltändning
	Pellx K6	Kamin	Internt	20 900	3-6 kW	övermatad	eltändning
NE Naturenergi AB	IWABO Villa XL	Brännare	Internt	24 875 s	10-25 kW	övermatad	automatisk eltändning
	IWABO Villa	Brännare	Internt	21 875 s	15 kW	övermatad	automatisk eltändning
	IWABO Villa S	Brännare	Internt	16 900 s	10-20 kW	övermatad	automatisk eltändning
Nordisk Miljöenergi AB	Pitekaminen	Kamin	Internt	24-38500	2-6 kW	övermatad	eltändning
Passsat Energi A/S	Compact C4	Panna	Internt	-	70 kW	-	-
	Compact C6	Panna	Internt	-	42 kW	-	-
	Compact C2	Panna	Internt	-	23 kW	-	-
	Compact C1	Panna	Internt	-	11 kW	-	-
Sahlins EcoTec AB	EcoTec A3	Brännare	Externt	15 000	15-25 kW	-	automatisk eltändning
SBS Janfire AB	Janfire Flex A	Brännare	Externt	17 800 s	20 kW	övermatad	eltändning
	Janfire Minor A	Brännare	Internt	17 000 s	20 kW	övermatad	automatisk eltändning
Tellus Rör Svets&Smide AB	Tellus VA15	Panna	Internt	45 000 s	15 kW	-	automatisk eltändning
	Tellus VAP 25/15	Panna+ved	Internt	48 750 s	25 kW	-	automatisk eltändning

BILAGA 8

FÖRBRÄNNINGSANALYSER

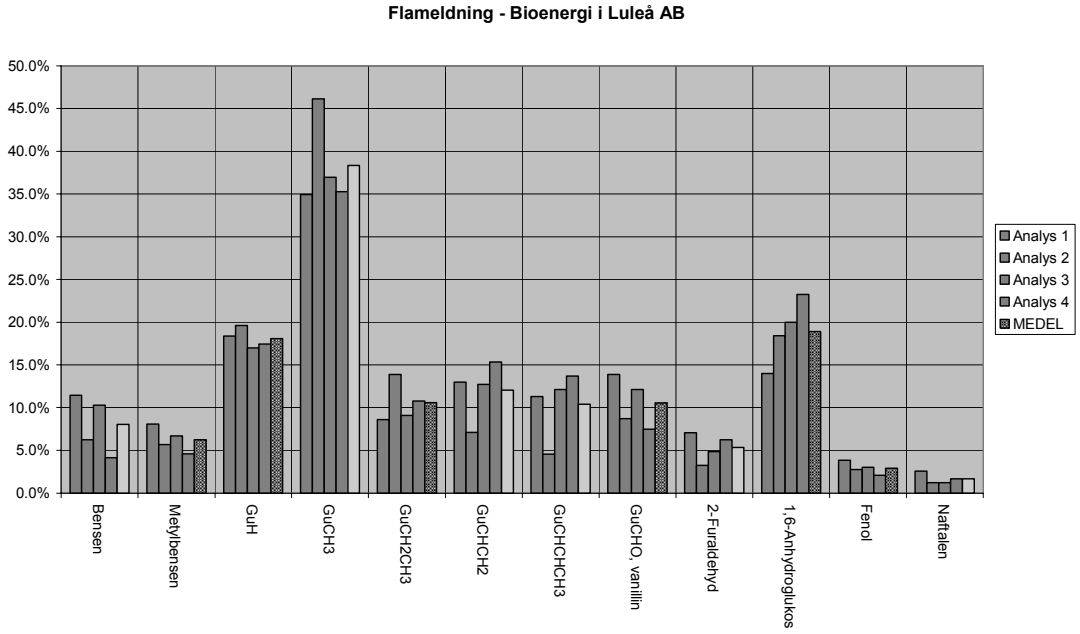
FLAMELDNING, PELLETS FRÅN AB FORSSJÖ BRUK

Figuren visar relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid flamförbränning av pellets från AB Forssjö Bruk. De olika staplarna representerar de sex olika analyserna samt ett medelvärde av dessa.



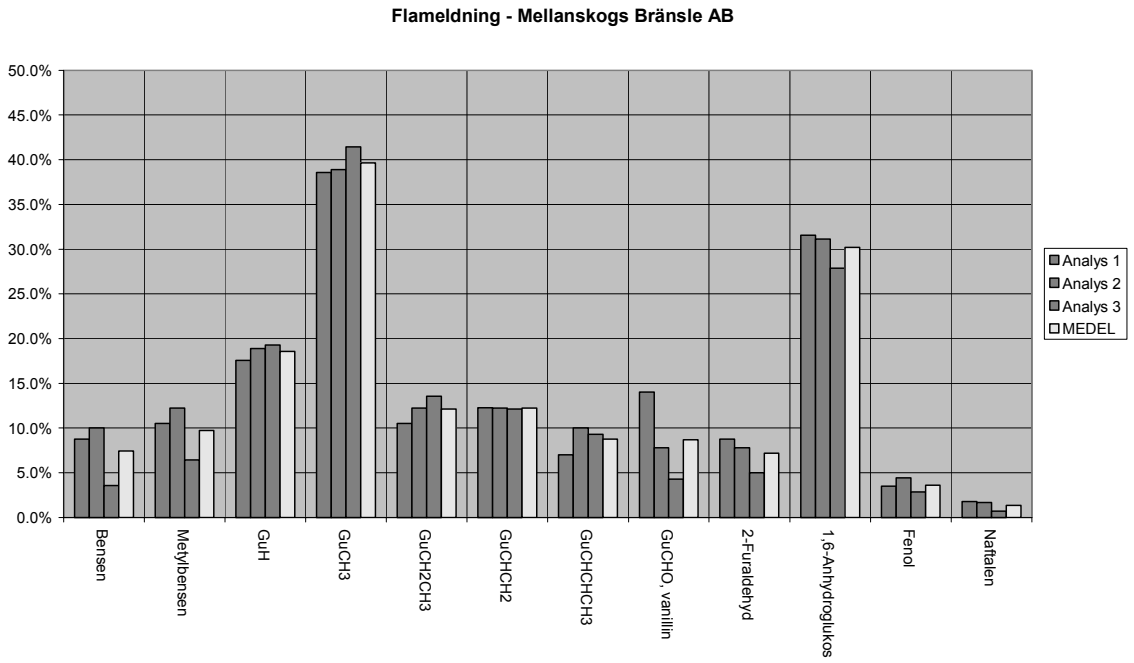
FLAMELDNING, PELLETS FRÅN BIOENERGI I LULEÅ AB

Figuren visar relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid flamförbränning av pellets från Bioenergi i Luleå AB. De olika staplarna representerar de fyra olika analyserna samt ett medelvärde av dessa.



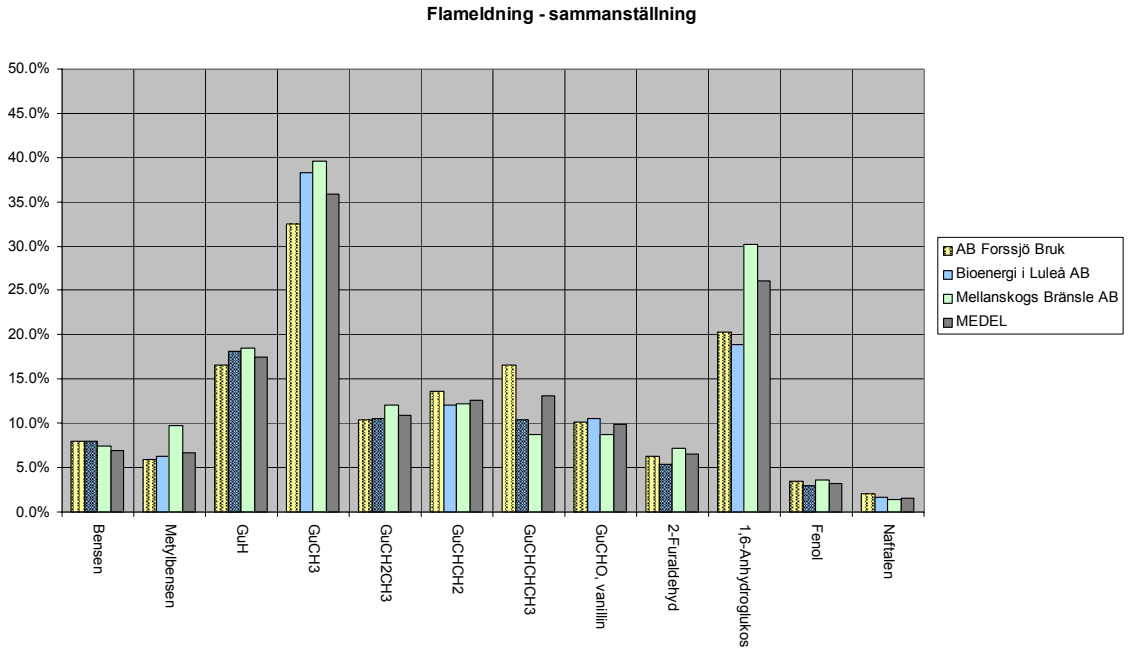
FLAMELDNING, PELLETS FRÅN MELLANSKOGS BRÄNSLE AB

Figuren visar relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid flamförbränning av pellets från Mellanskogs Bränsle AB. De olika staplarna representerar de tre olika analyserna samt ett medelvärde av dessa.



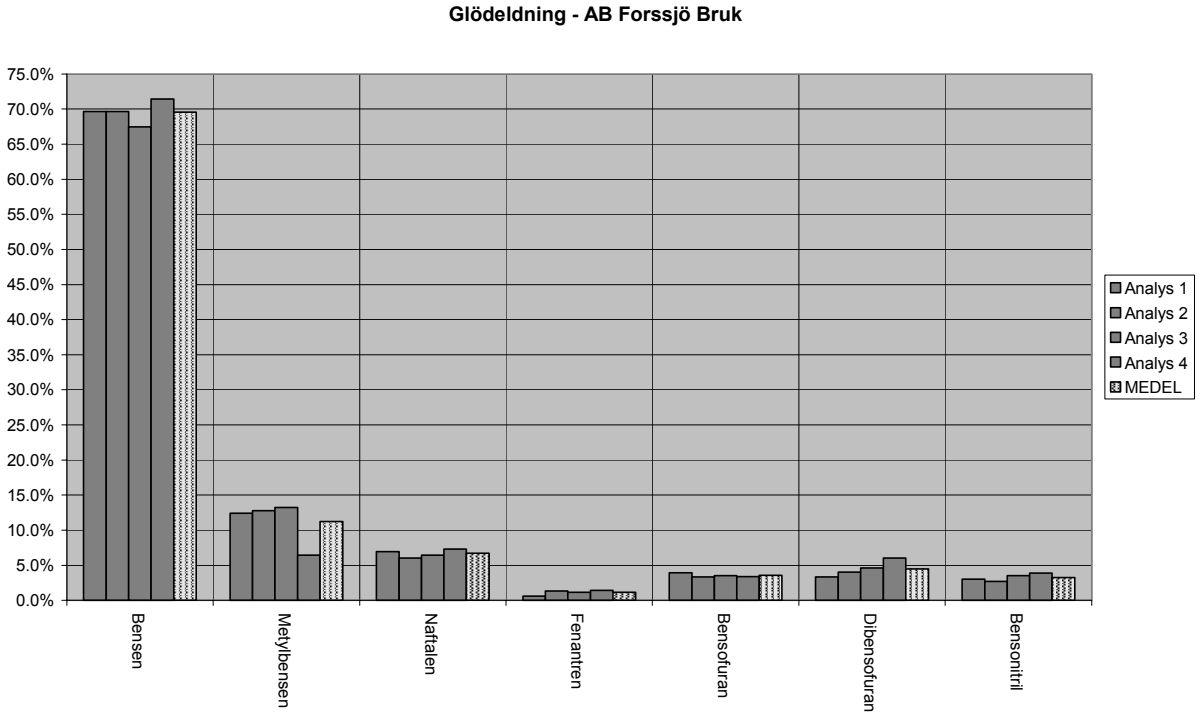
FLAMELDNING, SAMMANSTÄLLNING

Figuren visar relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid flamförbränning av pellets. De olika staplarna representerar pellets från AB Forssjö Bruk, Bioenergi i Luleå AB, Mellanskogs Bränsle AB, samt ett medelvärde av dessa.



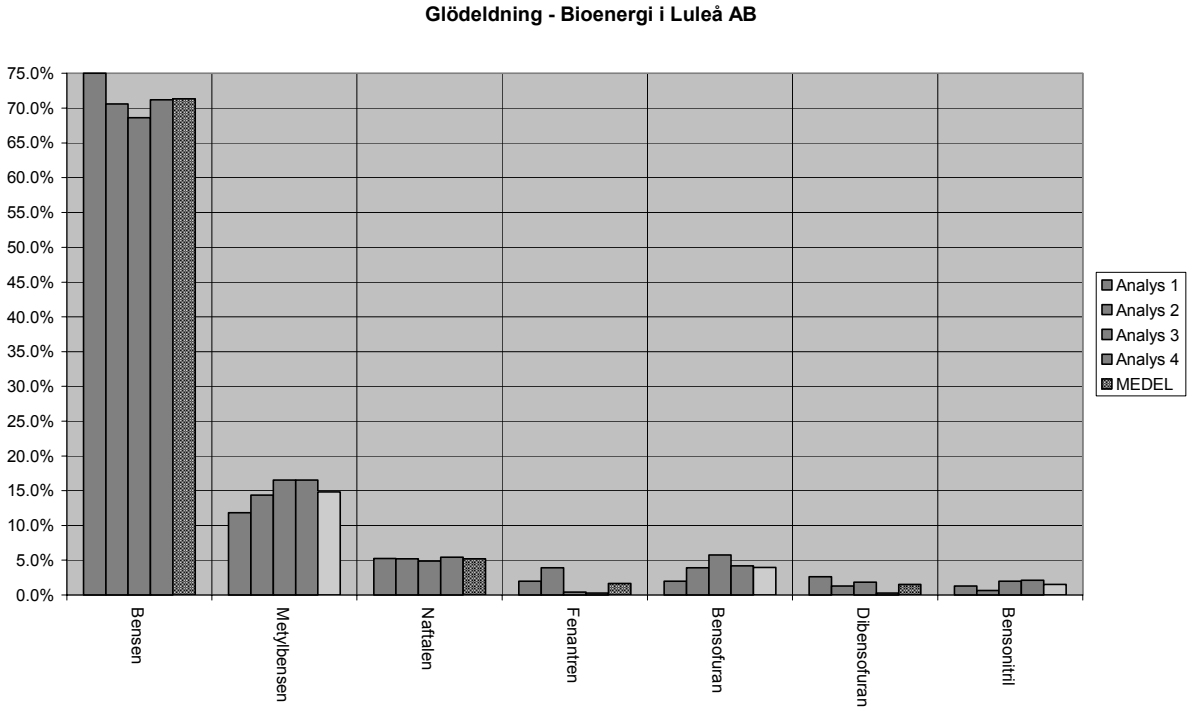
GLÖDELDNING, PELLETS FRÅN AB FORSSJÖ BRUK

Figuren visar relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid glödförbränning av pellets från AB Forssjö Bruk. De olika staplarna representerar de fyra olika analyserna samt ett medelvärde av dessa.



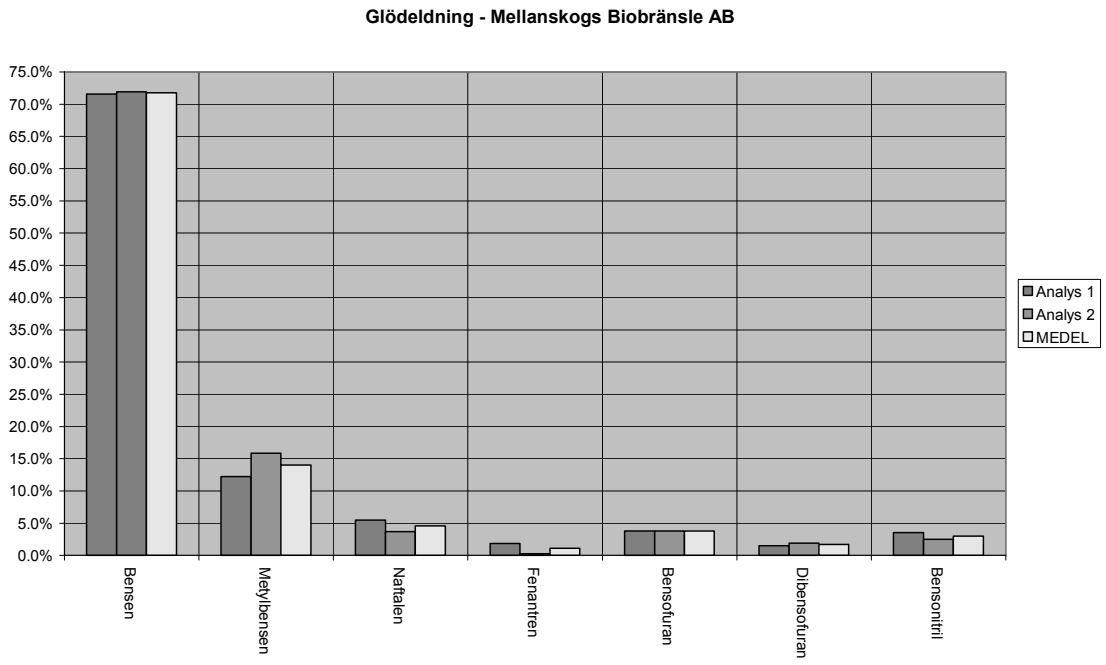
GLÖDELDNING, PELLETS FRÅN BIOENERGI I LULEÅ AB

Figuren visar relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid glödförbränning av pellets från Bioenergi i Luleå AB. De olika staplarna representerar de fyra olika analyserna samt ett medelvärde av dessa.



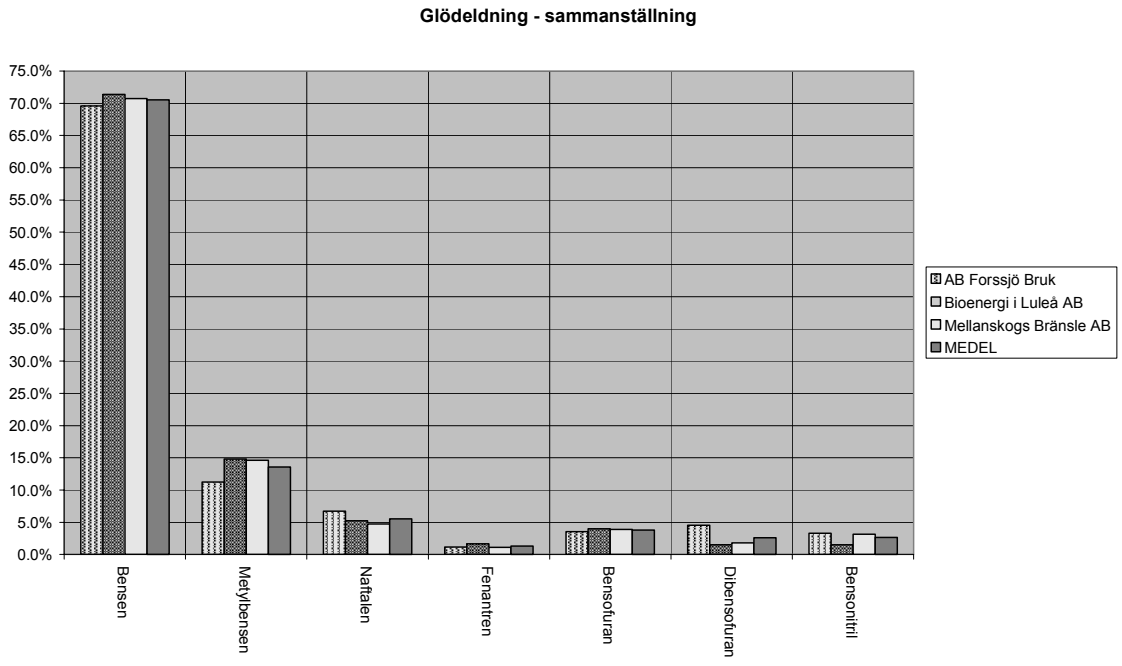
GLÖDELDNING, PELLETS FRÅN MELLANSKOGS BRÄNSLE AB

Figuren visar relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid glödförbränning av pellets från Mellanskogs Biobränsle AB. De olika staplarna representerar de två olika analyserna samt ett medelvärde av dessa.



GLÖDELDNING, SAMMANSTÄLLNING

Figuren visar relativ fördelning av halvflyktiga ämnen vid glödförbränning av pellets. De olika staplarna representerar pellets från AB Forssjö Bruk, Bioenergi i Luleå AB, Mellanskogs Bränsle AB, samt ett medelvärde av dessa.



BILAGA 9

SAMMANFATTNINGAR AV PELLETSARTIKLAR

Sammanfattningar från vetenskapliga manuskript avsedda att publiceras i lämplig vetenskaplig tidskrift.

PYROLYS AV TRÄPELLETS (PYROLYSIS OF WOOD PELLETS)

Maria Olsson, Jennica Kjällstrand, Göran Petersson

Kommersiella träpellets används allt mer för bostadsuppvärmning. Rökgaskomponenter från oxidativ pyrolys av barrvedspellets av pressad sågspån och kutterspån analyserades. Specifika ämnen frigjorda vid flammande och glödande laboratorieförbränning samlades på Tenax och undersöktes med gaskromatografi kopplad till masspektrometri. De främsta enskilda halvflyktiga ämnena från flammande förbränning var sex ligninrelaterade 2-metoxifenoler med antioxidantegenskaper, samt 1,6-anhydroglukos från cellulosa. Vid glödande förbränning var bensen det dominerande aromatiska ämnet.

TRÄPELLETS SOM SMÅSKALIGT BIOBRÄNSLE (WOOD PELLETS AS RESIDENTIAL BIOFUEL)

Maria Olsson, Jennica Kjällstrand, Göran Petersson

Barrvedspellets tillverkas huvudsakligen av sågspån, men även av kutterspån. En viktig och utmärkande egenskap för träpellets är att fukthalten endast är hälften av den i ved. Användningen av pellets i svenska pelletsbrännare och kaminer uppgår till 100 000 ton årligen och ökar kraftigt. Den totala produktionskapaciteten vid de mer än 20 produktionsenheterna närmar sig 1 000 000 årston och ger på villamarknaden utrymme för en snabb ersättning av ved och olja med pellets.

För att studera emissionerna till luft från pelletseldning togs rökgasprover i skorstensmynningar och specifika ämnen bestämdes med gaskromatografi och masspektrometri. Bensen var den dominerande aromatiska föreningen i emissioner från pelletsbrännare. Röken från pelletskaminer innehöll metoxifenoler med antioxidantegenskaper och lägre andelar aromatiska kolväten. Dessa skillnader är intressanta både med avseende på hälsoeffekter och utsläppsregler.

Om hänsyn tas till både ekologiska aspekter och föroreningsrisker bör träpellets användas främst för bostadsuppvärmning, medan de flesta andra typer av biomassaavfall med fördel kan eldas i storskaliga förbränningsanläggningar.

BILAGA 10

PRESS-PM

Maria Olsson, civ ing, 031/7723005
Jennica Kjällstrand, tekn lic, 031/7723005
Göran Petersson, docent, 031/7722998

Press-PM
inför pelletskonferensen i Lundsbrunn
2001-10-17

Träpellets Villapannans Miljöguld

Träpellets från sågspån och hyvelspån är sannolikt det miljömässigt bästa bränslet för småskalig uppvärmning. Det visar vår senaste forskning som finansieras av Energimyndigheten.

Träpellets kan karakteriseras som ett högvärdigt biobränsle som till skillnad från andra avfallsbiobränslen inte är förorenat. Jämfört med många biobränslen från skogs- och jordbruk medför träpellets inte heller näringsförluster och andra miljöeffekter vid uttag.

Jämn bränslekvalitet och jämn förbränning gör att utsläppen av miljö- och hälsofarliga ämnen (som t ex aromatiska kolväten) blir mycket lägre än från genomsnittlig vedeldning för såväl pannor som kaminer.

Träpellets har till skillnad från ved enhetlig storlek och enhetlig låg fukthalt. Automatisk matning gör dessutom eldningen både jämnare och mycket mindre tidsödande än vanlig vedeldning.

De små utsläppen gör att pelletseldning lämpar sig väl även för tätbebyggda villaområden. Trafiken ger upphov till mycket högre halter av hälsofarliga luftföroreningar.

En viktig skillnad är att bilavgaser släpps ut i marknivå där människor finns, medan rök från ved- och pelletseldning släpps ut på hög höjd. Bilavgaser luktar tyvärr mindre än vedrök, trots att många ämnen i vedrök är jämförelsevis ofarliga.

De ökade utsläppen vid tändning och tillfälliga störningar består till stor del av partiklar med fenoliska antioxidanter, vilka troligen motverkar effekten av hälsofarliga ämnen i röken.

Skillnader i kemisk sammansättning gör att partiklar från olika slag av pelletseldning och vedeldning kan ha mycket varierande hälsofarlighet. Vid låg förbränningstemperatur blir partikelutsläppen mycket större, men partiklarnas hälsofarlighet förhållandevis mindre.

Andra biomassabränslen och avfallsbiobränslen ger mer aska, mer miljö- och hälsofarliga rökkomponenter, samt mindre antioxidanter och bör därför i första hand användas för värmeverk.

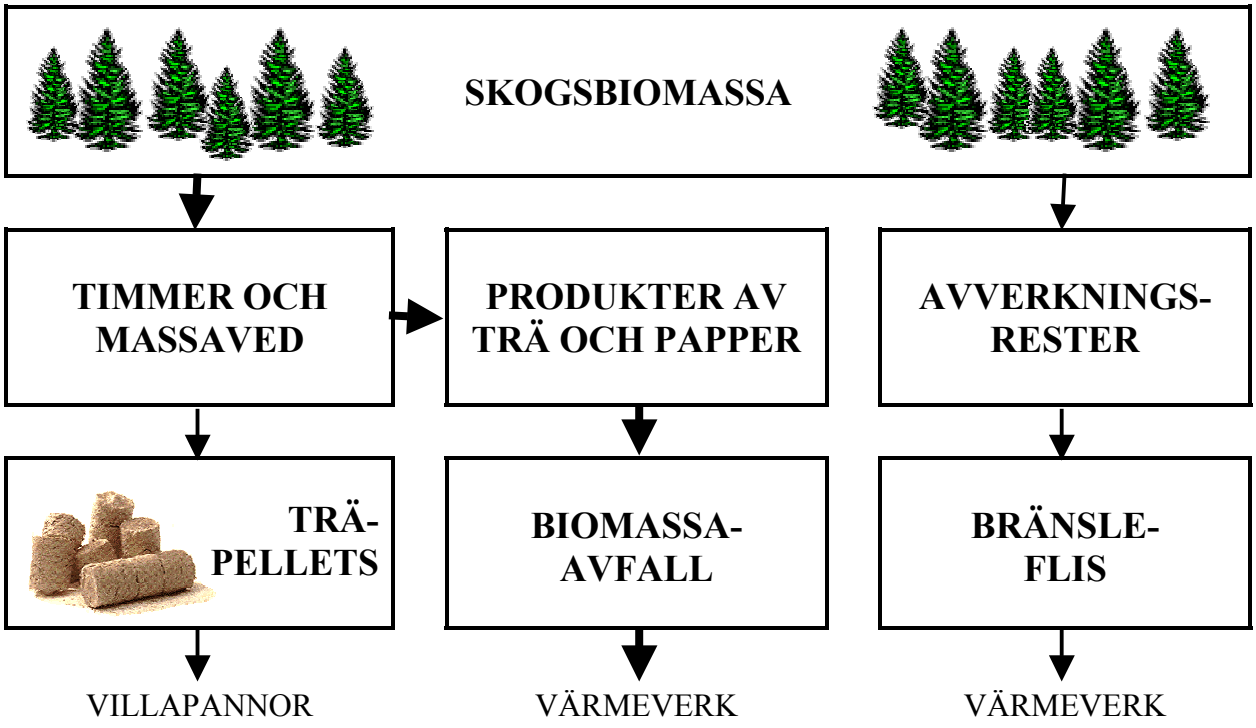
Skogsbränslen från avverkningsrester, biobränslen från jordbruksgrödor, och biomassaavfall från t ex hushåll innehåller mer kväve och mer askbildande mineralämnen än vedpellets. Samtidigt innehåller dessa bränslen mindre lignin som ger upphov till fenoliska antioxidanter.

Övergång från oljebrännare till pelletsbrännare i villapannor bidrar på ett betydelsefullt sätt till en minskad växthuseffekt genom minskade nettoutsläpp av koldioxid.

Den koldioxidmängd som avges vid eldning av biobränslen motsvarar i princip den mängd som upptagits från luften vid fotosyntes av biomassan. Vid oljeeldning tillförs atmosfären däremot ny koldioxid från fossilt lagrat kol.

För närvarande eldas ca 100 000 ton träpellets per år småskaligt i Sverige, men produktionskapacitet finns redan nu för att mångdubbla denna användning. Detta möjliggör snabba miljövinster genom omställning till träpellets för husuppvärmning.

Den småskaliga pelletseldningen har under flera år ökat med ca 30 % årligen och är ekonomiskt mycket fördelaktig jämfört med olja och el. Miljömässigt framstår träpellets som det bästa bränslet för småskalig användning, medan värmeverken med storskalig förbränning och reningsteknik är bättre lämpade för biobränslen av sämre kvalitet.



Referenser

- Träpellets som småskaligt biobränsle, Maria Olsson, Rapport från Kemisk Miljövetenskap, oktober 2001
- Wood pellets as residential biofuel, Maria Olsson, Jennica Kjällstrand and Göran Petersson, preliminary manuscript 2001
- Pyrolysis of wood pellets, Maria Olsson, Jennica Kjällstrand and Göran Petersson, preliminary manuscript 2001
- Phenols and aromatic hydrocarbons in chimney emissions from traditional and modern residential wood burning, Jennica Kjällstrand and Göran Petersson, Environmental technology, 22, 391-395, 2001
- Phenolic antioxidants in wood smoke, Jennica Kjällstrand and Göran Petersson, The science of the total environment, 277, 69-75, 2001
- Methoxyphenols from burning of Scandinavian forest plant materials, Jennica Kjällstrand, Olle Ramnäs and Göran Petersson, Chemosphere 41, 735-741, 2000
- Bioenergi - vår nästa tillväxtbransch, Mats Rydehell KanEnergi Sweden AB och Bengt-Erik Löfgren ÄFAB, En förstudie om pellets, dess roll och möjligheter i Västra Götaland, oktober 2001

De fem första arbetena har gjorts inom ramen för det av Energimyndigheten finansierade projektet "Antioxidanter och andra organiska ämnen i emissioner från småskalig biobränsleanvändning".