



Knubbved istället för vanlig ved?

Slutrapport från projekt Styckeved för småskalig eldning

Chunkwood instead of conventional firewood?

Final report from project Smallwood for small scale heating

Jan Erik Mattsson

Område Jordbruk – odlingssystem, teknik och produktkvalitet, SLU Alnarp

Jan-Erik Liss

Skog- och träteknik, Högskolan Dalarna

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2010:43

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-86373-50-4

Alnarp 2010



LANDSKAP TRÄDGÅRD JORDBRUK

Rapportserie

Knubbved istället för vanlig ved?

Slutrapport från projekt Styckeved för småskalig eldning

Chunkwood instead of conventional firewood?

Final report from project Smallwood for small scale heating

Jan Erik Mattsson

Område Jordbruk – odlingssystem, teknik och produktkvalitet, SLU Alnarp

Jan-Erik Liss

Skog- och träteknik, Högskolan Dalarna

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2010:43

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-86373-50-4

Alnarp 2010

Förord

Biobränslen används för uppvärmning av ungefär en tiondedel av småhusen i Sverige. Huvuddelen är konventionell brännved som produceras, distribueras och eldas småskaligt. En fördel med detta bränsle är att det inte kräver stora investeringar, men i gengäld krävs mycket hantering för hand av varje enskild vedbit. Bränsleflis hanteras som ett bulk gods och kan eldas automatisk även i liten skala, men självtorkar inte under lagring lika lätt som pannved. Fuktig flis innebär risk för mögelbildning och allergier.

Sedan tidigare vet man att ved som har en bitstorlek mellan flis och konventionell brännved kan produceras, hanteras och eldas lika rationellt som bränsleflis, men självtorka under lagring lika bra som konventionell pannved. I samband med Energimyndighetens utlysning om idéskisser till projekt i forskningsprogrammet ”Småskalig uppvärmning med biobränslen” (även kallat ”Småskalprogrammet”) föreslog Sven Hogfors, LRF, att undertecknad skulle skicka in en idéskiss till ett forskningsprojekt med målet att ”utveckla ett nytt träbränslesortiment, ’styckeved’, bestående av knytnävstora vedstycken”. Senare under projektet användes termen ”knubbved”.

Projektet hamnade innehållsmässigt mellan ”Småskalprogrammet” och ”Bränsleprogrammet” och fick ekonomiskt stöd från båda programmen. En förutsättning var att företag inom branschen också bidrog. Vidare visade det sig lämpligt med ett samarbete med ett annat projekt inom ”Småskalprogrammet”, nämligen projekt ”Konstruktiva förbättringar och begränsningar för miljövänlig direkteldad vedpanna”, som har genomförts av ETC, Piteå. Företagspartner har varit Ved & Sol AB, Långshyttan, och Baxi AB, Falköping.

Projektet har genomförts av Jan-Erik Liss, Högskolan Dalarna, och av undertecknad projektledare. Viktiga insatser för projektets genomförande har bl.a gjorts av Åke Örjes och Daniel Hellström som producerat knubbveden och av ETC i Piteå och SP i Borås som genomfört proveldning. Viktiga insatser har även gjorts av Ved & Sol AB i Långshyttan och Baxi AB i Falköping som bidragit ekonomiskt och med vedpannor till projektet, samt NOJ AB i Nossebro som lånade ut en automatiskt matad biobränslepanna för proveldning. Till projektet har varit knuten en referensgrupp bestående av Erik Hedar (Energimyndigheten), Sven Hogfors (LRF) och Bengt-Olof Danielsson (Gävle-Dala Energikontor) som bidragit med värdefulla synpunkter. Värdefulla synpunkter har också kommit projektet till del i samband med programkonferenser inom ”Småskalprogrammet”.

Ett varmt tack riktas till alla som på olika sätt bidragit till projektet!

Alnarp i december 2010

Jan Erik Mattsson
Projektledare
Område Jordbruk
SLU Alnarp

Erik Steen Jensen
Områdeschef
Område Jordbruk
SLU Alnarp

Innehåll

| | |
|--|----|
| Abstract..... | 4 |
| Sammanfattning | 4 |
| Bakgrund..... | 5 |
| Syfte | 6 |
| Metod och material | 8 |
| Knubbved till proveldning och studie av torkning under lagring | 8 |
| Proveldning i konventionell vedpanna..... | 10 |
| Proveldning i modifierad vedpanna | 11 |
| Proveldning i panna med automatisk bränslematning | 12 |
| Analys av lokalt och småskaligt system för knubbved | 13 |
| Resultat..... | 14 |
| Torkning under lagring | 14 |
| Proveldning i konventionell vedpanna..... | 15 |
| Proveldning i modifierad vedpanna | 16 |
| Proveldning i panna med automatisk bränslematning | 17 |
| Analys av lokalt och småskaligt system för knubbved | 18 |
| Diskussion..... | 19 |
| Torkning av knubbved under lagring..... | 19 |
| Proveldning av knubbved i konventionell vedpanna | 19 |
| Proveldning av knubbved i panna med automatisk bränslematning..... | 19 |
| Analys av lokalt och småskaligt system för knubbved | 20 |
| Slutsatser | 22 |
| Referenser | 23 |
| | |
| Bilaga 1. Maskinkapacitet, energi- och effektbehov vid sönderdelning..... | 25 |
| Bilaga 2. Torkning under lagring..... | 29 |
| Bilaga 3. Proveldning i modifierad vedpanna..... | 33 |
| Bilaga 4. Proveldning i panna med automatisk bränslematning..... | 49 |
| Bilaga 5. Jämförelse av småskaliga system för knubbved, pannved och flis | 61 |

Abstract

Chunkwood is a wood fuel with a fuel particle length between 50 and 150 mm, i.e. with a size between wood chips and conventional firewood. Chunkwood can be produced and handled as rational as wood chips and can dry during storage like conventional firewood. This is known since long. In project Smallwood for small scale heating we have investigated if chunkwood can be used in a small scale as a fuel for heating detached houses in conventional firewood boilers as well as automatically fed to a boiler in a similar way as wood chips. We have also compared complete systems for small scale production, distribution and heating with chunkwood, wood chips and conventional firewood.

Storage of chunkwood produced for testing small scale boilers confirmed that chunkwood can dry during storage at least as good as conventional firewood. Tests in different boilers for detached homes showed that chunkwood can be used in conventional firewood boilers as well as in automatically fed wood chips boilers. Chunkwood can be delivered to the customer to the same or lower cost as wood chips and firewood, but need much less handling by the customer than conventional firewood. However, if chunkwood is used in a conventional firewood boiler, it needs some handling by shovel and wheelbarrow. Technical development of handling from the storage to the boiler is needed. In a somewhat larger scale, e.g. a boiler for apartment blocks or a small district heating system, chunkwood should be very interesting as a replacement of fuel pellets or fuel briquettes. It would be interesting with some projects, which in this scale demonstrates the whole system from the forest to heat.

Sammanfattning

Knubbved är ett bränslesortiment med bitar som är 50-150 mm långa, dvs. i storlek mellan bränsleflis och traditionell pannved. Knubbved kan produceras och hanteras lika rationellt som bränsleflis och kan självtorka under lagring lika bra som pannved. Detta visste man sedan tidigare. I projekt *Styckeved för småskalig eldning* har vi undersökt om knubbved kan eldas med gott resultat i konventionella villavedpannor och om den även kan matas och eldas automatiskt i denna skala. Dessutom har vi jämfört hela småskaliga system produktion, distribution och eldning av knubbved, bränsleflis och konventionell pannved.

En studie av lagring av knubbved som skulle användas i eldningstesterna bekräftade att knubbved torkar minst lika bra som konventionell pannved. Eldningstesterna visade att knubbved kan eldas satsvis som pannved i konventionella villavedpannor och även matas och eldas automatiskt i denna storlek. Knubbved kan levereras till samma eller lägre kostnad än bränsleflis och traditionell pannved, men bedöms kräva betydligt mindre hantering för hand hos kund än traditionell pannved. Om knubbveden ska eldas satsvis i konventionell vedpanna, så kräver dock även knubbved en del hantering med grep eller skyffel och skottkärra. Här finns det behov av teknisk utveckling. För något större skala, t ex panncentraler och närvärmeverk, bör knubbved vara ett mycket intressant bränsle i anläggningar som eldas med betydligt dyrare bränslen som pellets och briketter. Det skulle vara intressant med något projekt som i denna skala demonstrerar hela kedjan från skog till värme.

Bakgrund

Sedan länge finns det system för småskalig framställning, distribution och eldning av trädbränslena pannved och bränsleflis. Behövs det alternativ till dessa trädbränslen? Ja, konventionell pannved kräver mycket hantering för hand och bränsleflis i liten skala innebär risk för mögelbildning och problem med allergi.

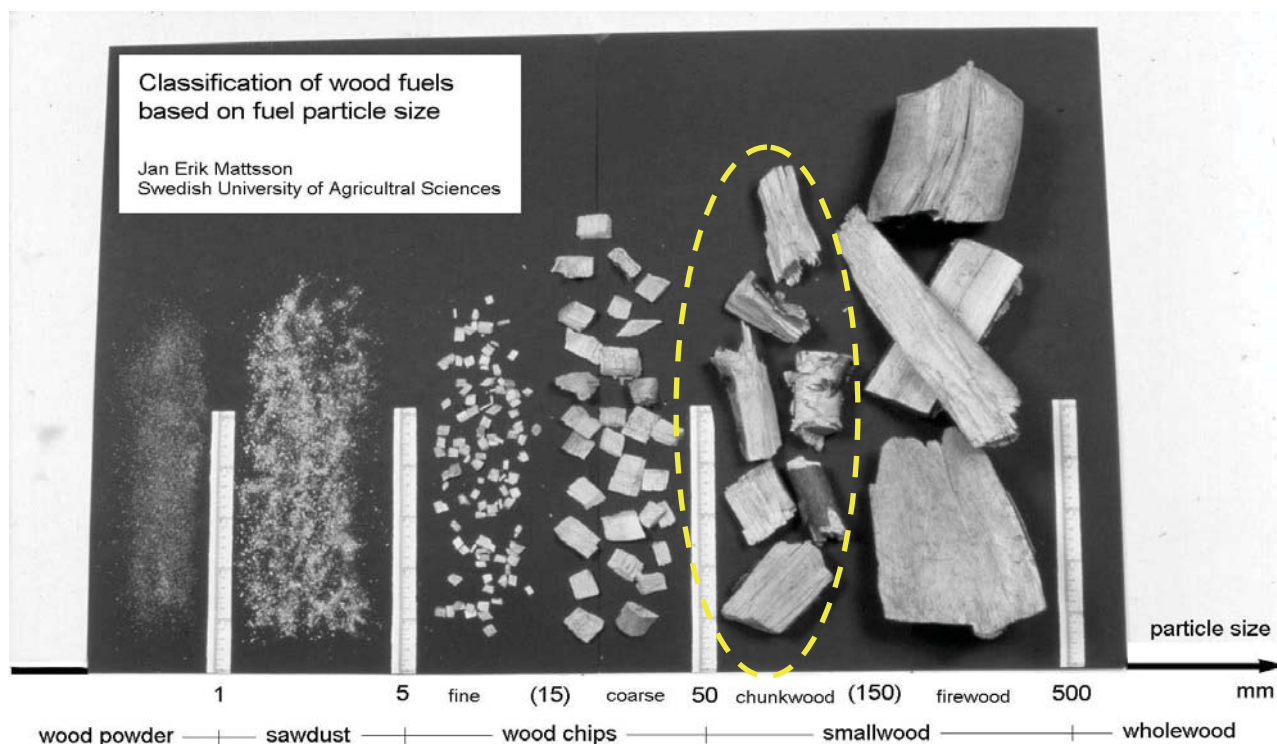
Konventionell pannved har sedan minst hundra år kunnat köpas lokalt och eldas för uppvärmning av småhus. Det finns lång erfarenhet av hur veden ska lagras för att självtorka utan mögelbildning, vilket är viktigt för dem som sedan ska hantera och elda veden. Vedeldning innebär nämligen mycket hantering av de enskilda vedbitarna. Även om man köper ett traktorlass ved som är färdigkapad och -kluven, så hanteras varje enskild vedbit för hand flera gånger. Det är inte ovanligt att vedbitarna från vedhögen som tippats från traktorkärran först flyttas över till en skottkärra, körs till vedstapeln, plockas upp ur skottkärran och läggs i en vedstapel där de senare hämtas och läggs i en vedkorg för att bäras in till pannan eller kaminen där de kanske staplas vid sidan av pannan för att slutligen läggas in i pannan. Varje vedbit har då hanterats för hand fyra, fem gånger. Denna manuella hantering kan vara OK för den som ser vedeldning som ett tidsfördriv, men många tröttnar och går istället över till värmepump för att helt slippa det dagliga arbetet med eldning.

I slutet av 1950-talet utvecklades system för framställning och eldning av bränsleflis i liten skala. De minskade den manuella hanteringen genom att bränsleflis kan hanteras som ett bulk gods. På sin höjd kan det bli frågan om att med skyffel, grep eller hink fylla den flisbehållare ur vilken flisen automatiskt matas till eldstaden. Försäljning och distribution av bränsleflis för uppvärmning av småhus har dock inte blivit vanlig. Fliseldning står för en mindre andel av det biobränsle som används i småhus. Merparten är konventionell pannved (Energimyndigheten, 2010). Ett skäl är att fuktig bränsleflis möglar inom någon vecka och kan orsaka överkänslighet och allergiska besvär för den som hanterar flisen utan andningsskydd. Fuktig flis som läggs i en hög självtorkar inte. För att minska risken för mögelbildning kan man torka vedråvaran före flisning eller torka flisen direkt efter flisning, men det fördyrar tillverkningen. Den mesta flis som används för småskalig uppvärmning av småhus flisas efterhand som den ska användas. Det kräver tillgång till flishugg och lagringsutrymme för den ved som ska flisas, vilket i stort sett begränsar småskalig fliseldning till dem som har en jordbruksfastighet nära egen skog.

Det borde vara intressant med ett bränsle som självtorkar under lagring, ungefär som konventionell pannved, men går att hantera lika rationellt som bränsleflis. Redan under 1980-talet visade forskning i flera länder att så kallad ”chunkwood” (knubbved), med en bitlängd mellan 50 och 150 mm, har bättre torkningsegenskaper under lagring i nätbehållare än bränsleflis, men går att tillverka, hantera och elda automatiskt i stor skala på liknade sätt som bränsleflis (Danielsson, 1990). Dessutom visade det sig att knubbved kan tillverkas med lägre effektbehov än flis, eller med högre kapacitet vid samma effekt (Liss, 1987). Tillverkning och hantering är mycket mer rationell än för pannved. Att knubbved inte slog igenom som ett alternativ till bränsleflis kan ha flera förklaringar. Den viktigaste är nog att de storskaliga systemen för bränsleflis fungerade tillräckligt bra. Problemet med mögelbildning löstes på två sätt, dels genom snabb leverans och eldning av huggen bränsleflis, dels genom att anställda på värmeverk inte behövde komma i direktkontakt med bränsleflis som eventuellt hunnit mögla. Flisen matas från mottagningsfickan till pannan utan att behöva hanteras för hand. Vid småskalig fliseldning är man däremot i mer direktkontakt med flisen.

Småskalig utrustning för automatisk matning av bränsleflis från flisbehållare till förugn eller panna anpassades framförallt till bitstorleken hos fin flis, dvs. 5-15 mm bitlängd. Redan enstaka överstora bitar kunde fastna i inmatningsskruvarna som då stannade. Det skedde ingen utveckling av utrustning för småskalig eldning av knubbved. Intresset riktades istället mot småskalig eldning av

träpellets som pga låga priser på torrt sågspån kunde säljas till mycket låga priser. Genom att komplettera sin panna med en pelletsbrännare kunde man till en låg investeringskostnad elda ett bränsle som krävde en liten arbetsinsats och var billigt jämfört med olja och el. Med en växande marknad för träpellets har dyrare råvaror börjat användas och priserna stigit. En följd är att lokal småskalig framställning, distribution och eldning av pannved fortfarande är vanlig. Det är därför intressant att studera om det går att utveckla system för knubbved som kombinerar pannvedens och bränsleflisens fördelar, dvs. att kunna självtorka under lagring som pannved och att kunna tillverkas, distribueras och eldas lika rationellt som bränsleflis.



Figur 1. Knubbved (chunkwood) har en bitlängd mellan 50 och 150 mm, dvs. mellan flis och konventionell pannved. (Bild. J E Mattsson)

Om knubbvedens fördelar jämfört med pannved och bränsleflis ska kunna göra den till ett intressant alternativ till pannved och bränsleflis, så krävs att den kan eldas med gott resultat i befintliga småskaliga vedpannor (<300 kW och helst <50 kW). Helst ska inmatningen av knubbved i panna eller förugn ske automatiskt. Även om mycket är känt om knubbved från tidigare forskning, så behöver man göra en värdering av hela systemet från skog till värme vad gäller ekonomi (fasta och rörliga kostnader), teknik (säkerhet och bekvämlighet) och vedkundens egen arbetsinsats.

Syfte

Huvudmålet för projekt *Styckeved för småskalig eldning* har varit att studera förutsättningar för småskalig eldning av ved med en storlek mellan bränsleflis och konventionell pannved, dvs. knubbved. Delmål har varit att studera om knubbved kan eldas satsvis i konventionell vedpanna eller genom automatisk inmatning. Ett annat delmål har varit att analysera ett helt system för produktion, lagring, torkning, distribution och eldning av knubbved i liten skala.

Projektet har avgränsats till småskaliga system som kan fungera på en lokal marknad, motsvarande de lokala system för produktion, distribution och eldning av pannved som redan finns runt om i Sverige. Den totala omfattningen av dessa system är svår att ange exakt. År 2008 användes bibränslen för uppvärmning av en tiondedel av småhusen i Sverige, sammanlagt 11,4 TWh, varav merparten utgjordes av brännved (Energimyndigheten, 2010). Som jämförelse kan nämnas att samma år använde fjärrvärmeverken i Sverige 25,5 TWh trädbränslen (Energimyndigheten, 2010). Utöver småhusmarknaden kan knubbved vara intressant i mindre värmecentraler som nu eldas med olja, pellets eller briketter. Knubbved har alltså en mycket stor potentiell marknad som är spridd över hela landet.

Metod och material

Eldning av knubbved i konventionell vedpanna har studerats genom proveldning i två olika vedpannor. I den ena av dem modifierades rostervolymen och primärlufttillförseln. Matning av knubbved har studerats genom proveldning i en befintlig biobrännspanna som i en pilotstudie visat sig kunna mata och förbränna knubbved. I samband med att knubbved togs fram för proveldning, gjordes även en studie av torkningsförloppet för knubbved som lagrades utomhus på lastpall, jämfört med kliven och okluven halvmetersved. Analysen av ett helt knubbvedssystem, från skog till värme, bygger huvudsakligen på litteraturuppgifter.

Knubbved till proveldning och studie av torkning under lagring

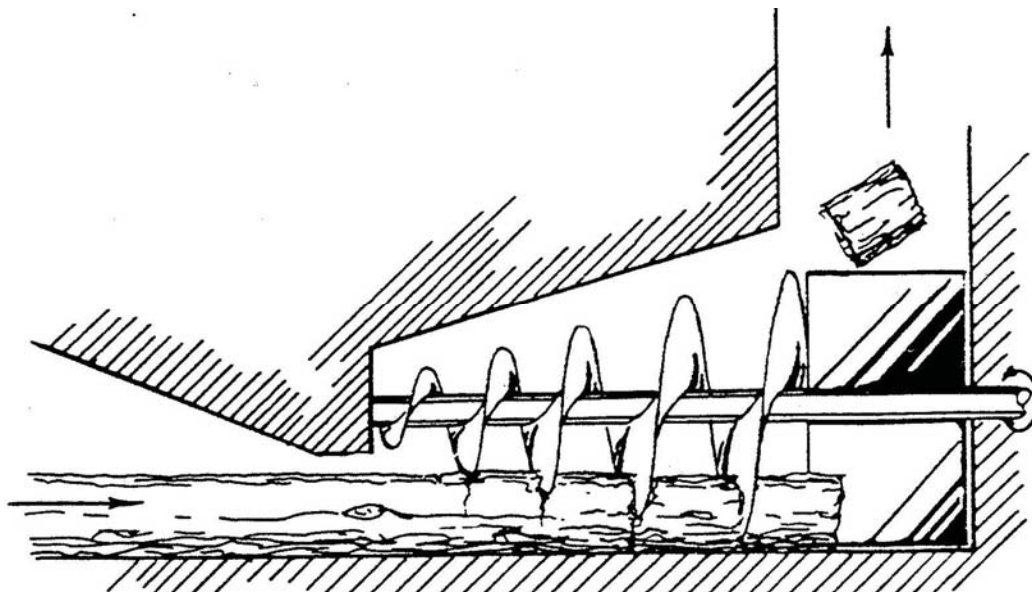
Råvaran för tillverkning av knubbved bestod av kvistade stammar av björk och gran. Björkens diameter varierade mellan 7 och 16 cm i brösthöjd (medelvärde 10,6 cm) och granens diameter varierade mellan 9 och 16 cm i brösthöjd (medelvärde 13,2 cm).

Knubbved till försöken tillverkades med två olika maskiner. Den ena är en anordning som liknar en giljotin där veden lades på en fast bottenplatta av stål och en ca 1 cm tjock och 30 cm bred kniv pressades med hjälp av hydraulik genom veden. Med denna hydraulkniv kapades veden till ca 50 mm bitlängd. Under kapning uppstår skjuvkrafter som gör att vedbitarna spricker längs fiberriktningen i tunnare skivor som delvis hänger ihop (se figur 2). Denna sprickbildning bidrar till att veden torkar snabbare än stamtrissor (cylindrar) med motsvarande längd. Sprickorna gör också att vedbitarna faller sönder i mindre bitar vid hantering.



Figur 2. Knubbved som har tillverkats med en hydraulkniv. (Foto: Daniel Hellström)

Den andra maskinen har en konisk skruv som drar in och skär av bitar ur virket (se figur 3). Maskinen har funnits på marknaden sedan mitten av 1980-talet under olika namn; Kopo, Sasmu och Laimet. Maskintypen finns i olika storlek, både för traktor och elmotor som kraftkälla. Skruvens stigning (avstånd mellan varven) avgör avståndet mellan skären och därmed den nominella bitlängden på knubbveden, dvs bitlängd i fiberriktningen. Beroende på skruvens stigning produceras flis eller knubbved från 20-25 till 100-150 mm bitlängd (Laimets hemsida, 2010-11-15).



Figur 3. Princip för tillverkning av knubbved i en maskin med konisk skruv.

Även denna maskin gör att bitarna spricker i fiberriktningen och bildar bitar som är endast någon centimeter tjocka, dvs. betydligt mindre än bredd och längd (se figur 4). Knubbved inom projektet gjord med konisk skruv, producerades med en Kopo HP-15, som är den minsta modellen av traktordriven skruvhugg och som ger ca 60 mm långa vedbitar.



Figur 4. Knubbved som har tillverkats med en maskin med konisk skruv. (Foto: JE Mattsson)

Maskinkapacitet, energi- och effektbehov

En undersökning genomförd av Liss (1987) visar att den aktuella skruvhuggen (Kopo/Sasmo HP-15L) som användes för framställning av knubbved i föreliggande studie har en betydligt högre kapacitet än en konventionell flishugg (Bruks 722 MT Hydraul). Vid undersökningen framkom att maskinkapaciteten var ungefär dubbelt så hög jämfört med en flishugg. Undersökningen genomfördes med en lantbrukstraktor som kraftkälla till huggarna varvid kvistad stamved med en längd på 1 meter sönderdelades till knubbved resp. konventionell bränsleflis.

I praktisk drift kan man dock inte räkna med att hela maskinkapaciteten kan utnyttjas p.g.a. olika omständigheter, t.ex. att man inte hinner med att mata huggen. Den främsta anledningen till att man inte kan utnyttja full maskinkapacitet är alltså den ”mänskliga faktorn”. Slarvigt upplagt virke i vältan, alltför hög vält, dåligt kvistat virke, krokigt virke, kort virke eller bräckage är faktorer som kan bidra till ett lägre matningsflöde och därmed ett sämre utnyttjande av maskinkapaciteten i såväl skruvhuggar som konventionella flishuggar. Dessutom är flisningsarbetet förenat med olika typer av kringarbeten, vilket innebär att huggen en stor del av tiden går på fullvarv utan att något virke passerar den.

Effektbehovet vid produktion av knubbved visade sig vid den aktuella undersökningen (Liss, 1987) ligga på ungefär samma nivå som vid produktion av konventionell bränsleflis. Sasmo-huggen tycks dock med fördel kunna köras på ett högre varvtal eftersom studien visar att effektbehovet ökar måttligt vid en varvtalshöjning från 540 till 700 r/min.

Energiförbrukningen var vid de genomförda studierna ungefär hälften så hög för Sasmo-huggen jämfört med Bruks-huggen. Studierna pekar på att energiförbrukningen är högre för fruset än för ofruset virke, att den är högre för torrt jämfört med rått virke och att den är ungefär dubbelt så hög vid flisning av hyggesrester jämfört med flisning av rundvirke. (Se även bilaga 1)

Självtorkning under lagring

I samband med tillverkning av knubbved med hydraulkniven lastades knubbveden av björk och gran på varsin EU-pall försedd med 1 m höga pallkragar. Volymen per pall var ca 1 m³s (s=stjälpt mått). Veden lagrades under öppen himmel väl exponerad för sol och vind. Vid de sex tillfällen då fukthalten mättes, från 28 april till 28 juli, togs material från olika nivåer i pallarna och från ytterkanter till centrum varefter ett medelvärde beräknades.

Som jämförelse lades ca 1 m³t (t=travat mått) kliven och ca 1 m³t okluven konventionell pannved (ca 0,5 m bitlängd) av björk upp på varsin EU-pall och lagrades på samma plats som knubbveden (exponerad för sol och vind). Den klivna veden lagrades med barken uppåt. Veden avverkades samtidigt som knubbveden (28 april) och fukthalten kontrollerades vid 4 tillfällen under perioden 28 april till 28 juli. Eftersom pallen inte var försedd med pallkragar bedöms den konventionella pannveden ha fått en bättre exponering för sol och vind än knubbveden. Bestämning av fukthalt vid avverkning, under lagring och inför proveldning gjordes enligt gängse metod efter torkning i ugn vid 105 °C. (Se även bilaga 2).

Proveldning i konventionell vedpanna

Knubbved av björk och gran proveldades i en sugfläktstyrd panna av typ Gasell Quick-Up med en nominell effekt på 45 kW (se figur 5). Som jämförelse eldades även björkved med 0,5 m vedlängd eftersom den använda pannan var intrimmad för konventionell halvmetersved. Vid eldning hade knubbved av björk 14-17% fukthalt, knubbved av gran 20-22% fukthalt och den konventionella halvmetersveden 14-17% fukthalt. Proveldningen skedde hos Ved & Solteknik i Långshyttan AB.



Figur 5. Fläktstyrd panna Gasell Quick-Up (till vänster). (Foto: J-E Liss)

Vid försöket fylldes hela vedmagasinet varefter pannan startades. Därefter fylldes magasinet vid behov. När pannan hade kommit upp i normal arbetstemperatur genomfördes en rökgasmätning var 10:e minut med en rökgasmätare av fabrikat Testo (modell 325 M) inställd på menyvalet pellets/trä.

Proveldning i modifierad vedpanna

Proveldning skedde också i en vedpanna av typ Solo Innova 20, med 20 kW nominell effekt (se figur 6). Huvudsyftet var att studera om det genom modifiering av pannan var möjligt att elda vid låg effekt. Pannan modifierades genom ändrad plats för tillförsel av primärluft samt genom minskning av rostervolymen och lufttillförseln.



Figur 6. Solo Innova 20 (Bild: Baxi)

Knubbved av björk av samma typ som användes vid proveldning i Gasell Quick-Up ovan jämfördes med konventionell klaven pannved, ca 45 cm lång, som tillverkats av björk med max 30 cm diameter. Pannvedens fukthalt varierade mellan 14,9 och 22,6% och knubbvedens mellan 15,9 och 19%. Proveldningen utfördes av ETC, Piteå, och skedde som ett samarbete mellan projekt *Styckeved för småskalig eldning* och projekt *Konstruktiva förbättringar och begränsningar för miljövänlig direkteldad vedpanna*.

Vid försöket spåntades en tändbrasa upp av fyra vedträn och antändes. Därefter lades en första laddning av 10 kg pannved respektive knubbved in i pannan. På så sätt uppnåddes en arbetstemperatur på pannan som överensstämmer med kontinuerlig drift. Efter att en grundglöd uppnåtts lades en andra laddning ved i pannan. Det var på denna som mätningarna utfördes.

De mätinstrument som användes för mätning av rökgaser var FID (halt oförbrända kolväten), CED (halt kväveoxider), NDIR (halt koldioxid och kolmonoxid) och en stoftprovtagningsrigg (stoftmängd). De modifieringar som gjordes av pannan var dels att krympa rostervolymen med hjälp av ca 2 cm tjocka skivor av värmekulit, dels ändring av primärlufttillförseln genom nya hål i innerfordret till pannan samtidigt som de gamla hålen bultades igen. Se bilaga 3 för en utförlig beskrivning av proveldningen.

Proveldning i panna med automatisk bränslematning

Proveldningen utfördes av SP, Borås, i biobränslepannan REFO 30 med 30 kW nominell effekt. Pannan var en demopanna som tillhandahölls av NOJ AB, som saluför pannan i Sverige.

Huvudsyftet med proveldningen var att se om pannan kunde mata knubbved från det sammanbyggda förrådet och elda knubbveden i pannan. Bränsleförrådet är cylindriskt med en omrörare i botten och en matarskruv som för bränslet från förrådets centrum via ett matarrör till pannans eldstadsutrymme. I matarröret finns en temperaturvakt och vattensprinkler för att förhindra bakåtbrand. Pannan är byggd för bio-bränslen med mindre bitstorlek, men har en extra kraftig skruv som ska kunna klippa av längre bitar och har enligt uppgift från NOJ vid praktisk drift även klarat att elda knubbved, vilket bekräftades i en pilotstudie inom projektet.

Mätning av emissioner i rökgaserna enligt svensk standard SS-EN 303-5 gjordes för att se om eventuell ojäm inmatning pga. de stora knubbvedsbitarna skulle påverka emissionerna negativt. Det visade sig vid proveldningen vara problem med den lambda-sond som skulle styra bränslematningen. Därför valdes fasta inställningar för bränslematning och lufttillförsel. För en mer noggrann bedömning av pannans emissioner bör man använda en panna med fungerande lambda-sond och som trimmas in för knubbved.



Figur 7. REFO 30 biobränslepanna med bränslebehållare som användes vid test av matning och eldning av knubbved. (Foto: J E Mattsson)

Den knubbved som användes var tillverkad med ovan beskrivna skruvhugg Kopo HP-15, dvs med en bitlängd på ca 60 mm. Enstaka större bitar fanns i bränslet. Några extremt stora och tjocka ändvedbitar plockades undan i samband med påfyllning av bränslebehållaren. Se bilaga 4 för en utförlig beskrivning av proveldningen.

Analys av lokalt och småskaligt system för knubbved

Ett lokalt och småskaligt system för tillverkning, distribution och eldning av knubbved jämförs med motsvarande system för konventionell pannved och bränsleflis. Arbetsprestationer och kostnader kan variera beroende på förutsättningarna, t.ex. typ av råvara som används för framställning av de olika bränslena, maskinval, arbetserfarenhet mm. Beräkningarna grundas på resultat från tidigare studier av småskalig produktion av knubbved, pannved och flis. Dessa studier är dock relativt få till antalet och relativt begränsade i storlek varför de arbetstider och kostnader som redovisas här skall ses som riktvärden. Där underlag från tidigare studier saknas har arbetstider och kostnader bedömts utifrån uppgifter från maskintillverkare, brukare och genom egna erfarenheter.

Avverkningskostnaden är mycket beroende av virkesgrovlek. Därför görs beräkningarna för två stamdiametrar, 10 respektive 15 cm dbh (dbh=diameter vid brösthöjd). Avverkning och transporter av vedråvaran (kvistad stamved) från skog till gårdsplan antas ske med samma utrustning och arbetsinsats oavsett vilket bränslesortiment stammarna upparbetas till.

Sönderdelningen av vedråvaran till knubbved, flis respektive pannved förutsätts ske i anslutning till mellanlager där bränslet torkas innan leverans till kund. Samma basmaskin antas ha använts som kraftkälla för huggar (knubbved/flis) och vedprocessor (pannved). Knubbveden antas att i samband med sönderdelningen samlas upp i 1,5 m³ storsäckar för ved som placerats på EU-pallar. De fulla storsäckarna, med pall, transporteras efterhand till ett mellanlager för självtorkning. Efter torkning levereras säckarna till bränslekund som lämnar säckar och EU-pallar från tidigare leverans i retur. Pannveden antas att i samband med upparbetningen transporteras via vedtransportör (elevatör) direkt in i mellanlager för självtorkning och flisen antas att blåsas in direkt i ett mellanlager för aktiv torkning.

Leveransen av färdigt bränsle till kund antas ske med samma utrustning, en traktor med en tippbar traktorkärra. Lastning av knubbved (storsäck på EU-pall) från mellanlager till kärra antas ske med frontlastare försedd med gafflar medan lastning av pannved och flis till kärra antas ske med frontlastare försedd med skopa. Transportavståndet till kund antas vara 10 km enkel väg. Kunden antas själv ta ansvar för veden/flisen när den lastats av. Kundens egna arbetsinsatser beskrivs vad gäller olika arbetsmoment, men beräknas inte eftersom det finns nästan lika många sätt att ta hand om konventionell pannved som det finns vedeldare. Se bilaga 5 för en utförligare beskrivning av förutsättningarna för beräkningarna.

Resultat

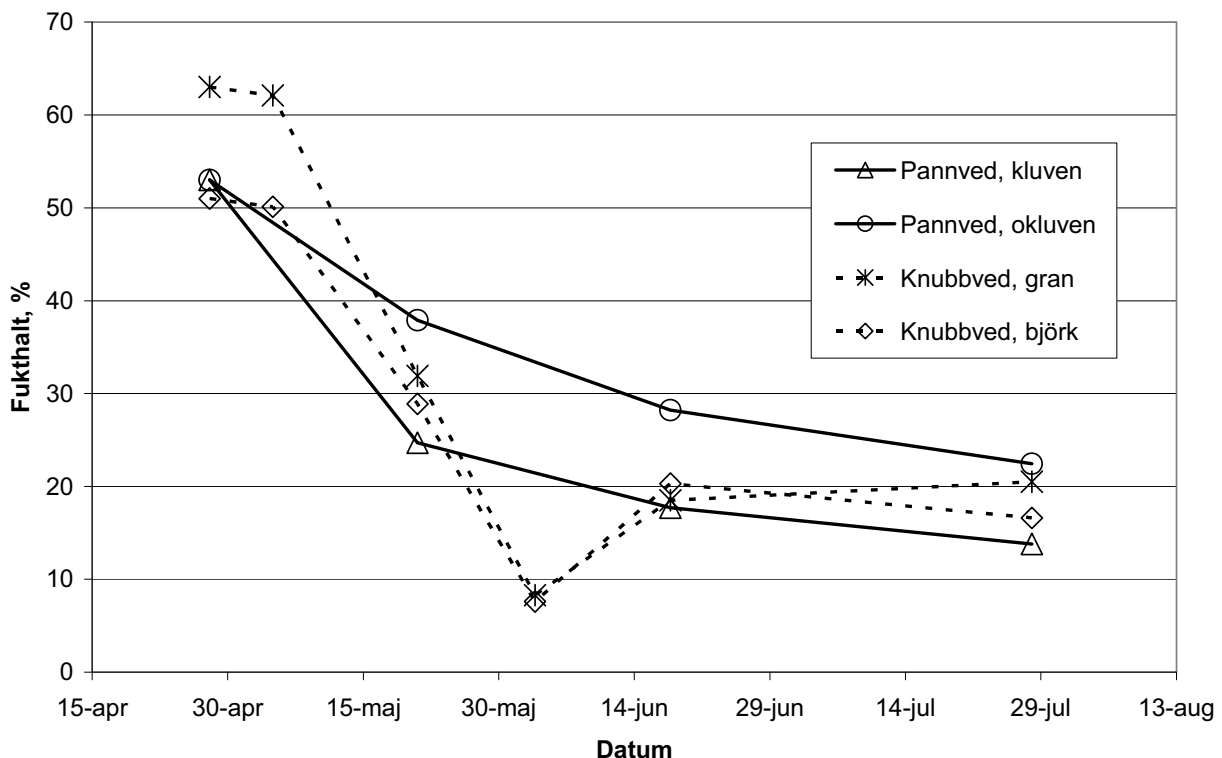
Torkning under lagring

Knubbved

Vid avverkningstidpunkten (28 april) hade granveden en fukthalt på ca 63 % och björkveden en fukthalt på ca 51 %. I början av juni (3 juni), efter drygt en månads lagring, hade knubbveden en fukthalt på ca 8 %. Därefter steg fukthalten till ca 18-20 % i mitten av juni för att sedan hamna på en fukthalt strax under 20 % i slutet av juli. I samband med avverkningen gjordes också ett försök att mäta hur mycket vatten som försvinner i samband med upparbetningen av vedstammarna till knubbved. Studien pekar på att fukthalten hade minskat med ca 2 procentenheter i det aktuella fallet.

Konventionell pannved

Fukthalten vid försöksstart (28 april) låg på 53 %. Nästa fukthaltsbestämning genomfördes den 21 maj och visade en fukthalt på ca 25 % i den kluvna veden och ca 38 % i den okluvna veden. Den kluvna veden hade alltså torkat ca 4 procentenheter bättre än knubbveden. Nästa fukthaltbestämning genomfördes i mitten av juni och även då var den kluvna pannveden något torrare än knubbveden, men betydligt högre än det lägsta värdet (ca 8 %) som uppmättes på knubbveden i början av juni. Vid sista mätningen, i slutet av juli, hade den kluvna pannveden en fukthalt på ca 14 %, vilket kan jämföras med en fukthalt på drygt 16 % hos knubbveden.



Figur 8. Fukthaltens förändring vid lagring av knubbved och konventionell pannved under öppen himmel. Veden avverkad den 28 april 2008 och därefter lagrad på EU-pallar, knubbveden med 1 m höga pallkragar. Vedvolym ca 1 m³s (knubbved) resp 1 m³t (pannved).

Proveldning i konventionell vedpanna

Proveldningen genomfördes hos Ved & Solteknik i Långshyttan AB under två dagar i en sugfläktstyrd panna av fabrikat Gasell Quick-Up med en nominell effekt på 45 kW. Knubbved av björk och gran (se ovan under Metod och material) jämfördes med pannved av björk med en bitlängd på 0,5 m. Vedpannan var intrimmad för konventionell pannved (0,5 m längd).



Figur 9. Knubbved av björk som eldades (till vänster) och förbränningskammaren när panna har uppnått arbetstemperatur (till höger). (Foto: J-E Liss)

Mätvärdena vid de olika proveldningarna framgår av tabell 1.

Tabell 1. Mätvärden (medelvärden) uppmätta vid proveldningen

| Parameter | Knubbved: Björk Fh 14-17 % | Knubbved: Gran Fh 20-22 % | Konv. ved Björk Fh 14-17 % |
|--|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Rökgastemperatur, °C | 212 | 222 | 220 |
| Syre (O ₂), % | 13,4 | 13,1 | 13,9 |
| Kolmonoxid (CO), ppm | 1054 | 1801 | 894 |
| Koldioxid (CO ₂), % | 7,3 | 7,7 | 6,9 |
| Förbränningsteknisk verkningsgrad (η) | 80,7 | 79,4 | 77,2 |
| Rökgasförlust (qA), % | 19,3 | 20,6 | 22,8 |
| Luftöverskott (λ) | 2,8 | 2,7 | 3,1 |
| Outspädd kolmonoxid (CO), ppm | 3005 | 4461 | 2535 |
| Panntemperatur, °C | 98 | 98 | 98 |

Förbränningen av knubbveden föreföll att fungera bra. Halten av kolmonoxid var dock hög för knubbved och varierade relativt kraftigt under förbränningen, vilket sannolikt beror på en felaktig luftinblandning. Värdena ligger dock under kraven enligt svensk och europeisk standard för pannor som eldas med fasta bränslen (SS-EN 303-5). I övrigt var det inga nämnvärda skillnader mellan knubbved och konventionell pannved. En trimning av panna vid eldning av knubbved hade troligtvis behövts för att få något stabilare värden. En fördel med knubbveden är att den inte hänger sig i panna, vilket kan inträffa vid eldning av krokig pannved av konventionell typ (0,5 m).

Proveldning i modifierad vedpanna

Resultaten av proveldning av knubbved resp. konventionell pannved i den sugfläktstyrda vedpannan Innova Solo 20, med och utan modifikation av rostervolym och primärlufttillförsel, framgår av tabell 2.

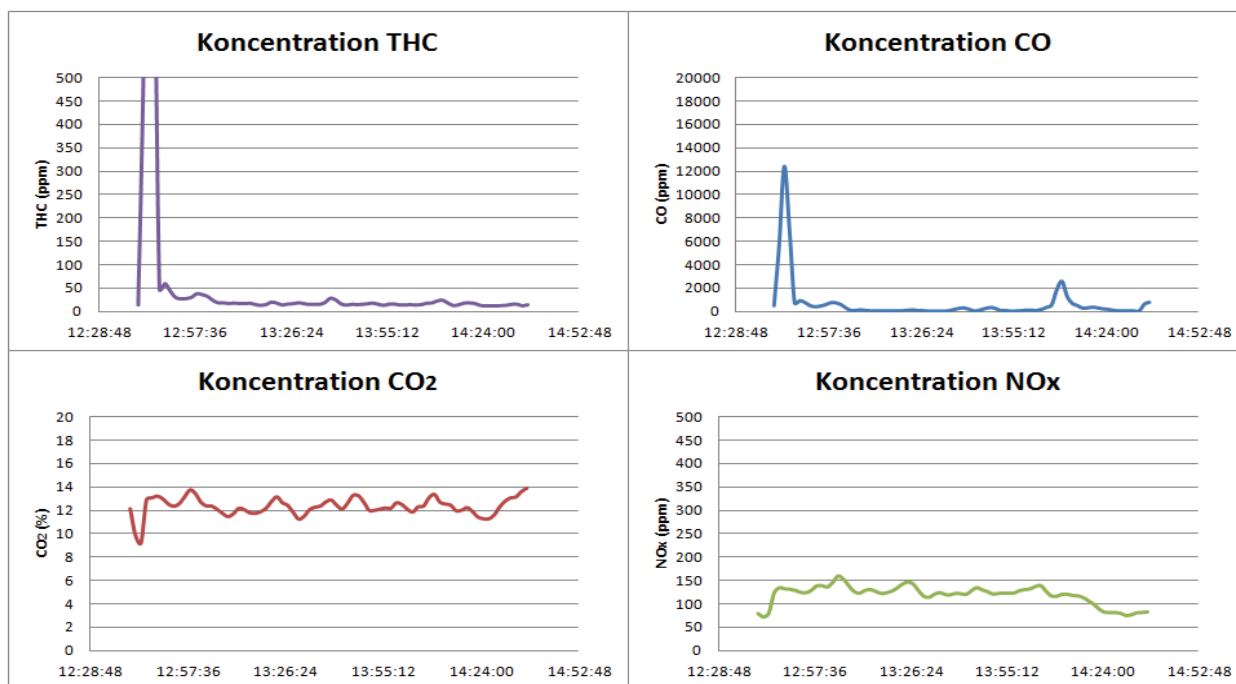
Tabell 2. Mätdata och normaliserade värden från proveldning i modifierad vedpanna

| Bränsle | Roster- volym (%) | Luft- till- försel (%) | Modifiering (se Anm. nedan) | CO (ppm) | NOx (ppm) | THC (ppm) | Ved- förbruk- ning (kg/h) | Stoft (mg/m ³) |
|----------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------|--------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Pannved | 100 | 100 | ej modifierat | 485 | 180 | 59 | 3,31 | 24 |
| Knubbved | 100 | 100 | ej modifierat | 1878 | 76 | 126 | 2,80 | 26 |
| Pannved | 100 | 30 | ej modifierat | 1233 | 183 | 30 | 3,40 | 22 |
| Knubbved | 100 | 30 | ej modifierat | 2682 | 54 | 146 | 3,51 | 31 |
| Pannved | 50 | 30 | ej modifierat | 766 | 99 | 128 | 3,21 | 28 |
| Knubbved | 50 | 30 | ej modifierat | 3125 | 76 | 499 | 3,23 | 18 |
| Pannved | 100 | 30 | vertikalt | 1476 | 188 | 21 | 2,44 | 42 |
| Pannved | 100 | 100 | primärluft | 2023 | 144 | 34 | 3,19 | 15 |
| Knubbved | 100 | 100 | primärluft | 563 | 123 | 70 | 3,19 | 6 |
| Pannved | 100 | 30 | primärluft | 1825 | 115 | 88 | 2,69 | 26 |
| Knubbved | 100 | 30 | primärluft | 1177 | 101 | 74 | 3,05 | 13 |
| Pannved | 50 | 30 | primärluft | 595 | 129 | 34 | 4,07 | 44 |
| Knubbved | 50 | 30 | primärluft | 573 | 106 | 48 | 2,5 | 63 |
| Pannved | 100 | 30 | primärluft, vertikalt | 7864 | 78 | 1068 | 4,55 | 72 |

Anm: Modifiering: primärluft = primärlufttillförseln flyttad, vertikalt = veden placerad vertikalt
 THC = total hydrocarbon = total halt av (oförbrända) kolväteföreningar. I samtliga alternativ var CO₂-halten = 11 %

Eldning före modifiering av pannan gav mycket högre utsläpp för knubbved än för pannved, eventuellt beroende på att knubbveden packats på ett sätt som gjorde motståndet mot luftgenomströmning större än i den konventionella pannveden. Värdena blev mycket bättre efter modifierad (flyttad) primärlufttillförsel, troligen pga ett bättre luftflöde. Vid bibehållen rostervolym och lufttillförsel blev CO- och stoftvärdet betydligt lägre med knubbved än med pannved, men THC-värdet högre.

Modifierat läge för primärlufttillförsel, kombinerat med att rostervolymer reducerades till 50% och lufttillförseln till 30% gav den lägst uppmätta vedförbrukningen, 2,5 kg ved per timme, men ändå bra utsläppsvärden (se figur 10 som visar rökgashalter och tidsförlopp). Stofthalten blev dock något högre än vid de flesta andra alternativen, 63 mg/m³, men under kravet på 150 mg/m³ (för pannor <50 kW) som finns i svensk och europeisk standard för pannor som eldas med fasta bränslen (SS-EN-303-5).



Figur 10. Rökgashalter och tidsförlopp vid eldning av knubbved i vedpannan Innova Solo 20 där primärlufttillförseln modifierats, lufttillförseln reducerats till 50% och rostervolymen reducerats till 30%. (Bild: ETC, Piteå).

Proveldning i panna med automatisk bränslematning

Huvudsyftet med proveldning med en panna för automatisk matning var att se om matningen även fungerade med knubbved. Matningen fungerade trots att det ibland lät mycket när knubbvedsbitar kom i kläm i matarskruven och kapades av den kraftiga skruven.

När knubbveden fylldes på togs för säkerhets skull några extra stora bitar bort (se figur 11). Det var ändvedbitar på klenveden som följde med genom den koniska skruven utan att kapas eller splittras i tunnare skivor. Det var endast enstaka bitar per m³, men det är tillräckligt för att kunna ställa till problem. Vid ett tillfälle fastnade ändå bränsleskruven eftersom flera knubbvedsbitar satt fast mellan matarskruven och utmatningshålet i bränslebehållaren. En senare modell av panna har en trefas elmotor som automatiskt backar något varv om matningen tar emot, innan den försöker mata bränslet igen.



Figur 11. Överstora knubbvedsbitar (till vänster) jämfört med normala (till höger). (Foto: J E Mattsson)

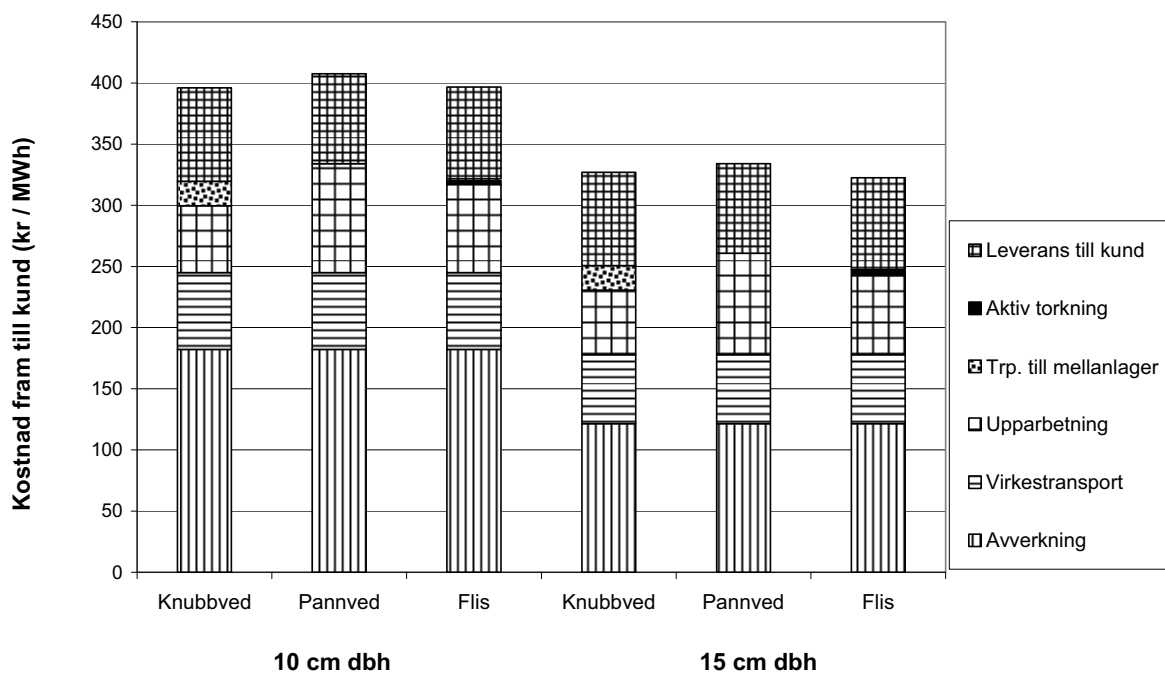
Eldningen stördes till en början av att lambdasonden inte fungerade, vilket löstes genom fasta inställningar av bränslematning, luftspjäll, panntemperatur och pannvattnets flöde. Vid nominellt

prov (ca 20 kW uttagen effekt) uppmättes stofthalten till 44 mg/ m³, CO till 151 mg/ m³ och OGC till 7 mg/ m³, dvs under kraven i svensk och europeisk standard för pannor som eldas med fasta bränslen (SS-EN-303-5).

Vid dellast (ca 30% av nominell effekt, dvs 6,5 kW) var det svårare att få en stabil förbränning. Halterna av CO₂ och CO varierade kraftigt. Effektregeringen svängde också kraftigt och gick ner till underhållsfyr, vilket efter ca 45 min ledde till bakåtbrand. Mätningen visade en stofhalt på 79 mg/ m³, CO-halt på 2590 mg/ m³ och OGC på 209 mg/ m³.

Analys av lokalt och småskaligt system för knubbved

Kostnaden fram till kund beräknades bli något lägre för knubbved och flis än för konventionell pannved. Skillnaden är dock inte så stor beroende på att flera arbetsmoment var lika eller nästan lika för de tre alternativen. Avverkning i skogen och transport från skog till det ställe där veden upparbetades var t ex lika och stod för 50-60 % av totala kostnaden. Transport till kund, som skedde med liknade förutsättningar för de tre sortimenten, stod för ytterligare ca 20% av totalkostnaden. Däremot visade sig virkesgrovleken ha stor betydelse (se figur 12).



Figur 12. Kostnad för knubbved, pannved och flis levererat hos kund vid olika virkesdiameter.

Den stora skillnaden i arbetsinsats är hos kund. Pannved som tippats av hos kund brukar först läggas upp i en vedtrave och sedan bäras in i ett mindre vedlager i eller intill pannrummet. Knubbved som levereras i storsäck på lastpall behöver inte lastas om innan den ska eldas. Det behövs endast någon form av nederbördsskydd i form av ett enkelt tak, men inte väggar. Om knubbveden ska satseldas på samma sätt som konventionell pannved, så kan den lastas från storsäck till skottkärra med en grep och köras till pannan. Fliseldning är betydligt enklare att automatisera p.g.a. den mindre bitstorleken och här finns redan etablerade system för t.ex. mekanisk transport mellan flis-lager och panna. Arbetsinsatsen inskränker sig till översyn av anläggningen, service och ev. reparationer. Knubbved har i många avseenden liknande egenskaper som flis och därmed bör det vara möjligt att automatisera matningen av knubbved mellan förråd och panna på samma sätt som för flis.

Diskussion

Torkning av knubbved under lagring

Förutsättningen för torkning var mycket god under torkstudien med många soldagar, hög temperatur och i stort sett ingen nederbörd i början av studien. Fukthalten som uppmättes i knubbveden i början av juni pekar på att materialet är lättorkat. Under juni månad föll en del nederbörd som återfuktade veden och vid slutet av mätperioden var fukthalten något högre än i den kluvna pannveden. Detta pekar på att knubbveden med stor sannolikhet, förutom att den torkar lätt, även återfuktas lätt i samband med nederbörd. Om knubbveden hade förvarats under tak eller förflyttats inomhus innan regnen är det troligt att den bibehållit sin låga fukthalt, eller i varje fall hållit en lägre fukthalt än den kluvna pannveden vid inledningen av årets eldningssäsong.

Resultaten stämmer väl överens med tidigare forskning där studier i Finland, Sverige, Norge och USA visade att knubbved som lagrades i 3 – 15 m³ stora nätbehållare med nederbördsskydd självtorkade under sommaren betydligt bättre och snabbare än flis (Gislerud, 1990). Däremot torkar inte knubbved lika bra i stora högar (Nilsson, 1987) eller i storsäckar med tät väv (Svartström och Adolfsson, 1991). Det är alltså viktigt med en luftig lagring för att få en god självtorkning av knubbveden.

Proveldning av knubbved i konventionell vedpanna

Proveldning i de två pannorna visade att det efter intrimning eller mindre modifiering av primärluftstillförseln går att elda knubbved i en konventionell vedpanna med emissioner som motsvarar de man får vid eldning av konventionell pannved.

Förbränningen av knubbved föreföll att fungera bra i pannan Gasell Quick-Up som var intrimmad för konventionell pannved. Halten av kolmonoxid varierade dock relativt kraftigt under förbränningen, vilket sannolikt beror på en felaktig luftinblandning. En trimning av pannan till eldning av knubbved hade troligtvis behövts för att få något stabilare värden. En fördel med knubbveden är att den inte hänger sig i pannan, vilket kan inträffa vid eldning av krokig pannved av konventionell typ (0,5 m). Rostergenomfall av oförbränt material var inte större vid eldning av knubbved än vid eldning av konventionell pannved. På den här panntypen, med brännkammaren under vedmagasinet, har dock rostergenomfall ingen större betydelse.

Den modifierade vedpannan, Solo Innova, eldades med olika inställning på eldstadsvolym och primärlufttillförsel för att se om effekten kan minskas med bibehållet låga emissioner i rökgaserna. Eldning av knubbved i pannan före modifiering gav höga utsläpp. När primärlufttillförseln flyttades blev förbränningen bättre. Då gick det även att minska vedförbrukningen per timme till 53% av det pannvedsalternativ som hade högst förbrukning per timme, utan höga emissioner i rökgaserna. Stofthalten i rökgaserna från eldning av knubbved varierade mycket, från 6 till 63 mg/ m³. Sammantaget fanns det dock inga klara samband mellan emissioner och typ av bränsle.

Proveldning av knubbved i panna med automatisk bränslematning

Matningen av knubbved från bränslebehållare till panna fungerade med undantag av ett stopp då flera knubbvedsbitar fastnade mellan matarskruv och utmatningshålet i behållaren. Troligen kan denna typ av stopp undvikas med kraftigare skruv och/eller att motorn backar något varv vid stopp innan den fortsätter att mata. En annan möjlig lösning är att vassa skruven där bitar kan fastna. Eldningen fungerade bra vid ca 20 kW effektuttag, men sämre vid ca 6,5 kW. Detta tyder på att pannan kräver ett större effektuttag än vad som är vanligt för villor. En möjlig lösning är att elda

mot ackumulatortank vid hög effekt och låta pannan slockna när ackumulatortanken är tillräckligt varm och starta panna med eltändare när det behövs mer värme. Om svårigheten med eldning vid låg effekt beror på att bitarna är större än pannan är byggd för, så skulle en lösning kunna vara att sönderdela knubbveden till flis före matning till panna, t ex med en skruv liknande den som finns i Laimet PS-10 som gör 10-15 mm lång flis (Laimets hemsida), men nedväxlad så att den inte behöver hög effekt. Om det fungerar löser man ett inmatningsproblem och får dessutom bränsleflis som det finns flera decenniers erfarenhet av att elda i villaskala.

Automatisk eldning av knubbved fungerar troligen bättre i något större skala än villapanna, t ex i panncentraler eller närvärmeverk från ca 200 kW till någon MW. Den testade pannan finns i modeller upp till 120 kW och med bränslebehållare upp till 10 m³ (NOJ:s hemsida). Tyvärr fann vi inte på marknaden pannor i denna skala som är byggda för knubbved. Knubbved bör vara ett intressant bränsle i briketteldade eldningsanläggningar, eftersom briketter är något större än knubbvedsbitar. En skillnad är dock att briketter lättare faller sönder i mindre bitar. Detta bör inte vara ett stort problem att lösa eftersom t.o.m. den lilla testade 30 kW-pannan klarade att mata knubbved.

Analys av lokalt och småskaligt system för knubbved

Det finns för- och nackdelar med de olika bränslesortimenten. Konventionell pannved kan tillverkas, hanteras och lagras för eget bränslebehov med mycket enkla redskap och små investeringskostnader. För en mer affärsmässig produktion krävs att man investerar i en vedmaskin med hög produktionskapacitet och ett minimum av manuella arbetsinsatser. Idag finns flera sådana maskiner på den svenska marknaden till varierande priser och med olika tekniska lösningar för kapning och klyvning av veden. En nackdel med ved är att det bildas mycket skräp i samband med upparbetningen och i de fall kapningen sker med sågkedja får man räkna med en relativt stor spånproduktion som det kan vara svårt att få avsättning för (i beräkningsexemplet har inget volymavdrag gjorts för detta). För maximal effektivitet måste sågkedjan slipas med jämna mellanrum. Kedjan är också, på samma sätt som en flishugg, känslig för föroreningar i veden såsom grus, spik och övrigt metallskrot. Till de lite mer avancerade maskinerna finns i regel tillsatsutrustning som underlättar arbetet och förbättrar arbetsergonomin, t.ex. hydraulisk stocklyft, stockbord och vedtransportör. Av en studie genomförd av Statens Maskinprovningar (Etting, 2002) framgår att vedens kvalitet kan variera beroende på om den klipps eller kapas med sågsvärd. Enligt studien får ved som framställs genom samtidigt klipp och skruvrörelse ett grovt kapsnitt och en sämre klyvning än ved som kapas med klinga eller sågkedja och där klyvningen sker i en separat klyv. Den stora nackdelen med konventionell pannved är att den kräver stor manuell arbetsinsats eftersom veden normalt styckehanteras i flera led hos vedkunden (travning av ved i vedbod, förflyttning av ved till pannrum och iläggning av ved i pannan).

Flis kan, som tidigare nämnts, framställas av okvistade träd vilket är tidsbesparande vid den motormanuella avverkningen. Lastning av träden på griplastarvagn försvåras dock och träden måste kapas i längder som är hanterbara vid lastningen. Kvaliteten på flisen blir mycket sämre än flis från kvistade stammar och kan medföra driftsstörningar i eldningsanläggningen. Dessutom gynnas tillväxten av mikrobiella organismer och risken att drabbas av allergiska reaktioner (fliseldarsjukan) ökar vid hanteringen av sådan flis, även om flisen torkas. Ett alternativ till att transportera hem de okvistade träden till gården för upparbetning, kan vara att flisa träden direkt i beståndet, men det kräver bra terrängförhållanden eftersom ett flisekipage (traktor med vagn) har sämre framkomlighet än en traktor med griplastarvagn. Risken för skador på kvarstående bestånd är sannolikt också mycket större än vid uttransport av stamdelar med griplastarvagn. Fördelen med flis är att eldningen kan automatiseras efter det att förugnen eller stokern fyllts på. Eftersom flisen bulkhanteras finns också möjlighet att automatisera flödet från förråd till eldningsutrustningen (förugn/stoker), men det kräver sannolikt övervakning pga. brandrisken. En nackdel med flis är risken med mögelbildning vid felaktig lagring/hantering.

Små- eller mellanskalig produktion, hantering och eldning av knubbved är dåligt undersökt. Tidigare studier pekar på att maskinkapaciteten är mycket hög på den typ av sönderdelningsutrustning som finns på marknaden (se bilaga 1). Vi har bedömt att prestationen vid huggning av knubbved begränsas av att man inte hinner med att mata huggen lika snabbt som veden sönderdelas i huggen. Därför har prestationen i denna analys antagits vara endast något högre än vid konventionell flisning.

Knubbved har visat sig torka mycket bättre än konventionell pannved, troligen p.g.a. att den spjälkas i tunna bitar i samband med sönderdelningen. En förutsättning här är dock att knubbveden lagras i luftiga behållare med storlek upp till ca 15 m³. Studierna pekar också på att knubbveden återfuktas lättare än konventionell pannved, vilket innebär att den bör in under tak så fort den har torkat eller att man förser veden med tak redan i samband med upparbetningen av veden. Jämfört med konventionell pannved, som normalt styckehanteras från leverans, via vedbod och till panna, kan knubbveden bulkhanteras, vilket bör vara mindre arbetskrävande än styckehantering.

I beräkningsexemplet har valts att hugga knubbveden direkt i storsäckar där den får självtorka under lagring och att storsäcken är hanteringsenhet vid leverans och lagring hos kund. Studier inom projektet har visat att omlastning av veden från säck till skottkärra, hinkar, plastback etc. går mycket bra att genomföra med en grep. Det går också bra med en skyffel om veden ligger på ett plant golv och lastningen sker ”underifrån” (i högre nivåer av vedstacken är skyffeln mindre bra eftersom det är svårt och tidsödande att fylla den).

Ett alternativ till ett retursäcksystem är större nätkassar. Tidigare studier av självtorkning under lagring har visat goda resultat i nätkassar upp till ca 15 m³ (Gislerud, 1990). Figur 13 visar en 5 m³ nätkasse för torkning, lagring och distribution av pannved. Man kan också välja bulkhantering av knubbveden på samma sätt som flis, där knubbveden tippas direkt i en ”flisficka” som ligger i anslutning till pannrummet och där veden matas till pannan via en skruvtransportör, eller matas till ett ”veckoförråd” i pannrummet och därifrån till pannan via skyffel. Ett annat alternativ skulle kunna vara ett system som bygger på en transportabel ”vedbod” som ställs av vid bränslekunden och tas i retur vid nästa leverans.



*Figur 13. Nätkasse för torkning, lagring och distribution av ved som används av Veinge Trä och som rymmer 5 m³.
(Foto: J E Mattsson)*

Till fördelarna med knubbved hör att eldningen kan automatiseras på motsvarande sätt som vid fliseldning. Risken för mögelbildning bedöms vara mycket mindre för knubbved än för flis, men i projektet har inga studier genomförts som kan bekräfta detta. Till nackdelarna hör att knubbved troligtvis ”skräpar ner” mer än konventionell pannved.

Om knubbveden ska eldas i större skala än villanivå, så är troligen storsäckarna för små för att vara intressanta som lagrings- och leveransenhet. Om man vill uppnå självtorkning under lagring, så kan 5 – 15 m³ nätkassar var intressanta. Annars får man satsa på aktiv torkning eller eldning av knubbved med högre och eventuellt varierande fukthalt.

Slutsatser

- Knubbved kan produceras med lägre effekt- och energibehov än bränsleflis.
- Knubbved går att producera och leverera i liten skala till en kostnad som är lägre eller i nivå med kostnaden för bränsleflis och konventionell pannved.
- Knubbved kan eldas i småpannor (< 50 kW), satsvis som ved såväl automatiskt som bränsleflis.
- Luftiga storsäckar för ved kan vara en rationell hanteringsenhet från produktion, via torkning under lagring, leverans och till och med lagring hos kund. Däremot finns det ingen billig och tillförlitlig utrustning för det sista steget från storsäck till panna.
- Knubbved kan i likhet med flis hanteras som ett bulk gods och eldas automatiskt, men det finns fortfarande frågetecken om det är ett tekniskt och ekonomiskt moget system för småpannor.
- Knubbved, i likhet med pannved och bränsleflis, kräver mycket större lager än t ex träpellets.
- Knubbved kan eldas automatiskt i en 30 kW panna. Därmed bör den även kunna eldas i något större pannor, t ex sådana som nu eldas med briketter. Detta är dock inte testat inom projektet.

Fortsatt FoU bör dels inriktas mot återstående frågetecken för villaskala, dels mot demonstration av system för knubbved i panncentraler och närvärmeverk. För villaskala gäller det att finna enkla och billiga lösningar för hantering av knubbved från leverans till panna, vilket bör vara lättare att lösa än för konventionell pannved. Det ingick inte i projektet att utveckla ny teknik eller utrustning för eldning av knubbved. Provedningen och analysen av hela system visar att det som behöver utvecklas för en bekväm, dvs. mindre arbetskrävande, eldning med knubbved i villaskala är hanteringen av knubbved från leverans till pannan och inmatning i densamma. Den förhållandevis lyckade provedningen i den automatiskt matade pannan tyder på att kraftiga och kanske vassa skruvar kan vara lösningen. Andra lösningar kan vara skrapor och stångmatare. Kanske kan en vass och långsamgående skruv med liten stigning sönderdela knubbveden till flis i samband med matning till pannan, men det är risk att knubbvedsbitarna ställer sig på tvären i skruven istället för att kapas i fiberriktningen.

För panncentraler och närvärmeverk krävs troligen ingen ny teknik, möjligtvis smärre modifieringar. För att kunna elda större knubbved än den testade med ca 60 mm långa bitar, krävs troligen kraftigare matarskruv och eventuellt högre stigning. En förklaring att matarskruven i REFO-panna fungerar så bra som den gör kan vara att den inte har onödigt stor diameter, vilket skulle ha ställt större krav på axeln, och att den har successivt ökande stigning från bränslebehållaren till pannan, vilket dels gör att den fyller på bränsle under hela sträckan i behållaren och att det successivt blir mer plats för bränslebitarna i resten av skruven.

Inom projektet gjordes flera misslyckade försök att hitta en automatiskt matad panna i storlek mellan 200 och 1000 kW som redan använde så kallad ”grovflis”, dvs. knubbved. Det skulle vara intressant att testa och demonstrera eldning med knubbved i anläggningar som nu eldar briketter, dvs. ett bränsle med minst lika stor bitstorlek som knubbved. Eftersom briketter går sönder lättare än knubbved, så skulle det behövas ”riskpengar” om matarutrustningen inte tål knubbved.

Om man kommer upp i denna skala, så blir det också aktuellt att producera knubbveden med större maskiner. Det finns ”skruvhuggar” med betydligt högre kapacitet än den som vi räknat med i jämförelsen av småskaliga system för knubbved, flis och pannved (Laimets hemsida). Under 1980-talet provades flera andra maskinkoncept som kan vara intressanta.

För den som vill gå vidare med FoU av knubbved rekommenderas Danielssons (1990) utmärkta genomgång av resultaten från ett internationellt samarbetsprojekt om chunkwood, dvs. knubbved, som drevs under 1980-talet inom IEA Bioenergy Programme.

Referenser

Energimyndigheten (2010) Energiläget 2009.

Danielsson, B.-O. (1990) Chunkwood as wood fuel. Biomass 22. p. 211-228.

Gislerud, O. (1990) Drying and storage of comminuted wood fuels. Biomass 22, p 229-244.

Liss, J-E., 1987. Effektbehov och energiförbrukning vid produktion av bränsleflis med lantbrukstraktormonterade huggar. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för skogsteknik. Rapport nr 173.

Nilsson, T., 1987. Lagring av småved i mindre stackar. Sveriges lantbruksuniversitet. Inst. för virkeslära, Uppsala. Rapport nr 196.

Swartström, J. och Adolfsson, K., 1991. Leveranssystem för knubbved – Ett praktiskt test av idéer samt ekonomiska analyser. Sveriges lantbruksuniversitet, inst. för skogsteknik, Garpen-berg. Intern stencil nr 19.

Internet

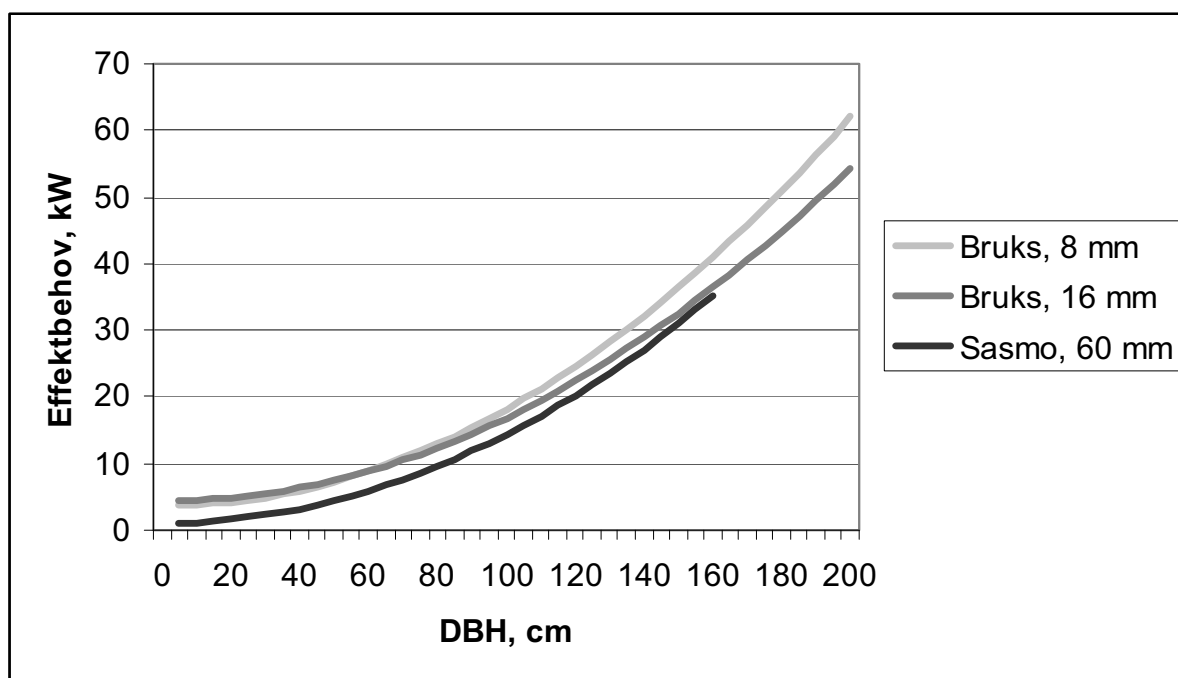
Laimets hemsida, <http://en.laimet.kummeli.fi/>, datum: 2010-08-05

NOJ hemsida, <http://www.noj.se/pdf/refo%20folder.pdf>, datum 2010-08-05

Bilaga 1. Maskinkapacitet, energi- och effektbehov vid sönderdelning

Jan-Erik Liss

Liss (1987) har i en jämförande studie undersökt effektbehov, energiförbrukning och maskinkapacitet för en konventionell flishugg (Bruks 722 MT Hydraul) och en skruvhugg (Sasmo HP 15L) av samma typ som användes för produktion av den knubbved som proveldades vid studien. Av undersökningen, där en stam matades åt gången, framgår att effektbehovet är marginellt lägre för skruvhuggen vid i övrigt samma förutsättningar angående varvtal, lufttemperatur osv.



Figur 1. Effektbehov för Bruks-huggen postad för 8 och 16 mm flis (konventionell flishugg) och Sasmo-huggen (60 mm knubbved) vid sönderdelning av kvistad gran (Liss 1987).

Sasmo-huggen tycks med fördel kunna köras på ett högre varvtal eftersom studien visar att effektbehovet ökar måttligt vid en varvtalshöjning från 540 till 700 r/min. Vid maximal virkesgrovlek (160 mm) ökade effektbehovet med 7,6 kW, från 35,1 kW (540 r/min) till 42,7 kW (700 r/min). Motsvarande ökning för Bruks-huggen postad för 8 mm flis blev 13 kW vid en veddiameter på 160 mm.

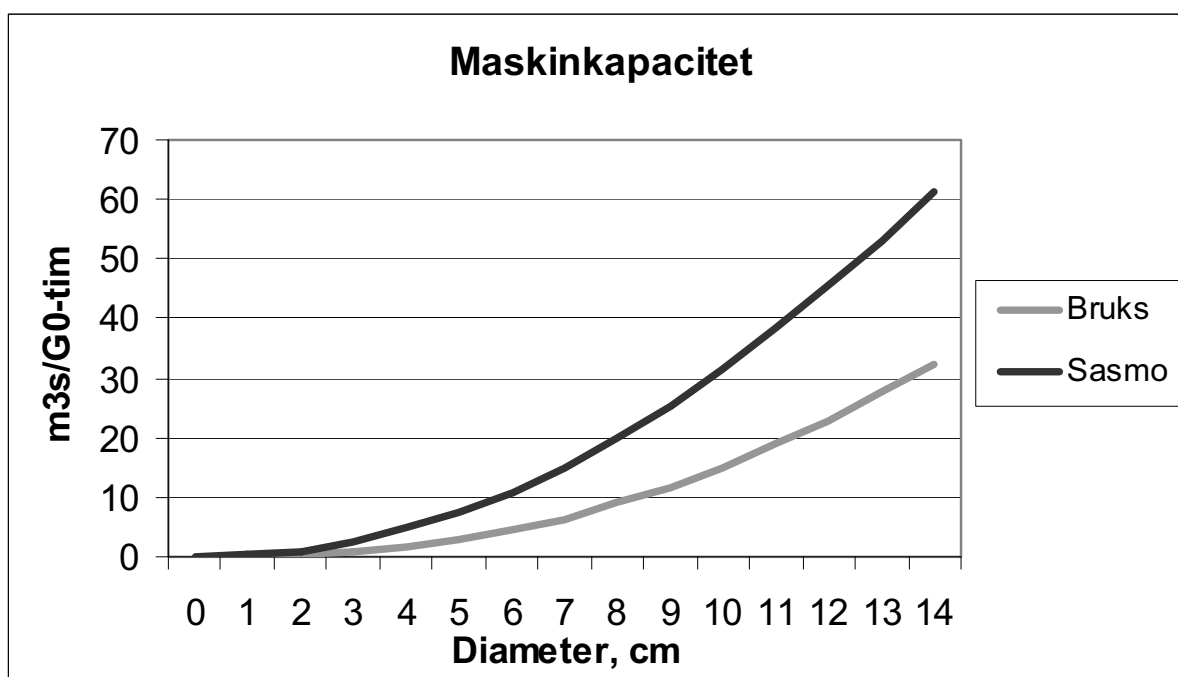
Energiförbrukningen var vid de genomförda studierna ungefär hälften så hög för Sasmo-huggen jämfört med Bruks-huggen (energiförbrukningen låg på 1,7 MJ/m³s för Sasmo-huggen och på 3,8 MJ/m³s för Bruks-huggen vid stamdiametern 100 mm). Studier på Bruks-huggen visar att energiförbrukningen var högre för fruset än för ofruset virke, att den var högre för torrt jämfört med rått virke och att den var ungefär dubbelt så hög vid flisning av hyggesrester jämfört med flisning av rundvirke. Motsvarande jämförelser mellan fruset och ofruset virke samt mellan hyggesrester och rundvirke genomfördes inte på Sasmo-huggen, men sannolikt råder samma förhållanden även här.

Att energiförbrukningen vid produktion av knubbved är lägre än vid produktion av konventionell flis har även visats i en amerikansk produktionsstudie genomförda med en "chunkwood machine" (Arola 1984). Energiförbrukningen vid framställning av knubbved blev här ca 2/3 lägre än vid

framställning av massavedsflis, dvs. en något lägre energiförbrukning än vad som framkom vid studien genomförd av Liss (1987).

I den tidigare nämnda studien (Liss 1987) genomfördes även studier på maskinkapaciteten. Vid undersökningen flisades 1 meter långa stamsegment av kvistad gran. Mätningen genomfördes i samband med tidigare nämnda studier på vridmomentet, varvid mätutrustningen kopplades till en trekanalig tidsintegrerande signalförstärkare där den löpande tiden bl.a. kunde avläsas från påslag till avslag. Datainsamlingen påbörjades när flisningen startade och avbröts när ca 75-85 % av stamsegmentet flisats.

Undersökningen visade att maskinkapaciteten var mycket högre vid produktion av knubbved jämfört med produktion av konventionell flis. Vid en stamdiameter på 5 cm låg produktionen på ca 10 m³/G0-tim för Sasmo-huggen, vilket kan jämföras med ca 5 m³/G0-tim för Bruks-huggen postad för en flislängd på 8 mm. Vid en stamdiameter på 10 cm uppmättes en produktion på ca 30 m³/G0-tim för Sasmo-huggen och ca 13 m³/G0-tim för Bruks-huggen vid en postad flislängd på 16 mm (vid en postad flislängd på 8 mm blev produktionen ca 3 m³/s lägre per G0-tim). Vid en stamdiameter på 16 cm låg prestationen på ca 60 m³/G0-tim för Sasmo-huggen och på ca 30 m³/G0-tim för Bruks-huggen (postad för 16 mm flis). Samtliga studier genomfördes med ett ingående varvtal på 540 r/min. De angivna maskinkapaciteterna får ses som teoretiska kapaciteter som knappast är möjliga att uppnå vid praktisk drift. Av tidigare studier (Liss 1984) framgår att flisningsarbetet är förenat med olika typer av kringarbeten, vilket innebär att huggen en stor del av tiden går på fullvarv utan att något virke passerar den.



Figur 2. Uppmätt maskinkapacitet vid flisning av ca 1 m långa stamsegment av kvistad gran.

I samband med den tidigare nämnda undersökningen av Liss (1987) studerades även bränslets fraktionssammansättning, vilken är en av flera viktiga parametrar för bedömning av bränslets kvalitet (fukthalt, värmevärde och föroreningsgrad är exempel på andra faktorer som påverkar kvaliteten). Undersökningen, vilken genomfördes i skaksåll, visade att andelen finfraktioner var betydligt lägre i den framställda knubbveden jämfört med konventionell flis (tabell 1).

Tabell 1. Fraktionsfördelning (torrviktprocent) i flis och småved producerad av kvistad gran med en medelstamdiameter på ca 7 – 10 cm

| Sålluppsättning: | BRUKS | | SASMO |
|------------------|------------------------|------------|----------------|
| | 8 mm flis | 16 mm flis | 60 mm knubbved |
| | Fraktionsfördelning, % | | |
| - plåt | 7 | 2 | 1 |
| - hålplåt, 3 mm | 40 | 18 | 3 |
| - hålplåt, 7 mm | 52 | 74 | 19 |
| - spalt, 15 mm | 1 | 6 | 31 |
| - hålplåt, 45 mm | 0 | 0 | 46 |

Undersökningar genomförda på flis producerad med Bruks-huggen visade att trädstammar med klenare diameter gav större andel finfraktioner än trädstammar av grövre diameter samt att fruset virke gav mer finfraktioner än ofruset virka. Sannolikt gäller detsamma för knubbved framställt med Sasmo-huggen.

Kvalitetsförändringar kan också ske i samband med lagring av flis och knubbved, främst p.g.a. en mikrobiell aktivitet som kan medföra hälsorisker vid hantering av bränslet. Nilsson (1987) har undersökt den mikrobiella aktiviteten i knubbved med en längd på 6-8 cm. Veden, som tillverkades av okvistade träddelar från ett förstagallringsbestånd (95 % barr), hade relativt stor spridning i längdled, stort innehåll av finfraktioner och hög fukthalt vid uppläggningsförsöket. Den genomsnittliga substansförlusten efter sex månaders lagring uppgick till 13,1 % vilket var högre än vid en motsvarande tidigare undersökning (Nilsson 1987a) genomförd på träddelar från lövträd. Nilsson anger att eftersom försöksledet saknar upprepning är resultatet inte fullt statistiskt tillförlitligt utan bör snarare ses som tendenser.

Referenser

Arola, A.R., 1984. Chunking related research – A proposal for a 3-5 year program of research. Opubl.

Liss, J-E., 1987. Effektbehov och energiförbrukning vid produktion av bränsleflis med lantbrukstraktormonterade huggar. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för skogsteknik. Rapport nr 173.

Nilsson, T., 1987. Lagring av småved i mindre stackar. Sveriges lantbruksuniversitet. Inst. för virkeslära, Uppsala. Rapport nr 196.

Bilaga 2. Torkning under lagring

Jan-Erik Liss

Knubbvedens självtorkning under lagring undersöktes i samband med avverkning av den första omgången försöksved. Studien pekar på att veden är mycket lättorkad, men att den också har en tendens att återfuktas relativt lätt i samband med nederbörd om den lagras under öppen himmel.

Råvaran för tillverkning av knubbveden bestod av kvistade stammar av björk och gran. Björkens diameter varierade mellan 7 och 16 cm i brösthöjd (medelvärde 10,6 cm) och granens diameter varierade mellan 9 och 16 cm i brösthöjd (medelvärde 13,2 cm). Knubbveden tillverkades med en uppberedningsanordning som liknade en giljotin (veden lades på en fast bottenplatta av stål varvid en ca 1 cm tjock och 30 cm bred kniv pressades med hjälp av hydraulik genom veden). Veden kapades i 5 cm längder, men smärre avvikelser från den vedlängden förekom.

I samband med avverkningen lastades veden på EU-pallar försedda med pallkragar. Volymen per pall var ca 1 m³s (1x1x1 m). Knubbveden lagrades under öppen himmel väl exponerad för sol och vind. Vid fukthaltsproven togs material från olika nivåer i pallarna och från ytterkanter till centrumdelen varefter ett medelvärde beräknades. Skillnaden mellan centrumdelen och ytterkanterna var i några pallar relativt stor. Fukthalten för varje delprov beräknades enligt gängse metod efter torkning i ugn vid temperaturen +105 °C.

Vid avverkningstidpunkten hade granveden en fukthalt på ca 63 % och björkveden en fukthalt på ca 51 %. I början av juni (3/6), drygt en månad efter avverkningen, hade knubbveden en fukthalt på ca 8 %, därefter steg fukthalten till ca 18-20 % i mitten av juni för att sedan ligga på en fukthalt strax under 20 % i slutet av juli. I samband med avverkningen gjordes också ett försök att mäta hur mycket vatten som försvinner i samband med uppberedningen av vedstammarna till knubbved. Studien pekar på att fukthalten hade minskat med ca 2 procentenheter i det aktuella fallet.

För att i någon mån kunna få en uppfattning om hur knubbveden torkar i förhållande till konventionell pannved (längd 0,5 m) lades ca 1 m³t med en blandning av kluven och okluven pannved av björk upp på en EU-pall som sedan lagrades på samma plats som knubbveden (exponerad för sol och vind). Veden avverkades samtidigt som knubbveden (28 april) och fukthalten kontrollerades vid 4 tillfällen under perioden 28 april till 28 juli. Eftersom pallen inte var försedd med pallkragar bedöms den konventionella pannveden ha fått en bättre exponering för sol och vind än pallarna med knubbved. Den kluvna veden lagrades med barken uppåt.

Fukthalten vid försöksstart (28 april) låg på 53 %. Nästa fukthaltsbestämning genomfördes den 21 maj och visade en fukthalt på ca 25 % i den kluvna veden och ca 38 % i den okluvna veden. Den kluvna veden hade alltså torkat ca 4 procentenheter bättre än knubbveden. Nästa fukthaltbestämning genomfördes i mitten av juni och även då var den kluvna pannveden något torrare än knubbveden, men betydligt högre än det lägsta värdet (ca 8 %) som uppmättes på knubbveden i början av juni. Vid sista mätningen, i slutet av juli, hade den kluvna pannveden en fukthalt på ca 14 %, vilket kan jämföras med en fukthalt på drygt 16 % hos knubbveden.

Förutsättningen för torkning var mycket god under vår- och försommarmånaderna under det aktuella året; med många soldagar, hög temperatur och i stort sett ingen nederbörd. Fukthalten som uppmättes i knubbveden i början av juni pekar på att materialet är lättorkat. Under juni månad föll en del nederbörd som återfuktade veden och vid slutet av mätperioden var fukthalten något högre än i den kluvna pannveden. Detta pekar på att knubbveden med stor sannolikhet, förutom att den torkar lätt, även återfuktas lätt i samband med nederbörd. Om knubbveden hade takats eller körts in i

vedförråd innan juni månads utgång är det troligt att den bibehållit sin låga fukthalt, eller i varje fall hållit en lägre fukthalt än den kluvna pannveden vid inledningen av årets eldningssäsong.

Jämförelse med tidigare torknings och lagringsstudier på knubbved

Även om ett antal torknings- och lagringsstudier genomförts tidigare på knubbved är dessa studier inte direkt jämförbara med den nu genomförda studien, främst p.g.a. skillnader beträffande vedråvaran, vedens sammansättning, vedlängden och vedstackarnas storlek. Övriga förutsättningar som t.ex. torktidpunkt och lagringstider skiljer sig också mellan de olika studierna. Vissa av de tidigare genomförda studierna uppvisade betydligt sämre torkresultat efter lagring jämfört med den nu genomförda studien. En anledning till detta torde vara att flera av de tidigare försöken genomfördes på stora vedstackar med hög andel finfraktioner vilket gjorde stackarna kompakta och därmed minskade förutsättningen för en god luftgenomströmning. Bättre resultat erhöles när knubbveden lagrades i nätkassar som tillät en god ventilation.

Fredrikson och Rutegård (1985) har genomfört lagringsstudier på knubbved (100 mm) och bränsleflis (30 mm) tillverkat av hyggesrester från gran (75 %) och tall (25 %). Man fann att temperaturstegringen och substansförlusterna var lägre vid lagring av knubbved. Däremot kunde man inte påvisa någon skillnad i nedtorkning mellan de båda bränsletyperna, trots att man i tidigare pilotstudier noterat en bättre luftgenomströmning och därigenom en bättre torkning av knubbveden.

Nilsson (1987) har på motsvarande sätt genomfört en lagringsstudie på knubbved (100 mm) och flis (30 mm) av lövträd. Undersökningen omfattade lagring i silo med kallluftstork, i stack och i nätbinge. En betydligt lägre temperaturstegring noterades för knubbveden i stackarna och bingarna. Knubbveden som lagrades i bingen hade ca 10 procentenheter lägre fukthalt än flisen. Energiförlusterna var lägre för knubbveden jämfört med bränsleflisen, såväl i stackarna som i bingarna (i bingen med knubbved noterades 4 % högre energiinnehåll efter lagringen). Nettoenergiförändringen i silorna med kallluftstorkning var positiv för båda bränsletyperna, +7,0 % för knubbveden och +3,2 % för flisen. Efter lagringen var både totala antalet mikrosvampsporer och totala antalet groende mikrosvampsporer lägre i knubbveden än i flisen.

Nilsson (1987) har undersökt fukthaltsförändringar vid lagring av knubbved med en medellängd på 60 – 80 mm. Vedråvaran utgjordes av okvistade träddelar från ett förstagallringsbestånd där uttaget till 95 % bestod av barrträd. Vedstackens storlek var 55 m³s och lagringen skedde under öppen himmel. Substans- och energiförlusterna var i förhållande till en tidigare undersökning (Nilsson 1987a) höga beroende på att det lagrade materialet innehöll en hög andel näringsrika och lättnedbrytbara komponenter (13 %) bestående av främst barr. Nilsson anger att luftgenomströmningen försämrades p.g.a. en stor mängd finfraktioner vilket gjorde vedstacken kompakt. Fukthalten i materialet var 47,8 % vid uppläggningsen av försöket (juni) och 43,5 % när försöket avbröts efter 6 månaders lagring (december). Fukthalten var dock betydligt lägre i de centrala delarna (24-30 %) jämfört med de yttre delarna av stacken. Nilssons slutsats av försöket är att materialets torkningsbenägenhet troligtvis i högre grad beror på skogsbränslets ursprung (träddelar, hyggesrester eller enbart stamved) och i mindre grad av bitstorleken (flis, småved, pannved etc.).

Swartström och Adolfsson (1991) har undersökt leveranssystem för knubbved, där bl.a. torkning i säck studerades. Som råvara till bränslet användes frusen björkmassaved och ”slarvkvistad” granmassaved som sönderdelades till knubbved i en experimentmaskin (chunker) som med hjälp av ett hydrauliskt drivet matarverk matar in stockarna mellan två knivförsedda svänghjul som roterar i motsatta riktningar. Knubbveden, med en maximal längd på ca 8 – 10 cm, samlades upp i tre säcktyper av olika material som var och en rymde 3,4 m³. En av de undersökta säcktyperna (skyddsvävsäck) visade sig vara alltför svag och brast vid särskilt belastade punkter. I övriga två säcktyper (storsäck och containervävsäck) undersöktes torkning av den framställda knubbveden.

Storsäckarna, som hade begränsad luftväxling eftersom väven var relativt tät, fylldes med knubbved av björk på senhösten 1989 och containersäckarna fylldes med knubbved av gran i maj 1990. Säckarna travades på varandra i närheten av värmeanläggningen (det framgår inte av rapporten hur många säckar som travades på varandra, ej heller i vilken grad lagringsplatsen exponerats för sol och vind). Fukthaltsprover togs på tre ställen i säckarna (upptill, i mitten och nedtill) i slutet av september 1990. Undersökningen visade att knappast någon uttorkning alls skett i storsäckarna. Prover visade en medelfukthalt på 44 % efter ca 1 års lagring. I nätsäckarna uppmättes en medelfukthalt på 33 % efter ca 5 månaders lagring.

Studier i Sverige, Finland, Norge och USA har visat att man får betydligt bättre torkning under lagring av knubbved i behållare (3-15 m³ volym) som har tak och nät eller spalter i botten och väggar som underlättar ventilation (Gislerud, 1990). Knubbved som lagras i sådana behållare torkar från ca 50% fukthalt till ca 20% ungefär dubbelt så snabbt som flis och med mindre torrsbstansförlust. I en studie där även okluven 150 mm lång stamved ingick torkade knubbveden snabbare. Detta stämmer väl med resultaten från vår studie av torkning under lagring på EU-lastpall med pallkragar. Mot denna bakgrund bör ett småskaligt system för knubbved från skog till värme bygga på att knubbveden lagras i någon form av behållare där sidor och botten underlättar ventilation. För att undvika återfuktning vid nederbörd bör behållarna ha någon form av regnskydd.

Referenser

Fredrikson, H. & Rutegård, G., 1985. Lagring av småved och bränsleflis I bing. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för virkeslära. Uppsats nr 151.

Gislerud, O. (1990) Drying and storage of comminuted wood fuels. Biomass 22, p 229-244.

Nilsson, T., 1987. Lagring av småved i mindre stackar. Sveriges lantbruksuniversitet. Inst. för virkeslära, Uppsala. Rapport nr 196.

Swartström, J. och Adolfsson, K., 1991. Leveranssystem för knubbved – Ett praktiskt test av idéer samt ekonomiska analyser. Sveriges lantbruksuniversitet, inst. för skogsteknik, Garpenberg. Intern stencil nr 19.

Bilaga 3. Provedning i modifierad vedpanna

Denna bilaga är ett utdrag ur Bilaga B i ETC rapport 2010-30 ”Konstruktiva förbättringar och begränsningar för miljövänlig direkteldad vedpanna”. Utdraget är koncentrerat till provedning av knubbved som gjordes som ett samarbete mellan ETC-projektet *Konstruktiva förbättringar och begränsningar för miljövänlig direkteldad vedpanna* och projekt *Styckeved för småskalig eldning*. Den fullständiga rapporten kan beställas från ETC (Energitekniskt centrum), Piteå, e-post: info@etcpitea.se

Bilaga B: Direkteldad vedpanna – en experimentell studie

Joel Leffler och Hassan Salman
Energitekniskt centrum i Piteå (ETC)
Box 726, 941 28 Piteå
Tel.: +46-911-23 23 80

B1. Inledning

B1.1. Bakgrund

Biobränslen har under de senaste åren allt mer framkommit som en möjlig ersättare till oljeeldning. Främst på grund av att kolet i träet har ett naturligt kretslopp vilket gör att det som förbränns även tas upp av växande träd. Även det faktum att biobränslen kan produceras lokalt vilket minskar transporterna och skapa nya arbetstillfällen har bidragit till den ökande populariteten.

Med ett ökat intresse kommer även ökande krav från myndigheter, dels att pannornas effektivitet skall öka men även också att halterna av utsläpp i rökgasen skall minska. Effektiviteten är viktig för att man ska kunna utnyttja energin som finns i veden och att man inte ”eldar åt kråkorna” dvs bara släpper ut energi till luften. Utsläpp av farliga ämnen såsom tungmetaller eller kväveoxider påverkar vår närmiljö och är i värsta fall skadligt och sjukdomsframkallande.

Vanligtvis finns det vid satsvis eldning av ved i en traditionell vedpanna tre olika förbränningsstadier, kontinuerliga förbränningsstadiet, antändningsstadiet och glödstadiet. Det är vid de två senare nämnda stadierna som det mesta av utsläppen sker. För att minska tiden som förbränningen befinner sig i dessa stadier och även för att få ett mer kontrollerat förlopp kan olika tekniker användas.

En av dessa tekniker är att använda sig av en lamdasond för att kunna styra förbränning med hjälp av syrehalten i rökgaserna. Med hjälp av syrehalten ska man teoretiskt kunna styra förbränningen genom att reglera spjäll som sitter vid primär och sekundärluft men även genom att reglera en eventuell rökgasfläkt.

B1.2. Syfte

Projektet syftar till att undersöka konstruktiva åtgärder som möjliggör att elda en panna kontinuerligt mot värmebehovet och vilka begränsningar som finnes för detta. Samtidigt skall halter av kolmonoxid, kväveoxider, koldioxid, total mängd kolväten samt stofmängd mätas för att se vilken effekt dessa förändringar har på utsläpp från pannan.

B2. Experimentell teori och analysutrustning

B2.1. Ursprunglig experimentplan

Enligt den ursprungliga arbetsplanen skulle ett antal eldningar utföras enligt tidigare överenskomna parametrar, dessa överenskomna parametrar var förvärmning, vertikalt placerad ved, ändrad placering av primärluften och minskad Primärkammervolym.

Tabell B1: Ursprunglig tabell för laborationsgenomförandet

| Testnr | Vedstorlek | Parameter | Notis |
|----------|------------|--|-------------------------|
| 1 | 35 | | Nollpunkt / 100% effekt |
| 2 | 35 | | Nollpunkt / 30% effekt |
| 3 | 35 | Varm luft (100°C) | 30% effekt |
| 4 | 35 | Vertikal ved | 30% effekt |
| 5 | 35 | Minskad Primärkammervolym till 50% | 30% effekt |
| 6 | 35 | Minskad Primärkammervolym till 50%, varmluft | 30% effekt |
| 7 | 35 | Minskad Primärkammervolym till 50%, varmluft, vertikal ved | |
| Knubbved | | | |
| 8 | 35 | | |
| 9 | 35 | | Nollpunkt / 30% effekt |
| 10 | 35 | Varm luft (100°C) | 30% effekt |
| 11 | 35 | Minskad Primärkammervolym till 50% | 30% effekt |
| 12 | 35 | Minskad Primärkammervolym till 50%, varmluft | 30% effekt |

B2.2. Förbränning

Vid fullständig förbränning av ett ämne bildas koldioxid av kol som finns bundet i bränslet vilket reagerar med luften, även andra oxider kan bildas beroende på vad för ämnen det finns i bränslet. Även andra ämnen kan bildas men det i mindre kvantiteter. Då mycket av eldningen sker lokalt i mindre förbränningsanordningar sker eldningen inte kontinuerligt, uppvärmningsfasen då pannan värms upp och nedkylningsfasen då pannan svalnar är exempel på förbränning som är långtifrån komplett. I och med att förbränningen sker under dåliga förhållanden kommer det även att bildas ämnen som är delvis oxiderade så som kolmonoxid och även ämnen som inte förbränts över huvud taget.

B2.3. Effektivitet

Effektiviteten är ett mått på hur stor del av energin i bränslet som utnyttjats till att höja vattnets värme och därmed energi. Förluster av energi sker i hela uppvärmningskedjan från ofullständig förbränning till dålig värmeöverföring i värmeväxlaren och förluster vid ledningar och kärl. För att mäta effektiviteten måste man veta fukthalten i bränslet och bestämma den effektiva energin som träet kan avge H_i tillsammans med graden av uppvärmning av tillflödesvattnet.

B2.4. Stoftpartiklar

Ej förbrända fasta ämnen kallas för stoftpartiklar och är i grunden kortare kolkedjor samt monoatomära och diatomära atomer. Under dåliga förhållanden bildas sot genom en process i flera steg. Först sker en nedbrytning av bränslet till alkyner. Dessa polymeriseras sedan till polyaromatiska kolväten (PAH). Därefter kondenseras partiklarna och förlorar ytterligare väte, för att slutligen agglomeras till sotpartiklar. Då sot kan förekomma som mycket små partiklar ($<1\mu\text{m}$) anses det kunna leda till cancer i lungorna då de är tillräckligt små för att kunna upptas av lungornas alveoler.

B2.5. Kväveoxider

Förutom sot bildas det även nitrösa gaser då kvävet och syret reagerar med varandra under hög temperatur. Denna reaktion är endotermisk och sker inte under standardförhållanden men i om att förbränningen producerar energi och temperaturen höjs kan dessa bildas. Nitrösa gaser är ofta mycket reaktiva och irriterar lungorna samtidigt som de kan vara giftiga vid högre koncentrationer.

B2.6. Kolmonoxid

Kolmonoxid bildas vid ofullständig förbränning av kolhaltigt material och är en vanlig biprodukt av småskaligt eldande. Kolmonoxid är en färglös, luktlös gas. Den är väldigt giftig på grund av att den har 300 gånger högre affinitet till syre än hemoglobin. Det vill säga att även vid låga koncentrationer av kolmonoxid i luften kan kroppens förmåga att ta upp luft upphöra.

B2.7. Analysutrustning

Följande mätinstrument har använts under de försök som genomfördes.

- Fid: användes till att mäta halten oförbrända kolväten i rökgaserna
- CED: användes till att mäta halten kväveoxider i rökgaserna
- NDIR: användes till att mäta halten koldioxid och kolmonoxid i rökgaserna.
- Stoftprovtagningsrigg: användes till att mäta mängden stoft i rökgaserna.

B2.7.1. NDIR (Non Dispersive Infrared Sensor)

Gasen passerar först igenom en cell där den bestrålas med infrarött ljus. Då gasen består av olika föreningar kommer den att absorbera det infraröda ljuset vid olika våglängder, IR-ljuset leds sedan mot en detektor. Detektorn har ett optiskt filter som filtrerar bort de våglängder förutom de som man är intresserad av. Det vill säga att man i förväg måste veta vid vilken våglängd som olika ämnen absorberar infrarött ljus. En större absorption av det infraröda ljuset ger en högre koncentration av det undersökta ämnet.

B2.7.2. FID (Flame Ionization Detector)

En FID används i huvudsak till att detektera halten organiska föreningar. Till exempel har FID använts till att undersöka organiska föreningar såsom proteiner och olika läkemedel. I en FID blandas gasen med vätgas och förbränns sedan med ett oxiderande ämne (luft). Då förbränningen sker kommer positiva joner och elektroner. Två elektroder används till att detektera dessa joner. En negativ elektrod som agerar insamlare till elektroner och attraherar dem till sig vilket skapar en spänning till den positivt laddade elektroden. Denna spänning mäts sedan med en hög-impedans picoameter. Data från picoametern processas sedan och visas på en vanlig datorskärm. Strömmen visar mängden icke reducerat kol i flammen.

Att tänka på är att oxiderade eller delvis oxiderade ämnen skickar en svagare signal än ett icke oxiderat ämne. Detta iom att ett oxiderat ämne inte är lika effektivt joniserat som ett icke oxiderat ämne. Funktionella grupper såsom karbonyler, alkoholer, halogener och aminer är källor till dessa oxiderade kol, vilket ibland gör att det kan vara svårt att få med en tillräckligt stor mängd joner. En annan nackdel är att provet blir förstört efter provtagning, detta gör att FID är det sista steget i en serie av detektorer. FID har också en rad fördelar jämfört mot andra analysmetoder. FID är okänsligt jämfört mot H₂O, CO₂, CS₂, SO₂, CO, NO_x och andra ädelgaser iom att dessa inte kan anta en oxiderad form av lågan. Detta gör att man kan använda denna metod även om det skulle finnas spår av luft eller andra gasblandningar. FID är ett relativt tåligt instrument som kan användas för att räkna ut parametrar som möjliggör användandet av andra instrument utan att dessa skadas.

B2.7.3. Kemiluminiscensdetektor

När två ämnen reagerar med varandra kan det ibland inträffa att produkten som bildas upphöjs till ett exciterat tillstånd. Detta tillstånd är instabilt och ämnet kommer senare att återgå till ett ej exciterat tillstånd vilket resulterar i att ett överskott av energi. Skillnaden i energi mellan tillstånden kommer att göra att molekylerna vibrerar och avsänder en viss mängd ljus. Detta ljus är möjligt att mäta med en IR-detektor. Denna princip kan användas till att mäta innehållet av kväveoxider i luft. I det första steget tas luft in från omgivningen till en ozongenerator, där reagerar kväveoxiden med ozonet och bildar kvävedioxid. Ungefär 20% av kvävedioxiden övergår till ett exciterat tillstånd som sedan skickar iväg infrarött ljus. Denna ljusstyrka mäts sedan och korreleras mot motsvarande mängd kolmonoxid. Samt multipliceras med en faktor av fem.

B2.7.4. Stoftprovtagning

Provtagningen genomfördes under tre tillfällen under eldningen och användes sedan till att uppskatta ett genomsnitt. Under tiden att den första laddningen brann ut uppskattades provtagningstiden. Med det i åtanke sattes intervallet för att det skulle vara så länge mellan askprovtagningarna som möjligt inom ramen för experimenttiden. För att ta stoftprover från pannan användes en stoftprovtagningsrigg. Riggen bestod av en provtagningsprob, filterhållare (90mm dubbla filter) med inbyggt termoelement, torkenhet (silicagel), nålventil (flödesstyrning), pump, rotameter (flödesmätning), gasur (se figur 1).

Stoftmätningarna utfördes med 90mm glasfiberfilter (Munktell MG 160), dessa torkades för att avlägsna eventuellt vatten och lämnades sedan att svalka så att de ej skulle kunna påverka en vägning genom att värme överfördes till vågen. Efter det att filtrerna svalnat vägdes dessa och användes till experimentet. Efter experimentet upprepades torkningen och vägningen.



Figur B1: Filterhållare med varmluftspistol samt provtagningsfilter

2.8. Förbränningsdynamik

Förbränning i en traditionell kamin kan man dela in i tre stadier, de kallas (i) antändningsstadiet (ii) förbränningsstadiet och (iii) glödstadiet.

Under antändningstadiet antänds bränslet med hjälp av en värmekälla exempelvis glöd från en glödbädd. Antändningsfasen kännetecknas av relativt höga utsläpp av oförbrända gaser detta eftersom att temperaturen i början av eldningen är låg. Samtidigt är det svårt att få en jämn antändning av vedklabbarna vilket leder till stråkbildning i pannan och därmed höga utsläpp av organiska föreningar.

När temperaturen har ökat till följd av den första förbränningen övergår antändningsstadiet till förbränningsstadiet. Den alltmer snabbare kinetiken gör att mer av de förbrända gaserna reagerar och blir koldioxid. Som ett resultat av detta sjunker halterna av kolmonoxid och kolväten markant. När mer kol och väte som finns bundet i träet oxideras ökar också mängden energi som frigörs, detta återspeglas i effekten som man kan få ut ur pannan i detta skede.

Efter en tid att ha passerat kommer de mer flyktiga beståndsdelarna av träet att ha förbränts (vanligen ämnen som innehåller väte och lätta kolväten). Det som återstår är det fasta kolet som finns bundet i träet. Kinetiskt är de reaktioner där fast bundet kol mycket långsammare än reaktioner med flyktiga beståndsdelar, detta leder till att temperaturen åter igen sjunker i förbränningskammaren. Med den minskade temperaturen ökar utsläppen igen framförallt halten kolmonoxid eftersom att det mesta av vätet försvunnit. Fortfarande kan det finnas vedträn som inte avgett alla sina flyktiga beståndsdelar och brinner med en synlig låga.

B3. Genomförande

B3.1. Experimentell uppställning

Vedpannan som användes för att till experimenten var en solo innova 20 (se figur 2). Egenskaperna för pannan sammanfattas nedan.

- Sugfläkt som förhindrar framrykning vid vedpåfyllning och även ställer mindre krav på skorstensdrag.
- Helautomatisk styrning av pannan som stoppar fläkten när veden är slut.
- Keramisk förbränningskammare.
- Pannans inre mantel i 7 mm stålplåt och konvektionstuber i 5 mm.
- Vedmagasin 100l

Utöver dessa punkter hade även vedpannan ett inbyggt system som styrde förbränningen genom att reglera två stycken spjäll, dessa användes till att anpassa luftmängden genom primär och sekundärluftskanalen. En lambdasond användes tillsammans med detta system för att styrningen skulle kunna använda sig av en referenspunkt att reglera sig mot.

Under monteringsarbetet skedde inga modifieringar och pannan är densamma som i figur 2 (solo winnova 20).



Figur B2: Bild av solo winnova 20

Efter monteringen lyftes pannan upp och placerades på en pallvåg. Vågen nollställdes sedan med pannan på för att det skulle bli tydligare vilka aktuella vikter som mättes. En nollställning av vågen gjorde även att det blev möjligt att använda sig av ett mindre viktintervall för mätningarna och därmed få ett bättre resultat.

Pannan monterades ihop med en cirkulationspump och en värmeväxlare med expansionskärl (se figur 3). Enligt SIS-EN 305 Annex 1 fanns det två möjliga sätt att mäta pannans effektivitet på. Antingen kunde provningsriggen monteras tillsammans med en värmeväxlare eller så kunde man använda sig av ett system med kort cirkulation, då det redan fanns en tillgänglig rigg med värmeväxlare användes en sådan till mätningarna. Denna rigg mätte avgiven effekt från pannan, framtemperatur, returtemperatur och volymflöde.

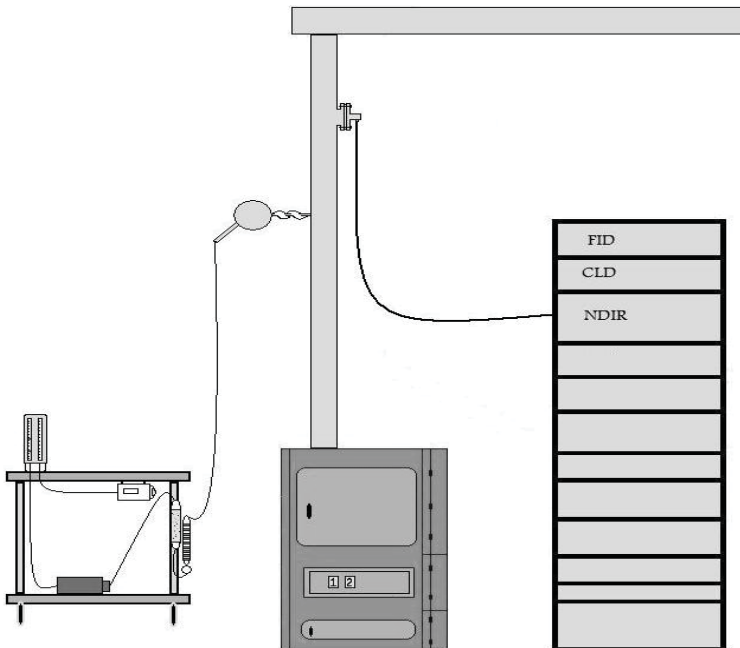


Figur B3: Cirkulationspump, värmeväxlare och expansionskärl

Den nedre delen av skorstenen fästes sedan med stöttor enligt figur 4. Undertrycket i rökgaskanalen, mätt med ett u-rör, var mellan 15-20 Pa under eldningarna.



Figur B4: Undertrycksrör och stöttor till vedpanna



Figur B5: Schematisk bild av försöksutrustningen

Instrumenten som används till att mäta de olika halterna är inbyggda i ett fläktskyt skåp med styrningssystem från före detta BOO instruments, numera SICK|MAIHAK. Systemet är riggat så att sensorer i pannan mäter temperaturer och spjällens inställning samt vågens inmätta vikt, denna information skickas sedan vidare till ett styrningsskåp där värdena registrerats i ett internt nätverk. För instrumentens mätningar tas rökgaser ut ur skorstenen av en nålventil och går sedan igenom en uppvärmd slang. Instrumenten reglerar sedan själv om de vill ha speciella förhållanden i deras mätningsskammare, exempelvis uppvärmt eller avfuktat. I figur 5 visas en skiss av hela försöksupställningen.

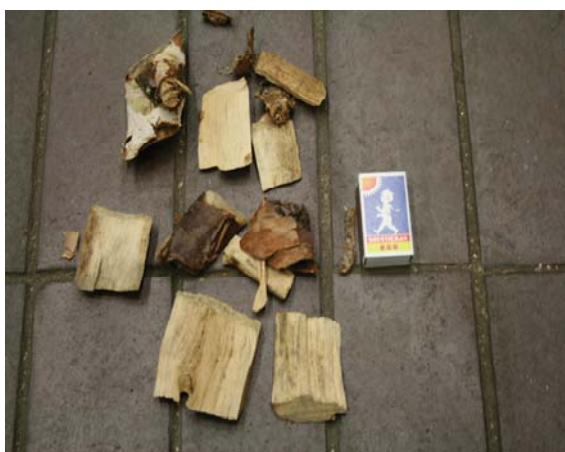
B3.2. Eldningsförfarande

Pannan eldades enligt den medföljande instruktionen. Först späntades en tändbrasa upp av 4st vedträn, denna antändes sedan och en första laddningen ved lades i pannan. Laddningen bestod av 10 kilo ved, antingen vedträn eller knubb beroende på vilken eldning det var. Detta för att uppnå en arbetstemperatur på pannan som skulle överensstämja med en kontinuerlig drift. Den första laddningen fick brinna tills det att en grundglöd hade uppnåtts, beroende på om pannvolymen var krympt eller inte användes olika mått för när grundglöden uppnåtts. Om pannvolymen var oförändrad användes en vikt av 0,7 kilo kvarvarande material i pannan och om pannvolymen var krympt användes 0,35 kilo. Efter det att grundglöd hade uppnåtts kunde en andra laddning med ved läggas in i pannan, det var denna laddning som mätningar i huvudsak skulle ske på. Under det att den andra laddningen brann öppnades inte luckorna för att kontrollera förbränningsförloppet, dock användes ett ”titthål” konstruerat för ändamålet.

B3.3. Vedträbränsle

Till försöken användes två olika bränslen (se figur 6). Det första bränslet var björkved från träd med en maximal diameter på tre decimeter. Vedträna var kapade så att de hade en längd på ungefär 45 centimeter. Det fanns även bitar från träd vilka har varit för små för att behöva klyvas och således endast var kapade i lämpliga längder. Vedträna var uteslutande av björk och innehöll en fukthalt av 17,5%.

Det andra bränslet bestod av ”knubbved” det vill säga en större variant av trädfelis. Flisorna var av varierande storlek. Figur 6 på bilden visas en mängd knubbitar som anses vara representativa för bränslet. Knubbvedens fukthalt var 17,0%.



Figur B6: Foto av knubb och vedträn.

B3.4. Fukthalt

Fukthalten av vedträna bestämdes genom att först plocka ut ett antal stycken som verkade representera det 5 m³ stora vedlasset. Efter att lämpliga stycken valts ut vägdes dessa på en våg med exakthet till fyra decimaler. Sedan torkades trästyckena i en autoklav i flera steg, det första i 10 timmar i 105 grader. Vid den första mätningen minskade vattenhalten i vedträna relativt mycket och

det bedömdes att det behövdes mer tid i auoklaven för att få en god uppfattning om fuktmängden. Trästyckena sattes återigen på torkning i autoklaven men denna gång på 105grader under 5 timmar. Denna gång minskade styckena med mindre än 1 procent i vikt ~0,9%. Då vikten minskade så pass lite under så lång tid antogs det att mängden fukt som avdunstat var representativ för veden. Den Genomsnittliga fukthalten i virket bestämdes till 17,5% alltså inom ramen för SIS-305

B3.5. Modifiering av panna

B3.5.1. Förminskning av rostervolym

För att kunna krympa rostervolymen användes värmekulit. Värmekuliten som fanns tillgängligt som ungefär 2 cm tjocka skivor mättes först upp och sågades sedan till anpassade bitar med hjälp av en fogsvars. Bitarna täckte väggarna av eldningsutrymmet i pannan och hade även förborrade hål för primärluft samt modifierad primärluft.

B3.5.2. Ändring av primärluft

Primärluftens tillförsel sänktes genom att borra nya hål i innerfordret i pannan samtidigt som de gamla hålen bultades igen. För att försäkra att ingen luft tog sig igenom de gamla hålen skruvades bultarna fast med sådan kraft att de brickor som de satt på deformerades och täckte till eventuella glipor vid det gamla borrhålet.

B3.5.3. Förvärmning av sekundärluft

En av variabler som fanns med i den ursprungliga projektbeskrivningen var förvärmning av sekundärluften. Tanken med detta var att förbättra kinetiken för förbränningen av oförbrända kolväten och kolmonoxid i förbränningszonen. Detta skulle resultera i en utsläppsminskning och samtidigt en viss effektivitetsförbättring av pannan.

Uppvärmningen av sekundärluften skulle ske genom att förvärma luften mot rökgaserna som kommer från förbränningskammaren. Temperaturen till dessa rökgaser mättes i de tidigare eldningarna och befanns vara ungefär 140 °C. Denna temperatur utgjorde begränsningen för det man skulle kunna förvärma luften till. Med tanke på att man inte kan sänka temperaturen på rökgaserna för mycket i och med att ämnen då kondenserar ut ifrån rökgasen kommer en temperaturhöjning på inkommande gas vara relativt låg.

Aktuell temperatur i luft från sekundärintaget mättes för att kunna relateras till en möjlig förvärmning av sekundärluften. Detta gjordes genom att en temperatursond infördes i sekundärluftskanalen genom ett av de små hålen som sitter vid förbränningszonen. Denna sond fördes sedan in tills det att den mötte en vägg och drogs efter det tillbaka för att befinna sig i mitten av luftdraget. Sonden registrerade en temperatur mellan 149°C och 371°C. Dessa mätningar visar att en förvärmning av luften i fråga bara skulle resultera i en marginell sänkning av utsläppen. Detta resulterade i att förvärmning av luften inte utfördes under dessa försök.

B3.5.4. Minskning av lufttillförseln

För att minska effekten till 30% av den ursprungliga effekten bestämdes det att lufttillförseln skulle strypas till 30%. Detta gjordes genom att koppla pannans styrningscentral till Ceitek och sedan tillbaka till spjällen. Genom att sedan skiva ett script i programvaran kunde signalen som styrsystemet sände ut ändras efter behov. Alltså skickades 30% av signalen från styrningen vidare till spjällen.

B4. Resultat

(Kommentar: Försök 1-9 med pannved är inte med i detta utdrag ur rapporten)

B4.9. Försök 9

Knubben eldades utan modifieringar för att precis som i fallet med veden kunna användas som ett referensvärde till de andra eldningarna.

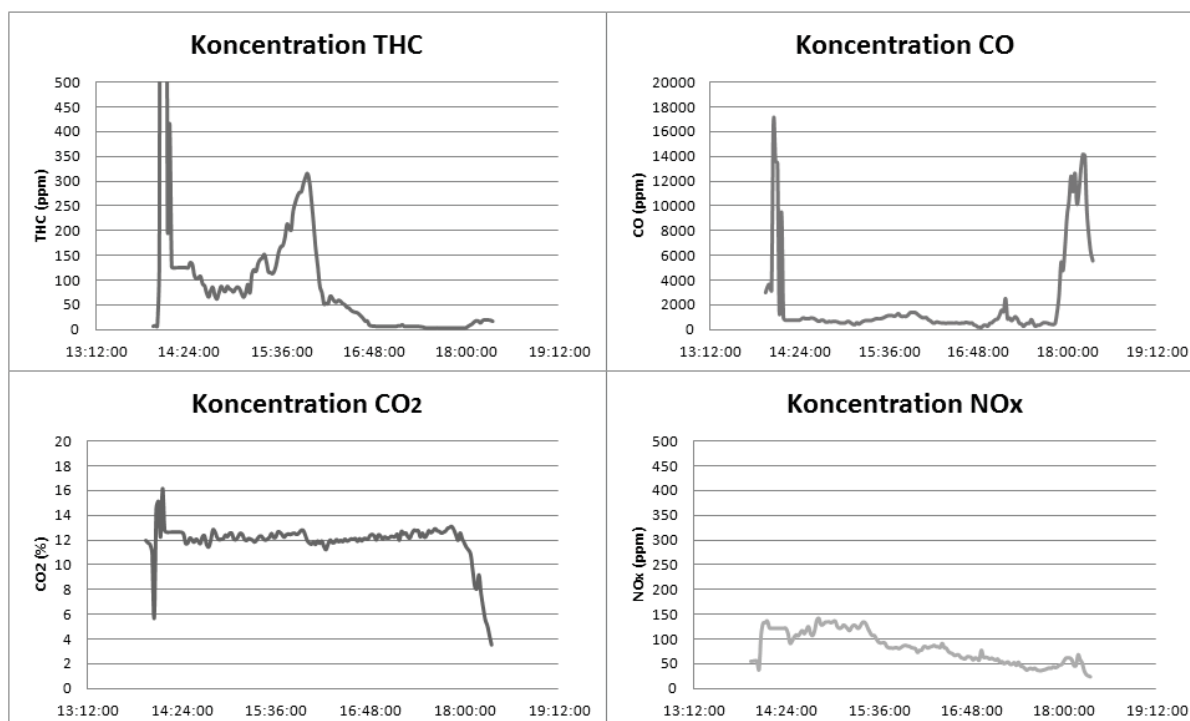
Tabell B10: Försöksinformation och normaliserade värden

| Bränsle | Volym | Lufttillförsel | Mod | CO (ppm) | CO ₂ (%) | NO _x (ppm) | THC (ppm) | Vedförbrukning (kg/h) | Stoft (mg/m ³) |
|---------|-------|----------------|-----|----------|---------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|----------------------------|
| Knubb | 100% | 100% | | 1878 | 11 | 76 | 126 | 2,8 | 26 |

Försöket börjar 14:00 och slutar 18:20.

Förlopp: Halten CO stiger kraftigt i början av eldningen men går snabbt över, efter fyra timmar stiger den igen för att ligga på en hög nivå fram till slutet av eldningen. Halten THC ligger på höga nivåer 2,5 timmar in i försöket, efter det når halten en lägre nivå som fortgår under resten av eldningen.

Analys: Under första delen av försöket finns det höga halter av THC i rökgaserna, samtidigt ligger CO på en något förhöjd nivå~1000ppm. Mot slutet av eldningen stiger halten CO markant. Till skillnad mot eldningen med ved som referensbränsle producerar knubben mycket höga utsläpp. Temperaturen är låg under hela försöket vilket återspeglas i den låga NO_x-halten. De höjda utsläppen kan bero på att knubben packas på ett sätt som gör motståndet till luftgenomströmning större.



Figur B15. Rökgashalter för försök 9.

B4.10. Försök 10

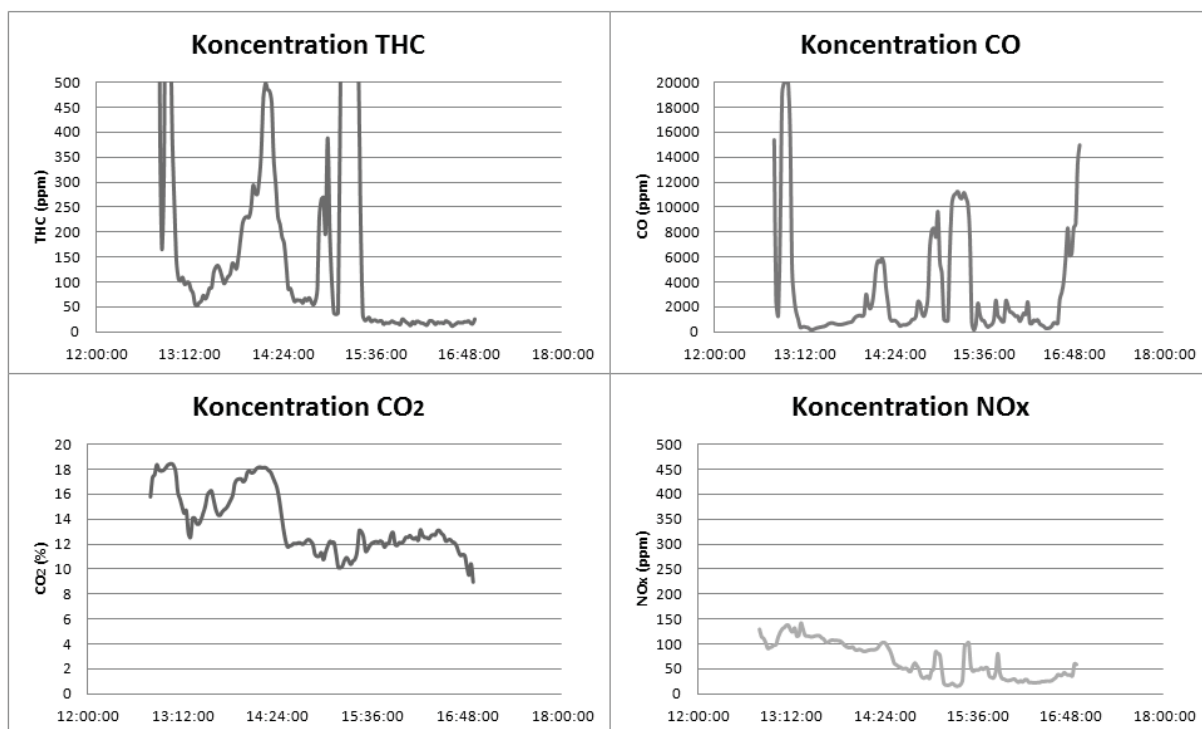
Tabell B11: Försöksinformation och normaliserade värden

| Bränsle | Volym | Lufttillförsel | Mod | CO (ppm) | CO ₂ (%) | NO _x (ppm) | THC (ppm) | Vedförbrukning (kg/h) | Stoft (mg/m ³) |
|---------|-------|----------------|-----|----------|---------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|----------------------------|
| Knubb | 100% | 30% | | 2682 | 11 | 54 | 146 | 3,51 | 31 |

Försöket börjar 12:50 och slutar 14:50.

Förlopp: Under hela eldningen varierar halterna av THC och CO väldigt mycket, efter 2,5 timmar stabiliserar sig THC-halten på en låg nivå medan halten CO fortsätter variera. Halten CO₂ ligger på höga nivåer i början av försöket men avtar under tiden, dock stiger halten tillfälligt klockan två till 18%.

Analys: Eldningen börjar med att pannan automatiskt reglerar ned primärluften och ökar sekundärluften. Detta resulterar i ett luftunderskott vilket ger höga CO och THC-värden.



Figur B16. Rökashalter för försök 10.

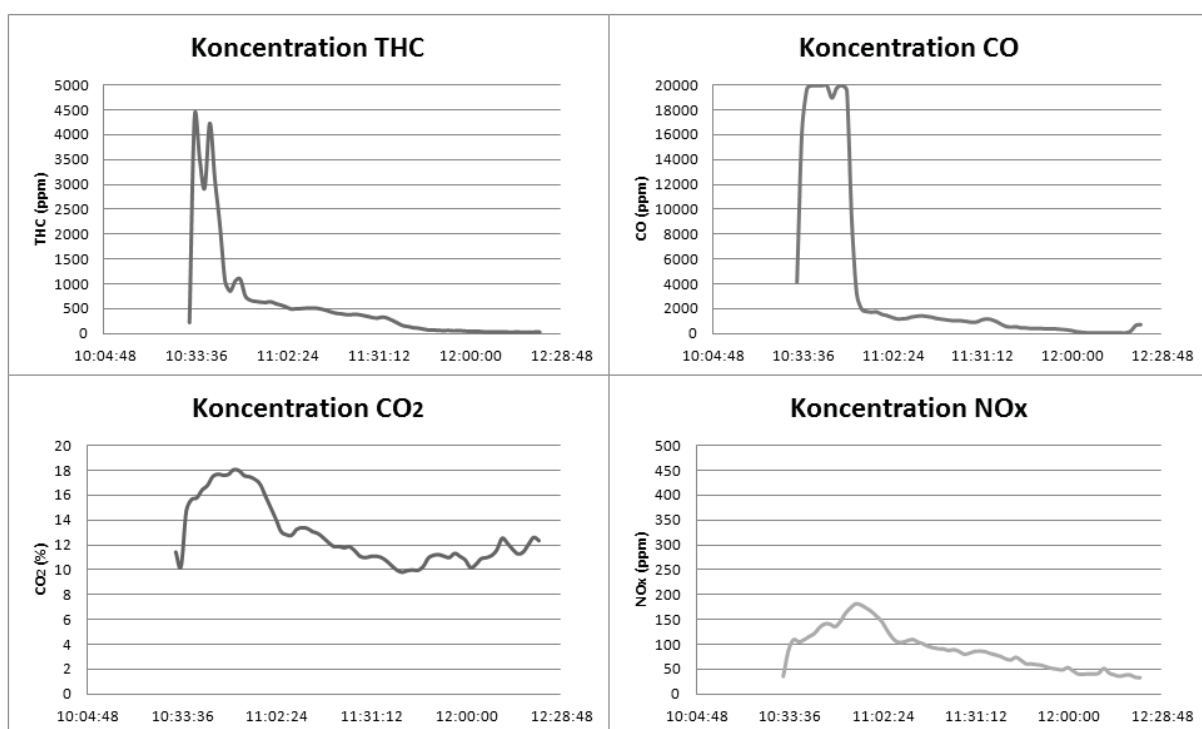
B4.11. Försök 11

Tabell B12: Försöksinformation och normaliserade värden

| Bränsle | Volym | Lufttillförsel | Mod | CO (ppm) | CO ₂ (%) | NO _x (ppm) | THC (ppm) | Vedförbrukning (kg/t) | Stoft (mg/m ³) |
|---------|-------|----------------|-----|----------|---------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|----------------------------|
| Knubb | 50% | 30% | | 3125 | 11 | 76 | 499 | 3,23 | 18 |

Försöket börjar 10:31 och slutar 12:20

Förlopp: Alla halter stiger tills det att en halvtimme av försöket har gått sedan sjunker alla halter till låga nivåer. Analys: Eldningen börjar med att temperaturen stiger kraftigt i pannen. Med denna temperaturökning tar förbränningen fart och pannen kompenserar för detta genom att reglera spjällen. Till följd av detta ökar CO₂ då lufttillgången minskar. Samtidigt så bildas det mer CO och THC iom att uppehållstiden i pannen inte blir tillräckligt lång för allt kol att reagera full ut. Temperaturen sjunker sedan och då minskar luftflödet genom pannen vilket ger förutsättningar för en mer komplett förbränning. Denna trend fortsätter till slutet av försöket.



Figur B17. Rökgashalter för försök 11.

B4.12. Försök 12

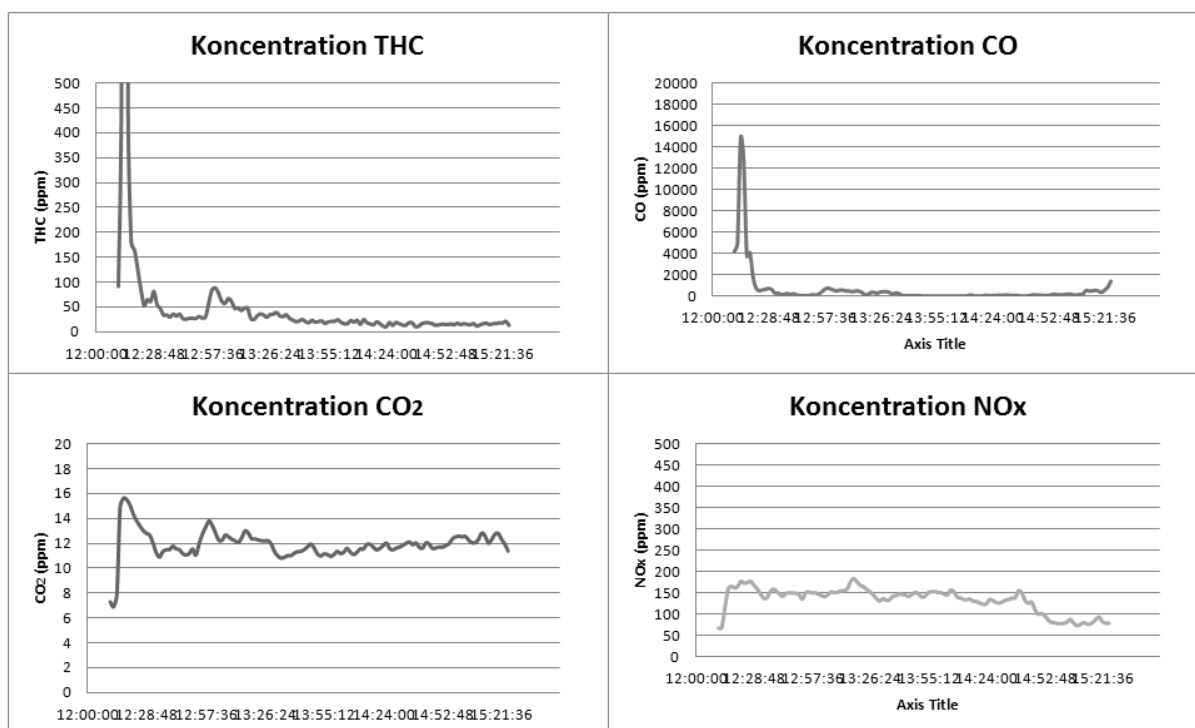
Tabell B13: Försöksinformation och normaliserade värden

| Bränsle | Volym | Lufttillförsel | Mod | CO (ppm) | CO ₂ (%) | NO _x (ppm) | THC (ppm) | Vedförbrukning (kg/h) | Stoft (mg/m ³) |
|---------|-------|----------------|--------|----------|---------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|----------------------------|
| Knubb | 100% | 100% | Primär | 563 | 11 | 123 | 70 | 3,19 | 6 |

Försöket börjar

Fyrtio minuter in i försöket stiger halterna av THC och CO till en något högre nivå (75 resp 700ppm) för att återigen sjunka tjugo minuter senare.

Försöket börjar med en höjning av halterna oförbränt, denna topp går relativt snabbt över. Sedan inträffar en mindre höjning mellan kl 12:50 och 13:30, i övrigt ligger halterna riktigt lågt för denna eldning. Koncentrationerna av de flesta ämnen ligger relativt stabilt och mot slutet förekommer ingen höjning av varken CO eller THC. Om man jämför den med eldningen utan modifierad primärluft erhöll denna eldning mycket bättre värden. Detta beror troligtvis på att ett bättre luftflöde har uppnåtts efter modifieringen.



Figur B18. Rökgashalter för försök 12.

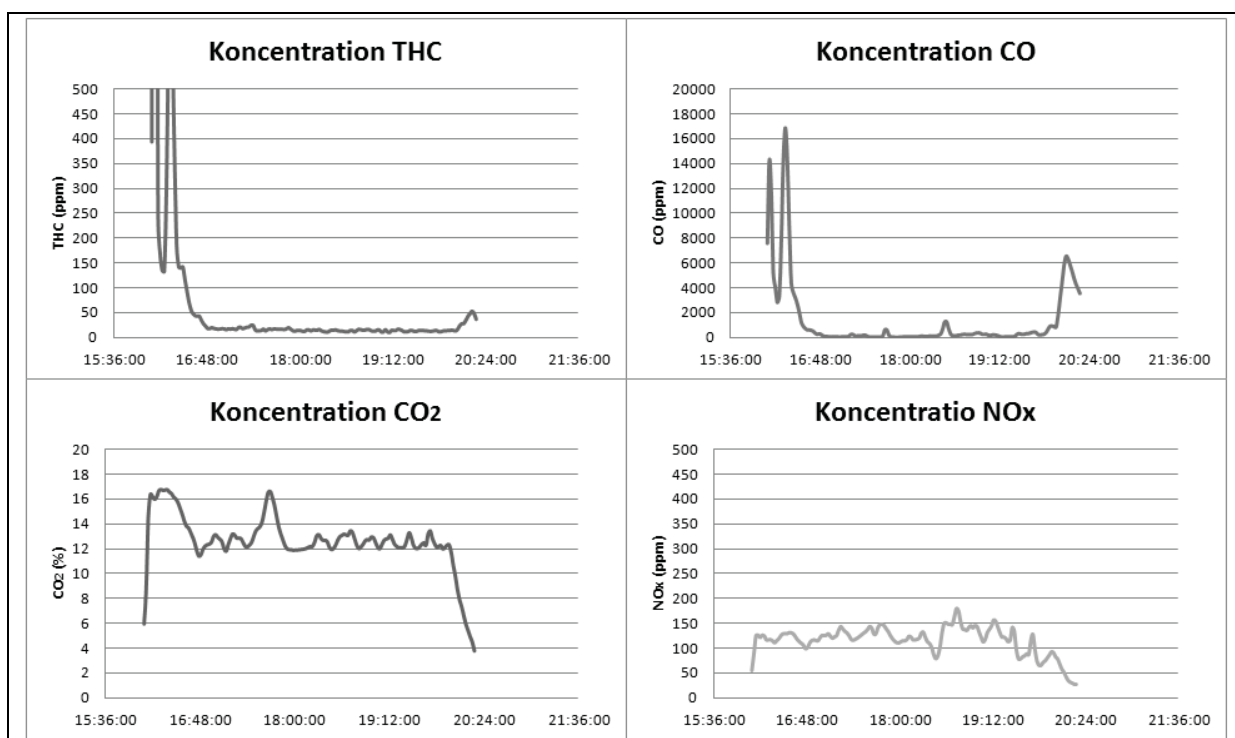
B4.13. Försök 13

Tabell B14: Försöksinformation och normaliserade värden

| Bränsle | Volym | Lufttillförsel | Mod | CO (ppm) | CO ₂ (%) | NO _x (ppm) | THC (ppm) | Vedförbrukning (kg/h) | Stoft (mg/m ³) |
|---------|-------|----------------|--------|----------|---------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|----------------------------|
| Knubb | 100% | 30% | Primär | 1177 | 11 | 101 | 74 | 3,05 | 13 |

Koncentrationerna av THC och CO stiger kraftigt i början av försöket men sjunker snabbt igen för att nå låga nivåer.

I början av eldningen var det ett mindre syreunderskott men det gick snabbt över och pannans utsläpp av oförbränt sjönk sedan snabbt. Mest karakteristiskt för eldningen var de CO₂ toppar som uppstod under eldningen. Dessa toppar beror på att styrningen reglerar pannan för att hålla ett stabil syrehalt i vadvannan. Detta betyder att den miljön som finns i pannan skulle kunna funjusteras ytterligare för att bestämma en lämplig syrehalt.



Figur B19. Rökashalter för försök 13.

B4.14. Försök 14

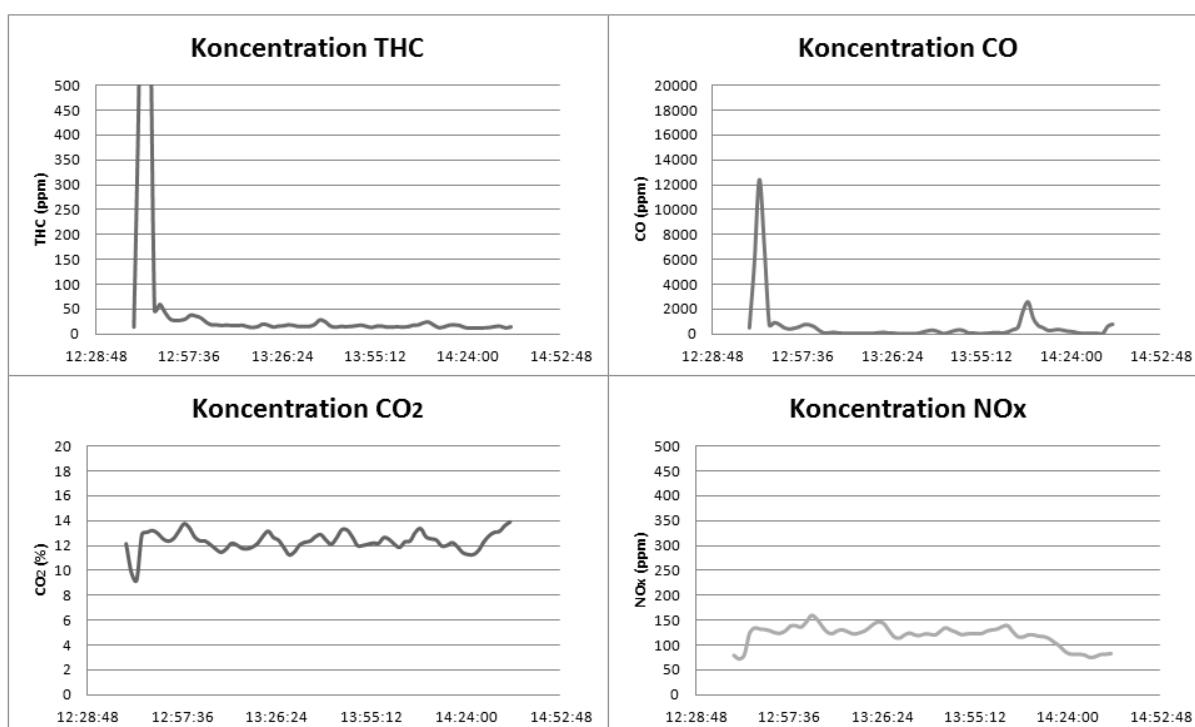
Tabell B15: Försöksinformation och normaliserade värden

| Bränsle | Volym | Lufttillförsel | Mod | CO (ppm) | CO ₂ (%) | NO _x (ppm) | THC (ppm) | Vedförbrukning (kg/h) | Stoft (mg/m ³) |
|---------|-------|----------------|--------|----------|---------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|----------------------------|
| Knubb | 50% | 30% | Primär | 573 | 11 | 106 | 48 | 2,5 | 63 |

Försöket börjar 12:15 och slutar 15:20

Förlopp: CO halten når en liten topp (2500 ppm) en timma och tio minuter in i försöket.

Analys: Det enda som avviker i detta försök är den mindre CO-toppen som uppstår kl 14:10. Då toppen är liten skulle det kunna vara en mindre avvikelse exempelvis att bränslet har fördelats ojämnt under eldningen och att en liten mängd ligger och glöder.



Figur B20. Rökgashalter för försök 14.

B4.15. Sammanfattning av alla experiment

Tabell B16: Sammanfattning av alla experiment i denna studie

| Nr | Last | Volym | Luft | Mod | CO (ppm) | CO ₂ (%) | NO _x (ppm) | THC (ppm) | Vedförbrukn (kg/h) | Stoft (mg/m ³) |
|----|-------|-------|------|--------------------|----------|---------------------|-----------------------|-----------|--------------------|----------------------------|
| 1 | Ved | 100% | 100% | | 485 | 11 | 180 | 59 | 3,31 | 24 |
| 2 | Ved | 100% | 30% | | 1233 | 11 | 183 | 30 | 3,4 | 22 |
| 3 | Ved | 50% | 30% | | 766 | 11 | 99 | 128 | 3,21 | 28 |
| 4 | Ved | 100% | 30% | Vertikal | 1476 | 11 | 188 | 21 | 2,44 | 42 |
| 5 | Ved | 100% | 100% | Primär | 2023 | 11 | 144 | 34 | 3,19 | 15 |
| 6 | Ved | 100% | 30% | Primär | 1825 | 11 | 115 | 88 | 2,69 | 26 |
| 7 | Ved | 50% | 30% | Primär | 595 | 11 | 129 | 34 | 4,07 | 44 |
| 8 | Ved | 100% | 30% | Primär Vertikal | 7864 | 11 | 78 | 1068 | 4,55 | 72 |
| 9 | Knubb | 100% | 100% | | 1878 | 11 | 76 | 126 | 2,8 | 26 |
| 10 | Knubb | 100% | 30% | | 2682 | 11 | 54 | 146 | 3,51 | 31 |
| 11 | Knubb | 50% | 30% | | 3125 | 11 | 76 | 499 | 3,23 | 18 |
| 12 | Knubb | 100% | 100% | Primär | 563 | 11 | 123 | 70 | 3,19 | 6 |
| 13 | Knubb | 100% | 30% | Primär | 1177 | 11 | 101 | 74 | 3,05 | 13 |
| 14 | Knubb | 50% | 30% | Primär | 573 | 11 | 106 | 48 | 2,5 | 63 |

B5. Diskussion

Försöken visar att det är svårt att elda en vedpanna på ett liknande sätt som en pelletspanna. I den klassiska eldningstriangeln ingår tre delar värme, bränsle och syre. Genom att mala ned veden till pellets är det möjligt att variera mängden ved som antänds och på det sättet styra förbränningen. När man använder ved som bränsle och tillämpar satsvis eldning återstår det att reglera förändringen genom att reglera värmen och tillgången till syre. Då värmen som bildas av förbränningen och syretillgången inte är oberoende av varandra valde vi att försöka reglera syretillgången och undersöka förbränningsutrymmets betydelse.

Rent generellt kan man säga att enbart en minskad lufttillförsel inte gav något resultat som kan anses vara önskvärt, dock kunde skillnaden vara mycket liten som mellan försök 1 och 2. Då försöken som enbart hade en ändrad lufttillförsel inte gav något speciellt resultat kan det vara intressant att fokusera på om den ändrade lufttillförseln hade något som helst värde. Det vi kan se från eldningarna är att en del kombinationer som hade ändrad primärluft gav intressanta resultat, exempelvis försök 7 där minskad primärkammarsvolym kombinerades med en luftflödesmiskning.

Den minskade volymen användes bara i samband med ett minskat luftflöde och där är resultaten blandade. I tre av fyra försök är utsläppshalterna högre än för referenseldningen med ved, att genomsnittet blir högre beror mycket på att det tar lång tid för förbränningsstadiet att infinna sig. Detta leder till att förbränningen är kvar i antändningsstadiet med relativt höga utsläpp.

I de fall där primärluften ändrats i kombination med volymen erhöles det bättre resultat än utan en primärluftsändring. Det är intressant att en kombination av modifieringarna gav det bästa resultatet då enbart en modifiering inte gav något särskilt resultat.

Då bränsleförbrukningen räknades fram var det inte någon större skillnad mellan resultatens genomsnitt. Skillnaden blev dock större om man jämförde det mest bränsleförbrukande försöket med det där det gick åt minst bränsle per tidsenhet. Enligt resultatet förbrukade försök 14, 54% bränsle per tidsenhet jämfört med försök 8. Trots att det inte varierar så mycket mellan alla försök är ändå en skillnad på 20% inte ovanlig. Om man jämför två pannor och en brinner 20% längre än den andra skulle det kunna vara ett bra argument om man inte behöver en hög effekt utan är i ett större behov av att kunna lägga in bränsle mer sällan.

Mätning av stoft gav en större dimension till mätningarna än förväntat då vissa modifieringar visat en viss potential gällande rökgaserna men sedan haft stora utsläpp av stoftpartiklar. Vid jämförelse mellan knubbeldning och vedeldning fanns inga klara samband mellan eldning av ett visst bränsle och ett högre eller lägre utsläpp.

Om man jämför alla försök som en helhet ser man att den pannan som har den lägsta bränsleförbrukningen inte är den bäst gällande stoft eller rökgasammansättning. Samtidigt är det möjligt att använda sig av ett andra steg för partikelavskiljning något som i framtiden kan bli aktuellt då kraven på förbränningssystemen ökar alltmer. Att minska förbrukningen genom att minska lufttillförseln och andra modifieringar nådde inte målet att få ned bränsleförbrukningen till 30%, dock gav en av eldningarna en minskning till 75% förbrukning med endast en smärre utsläppsökning.

B6. Slutsatser

B6.1. Summering av resultaten

1. Tabellen visar att den vertikalt placerade veden med en lägre lufttillförsel ger den lägsta vedförbrukningen per timma, dock ger den även höga utsläpp om man jämför med vanlig eldning i pannan.
2. I de eldningar där det enda som modifierades var luftflödet så blev halterna av kolmonoxid och kolväten i rökgasen högre.
3. Vedförbrukningen har ingen större spridning vilket visar att den är svår att styra med hjälp av lufttillförseln och spjällen.
4. De försöken som hade högst stofthalt var eldningarna med vertikal ved och efter det kom eldningarna med krympt primärkammarsvolym.
5. Vid jämförelse mellan försöken varierade mängden stoft från vedförbränning ganska lite, förutom vid vertikal placering av veden då mängden stoft ökade markant. Förbränning med mindre primärkammarsvolym ökade halten stoft i rökgaserna. Mängden stoft som resulterade från förbränning av knubb varierade mycket.

B6.2. Slutsatser analys

1. Den största skillnaden mellan försöken ligger i början och slutet av försöket, de flesta konfigurationerna uppnår någon form av drifttillstånd som har acceptabla utsläppsvärden.
2. Medan kolmonoxid och kolväten ofta har liknande trender tenderar kväveoxider att ha ett motsatsförhållande, dvs lägre halt kväveoxider ger högre halt kolmonoxid och kolväten.
3. Vertikal ved ger i regel höga utsläpp och ineffektiv förbränning.
4. Skillnaden mellan att elda knubbved och vanlig ved är stor trots att knubben var grovt huggen.
5. Knubbveden kunde i vissa fall packas så tätt att lufttillförseln minskades.
6. Om man ser halten kväveoxid som en givare på temperaturen i pannan visar det att det inte är en viss temperatur som ger höga utsläpp av kolmonoxid och kolväten utan snarare en avvikelse från den rådande medeltemperaturen.

Bilaga 4. Proveldning i panna med automatisk bränslematning

Denna bilaga utgörs av provningsrapporten från en proveldning av knubbved i den automatiskt matade bibränslepannan REFO 30. Proveldningen utfördes av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, på uppdrag av projekt *Styckeved för småskalig eldning*.



RAPPORT

Handläggare, enhet
Daniel Ryde
Energiteknik
010-516 57 54, Daniel.Ryde@sp.se

Datum 2010-05-20 Beteckning PX02938 Sida 1 (3)

SLU
Att: Jan Erik Mattsson
Box 104
230 53 ALNARP

Provning av flispanna

(3 bilagor)

Uppdrag

Provningen avsåg att utröna funktionen av en flispanna som eldas med grov flis, därvid bestämma emissioner i rökgaserna samt uppskatta pannans verkningsgrad. Metoden är baserad på svensk standard SS-EN 303-5 med tillägg för mätning av totalcolväten (THC).

Provobjekt

Panna med beteckningen REFO 30, med sammanbyggt bränslemagasin. Tillverkad av Refo Energi, Herfølge, Danmark och saluförs i Sverige av NOJ Serviceverkstad AB, Nossebro. Pannan ankom SP den 8 april 2010 och var i begagnat skick. Med pannan levererades en storsäck med flisbränsle från SLU, Alnarp.

Teknisk beskrivning

Pannan är sammanbyggd med ett bränslemagasin på 750 liter. Från magasinet matas flisen direkt fram till förbränningsutrymmet som består av ett horisontellt rör av rostfritt stål med hål för lufttillförsel. Röret mynnar ut i en kammare med eldfast sten där slutförbränningen sker och askan samlas upp i en liten behållare i botten. Förbränningsluften tillförs med hjälp av en fläkt.

Pannan är utrustad med lamdasond och reglersystem för lufttillförsel och panntemperatur. Reglering av bränsletillförseln sker antingen med manuella inställningar eller automatiskt via lamdasond. Regleringen av panntemperatur styr fläkten för lufttillförsel samt bränslematningen. Mellan högt och medelstort effektbehov reglerar pannan fläkten och bränsletillförseln med en progressiv/integrerande reglerfunktion. Vid lågt effektbehov går pannan ner i fast inställning för underhållsfyr.

Bränsleförrådet är cylindriskt med en omrörare i botten som leder bränslet till hålet för matarskruven. Matarskruven är kraftig och kan enligt tillverkaren klippa träbitar av storlek upp till 25x50 mm i tvärsnitt. Mattarröret är utrustat med temperaturvakt och vattensprinkler för att förhindra eventuell bakåtbländning.

Flisbränslet är förpackat i en ventilerad storsäck. Trämaterialet, huvudsakligen björkstam, är sönderdelat med en skruvkvam till bitar med maxmått ca 80 x 110 x 15 mm. Värt att noteras är att det förekom några större ändträbitar i bränslesäcken, se Figur 4 i bilagan identifikation. Dessa sorterades ut manuellt för att förhindra problem med bränslematningen.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

| | | |
|--------------|----------------|--------------------|
| Postadress | Besöksadress | Tfn / Fax / E-post |
| SP | Västeråsen | 010-516 50 00 |
| Box 857 | Brinellgatan 4 | 033-13 55 02 |
| 501 15 BORÅS | Borås | info@sp.se |

Detta dokument får endast återges i sin helhet, om inte SP i förväg skriftligen godkänt annat.

Underlag

- Manual: Installation, drift och bruksanvisning för Refo biobrännspanna, version 2007-01-23 utgåva 3
- Manual: TM3010 teknisk manual, version 1.00r2, som avser reglerenheten.

Provuppställning

Pannan anslöts till en provrigg bestående av cirkulationspump, flödesmätare, ventiler och temperaturstyrd returledning. Genom denna uppkoppling kunde cirkulationsflödet och returledningstemperaturen hållas vid önskade värden.

Skorstenen var toppansluten med en diameter på 150 mm och höjden cirka 6 meter från marknivån.

Provningens genomförande

Denna provningsrapport avser endast det provade föremålet samt tillhörande bränsle.

Provningen genomfördes vid SPs enhet för energiteknik under april månad 2010. Provmetoden är baserad på svensk standard SS-EN 303-5 "Värmepannor-Del 5: Fastbränsleldade värmepannor, hand- och automatiskt matade med nominell utgående effekt upp till 300 kW – Terminologi, krav, provning och märkning"

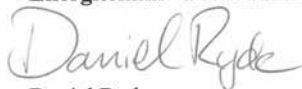
Vid dellastprovet arbetade pannan med den inbyggda regleringen för panntemperatur i enlighet med den funktion som beskrivs under avsnittet Teknisk beskrivning.

Följande parametrar registrerades:

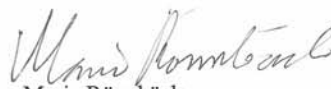
- Framledningstemperatur
- Returledningstemperatur
- Cirkulationsflöde genom pannan
- Omgivningstemperatur
- Rökstemperatur
- CO₂-halt
- CO-halt
- O₂-halt
- THC-halt
- Stoft-halt
- Avgiven effekt

Fram- och returledningstemperaturen mättes direkt i pannans anslutningar.
Rökstemperaturen mättes cirka 80cm efter rökkanalsanslutningen.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Energiteknik - Förbrännings- och aerosolteknik



Daniel Ryde
Uppdraget utfört av



Marie Rönnbäck
Rapporten granskad av



RAPPORT

Datum
2010-05-20

Beteckning
PX02938

Sida
3 (3)

Bilagor

1. Identifikation
2. Provresultat med kommentarer
3. Mätutrustning och mätosäkerhet

Identifikation



Figur 1, panna med bränsleförråd



Figur 2, storsäck med fisbränsle



Figur 3, fisbränsle



Figur 4, stora ändträbitar

Provresultat med kommentarer

Injustering

Dag 1:

Vid injustering för nominell effekt valdes pannan att köra 100% med syrereglering via lambdasond, och temperaturen på returledningen valdes till 55 grader.

Effekten på pannan steg okontrollerat tills vakten för røkgasttemperaturen stängde av cykliskt.

Även brytaren till locket på bränslematningen glappade vilket resulterade i att pannan stängde av sig vid ett flertal tillfällen.

Vid kontroll visade det sig att matarskruven gnagt av temperaturvakten på matarröret. Detta berodde troligtvis på att de stora bränslebitarna lyfter upp skruven mer än vid vanlig flismatning. Problemet åtgärdades genom att lägga in en distans av gummi i fästet för temperaturvakten.

Det visade sig även vara problem med lambdasonden som registrerade inget eller felaktigt värde under delar av injusteringsperioden.

Vid ett tillfälle fastnade bränsleskruven av att flera träbitar satt fastklämda mellan hålet i bränsleförrådet och skruvvingen.

Dag 2:

Vi valde att strypa lufttillförseln med ett manuellt spjäll på fläkten för att minska den höga effekten.

Bränslet tenderade att rinna över till asklådan och regleringen via lambdasonden verkade ojämn. Vi valde då fasta inställningar för bränslematning och bortse ifrån lambareglering. Detta gav att pannan gick förhållandevis stabilt.

Nominellt prov

På grund av problemen med lambdasondsregleringen valdes manuella inställningar för bränslematning istället. Förhållandet mellan bränslematning på/av sattes till 45%. Panntemperaturen ställdes in till 85°C och vattenflödet ca 1.2m³/h för att pannan skulle gå upp i full effekt under hela provtiden. Det manuella luftspjället ställdes i läge 1,8.

Tabell 1 nedan visar de uppmätta värdena under det nominella provet.

| Beskrivning | Enhet | Resultat |
|---------------------------------------|---|------------------------|
| Provtid | h | 5,24 |
| Tillförd bränslemängd | kg | 30,8 ¹ |
| Effektivt värmevärde | MJ/kg | 16,30 |
| Tillförd energimängd | MJ | 502,42 |
| Framledningstemperatur, (medelvärde) | °C | 71,3 |
| Returledningstemperatur, (medelvärde) | °C | 56,3 |
| Cirkulationsflöde, (medelvärde) | m ³ /h | 1,167 |
| Omgivningstemperatur, (medelvärde) | °C | 20,6 |
| Uttagen effekt (medelvärde) | kW | 20,09 |
| Uttagen energi | MJ | 378,98 |
| Verkningsgrad | % | 75 ² |
| Undertryck skorsten | Pa | 14 |
| Rökgasttemperatur, (medelvärde) | °C | 211 |
| CO ₂ -halt, (medelvärde) | % | 9,0 |
| O ₂ -halt, (medelvärde) | % | 11,2 |
| CO-halt, (medelvärde) | ppm | 108 |
| CO-halt | mg/MJ | 74 |
| THC-halt, (medelvärde) (metan ekv.) | ppm | 3 |
| THC-halt | mg/MJ | 3 |
| Stofthalt | mg/m³_n t.g vid 10% O₂ | 44 ³ |
| CO | mg/m³_n t.g vid 10% O₂ | 151 |
| OGC | mg/m³_n t.g vid 10% O₂ | 7 |

Tabell 1, uppmätta värden under nominellt test

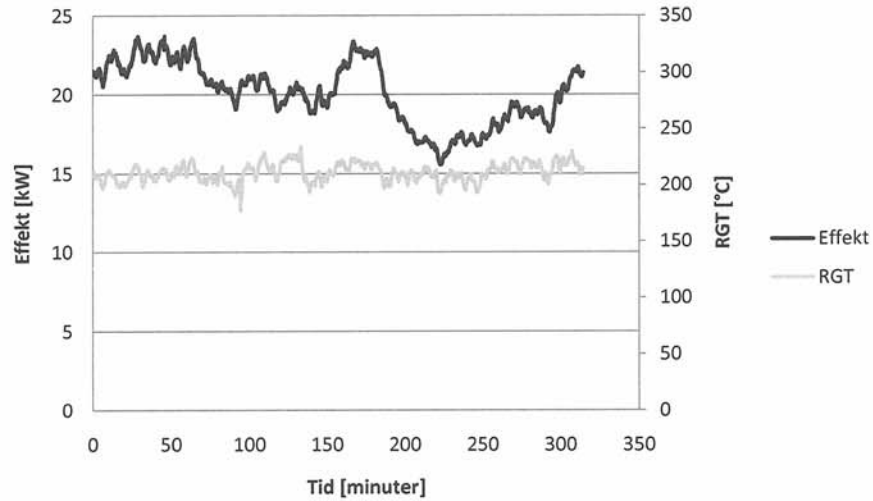
¹ Bränslemängden är uppskattad utifrån fyllnadsgraden i bränsleförrådet.

² Verkningsgraden är baserad på den uppskattade bränslemängden och kan därmed variera.

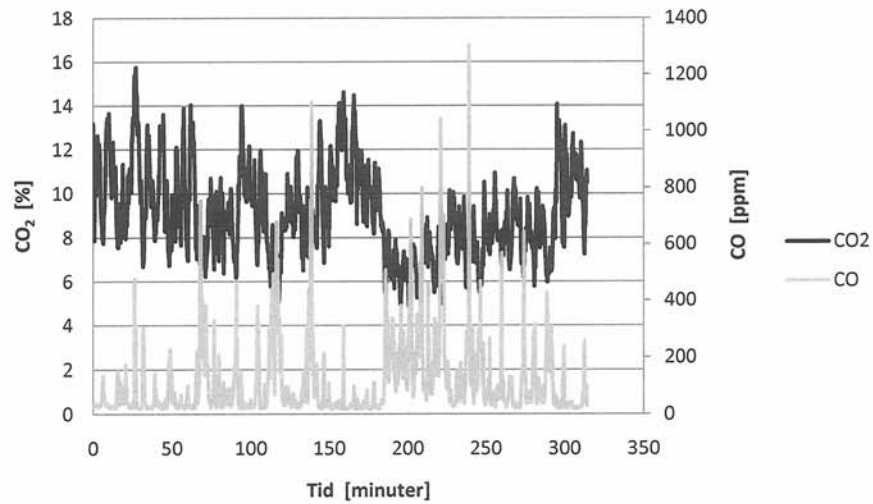
³ Stofthalten är ett medelvärde för en mätperiod av 2h.

Diagram för nominellt prov

Effekt och Røkgastemperatur



Koldioxid och Kolmonoxid



Dellast prov

På grund av problemen med lambdasondsregleringen valdes manuella inställningar för bränslematning även här. Förhållandet mellan bränslematning på/av sattes till 45% och manuella luftspjället ställdes i läge 1,8, samma som för nominellt prov.

Initialt startades pannan på nominell effekt under 140 minuter, därefter justerades panntemperaturen ner till 71°C och vattenflödet minskades till ca 0,35 m³/h så att pannan automatiskt skulle reglera ner till ca 30% av nominell effekt.

Det visade sig dock att regleringen gjorde kraftiga svängningar och gick ner i läget för underhållsfyr vilket senare resulterade i en bakåtbrand ca 45 minuter från tiden för effektförändringen. Värt att noteras är att temperaturen på matarröret steg till över 240 °C innan temperaturvakten löste ut. En begränsad mängd vatten spolades in i matarröret, dock fortsatte förbränningen och stabiliserades allteftersom. Ca 80 minuter efter bakåtbranden bedömdes förbränningen tillräckligt stabil för att starta stoftmätningen.

Tabell 2 nedan visar de uppmätta värdena under dellast provet.

| Beskrivning | Enhet | Resultat |
|---------------------------------------|---|------------------------|
| Provtid | h | 3,04 |
| Tillförd bränslemängd | kg | 8,5 ¹ |
| Effektivt värmevärde | MJ/kg | 16,30 |
| Tillförd energimängd | MJ | 138,94 |
| Framledningstemperatur, (medelvärde) | °C | 71,2 |
| Returledningstemperatur, (medelvärde) | °C | 54,8 |
| Cirkulationsflöde, (medelvärde) | m ³ /h | 0,345 |
| Omgivningstemperatur, (medelvärde) | °C | 20,1 |
| Uttagen effekt (medelvärde) | kW | 6,50 |
| Uttagen energi | MJ | 71,00 |
| Verkningsgrad | % | 51 ² |
| Undertryck skorsten | Pa | 10 |
| Rökgasttemperatur, (medelvärde) | °C | 120 |
| CO ₂ -halt, (medelvärde) | % | 3,9 |
| O ₂ -halt, (medelvärde) | % | 16,6 |
| CO-halt, (medelvärde) | ppm | 834 |
| CO-halt | mg/MJ | 1320 |
| THC-halt, (medelvärde) (metan ekv.) | ppm | 49 |
| THC-halt | mg/MJ | 104 |
| Stofthalt | mg/m³_n t.g vid 10% O₂ | 79 ³ |
| CO | mg/m³_n t.g vid 10% O₂ | 2590 |
| OGC | mg/m³_n t.g vid 10% O₂ | 209 |

Tabell 2, uppmätta värden under dellast test

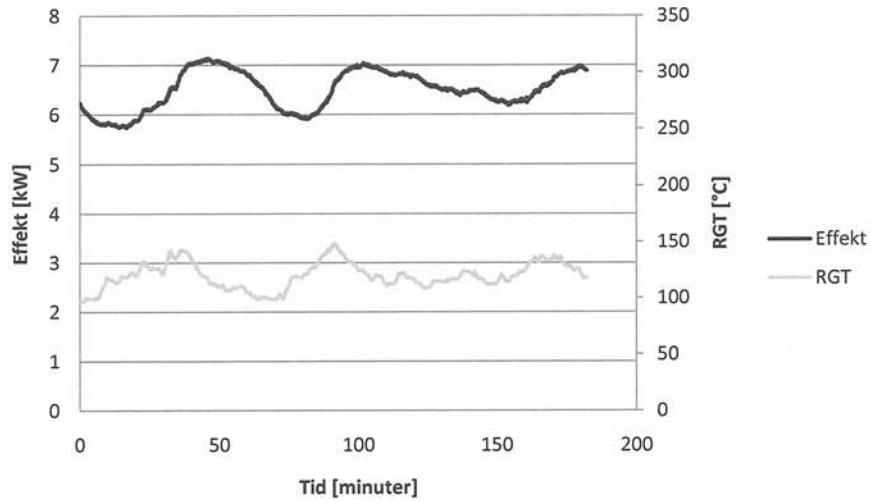
¹ Bränslemängden är uppskattad utifrån fyllnadsgraden i bränsleförrådet.

² Verkningsgraden är baserad på den uppskattade bränslemängden och kan därmed variera.

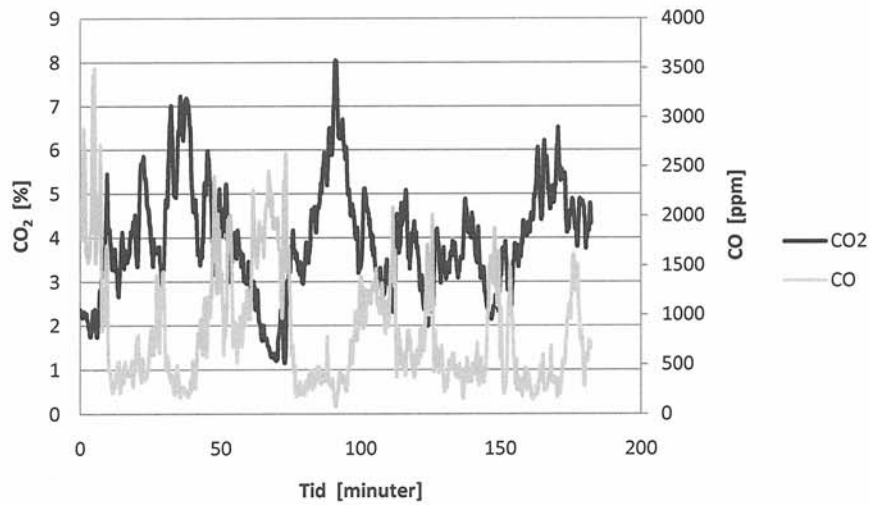
³ Stofthalten är ett medelvärde för en mätperiod av 2h.

Diagram för delast prov

Effekt och Røkgastemperatur



Koldioxid och Kolmonoxid



Mätutrustning

Beteckningar hänvisas till SP-Energitekniks kvalitetssystem.

| Instrument | Beteckning |
|--|-----------------|
| Resistanstermometrar typ Pt-100 enligt | ETF-QD Db 2 |
| Termoelement typ K enligt | ETF-QD Db 3 |
| Vattenflödesmätare Valmet 9V-MP1115 | Inv.nr. 200 783 |
| Mätvagn Krösus | Inv.nr. 201 673 |
| Stoftutrustning | Inv.nr. 200 399 |
| Differenstrycksmätare Furness FCO 14 | Inv.nr. 200 628 |
| Våg typ Sartorius LC 34 | Inv.nr. 201 639 |
| Våg typ Mettler Toledo ID7+KC600 | Inv.nr. 202 497 |
| CO/CO ₂ -analysator Leybold Heraus (0-5000 ppm) | Inv.nr. 201 623 |
| THC-analysator JUM FID, modell VE5 | Inv.nr. 200 626 |
| O ₂ -analysator M.&C, Modell PMA 10 | Inv.nr. 201 308 |

Mätosäkerhet

| Mätenhet | Mätosäkerhet |
|------------------------------------|-----------------|
| Temperaturdifferens, radiatorkrets | ± 0,05 °C |
| Vätskeflöde, radiatorkrets | ± 1 % |
| Bränslemängd (uppskattad) | ± 3 kg |
| Rökgastemperatur | ± 3°C |
| Omgivningstemperatur | ± 1°C |
| Undertryck | ± 10 % |
| CO ₂ -halt | ± 0,3 %-enheter |
| CO-halt | ± 87 ppm |
| O ₂ -halt | ± 0,5 %-enheter |
| THC-halt | ± 3 ppm |
| Tillförd energi (uppskattad) | ± 10 % |
| Uttagen energi | ± 1,5 % |
| Pannverkningsgrad (uppskattad) | ± 15% -enheter |
| Effekt | ± 1,5 % |
| CO | ± 15 % |
| OGC | ± 15 % |
| Stofthalt | ± 4 % |
| Tabellvärde cp | ± 0,1 % |
| Tabellvärde ρ | ± 0,1 % |

Bilaga 5. Jämförelse av småskaliga system för knubbved, pannved och flis

Jan-Erik Liss och Jan Erik Mattsson

I det följande görs ett försök att jämföra arbetsinsatser och kostnader för produktion av knubbved, pannved och flis. Arbetsprestationer och kostnader kan variera beroende på förutsättningarna, t.ex. typ av råvara som används för framställning av de olika bränslena, maskinval, arbetserfarenhet mm. Beräkningarna grundas på resultat som framkommit vid tidigare genomförda prestationsstudier på småskalig produktion av knubbved, pannved och flis. Dessa studier är dock relativt få till antalet och relativt begränsade i storlek varför de arbetstider och kostnader som redovisas här skall betraktas som ungefärliga riktvärden. Där underlag från tidigare studier saknas har arbetstider och kostnader bedömts utifrån uppgifter från maskintillverkare, brukare och genom egna erfarenheter.

Vid beräkning av kostnaderna har samma basmaskin använts som kraftkälla för huggar (knubbved och flis) och vedprocessor (pannved). Sönderdelningen av vedråvaran till knubbved, flis och pannved förutsätts ske på gårdsplanen i anslutning till mellanlager där bränslet torkas innan leverans till kund. Beträffande knubbveden antas att den i samband med sönderdelningen samlas upp i säckar som placerats på EU-pallar. Säckarna (med pall) transporteras därefter till ett mellanlager för självtorkning. Efter torkning levereras säckarna till bränslekund som lämnar säckar och EU-pallar från tidigare leverans i retur. Beträffande pannveden antas att den i samband med upparbetningen transporteras via elevator direkt in i mellanlager för självtorkning och beträffande flisen antas att den blåses in direkt i ett mellanlager för aktiv torkning.

Avverkning och transporter av vedråvara (kvistad stamved) från skog till gårdsplan antas ske med samma utrustning och arbetsinsats oavsett vilket bränslesortiment stammarna upparbetas till. Även leveransen av färdigt bränsle till kund antas ske med samma utrustning. Lastning av knubbved från mellanlager till kärra antas ske med frontlastare försedd med gafflar (säck på EU-pall) och lastning av pannved och flis till kärra antas ske med frontlastare försedd med skopa.

Arbetsinsats vid avverkning och virkestransport

Vid avverkning av rotstående skog med enkla handredskap eller motorsåg är prestationen i första hand beroende av trädens grovlek. Andra faktorer som påverkar prestationen är bl.a. stämplingens täthet (gallringsstyrkan), trädens kvistighet, längd och form samt markbeskaffenhet och väderleksförhållanden. Avverkningen kan t.ex. ske genom gallringshuggning i bestånd, tillvaratagande av udda trädslag och klenare träd i slutavverkningar, eller som rensningshuggning i hagmarker, diken, åker-, sjö- eller vägkanter.

En sammanställning av tidigare studier (Ager 1982, Liss 1996 och Liss 2000) pekar på att prestationen vid motormanuell avverkning (fällning, kvistning och kapning i fallande längder) ligger på ca 0,9 tim/m³t vid en brösthöjdsdiameter på 10 cm och på ca 0,6 tim/m³t vid en brösthöjdsdiameter på 15 cm för en van person med motorsåg. Till detta tillkommer tid för eventuell rekognosering, snitsling av vägar, persontransport till och från skiftet etc. Sammantaget antas tidsåtgången för dessa tillkommande moment uppgå till 1 tim/dagsverke.

Prestationen vid lastning och transport av stammar i fallande längder med mellanstor traktor och griplastarvagn beräknas ligga på ca 9 m³t/tim (DBH 10 cm) resp. 10 m³t/tim (DBH 15 cm), inklusive visst kringarbete, vid ett transportavstånd på 200 m (egen bearbetning av data efter Gullberg 1997). Förflyttning av traktor och griplastarvagn till och från avverkningstrakt tar 0,24 tim vid ett transportavstånd på 3 km och en medelhastighet på 25 km/tim. Till detta tillkommer tid för maskinservice etc. som bedöms uppgå till 0,5 tim.

Arbetsinsats vid upparbetning av stammar till pannved

Tidigare studier (Björheden 1989, Flinkman 1983, Hillring&Lidestav 1985, Swartström 1986) visar att prestationen vid maskinell upparbetning av ved (kapning-klyvning) är diameter- och längdberoende, samt att den varierar med olika maskintyper och fabrikat. För kapar och kombinationsmaskiner har prestationer på mellan 0,5 och 6 m³f/tim uppmätts, beroende på vedens diameter och längd. Vid upparbetning av kvistade stammar till ved med en traktordriven vedmaskin har antagits en prestation på 4,5 m³f/tim vid en stamdiameter i brösthöjd på 10 cm och en prestation på 5 m³f/tim vid 15 cm (inklusive kringarbete). Studier genomförda av Liss (2004) visar att 1 m³t upparbetad ved med ca 0,5 m längd motsvarar ungefär 0,6 – 0,7 m³f beroende på vedens krokighet, hur finkluven den är och hur väl den travas. Prestationen, uttryckt i travad volym, har beräknats till 6,6 m³t/tim vid diametern 10 cm och till 7,1 m³t vid diametern 15 cm.

I samband med upparbetningen av stammarna till pannved har antagits att veden transporteras på band, direkt efter kapning-klyvning, till mellanlager för torkning. Lagret förutsätts vara byggt på sådant sätt att torkningen gynnas och att veden inte behöver hanteras ytterligare innan leverans till kund.

Arbetsinsats vid upparbetning av stammar till knubbved och flis

Med utgångspunkt från tidigare studier (Liss 1987) kan man utgå ifrån att prestationen vid produktion av knubbved blir något högre än vid produktion av konventionell flis p.g.a. en högre maskinkapacitet. Vid flisning av kvistad stamved från välta har prestationer på ca 13 m³s/G₀-tim uppmätts vid manuell matning i konventionella flishuggar (Liss 1984). Det får ses som en rimlig nivå vid en medelstamdiameter på 10-15 cm. Vid sönderdelning av knubbveden, där den blåses från huggen till säck, bedöms prestationen ligga på drygt 16 m³s/G₀-tim.

Vid sönderdelning av stammarna till flis har antagits att flisen blåses direkt från hugg till ett mellanlager för aktiv torkning. Metoden med satsvis torkning av flisen (tillförsel av uteluft via fläkt och ett bottenmonterat, perforerat kanalsystem) har visat sig fungera bra under förutsättning att lagret fylls med flis motsvarande en höjd på ca 0,5 m flis innan fläkten startats. När flisen torkat kan ytterligare 0,5 meter fyllas etc. Aktiv torkning av flis med utomhusluft går att genomföra mellan mars och oktober enligt Gustafsson (1988). Metoden kräver längre ställtider än vid produktion av knubbved och pannved som torkas på naturlig väg och därtill krävs en arbetsinsats för utjämning av flisen i lagret. Merarbetet bedöms uppgå till 20 minuter om lagrets golvyta är 5 x 6 meter (enligt uppgift från en fliseldare som tillämpar metoden med satsvis torkning).

Vid sönderdelning av stammarna till knubbved har antagits att veden blåses direkt från hugg till storsäck uppställd på EU-pall (säckvolym = 1,5 m³s; vedvolym ≈ 1,25 m³s). Säckarna förflyttas till närbeläget mellanlager med frontlastare försedd med pallyft. Lagret förutsätts vara byggt på sådant sätt att torkningen gynnas och att veden inte behöver hanteras ytterligare innan den levereras till kund. Tidsåtgången för förflyttning bedöms uppgå till 2 minuter/EU-pall.

Arbetsinsats för distribution av bränsle till kund

Transport av ved/flis till kund förutsätts kunna ske med traktorkärra. I det här exemplet har valts en ordinär 9 tons tippbar spannmålskärra med en flakyta på 4,32 x 2,4 m och en lämhöjd på 0,4 + 0,8 m. Med full lämhöjd (1,2 m) och rågad last antas kärran rymma 12,5 m³s flis (ca 10 MWh) eller 11,4 m³s pannved vid en medelstamdiameter i brösthöjd på 10 cm och 11,3 m³s vid en medelstamdiameter på 15 cm. Skillnaden i volym för pannved med 10 resp. 15 cm diameter beror på olika fastvolymprocenter. I båda fallen antas dock volymen motsvara ca 10 MWh. Beträffande knubbveden, som levereras i säck på EU-pall (0,8 x 1,2 m) bedöms kärran rymma 8 pallar á ca 1,25 m³s ved på flaket och ytterligare 2 pallar ovanpå dessa, vilket motsvarar 12,5 m³s, eller ca 10 MWh. Lastning av flis och pannved bedöms uppgå till 1,5 minuter/m³s och antas kunna genomföras med

traktor försedd med frontlyft och skopa. Lastning av knubbved (EU-pallar) bedöms uppgå till 2 minuter/EU-pall och förutsätts kunna ske med traktor försedd med frontlyft och pallgafflar. De bedömda arbetstiderna inkluderar montering av skopa/pallgafflar. Transportavståndet till kund antas vara 10 km (enkel väg), medelhastigheten vid transport antas vara 25 km/tim och avlastning hos kund antas ta 5 minuter.

Bedömd arbetsinsats från avverkning till levererat bränsle

Beräknad arbetsinsats från avverkning till färdigt bränsle, inklusive transport till kund, framgår av tabell 1. Arbetsinsatsen anges i G0-timmar/MWh, varvid följande omräkningsfaktorer använts:

| | | |
|--|---|---|
| ved | = | 1,24 MWh/m ³ t (SCB) |
| flis/spån | = | 0,8 MWh/m ³ s (SCB) |
| pellets | = | 4,7 MWh/ton (SCB) |
| knubbved | = | 0,8 MWh/m ³ s (egen bedömning) |
| 1 m ³ s pannved (DBH 10 cm) | = | 0,48 m ³ f (egen bedömning grundad på Liss 2004) |
| 1 m ³ s pannved (DBH 15 cm) | = | 0,50 m ³ f (egen bedömning grundad på Liss 2004) |
| 1 G0-tim | = | 1,2 G15-tim (egen bedömning) |

Enligt givna förutsättningar skulle arbetstiden bli ungefär densamma oberoende av alternativ och det är inte så konstigt eftersom arbetsinsatsen för avverkning och virkestransport är densamma oavsett bränslealternativ. Avverkning och virkestransport har enligt exemplet svarat för 80 % (DBH 10 cm) resp. 74 % (DBH 15 cm) av den totala arbetsinsatsen för hela kedjan från skog till kund.

Upparbetningen till pannved tar något längre tid än flisning och sönderdelning av stammarna till knubbved (vilket kräver minst arbetstid). Knubbveden belastas dock med en arbetstid för hantering av säckarna och flisen belastas med merarbete för aktiv torkning. Totalt sett skulle dock arbetstiden för upparbetning och hantering bli något lägre för knubbveden än för övriga bränslesortiment enligt de förutsättningar som angetts för beräkningen.

Leveransen till kund kräver, enligt givna förutsättningar, något mera arbetstid för knubbved och flis jämfört med pannveden beroende på en något snabbare lastning av pannveden (högre fastvolymprocent).

Tabell 1. Bedömd arbetstid, tim/MWh, för knubbved, pannved och flis.

| Arbetsinsats | Stamdiameter (DBH) ≈ 10 cm | | | Stamdiameter (DBH) ≈ 15 cm | | |
|-------------------------------------|----------------------------|--------------|--------------|----------------------------|--------------|--------------|
| | Knubbved | Pannved | Flis | Knubbved | Pannved | Flis |
| Avverkning ¹⁾ | 0,859 | 0,859 | 0,859 | 0,573 | 0,573 | 0,573 |
| Virkestransport ²⁾ | 0,101 | 0,101 | 0,101 | 0,091 | 0,091 | 0,091 |
| Upparbetning ³⁾ | 0,081 | 0,122 | 0,102 | 0,078 | 0,114 | 0,092 |
| Trp. till mellanlager ⁴⁾ | 0,033 | | | 0,033 | | |
| Aktiv torkning ⁵⁾ | | | 0,028 | | | 0,028 |
| Leverans till kund ⁶⁾ | 0,122 | 0,117 | 0,123 | 0,122 | 0,117 | 0,120 |
| S:a arbetstid | 1,196 | 1,195 | 1,213 | 0,897 | 0,895 | 0,904 |

1) Motormanuellt (motorsåg), inkl. persontransport till och från skiftet ^{*)}. 2) Traktor med griplastarvagn, 200 m terrängtransport och 3 km vägtransport ^{*)}. 3) Upparbetning av stammar till knubbved ^{**)}, pannved ^{*)} och flis ^{*)}.

4) Transport till lager med frontlastare och pallgaffel ^{***)}. 5) Merarbete i form av utjämning av flis, kontroll av fukthalt etc. ^{*)}. 6) Transport med traktorkärra: pannved och flis i stjälpvolym och knubbved i säck på EU-pall ^{***)}. ^{*)}

Tidsstudier och egna beräkningar, ^{**) Beräknad arbetstid, ^{***) Bedömd arbetstid.}}

Det bör påpekas att flera av tidsuppgifterna i tabellen är en ren bedömning (ej förankrade i tidsstudier) och att de därmed är mycket osäkra! I det här exemplet har kvistad stamved använts som

råvara för framställning av de olika bränslealternativen. Kvistad stamved är en förutsättning för en bra bränslekvalitet, men det är också möjligt att flisa okvistat virke och i det fallet minskar arbetstiden i flisalternativet. Framställning av knubbved från okvistat virke ger med stor sannolikhet ett svårhanterbart bränsle med stor hängningsbenägenhet och risk för störningar vid matning i t.ex. en skruvtransportör. Däremot skulle det troligtvis kunna fungera i ett större värmeverk med band- eller skraptransportör.

Kundens arbetstid för hantering och eldning av de olika bränslesortimenten är svårbedömd, men en automatiserad matning av bränslet från ett ”veckoförråd” till pannan, t.ex. via skruvtransportör, bör innebära betydligt mindre arbete än en manuell matning av pannan vilket oftast är fallet vid vedeldning. Studier som genomförts inom projektet visar att knubbveden kan matas via en skruvtransportör och därmed bedöms arbetsinsatsen bli ungefär densamma som vid fliseldning. Alternativet är att knubbveden fylls på i pannan på samma sätt som konventionell pannved (satsvis eldning) och en bedömning är att arbetstiden bör bli ungefär densamma som i vedalternativet om knubbveden hanteras med en kolskyffel eller liknande redskap. Knubbveden kan också ses som ett alternativ till pellets men kräver större lagerutrymme och mer arbetsinsatser än pelletsalternativet p.g.a. den lägre bulkdensiteten.

Beräknad kostnad för produktion av knubbved, pannved och flis.

I följande beräkningar har förutsatts att den som säljer bränslet äger egen skog, varför råvarukostnaden har satts till 0 kr. Allt arbete fr.o.m. avverkning t.o.m. leverans av färdigt bränsle till kund genomförs av skogsägaren själv. Arbetsersättningen för detta har satts till 170 kr/tim.

Investeringen i huggarutrustning har satts till 10 000 kr och nyttjandetiden till 200 timmar/år. Eftersom nyttjandetiden per år är relativt måttlig har avskrivningstiden satts till 3 år. Timkostnaden vid 5 % ränta och en antagen lönekostnad på 170 kr/G0-tim har beräknats till 198,30 kr. Persontransporten mellan gård och avverkningsobjekt förutsätts ske med egen bil. Medelhastigheten vid transport antas vara 60 km/tim och bilkostnaden 45 kr/mil. Avståndet mellan gård och avverkningsobjekt antas vara 3 km (enkel väg). Kostnaden för persontransport till och från avverkningsobjektet, inklusive en ställtid på 0,5 tim har beräknats till 147,00 kr.

Som basmaskin för transporter och kraftkälla till huggar och vedprocessor har valts en jordbruks-traktor av fabrikat Valtra, N-serien (110 hk), med ett baspris på 533 000 kr. Maskinen har kompletterats med frontlyft och snöskopa (ved-/flisalternativet) eller pallyft (knubbvedsalternativet) till en kostnad av 46 000 kronor. Det förutsätts att traktorn också används för andra arbetsuppgifter i jordbruk och skogsbruk varför nyttjandetiden har satts till 600 tim/år. För terräng- och hemtransport av kvistade stammar (fallande längder) har valts en 9 tons griplastarvagn (Moheda) med en 6,3 meters kran till en kostnad av 150 000 kronor. Det förutsätts att vagnen också används för andra arbetsuppgifter i jord- och skogsbruket, varför nyttjandetiden har satts till 150 tim/år. Restvärdet antas motsvara 35 % av investeringskostnaden för traktorn och 30 % av investeringskostnaden för griplastarvagnen. Vid 5 % ränta och 12 års avskrivningstid har kostnaden för hela ekipaget beräknats till 517,50 kr/G15-tim. Medelhastigheten vid transport till och från objektet med jordbrukstraktor antas vara 25 km/tim och flyttkostnaden beräknas till 383,00 kr.

För att kunna upparbeta trädstammarna till knubbved har valts en småvedshugg av fabrikat och modell Laimet HP 21 som kostar ca 90 000 kr, inklusive en vinkelslip för skärpning av knivskruven (92 300 kr vid en kurs motsvarande 10 SEK/Euro). Restvärdet på småvedshuggen har satts till 30 % av investeringskostnaden och nyttjandetiden antas uppgå till 100 tim/år. Vid 5 % ränta och 10 års avskrivningstid har kostnaden, inklusive traktor, beräknats till 563,00 kr/G15-tim.

För produktion av pannved har valts en vedprocessor av fabrikat och modell Japa 375 Expert med hydrauldriven kedjesåg och med en klyvkraft på 8 ton. Klyvningen sker automatiskt efter kap-

momentet. Vedmaskinen, som är försedd med en transportör (elevator) med en längd på 4,2 m för transport av den färdigkluvna veden till lager, har kompletterats med ett stockbord och en hydraulisk inmatningsrulle. Kapaciteten uppges av tillverkaren ligga på 4-10 m³t/tim beroende på stamdiametern. Den totala kostnaden uppgår till 121 500 kronor. Restvärdet har satts till 30 % av investeringskostnaden och nyttjandetiden antas uppgå till 100 tim/år. Vid 5 % ränta, 10 års avskrivningstid och 30 % restvärde har kostnaden, inklusive traktor, beräknats till 607,30 kr/G15-tim.

Priset på en konventionell flishugg varierar beroende på fabrikat och modell. I kalkylen har valts en TS-hugg av modell 950 MV 1, vilket är en enkel men funktionsduglig hugg som kostar ca 110 000 kr. Huggen, vilken är försedd med 2 huggstål och körs på ett arbetsvarvtal på 1 000 r/min, har ungefär samma kapacitet som en hugg försedd med 4 huggstål och ett arbetsvarvtal på 540 r/min. Vid 5 % ränta, 10 års avskrivningstid och 30 % restvärde har kostnaden, inklusive traktor, beräknats till 591,10 kr/G15-tim.

För flytt av knubbved (säck på EU-pall) från upparbetningsplats till mellanlager används traktorn med frontlyft och pallgafflar. Kostnaden för detta har beräknats till 501,20 kr/G15-tim. Vid köp av flera säckar ligger inköpskostnaden på ca 100 kr/säck. Därtill behövs EU-pallar och material för takning av veden till en bedömd kostnad på 130 kr/enhet. Den totala kostnaden för retursäck-systemet blir ca 230 kr/enhet och säcken kan återvinnas upp till 10 gånger.

Aktiv torkning av flis kan ske i ett spannmålslager om det finns tillgång till det och om det är tillgängligt för torkning av flis. Alternativt kan någon ”ledig” byggnad ställas i ordning för ändamålet. Då behövs en investering i t.ex. en höfläkt, kanalbygge, väggmaterial och en perforerad bottenplåt. Investeringen för detta varierar med lagrets storlek (materialåtgång) och kostnaden beror på volymen flis som torkas per år. I exemplet har antagits en kostnad på 0,05 kr/MWh, men den kan naturligtvis bli såväl högre som lägre.

För transport av veden/flisen har valts en ordinär 9 tons tippbar spannmålskärra, från Bala Agri AB, till en kostnad av 90 000 kr. Det har antagits att kärran också används till andra transportarbeten, varför utnyttjandetiden har satts till 200 timmar per år. Vid 5 % ränta, 15 års avskrivningstid och ett restvärde på 30 % har kostnaden beräknats till 494,60 kr/G15-tim, inklusive kostnaden för traktorn. Vid transport till kund har antagits en lastvolym motsvarande 10,0 MWh för samtliga bränslealternativ. Flis och pannved hanteras och transporteras som bulkods. Knubbveden hanteras och transporteras i säck på EU-pall (1,25 m³s/säck). Vid transporten har antagits att 8 säckar placeras på lastflaket och ytterligare 2 säckar ovanpå dessa, d.v.s. totalt 10 säckar med en totalvolym på 12,5 m³s (ca 10 MWh). Flis och pannved lastas med traktor och skopa samt tippas av vid kund. Knubbveden lastas med frontlastare och pallgafflar och avlastningen hos kund sker på samma sätt.

Jämförelsen är gjord under så lika förutsättningar som möjligt beträffande investeringsbehov i maskiner och annan utrustning. Det som skiljer är investeringsbehovet i utrustning för sönderdelning av de kvistade stammarna till bränslesortiment. I kalkylen har marknadsmässiga priser använts för småvedshuggen (90 000 kr), flishuggen (110 000 kr) och vedprocessorn (121 500 kr). Vid samma årligt utnyttjande av maskinerna, samma förutsättningar beträffande basmaskinens (traktorns) inköpskostnad, årligt utnyttjande och samma övriga förutsättningar (låneränta, avskrivningstider mm.) blir kostnaderna för traktor och vedupparbetningsmaskiner 563 kr/G15-tim (knubbved), 607 kr/G15-tim (pannved) respektive 591 kr/G15-tim (flis).

Enligt givna förutsättningar skulle kostnaden bli något lägre för knubbved och flis än för konventionell pannved. Skillnaden mellan de olika alternativen är dock relativt marginell beroende på att förutsättningarna beträffande arbetstider och investeringskostnader är desamma i flera av hanteringsleden från skog till kund, t.ex. avverkning och virkestransport som svarar för mellan 75 och 80 % av den totala arbetsinsatsen och för mellan 55 och 60 % av kostnaden. Upparbetning av

veden till bränsle svarar för mellan 8 och 13 % av arbetstiden och för mellan 19 och 25 % av kostnaden. Arbetstiden för aktiv torkning av flisen svarar i exemplet för 2-3 % av arbetstiden och för 1-2 % av kostnaden. Investeringskostnaden liksom arbetsinsatsen för aktiv torkning är bedömd och därför mycket osäker. Transport till kund svarar för mellan 10 och 13 % av arbetstiden och för mellan 18 och 23 % av kostnaden i det här exemplet med det transportavstånd och de arbetstider för lastning som kalkylen grundar sig på.

Ett ökat årligt utnyttjande av maskinerna sänker kostnaden men relationen blir densamma som i exemplet. Det stora frågetecknet i kalkylen är kostnaden för aktiv torkning av flisen samt kostnaden för retursäcksystemet. Det finns dock ett relativt stort investeringsutrymme för detta innan knubbveden och flisen kommer upp i samma kostnad som den konventionella pannveden.

Tabell 2. Bedömd kostnad, kr/MWh, för knubbved, pannved och flis.

| Kostnad, kr/MWh | Stamdiameter (DBH) \approx 10 cm | | | Stamdiameter (DBH) \approx 15 cm | | |
|------------------------------|------------------------------------|---------------|---------------|------------------------------------|---------------|---------------|
| | Knubbved | Pannved | Flis | Knubbved | Pannved | Flis |
| Avverkning | 182,30 | 182,30 | 182,30 | 121,50 | 121,50 | 121,50 |
| Virkestransport | 62,60 | 62,60 | 62,60 | 56,40 | 56,40 | 56,40 |
| Upparbetning | 54,70 | 89,10 | 72,10 | 52,70 | 82,80 | 64,90 |
| Trp. till mellanlager | 20,10 | | | 20,10 | | |
| Aktiv torkning | | | 4,70 | | | 4,70 |
| Leverans till kund | 76,20 | 73,50 | 74,90 | 76,20 | 73,30 | 74,90 |
| Övr. kostnader ¹⁾ | 0,10 | | 0,10 | 0,10 | | 0,10 |
| S:a kostnad | 395,90 | 407,40 | 396,70 | 326,90 | 333,90 | 322,50 |

1) Retursäcksystem, torkanläggning för flis.

I de redovisade beräkningsexemplen har antagits att maskiner för upparbetning av stammar till ved och flis används 100 timmar per år, vilket kan förefalla vara i minsta laget för någon som sysslar med vedförsäljning. En dubbling av användningstiden, från 100 till 200 timmar/år, innebär att kostnaden vid stamdiametern 10 cm minskar till 390,50 kr/MWh (knubbved), 396,40 kr/MWh (pannved) resp. 388,40 kr/MWh (flis). Vid stamdiametern 15 cm blir kostnaden 321,70 kr/MWh (knubbved), 323,70 kr/MWh (pannved) resp. 315,10 kr/MWh. Kostnadsminskningen blir drygt 5 kr/MWh i knubbvedsalternativet, ca 10-11 kr/MWh i vedalternativet och ca 7-8 kr/MWh i flisalternativet jämfört med en utnyttjandetid på 100 timmar/år.

Enligt Energimyndigheten värms ca 20-25 % av villorna i Sverige med ved som huvudsaklig värmekälla. Priset på färdighuggen, torr ved varierar kraftigt beroende på var i landet man bor och priset kan också variera över året. De högsta priserna återfinns i regel i storstadsområdena där det kan ligga uppemot 500 – 600 kr/m³s under senvinter och tidiga vårmånader. Uttryckt i kronor per fast volym motsvarar det ca 1 000 – 1 200 kr. På landsbygden ligger ett normalpris på ungefär halva den kostnaden. Vid de kostnader som beräknats i tabell 2 skulle skogsägaren vid den klenare stamdiametern (10 cm) behöva ta ut ett pris på 317 kr/m³s för knubbveden och 326 kr/m³s för pannveden för att uppnå ”nollresultat”. Vid den grövre stamdiametern (15 cm) skulle priset behöva ligga på 261 kr/m³s (knubbved) resp. 267 kr/m³s (pannved) för att uppnå ”nollresultat”.

Bedömd arbetsinsats hos kund

Kundens arbetsinsatser och ekonomiska fördelar påverkas av en rad variabler, marknadspriset på bränslet och lokala förutsättningar som gör det svårt att ge en entydig bild. Hantering av konventionell pannved är sannolikt det system som är svårast att rationalisera. Arbetsinsatsen blir relativt omfattande eftersom veden måste ”styckehanteras”. Fliseldning är betydligt enklare att automatisera p.g.a. den mindre bitstorleken och här finns redan etablerade system för t.ex. mekanisk transport mellan flislager och panna. Arbetsinsatsen inskränker sig till översyn av anläggningen, service och ev. reparationer. Knubbved har i många avseenden liknande egenskaper som flis och därmed bör

det vara möjligt att automatisera matningen av knubbved mellan förråd och panna på samma sätt som för flis. Knubbveden kan vid satsvis eldning också hanteras på liknande sätt som konventionell pannved, men där möjligheten till rationalisering bör vara större i och med att den kan hanteras som bulkgoods.

Förflyttningen av konventionell pannved från vedförråd till pannrum kan i det enklaste fallet ske genom att man tar veden i famnen, eller lägger den i en vanlig vedkorg, plastback eller liknande. En begränsande faktor här är antingen vedens vikt eller volym (hur mycket ved orkar jag bära och hur mycket får jag plats med). Ett rationellare och mer arbetsbesparande sätt är att använda en skottkärra eller annat hjulburet redskap för transport från vedförråd till pannrum (vintertid kan man också använda pulka, spark, snöbjörn eller liknande). Går det inte att köra veden direkt in i pannrummet kanske det finns möjlighet att tippa eller lasta av veden via t.ex. ett källarfönster direkt in i pannrummet. Nackdelen med dessa metoder är att veden måste styckehanteras vid lastning i förrådet och vid en eventuell travning av mellanlager i pannrum. Ett mindre mellanlager i pannrummet gynnar torkningen av veden och minskar den totala arbetstiden jämfört med påfyllning i pannan direkt från vedförråd.

Hantering av knubbved från vedförråd till pannrum kan ske på i stort sett samma sätt som konventionell pannved, men istället för styckehantering kan man använda en grepe, kolskyffel eller liknande för lastning av plastback, skottkärra etc. Troligtvis innebär inte detta någon arbetstidsbesparing jämfört med vedalternativet. För att minska arbetsinsatsen och arbetsbelastningen måste någon form av rationellare metoder användas, t.ex. bulkhantering på samma sätt som vid fliseldning där knubbveden tippas direkt vid leverans i ett angränsande förråd till pannrummet. Påfyllning av ved i pannan kan ske med kolskyffel (satsvis eldning) eller via matarskruv från förrådet (automatisk eldning). I det senare fallet skulle i princip endast översyn, service och ev. reparationer utgöra den enda arbetsinsatsen (på samma sätt som vid fliseldning). Uraskning och sotning av pannan torde kräva lika lång arbetstid oavsett om det är konventionell pannved eller knubbved men tar antagligen något längre tid än för flis (sett över året). Andra tänkbara lösningar skulle kunna vara ett säckhanteringssystem där säck och EU-pall transporteras till pannrum med en pallyft, men det kräver betonggolv och fri väg till pannrummet. Tankbart är också att transportera säckarna hängande i en skena till pannrum och påfyllning av pannan direkt från säck. Det är dock mindre troligt att alla har möjlighet, eller kan tänka sig en sådan lösning p.g.a. estetiska skäl. En fördel med säck på pall är dock att veden kan levereras till kund otorkad och att den endast behöver en enkel taktäckning som skydd mot nederbörd. Förflyttning av knubbveden till pannrum kan också ske med relativt enkla redskap (t.ex. hink, plastback eller skottkärra) på samma sätt som i det konventionella pannvedsalternativet. Knubbveden skulle också kunna levereras till kund i container eller i ett hjulburet vedförråd som ställs upp i anslutning till pannrummet och som tas i retur vid nästa leverans. Det finns säkert ytterligare ett antal lösningar som är gångbara till kunder på landsbygden, men för kunder i villaområden där knubbveden skulle kunna konkurrera med t.ex. pellets kan det vara svårare att finna tids- och arbetsbesparande system som kan accepteras rent estetiskt.

Lagerutrymmet vid kund varierar beroende på hur bränslet lagras. Om man antar att kunden köper hela årsbehovet motsvarande ett värmebehov på 20 000 kWh och vedens askhalt är 1 % och pannverkningsgraden 80 % skulle det behövas ca 32 m³s ved/flis vid de omräkningstal som SCB anger (0,8 MWh/m³s). Knubbved levererad i säck på EU-pall skulle då behöva en lageryta på ca 24 m². Det kan jämföras med pellets i smäsäck (16 kg/säck) levererad på EU-pall (832 kg/pall) som skulle behöva en lageryta på ca 6 m². I pelletsalternativet har antagits en askhalt på 0,5 % och en pannverkningsgrad på 85 %. Behovet av lagerutrymme för pellets är endast ¼ av det lagerutrymme som behövs för knubbved. Kundens kostnad för bränslet blir å andra sidan lägre för knubbved (i de redovisade exempel skulle kostnaden bli ca 50-60 % jämfört med ett pelletspris på 2 500 kr/pall).

Om man istället antar att veden/flisen lagras som bulk gods i förråd med en ved-/flishöjd på 2,0 m skulle det behövas en golvyta på knappt 16 m². Om pannveden travas, vilket tar tid och är arbetskrävande, skulle det behövas en golvyta på drygt 10 m².

Diskussion

Det finns för och nackdelar med de olika bränslesortimenten. Konventionell pannved kan tillverkas för eget bränslebehov med mycket enkla redskap och små investeringskostnader, men för en mer affärsmässig produktion krävs att man investerar i en vedmaskin med hög produktionskapacitet och ett minimum av manuella arbetsinsatser. Idag finns ett flertal sådana maskiner på den svenska marknaden till varierande priser och med olika tekniska lösningar för kapning och klyvning av veden. En nackdel med ved är att det bildas mycket skräp i samband med upparbetningen och i de fall kapningen sker med sågkedja får man räkna med en relativt stor spånproduktion som det kan vara svårt att få avsättning för (i beräkningsexemplet har inget volymavdrag gjorts för detta). För maximal effektivitet måste sågkedjan slipas med jämna mellanrum. Kedjan är också, på samma sätt som en flishugg, känslig för föroreningar i veden såsom grus, spik och övrigt metallskrot. Till de lite mer avancerade maskinerna finns i regel tillsatsutrustning som underlättar arbetet och förbättrar arbetsergonomin, t.ex. hydraulisk stocklyft, stockbord och vedtransportör. Av en studie genomförd av Statens Maskinprovningar (Etting, 2002) framgår att vedens kvalitet kan variera beroende på om den klipps eller kapas med sågsvärd. Enligt studien får ved som framställs genom samtidig klipp och skruvrörelse ett grovt kapsnitt och en sämre klyvning än ved som kapas med klinga eller sågkedja och där klyvningen sker i en separat klyv.

Nackdelen med vedalternativet är att det krävs stor andel manuell arbetsinsats eftersom veden normalt styckehandteras i flera led hos vedkonsumenten (travning av ved i vedbod, förflyttning av ved till pannrum och iläggning av ved i pannan).

Flis kan, som tidigare nämnts, framställas av okvistade träd vilket är tidsbesparande vid den motormanuella avverkningen. Lastning av träden på griplastarvagn försvåras dock och träden måste kapas i längder som är hanterbara vid lastningen. Kvaliteten på flisen blir mycket sämre än flis från kvistade stammar och kan medföra driftsstörningar i eldningsanläggningen. Dessutom gynnas tillväxten av mikrobiella organismer och risken att drabbas av allergiska reaktioner (fliseldarsjukan) ökar vid hanteringen av sådan flis, även om flisen torkas. Ett alternativ till att transportera hem de okvistade träden till gården för upparbetning, kan vara att flisa träden direkt i beståndet, men det kräver bra terrängförhållanden eftersom ett flisekipage (traktor med vagn) har sämre framkomlighet än en traktor med griplastarvagn. Risken för skador på kvarstående bestånd är sannolikt också mycket större än vid uttransport av stamdelar med griplastarvagn.

Fördelen med flis är att eldningen kan automatiseras efter det att förugnen eller stokeren fyllts på. Eftersom flisen bulkhanteras finns också möjlighet att automatisera flödet från förråd till eldningsutrustningen (förugn/stoker), men det kräver sannolikt övervakning p.g.a. brandrisken. Till nackdelen med flis finns risken med mögelbildning vid felaktig lagring/hantering.

Små- eller mellanskalig produktion, hantering och eldning av knubbved är dåligt undersökt. Tidigare studier pekar på att maskinkapaciteten är mycket hög på den typ av sönderdelningsutrustning som finns på marknaden, varför prestationen har antagits vara något högre jämfört med konventionell flisning. Prestationen här begränsas av att man inte hinner med att mata huggen. Knubbved har visat sig torka mycket bättre än konventionell pannved p.g.a. att den spjälkas i samband med sönderdelningen. En förutsättning här är dock att stackarna begränsas till ca 10 m³s. Studierna pekar också på att knubbveden återfuktas lättare än konventionell pannved, vilket innebär att den bör in under tak så fort den torkat (eller att man förser veden med tak redan i samband med upparbetningen av veden). Jämfört med konventionell pannved, som normalt styckehandteras mellan

vedbod och panna pekar studierna på att knubbveden kan bulkhanteras, viket bör vara tidsbesparande och mindre arbetsintensivt än styckehantering.

I beräkningsexemplet har valts att flisa, torka och leverera knubbveden i säckar. I samband med studier som genomförts inom projektet har det visat sig att omlastning av veden från säck till skottkärra, hinkar, plastback etc. går mycket bra att genomföra med grepe. Det går också bra att använda en skyffel om veden ligger på ett plant golv och lastningen sker ”underifrån” (i högre nivåer av vedstacken är skyffeln mindre bra eftersom det är svårt och tidsödande att fylla den). Ett alternativ till ett retursäcksystem är bulkhantering på samma sätt som flis, där knubbveden tippas direkt i en ”flisficka” som ligger i anslutning till pannrummet och där veden matas till pannan via en skruvtransportör, eller matas till ett ”veckoförråd” i pannrummet och därifrån till pannan via skyffel. Ett annat alternativ skulle kunna vara ett system som bygger på en transportabel ”vedbod” som ställs av vid bränslekunden och tas i retur vid nästa vedleverans.

Till fördelarna med knubbved hör att eldningen kan automatiseras på motsvarande sätt som vid fliseldning. Risken för mögelbildning bedöms vara mycket mindre för knubbved än för flis, men några studier har inte genomförts som kan bekräfta detta. Till nackdelarna hör också att bränslesortimenten troligtvis ”skräpar ner” i större omfattning än konventionell pannved.

Litteratur

Ager, B., 1982. Småskalig produktion av brännved för enskilda hushåll utan egen skog – tankar kring en fallstudie. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Stencil nr 174.

Björheden, R., 1989. Traktordriven vedprocessor – Pilke 60. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Intern stencil nr 20.

Etting, K., 2002. Arbetsmiljögranskning av vedprocessorer. Svensk Maskinprovning AB i Umeå. Rapport nr PU24678(00)

Flinkman, M., 1983. Industriell tillverkning av brasved. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Stencil nr 241.

Gullberg, T., 1997. Tidsåtgångsmodell för skotning. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Uppsatser och resultat nr 297.

Gustafsson, G., 1988. Forced Air Drying of Chips and Chunkwood.

Hillring, B. & Lidestav, G., 1985. Produktionssystem för brännved. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Intern stencil nr 39.

Liss, J-E., 1984. Drivningsmetoder för självverksamma skogsägare vid tillvaratagande av bränsleflis. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för skogsteknik. Rapport nr 162.

Liss, J-E., 1987. Effektbehov och energiförbrukning vid produktion av bränsleflis med lantbrukstraktormonterade huggar. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för skogsteknik. Rapport nr 173.

Liss, J-E., 1996. Tillredning av pannved med kapklinga och yxa – prestationsnivåer och arbetsbelastning. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Uppsatser och resultat nr 292.

Liss, J-E., 2000. Brännvedens värde vid olika fukthalter. Högskolan Dalarna, Skogsindustriella institutionen, Arbetsdokument nr 9.

Liss, J-E., 2004. Pilotstudie avseende fastvolymprocenter i staplad och stälpt björkved. Högskolan Dalarna, Institutionen för matematik, naturvetenskap och teknik, Arbetsdokument nr 7.

Swartström, J., 1986. Vedberedningsmaskiner – prestationer och arbetsmiljö. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Uppsatser och resultat nr 65.