



Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik
HÖGSKOLAN DALARNA

Pilotstudie avseende fastvolymprocenter i staplad och stjälpst björkved

Jan-Erik Liss



EU-strukturfond
Mål 2 Norra

Systemutveckling/ Arbetsvetenskap
Arbetsdokument nr 7 • 2004
Garpenberg

Innehållsförteckning

Sammanfattning	ii
1. Bakgrund och syfte	1
2. Förutsättningar	2
3. Genomförande	2
3.1 Mätning av fast volym	3
3.2 Mätning av travad och stjälpvolym	3
3.3 Prisrelationer	4
3.4 Densitets- och fukthaltsmätning	4
3.5 Beräkning av vedens värmevärde	5
4. Resultat	5
4.1 Träd- och rundvirkesvolym	5
4.2 Travad/stjälpvolym och vedvolymprocent	7
4.3 Densitet och fukthalt	13
4.4 Beräknat värmevärde	13
4.5 Beräknad vedkostnad uttryckt i kr/kWh	14
5. Diskussion	15
Litteraturförteckning	17
Bilagor	
1. Beskrivning av försökets genomförande	
2. Terminologi	

Sammanfattning

Syftet med föreliggande studie har varit att visa några exempel på hur fastvolymprocenten i sågad och huggen brännved kan variera beroende på om veden är travad eller kastad i hög.

Studien omfattar totalt 80 träd (björkar) med en diameter i brösthöjd mellan 7,6 och 19,0 cm (medeldiameter 11,8 cm). Efter fällning och kvistning kapades stammarna på 3,6 m längd (rotbitar). Resterande del av träden kapades vid toppdiametern 5 cm (toppbitar). Via insamlade data på längd och diameter beräknades volymen. ”Rotbitarnas” volym fastställdes till $3,85 \text{ m}^3\text{f}$ och ”toppbitarnas” volym till $2,33 \text{ m}^3\text{f}$, dvs den totala vedvolymen uppgick till ca $6,2 \text{ m}^3\text{f}$.

Standelarna kapades i vedlängder på ca 30 cm och klövs. Veden från rotbitarna staplades i en vedtrave, varefter volymen beräknades som produkten av travens längd, bredd och höjd (inklusive luft). Därefter kastades veden i en hög, varefter volymen beräknades som produkten av vedhögens längd, bredd och höjd. Veden från trädens toppar fick därefter genomgå samma procedur.

Fastvolymprocenten för tät och vältravad ved av märkeklaven medelgrov björk (rotbitar) blev 74 %, och 67 % om veden klövs ytterligare en gång (finkluven ved). Fastvolymprocenten för toppbitarna (som endast klövs en gång) blev 60 %. För att motsvara $1 \text{ m}^3\text{f}$ ved behövs alltså $1,34 \text{ m}^3\text{t}$ märkeklaven ved och $1,48 \text{ m}^3\text{t}$ finkluven ved från medelgrov björk, eller $1,66 \text{ m}^3\text{t}$ ved från klen björk.

I normala fall travas veden något luftigare än vad som gjordes vid försöket, vilket gynnar torkningen av veden. Fastvolymprocenten för vältravad ved, inklusive en luftspalt p ca 5 cm mellan de olika staplarna, blev 64 % för märkeklaven ved och 58 % för finkluven ved från medelgrov björk, samt 52 % för ved från klen björk. För att motsvara $1 \text{ m}^3\text{f}$ ved behövs $1,55 \text{ m}^3\text{t}$ märkeklaven ved och $1,71 \text{ m}^3\text{t}$ finkluven ved från medelgrov björk, samt $1,91 \text{ m}^3\text{t}$ ved från klen björk.

Fastvolymprocenten för stjälpt ved blev något lägre än för travad ved, eller 55 % för märkeklaven och 51 % för finkluven ved från medelgrov björk (rotbitar) och 47 % för ved från klen björk (toppbitar). För att motsvara $1 \text{ m}^3\text{f}$ ved behövs $1,83 \text{ m}^3\text{s}$ märkeklaven ved och $1,94 \text{ m}^3\text{s}$ finkluven ved från medelgrov björk, eller $2,11 \text{ m}^3\text{s}$ ved från klen björk.

1. Bakgrund och syfte

Vedeldning i småhus svarade enligt den officiella statistiken (Anon. 2003) för ca 9 TWh år 2001. Vedhandlare samt tillverkare och försäljare av vedpannor anger att användningen av ved för uppvärmning av småhus ökat under de två senaste åren, varför förbrukningen sannolikt är högre än vad som framgår av den officiella statistiken. En trolig förklaring till det ökade intresset för vedeldning är stigande olje- och elpriser.

Den ökande efterfrågan på ved har medfört en ökad etablering av vedhandlare på marknaden. Flera privata skogsägare uppger att den för närvarande dåliga lönsamheten på massaved medfört att man i större utsträckning än tidigare använder massaved för uppvärmning av den egna bostaden, eller säljer den som brännved till vedhandlare, vänner och bekanta. Vid försäljning får man även betalt för ved med sämre kvalitet, som normalt skulle vrakas som massaved. Dessutom betalas veden på bark, vilket innebär ca 12-14 % mer volym jämfört med om den säljs som massaved.

Brännveden betalas normalt per kubikmeter travat mått på bark ($\text{kr/m}^3 t_{pb}$), eller per kubikmeter stjälp mått på bark ($\text{kr/m}^3 s_{pb}$). Eftersom energiinnehållet i veden varierar beroende på t.ex. fastmasseprocent och fukthalter är dessa handelsmått inte speciellt bra. Skillnaden, uttryckt i kr/kWh , kan vara relativt stor i två olika rundvirkespartier beroende på trav- och stockegenskaper. Samma sak gäller kapad och kluven ved där fastmasseprocenten t.ex. varierar med vedens diameter och förhållandet mellan vedbitarnas tvärmått och längd. Även vedens kvalitet (krokighet, rötandel etc.) och fukthalten påverkar energiinnehållet.

En prissättning i kronor per fast kubikmeter på bark ($\text{kr/m}^3 f_{pb}$), är att föredra framför en prissättning i $\text{kr/m}^3 t$ och $\text{kr/m}^3 s$, eftersom det ger ett bättre mått på energikostnaden. För att detta skall vara praktiskt möjligt krävs dock att veden först mäts in i travat eller stjälp mått och att man därefter via fastmasseprocenten räknar om volymen till fast mått. Svårigheten häri ligger dock i att bedöma fastmasseprocenten. Ett ännu bättre sätt för prissättning av ved är att väga den och mäta fukthalten samt därefter prissätta veden i kr/kWh . Vissa avvikelser i energiinnehåll förekommer dock mellan olika träslag (och träddelar), varför det är svårt att få till stånd en 100 % rättvis prissättning ens med den metoden (korrigeringar av priset för olika träslag är dock möjlig men kan bli svår att genomföra i praktiken). Xylometermätning är en annan metod för bestämning av fastvolymen, men av flera anledningar är det mindre troligt att metoden kommer att användas på brännved.

Det troliga är att vi får leva med en viss osäkerhet om huruvida vi betalar ett rättvist pris för veden eller inte, men man borde dock undersöka möjligheten att införa ett annat prissättnings-system, t.ex. baserat på vedens fastmassevolym. Genom att undersöka hur fastmasseprocenten varierar i olika vedpartier, samt ta fram nyckeltal för fastmasseprocenten bör en sådan prissättning underlättas. När det gäller rundvirke finns relativt omfattande studier rörande omföringstal mellan fast och travad volym (bl.a. Nylinder 1957, 1959 och 1960), men när det gäller omföringstal för brännved är tidigare studier mer sparsamma (Ekman m.fl., 1922).

Syftet med föreliggande studie har inte varit att ta fram tillförlitliga omföringstal mellan olika vedvolymer (därtill behövs betydligt mer omfattande studier), utan snarare att ge exempel på hur fastvolymprocenten kan variera beroende på upparbetningsgrad och leveransform.

2. Förutsättningar

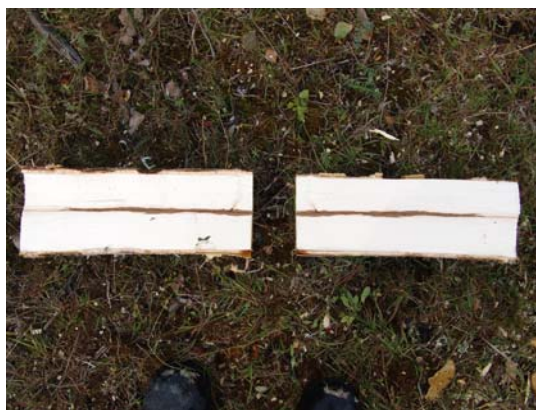
Studien genomfördes i månadsskiftet juni-juli 2004. Träden som ingår i studien är avverkade i ett gallringsbestånd i närheten av f d Skogshögskolan i Garpenberg. Vid avverkning och upparbetning av trädstammarna till ved användes motorsåg och klyvyxa. Virkestransporten från bestånd till upparbetningsplats genomfördes med lantbrukstraktor och griplastarvagn.

3. Genomförande

Totalt 80 björkar av gallringsdimension fälldes och kvistades. Därefter kapades en rotbit på 3,6 meter (på 7 längre träd kapades 2 rotbitar). Resterande del av trädet kapades vid 5 cm i topp. I samband med kapningen togs tre stamtrissor ut (i båda ändar av rotbiten och i toppkapet) för bestämning av fukthalt och densitet. Diameter och längd på träd och stamdelar mättes (för att sedan ligga till grund för volymbestämning). Stamdelarna lastades på griplastarvagn och transporterades till ”vedbacken” där de sorterades i rot- och toppbitar samt kvalitetsbedömdes. Travarnas längd och höjd mättes, varefter volymen beräknades.

Toppbitarna kapades med motorsåg i vedlängder på ca 70 cm, varefter de lades upp i form av en vedtrave som sedan volymbestämdes. Därefter kapades de på mitten (35 cm vedlängd) och klövs, varefter proceduren med travning och volymbestämning upprepades. I nästa försöksled kastades veden i en nätförsedd rektangulär ”hage” som hade måtten 2 x 3 meter. Avsikten med detta var bl.a. att efterlikna ett lastbilslass med ved (där kanteffekterna bör blir ungefär desamma som i näthagen). ”Vedstackens” höjd mättes varefter volymen beräknades. Slutligen lades den kapade och kluvna veden upp i en cirkulär vedstack, varvid veden travades i stackens ytterkant och kastades i dess mitt. Vedstackens mått mättes, varefter volymen beräknades.

Proceduren med rotbitarna var ungefär densamma som för toppbitarna. Först kapades rotbitarna i vedlängder på 35 cm samt kastades i ”näthagen”, varefter ”vedstackens” höjd mättes och volymbestämdes. Därefter mörghklövs bitarna (figur 1) och lades upp i en vedtrave varefter volymen beräknades. Den mörghkluvna veden kastades sedan i näthagen och volymbestämdes. Därefter klövs veden ytterligare en gång (finkluven ved, se figur 1) och staplades i en vedtrave som volymbestämdes. Slutligen kastades den finkluvna veden i näthagen och volymen beräknades. Näthagen fylldes på med veden från toppbitarna, varefter den totala vedvolymen från samtliga 80 träd beräknades.



Figur 1. Mörghkluvna ved (vänster bild) och finkluvna ved (höger bild).

Studien avslutades med att tre olika personer fick mäta och beräkna volymen på en av de vedstackar som tillverkades. Avsikten med detta var att se om volymen skilde sig mellan de olika personerna, och i så fall hur stora dessa skillnader var. Mätningarna genomfördes med hjälp av måttband och tumstock. Personerna, vilka hade tidigare erfarenheter av liknande mätningar, fick själva avgöra hur mätningarna skulle gå till.

3.1 Mätning av fast volym

Vartefter träden fälldes och kapades mättes längden på rot- respektive toppbit. På rotbiten mättes diametern via korsklavning i rot och topp samt på mitten (1,8 m). En korrigering av rotdiametern gjordes på träd med rotansvällning. Medeldiametern vid de olika mätningarna användes vid beräkning av volymen. Samma metod användes för bestämning av toppbitens volym (mätning av diametern via korsklavning i grov- och smaländan samt på mitten). Genom att summerna rot- och toppbitens volym erhöles stamvolymen.

Som en extra kontroll mättes hela trädlängden och diametern i brösthöjd (1,3 m), varefter volymen beräknades med hjälp av Näslunds mindre funktioner. Träd- och stamvolymen jämfördes därefter för att se om några onormala avvikelser förekom.

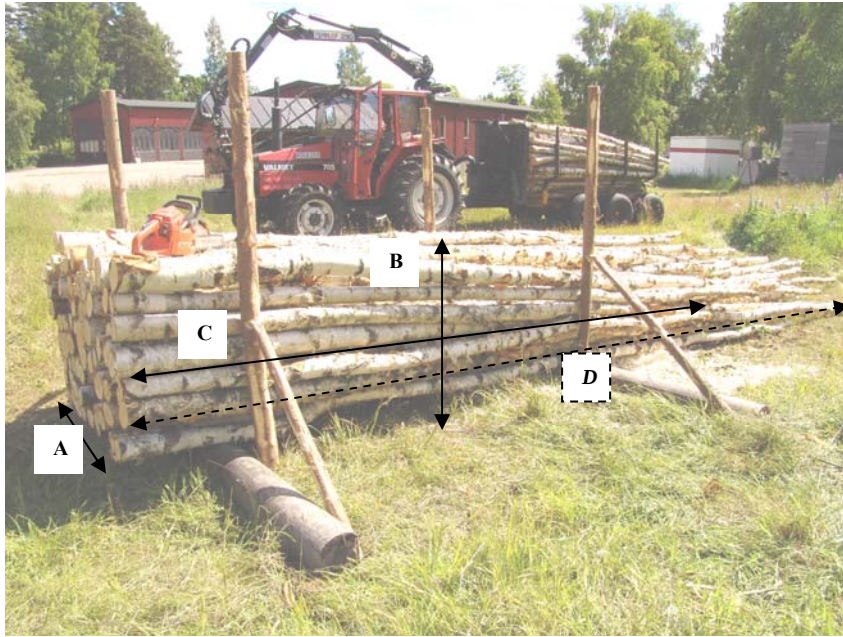
Den använda metoden för volymbestämning skiljer sig från den metod som används av virkesmätningsföreningen, där diametern i rot mäts 50 cm in från fällskäret och där övriga diametrar mäts 10 cm in från respektive kapsnitt.

Innan upparbetningen till brännved gjordes en subjektiv bedömning av stammarnas egenskaper beträffande krokighet, kvistning etc.

3.2 Mätning av travad och stjälpvolym

Mätning av travad och stjälpvolym genomfördes med hjälp av måttband och tumstock. Längd, bredd och höjd mättes på olika delar av vedpartiet, varefter medelvärden användes för beräkning av volymen.

Vid mätning av topparna (rundved i fallande längder) uppstår ofta problem med att bestämma travens längd. En vanligt förekommande metod är att man försöker skatta en medellängd som multiplicerad med travens bredd och höjd ger den travade volymen. Vid försöken har den aritmetiska medellängden beräknats och använts som indata vid volymbereäkningen. Jämförelser görs med en volym grundad på den grundtyvägda medellängden.



Figur 2. Använd metod vid beräkning av travad volym för ved i fallande längder. Volymen $\approx$ travens medelbredd (A) x travens medelhöjd (B) x vedens aritmetiska medellängd (C), m^3t . Travens totala längd $\approx D$.

3.3 Prisrelationer

Vanligtvis betalas brännved i kronor per travad kubikmeter (kr/m^3t), eller i kronor per stjälp kubikmeter (kr/m^3s). Genom att räkna om priset till kronor per fast kubikmeter (kr/m^3f) kan man få en uppfattning om prisrelationen vid olika leveransformer av brännved. I studien har två prisnivåer använts för rundvirke och tre prisnivåer använts för upparbetad ved för att åskådliggöra vad vedens kostnad blir uttryckt i kr/m^3f , nämligen:

- * 100 respektive 150 kr/m^3t för rundvirke
- * 200, 250 respektive 300 kr per m^3s och m^3t för upparbetad ved

3.4 Densitets- och fukthaltsmätning

Medan termen massa betecknar en viss mängd materia, är densitet ett mått på hur tätt packad materien är. Den enhet som används för densitet är kg/m^3 , dvs massa per volymenhet. För bestämning av vedens densitet har en enkel metod använts som bl.a. innebär att veden "vägs under vatten" (massan – lyftkraften från undanträngd vattenvolym). Metoden ger ett någorlunda tillförlitligt värde på densiteten (dock inget exakt värde).

Genom vägning av de träddeklar (stamtrissor) som togs ut i samband med avverkningen erhöles råvikten (A) samt råvikten under vatten (B). Därefter torkades träddeklarna i ugn under cirka ett dygn ($105^\circ C$) och vägdes, varvid torrvikten (C) erhöles.

För beräkning av fukthalt och densiteter användes följande funktioner:

- * Fukthalt, % = $((A-C)/A) * 100$
- * Råvolymvikt (rådensitet), $kg/m^3f = A/(A+B)$
- * Torr-Rådensitet, $kg/m^3f = C/(A+B)$

3.5 Beräkning av vedens värmevärde

Effektivt värmevärde för fuktig ved (W_{eff}) är den värmemängd som teoretiskt kan tas ut ur fuktigt bränsle (i praktiken innehåller alltid veden en viss mängd vatten). Det effektiva värmevärdet för fuktig ved har beräknats genom följande formel:

$$W_{\text{eff}}, \text{ MJ/kg TS} = W_a - 2,44 * (F/(100-F))$$

där; W_a är effektivt värmevärde per kg absolut torr ved, MJ/kgTS.
 F är vedens fukthalt i procent.

Om man tar hänsyn till vedens askhalt (grundämnen som inte är brännbara) används följande formel:

$$W_{\text{eff}}, \text{ MJ/kg TS} = W_a * ((100 - A)/100) - 2,44 * (F/(100-F))$$

där; A är askhalt i procent av torrsustanshalten.

Vid beräkning av W_{eff} har W_a -värdet 19,2 MJ/kg TS använts.

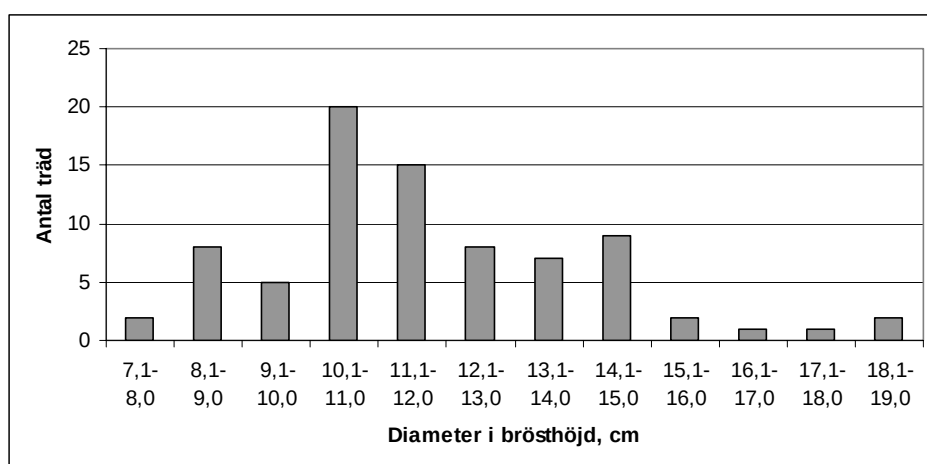
4. Resultat

Eftersom fastmasseprocenten i olika vedpartier varierar, beroende på hur noggrann man är vid stapling av veden etc., bör redovisade resultat betraktas som ungefärliga riktvärden.

4.1 Träd- och rundvirkesvolymer

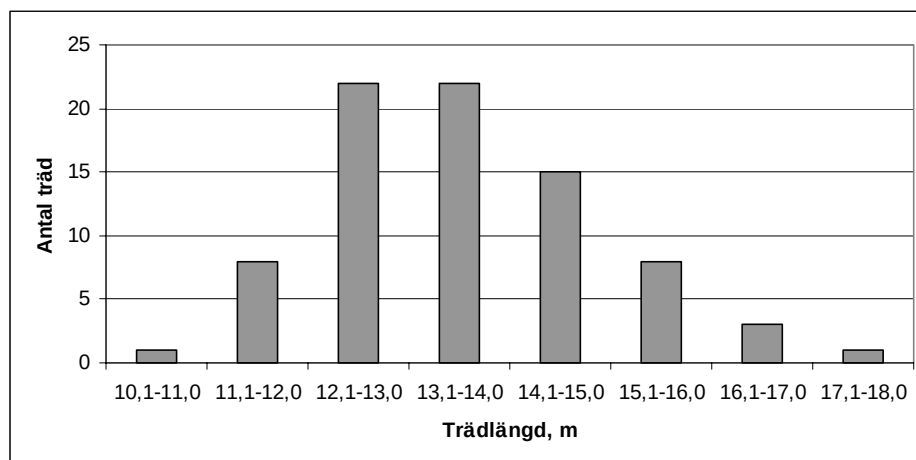
De avverkade träden hade en diameter i brösthöjd på mellan 7,6 och 19,0 centimeter (medelvärde 11,8 cm). 76 % av träden hade en diameter mellan 10 och 15 cm. Antalet träd inom respektive diameterklass framgår av figur 3.

Figur 3. Antal avverkade träd inom respektive diameterklass.



Trädens längd varierade mellan 11,0 och 17,3 meter (medelvärde 13,6 m). 56 % av träden låg inom intervallet 12-14 m. Antalet träd inom respektive längdklass framgår av figur 4.

På 7 av de 80 fällda träden kapades två rotbitar (å 3,6 m). Diametern i brösthöjd på dessa träd var mellan 14,1 och 19,0 cm (medelvärde 16,3 cm) och längden låg mellan 15,4 och 17,3 m (medelvärde 16,2 m).



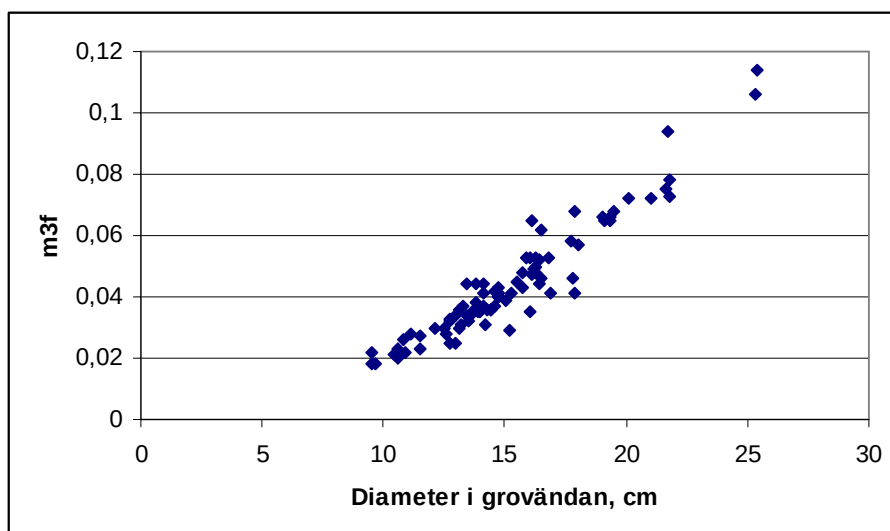
Figur 4. Antal avverkade träd inom respektive längdklass.

Trädstammarnas volym, t.o.m. diametern 5 cm i topp, beräknades med underlag av genomförda mätningar till $6,2 \text{ m}^3 f_{pb}$ (medelstammens volym $\approx 0,08$). Av den totala vedvolymen svarade "rotbitarna" för $3,85 \text{ m}^3 f_{pb}$ och toppbitarna för $2,33 \text{ m}^3 f_{pb}$.

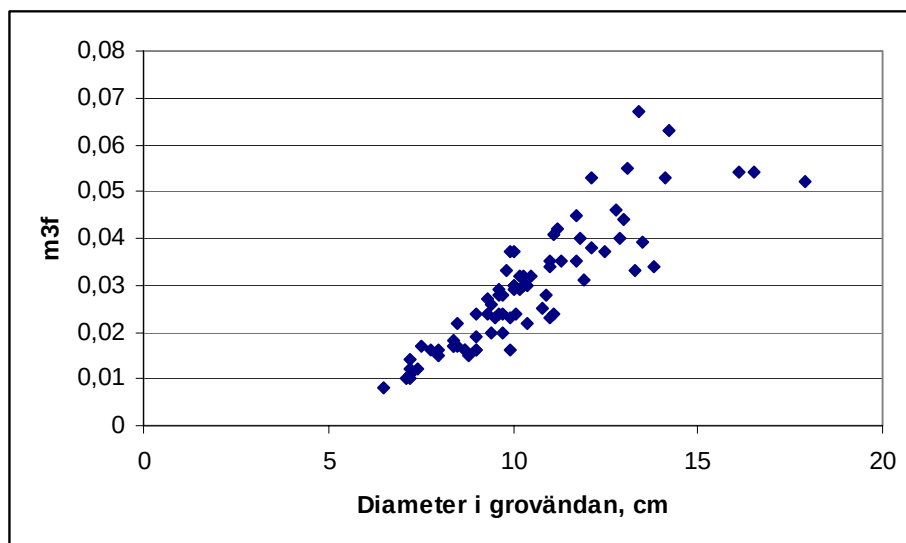
Volymandelen rot- respektive toppbitar med god eller mycket god stamform bedömdes uppgå till 90 %. Andelen krokiga eller något krokiga bitar bedömdes uppgå till 9 % (rotbitar) respektive 12 % (toppbitar). Samtliga bitar var kvistade intill mantelytan. Kvistknölar eller rotben av sådan art att de kunde inverka på travvolymen förekom inte.

Totalt 86 rotbitar (å 3,6 m längd) ingår i studien. Diametern i grovändan låg mellan 9,5 och 25,4 cm (medelvärde 15,2 cm), diametern i smaländan låg mellan 8,0 och 17,9 cm (medelvärde 10,5 cm) och mittdiametern låg mellan 7,4 och 18,4 cm (medelvärde 11,6 cm). Den beräknade volymen uppgick till mellan 0,018 och $0,114 \text{ m}^3 f_{pb}$.

Figur 5. Rotbitarnas volym i förhållande till diametern i grovändan.



Totalt 80 toppbitar (fallande längder) ingår i studien. Samtliga bitar kapades vid 5,0 cm i topp. Längden på bitarna låg mellan 3,0 och 8,2 m (medelvärde 5,5 m). Diametern i grovändan låg mellan 6,5 och 14,2 cm (medelvärde 10,1 cm) och mittdiametern låg mellan 6,0 och 11,2 cm (medelvärde 8,0 cm). Den beräknade volymen uppgick till mellan 0,008 och 0,067 m³_{f_{pb}}.



Figur 6. Toppbitarnas volym i förhållande till diametern i grovändan.

4.2 Travad/stjälpt volym och vedvolymprocent

Volymen rotbitar (rundvirke) har beräknats till 6,63 m³_{t_{ob}}, se figur 7. Eftersom den fasta volymen uppgick till 3,85 m³ på bark blir travens fastmasseprocent 58, vilket i sin tur innebär att det går 1,72 kubikmeter travad ved per fastkubikmeter.

Om man betalar 100 kr/m³_{t_{ob}} för veden, motsvarar det ett pris på 172 kr/m³_{f_{pb}} och om man betalar 150 kr/m³_{t_{ob}} motsvarar det ett vedpris på 258 kr/m³_{f_{pb}}. Skillnaden mellan det högre och det lägre priset blir alltså 86 kr/m³_{f_{pb}} trots att skillnaden endast är 50 kr per travad kubikmeter.



Figur7. Rotbitar.

**Travens mått (L x B x H),
medelvärden ≈ 3,60 x 1,63 x
1,13 m**

Travens volym ≈ 6,63 m³_{t_{ob}}.

Fast volym ≈ 3,85 m³_{f_{pb}}.

Travens vedvolym ≈ 58 %.

Prisrelation

100 kr/m³_{t_{ob}} = 172 kr/m³_{f_{pb}}.

150 kr/m³_{t_{ob}} = 258 kr/m³_{f_{pb}}.

Volymen toppbitar (rundvirke) har beräknats till $4,21 \text{ m}^3 t_{ob}$, se figur 8. Då den fasta volymen uppmättes till $2,33 \text{ m}^3$ blir travens fastmasseprocent 55, vilket i sin tur innebär att det går 1,81 kubikmeter travad ved per fastkubikmeter. Om man utgår från en grundtevägd medellängd, eller en volymvägd medellängd blir fastmasseprocenten något högre, eller 56 %.

Figur 8. Toppbitar.

Travens mått (L x B x H),
medelvärden $\approx 5,50 \times 1,50 \times 0,51 \text{ m}$.

Travens volym $\approx 4,21 \text{ m}^3 t_{ob}$.

Fast volym $\approx 2,33 \text{ m}^3 f_{pb}$.

Travens vedvolym $\approx 55 \%$.

Prisrelation

$100 \text{ kr/m}^3 t_{ob} = 181 \text{ kr/m}^3 f_{pb}$.

$150 \text{ kr/m}^3 t_{ob} = 271 \text{ kr/m}^3 f_{pb}$.



Den travade volymen av mörghluven 35 cm lång ved från rotbitar har beräknats till $5,17 \text{ m}^3 t_{ob}$, vilket motsvarar en fastmassa på 74 % och ett omföringstal på 1,34 (se figur 9). Det bör dock poängteras att veden var väl travad och att veden mellan de olika staplarna lades kant i kant. I praktiken bör man som regel inte lägga veden lika tätt som det gjordes i försöket eftersom det försvårar torkningen. En luftspalt på åtminstone 3-5 cm bör lämnas mellan varje stapel så att vinden ges möjlighet att föra bort den fukt som avdunstar från veden. Vid ett spaltavstånd på 5 cm mellan de olika staplarna och i övrigt normalt travad ved (luftgenomsläpplig) beräknas travens volym uppgå till $5,9 \text{ m}^3 t_{ob}$, vilket ger en fastmassa på 65 %.



Figur 9. Mörghluven ved av rotbitar (35 cm längd).

Travens mått (LxBxH), medelvärden $\approx 1,87 \times 1,58 \times 1,76 \text{ m}$

Travens volym $\approx 5,17 \text{ m}^3 t_{ob}$.

Fast volym $\approx 3,85 \text{ m}^3 f_{pb}$.

Travens vedvolym $\approx 74 \%$.

Prisrelation

$200 \text{ kr/m}^3 t_{ob} = 269 \text{ kr/m}^3 f_{pb}$.

$250 \text{ kr/m}^3 t_{ob} = 336 \text{ kr/m}^3 f_{pb}$.

$300 \text{ kr/m}^3 t_{ob} = 403 \text{ kr/m}^3 f_{pb}$.

När veden klövs ytterligare en gång (finkluven ved) ökade travens volym från 5,17 till 5,56 m³t. Resultatet av mer luft och lägre vedvolym i traven (69 %) är att omföringstalet ökar från 1,34 (märghluven ved) till 1,44 (finkluven ved).

Figur 10. Finkluven ved av rotbitar (35 cm längd).

Travens mått (LxBxH), medelvärden $\approx 1,89 \times 1,60 \times 1,89$ m

Travens volym $\approx 5,56$ m³t_{ob}.

Fast volym $\approx 3,85$ m³f_{pb}.

Travens vedvolym ≈ 69 %.

Prisrelation

200 kr/m³t_{ob} = 289 kr/m³f_{pb}.

250 kr/m³t_{ob} = 361 kr/m³f_{pb}.

300 kr/m³t_{ob} = 433 kr/m³f_{pb}.



Traven med 35 cm lång och klaven ved från toppbitarna hade en lägre fastvolymprocent (60 %) än den finkluvna veden från rotbitarna (69 %), vilket också innebär ett högre omföringstal. För en fastkubikmeter klaven ved från toppbitarna krävs 1,66 m³t, vilket kan jämföras med 1,44 m³t finkluven ved från rotbitarna.



Figur 11. Klaven ved av toppbitar (35 cm längd).

Travens mått (LxBxH), medelvärden $\approx 1,55 \times 1,56 \times 1,60$ m

Travens volym $\approx 3,86$ m³t_{ob}.

Fast volym $\approx 2,33$ m³f_{pb}.

Travens vedvolym ≈ 60 %.

Prisrelation

200 kr/m³t_{ob} = 331 kr/m³f_{pb}.

250 kr/m³t_{ob} = 414 kr/m³f_{pb}.

300 kr/m³t_{ob} = 497 kr/m³f_{pb}.

När den kluvna veden från toppbitarna lades upp i en rund vedstack (figur 12), minskade vedvolymen till 52 %. Vedstacken är en kombination av travad (yttre delen av stacken) och stjälpvolym (inre delen av stacken). Den relativt smala diametern (2,34 m) bör medföra att "kanteffekterna" blir mer påtagliga än i en större vedstack.

Figur 12. Kluven ved av toppbitar (35 cm längd).
Vedstackens mått (HxD),
medelvärden $\approx 1,04 \times 2,34$ m
Stackens volym $\approx 4,45 \text{ m}^3_{\text{ob}}$.
Fast volym $\approx 2,33 \text{ m}^3_{\text{pb}}$.
Stackens vedvolym ≈ 52 %.

Prisrelation

$200 \text{ kr/m}^3_{\text{ob}} = 382 \text{ kr/m}^3_{\text{pb}}$
 $250 \text{ kr/m}^3_{\text{ob}} = 477 \text{ kr/m}^3_{\text{pb}}$
 $300 \text{ kr/m}^3_{\text{ob}} = 573 \text{ kr/m}^3_{\text{pb}}$



Fastvolymprocenten sjönk ytterligare när veden från toppbitarna lades upp i en "renodlad" vedstack (figur 13). Omföringstalet från stjälp till fast volym ökade från 1,91 (figur 12) till 2,11 (figur 13).

Skillnaden mellan travad ved (figur 11) och stjälp ved (figur 13) blev drygt 1 m^3 , dvs om nedanstående ved travas enligt figur 11 blir volymen $3,86 \text{ m}^3_{\text{t}}$. Skillnaden i fastmassa mellan ved i stjälp mått och ved i travat mått kan sannolikt ställa till med vissa problem vid handel med ved. Vedförsäljaren debiterar kunden för en viss volym (m^3_{s}) som sedan travas (m^3_{t}) och därvid visar sig hålla en betydligt lägre volym än vad som framgår av fakturan.



Figur 13. Kluven ved av toppbitar (35 cm längd).

Vedstackens mått (LxBxH,
medelvärden $\approx 3,00 \times 2,00 \times$
0,82 m

Stackens volym $\approx 4,92 \text{ m}^3_{\text{sob}}$.

Fast volym $\approx 2,33 \text{ m}^3_{\text{pb}}$.

Stackens vedvolym ≈ 47 %.

Prisrelation

$200 \text{ kr/m}^3_{\text{sob}} = 422 \text{ kr/m}^3_{\text{pb}}$
 $250 \text{ kr/m}^3_{\text{sob}} = 528 \text{ kr/m}^3_{\text{pb}}$
 $300 \text{ kr/m}^3_{\text{sob}} = 633 \text{ kr/m}^3_{\text{pb}}$

Fastvolymprocenten i en stack med mörghluven ved från rotbitarna (figur 14) blev något högre, eller 55 %, jämfört med motsvarande stack med kluven ved från toppbitarna. Omföringstalet från stjälp till fast kubik blev 1,83.

Figur 14. Mörghluven ved av rotbitar (35 cm längd).

Vedstackens mått (LxBxH),
medelvärden $\approx 3,00 \times 2,00 \times 1,17$ m

Stackens volym $\approx 7,04 \text{ m}^3_{s_{ob}}$.

Fast volym $\approx 3,85 \text{ m}^3_{f_{pb}}$.

Stackens vedvolym ≈ 55 %.

Prisrelation

$200 \text{ kr/m}^3_{s_{ob}} = 366 \text{ kr/m}^3_{f_{pb}}$.

$250 \text{ kr/m}^3_{s_{ob}} = 457 \text{ kr/m}^3_{f_{pb}}$.

$300 \text{ kr/m}^3_{s_{ob}} = 549 \text{ kr/m}^3_{f_{pb}}$.



Fastvolymprocenten blev något lägre om veden klövs ytterligare en gång (finkluven ved från rotbitar), eller 51 %, se figur 15. För en fastkubikmeter krävdes $1,94 \text{ m}^3_{s_{ob}}$.



Figur 15. Finkluven ved av rotbitar (35 cm längd).

Vedstackens mått (LxBxH),
medelvärden $\approx 3,00 \times 2,00 \times 1,25$ m

Stackens volym $\approx 7,48 \text{ m}^3_{s_{ob}}$.

Fast volym $\approx 3,85 \text{ m}^3_{f_{pb}}$.

Stackens vedvolym ≈ 51 %.

Prisrelation

$200 \text{ kr/m}^3_{s_{ob}} = 389 \text{ kr/m}^3_{f_{pb}}$.

$250 \text{ kr/m}^3_{s_{ob}} = 486 \text{ kr/m}^3_{f_{pb}}$.

$300 \text{ kr/m}^3_{s_{ob}} = 583 \text{ kr/m}^3_{f_{pb}}$.

Fastvolymprocenten i en stack med blandad ved (finkluven från rotbitar och kluven från toppbitar) blev 50 % med ett omföringstal på 2,01 (figur 16).

Figur 16. Finkluven ved av rot- och toppbitar (35 cm längd). Vedstackens mått (LxBxH), medelvärden $\approx 3,00 \times 2,00 \times 2,07$ m Stackens volym $\approx 12,4 \text{ m}^3 s_{ob}$. Fast volym $\approx 6,2 \text{ m}^3 f_{pb}$. Stackens vedvolym ≈ 50 %.

Prisrelation

$$200 \text{ kr/m}^3 s_{ob} = 400 \text{ kr/m}^3 f_{pb}$$

$$250 \text{ kr/m}^3 s_{ob} = 500 \text{ kr/m}^3 f_{pb}$$

$$300 \text{ kr/m}^3 s_{ob} = 600 \text{ kr/m}^3 f_{pb}$$



För att få en uppfattning om hur lätt, eller svårt det kan vara att beräkna volymen i en vedstack har fyra personer, med hjälp av tumstock och måttband, mätt ovanstående vedstack samt beräknat volymen. Resultatet framgår av nedanstående tabell.

Tabell 1. Fyra olika personers volymuppskattning av vedstacken i figur 16.

Person nr	Beräknad volym, m^3 s	Fastvolym-%	Omföringstal
1	11,61	53	1,88
2	12,42	50	2,01
3	13,08	47	2,12
4	13,56	45	2,20

Samtliga personer har tidigare erfarenheter av motsvarande mätningar och volymberäkningar. Trots detta skiljde det nästan 2 m^3 s mellan det lägsta och det högsta värdet. Försöket pekar alltså på att det är mycket svårt skatta eller beräkna volymen på en vedstack.

Metoden vid inmätning av vedstacken skiljde sig mellan person nr 2 och övriga personer på så sätt att person nr 2 hade betydligt fler mätpunkter än övriga personer. Vedstacken delades här in i olika sektioner, varvid volymen beräknades som summan av delvolymerna. Som en extra kontroll jämfördes resultatet med summan av volymen för finkluven ved av rotbitar och kluven ved av toppbitar (också här beräknades volymerna som summan av de olika delvolymerna). Trots att person nr 2 har lagt ner mer möda och tid på inmätningen är det dock ingen garanti för att volymen är rätt uppskattad.

Med utgångspunkt från de resultat som studien har givit har nedanstående tabell sammanställts. Omföringstal och fastvolymprocenter för kluven och travad ved har beräknats för 4 staplar som läggs upp bakom varandra, dvs travens längd (djup) består av 4 staplar. Med tät och vältravad ved avses att staplarna ligger dikt an mot varandra och att veden i övrigt är väl packad. Med vältravad ved avses att den är normalt travad (luftgenomsläpplig) och att en luftspalt på ca 5 cm lämnas mellan de olika staplarna.

Tabell 2. Sammanfattade resultat. För tät och vältravad ved har antagits att veden packas så tätt som möjligt. Vältravad ved avser en normalt upplagd (luftgenomsläpplig) vedtrave. Volymen för vedtravarna är beräknad för 4 staplar och den stälpta volymen är beräknad som höjden gånger arean, där arean har måtten 3 m (längd) x 2 m (bredd).

Sortiment	Fastvolym-procent	Omräkningstal till m^3_{fb}
Vältravad ved av:		
- mörghluven medelgrov björk, 35 cm längd	64	1,55
- finkluven medelgrov björk, 35 cm längd	58	1,71
- kluven klen björk, 35 cm längd	52	1,91
Tät och vältravad ved av:		
- mörghluven medelgrov björk, 35 cm längd	74	1,34
- finkluven medelgrov björk, 35 cm längd	67	1,48
- kluven klen björk, 35 cm längd	60	1,66
Stälpt ved av:		
- mörghluven medelgrov björk, 35 cm längd	55	1,83
- finkluven medelgrov björk, 35 cm längd	51	1,94
- kluven klen björk, 35 cm längd	47	2,11

4.3 Densitet och fukthalt

Vedens rådensitet (råvolymvikt) vid avverkningstidpunkten uppgick enligt mätningar till 845 kg/m^3_f och vedens torr-rådensitet låg på 472 kg/m^3_f . Vedens fukthalt var vid samma tidpunkt 44,1 %. Samtliga värden är angivna som medelvärden.

Ovanstående värde på vedens råvolymvikt skulle innebära att 1 m^3_t rundvirke av toppar (44 % fukthalt) väger ca 470 kg och 1 m^3_t rundvirke av rotbitar väger ca 490 kg. Vikten på 1 m^3 vältravad och finkluven ved (fastmassa ~ 55 %) blir med en råvolymvikt på 845 kg/m^3_f ca 465 kg och vikten på 1 m^3 stälpt och finkluven ved (fastmassa ~ 50 %) blir ca 420 kg.

4.4 Beräknat värmevärde

Vedens effektiva värmevärde (W_{eff}) vid fukthalten 44,1 % har beräknats till 17,3 MJ/kg TS. Eftersom ved med fukthalter över 20 % inte bör eldas har det effektiva värmevärdet räknats om för ved med en fukthalt motsvarande 20 % och blir då 18,6 MJ/kg TS. Detta motsvarar ett värmevärde i veden på 5,2 kWh/kg TS. Vedvolymen, uttryckt i m^3_f , har räknats om vid fukthalten 20 % på grund av att veden krymper när den torkar. Vid omräkning av volymen har antagits en torkkrympning på 10 %.

Tabell 3. Beräknat värmevärde vid olika fukthalter i veden.

Vedråvara	44,1 % fukthalt		20 % fukthalt	
	Volym, m^3_f	kWh	Volym, m^3_f	kWh
Rotbitar	3,85	8 723	3,47	9 449
Toppbitar	2,33	5 279	2,10	5 719
Summa	6,18	14 001	5,57	15 168

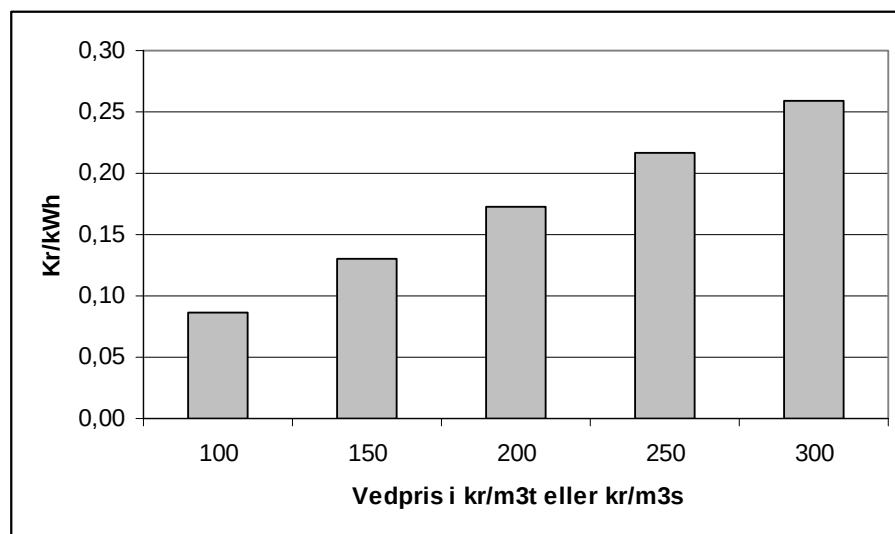
4.5 Beräknad vedkostnad uttryckt i kr/kWh

I nedanstående tabell har energikostnaden, uttryckt i kr/kWh, beräknats för några vedpriser uttryckta i kr/m³t eller kr/m³s. I beräkningarna har inget avdrag gjorts för pannverkningsgrad eller systemverkningsgrad och det har inte heller gjorts något avdrag för vedens askhalt, vilket i praktiken innebär att kundens pris för nyttiggjord energi blir något högre än de värden som anges i tabellen. Värdena är beräknade för fukthalten 20 %.

Tabell 4. Kostnad i kr/kWh vid olika vedpriser i kr/m³t eller kr/m³s och fukthalten 20 %.

	Vedpris i kr/m ³ t eller kr/m ³ s				
Fastvolymandel	100	150	200	250	300
50 %	0,08 kr/kWh	0,12 kr/kWh	0,16 kr/kWh	0,20 kr/kWh	0,24 kr/kWh
60 %	0,07 kr/kWh	0,10 kr/kWh	0,14 kr/kWh	0,17 kr/kWh	0,20 kr/kWh
70 %	0,06 kr/kWh	0,09 kr/kWh	0,12 kr/kWh	0,15 kr/kWh	0,17 kr/kWh

I figur 17 har motsvarande energikostnad, kr/kWh, beräknats under antagande att vedens fastvolymandel är 60 %, askhalten är 1 % och pannverkningsgraden är 80 %. Under givna antaganden ökar energikostnaden med 0,05 kr/kWh vid ett vedpris på 250 kr/m³s.



Figur 17. Kostnad i kr/kWh vid 60 % fastvolymandel, 1 % askhalt och pannverkningsgraden 80 %. Beräkningen avser ved med en fukthalt på 20 %.

5. Diskussion

Omföringstalen för rundvirke varierar beroende av virkets grovlek och krokighet. Praktisk Skogshandbok (1994) anger att $1 \text{ m}^3_{f_{pb}}$ klent rundvirke av björk motsvarar ca $1,66 \text{ m}^3_{t_{ob}}$. För medelgrovt rundvirke av björk anges värdet $1,59 \text{ m}^3_{t_{ob}}$ och för grovt rundvirke av björk anges värdet $1,52 \text{ m}^3_{t_{ob}}$. Omföringstalen är angivna som genomsnittsvärden för landet. Motsvarande fastvolymprocenter för ovanstående värden är ca 60 (klent virke), 63 (medelgrovt virke) och 66 % (grovt virke).

De omföringstal som beräknats i föreliggande undersökning är högre än vad som anges i Praktisk Skogshandbok, och som en konsekvens av detta blir fastvolymprocenten lägre. Omföringstalen för klent rundvirke (toppbitarna) beräknades till 1,81. För det grövre rundvirket (rotbitarna) blev omföringstalet 1,72. Andelen krokiga eller något krokiga bitar i respektive virkespartier bedömdes uppgå till ca 10 %. Eftersom volymen av en vedtrave är produkten av travens längd, bredd och höjd blir slutsatsen att de vedtravar som ingått i studien innehåller något mera luft i förhållande till en "normal vedtrave" (enligt Praktisk Skogshandbok).

Den travade volymen av rundvirke i fallande längder kan beräknas på olika sätt, med något olika resultat som följd. Vid försöket valdes att beräkna volymen som produkten av travens bredd, höjd och den aritmetiska medellängden. Detta gav en fastvolym på 55 %. Ett annat sätt skulle kunna vara att beräkna volymen med hjälp av den grundtyvägda medellängden (53 % fastvolym), eller den volymvägda medellängden (52 % fastvolym). Vilket av dessa alternativ som bäst återspeglar situationen vid praktisk handel med ved är osäker.

För kluven ved sjönk fastvolymen för såväl travad som stjälp ved och blev lägre ju mer finkluven veden var. För vältravad ved blev fastvolymen 52-64 % och för tät och vältravad ved blev fastvolymen 60-74 %. De högre värdena gäller märkeklugen ved av medelgrov björk (rotbitarna) och det lägre värdet gäller finkluven ved. Studien pekar alltså på att fastvolymen i sågad och huggen ved kan variera avsevärt mellan olika vedpartier beroende på hur den är kluven och travad. Dessutom pekar studien på att travad ved från klens träd innehåller en lägre fastvolym än ved från grövre träd. Tidigare studier (Ekman m.fl., 1922) anger en fastvolym på 64-67 % för vältravad brännved av 0,3 m längd.

Fastvolymen för sågad och huggen ved som kastats i hög har i föreliggande studie uppmätts till mellan 47 och 55 %, dvs något lägre än för travad ved. Tidigare studier (Ekman m.fl. 1922) visar på samma sätt att fastvolymen blir lägre om veden kastas i hög än om den travas, samt att stora variationer kan förekomma huvudsakligen beroende på förhållandet mellan vedens tvärmått och längd. Ekman m.fl. (1922) anger att fastvolymprocenten ligger mellan 31 och 53 % hos okluven ved och mellan 27 och 50 % hos kluven ved.

Vid handel med ved kan priset variera kraftigt över året. I slutet av eldningssäsongen (våren) kan priset vara nästan dubbelt så högt som i början av eldningssäsongen (hösten). Den främsta anledningen till detta är naturligtvis att det råder brist på torr, eldningsbar ved under våren. De vedpriser som använts i studien för omräkning till kostnader per fast kubikmeter (200, 250 respektive 300 kr per m^3_s och m^3_t för upparbetad ved) är någorlunda normala höstpriser. Priser på upp till 600 kr/ m^3_t för ved levererad i storsäck noterades under våren 2004, vilket vid 65 % fastvolym motsvarar ett pris på drygt 900 kr/ m^3_f . Vid en pannverkningsgrad på 80 % och 1 % aska blir energikostnaden drygt 50 öre/kWh. Trots den relativt höga vedkostnaden blir energikostnaden lägre än alternativen olja och el, men kräver å andra sidan en hel del egna arbetsinsatser.

Stigande priser på olja och el leder till att allt fler villaägare söker efter billigare uppvärmningsalternativ. Försäljningen av värmepumpar har stadigt ökat under de senaste åren, men kan i vissa fall ifrågasättas på grund av de höga investeringskostnaderna. För större hus, med en hög årlig energiförbrukning kan de dock vara ett bra alternativ. Anslutning till befintlig fjärrvärme är ett annat alternativ med hög bekvämlighetsfaktor. Uppvärmning med pellets har också ökat under senare år men kräver, liksom vedeldning relativt mycket egenarbete. Det idag billigaste uppvärmningsalternativet är ved. Vedeldning ställer dock mycket stora krav på utövaren i form av eget arbete, men framför allt i fråga om kunskaper. Tekniskt sett är vedeldning svårare än eldning med pellets och kräver dessutom ackumulatortank för att minska utsläppen av miljö- och hälsofarliga ämnen.

En ökad efterfrågan på ved kan leda till att oseriösa vedhandlare etablerar sig på marknaden och därmed ökar risken för att utbudet av undermålig ved ökar på marknaden. Ved med olika stadier av röta brinner bra under förutsättning att den är tillräckligt torr, men energiinnehållet är betydligt lägre än i fullgod, frisk ved. Behov finns att man närmare utreder energiinnehållet i ved med olika kvalitetsegenskaper så att såväl etablerade som presumtiva vedeldare kan bedöma huruvida priset är rätt satt.

De slutsatser man kan dra av föreliggande studie är att det är oerhört svårt att skatta fastvolymprocenten i olika vedpartier och att detta i sin tur kan leda till tvister mellan säljare och köpare. Det finns också flera faktorer som inverkar på vedens energiinnehåll och som man inte alls, eller i mycket liten utsträckning tar hänsyn till i dagens handel, t.ex. fukthalter och vedkvaliteter. Den genomförda studien ger ingen vägledning i hur man beaktar dessa frågor. Däremot visar studien exempel på hur fastvolymprocenten kan variera i olika vedpartier och att detta kan ha en relativt stor inverkan på energikostnaden för den enskilde villaägaren. Behovet av fortsatt forskning inom området bedöms vara stort.

Litteraturförteckning

Anon., 2003. Skogsstatistisk Årsbok. Skogsstyrelsen, Jönköping.

Ekman, W. m.fl., 1922. Handbok i skogsteknologi.

Nylinder, P., 1957. Undersökning över fastmasseprocenter, skador m.m. hos två-meters massaved i östra Värmland. Kungl. Skogshögskolan, Institutionen för virkeslära, Stockholm.

Nylinder, P., 1959. Fastmasseprocenten hos några klenvirkessortiment. Kungl. Skogshögskolan, Institutionen för virkeslära, Stockholm.

Nylinder, P., 1960. Massavedens fastmasseprocent före och efter barkning. Skogsägarna Cellulosa AB Mönsterås.

Beskrivning av försökets genomförande

1. 80 björkar fälls och kapas på 3,6 m höjd och vid toppdiametern 5 cm.
2. Stamtrissor från resp. träd (i rot, topp och på 3,6 m längd) tas ut för bestämning av fukthalt och densitet.
3. Längd och diameter på stamdelarna (rot- och toppbitar) mäts varefter volymen beräknas (m^3f).
4. Rotbitarna (å 3,6 m längd) transporteras till ”vedbacken” och läggs i en trave. Travens längd, bredd och höjd mäts och volymen beräknas (m^3t).
5. Toppbitarna (fallande längder med toppdiametern ca 5 cm) transporteras till ”vedbacken” och läggs i en trave. Travens längd, bredd och höjd mäts och volymen beräknas (m^3t).
6. Toppbitarna kapas i längder på 70 cm samt läggs upp i en vedtrave. Travens längd, bredd och höjd mäts varefter volymen beräknas (m^3t).
7. Rundveden från toppbitarna (70 cm långa) kapas på mitten (35 cm) samt klyvs och läggs upp i en vedtrave. Travens längd, bredd och höjd mäts och volymen beräknas (m^3t).
8. Ovanstående ved kastas i en stack (nätkasse). Stackens längd, bredd och höjd mäts och volymen beräknas (m^3s).
9. Ovanstående ved läggs upp i en cirkulär vedstack där veden travas i ytterkanten och kastas i mitten av vedstacken. Stackens diameter och höjd mäts och volymen beräknas (m^3s).
10. Rotbitarna kapas i längder på 35 cm och läggs upp i en trave. Travens längd, bredd och höjd mäts och volymen beräknas (m^3t).
11. Ovanstående ved kastas i en stack (nätkasse). Stackens längd, bredd och höjd mäts och volymen beräknas (m^3s).
12. Ovanstående ved ”märgklyvs” och läggs upp i en vedtrave. Travens längd, bredd och höjd mäts och volymen beräknas (m^3t).
13. Ovanstående ved kastas i en stack (nätkasse). Stackens längd, bredd och höjd mäts och volymen beräknas (m^3s).
14. Ovanstående ved klyvs ytterligare en gång (finklyvs) och läggs upp i en vedtrave. Travens längd, bredd och höjd mäts och volymen beräknas (m^3t).
15. Ovanstående ved kastas i en stack (nätkasse). Stackens längd, bredd och höjd mäts och volymen beräknas (m^3s).
16. Den upparbetade veden från såväl rot- som toppbitar kastas i en stack (nätkasse). Stackens längd, bredd och höjd mäts och volymen beräknas (m^3s).
17. Tre olika personer får var och en (med hjälp av måttband, tumstock och protokollförare) mäta och beräkna volymen på ovanstående vedstack.

Terminologi

Askhalt	- kvot av askans massa och torrsubstansens massa före förbränning
Densitet	- kvot av aska och volym; anges i $\text{kg/m}^3\text{f}$
Diameter	- (hos stamtvärsnitt) avståndet mellan två parallella tangenter (t.ex. klavskänklar)
Effektivt värmevärde	- värmevärde angivet under förutsättning att vatten i bränsle och förbränningsprodukter avgivits som ånga till omgivningen och antagit en given temperatur
Fastvolym	- volym av materialmängd, frånräknat mellanrum mellan materialets bitar; brukar anges i kubikmeter fast volym, m^3f
Fukthalt	- kvot av vattnets massa i ett material och materialets totala massa
Korsklavning	- mätning av två mot varandra vinkelräta diametrar på en trädstam (t.ex. med klave)
Rotansvällning	- förtjockning av stams nederdel (kan variera kraftigt mellan olika träd)
Rådensitet	- kvot av rå massa och rå volym, $\text{kg/m}^3\text{f}$
Skrymvolym	- (om bulkmaterial) volym av materialmängd, inberäknat mellanrum mellan materialets bitar
Torr-rådensitet	- kvot av torr massa och rå volym; brukar anges i kilogram torrsustans per kubikmeter fast volym, $\text{kg TS/m}^3\text{f}$
Torrsustans	- material exklusive vatten (betecknas TS)
Travvolym	- skrymvolym mätt i trave; brukar anges i kubikmeter travad volym, m^3t
Värmevärde	- energimängd per massa eller volym som frigörs vid fullständig förbränning; uttrycks vanligen i MJ/kg
Xylometermätt volym	- fastvolym av virke motsvarande den vid nedsänkning i vatten undanträngda vattenvolymer

Använda förkortningar

m³f	<i>kubikmeter fast volym; materialets verkliga volym utan luft</i>
m³f_{pb}	<i>kubikmeter fast volym på bark</i>
m³s	<i>kubikmeter stälpt mått; totalvolym (ved och mellanrum) för en vedkast</i>
m³s_{ob}	<i>kubikmeter stälpt mått, obarkat ved</i>
m³t	<i>kubikmeter travat mått; totalvolym (ved och mellanrum) för vedtrave</i>
m³t_{ob}	<i>kubikmeter travat mått, obarkat ved</i>
ton TS	<i>ton torrs substans; materialets innehåll av torrs substans, d v s vatten räknas ej in</i>