

Sållning av skogsbränslen

Sieving of energy wood



FOTON: CAROLINA LOMBARDINI/IVALSA & HENRIK VON HOFSTEN/SKOGFORSK

Summary

It has long been known that the target fraction in chipping is important for efficiency and fuel consumption, and thereby costs, in comminution. Similarly, a high proportion of fine fractions in stored material causes higher substance and energy losses.

The advantages of sieving the fine fraction from energy wood have not previously been studied in detail, apart from as a way to reduce the amount of ash contaminant in stump crushing. One material that often contains many contaminants is waste bark, which is collected from the floor at sawmill terminals and sorting plants. Measures to improve quality are normally required before waste bark can be used.

This study is in two parts, where two different sieving units and four different materials were used. For logging residue chips and stemwood chips, a vibrating sieve with two sieve trays was used. For waste bark and uncontaminated milled bark, a large sieve unit with several different sieve trays, including a wind sieve, was used. In both cases, the material was sorted into three sizes.

In the first study, average production of 28.6 ODT per effective hour was measured, somewhat lower for logging residue chips than for stemwood chips. The second study resulted in $14.5 \text{ ODT/h} \pm 1.0$ tonnes for bark and waste bark.

The result of the sieving was that 27 percent of the logging residue chips and 19.2 percent of the stemwood chips were sorted as fine fraction (percentage of dry weight). In both cases, the quantity of oversized chips was negligible. For the bark assortments, 11.2 percent of the dry weight was sieved as fine fraction, while 88.6 percent of the bark and 87.8 percent of the waste bark was usable. The remaining 0.1 and 1.1 percent respectively were rejected. The sieved material also included stones of up to 40 cm in diameter, which could not be included in the measurements. After sieving, the waste bark had an average ash content of approximately 12 percent, mainly in the form of soil and sand.

Sieving, particularly sieving of waste bark, is justified in economic terms, as the material becomes sufficiently pure that most heating plants can use it. An alternative is to mix waste bark with other, more valuable, chips. For logging residue chips, the advantages of sieving are less clear, except when the chips are to be stored for a long time.

Förord

Denna rapport ingår i projektet *Lagring och hantering via terminal*, som finansierats av Energimyndigheten tillsammans med ett flertal aktörer inom skogs- och energibranschen. Projektet genomförs av Skogforsk i samarbete med SLU och innefattar flera olika delprojekt.

Den övergripande frågeställningen för detta delprojekt var: *Kan sållning av flisat trädbränsle vara motiverat med avseende på hållbarhetsaspekterna Ekonomi och energiåtgång i försörjningskedjan?* Frågeställningen har analyserats utifrån materialen grot och städbark.

Ett av delprojekten handlade om att utreda vilka möjligheter sållning och produktanpassning kan tillföra hela försörjningskedjan för skogsbränsle och sågverksbiprodukter, där denna studie är en viktig del. Andra frågeställningar rör lagringseffekter vid terminallagring, långväga transporter och möjligheter till komprimering som transportförberedande behandling.

För att kunna angripa den övergripande frågeställningen behövs kunskap om produktion och kostnader vid sållning. Med produktion avses både prestation, energiåtgång och vilket resultat som uppnås i fråga om målfraktioner och föroreningsgrad efter sållning. Målsättningen för de i denna rapport ingående två studierna har varit att samla in sådana data.

Innehåll

Summary.....	2
Förord	3
Sammanfattning.....	5
Bakgrund	6
Material och metod.....	7
Maskiner och material	7
Studiemetod	11
Resultat	12
Prestationen.....	12
Sållningsresultat	14
Fukthalter.....	19
Ekonomi.....	19
Energiåtgång	21
Diskussion	23
Slutsatser.....	24
Referenser.....	24

Sammanfattning

Att målfraktionen vid flisning har betydelse för effektivitet och bränsleförbrukning och därmed kostnaden i sönderdelningsarbetet är känt sedan tidigare. Likaså att en hög andel finfraktion leder till högre substans- och energiförluster i de fall där flisen måste lagras. Men fördelarna med att sålla bort finfraktionen från skogsbränslen har inte utretts i detalj tidigare, utan då enbart som ett sätt att reducera föroreningsaska i stubbkross. Ett material som regelmässigt innehåller mycket föroreningar är städbark som samlats upp på sågverksterminaler och kring sorteringsverken. För att städbarken ska kunna avyttras krävs därför normalt någon form av kvalitetshöjande åtgärder.

Denna studie visar att sållning, särskilt av städbark, kan vara ekonomiskt motiverad då den blir så ren att de flesta värmeverk kan använda den. Alternativet är att blanda upp städbarken med annan, mer värdefull, flis. För grotflisen är sållningens fördelar inte lika uppenbara annat än i de fall flisen ska lagras under lång tid.

Studien har genomförts i två delar där två olika sållverk använts. I den första delstudien sållades grotflis och stamvedsflis med ett skaksåll med två sållplåtar. I den andra delstudien sållades städbark och bark och då användes en stor sållanläggning med flera olika såll, inklusive vindsikt. I båda fallen utsorterades material i tre storlekar.

I den första studien uppmättes en genomsnittlig prestation på 28,6 TTs per effektiv timme. Sållverket uppnådde en något lägre prestation vid sållning av grotflis än vid sållning av stamvedsflis. Den andra studien resulterade i 14,5 TTs/h $\pm$ 1,0 ton för bark respektive städbark. Sållningen medförde att 27 procent av grotflisen och 19,2 procent av stamvedsflisen sorterades som finfraktion (procent av torrsvikt). I båda fallen blev mängden övergrov material obetydligt. För barksortimenten sållades 11,2 procent av den torra vikten som finfraktion medan 88,6 respektive 87,8 procent (bark respektive städbark) blev acceptmaterial. Resterande 0,1 respektive 1,1 procent var rejekt. Bland det utsållade materialet fanns även stenar på uppemot 40 cm i diameter, vilka inte kunde tas med i mätningarna. Efter sållning hade städbarken en genomsnittlig askhalt på ca 12 procent, huvudsakligen i form av jord och sand.

Bakgrund

Vid sönderdelning av skogsbränslen för bränsleändamål erhålls flis av varierad storlek. Detta kan vara negativt då fraktionsstorleken påverkar partiklarnas förbränningshastighet, men framför allt eftersom de finaste fraktionerna, såsom spån, tenderar att blåsa upp i skorstenen och brinna där. I de flesta fall sönderdelas skogsbränslen mot den målfraktion som mottagarna tar emot som slutprodukt. I slutprodukten finns då en varierande mängd flis i olämplig storlek, vanligen onödigt fin. Vid exempelvis bergtäkter krossas materialet i stället i omgångar, först till en grövre fraktion och därefter till en finare. Finmaterial och övergrov material sorteras ut till en egen produkt eller krossas om.

Att målfraktionen vid flisning har betydelse för effektivitet och bränsleförbrukning och därmed kostnaden i sönderdelningsarbetet vet vi sedan tidigare (Eliasson m.fl. 2015). Utifrån tidigare studier och erfarenheter vet vi även att en hög andel finfraktion leder till högre substans- och energiförluster i de fall som flisen kommer att lagras. Genom att eftersträva sönderdelning till en grövre fraktion och sedan sålla bort finfraktionen kan produkten anpassas för olika ändamål. Detta skulle troligtvis både sänka flisningskostnaden och öka lagringsbarheten genom att risken för höga substansförluster minskar. Samtidigt är det inte realistiskt att sålla bort all finfraktion. Det skulle kräva mycket stora sällplåtar och/eller väldigt låg genomströmningshastighet.

Skogforsk har tidigare studerat sällning av krossad stubbved i trumsiktare (von Hofsten & Granlund, 2010; Fogdestam m.fl. 2012; Anerud m.fl. 2016) med två utgående fraktioner – finmaterial (rejekt) och övrigt. Lösningen fungerade bra för stubbflis då den innehöll relativt lite fin flis, vilket innebar att det bortsållade finmaterialet till största delen bestod av sand och jord. Nackdelen var att större stenar i samma storlek som flisen, inte sållades bort.

Sällning av städbark är i sig inget nytt, men det finns få genomförda studier inom området. Vid genomgång av en del olika utrustningar för sönderdelning och sällning av städbark har inga andra prestationsuppgifter än erfarenhetstal kunnat presenteras (Carlsson, 2005). Städbarken kan ofta bestå av långa strimlor ("granslipsar") med hög fukthalt, vilket gör att materialet tenderar att flätas ihop på ett sätt som gör att föroreningarna följer med. Ett genomgående problem är att sålla bort stenar och järnskrot från brännbart material av samma storlek.

Fördelarna med att sålla bort finfraktionen från skogsbränslen har inte utretts tidigare annat än som ett sätt att reducera föroreningsaska i materialet (von Hofsten & Granlund 2010). Däremot finns kunskap om maskiner och system anpassade för terminalflisning och sällning. Resultat från en pilotstudie indikerar att substansförlusterna kan minskas om finfraktionen sållas bort. Sammantaget väntas sänkta flisningskostnader och en ökad lagringsbarhet möjliggöra en kostnadssänkning med ca 5 procent. Därutöver minskar risken för självantändning vid lagring av en grövre fraktion, då värmen som bildas i stacken inte ackumuleras på samma sätt. En grövre fraktion ger även en jämnare bränsle-kvalitet, vilket gör materialet mer eftertraktat.

MATERIAL OCH METOD

Denna studie har genomförts i två delar där två olika sållverk och olika typer av material har använts.

Den första studien genomfördes tillsammans med Järvsö Bioenergi och Mellanskog under slutet av april 2017. Materialen som studerades var dels grothflis, som på grund av barr och småkvistar förväntades innehålla en hög andel finfraktion, dels stamvedsflis, som förväntades innehålla en låg andel finfraktion. Föroreningsgraden förväntades vara låg för båda materialen.

Den andra studien genomfördes i samarbete med Norra Skogsägarna och Dalafrakt under slutet av september 2017. I försöket sållades dels stadbark från sågen i Sävar, dels bark från sågens barkningsanläggning. Stadbarken förväntades innehålla stora mängder föroreningar medan barken antogs vara i princip ren.

Maskiner och material

JÄRVSÖFÖRSÖKET

I Järvsöförsöket användes ett belgiskt sållverk – Keestrack Frontier K6 – avsett för sortering av grus och jordmassor. Sållverket var bandgående, vägde ca 30 ton och var utrustat med två vibrerande och sluttande sållplåtar om 8,1 m² vardera. Tre utmatningsband åt olika håll matade ut de tre materialen (figur 1).



Figur 1. Sållverket Keestrack Frontier K6 med finfraktionshögen till höger, övergrovt material i mitten och acceptmaterial till vänster. Foto: Henrik von Hofsten, Skogforsk.

Sållplåtarna utgjordes av en sållplåt med sexkantiga hål med 80 mm öppning och en med ett 8 mm nät. Båda plåtarna låg ovanför varandra med ca 20° lutning och vibrerade parallellt i förhållande till varandra. Materialet placerades med hjälp av en hjullastare i en inmatningsficka längst upp på sållverket, varifrån det matades med inställbar hastighet ner på de vibrerande sållen. Det övergrova materialet som inte föll igenom det övre sållet matades ut rakt bakåt som rejekt medan det som föll igenom det övre sållet men inte det undre kom ut på ena sidan av maskinen (accept) och det finaste, som passerat igenom bägge sållen, kom ut på den andra sidan. Hela anläggningen drevs hydrauliskt av en dieselmotor på 91 kW som var placerad under inmatningsfickan.



Figur 2. Sällverkets inmatningsficka längst upp och den grövre, sluttande och vibrerande sällplåten.
Foto: Henrik von Hofsten, Skogforsk.



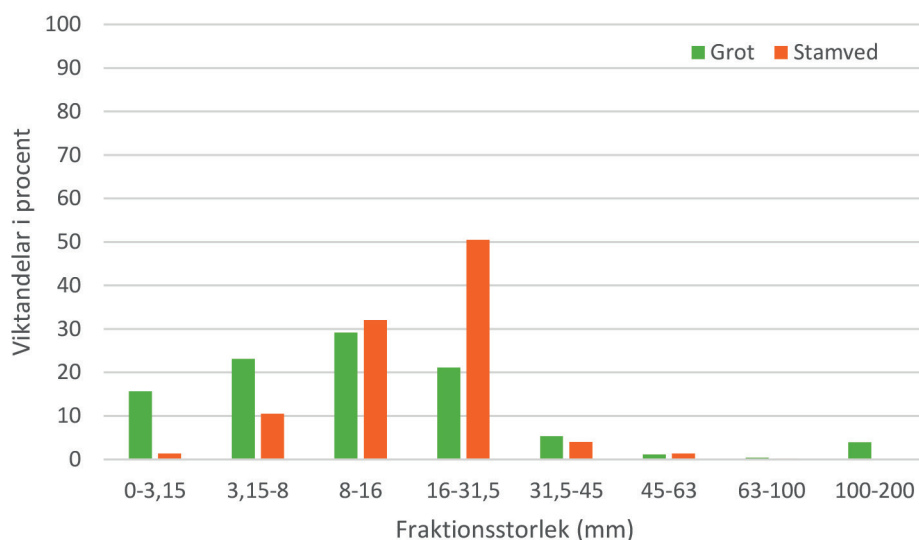
Figur 3. Det finare 8 millimetersållet sett igenom ett av de grövre 80 millimetershålen från den övre sällplåten. Foto: Henrik von Hofsten, Skogforsk.

Valet av sällstorlekar baserades på erfarenhet av den max- och minimifraktion som flertalet värmeverk accepterar samt utifrån erfarenheter om finfraktionernas negativa inverkan på lagringsbarheten. I detta fall användes de sällplåtar som fanns tillgängliga och låg närmast i storlek med de i bränsleflisstandarden SS-EN 15149-1. För att mata sällverket och städa undan sållad flis användes en Volvo L120F hjullastare med en 8 m³ högtippande flisskopa.

Materialen var dels ett parti äldre och relativt torr grothflis och dels ett parti stamvedsflis. Båda materialen var sönderdelade med samma maskin; en Doppstadt 910 flishugg. Totalt användes 42,5 ton (115 m³) grothflis och 46,3 ton (180 m³) stamvedsflis. Prover togs från

de båda ursprungsmaterialen och från vardera av de tre utsållade materialen för bestämning av fukthalt (2 x 12 liter) samt för bestämning av fraktionsfördelningen – totalt 16 prover. Proverna sållades sedan i enlighet med bränsleflisstandarden SS-EN 15149-1.

Fördelningen enligt bränslestandarden för respektive material före sållning framgår av figur 4. För bestämning av fukt- och askhalt togs ytterligare 16 tvålitersprover, vilka torkades och fukthaltbestämdes till 46,7 procent för grothflisen och 38,3 procent för stamvedsflisen. Efter fukthaltsbestämning analyserades askhalten vid SLU i Uppsala.



Figur 4. Fraktionsfördelning för grot- respektive stamvedsflisen före sållning. Järvsöförsöket.

SÄVARFÖRSÖKET

I Sävarförsöket användes ett sållverk byggt av Bollsta Teknik AB. Det finns bara i två exemplar och är byggt på en sexaxlig lastbilsvagn med bruttovikt på ca 60 ton. Sållverket ägs av T. Henningssons Åkeri i Svärdsjö, se figur 5.



Figur 5. Det använda sållverket från Bollsta Teknik AB. Högen längst till vänster är finmaterialet, därefter kommer sten och annat tyngre material. Till höger utanför bild är acceptmaterialet. Foto: Henrik von Hofsten, Skogforsk.

Efter inmatning (längst till vänster i figur 5) fördelades och matades materialet ut på ett inmatningsband, som transporterade upp det till ett spaltsåll (10 mm). Finfraktionen sorterades ut via det första transportbandet. Sedan passerade materialet genom en vind-sikt där sten och tyngre material föll ut på det andra bandet. Det kvarvarande materialet matades över ett fingersåll (70 mm). Övergrovt material krossades därefter till accept, medan normalstort material föll ut direkt till det tredje bandet som acceptflis. Matningen från finsållet till krossen skedde genom att hela den horisontella delen av sållverket vibrerade på ett sätt så att materialet vandrade.



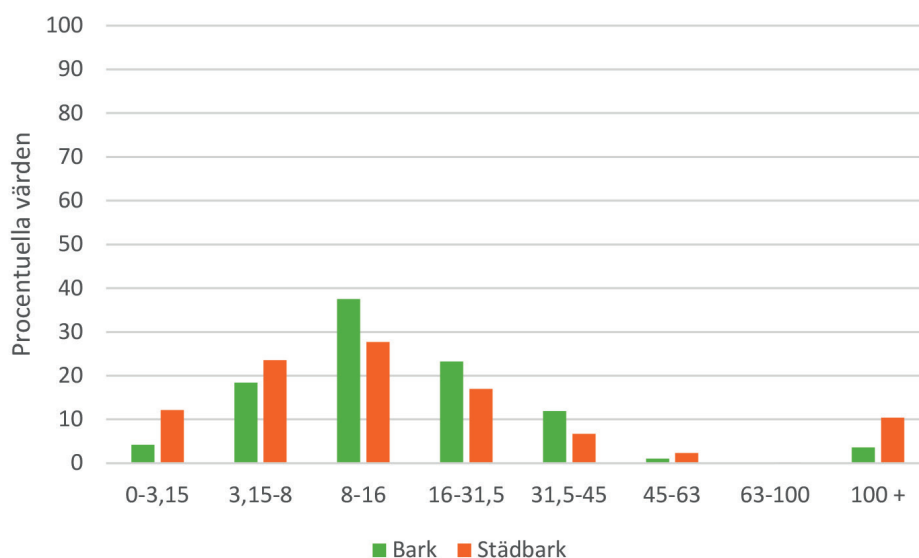
Figur 6. Spaltsållet till vänster och fingersållet till höger. Spaltsållet är delvis övertäckt av gummidukar för att inte allt för mycket av det brännbara finmaterialet ska falla igenom. Foton: Henrik von Hofsten, Skogforsk.

Tvärs över hela matningsrännan fanns en öppen spalt på ca 20 cm. Genom spalten blåstes en kraftig luftström snett uppåt. Det lättare materialet blåste över till fingersållet medan det tyngre föll ner i spalten. Bredden på spalten, liksom matningshastigheter etc. kunde regleras steglöst från lastmaskinen via radiosystem. Hela sållverket drevs diesel-elektriskt från en 440 kW motor placerad i en container vid sidan om sållverket. Samtliga roterande delar drevs via elmotorer medan vissa lägesfunktioner reglerades hydrauliskt.

Storleken på sållen var i princip fast på denna maskin. Sållningen anpassades i stället genom att delvis reglera sållytans storlek för att begränsa mängden brännbar finfraktion som faller igenom (figur 6, vänster) och/eller genom att reglera genomströmningshastigheten. I studien reglerades sållverket utifrån önskemål om partikelstorlek och mängd finfraktion angivna av Sävarsågen. För matning av sållverket och undanstädning av sållad flis användes en Ljungby hjullastare med en 8 m³ standardskopa.

Det sållade materialet utgjordes dels av det senaste årets städbark, som låg i en lång limpa på asfaltsplanen, och dels av ett parti ditförd bark från sågverkets barkningsanläggning. Provtagning för fraktionsfördelning samt torr- och askhaltbestämning var i detta fall svårare än i Järvsöförsöket. Städbark kan ofta innehålla annat bortstädat material än bark, såsom plankor, stenblock, hela toppar m.m. Det var således nästan omöjligt att helt

objektivt beskriva fördelningen av sådana bitar i en hög på drygt 5 000 m³. I stället togs tre prover per utsorterat material (12 liter) för fraktionsbestämning samt nio enlitersprover för torr- och askhalt från de olika framsållade materialen. Dessa behandlades på samma sätt som för Järvsöstudien. Fördelningen enligt bränslestandarden för respektive material innan sållning framgår av figur 7. Fukthalten var för städbarken ca 46,4 procent och för barken 43,4 procent.



Figur 7. Fraktionsfördelning för bark- respektive städbark före sållning. Sävarförsöket.

Studiemetod

Försöken genomfördes som prestationsstudier där maskinernas arbete tidsstuderades och det sållade materialet vägdes. För tidsstudierna användes Skogforsks datorprogram SDI på en Allegro handdator. Följande arbetsmoment registrerades för varje skopa:

Ut	Körning ut till flisstacken
Fyll	Fyllning av skopan inklusive eventuellt omtag
In	Körning in till sållverket
Töm	Tömning av skopan i sållverkets inmatningsficka
Justera	Justering av material i inmatningsfickan
Sålla	Lastmaskinen väntar på att sållverket ska hinna undan
Övrigt	Övrig verktid som inte täcks av ovanstående moment

För varje materialtyp genomfördes tre delstudier om ca 10 råton vardera. Utöver tiderna noterades bränsleförbrukning för sållverket och hjullastaren (endast Järvsö) för varje upprepning om ca 10 råton. Därefter avbröts studien och högarna vägdes med hjullastaren och kördes undan. Sedan fylldes diesel till kanten på respektive maskin och studien fortsatte. I hjullastarens bränsleförbrukning ingår således även bortkörning av sållat material.

Resultat

Det undre sållets hålstorlek begränsade Keestrac-verkets prestation. Matningen från inmatningsfickan till sållen fick anpassas helt till det undre sållets kapacitet. Enbart en kort bit av den övre plåten utnyttjades innan materialet runnit igenom (figur 2). På den undre plåten var det fullt hela vägen ner till utmatningsbandet. Om inmatningen skulle ha ökat ytterligare hade en alltför stor del finmaterial följt med acceptmaterialet.

För Bollsta Tekniks sållverk, Sävarstudien, var det främst vindsikten som begränsade matningshastigheten. Vid för hög matningshastighet blev det för mycket material över vindsikten, vilket antingen renderade i att allt filtade ihop sig och följde med över spalten eller att det mesta föll igenom. Samtidigt fanns ett samspel mellan spaltsållet och vindsikten. Med för hög inmatning följde en onödigt stor del av finmaterialet med acceptmaterialet samtidigt som det blev för tjockt med material över vindsikten. Följden blev att en del sten och annat ”red” över till acceptmaterialet på mattan av bark.

PRESTATIONEN

I Järvsöstudien uppmättes i genomsnitt en prestation på 28,6 torra ton per effektiv timme. Resultatet var något lägre för grot och högre för stamvedsflis. Sävarstudien resulterade i 14,5 torrton/h $\pm$ 1,0 ton för bark respektive städbark, tabell 1.

	Järvsöstudien		Sävarstudien	
	Grot	Stamved	Bark	Städbark
Ut	463	664	264	545
Fyll	316	403	131	300
In	471	697	276	572
Töm	757	850	252	286
Justera	208	22	0	0
Sålla	1 861	1 084	2 528*	2 125*
Övrig verktid	299	216	580	368
Summa	4 375	3 935	4 033	4 198
Torrton	26,5	38,7	17,13	16,04
Bränsle, sållverket (lit)	13,2	9,4	44,8	32,4
Bränsle, hjullastare (lit)	38,3	30,2	34,2**	
Torrton per timme	21,8	35,4	15,3	13,8
Liter bränsle per torrton	1,9	1,0	4,6	4,2

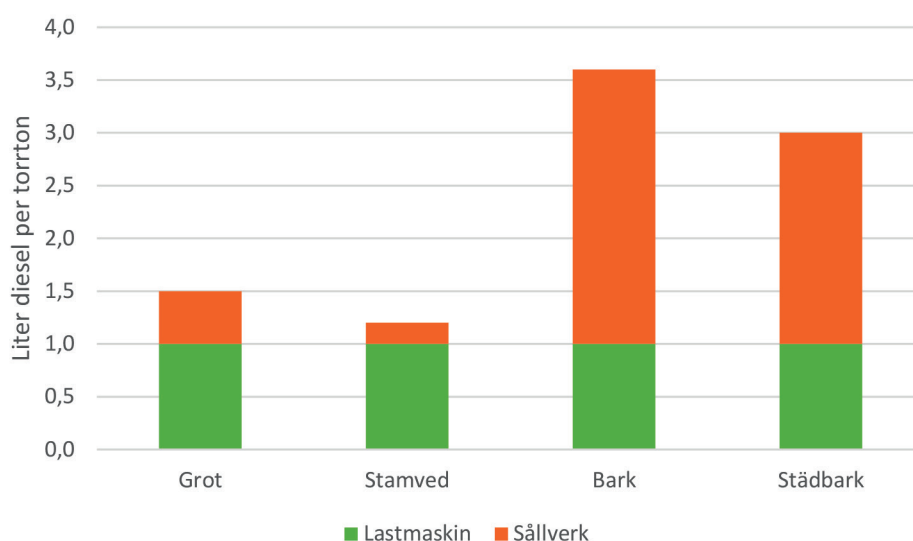
* Sällningstiden, alltså den tid då lastmaskinen väntar på att sållet ska arbeta undan, är här 40 procent av inmätt tid (se nedan).

** Medelvärde av Järvsöstudiens resultat.

Studiesituationen i Sävar innebär att lastmaskinen mot slutet av varje delstudie var tvungen att stå och vänta på att sållverket skulle gå tomt innan de utsållade sortimenten kunde vägas och köras undan. Detta medförde en betydligt högre andel väntan/sällningstid än normalt. För att få en uppfattning av lastmaskinens tidsfördelning på detta arbetsmoment genomfördes därför en kortare tidsstudie utan provsampling. Då framgick att lastmaskinen kan antas vänta på sållverket ca 40 procent av tiden i stället för nästan 80 procent, vilket var fallet vid studietillfället.

På grund av en lägre andel finfraktion gick det betydligt snabbare att sålla stamvedsflisen. Dessutom hade finfraktionen i grotflisen en tendens att hänga ihop på ett sätt som stamvedsflis sällan gör. Stamvedsflis är regelmässigt slät och fin på ytan vilket gör att den ”rinner” igenom på ett snabbt och smidigt sätt. Grotflisen består till stor del av smågrenar, ofta med barren kvar, som hakar i varandra vilket gör att flera småbitar kan bete sig som en stor i sållverket. Tyvärr fanns inte tillfälle att göra försök med ett annat finfraktionssåll för att se hur mycket det påverkar prestationen, men intrycket var att valet av finfraktionssåll kan påverka prestationen för Keestrac-sållet avsevärt.

I Sävar uppstod i princip samma situation, där städbarken tenderade att kladda och hålla ihop på ett sätt som vanlig bark inte gör. Den innehöll även en hel del grenar, plankbitar, järnskrot och annat som städats upp från sågverksplanen.



Figur 8. Dieselförbrukning för lastmaskiner och sållverk fördelat på de olika ingående materialen.

Energiförbrukningen för sållverket i Järvsöstudien var 0,5 liter/torrton (grot) respektive 0,2 liter/torrton (stamved). För Sävarstudien var motsvarande siffror 2,6 liter/torrton (bark) respektive 2,0 liter/torrton (städ bark). Till båda studierna kommer ca 1 liter/torrton för lastmaskinen (mycket beroende på prestation och körteknik).

Varför sållverket i Sävarstudien förbrukade så mycket mer bränsle än det i Järvsöstudien är svårt att ha någon säker uppfattning om. Några troliga orsaker är att det i Sävarstudien ingick både vindsikt och krossning av övergrov material utöver de två vanliga sållen samt att städbark är välkänt besvärlig. Den hänger gärna ihop och kladdar på ett sätt som gör att man måste reducera mängden material över ett givet såll för att få ett acceptabelt resultat. I denna studie drevs sållverket dieselelektriskt, vilket skulle kunna innebära effektförluster i överföringen. Å andra sidan är det fullt möjligt att koppla sållverket direkt på elnätet om en tillräcklig kopplingspunkt finns att tillgå (440kW).

Sållningsresultat

Inte oväntat innehöll grotflisen störst andel finfraktion (27 %) och städbarken störst andel föroreningar och rejekt i form av övergrova bitar (Tabell 2). I sammanhanget bör påpekas att vikterna från rejektfraktionen av städbarken kan vara behäftad med ett mätfel på grund av den höga andelen sten och andra föroreningar. Det hamnade en del riktigt grova stenar i denna fraktion som inte kunde tas med i den fortsatta analysen (Fig 9).



Figur 9. Exempel på sten i en av rejekthögarna. Den största mäter nästan 40 cm.
Foton: Henrik von Hofsten, Skogforsk.

Tabell 2. Några nyckelvärden från de båda studierna efter sållning.

		Fin	Accept	Grov
Grot	Råvikt, ton	15,8	32,4	0,06
	Torrhalt, %	44,2	58,2	63,7
	TTs	7,0	18,9	0,04
	Andel av torrsvikt, %	27,0	72,9	0,1
Stamved	Råvikt, ton	11,1	47,5	0,05
	Torrhalt, %	66,8	65,6	69,9
	TTs	7,4	31,2	0,03
	Andel av torrsvikt, %	19,2	80,7	0,1
Bark	Råvikt, ton	3,5	26,4	0,4
	Torrhalt, %	52,5	54,8	54,8
	TTs	1,8	14,5	0,02
	Andel av torrsvikt, %	11,2	88,6	0,1
Städbark	Råvikt, ton	3,8	25,0	0,6
	Varav bark	3,6	23,9	0,29
	Torrhalt, %	51,8	61,4	61,4
	TTs	1,9	14,7	0,2
	Andel bark av torrsvikt, %	11,2	87,8	1,1

JÄRVSÖFÖRSÖKET

Från grotflisen sållades 27 procent av den torra vikten bort som finfraktion. För stamvedsflisen blev det betydligt mindre finfraktion, 19,2 procent, och mer accept, 80,7 procent. I båda fallen utgjorde det övergrova materialet endast 0,1 procent. Inom de tre fraktionerna (fin, accept och rejekt) fördelade sig materialet som i figur 10.



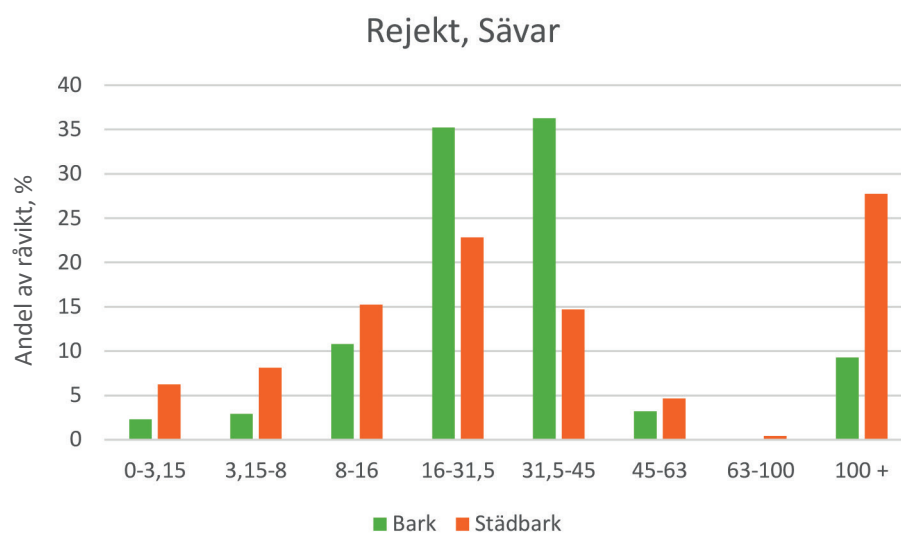
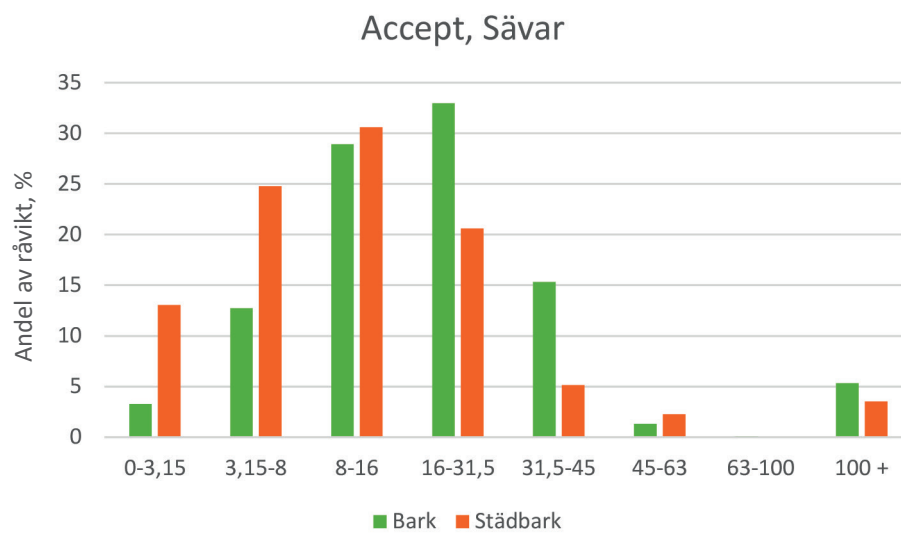
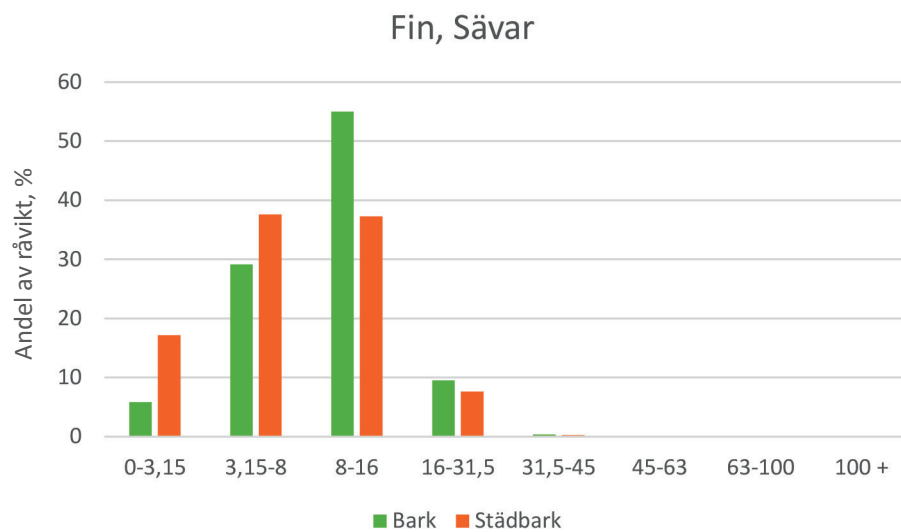
Figur 10. Viktandelar för respektive fraktion för de tre framsållade materialen i Järvsöförsöket.

Finfraktionen var mycket enhetlig efter sållningen och den övervägande majoriteten av materialet var mindre än 8 mm. Dock blev det även en mindre del grövre material också, vilket kan förklaras med att nätmaskorna i finsållet var 8 mm i fyrkant och därmed 11,3 mm på diagonalen. Den sikt som använts, i enlighet med SS/EN-standarderna, för att kontrollera sållningsresultatet har runda hål vilket leder till ett något annorlunda resultat.

För medel- och grovfraktionen var spridningen mellan de olika klasserna större. En del finfraktion blir alltid kvar bland de större fraktionerna, vilket är närmast omöjligt att undvika utan att tvätta eller sålla under mycket lång tid. På samma sätt dyker alltid en del smala, men långa pinnar igenom grovsållet och hamnar i mellanfraktionen. För att minska andelen finfraktion ytterligare kunde genomströmningshastigheten på materialet ha minskats. Men detta hade då skett på bekostnad av prestationen och sannolikt ökat andelen övergrov i acceptfraktionen, eftersom den längre sållningstiden ger de långa pinnarna längre tid och mer utrymme att hoppa runt och till slut hamna så att de passerar igenom en maska i grovsållet.

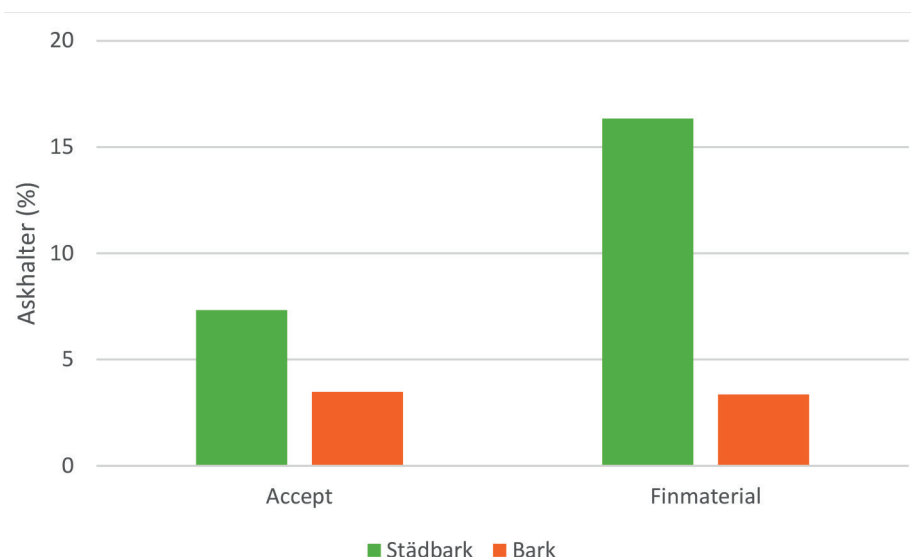
SÄVARFÖRSÖKET

För båda sortimenten sållades 11,2 procent av den torra vikten bort som finfraktion medan 88,6 respektive 87,8 procent (bark respektive städbark) blev acceptmaterial. Resterande 0,1 respektive 1,1 procent var rejekt. Inom de tre fraktionerna (fin, accept och rejekt) fördelade sig materialet som i figur 11.



Figur 11. Viktandelar, inklusive fööreningar, för respektive fraktion för de tre framsållade materialen i Sävar.

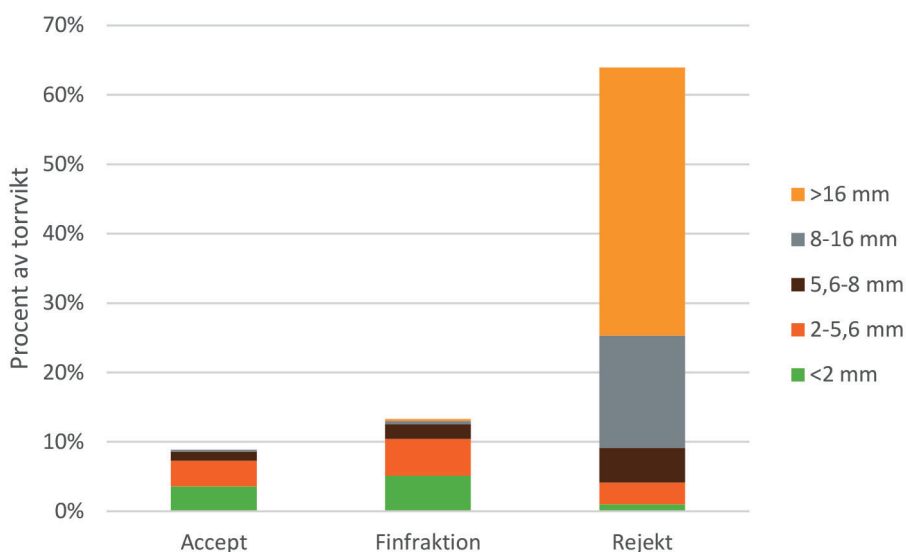
Städbark är välkänd för att innehålla mycket föroreningar. Så var också fallet i Sävar. För att ta reda på mängderna analyserades dels askhalten i respektive prov enligt standarden SS-EN 14775:2009, dels torkades några av sållningsproverna (från figur 11) för att sedan tvättas i vatten så att tyngre material sjönk. Den rena barken hade en askhalt på 3,4 procent $\pm$ 0,13 (stdev) vilket är väl i linje med vad man kan förvänta sig av oförorenad bark (Strömberg et al. 2012). Städbarken hade 2–4 gånger så hög askhalt, figur 12.



Figur 12. Andel aska i barkproverna från Sävar i procent av torrsvikt.

Orsaken till finfraktionens höga askhalt i städbarken förklaras av vattensållningen (figur 12) där det tydligt framgår att finfraktionen innehöll mycket jord och sand.

Syftet med vattensållningen var ta reda på vilken typ av föroreningar som fanns i proverna, vilket framgår i figur 13.

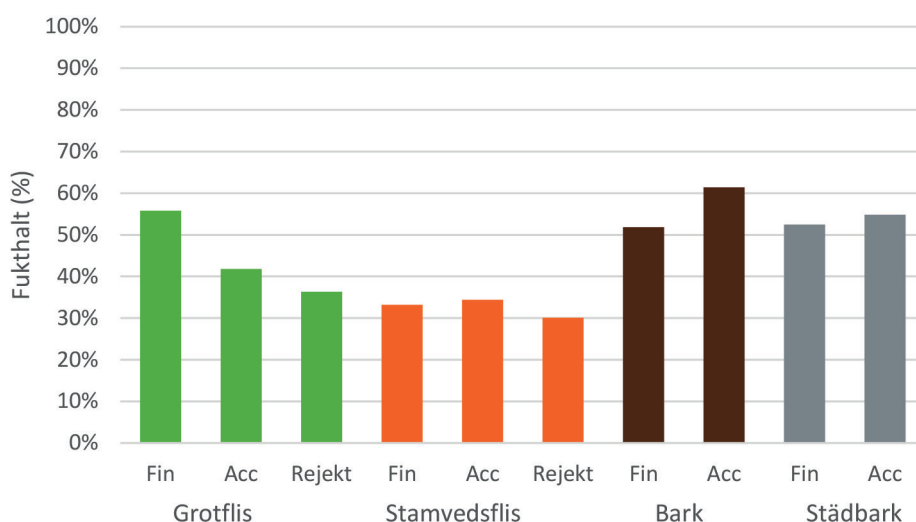


Figur 13. Andelen sten och jord i de vattensållade proverna fördelat på olika kornstorlekar.

Av de vattensållade proverna var 32 procent jord och sten. Detta är sannolikt en underskattning jämfört med hela högen med städbark. Huvuddelen av föroreningarna var att karakterisera som grov sand eller större, i många fall stenar av ett hönsäggs storlek. Men det fanns även betydligt större stenar i rejekthögarna även om de inte togs med hem av rent praktiska skäl (figur 9). Erfarenhetsmässigt kan det inte uteslutas att den finaste fraktionen innehöll en del brännbart material som ändå sjönk till botten.

Fukthalter

Fukthalten för de olika materialen framgår av figur 14. För grothflisen var variationen mellan de framsållade materialen ganska stor, där de vedartade fraktionerna (accept- och grovfraktionerna) var lite torrare än finfraktionen, vilka huvudsakligen består av barr och småpinnar. Det omvända förhållandet gällde för barksortimenten där finfraktionen var något torrare än acceptmaterialet.



Figur 14. Fukthalter för ursprungsmaterial respektive framsållade material. För bark och städbark var fukthalten i rejektet detsamma som för acceptmaterialet.

Varför finmaterialet är torrare än acceptmaterialet för bark men inte för de andra materialen är oklart.

EKONOMI

På grund av att sållverken i båda studierna är så pass unika är det svårt att göra några generella investerings- och produktionskalkyler. Både Järvsö Bioenergi och Dalafrakt har dock godkänt att lämna ut ungefärliga debiterade priser. Detta ger en indikation på var kostnaden kan ligga, vilken dock kan påverkas av exempelvis marknadsläget.

Tabell 3. Underlag för kostnadsberäkning fördelat per material. Alla tider är effektiv arbetstid utan avbrott.

	Järvsöstudien		Sävarstudien	
	Grot	Stamved	Bark	Städbark
Summa G ⁰ -tim	1,2	1,1	1,1	1,2
Summa råton	48,3	58,6	30,2	30,0
Summa torrton	26,5	38,7	13,1	13,9
Råton/tim	39,7	53,6	27,0	25,6
Torrton/tim	21,8	35,4	11,7	11,9
Pris, kr/råton			93,0	93,0
Pris, kr/G ⁰ -tim	2 050	2 050		
Beräknad kostnad, kr/torrton	94	58	214*	200*

*Etableringskostnaden för Sävarstudien är ej inräknad.

JÄRVSÖSTUDIEN

Järvsö bioenergi debiterar normalt 1 100 kr per motortimme för sållverket och 750 kr för hjullastaren. Antaget att ca 10 procent av motortiden inte är produktiv blir den effektiva timkostnaden ca 2 050 kr/G⁰-tim. Med de prestationer för grot- respektive stamvedsflis som uppmätts i denna studie, leder det till en kostnad om 94 kr/torrton för grotflisen och 58 kr/torrton för stamvedsflisen, tabell 3.

Utifrån schablonvärden på torrt material (Q_{p,net,d} 5,36 MWh/tonTS för grotflis och Q_{p,net,d} 5,33 MWh/tonTS för stamvedsflis), beräknades sållningskostnaden till 17,5 kr/MWh för groten och 10,9 kr/MWh för stamvedsflisen.

För att motivera sållning av dessa sortiment krävs alltså en värdeökning på hela materialet med motsvarande summor. Om någon av utfraktionerna i stället minskar i värde krävs ytterligare värdeökningar på resterande material. Värden kan uppkomma i form av ökad betalningsvilja hos kund, minskade lagringsförluster samt genom förenklad logistik hos producenten, till exempel i form av jämnare utnyttjande av maskinresurser eller minskat behov av vägupprustningar, då materialet får ökad lagringsbarhet.

I Järvsöstudien sållades grotflis och stamvedsflis av relativt vanlig karaktär avseende fukthalt, renhet och fraktionsfördelning. Dessa sortiment har enligt Energimyndighetens officiella statistik (Trädbränsle- och torvpriser 2017) marknadsvärden på omkring 180 kr/MWh fritt förbrukare. Torrsustansförlusterna för grotflis som lagras utan täckning i sex månader har uppmätts till mellan 7–10 procent (pers. kom. Anerud 2018), vilket ger en potential på 13–18 kr per ursprunglig MWh om hela förlusten skulle kunna undvikas. Man bör i sammanhanget beakta att torrsustansförluster per automatik inte kan likställas med energiförluster.

Den låga genomströmningen på grotflisen i försöket är anmärkningsvärd och tycktes bero på att materialet kletade ihop. Här finns stor potential att med teknikutveckling öka effektiviteten och sänka kostnaderna.

SÄVARSTUDIEN

Dalafrakt, som ordnade sållverket i Sävar, debiterar 10 000–25 000 kr för transport och omlokalisering av utrustningen beroende på avstånd och därefter 85–115 kr per råton. I beräkningarna har en kostnad på 18 000 kr för omlokalisering plus 93 kr/råton antagits (Tabell 3). Vid 5 000 råton material blir den totala kostnaden 97 kr/råton. Enligt fördelningen mellan råton och torrton i tabell 3 blir motsvarande kostnad 218 kr per torrton för bark och 204 kr/torrton för städbark.

Tidigare år har sågverket i Sävar varit tvungna att blanda in torrt, fint material i den krossade städbarken för att kunna sälja den. Trots det har den största lokala kunden inte velat ta emot mixen och den har i stället fått transporteras en längre sträcka till annan mottagare.

En jämförelse har gjorts mellan alternativen att blanda in torrflis i osållad städbark och att sålla städbarken så att den kan säljas utan inblandning av torrflis. För kalkylens skull har sortimenten bark, städbark och städbarksmix omräknats från torrton till MWh (Tabell 4). Då det inte finns några exakta uppgifter om andelen inblandat material har två nivåer om 10 respektive 20 procent antagits. Kostnaderna för krossning och sållning har tagits från studien – 45,1 kr/MWh för barken och 44,7 kr/MWh för städbarken.

Tabell 4. Beräknade värmevärden för de olika sortimenten.

Värmevärde på torrsvikt	Q _{p,net,d} MWh/ton
Bark, MC 60 %	4,83
Sållad städbark, MC 54 %	4,56
Städbarksmix MC 52 %, 10 % inblandning	4,64
Städbarksmix MC 49 %, 20 % inblandning	4,72

Tabell 5. Jämförelse mellan att krossa och blanda upp städbarken med torrt material samt transportera till mottagare i annan stad, alternativt att sålla och krossa städbarken för att sedan sälja lokalt utan inblandning av torrflis, kr/MWh.

	Osållat med inblandning	Sållat utan inblandning
Intäkt vid försäljning	110	135
Krossning	-21	
Sållning		-45
Frakt, 15 resp. 190 km	-72	-15
Summa, intäkt (kr/MWh)	17	75

Till minusposterna i tabell 5 kan också läggas den uteblivna intäkt som det inblandade materialet hade gett om det kunnat säljas separat istället för att hjälpa upp kvaliteten på städbarken (ca 165 kr/MWh i stället för 110 kr/MWh). Det saknas dock exakta siffror på hur mycket inblandat material per enhet städbark som tidigare använts.

Resultaten i tabell 5 visar att det studerade sållningsalternativet är ekonomiskt fördelaktigt. Även med samma transportkostnad för båda alternativen skulle sållningen vara ett lönsamt alternativ.

ENERGIÅTGÅNG

Bränsleförbrukningen för maskinerna i Sävarstudien var 4,2–4,6 liter diesel per torrton, vilket för städbarken motsvarar 0,87–1,01 liter per MWh. Detta kan jämföras med bränsleförbrukningen vid transport, som kan uppskattas till ca 0,0224 l/tonkm för transporter av bränsleflis (Asmoarp m. fl, 2015). Med en genomsnittlig laststorlek på 17 torrton (38 råton) hamnar den sammanlagda bränsleförbrukningen för sållning, lastning och transport vid beräknad 15 km enkel väg på 6,8 liter per torrton. Alternativet att krossa städbarken, blanda med sågverksflis och lasta, samt transport om 190 km enkel väg landar på 13 liter per torrton. Räknat på energiinnehållet i den levererade flisen,

respektive dieselbränslet ger alternativet med sållning en energieffektivitet på 1,5 procent (förbrukad energi dividerat med utvunnen). Motsvarande siffra för alternativet med städ-barksmix är 2,7 procent, se tabell 6.

Tabell 6. Bränsleförbrukning och energibalans för alternativet osållad städ-barksmix respektive sållad städ-bark till värmeverk.

	Städ-barksmix fjärrkund	Sållat & krossat lokal kund
Latsmaskin, liter diesel/TTs	2,00	2,00
Sållverk, liter diesel/TTs		2,62
Kross, liter diesel/TTs	3,00	
Latsmaskin, liter diesel/TTs	2,00	1,80
Landsvägstransport		
Transportavstånd, km	190,00	15,00
Lastvikt, ton	37,85	37,85
Liter diesel/km	0,52	0,52
Fukthalt	0,57	0,54
Ladtvikt, torrton	16,42	17,54
Σ Liter diesel/torrton	6,02	0,44
Summa diesel/torrton	13,01	6,85
Summa bränsleförbrukning, MWh/torrton ¹	0,13	0,07
Materiallets energiinnehåll, MWh/torrton ²	4,70	4,56
Netto, MWh/torrton	4,57	4,49
Insatt energi procent av utvunnen	2,7%	1,5%

¹ vid ett energiinnehåll om 9 770 kW/m³ (Sv. Petroleuminstitutet, Diesel Mk1, 5% FAME(B5)).

² Från tabell 4. Medel av MC 52 % och MC 49 %.

Diskussion

Ett viktigt resultat från Sävarstudien var att kvaliteten på det utgående materialet kunde accepteras för leverans till det lokala kraftvärmeverket utan inblandning av mer högvärdigt material. Detta var en förutsättning för den positiva kalkylen för sållningen.

Den optimala prestationen för ett sållverk påverkas av ett flertal faktorer där maskstorleken i sållplåtarna, det ingående materialets egenskaper och kraven på finfraktionsandelar och askhalt i det slutliga materialet är de viktigaste. Lägst prestation uppnås vid höga krav på låg andel finfraktion i kombination med ett finmaskigt såll och mycket finfraktion i det inkommande materialet. Genomströmningshastigheten regleras därmed inte bara av hastigheten på inmatningsbandet, utan mer av kraven på det som kommer ut.

Tyvärr finns väldigt få försök att jämföra dessa resultat med. I en studie i Jämtland (Fogdestam m.fl., 2012) krossades och sållades stubbar med en Doppstadt SM 620, trumsåll med 20 mm maskstorlek. Accept- och rejektflis sållades ut, där det senare närmast kan liknas vid det finmaterial som sållades ut i Sävarstudien. Trumsållet hade en prestation på 30,6 ton stubbkross per timme varav 20,4 torrton var acceptmaterial och 10,2 torrton rejekt. Proportionen mellan accept- och rejektmaterial var således ungefär samma som grotmaterialet i Järvsöstudien, men prestationen var ca 10 torrton högre till samma bränsleförbrukning – 0,58 l/torrton för båda sållverken. Om den här differensen beror på skillnaden mellan sållverken eller på det ingående materialet kan inte avgöras. Stubbmaterial innehåller generellt ganska lite fint, brännbart material men mycket sand som förmodligen rinner ur fort och lätt. Grot däremot, innehåller mycket barr som gärna fastnar i sållplåtarna.

Norrlandsjord & miljö AB hanterar stora mängder biobränsle varje år. Bolaget debiterar ca 2 300 kr/h inklusive lastmaskin (+ moms) för ett Doppstadt SM620 trumsåll. Vid en prestation på 25–30 ton/timme motsvarar det ca 75 kr/ton. Norrlandsjord uppskattar att prestationen skulle kunna ökas till 30–35 ton/timme med ett 20 mm såll, allt beroende på andelen finfraktion i utgångsmaterialet och hur mycket finfraktion som kan accepteras i slutprodukten.

Relevanta kostnadsjämförelser tycks saknas i litteraturen. I det specifika logistikupplägget kring städbarken förefaller det dock vara klart bättre att sålla så att städbarken kan transporteras till en kund i närområdet, snarare än att köra smutsig och osållad städbark långa sträckor. Även på samma transportavstånd förefaller sållningsalternativet som ekonomiskt fördelaktigt, då ingen inblandning av mer högvärdigt material krävs. Av tabell 6 framgår att även miljöaspekten talar till sållningens fördel, då förbrukningen av fossil diesel minskar med närmare hälften om man sållar och transporterar kortare sträcka. Därmed minskas även emissionerna i motsvarande grad.

Sållningens huvudsakliga syfte är att höja kvaliteten på ett material. I detta fall genom att i första hand reducera mängden föroreningar, men också genom att dela upp materialet i ett par fraktioner som sedan kan hanteras på olika sätt. De ca 32 procenten föroreningar i städbarken (på torrvikt) går troligen till deponi medan de brännbara fraktionerna, fin och accept, går till förbränning. Med tanke på att en oviss andel av föroreningarna var för skrymmande för att praktiskt kunna tas med i mätningarna kan vi anta att den verkliga andelen ligger något högre än de 32 procenten.

Fördelen med att skilja ut två sortiment är särskilt att acceptmaterialet, som är lite grövre, kan lagras bättre än finmaterialet. Det innebär att om det är avsättningsproblem för den sållade barken kan man fokusera på att avveckla finmaterialet först, medan acceptmaterialet kan vänta.

I samband med lagring av flis sker alltid substansförluster i någon mån, med följderna att en del material som genomgått de tidigare processerna i försörjningskedjan, processer som kostat pengar och energi, inte kommer att användas och generera intäkter. Beaktat lagringsförlusterna på 7–10 %, som uppmäts vid säsongslagring av grothflis är det troligt att sållningen, trots sina 6,4 l diesel per ton, inte ökar energiåtgången ur ett systemperspektiv i de fall då materialet ska långtidslagras.

SLUTSATSER

Kvalitetshöjningen som sållningen gav var tillräcklig för att städbarken skulle kunna avsättas utan inblandning av annat material. Detta gör att det annars inblandade materialet i stället kan avyttras med bättre lönsamhet.

Kalkylen visar att sållning av städbark är mycket lönsamt. Lönsamheten kvarstår även då transportkostnaden mellan mottagarna av de olika sortimenten är densamma.

Sållning av grothflis kan ha potential under vissa förutsättningar:

- Om man planerar för långliggande lager som ett sätt att utjämna resursutnyttjandet i produktionen.
- Om det skulle uppstå en ökad betalningsvilja för det sållade materialet som motiverar kostnaden.
- Om de affärsmässiga förutsättningarna är sådana att sållat material kan säljas på närmare håll och därmed minska logistikkostnaderna.

Referenser

- Asmoarp, V. Jonsson, R. & Funck, J. 2015. Fokusveckor 2015 Bränsleuppföljning för ett 74 tons flisfordon inom projektet ETT-Flis. Skogforsk. Arbetsrapport 890.
- Anerud, E. von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2016. An alternative supply system for stump biomass – coarse grinding combined with sieving of the produced hog fuel. International Journal of Forest Engineering. Vol 27.
- Carlsson, P. 2005. Möjligheter att öka effektiviteten och det ekonomiska utfallet av barkhanteringen vid Seskarö sågverk. SLU, Examensarbete 41.
- Strömberg, B. & Herstad Svärd, S. 2012 Bränslehandboken. Värmeforsk. Rapport 2012:1234.
- Fogdestam, N., Granlund, P. & Eliasson, L. 2012. Grovkrossning och sållning av stubbar på terminal. Skogforsk. Arbetsrapport. 768: 9.
- von Hofsten, H. & Granlund, P. 2010. Effektivare transporter om stubbarna grovkrossas på avlägg. Skogforsk. Resultat 2: 4.