



Uttag av grot som skogsbränsle

TOMAS JOHANNESSON

TORBJÖRN VALUND

LARS ELIASSON



SLU Skogsmästarskolans Rapportserie 2023:01

School of Forest Management
Swedish University of Agricultural Sciences
Box 43
739 21 SKINNSKATTEBERG

Tel: +46 222-349 50

Uttag av grot som skogsbränsle

Huvudförfattare: Tomas Johannesson, Torbjörn Valund, Lars Eliasson

Medförfattare:

Anders Eriksson, Erik Anerud, Raul Fernandez Lacruz, Thomas Parklund

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2023

Omslagsbild: Grotskotning från ett område med höga naturvärden. Grov död ved lämnas medan trivialt bränsle tas tillvara. Foto: Tomas Johannesson.

Elektronisk publicering: <https://pub.epsilon.slu.se>

Serietitel: SLU Skogsmästarskolans Rapportserie

Delnummer i serien: 2023:01

Nyckelord: biobränsle, systemlösningar, måttslag, mätningmetoder, omvandlingstal



LJUNGBERGS
FONDEN



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

Förord

Detta kompendium syftar till att ge en översiktlig information om grothantering i Sverige med förhoppning om att skriften kan vara till nytta för studerande inom skogliga utbildningar samt nyanställda inom skogsbränsleområdet. Målet med arbetet har inte varit att ge en totalt heltäckande bild utan att presentera vissa grunder och viktiga samband mellan olika delar i flödet från skog till förnyelsebar energi.

Kompendiet bygger på en komprimerad blandning av relevanta forskningsresultat och erfarenheter från den praktiska verksamheten.

Författarna vill rikta ett varmt tack till Ljungbergsfonden som gjort det möjligt att genomföra detta arbete. Med deras hjälp hoppas vi att vår insats bidrar till att svensk skogsindustri och de svenska skogsutbildningarna behåller spetspositionen och fortsatt ligger i framkant inför kommande utmaningar och möjligheter med bioekonomi och hållbara energilösningar.

Skinnskatteberg

2023-03-30

Tomas Johannesson, Torbjörn Valund & Lars Eliasson.

Innehåll

BEGREPPSFÖRKLARING, ENERGIMÅTT OCH BETALNINGSVILJA	1
MÄTNING AV FUKTHALT, FUKTKVOT OCH TORRHALT	3
FUKTHALT	3
FUKTKVOT	3
TORRHALT	4
BETALNINGSVILJA OCH ENERGIINNEHÅLL	4
ENERGIINNEHÅLL OCH VÄRMEVÄRDE	5
EXEMPEL	6
EXEMPEL VID 60 % FUKTHALT	6
SKOGSBRÄNSLE SOM FÖRNYELSEBAR ENERGI	8
KOSTNADER FÖR UTTAG AV GROT FRÅN SLUTAVVERKNINGAR	11
PRISHISTORIK	12
AFFÄRSMODELLER, HANDELSMÅTT OCH ENHETER VID ERSÄTTNING	14
ENHETER VID ERSÄTTNING	14
SAMBAND MELLAN OLIKA ENHETER OCH EFFEKTIVT ENERGIVÄRDE	17
RÄKNEEXEMPEL	18
PRODUKTIONSKEDJAN OCH PRODUKTEN – TILL SKILLNAD FRÅN RUNDVIRKE	19
UTMANANDE VOLYMBERÄKNINGAR	19
LÅNGA LEDTIDER	20
MÅNGA INBLANDADE AKTÖRER	20
PLANERING FÖR GROTUTTAG	21
GROTANPASSAD AVVERKNING	23
GROTSKOTNING OCH TÄCKNING	27
PLACERING OCH UPPBYGGNAD AV VÄLTORNA	27
SKYDD MOT ÅTERFUKTNING	27
EFFEKTER AV TORKNING OCH LAGRING AV GROT	30
EFFEKTER PÅ FÖRBRÄNNING OCH NÄRINGSBALANS EFTER UTTAG	30
EKONOMISKA EFFEKTER AV ATT LEVERERA TORRT BRÄNSLE	30
TORKNING PÅ HYGGET	31

TORKNING I VÄLTA	31
TRANSPORTEKONOMI	32
SYSTEM FÖR SÖNDERDELNING OCH TRANSPORT	33
FLISNING	33
KROSSNING	34
FRAKTIONSFÖRDELNING	35
HETA ELLER KALLA SYSTEMLÖSNINGAR?	37
LÖSGROT – KALLT SYSTEM	41
TERRÄNGGÅENDE FLISHUGG I KOMBINATION MED SKOPBILAR – KALLT SYSTEM	42
TERRÄNGGÅENDE FLISARE I KOMBINATION MED CONTAINERBILAR – HETT SYSTEM	44
HUGGBIL – KALLT SYSTEM	46
LASTBILSMONTERADE SEPARATHUGGAR – OFTA, MEN INTE ALLTID, ETT HETT SYSTEM	48
MOBILA TERMINALHUGGAR	49
MOBILA TERMINALKROSSAR	50
STATIONÄR SÖNDERDELNING	52
UTRUSTNING FÖR SÅLLNING AV FLISAT MATERIAL	52
LAGRING AV FLISAT MATERIAL	53
TEMPERATURUTVECKLING BEROENDE AV FRAKTIONSFÖRDELNING	55
SÅLLNING AV SÖNDERDELAT SKOGSBRÄNSLE	56
SKOGSBRÄNSLE OCH LEVERANTÖRERNA – SETT UR KUNDERNAS PERSPEKTIV	59
LEVERANSSÄKERHET	59
BRÄNSLETS ASKHALT	60
BRÄNSLETS FUKTHALT OCH FÖRBRÄNNINGENS FYRA FASER	60
BRÄNSLETS FRAKTIONER ELLER FRAKTIONSFÖRDELNING	61
3 T OCH 3 S	61
ÖVERGRIPANDE OM OLIKA PANNTYPER OCH KONSTRUKTION	63
ROSTERPANNA	63
BUBBLANDE FLUIDISERANDE BÄDD (BFB)	64
CIKULERANDE FLUIDISERANDE BÄDD (CFB)	65
RÖKGASRENING OCH RÖKGASKONDENSERING	65
REFERENSER	67

Begreppsförklaring, energimått och betalningsvilja

Effekt mäts enligt SI-systemet i enheten Watt. Beroende av effekt och tid används olika enheter för energi baserat på SI systemet. Standardenheten för energi är Joule (J), där en J är lika med en Watt under en sekund (Ws). Eftersom 1 timme (h) definitionsmässigt utgörs av 3 600 sekunder (s) gäller att 1 wattimme (Wh) är detsamma som 3600 J. När man mäter större energimängder blir det opraktiskt med små enheter (på samma sätt som vi inte mäter bilars vikt i gram) utan man använder sig av olika multipelenheter såsom kilo (k), mega (M), giga (G) och tera (T).

Några exempel på enheter som används i samhället är:

- LED-lampor för belysning har ofta en effekt mellan 5 – 15 W. En elektrisk apparat som har effekten 100W och används i en timme har förbrukat 100 Wh (Wattimmar). Används samma utrustning i 10 timmar så blir det $100\text{W} * 10 \text{ timmar} = 1\,000 \text{ Wh}$. 1 000 Wh är detsamma som 1 kWh (kilowattimme).
- Bilmotorer eller ett hushålls normala elförbrukning mäts i kWh. Normal elförbrukning för en svensk villa är ca 16 000 kWh per år, dvs 16 MWh.
- När man pratar om energiinnehåll i exempelvis 1 m³s skogsflis, eller energiutbyte per hektar så används vanligen enheten MWh (Megawatt-timme).
- Förbrukning på olika värme- eller kraftvärmeanläggningar mäts i enheten GWh.
- Länders förbrukning och behov mäts i TWh (Terawattimmar).

När man räknar på energimängder och energitäthet i ett bränsle är densitet och fukthalt mycket viktiga parametrar. Några grova överslagvärden finns i tabellerna 1 och 2.

Tabell 1. Tabellen visar normala värmevärden, MWh per ton, och fukthalter för olika bränslen.

Bränsle	Effektivt värmevärde, MJ/kg TS (W_a)	Effektivt värmevärde, MWh/kg TS (W_a)	Fukthalt % av kg råvikt	Effektivt värmevärde (W_{eff})		Askhalt % av kg TS
				MJ/kg rå	MWh/ton rå	
Grot	19,8	5,5	45	9,8	2,7	1,5–3
Torrflis	19,2	5,3	20	14,9	4,1	0,5
Bark	19,5	5,4	55	7,4	2,1	3
Kutterspån	19,2	5,3	10	17	4,7	0,5
Sågspån	19,2	5,3	50	8,4	2,3	0,5
Salixflis	18,4	5,1	50	8	2,2	1,5
Träpellets	19,2	5,3	9	17,2	4,8	0,5
Träbriketter	19,2	5,3	10	17	4,7	0,5
Träpulver	19,2	5,3	5	18,1	5	0,5
Brännved	19,2	5,3	25	13,8	3,8	1
Eldningsolja 1	43	11,9				
Råolja	42	11,7				
Kol	25–30	6,9–8,3				
Metanol	23	6,4				

Tabell 2. Omföringstal mellan enheterna MWh, GJ och toe. toe = ton oljeekvivalenter motsvarande energiinnehållet i ett ton olja.

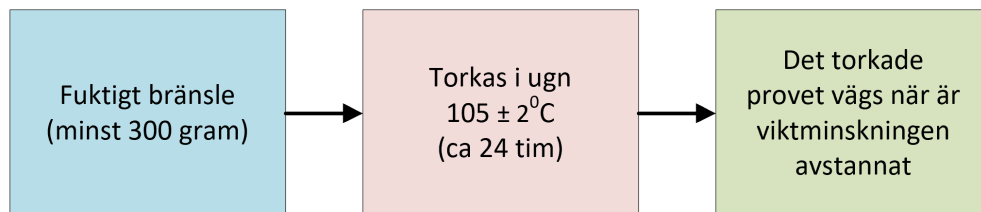
	MWh	GJ	Toe
1 MWh	1	3,6	0,086
1 GJ	0,28	1	0,024
1 toe	11,63	41,9	1

Tabell 3. Grova överslagsvärden för grotflis mellan olika enheter baserat på olika erfarenhetstal. I praktiken förekommer en stor variation mellan de olika värdena beroende av exempelvis fukthalt, fyllnadsgrader och densitet. Densiteten skiljer markant mellan olika delar av trädet (grenar eller stamved) och även mellan olika träslag.

	Ton	MWh	tTS	m ³ fub	m ³ s
1 Ton	1	2,89	0,61	1,26	3,41
1 MWh	0,37	1	0,21	0,46	1,23
1 tTS	1,69	4,77	1	2,10	5,90
1 m ³ fub	0,80	2,19	0,48	1	2,72
1 m ³ s	0,30	0,82	0,18	0,37	1

Mätning av fukthalt, fuktkvot och torrhalt

Det finns flera sätt att mäta vattenmängd i skogsbränsle, exempelvis med olika kapacitans- eller resistansmätare, men referensmetoden och den vanligaste använda metoden är att använda en torkugn (Fridh 2012). Vid användning av torkugn så vägs de fuktiga flisproverna, där varje prov skall vara på minst 300 gram, innan de sedan torkas i en temperatur på $105 \pm 2^\circ\text{C}$ tills vikten har stabiliserats (Figur 1).



Figur 1. Figuren beskriver användandet av torkugn för att fastställa fukthalten i flis som är den vanligast förekommande metoden i dag och den används också som referensmetod vid kalibrering av andra mättekniska metoder. Metoden finns beskriven i Svensk Standard SS-EN ISO 18134-1: 2015 Total fukthalt-Referensmetod och i SS-EN ISO 18134-2:2017 Total fukthalt-Förenklad metod.

Vikten anses stabil då viktförändringen under en tid av 60 minuter är mindre än 0,2 % av den totala viktförlusten. Därefter vägs flisproverna igen och den torra massan erhålls.

Nedan finns beskrivningar och funktioner för beräkning av de olika enheterna.

Fukthalt

Med fukthalt avses kvoten av vattnets (fuktens) massa i ett fuktigt material och massan för det fuktiga materialet uttryckt i procent.

Funktionen för fukthalt kan skrivas som:

$$\text{Fukthalt i \%} = \frac{m_{fs} - m_{ts}}{m_{fs}} \cdot 100$$

Där: m_{fs} är massan fuktig substans

m_{ts} är massan torr substans

I engelska texter används begreppet *Moisture content* som förkortas MC för att ange fukt, och kan användas som benämning för både fukthalt och fuktkvot. En mer korrekt engelsk term för fukthalt är *Moisture content wet basis* och brukar förkortas MC_{wb} eller bara M_{wb} . I vissa engelska texter används även uttrycket *Moisture content green basis* (MC_{gb}) för att ange fukthalten.

Fuktkvot

Med fuktkvot avses kvoten av vattnets (fuktens) massa i ett fuktigt material och massan för det torra materialet uttryckt i procent.

Funktionen för fuktkvot kan skrivas som:

$$\text{Fuktkvot i \%} = \frac{m_{fs} - m_{ts}}{m_{ts}} \cdot 100$$

Där: m_{fs} är massan fuktig substans

m_{ts} är massan torr substans

Begreppet fuktkvot är vanligt inom sågverks- och snickeribranschen när man skall ange fukttinnehållet i sågade, torkade trävaror. När man på brädgården köper snickeritorrt, sågat virke, så har det en fuktkvot på mellan 10–15 %. Den engelska termen för fuktkvot är *Moisture content dry basis* och brukar förkortas MC_{db} eller M_{db}.

Torrhalt

Med torrhalt avses kvoten av det torra materialets massa och massan för det fuktiga materialet uttryckt i procent.

Funktionen för torrhalt kan skrivas som:

$$\text{Torrhalt i \%} = \frac{m_{ts}}{m_{fs}} \cdot 100$$

Där: m_{fs} är massan fuktig substans

m_{ts} är massan torr substans

Detta ger att torrhalten är det samma som 100 – fukthalten.

Begreppet torrhalt används av Biometria bl.a. i dess bestämmelser för virkesmätning (Biometria 2022) Den engelska termen för torrhalt är *Dry matter content* och brukar förkortas DMC.

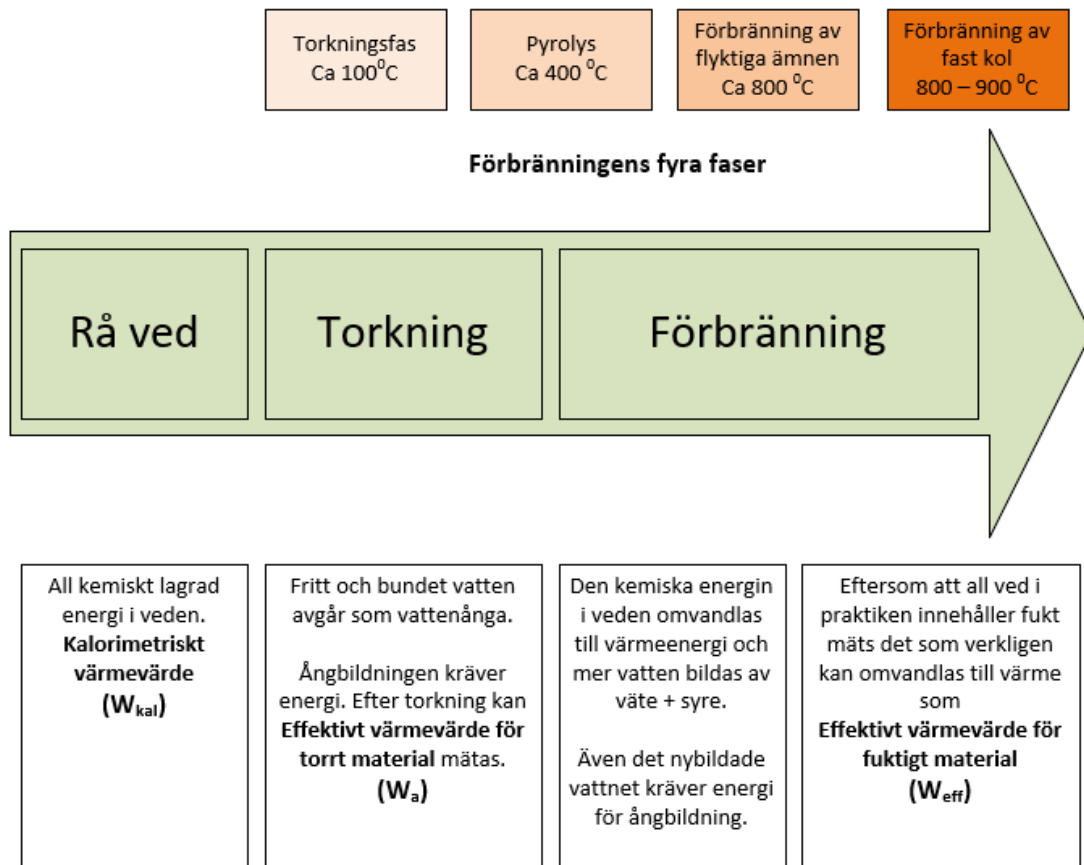
Betalningsvilja och energiinnehåll

Den största skillnaden mellan affärer med rundved respektive skogsbränsle är att ersättningen i det första fallet är fast per kubikmeter medan ersättningen för bränslet i stort sett alltid är baserat på det effektiva energiinnehållet. Det innebär att en kubikmeter torr flis har ett högre värde och ger bättre lönsamhet än en fuktig. Energikunderna – som köper, omvandlar och sedan säljer vidare energi i form av varmvatten eller elektricitet – har inte något egentligt intresse av bränslets faktiska volym, utan mer kring dess kvalitet och det effektiva energivärdet i materialet (Figur 2) som de kan tillgodogöra sig. Ersättningen baseras således på bränslets värmevärde.

Energiinnehåll och värmevärde

Följande text bygger till stor del på Lehtikangas (1999) och syftar till att förklara tre olika värmevärden som är lätta att förväxla:

- Kalorimetriskt värmevärde (W_{kal})
- Effektivt värmevärde för torrt material (W_a)
- Effektivt värmevärde för fuktigt material (W_{eff})



Figur 2. De olika förbränningsfaserna samt en kort översikt av de olika enheterna för mätning av olika värmevärden.

Kalorimetriskt värmevärde (W_{kal}) är all kemisk energi som är bunden i bränslet. Det kalorimetriska värmevärdet kan mätas genom förbränning i en bombkalorimeter (SS-ISO 1928). Bombkalorimetern mäter temperaturskillnaden i kalorimetern före och efter förbränningen och på så sätt kan materialets värmevärde beräknas. Förbränningen av materialet sker under optimala förhållanden med konstant temperatur och tryck. Ett ofta använt typvärde för trä är 20,4 MJ/kg torrsbstans men värdet kan justeras i olika energiberäkningar. De typvärden som räknas fram brukar kallas EB-nyckel (energiberäkningsnyckel).

Det effektiva värmevärdet för torrt material (W_a) är det värmevärde som kan tas ut vid fullständig förbränning av torrt material d.v.s. det kalorimetriska värmevärdet minus den förlust som sker för att förångas det vatten som bildas av syre (O_2) och väte (H_2) i träet.

Funktionen för W_a kan skrivas som:

$$W_a = W_{kal} - (2,45 \cdot 9 \cdot 0,06) \text{ MJ / kg TS}$$

Där: W_{kal} = 20,4 MJ/kg TS
 2,45 = vattnets ångbildningsvärme vid 20° C
 9 = antalet delar vatten bildade av en del väte (= 9,0074) och
 0,06 = bränslets vätehalt i procent (vanligen ca 6 % = 0,06)

Det effektiva värmevärdet för fuktigt material (W_{eff}) skiljer sig från (W_a). I praktiken innehåller veden alltid en viss mängd vatten (Figur 3) som måste tas med i beräkningen. (W_{eff}) är den teoretiska värmemängden som går att ta ut från ett fuktigt bränsle och värdet kan anges som energimängd per kg torrsubstans eller rå massa.

Funktionen för W_{eff} kan beskrivas som:

$$W_{eff} = W_{kal} - (2,45 \cdot 9 \cdot 0,06) - \left(2,45 \cdot \frac{FH}{100-FH}\right) \text{ MJ / kg TS}$$

Exempel

För att förklara de följande begreppen använder vi ett exempel. Ett prov med bränsleflis torkas från 500 gram i rått tillstånd till 200 gram efter torkning.

Fukthalten var således:

$$FH = \left(\frac{\text{provets torra vikt} - \text{provets råa vikt}}{\text{provets råa vikt}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{500 - 200}{500} \right) \cdot 100 = 60 \%$$

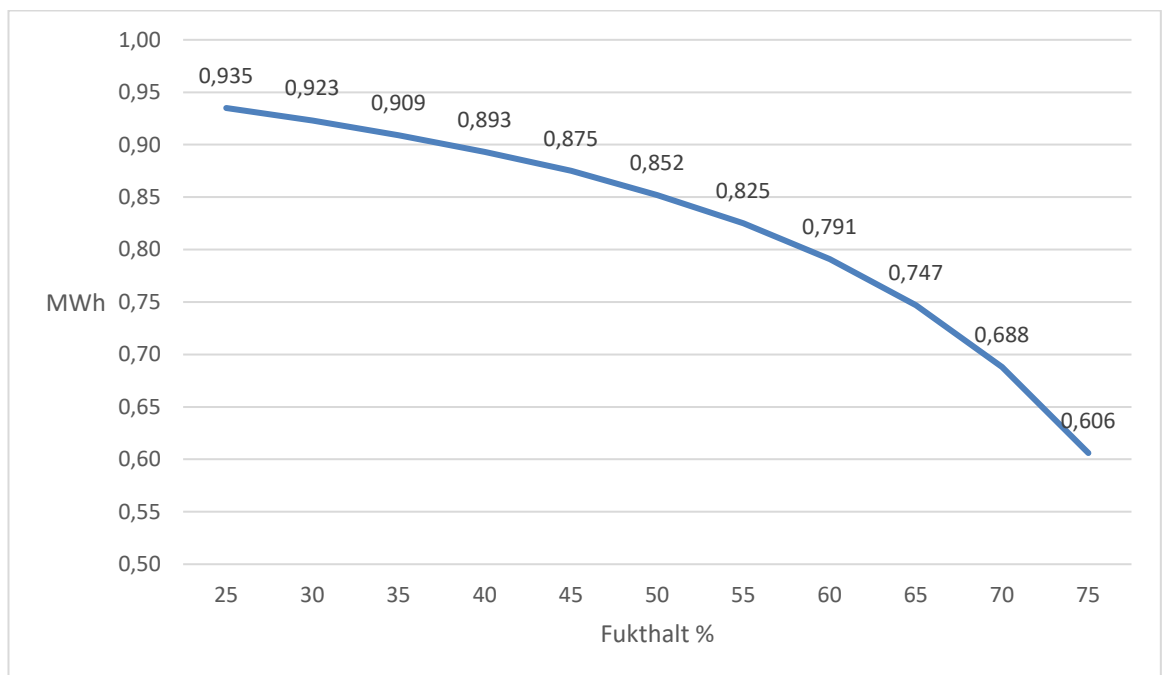
Torrhalten i exemplet var därmed 40 % räknat enligt följande: $100 - FH = TH$, dvs $100 \% - 60 \% = 40 \%$.

Exempel vid 60 % fukthalt

$$W_{eff} = W_{kal} - (2,45 \cdot 9 \cdot 0,06) - \left(2,45 \cdot \frac{60}{100-60}\right) = 15,4 \text{ MJ / kg TS}$$

Förklaring:

- Om det effektiva värmevärdet för fuktigt material (W_{eff}) ska anges som energimängd på rå massa (MJ/kg rå) skall W_{eff} multipliceras med torrhalten. Exempelvis om det effektiva värmevärdet (W_{eff}) är 15,4 MJ/kg TS och torrhalten är 40 % (fukthalten således 60 %), är motsvarande energivärde per rå massa: $15,4 \text{ MJ} * 0,40 = 6,16 \text{ MJ/kg (rå)}$.
- Om resultatet divideras med 3,6 erhålls värmevärdet i kilowattimmar (kWh) per kilo. Exempel:
 - 15,4 MJ/kg TS motsvarar 4,28 kWh per kg TS ($15,4 / 3,6 = 4,28$)
 - 6,16 MJ/kg rå motsvarar 1,71 kWh per kg rå ($6,16 / 3,6 = 1,71$)

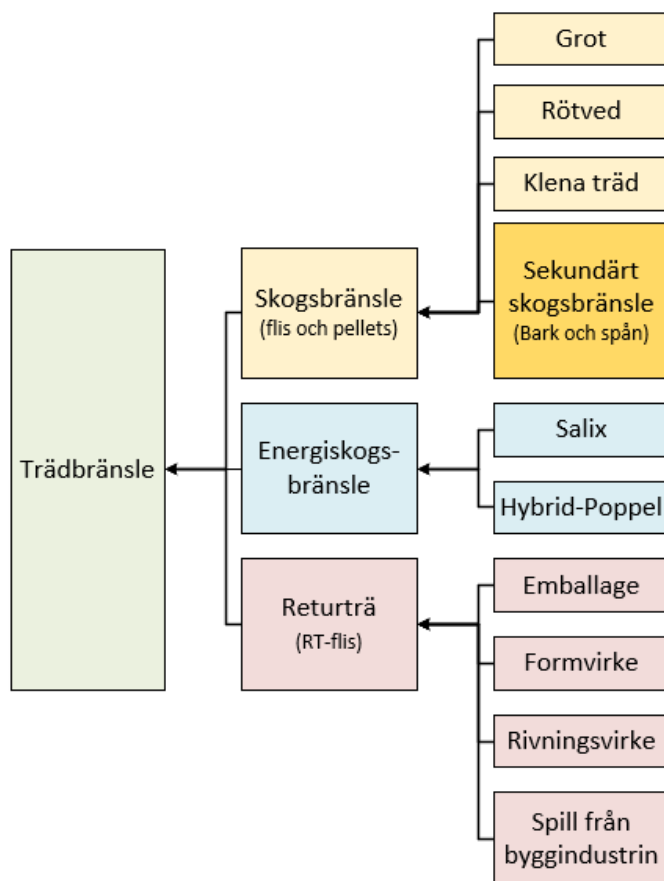


Figur 3. Diagrammet visar hur energiinnehållet, MWh per m³s, försämras i takt med ökande fukthalt. Observera att färsk ved sällan har en högre fukthalt än 55% men att tillfört vatten (snö eller is) kan ge höga värden vid provtagning. Källa WeCalc.

Skogsbränsle som förnyelsebar energi

Skogsbruket bidrar med råvara till ett stort antal produkter som dagligen används av människor över hela världen. Användningen kan diskuteras och ses ur olika vinklar men behovet av produkterna är klarlagt. Ett tydligt behov är energi i olika former. Antingen flytande som fordonsbränsle (biodrivmedel) eller för framställning av elektricitet (biokraft) eller värme (biovärme). Sveriges totala energitillförsel var 2020 totalt 508 TWh (Tabell 4) (Energimyndigheten 2022). Totalt tillfördes 141 TWh biobränslen till energiändamål. Av dessa var 7,8 TWh primära skogsbränslen (Figur 5).

Skogsbränsle kategoriseras i två klasser, primära och sekundära (Figur 4). Båda klasserna är biprodukter från ett annat huvudsakligt användningsområde. De *primära skogsbränslena* är biprodukter från avverkningsarbete (främst grot, klana träd och rötskadad rundved) och *sekundära skogsbränslen* är biprodukter som kommer från industrin (främst spån och bark). Gemensamt för de båda kategorierna är att bränslet inte har behandlats på kemisk väg.



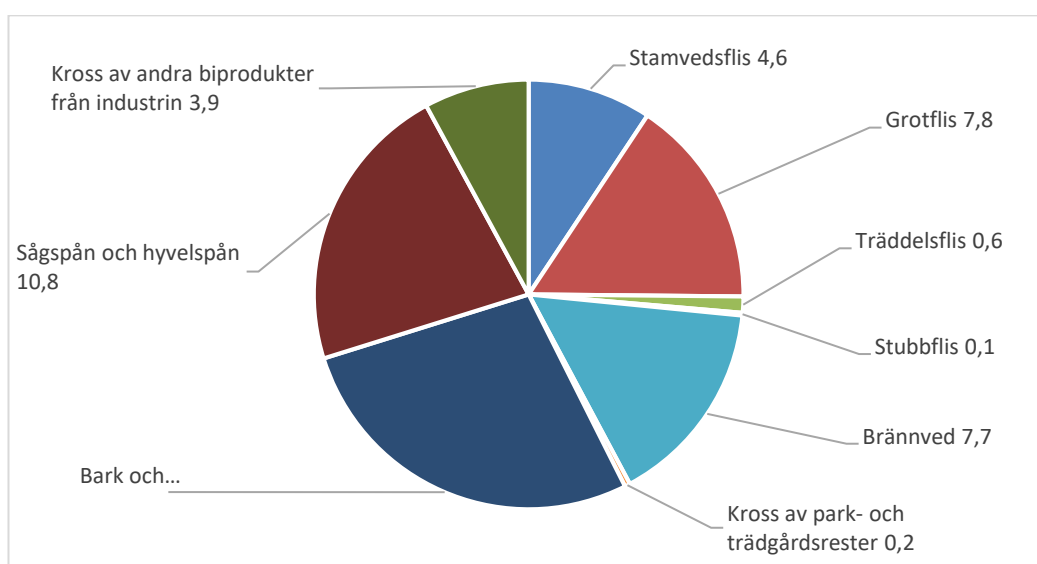
Figur 4. En schematisk bild över olika trädbränslens ursprung. Grot, rötskadad ved och klana träd (ljusgula boxar i figuren) räknas som primära bränslen medan restprodukter från industrin (mörkgul box) räknas som sekundära bränslen.

Tabell 4. Total mängd tillförd energi av olika energibärare år 2020. Källa: Energimyndigheten

Total tillförd energi	TWh
Biobränslen	141
Kärnbränsle	138
Råolja och petroleumprodukter	104
Vattenkraft	72
Vindkraft	28
Kol och koks	18
Natur- och stadsgas	14
Övriga bränslen	13
Primär värme	5
Solkraft	1
Import – export el	- 25
Totalt	508

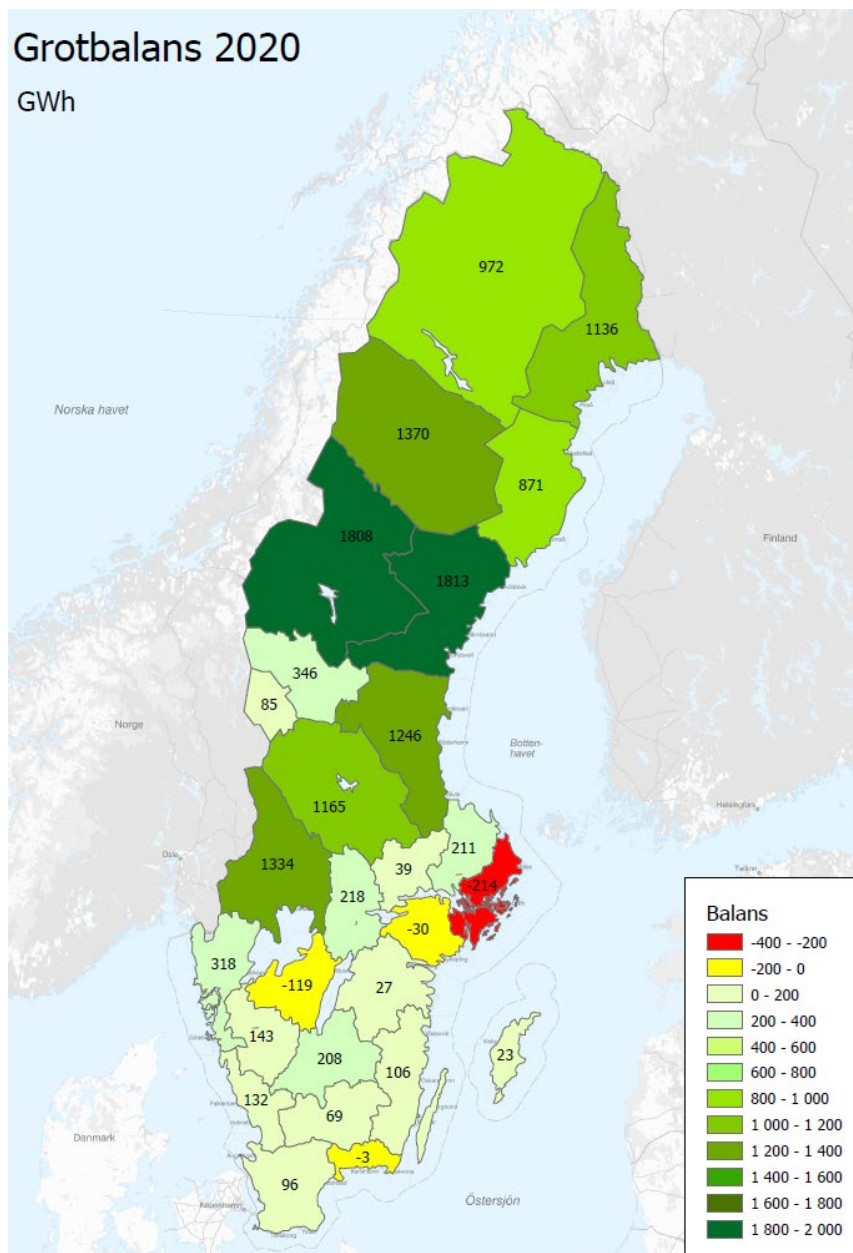
Av den totala mängden energi som tillfördes år 2020 förbrukades 355 TWh. Res-terande 144 TWh är till största del förluster i kärnkraft, omvandlings- eller överfö-ringsförluster, energisektorns egenanvändning eller det som inryms i kategorin ”icke energiändamål”.

Produktionen av grothflis har minskat från år 2013 från 10,6 TWh till 7,8 TWh år 2020 (Energimyndigheten 2023). Minskningen har till största del orsakats av ett antal milda vintrar i kombination med ett överskott av konkurrerande biprodukter. Återvinning av returträ har under perioden mellan 2015 och 2020 varierat mellan från 4,8 – 5,7 TWh.



Figur 5. Produktion av oförädlade skogsbränslen, TWh, fördelat på olika sortiment år 2020. Källa: Energimyndigheten.

Balansen mellan de tillgängliga grotvolymerna och vad som förbrukas varierar mycket mellan olika regioner (Figur 6). Exempelvis så finns ett tydligt underskott i Stockholmsområdet och ett lika tydligt överskott i Jämtland och Medelpad. Detta innebär således att mycket av den outnyttjade potentialen finns långt bort från förbrukarna. Avståndet innebär att transportkostnaderna ökar och att logistiklösningarna blir en utmanande faktor. Möjligheten att köra direkt från skog till mottagare är i stort sett obefintlig (med undantag av ett litet antal förbrukare i inlandet) vilket innebär att materialet måste lagras på terminaler för att senare lastas om och transporteras vidare.

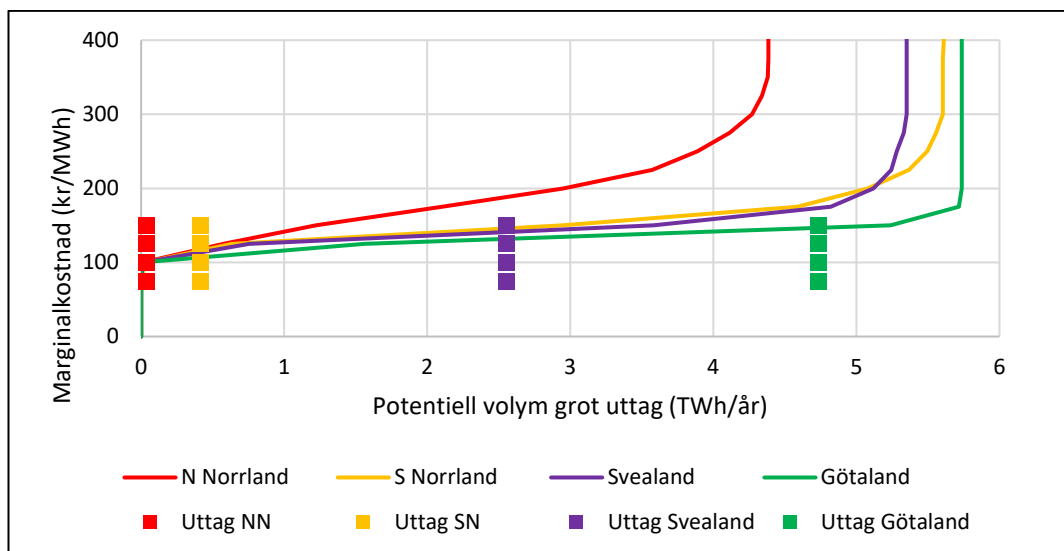


Figur 6. Tillgängliga volymer exklusive förbrukning år 2020 för respektive län. Illustration: Thomas Parklund. Källa Skogsstyrelsen 2015 & Energimyndigheten.

Kostnader för uttag av grot från slutavverkningar

Ett ökat uttag av grot leder ofrånkomligt till ökade kostnader i takt med att transportavstånden från skogen till kunden ökar och groten kan behöva hämtas från trakter med svårare drivningsförhållanden. Detta medför att den ekonomiska potentialen är mindre än den ekologiska och den fysiska potentialen. Vid vissa uttagsvolymerna passeras gränsen för vad som är möjligt att leverera till en viss kostnad. En marginalkostnadskurva (Figur 7) kan användas för att visa förhållandet mellan kostnaden per enhet av grot och utbjuden mängd grot (Fernandez Lacruz, R. m.fl. 2023). Kurvorna i figuren kan hjälpa till att se hur mycket grot som kan mobiliseras vid ett angivet pris och förutse kostnadsökningar i försörjningskedjan. I figuren visas skillnaderna i kostnader mellan olika delar av Sverige baserat på den ekologiskt acceptabla potentialen för grot-uttag i respektive region.

Kostnadsposter som ingår i kalkylen är skotning, sönderdelning och vidaretransport till slutkund (antigen direkt med lastbil eller via järnvägsterminaler), för 2020 års prisnivå. Det saknas säkra data för att presentera produktionskostnader fördelat per region men ett nationellt genomsnitt i 2020 var 138 kr per MWh (Eliasson, 2021). Till marginalkostnaden kommer även ersättning till markägare, administration och eventuella kostnader för terminaler och väghållning (Brunberg, 2014), men dessa exkluderades i nedanstående kalkyler på grund av den stora variationen som finns. Grunden till grot-potentialerna som används i kalkylerna kommer från de Skogliga konsekvensanalyserna-SKA15 (Skogsstyrelsen 2015).



Figur 7. Marginalkostnadskurva för grot från slutavverkningar i Sveriges landsdelar. Potentialen avser prognosen för perioden 2020–2024. I marginalkostnaden ingår skotning, sönderdelning och vidaretransport från skogen till slutkund. Andra kostnader som markägarersättning, administrationskostnad och marginal för risk och vinst är INTE med i kurvorna. De stående rektanglarna indikerar uttagsvolymerna inom respektive region år 2020 men observera att de inte visar de egentliga kostanderna enligt y-axeln.

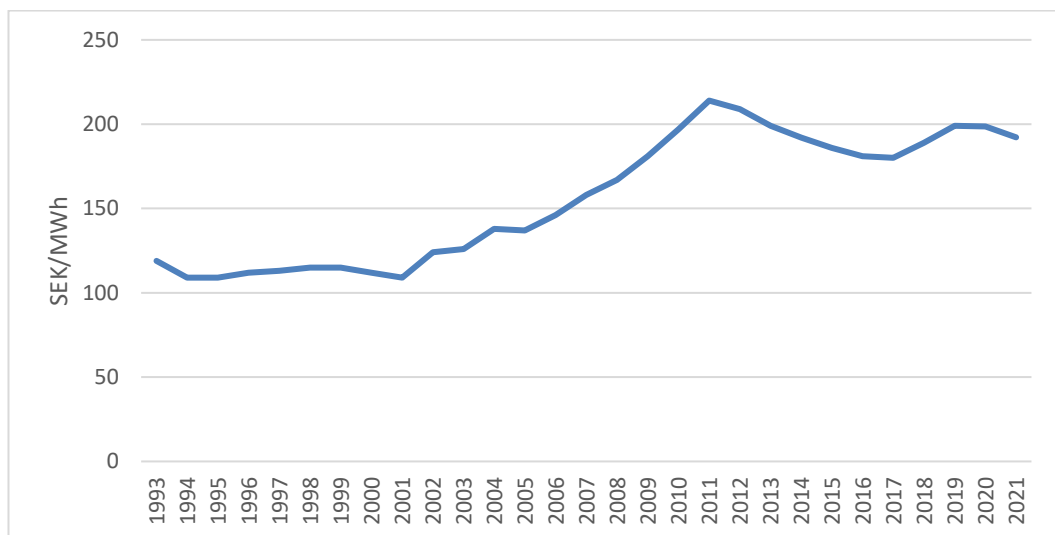
Den inhemska produktionen av grotflis i 2020 motsvarade 37 % av den ekologiskt tillgängliga potentialen. Skillnaderna mellan landsdelar var dock stora: för norra Norrland användes bara 1 % av potentialen, medan motsvarande siffra var 7 % för

södra Norrland, 48 % för Svealand och 83 % för Götaland. Det finns därför gott utrymme för att öka uttaget av grot från slutavverkningar i Norrland och även i Svealand under de närmaste åren.

Kostnader för uttag av grot påverkas av en mängd olika faktorer och de olika kostnadsposterna varierar mellan olika förutsättningar. Tydligast, och enklast att förstå, är transportkostnaderna som blir ett resultat av avstånd och fraktad volym. Ofta när man pratar om vägtransportkostnader och kalkyler år används ton/km som ett nyckeltal men det är viktigt att förstå skillnaden i de produkter som transporteras (ton) och vad som senare ersätts av slutkunderna (MWh). Mängden grot på de enskilda trakterna och eventuella kostnader för vägunderhåll, ex plogning, är också viktiga kostnadsparametrar. I Tabell 6 framkommer relevanta kostnadsposter och vilka enheter som är vanliga i affärsavtalen.

Prishistorik

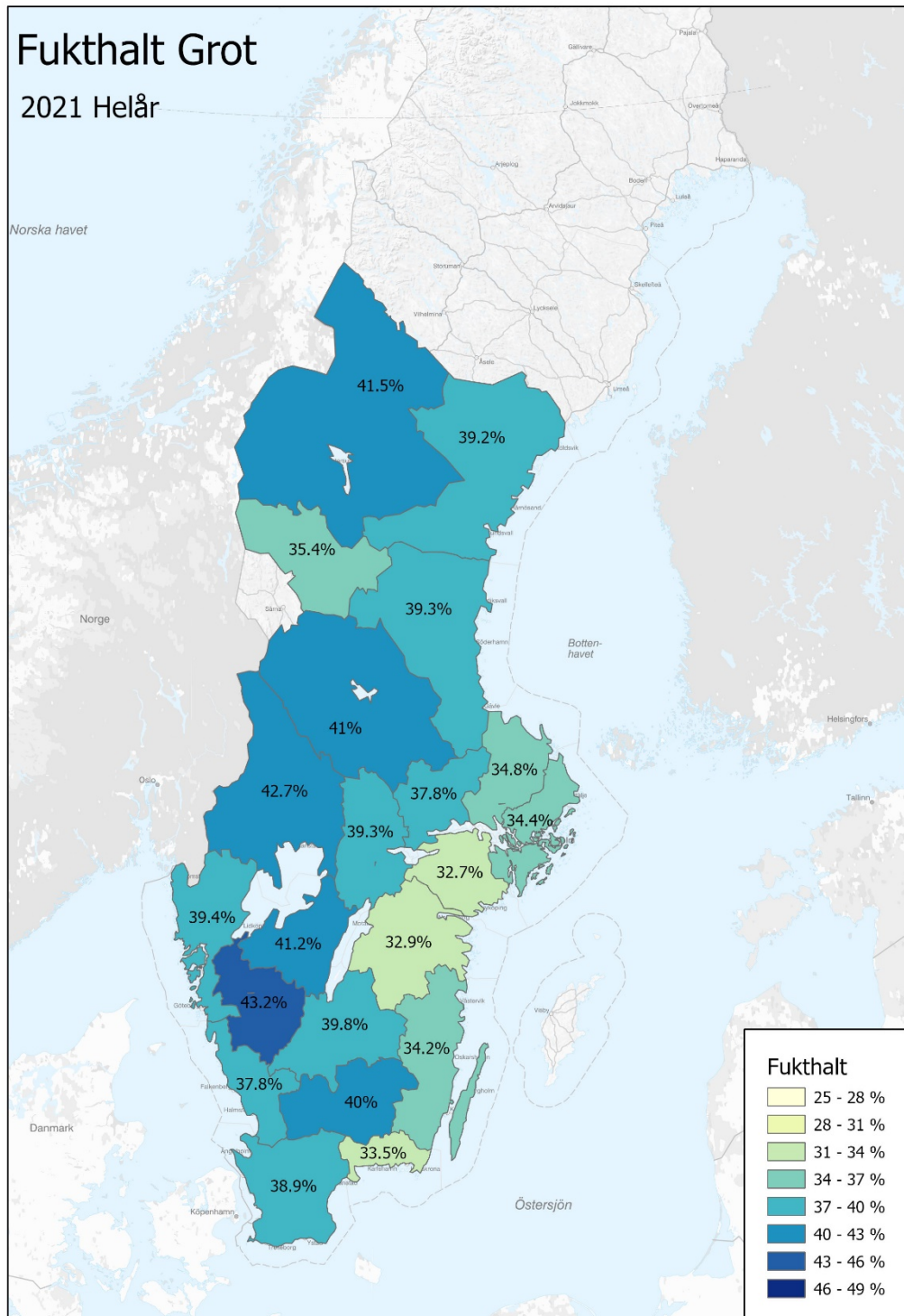
Under senare hälften av 90-talet stagnerade prisutvecklingen för att senare öka under början av 2000-talet (Figur 8). En bidragande orsak till detta var att det fanns ett handelssystem för elcertifikat som gynnade användningen av förnyelsebara råvaror för elproduktion som ett led i klimatomställningen. Efter 2011 sjönk priserna till följd av några milda vintrar och stor tillgång av konkurrerande bränslen till en lägre kostnad, främst biprodukter från sågverksindustrin. De sänkta priserna medförde att grotverksamheten i stort sett avstannade helt i Norra Sverige. Inför kommande år (2023) tycks intresset återigen ha ökat och flera bränsleförbrukare ser en annalkande konkurrens om råvaran med nya produkter.



Figur 8. Prisutvecklingen för skogsflis under perioden 1993 till 2021. Priserna gäller för bränsle levererat hos förbrukare. Källa Energimyndigheten.

Energiinnehållet påverkas av bränslets fukthalt. Detta varierar mellan olika tider på året och även på hur materialet har hanterats. Statistik från 2021 visar skillnader över året men även mellan olika regioner (Figur 9). Skillnaden är tydlig i jämförelser mellan väst- och ostkusten vilket till största del beror på skillnader i årsnederbörd. En viktig aspekt i detta är att den huvudsakliga volymen förbrukas

under vinterhalvåret vilket gör det viktigt att bibehålla den torkningseffekt som sker under sommaren.



Figur 9. Genomsnittliga fukthalter i grotleveranser som mätts in under 2021. Illustration: Thomas Parklund.

Affärsmodeller, handelsmått och enheter vid ersättning

I praktiken förekommer en mängd olika enheter (Tabell 5) och handelsmått som ofta kan verka förvirrande. Vissa riktvärden kan dock vara bra att känna till ”för dagligt bruk” men man måste komma ihåg att det i slutändan alltid (med få enstaka undantag) är det effektiva energivärdet som ligger till grund för ersättningen från slutanvändarna. Man behöver även komma ihåg att det endast finns små marginaler och hela kedjan måste hanteras med precision för att undvika dyra extrakostnader eller ett minskat värde på det bränsle som levereras.

Man använder ofta olika enheter för att ersätta de olika aktörerna i försörjningskedjan (Tabell 6). Vilka enheter som ligger till grund kan ofta bero på vilka möjligheter man har till mätning för de olika leden, eller vilken typ av arbete som utförs. Beroende av vilken enhet man väljer för olika led så påverkas även affärsrisken mer eller mindre för de olika parterna. Det vanligaste är att markägarna ersätts för inmätt volym i m^3 s, dvs i kubikmeter stälpt mått.

Enheter vid ersättning

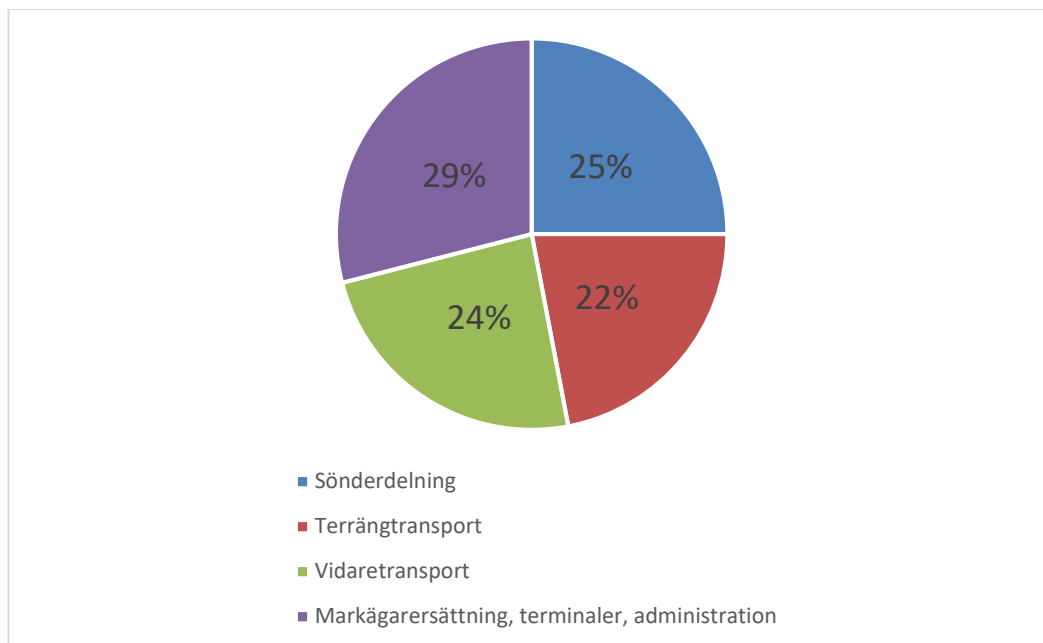
Som nämndes i texten ovan så är det vanligast att markägaren ersätts för den stälpta flisvolymen som mäts in hos mottagaren men det förekommer andra modeller. Nedan (Tabell 6) görs ett försök att illustrera de mest vanliga ersättningsmodellerna beroende på vem och vad som ersätts. Figur 10 ger en översikt om hur de olika kostnaderna förhåller sig sinsemellan.

Tabell 5. En kort förklaring till några av de olika måttenheterna som är vanligt förekommande i skogsbränslesammanhang.

MWh	(megawattimmar) beskriver energiinnehållet för sortimentet.
ton	(ton) är ett mått på materialets faktiska vikt.
ton TS	(ton torrsustans) är ett mått på materialets torra vikt, det vill säga vad det teoretiskt skulle väga när det torkats ner till 0 % fukthalt.
m ³ f	(kubikmeter fast) är ett mått på den fasta volymen för bränslet inkl. bark, grenar, kvistar och barr.
m ³ fub	(kubikmeter under bark) är ett volymmått som exkluderar bark. Skogsbränslevolymer omräknas ibland till detta mått för att underlätta jämförelser med rundved.
m ³ s	(kubikmeter stälpt) är ett volymmått som anger den stälpta volymen samt omkringliggande luft. Brukar ofta användas då det är tekniskt svårt att mäta den fasta volymen.
Fukthalt % Torrhalt %	Fukthalt är en beskrivning på andel fukt i materialet. Träd i färskt tillstånd innehåller ungefär 50 % vatten. Fukthalt och torrhalt är varandra motsatser. Vid 50 % fukthalt blir torrhalten 50 %. Summan blir 100 %.
Askhalt %	Askhalten är ett mått på andelen naturlig aska samt föroreningsaska. Askan är en betydelsefull kvalitetsparameter då en hög askhalt kan få stora konsekvenser för vissa värmeverk. I bränsleaffären brukar askhalten avräknas med motsvarande procentsats från den totala bränslevolymen.
Ångbildningsvärme	Med ångbildningsvärme menas den energi som krävs för att förångas en viss andel vatten under givet tryck och temperatur
Effektivt värmevärde	Effektivt värmevärde för fuktig ved. Ved innehåller i praktiken alltid en viss mängd vatten och värmevärdet varierar mellan olika träddelar och trädslag.
Torr-rådensitet	Torr-rådensiteten är ett teoretiskt mått som avser det torra materialets vikt i förhållande till det färska materialets volym. Variationer förekommer i hög grad beroende på olika trädslag och vedtyp.
Fastmassa	Fastmassan beskriver förhållandet mellan det lösa materialets volym (inkl. luft) och det fasta materialets volym (exklusive luft)
Barkandel	Barkandel beskriver andelen bark i förhållande till den fasta volymen för ett sortiment

Tabell 6. Vanligt förekommande kostnadsposter och enheter vid ersättning. För maskinerna finns ofta någon form av etableringsersättning vid varje trakt som tillkommer i kostnaden men som ligger utanför ersättningen.

Ersättning till eller för:	Förekommande enheter för ersättning
Markägare	m ³ s (justeras vanligen efter inmätning) m ³ fub (omräknat från inmätt vikt och fukthalt) Råton ton TS MWh Areal (hektarpris som en del i virkesaffären) m ³ fub (som ett påslag i ersättningen för rundvirkesvolymen)
Underväxtröjning och vägunderhåll	Förberedande röjning ersätts vanligen per hektar. Vägunderhåll, eventuella väavgifter och nybyggnad av vägar tas sällan med i kalkylerna.
Avverkningsarbete	Det förekommer i vissa områden att avverkningsentreprenören har en tilläggsersättning för grotanpassningen. Det regleras då med ett påslag på ersättningen för rundvirkesvolymen.
Grotskotning	m ³ s (justeras vanligen efter inmätning) m ³ fub (omräknat från inmätt vikt och fukthalt) Råton (kran- eller lastbärarvåg) Tid (vid enstaka tillfällen ex. svår terräng) Etableringsersättning är förekommande för varje objekt.
Sönderdelning	m ³ s (justeras vanligen efter inmätning) m ³ fub (omräknat från inmätt vikt och fukthalt) Tid (vid enstaka tillfällen ex. förorenat material) Etableringsersättning är förekommande för varje objekt.
Transport	Tonkilometer
Leverans vid mottagare	MWh (inmätt eller framräknat energiinnehåll) m ³ s (i sällsynta fall. I så fall skattad eller inmätt volym)
Administration, terminalhantering och vinst	Detta räknas mot olika enheter beroende av organisation



Figur 10. Kostnadsfördelning i medeltal räknat som kronor per levererad MWh. I kategorin för markägarersättning ingår även eventuella kostnader för underväxtröjning, vägavgifter och vägunderhåll. Källa: Eliasson (2021).

Även om det verkar krångligt så finns det en viss logik och både för- och nackdelar med de olika enheterna för ersättning, och man måste försöka se dessa ur olika perspektiv. Exempelvis en markägare som säljer sin grotvolym på MWh gör rimligen en bra affär om detta mäts in i slutet på en torr sommar i jämförelse med om samma volym mäts in efter en vinter med regn och blötsnö. Mängden torrs substans är i stort sett oförändrad men energimängden har försämrats kraftigt i det senare fallet. Markägaren kan aldrig eller sällan påverka tiden för leverans till slutkund och tar därför en stor risk om affären bygger på MWh. Motsvarande affär på handelsmättet m³s innefattar en mindre risk för markägaren.

Samband mellan olika enheter och effektivt energivärde

För att göra mer avancerade omräkningar bör man använda adekvata indata och formler. Ett bra hjälpmedel kan vara att använda verktyget WeCalc (<https://www.skogforsk.se/produkter-och-evenemang/verktyg/wecalc>). Det man får komma ihåg i beräkningarna är att det fysiska materialet (substansen) är väldigt heterogent. Ofta tar man i formlerna hänsyn till fukthalten i materialet. Tar man då ett enskilt prov från ett lass så finns stor risk att det svar man räknar fram inte blir representativt för hela lasset.

I Tabell 7 redogörs för några enkla tumregler och begrepp. Generellt kan man säga att desto torrare bränsle som hanteras desto bättre blir ekonomi för leverantörerna. Ett ökat energiinnehåll och minskad vikt per volymenhet är positivt.

Tabell 7. Tabellen syftar till att förklara vissa olika begrepp som används i beräkningar av energi och volymer. Tabellen syftar även till att förklara sambandet mellan fukthalt och effektivt energivärde för grothlis. Notera att de olika värdena kan variera mellan olika trädslag.

Fukthalt %	30	35	40	45	50	55
tTS per m ³ s	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182
ton per m ³ s	0,259	0,279	0,303	0,330	0,363	0,404
MWh per m ³ s	0,923	0,909	0,893	0,875	0,852	0,825
MWh per tTS	5,082	5,007	4,920	4,817	4,694	4,543

Räkneexempel

Du ansvarar för att leverera grothlis till ett mindre lokalt värmeverk. För månaden december önskar man 1 500 MWh i form av grothlis. Den grothlis ni kan leverera har en fukthalt på 45 %.

Hur många m³s grothlis måste du leverera under december månad för att motsvara det önskade energiinnehållet?

Lösning: $1\,500 / 0,875 = \text{ca } 1\,700 \text{ m}^3\text{s}$

Produktionskedjan och produkten – till skillnad från rundvirke

De största skillnaderna mellan rundvirke och grot, i produktionsfasen, är - handelsmått, - värdeförändring och - ledtider. Lite förenklat kan man säga att en timmerstock av en viss dimension har ett fast värde från att den kapats och till att den ligger på sågverket. Vid sågverket sker en förädling då stocken omvandlas till brädor och samtidigt ökar i värde. Ledtiderna för detta är oftast ganska korta (Figur 11) och samma princip gäller för massaved.

För grot är läget annorlunda. Dels är hanteringstiden från skog till mottagare betydligt längre (Figur 12) vilket är tvunget för att materialet ska kunna torka innan leverans. Det är viktigt att förstå att det är det effektiva energivärdet, inte volymen, som ligger till grund för ersättningsnivån. Materialet håller ett visst värde direkt vid avverkning men detta värde kan öka eller i värsta fall minska innan det når slutanvändaren. Genom rätt hantering under lagring så sker ett förädlingssteg redan ute på hygget eller i vältan vid bilväg där värdet ökar i takt med att bränslet torkar. En minskning av fukthalt från 50 % till 35 % innebär ett ökat värde på ca 6,5 % samtidigt som mängden torrsubstans i stort sett är oförändrad. Den minskade fukthalten leder även till lägre vikt vid transport och genererar vanligtvis en mer attraktiv produkt för slutanvändaren.



Figur 11. De olika momenten vid rundvirkesleveranser från skog till industri. För rundvirke tar det normalt 4 - 6 veckor från avverkningsstart till industrileverans.



Figur 12. De olika momenten vid grot-leveranser från skog till industri. För skogsbränslen tar det normalt 6 - 18 månader från avverkningsstart till industrileverans. Beroende av systemval kan vissa moment utebli eller byta plats.

Utmanande volymbereäkningar

En annan skillnad mellan de olika sortimenten är möjligheten att prognosticera volymutfall i förväg. Vad gäller rundvirke så finns mångårig erfarenhet, skogliga register och avancerade digitala stöd för att i beräkna volymer i stående skog. Detta är svårare när det gäller grotvolym. Vid avverkningen sker den första egentliga mätningen då skördaren genererar information som kan omräknas till grotvolym. Tekniken börjar implementeras men har ännu inte tagits i bruk överallt. De data som genereras håller relativt hög precision men det praktiska utfallet påverkas till stor del av övriga faktorer som också har stor betydelse, ex. hur mycket av groten som kommer att användas för markskonande åtgärder, temperatur och substansförluster på hygget.

Långa ledtider

Från avverkning till sista mätbeskedet går det ofta mer än ett år. Detta kan upplevas som en lång tid att hålla ett ärende aktivt. Samtidigt så finns ofta en önskan från markägaren att snabbt kunna påbörja markberedning och plantering. Det är viktigt att informera markägaren om vad som kommer att ske och vad denne kan förvänta sig. Hur långa ledtiden på hygget blir beror på om man eftersträvar att torka groten på hygget under en sommarperiod eller om man väljer att skota groten färsk (grön).

Många inblandade aktörer

Jämfört med rundvirkeshanteringens så det i ett skogsbränsleflöde betydligt fler inblandade aktörer (Figur 12 och 13). Eftersom grotflis har ett relativt lågt pris blir marginalerna begränsade i alla led. Det är därför väldigt viktigt att aktörerna har ett helhetstänk för "hela kedjan". Samarbete och kommunikation är nödvändigt för att möjliggöra ett "flyt" i hanteringen och undvika suboptimeringar. På grund av de långa ledtiderna på en enskild trakt kan det vara svårare med direkt återkoppling och feedback till de som verkat tidigare i flödet.



Figur 13. Figuren visar ett exempel på ett skogsbränsleflöde. De många lagringstillfällena utgör den största skillnaden i jämförelse med rundvirke. Figuren visar även några av de olika stegen som sker hos mottagaren efter leverans. Den slutliga produkten är någon form av omvandlad energi.

Planering för grotuttag

Det krävs att den som planerar för ett uttag av grot förstår hela produktionskedjan och beaktar de olika kraven som finns för de olika momenten. Den stora variationen av system och flödesmodeller som används kan ibland göra arbetet svårt eftersom de olika delarna i flödet har kräver olika förutsättningar för att lyckas bra. Det som ofta brister i planeringen är frågor som rör avläggsplatser, vändplaner, bärighet och ledtider. I detta kan det finnas en inbyggd svårighet då man inte alltid vet i förväg vilken typ av sönderdelning som kommer att finnas tillgänglig då det är dags att leverera grotflisen till kund. På grund av ledtiderna är det inte säkert att man upphandlat aktuella resurser så långt i förväg.

Det är ofta utmanande att avgöra i förväg om ett grotuttag kommer att bli ekonomiskt lönsamt eller inte eftersom det är många faktorer som påverkar resultatet. Det är också svårt att göra exakta "lathundar" på olika brytpunkter. Ett långt skotningsavstånd kan uppvägas av att det finns en mottagare i närområdet, och en liten trakt kan uppvägas av att det finns fler trakter i området som kan dela på diverse etableringskostnader.

Det finns dock några grundkriterier som bör uppfyllas och som är viktiga att ta med i planeringen.

Tillgänglighet och avsättning

- När är trakten tillgänglig för skotning, sönderdelning och transport?
- Kan det uppstå plogningskostnader eller motsvarande?
- Finns det avsättning för bränslet under den tid trakten är tillgänglig?
- Går bränslet att köra direkt till kund eller måste det köras via terminal?

Prestation för grotskotning

- Har trakten ett rimligt skotningsavstånd?
- Finns tillräckligt breda basvägar?
- Finns det luftledningar som kan begränsa skotarens lastkapacitet?

Bärighet

- Kan rundvirke och grot skotas utan risk för markskador?
- Kan avtransport av flisen ske på bäriga vägar?

Volym

- Håller trakten tillräcklig grotvolym efter avverkning?
- Förekommer delområden, eller passager, inom trakten där grotuttag är olämpligt?
- Kommer utfallet att påverkas av väder och temperatur?
- Hur mycket av arealen går bort för risning av basvägar, markskoning eller andra terrängpartier där groten ska lämnas?
- Påverkas nettoarealen av branter, steniga områden eller andra hinder?

Underväxt

- Finns behov av, och kapacitet för, att underväxtröja trakten före avverkning?
- Finns behov av att även röja upplagsplatserna?

Avlägg, upplagsplatser, vägar och vändplaner

- Finns upplagsplatser som medför att groten kan lagras på ett bra sätt avseende fukthalt?
- Finns avtal med markägare och väghållare som täcker hela lagringstiden?
- Kan vältorna placeras på ett bra sätt med tanke på kommande sönderdelning och avtransport?
- Finns tillräckligt med utrymme för de maskiner och fordon som kommer senare i kedjan?

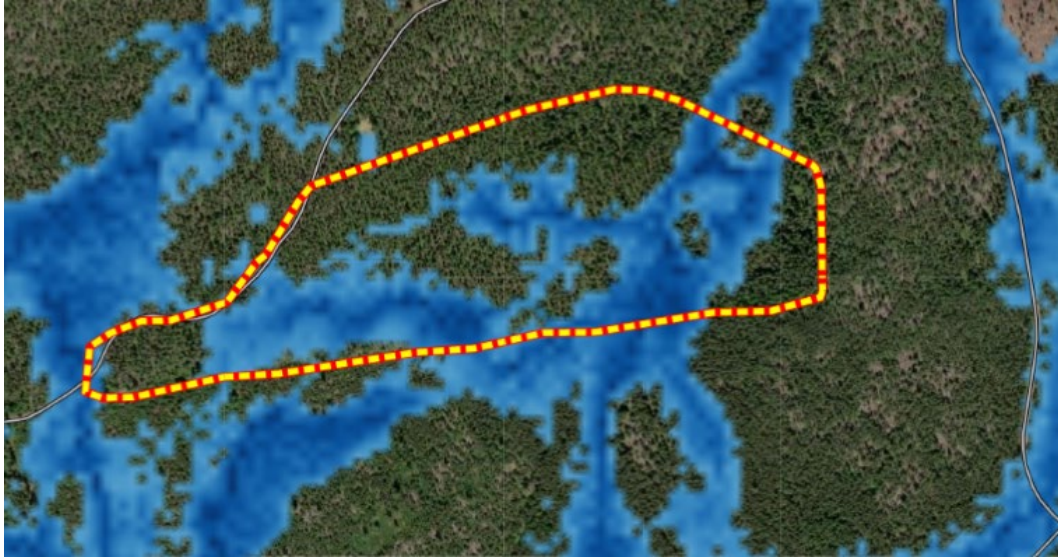
Grotanpassad avverkning

Vid grottagg kräver ofta avverkningen mer planering jämfört med om endast rundvirket ska avverkas. Eftersom riset samlas i högar (Figur 16) bredvid skördarens stråk så minskar även möjligheten att använda detta ris för markskoning och bärighetshöjande åtgärder. Således är en noggrann planering av basvägar väldigt viktig. Dessa basvägar kommer senare även att, helt eller delvis, nyttjas i samband med grotskotningen. Att även grotskotare nyttjar samma vägsystem sätter krav på utrymme. En lastad grotskotare behöver mellan 6 – 7 meter breda vägar för att kunna köra med fulla lass. Ofta blir det därför trångt när basvägarna går genom exempelvis ett gallringsbestånd eller rundar naturvärdesträd som ska stå kvar.

Basvägarna bör givetvis planeras för att minska risk för körskador (Figur 14 och 15) samt ge ett acceptabelt skotningsavstånd men man bör även beakta områdets ytstruktur. Ofta kan en risad basväg underlätta skotningsarbetet i steniga områden. Eftersom det i stort sett alltid går bort vissa arealer för risning av basvägar eller för delområden där riset används för att förbättra bärigheten så uppstår en skillnad mellan netto- och bruttoreal för det som avverkas respektive grotanpassas. På grund av detta är det ofta svårt att i förväg prognosticera grotvolymen på en enskild trakt med någon större precision eftersom det praktiska utfallet beror på en mängd olika faktorer exempelvis grönkrongräns, trädslagblandning och temperatur vid avverkningstillfället.

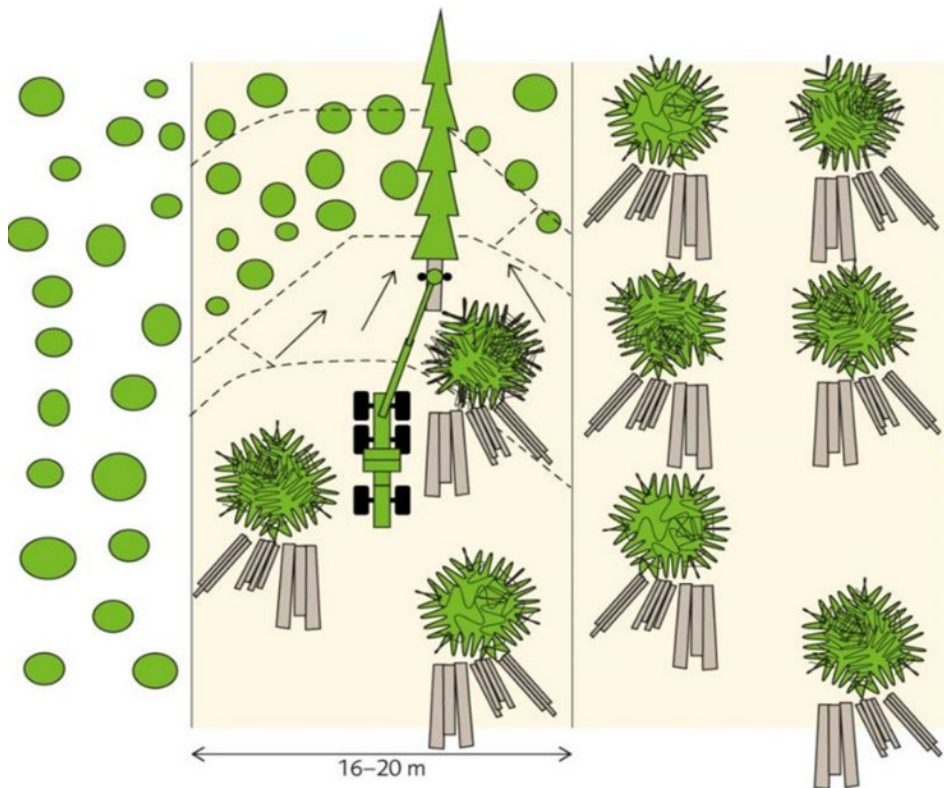


Figur 14. En flygbild över ett 15 hektar stort avverkningsområde



Figur 15. Samma område som Figur 14 men med vattenkartan aktiv. Nettoarealen för grotuttaget kommer rimligen att reduceras för att undvika markskador.

Det är viktigt att skördarförarens hela tiden eftersträvar ett gott resultat av grotanpassningen eftersom det arbetet påverkar kostnaderna i flera efterkommande led, men även har en tydlig inverkan på kvaliteten på det bränsle som senare ska levereras.



Figur 16. En schematisk skiss över hur skördarföraren kan variera sin arbetsmetod från "strikt dubbelsidigt" i figurens övre högra hörn till "sick-sack" i figurens nedre vänstra hörn. Val av metod avgörs i praktiken utifrån vilka skogliga förutsättningar som råder. Illustration Anders Mörk.

Hur föraren väljer fällriktning på de träd som avverkas är avgörande för resultatet. Det är viktigt att hålla grothögarna tillräckligt långt på sidan om körstråket. Lämpligt avstånd kan uppnås om man väljer att fälla lite snett utåt. På sått hamnar även de tyngsta timmersortimenten närmast körstråket (Figur 17).

Om avståndet mellan grothögarna och körståket blir för trångt så kör ofta skotarna i kanten på högarna. Då trampas högarna delvis ner samt att det ofta faller av jord och lera från slirskydden som leder till förorenat material. Detta omöjliggör i så fall senare flishuggning och därför lämnas nertrampad grot kvar på hygget och mycket bränsle går till spillo.

Skördarföraren bör eftersträva att placera alla toppar parallellt och någorlunda jämndragna i högarna för att underlätta grotskotningen. I de fall grotanpassningen inte håller god kvalitet så ökar tiden för lastning samt att lastvikten normalt försämras för grotskotaren. Mängden material som kan skotas fram, dvs det fysiska uttaget, minskar också drastiskt. Sämre anpassning, minskad mängd material och minskade lastvikter ger tillsammans stor prestationsminskning för grotskotaren. Det finns inga kända studier där alla dessa faktorer studerats samtidigt men erfarenhetstalen gör gällande att prestationen ofta kan minska med 50 %. Det minskade uttaget medför även en minskad intäkt.



Figur 17. Grotanpassad avverkning där ris och virke placeras i högar längsefter maskinens körstråk. Foto: Tomas Johannesson

Kritiska faktorer som försvårar uttag av grot:

- Dålig bärighet.
- Brant, stenig eller storblockig terräng.
- Tillräckligt breda och välplanerade basvägar.
- Stort antal virkessortiment i kombination med stora virkesvolymer
- Fröträd eller rikligt lämnande av andra träd.

Grotskotning och täckning

Arbetet med att skota samman grot och generera god bränslekvalitet, lönsamhet och goda förutsättningar för de efterkommande delarna i försörjningskedjan kräver både skicklighet och planering. Under lastningsarbetet är kraven höga på att alla eventuella föroreningar undviks vilka annars kan orsaka onödigt slitage eller stora skador på sönderdelningsutrustningen. Grotskotning utförs antingen med specialbyggda skotare som har breddade redan för att nå ökade lastvikter eller med ordinarie rundvirkesskotare i samband med rundvirkesavverkningen. Alternativet att skota direkt i samband med avverkningen kan ofta vara ekonomiskt lönsamt främst vid mindre avverkningar men man mister då möjligheten att torka groten på hygget. Det ställer också mycket höga krav på tillräckligt stora avläggsytor. Oavsett om man skotar med en specialbyggd maskin eller med ordinarie rundvirkesskotare så krävs en risgrip för arbetet eftersom en virkesgrip ofta tar med jord, sten och mossor av misstag.

Placering och uppbyggnad av vältorna

Vältorna ska placeras inom räckhåll för den maskin som senare ska sköta sönderdelningen, på hygget eller vid väggkant. Det är därför viktigt att redan vid skotningstillfället veta vilken metod som senare kommer att användas. Det är också viktigt vältorna och avläggen placeras med hänsyn till transporten till kund som sker i samband med sönderdelningsarbetet. Beroende på val av system så är transportlösningarna mer eller mindre utrymmeskrävande. Exempelvis kan sägas att ett Containersystem kräver plats i närheten för att placera containers medan ett traditionellt Huggbillsystem är beroende av att lasta groten från fordonets högra sida.

Den som bygger grotvältorna bör eftersträva att bygga dessa från ett håll ”från början till slut” eftersom den som sedan lastar från vältorna enklast gör detta från motsatt riktning. I annat fall så flätar ofta materialet ihop och blir tungarbetat. En vanlig instruktion är att märka vältornas avslut med ett snitselband eller med dubbla vältlappar.

Skydd mot återfuktning

Täckning av grotvältorna görs med en täckande papp (Figur 18) för att undvika återfuktning av regn eller snö under höst och vinter. Arbetet är ganska tidskrävande men ger en mycket viktig förädlings effekt och är ofta en försäkran om att bränslet ska vara åtkomligt och leveransgillt under vinterhalvåret. I de fall man inte täcker vältorna riskerar man att snö tinar ner i vältorna och därefter fryser fast vilket i värsta fall kan omöjliggöra sönderdelning. Man bör eftersträva så bred täckpapp som möjligt för bästa resultat och det är viktigt att pappen täcks med ett lager grot ovanpå för att förankra den så att den inte blåser sönder. Täckpappen är tillverkad av ett material som sedan går med i flisningen och vidare till förbränningen.

Att lägga lite extra tid på placering och täckning av vältorna ger ofta ett bra ekonomiskt resultat för systemet som helhet (Tabell 8). Om man räknar värdeförändringen på ett skotarlass på 25 m³s och en ersättning hos förbrukare på 200 kr per

MWh så leder en minskad fukthalt från 50 % till 35 % till ett ökat värde på 285 kr för det enskilda lasset. Vid en timersättning för skotaren a 900 kr. per timme ger det utrymme som motsvarar 19 minuters ”extra arbete” för att nå ett bra resultat.

Tabell 8. Förändring i energiinnehåll för en m³s grothflis. Tabellen visar även motsvarande värdeförändring omräknat till ett skotarlass om 25 m³s samt en ekonomisk ram för hur många minuter en skotare kan arbeta extra för att säkerställa en fukthaltssänkning från 50 % FH. Den ökade fukthalten, 55 % FH illustrerar det motsatta. Grundkalkylen bygger på en ersättning a 900 kr/tim. till skotaren.

Fukthalt %	30	35	40	45	50	55
Skotarlass, m ³ s	25	25	25	25	25	25
MWh per m ³ s	0,92	0,91	0,89	0,88	0,85	0,83
Summa MWh á 200 kr	23,08	22,73	22,33	21,88	21,30	20,63
Värde per lass, kr	4 615	4 545	4 465	4 375	4 260	4 125
Värdeförändring jmf 50 % FH	355	285	205	115	0	-135
Antal minuter	23,67	19,00	13,67	7,67	0,00	-9,00



Figur 18. Till höger i bild ses en rulle med täckpapp fäst i en s.k. galge. Skotaren kan med sin kran rulla ut täckpappen genom att lyfta galgen och rullen över vältan. Pappen förankras därefter med ett lager ris ovanpå för att inte blåsa sönder (Figur 19). Pappen ger ett mycket bra skydd mot fukt och kan senare sönderdelas och förbrännas tillsammans med flisen. Foto: Tomas Johannesson.



Figur 19. Skotare som täcker en grotvälta med täckpapp och förankrar med ris ovanpå. Foto: Skogsstyrelsen.

Kritiskt för systemet: kvarstående underväxt försvårar alltid lastningsarbetet och riskerar onödigt slitage eller haverier i sönderdelningsutrustningen. Dåligt utförd grotanpassning leder till höga produktionskostnader. Dåliga avläggsplatser kan ofta leda till fördyrad produktion och sämre bränslekvalitet.

Effekter av torkning och lagring av grot

För att säkerställa en god lönsamhet och hög kvalitet på den färdiga produkten måste man hela tiden eftersträva ett torrt och rent material. Torrt material bidrar till ett högt energivärde och rent material bidrar till god förbränning och låga askhalter. Det är därför viktigt att förstå hur lagringstiden för grot, på hygget och/eller i vältan är en del av en förädlingsprocess som ökar det ekonomiska värdet på materialet. Var man väljer att torka groten, på hygget eller i vältan, kan även ha viss inverkan på markens näringsbalans.

Effekter på förbränning och näringsbalans efter uttag

Det finns två huvudanledningar till att låta groten torka på hygget. Den ena är rent förbränningsteknisk och den andra är av en biologisk aspekt. Vad gäller förbränning så har vissa anläggningar svårigheter i de fall bränslet innehåller för höga halter av mineralnäringsämnen (t.ex. K, Ca) och kväve (N), som kan leda till förhöjda halter av NO_x-utsläpp i rökgaserna. Det andra skälet är att utifrån ett skogligt perspektiv vill man behålla de näringsrika barren på hygget (Drott, A 2019). Till en del så borde näringsuttagen kunna kompenseras med askåterföring. Askan har ofta ett lågt kväveinnehåll och studier visar dock att tillförsel av de näringsämnen som finns i askan oftast inte har någon nämnvärd påverkan på trädens tillväxt på de flesta typer av fastmarksjordar i Sverige. (Jakobsson, S. 2016).

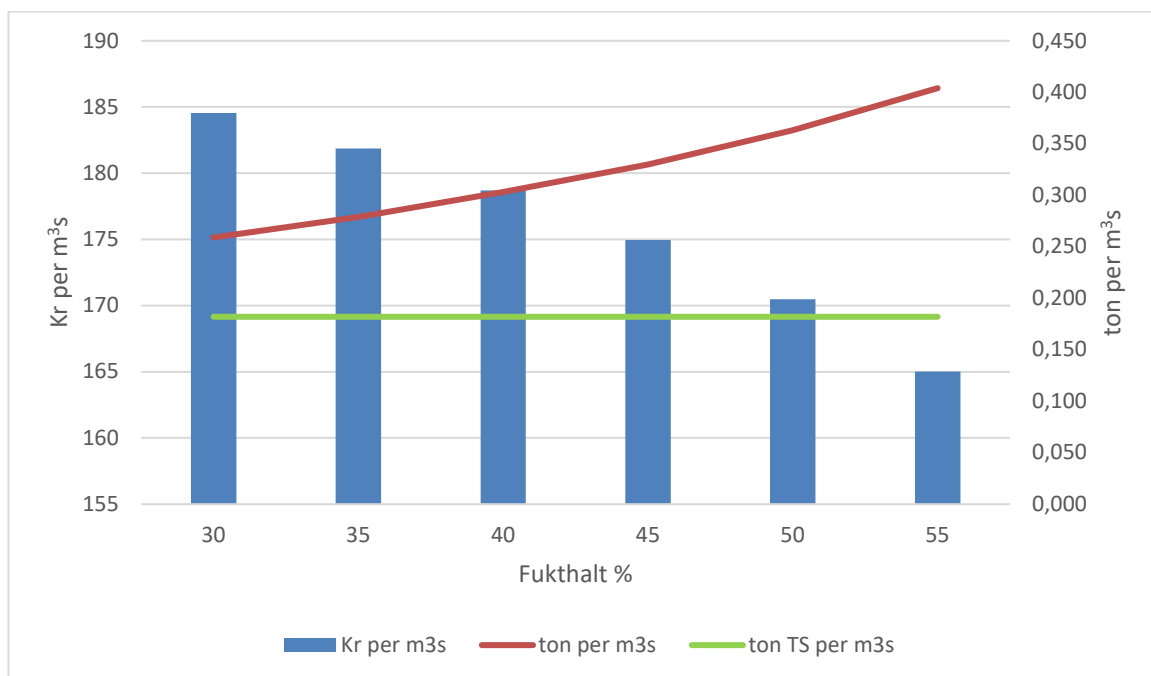
- På bördiga fastmarker kan askåterföring leda till en ökad frigörelse av kväve, och därmed, åtminstone på kort sikt, öka tillväxten och kompensera för de tillväxtförluster som normalt följer efter ett GROTT-uttag. På övriga fastmarker behöver man tillföra kväve om man vill kompensera för dessa tillväxtförluster.
- På mer uttalat kvävefattiga fastmarker finns risk för minskad tillväxt efter asktillförsel.
- På många torvmarker finns stor potential att öka skogsproduktionen genom att tillföra aska.

Ekonomiska effekter av att leverera torrt bränsle

Färsk grot håller en fukthalt om ca 50 %. Under lagring torkar materialet och det är främst den råa vikten som minskar men även den fysiska mängden grot (torrsubstans) förändras till viss del redan det första året. Substansförlusterna är större vid lagring på hygge än vid motsvarande lagring i vältan vilket rimligen kan förklaras av att en viss mängd barr och annan finfraktion inte kommer med vid skotning av torkad grot.

Om man gör en beräkning utifrån värdet av en stjälp kubikmeter grotflis (Figur 20.) så ser man det ekonomiska utfallet av minskad fukthalt ganska tydligt. I figuren finns även en kolumn med 55 % fukthalt, dvs ett bränsle som är fuktigare än vad det är som färskt. Detta är inte helt ovanligt i de fall man inte lyckats bra med

lagring eller täckning. Fukt kan tillföras i form av regn eller snö som kommer in i bränslet.



Figur 20. Ett exempel på hur värdet på 1 m³s grotflis förändras i takt med förändringar i fukthalten. Beräkningen bygger på ett marknadspris om 200 kr per MWh vilket multipliceras med det effektiva energivärdet för volymen inom respektive fukthaltssklass. Lägg märke till att torrsubstansen, ton TS, är samma i samtliga klasser. Energiinnehållet varierar även mellan olika delar av trädet och mellan olika trädslag. Därför ska figuren tolkas principiellt och inte som ett generellt resultat. Källa: WeCalc.

Torkning på hygget

Normalt minskar fukthalten i grothögar som lagras på ett hygge ganska fort under sommaren. Grot som skördas under vår och tidig sommar kan ofta levereras under nästa eldningssäsong medan grot som skördas under höst och vinter bör sparas till efterkommande års eldningssäsong, dvs all grot bör lagras över en torrperiod innan eldning om man eftersträvar låg fukthalt. Det finns ofta regionala erfarenhetstal om hur många veckor groten behöver torka men det varierar givetvis beroende av väder och region (jmf Figur 9). Torkningstiden är också beroende av hyggets förutsättningar då det är stora skillnader mellan ett torrt och solexponerat hygge i en sydsluttning jämfört med ett skuggigt hygge i en nordsluttning. Även marktypen har en viss inverkan i detta. Om man jämför en torr mark med en fuktigare torvmark så kan resultatet bli olika.

Torkning i välta

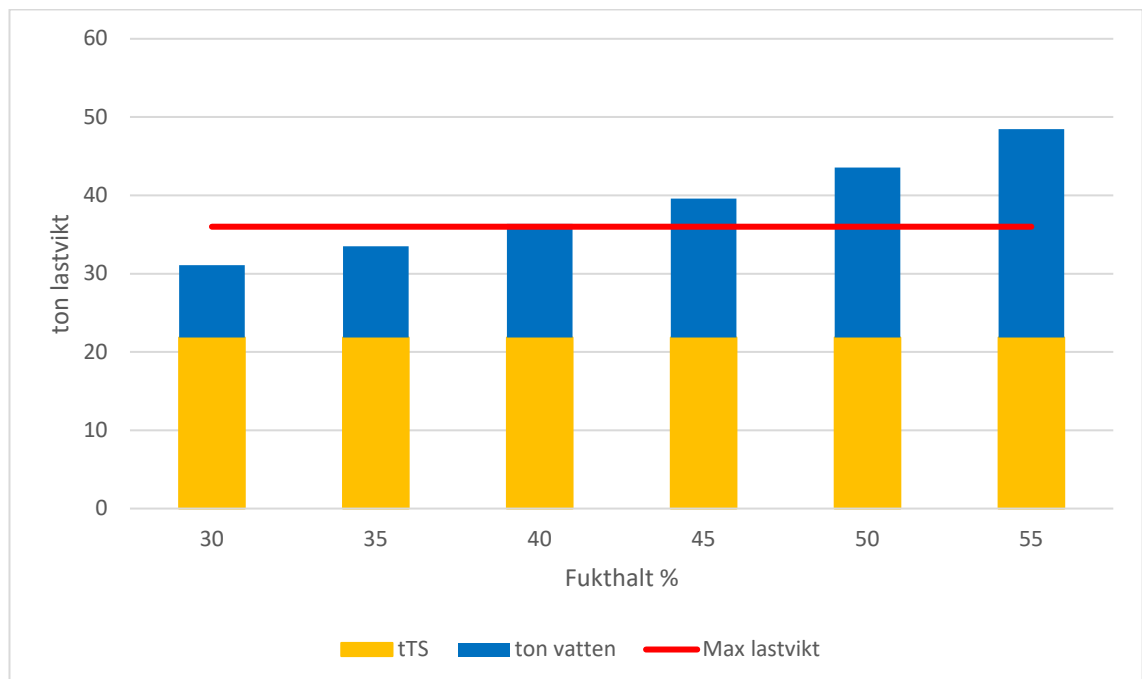
I vissa fall kan det vara fördelaktigt att skota groten färsk. Generellt kan man säga att man då behöver lägga ytterligare fokus på att finna goda platser för välterna för att nå samma effekt som vid torkning på hygget. Man bör också räkna med att torkningen tar något längre tid men att man når ett gott resultat efter en torkningssäsong. Den vanligaste orsaken till att vilja skota groten färsk är att man då ofta

kan använda den rundvirkesskotare som är på plats och därigenom undvika en etableringskostnad för ytterligare en maskin. Det kan också vara till fördel att skota groten färsk om man vill frigöra hygget för markberedning och plantering tidigare. En vanlig risk vid skotning av färsk grot är att det bästa avläggsplatserna redan är upptagna av virke.

Transportekonomi

I de allra flesta fall ersätts transporterna utifrån vikt och avstånd (ton * km) medan produkten ersätts för dess energiinnehåll (MWh) av mottagaren. I detta har materialets fukthalt en avgörande betydelse för ekonomin. I takt med att materialet torkar ökar dess energiinnehåll samtidigt som vikten minskar. Det senare leder till att mängden material som kan fraktas utan att överskrida lastbilens totalvikt ökar (Figur 21). Därmed ökar även det enskilda lassets värde. Dock är det inte ovanligt att man når ett optimum där vikten per m³ är så låg att lastbilens totala volym inte räcker till att lasta full vikt.

Lastmängden gynnas av det torrare materialet till viss gräns. För exempelvis en containerlastbil med tre containers á 40 m³ så erhålls möjlighet att nyttja full lastkapacitet vid ca 35 – 40 % fukthalt men därefter kan full volym nyttjas men inte full lastvikt, vilket kan vara ogynnsamt ur ett ekonomiskt perspektiv för åkaren.



Figur 21. Ett exempel på mängden torrs substans och vatten per lass. Vid 45 % fukthalt överskrider maxvikten varvid man inte kan nyttja lastutrymmets hela volym. Vid torrare material fraktas samma, eller något större energimängd men når inte den maximala lastvikten på 36 ton som används i exemplet. Räknat som transportkostnad per MWh gynnas det torrare materialet. Maximal lastvikt kan skilja mellan olika fordonskonstruktioner.

System för sönderdelning och transport

Det finns en mängd olika lösningar och kombinationer för sönderdelning och transport av skogsbränsle. I detta kapitel försöker vi ge en övergripande bild över de vanligaste systemen, deras olika för- och nackdelar samt vad som kan vara kritiska faktorer att ta hänsyn till. Maskiner och lastbilar förekommer i många olika utföranden och storlekar och därför blir inte denna text heltäckande för alla variationer. För sönderdelning finns två grundprinciper, antingen att hugga materialet med skärande verktyg eller att krossa materialet med slagor eller roterande valsar.

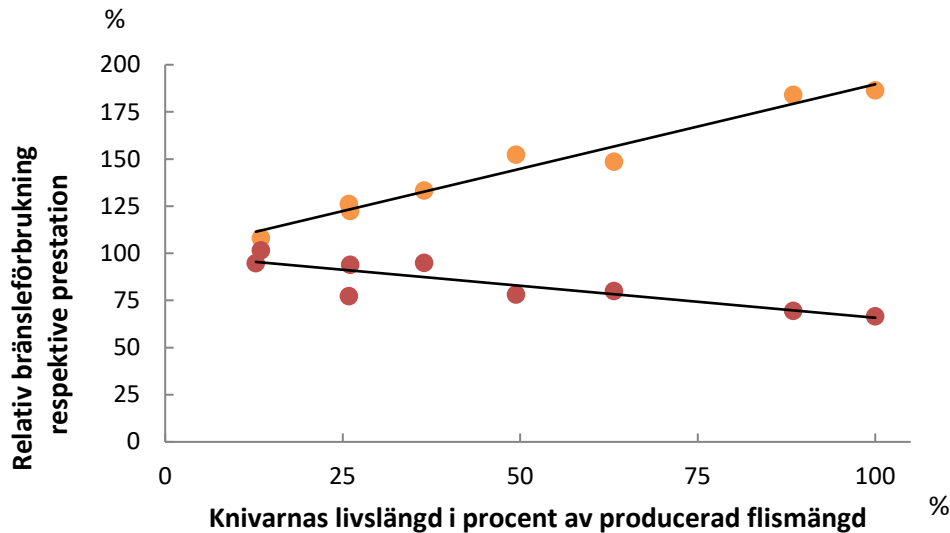
Flisning

Vanligtvis så sker sönderdelningen av grot i fält genom flisning (huggning) med olika trumhuggar, som använder knivar för att skära/hugga sönder groten (Figur 22). Dessa är väl anpassade för grot och träddelar men ytterst känsliga för föroreningar i form av mineraljord och sten. Den typen av föroreningar leder snabbt till att huggens knivar tappas skärpa vilket leder till minskad prestation, ökad bränsleförbrukning och en sämre kvalitet på det färdiga bränslet. Föroreningar i form av metall eller större stenar leder ofta till dyrbara reparationer som följd. För att minska risken för att olika föroreningar följer med i det material som ska flisas är det viktigt att både avverkningstrakten och avläggsplatserna röjs fria från småträd som annars riskerar att rotryckas varvid jord och sten kan hamna i den vältlagda groten och därefter åka med in i flismaskinen.



Figur 22. En ny huggkniv (överst) och en sliten huggkniv (nederst) i bild. Den nedre har ett normalt slitage. Foto: Tomas Johannesson.

Huggstålens skärpa påverkar till stor del hur den färdiga flisen ser ut och det har även en mycket stor inverkan på prestation och bränsleförbrukning. I takt med att knivarna blir slöa krävs mer energi för att utföra arbetet (Figur 23).



Figur 23. Relativ bränsleförbrukning (gröna symboler) och prestation (röda symboler) för Bruks 805 CT

Krossning

Till skillnad från flishuggarna så är krossar, som slår sönder materialet, mer robust konstruerade och därmed mindre känsliga för föroreningar. Det förekommer att man krossar grot ute i fält men det är vanligast att krossning sker på terminaler eller hos olika kunder. I stället för en huggtrumma med knivar så har krossarna ofta någon typ av valsar med slagor eller hammare (Figur 24) som slår sönder materialet som matas in. Detta gör att krossarna även är lämpliga för sönderdelning av ex. stubbar och returträ. Det krossade materialet innehåller vanligen något mer material i de lägre fraktionsklasserna än vad det huggna materialet gör (Figur 25).

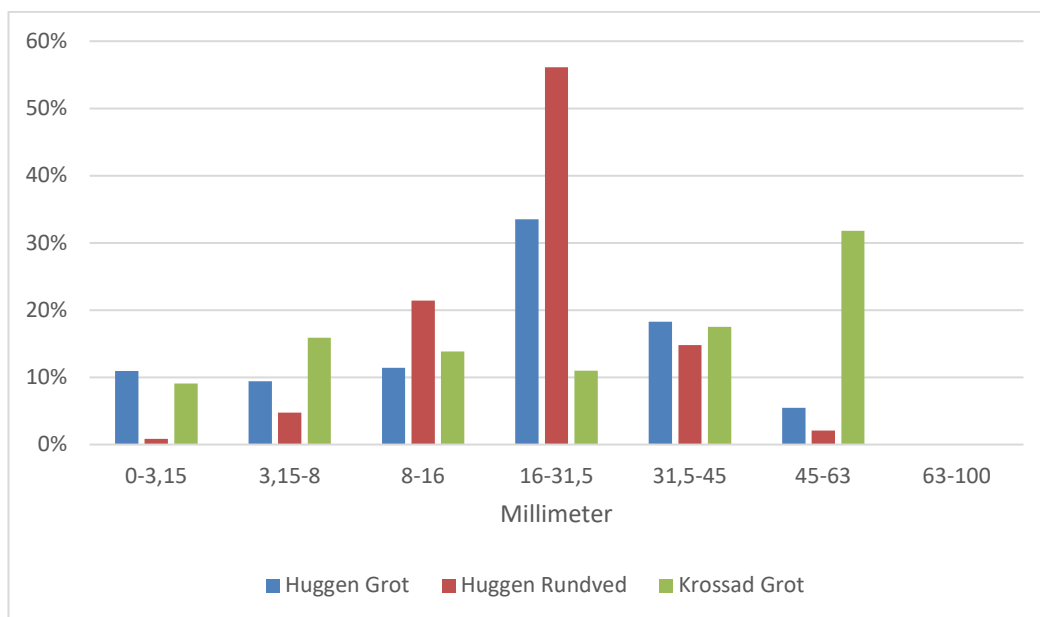


Figur 24. Bilden visar en ny kross-sлага till vänster och en utsliten kross-sлага till höger i bild. Kraftigt slitna slagor påverkar prestation och kvalitet på det krossade bränslet. Foto Tomas Johansson.

Fraktionsfördelning

Det sönderdelade materialets karaktär och fraktionsfördelning (Figur 25) påverkas av en mängd olika parametrar. Det är stor skillnad mellan olika delar av trädet, exempelvis rundved och grot, men även val av maskin och hur de är konstruerade ger olika resultat. Materialets fukthalt och temperatur tillsammans med knivarnas skärpa påverkar också det slutliga resultatet. Lite förenklat kan man säga att man hela tiden vill undvika allt för mycket finfraktion och hellre producera ett bränsle som ligger i det övre spannet inom respektive P-klass. Ett grövre bränsle har ofta flera fördelar (Johannesson 2014) och en lägre produktionskostnad (Eliasson 2014).

Det är dock viktigt att komma ihåg att för stora fraktioner (i värsta fall långa stickor eller käppar) kan leda till problem för anläggningarnas bränsleinmatning och eftersom man ofta sönderdelar till flera olika anläggningar med samma maskin finns en tydlig risk att bränslet ofta kan bli "överarbetat". De mest känsliga anläggningarna sätter ofta höga krav vilket påverkar nivån även för mindre känsliga anläggningar. Vad som anses som optimal fraktionsfördelning varierar stort.



Figur 25. Ett exempel på fraktionsfördelning efter sönderdelning av torkad grot samt rundved. Den huggna stamvedsflisen är mera homogen än grotflisen och den krossade grotflisen har en större andel grov fraktion (45 – 63 mm) jämfört med den huggna. Målfraktionen var i dessa fall P45.

Heta eller kalla systemlösningar?

I ett skogsbränsleflöde arbetar många olika aktörer med olika delar av kedjan. Alla är beroende av varandra och samspelet mellan aktörerna är ofta avgörande för om det ska bli lönsamt eller inte. De systemlösningar som förekommer idag har alla olika för- och nackdelar och man brukar eftersträva att använda de system som fungerar bäst utifrån lokala förutsättningar (Eriksson 2022). I detta medräknas allt från objektsstorlekar i fält, skogsbilvägar och vilken eller vilka mottagare man leverera till.

Vilket system vill man ha och vilka förhållanden finns? De frågorna har inte alltid några självklara svar (Johannesson 2022) och samtliga system har både styrkor och svagheter. När det görs simuleringar på mest lämpliga system så blir svaret ibland annorlunda om ifall målet är en låg produktionskostnad eller en hög leveranskapacitet. Läger man därtill hög leveranssäkerhet som en parameter blir det ännu svårare. Simuleringen baseras på teoretiska beräkningar kombinerat med praktiska erfarenhetstal om exempelvis driftstörningar och väntetider för de olika systemen.

Transportavstånd, medelstorlek på trakterna och sårbarhet för driftstörningar är viktiga. I en teoretisk simulering framkommer att lastbilsmonterade huggar i kombination med olika antal transportfordon blir de mest kostnadseffektiva på stora objekt oavsett transportavstånd (Tabell 9). På små objekt har transportavståndet en stor inverkan och vad som är den mest optimala systemlösningen skiljer mer markant. För objekt med korta avstånd och låga volymer framkommer huggbilarna som det mest kostnadseffektiva. Om målsättningen är att ha en hög prestationskapacitet så framkommer däremot lastbilshuggarna som det bästa alternativet i fler av simuleringsmiljöerna (Tabell 10).

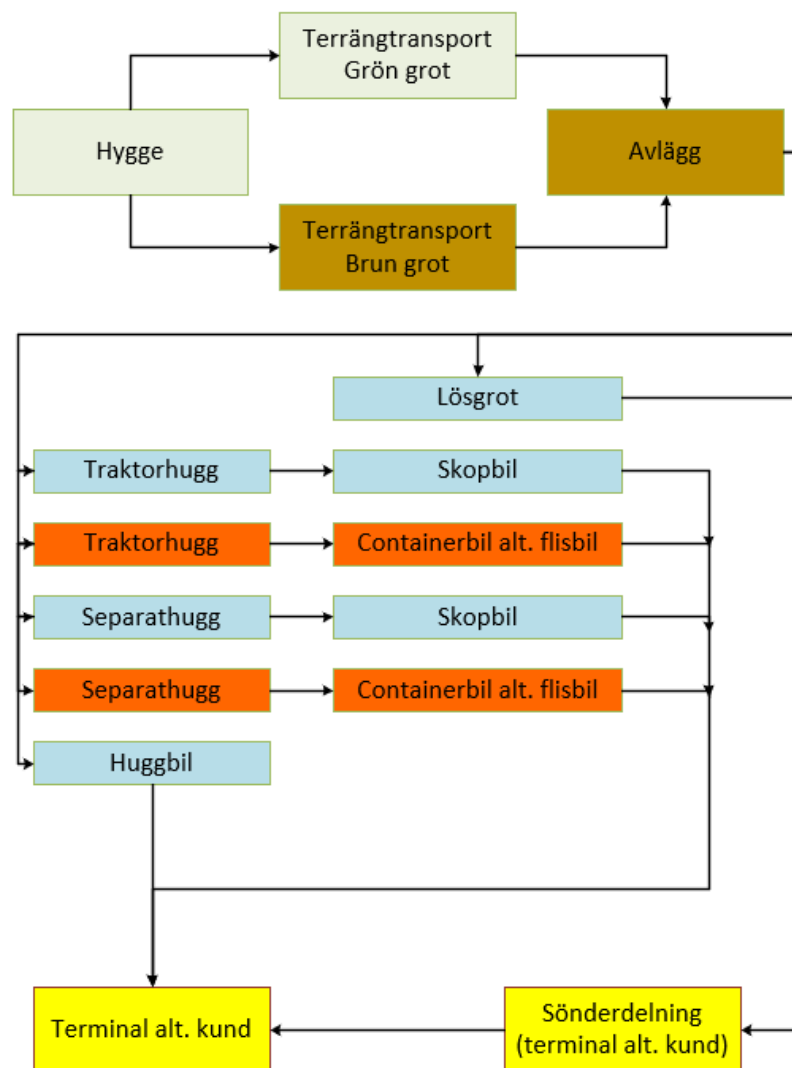
Tabell 9. Kostnader för sönderdelning och transport för de 3 kostnadseffektivaste systemlösningarna i de 9 olika simuleringsmiljöerna. De billigaste lösningarna inom respektive förutsättningarna är fetmarkerade mot grön bakgrund. Mot aprikosfärgad bakgrund ovanför framkommer andra och tredje billigaste alternativet. Lösgrotsystem har inte beaktats i studien.

	Korta avstånd (0 - 50 km)	Medelavstånd (50 – 100 km)	Långa avstånd (100 – 150 km)
Stora objekt (150 - 250 tTS)	Traktorhugg + 2 Containerbilar (9C) (265 kr/tTS)	Lastbilshugg + 2 flisbilar (331 kr/tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (9C) (397 kr/tTS)
	Huggbil (253 kr/tTS)	Traktorhugg + 3 Containerbilar (9C) (331 kr/tTS)	Lastbilshugg + 3 flisbilar (389 kr/tTS)
	Lastbilshugg + 2 flisbilar (245 kr/tTS)	Lastbilshugg + 3 flisbilar (322 kr/tTS)	Lastbilshugg + 4 flisbilar (377 kr/tTS)
Medelstora objekt (75 - 150 tTS)	Traktorhugg + 2 Containerbilar (9C) (279 kr/tTS)	Lastbilshugg + 3 flisbilar (355 kr/tTS)	Lastbilshugg + 3 flisbilar (419 kr/tTS)
	Huggbil (264 kr/tTS)	Lastbilshugg + 2 flisbilar (355 kr/tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (9C) (417 kr/tTS)
	Lastbilshugg + 2 flisbilar (263 kr/tTS)	Traktorhugg + 3 Containerbilar (9C) (350 kr/tTS)	Lastbilshugg + 4 flisbilar (409 kr/tTS)
Små objekt (25 - 75 tTS)	Traktorhugg + 2 Skopbilar (332 kr/tTS)	Traktorhugg + 3 Containerbilar (9C) (428 kr/tTS)	Lastbilshugg + 4 flisbilar (492 kr/tTS)
	Lastbilshugg + 2 flisbilar (324 kr/tTS)	Traktorhugg + 3 Skopbilar (426 kr/tTS)	Traktorhugg + 3 Containerbilar (9C) (491 kr/tTS)
	Huggbil (282 kr/tTS)	Lastbilshugg + 3 flisbilar (426 kr/tTS)	Traktorhugg + 3 Containerbilar (6C) (491 kr/tTS)

Tabell 10. Beräknad produktionskapacitet för sönderdelning och transport för de 3 effektivaste systemlösningarna i de nio olika simuleringsmiljöerna. De effektivaste lösningarna inom respektive förutsättningarna är fetmarkerade mot grön bakgrund. Mot aprikosfärgad bakgrund ovanför framkommer andra och tredje alternativet. Lösgrötsystem har inte beaktats i studien.

	Korta avstånd (0 - 50 km)	Medelavstånd (50 – 100 km)	Långa avstånd (100 – 150 km)
Stora objekt (150 - 250 tTS)	Lastbilshugg + 4 flisbilar (2498 tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (6C) (2342 tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (6C) (2177 tTS)
	Lastbilshugg + 4 flisbilar (2515 tTS)	Lastbilshugg + 4 EU-trailer (2426 tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (9C) (2205 tTS)
	Lastbilshugg + 4 EU-trailer (2536 tTS)	Lastbilshugg + 4 flisbilar (2518 tTS)	Lastbilshugg + 4 flisbilar (2344 tTS)
Medelstora objekt (75 - 150 tTS)	Lastbilshugg + 3 flisbilar (2249 tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (9C) (2169 tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (6C) (2052 tTS)
	Lastbilshugg + 4 EU-trailer (2306 tTS)	Lastbilshugg + 4 EU-trailer (2173 tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (9C) (2105 tTS)
	Lastbilshugg + 4 flisbilar (2322 tTS)	Lastbilshugg + 4 flisbilar (2298 tTS)	Lastbilshugg + 4 flisbilar (2109 tTS)
Små objekt (25 - 75 tTS)	Lastbilshugg + 3 flisbilar (1768 tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (6C) (1714 tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (6C) (1707 tTS)
	Lastbilshugg + 4 EU-trailer (1830 tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (9C) (1730 tTS)	Traktorhugg + 4 Containerbilar (9C) (1712 tTS)
	Lastbilshugg + 4 flisbilar (1839 tTS)	Lastbilshugg + 4 flisbilar (1821 tTS)	Lastbilshugg + 4 flisbilar (1719 tTS)

Sett ur ett kapacitetsperspektiv så är lastbilshuggar i kombination med olika antal transportfordon det mest effektiva men skillnaden mot Traktorhugg och containerbilar är inte särskilt stor. Här är det lätt att ledas till en tro på att dessa två system skulle kunna vara de två "vinnarna" och att övriga system inte fyller några funktioner men simuleringar och beräkningar visar inte alltid hela bilden. Att köra små objekt med fyra st. flisbilar på korta avstånd är sällan genomförbart. Samtidigt är det ofta svårt att finna plats i närheten för nio st. containers. I teoretiska beräkningar är det lätt att överskatta prestationer samtidigt som man underskattar de hinder som kan uppstå. Lite förenklat kan man säga att ju fler inblandade personer och fordon desto "hetare" och mer såbart blir systemet. Vilka system brukar klassas som "heta eller "kalla" vilket framgår av de olika färgerna i Figur 26. Ofta har man valt de system man använder som en kompromiss mellan ett stort antal viktiga faktorer, inte bara kostnad och prestation.



Figur 26. Schematisk skiss över de vanligaste flödesmodellerna. Färgerna rött och blått representerar "heta" system i rött respektive "kalla" system i blått.

Termerna heta respektive kalla system används för att beskriva hur pass fristående eller beroende olika maskiner och fordon i systemet är av varandra. Ju mer beroende man är av andra aktörer desto hetare är systemet. I de heta systemen är det oftast samspelet mellan sönderdelning och transport som är en utmaning. Detta kan ofta försvåras av att transportören måste ta hänsyn till lagstadgade kör- och vilotider samt riskerar att bli fördröjd av exempelvis köbildning i trafiken eller vid mottagningsplatsen. I ett hett system kommer ett eventuellt driftstopp på en maskin/ett fordon relativt snabbt störa arbetet för de övriga maskinerna/fordonen i flödet.

Lösgrot – kallt system

I vissa regioner förekommer hantering av lösgrot. Systemet bygger på att groten lastas på lastbilar med förstärkta skåp på lastbil och släp (Figur 27). Bilarna lastar med egen kran och blir på så sätt oberoende av andra. Dessa kan likt en timmerbil lasta oberoende av vilken sida vältan ligger på men är i likhet med huggbilarna beroende av relativt goda vändplaner. Groten körs osönderdelad till terminal eller till mottagare för senare sönderdelning. Till systemets fördelar är att man, oberoende av andra, kan arbeta på flera uppdrag parallellt och därigenom sörja för en god logistik. Till nackdelarna hör att man har mycket lägre nettolastvikt än de övriga systemen och blir därmed känsligare för långa avstånd. De dyrare transporterna brukar kunna försvaras av en billigare sönderdelning på terminal eller hos mottagare.



Figur 27. S.k. lösgrots- eller helgrotsbil vid lastning av grot. Foto: Henrik von Hofsten

Fördelar med lösgrot:

- Sönderdelning sker med högeffektiva, ofta elektrifierade, maskiner vilket håller ner sönderdelningskostnaden.
- Inga flyttkostnader belastar systemet
- Systemet kan arbeta självständigt och är flexibelt i ruttplaneringen.

Nackdelar med lösgrot:

- Låga lastvikter ger höga transportkostnader och systemet blir därmed begränsat på längre transportavstånd.
- Lastbilarna är förhållandevis ”otympliga” och kräver stora vändplaner.
- Vältorna måste ligga inom kranens räckvidd åtkomliga från väg.

Terränggående flishugg i kombination med skopbilar – kallt system

Flishuggar monterat på skotare (Figur 28) är ett traditionellt system som ofta används men räknas som betydligt ”kallare” när de kombineras med skopbilar (Figur 29) än vid användandet av containerbilar (Figur 30). I fallet med skopbilar tippas flisen på marken, antingen på en viraduk (Figur 29) eller på en hårdgjord yta. Skopbilen kan därefter i egen takt lasta bränslet för avtransport till terminal eller direkt mottagare. Hugg och bil är dock inte helt frikopplade från varandra utan det är önskvärt att inte ha sönderdelat material liggandes vid väggkant för länge. Fördelen med att den skotarmonterade flihuggen är terränggående kvarstår och man behöver inte köra ut containers i förväg.

Skopbilen kan även arbeta parallellt på flera aktiva objekt samtidigt och därigenom skapa bra lösningar för logistiken. Då de båda enheterna inte är direkt beroende av varandra blir systemet mindre känsligt för eventuella störningar. Till systemets nackdelar kan räknas att de flishögar som ligger flisade i väntan på avtransport riskeras att bli fuktiga av regn och snö samt att det ibland kan bli en del material kvar på marken efter lastning. Risken för spill minskar om man använder viraduk under högarna.

Gemensamt för skotarmonterade huggar är att de är långsamma att förflytta längs väg vilket gör att man bör eftersträva effektiva rutter för maskinerna. Samtidigt ska det vägas mot att för hårt styrda rutter (exempelvis inom ett distrikt, VO eller motsvarande) kan leda till att man inte alltid producerar ett optimalt bränsle för de enskilda kunderna.



Figur 28. En terränggående flishugg som i detta fall transporterar det sönderdelade materialet från hygget fram till bilväg. Foto: Tomas Johannesson.

Fördelar med terränggående flishuggar i kombination med skopbilar:

- Systemet kan nyttjas även om värtorna inte ligger inom räckhåll från väg.
- Skopbilarna har något högre lastförmåga jämfört med containerbilarna.
- Flishuggen kan följa den planerade rutten oavsett avstånd till mottagare.
- Det finns möjlighet att ha ett visst flisat väglager för att klara leveranskvoter även om huggen drabbas av haverier eller andra störningar.

Nackdelar med terränggående flishuggar och skopbilar:

- Huggutrustningen är mycket känslig för förorenat material.
- Lastbilarna kräver goda vändplaner.
- Relativt höga flyttkostnader vilken kräver en effektiv ruttplanering.
- System blir dyrt vid korta transportavstånd.
- Underlagsduken som bör användas under flishögarna innebär vissa utmaningar.
- Det finns en viss risk för spill efter lastning samt föroreningar i materialet. Det finns även risk att flisat material utsätts för regn eller snö.



Figur 29. Skopbil som lastar grothug. Flishögen som är placerad på en markduk har tippats direkt från flishugggen. Foto: Tomas Johannesson.

Terränggående flisare i kombination med containerbilar – hett system

Ett vanligt och ganska traditionellt system består av en skotarmonterad hugg som arbetar tillsammans med en eller flera containerekipage. I detta är det viktigt att man lyckas arbeta i samma takt så att inte den ena behöver vänta på den andre. Det är således ett hett system, där flishugggen tippar flisen i containers (Figur 30) som sedan hämtas av lastbilen för transport till terminal eller direkt till mottagare.

För att göra det mindre hett används ofta en eller två extra uppsättningar containrar för att därigenom möjliggöra tippning av flis även då det inte finns bilar på plats. I idealfallet finns redan tillräckligt många containrar fyllda när en bil anländer. Flyttningen och utsättningen av containrar är dock logistiskt utmanande. Till fördelarna med system hör att den skotarmonterade huggen är terränggående och inte behöver ha vältorna placerade vid väggkant. Systemet blir på så sätt flexibelt då flishuggen även har möjlighet att själv flytta det flisade materialet kortare sträckor vid behov.



Figur 30. Traktormonterad hugg som fyller en container med grothugg. Containern transporteras därefter med lastväxlarbil till mottagaren eller terminal. Foto: Rolf Björheden.

Till nackdelarna med system hör att det måste köras ut tomma containers i förväg för att flishugggen ska kunna tippa det sönderdelade materialet. Det innebär i sig en relativt hög startkostnad för ett objekt. En ytterligare nackdel är som sagt att systemet blir känsligt för störningar då både sönderdelning och transport måste ske synkroniserat. En ytterligare utmaning för systemet brukar vara att hitta bra uppställningsplatser för det antal containers som används, normalt 6 eller 9 st. a' 35 – 40 m³.

Fördelar med terränggående flishuggar i kombination med containerbilar:

- Systemet kan nyttjas även om värtorna inte ligger inom räckhåll från väg.
- Systemet ger möjlighet till flexibla transportlösningar och man kan välja ex. antal lastbilar utifrån förutsättningar.
- Systemet går att använda även vid svåra förhållanden exempelvis små vändplaner. Det blir betydligt dyrare, men det går enkelt att koppla av släpet vid en annan plats och rangera containrarna en bit bort.

Nackdelar med terränggående flishuggar i kombination med containerbilar:

- Huggutrustningen är mycket känslig för förorenat material.
- Systemet har en relativt hög startkostnad då tomma containrar måste köras ut till platsen innan flisningen kan påbörjas. Den lastbil som kör ut de tomma containrarna har då inga fyllda containrar att ta med därifrån.
- Viktigt att sönderdelning och avtransport sker i samma takt. Detta kan vara svårt att balansera då transportavstånd mm varierar.
- Det är ofta svårt att hitta bra utrymmen för det antal containrar som behövs.

Även om jordbrukstraktordragna flishuggar är relativt vanligt förekommande används de oftast inte i terrängen utan på samma sätt som de lastbilsmonterade separathuggarna som presenteras senare.



Figur 31. Containerbilsekipage med tre st. 40 m³ containrar. Lastbilen är utrustad med lastväxlar-system för att kunna hantera containrarna vid av- och pålastning. Foto Anders Eriksson.

Huggbil – kallt system

I detta system sköter samma fordon både sönderdelning och transport, dvs. huggbilen har egen kapacitet för båda sysslorna (Figur 31). Den vanligaste lösningen är en fyraxlig lastbil med ett mindre flisskåp bakom hytten samt en flishugg monterad bakom flisskåpet. Huggen drivs via en särskild fördelningsväxellåda från lastbilsmotorn. Huggbilen drar normalt en vagn vars storlek anpassas efter det tillgängliga vägnätet.

Systemets största fördel är enheten är helt oberoende av andra och huggbilen kan även arbeta parallellt på flera aktiva objekt. Systemet har så till vida inte heller någon startkostnad i egentlig mening utan framkörningen är en del av transporten. Till nackdelarna hör att fordonen är relativt osmidiga och därför kräver mycket goda vändmöjligheter vilken kan vara svårt att uppnå på flertalet skogsbilvägar. En ytterligare nackdel är att de traditionella ekipagen endast kan flisa från fordons högra sida. Eftersom det dessutom är svårt att vända med full last på trånga ytor begränsas därmed möjligheterna till var man kan placera grotvältorna.



Figur 32. Huggbil som flisar torkad grot från vält. Foto: Lars Eliasson.

Fördelar med huggbilar:

- Systemet är flexibelt och kan arbeta med olika objekt parallellt.
- Flexibiliteten underlättar i de fall man har flera olika mottagare.
- Inga flyttkostnader belastar systemet och det är väldigt effektivt på korta avstånd.
- Systemet kräver endast en förare, dvs mindre personal.

Nackdelar med huggbilar:

- Huggutrustningen är mycket känslig för förorenat material.
- Fordonen är både dyra och komplicerade vilket kräver mycket specialkompetenser hos chaufförerna för att bli effektiva.
- Det har en sämre lastkapacitet jämfört med andra system och blir sårbart på längre avstånd.
- Vältorna måste ligga inom räckhåll för lastbilens kran och vanligtvis på höger sida i fordonets körriktning.
- Lastbilarna kräver goda vändplaner.

Lastbilsmonterade separathuggar – ofta, men inte alltid, ett hett system

Separathuggar (Figur 32), eller det som ofta kallas lastbilsmonterade huggar, ska inte förväxlas med huggbilen som beskrivs ovan även. Till separathuggar räknas de traktor- eller lastbilsfordon som har en så stor huggutrustning monterad så att det inte ryms något lastutrymme på fordonet. Ofta körs dessa ekipage tillsammans med container- eller flisbilsekipage som ombesörjer transport av det färdiga bränslet. Separathuggarna har en högre prestation än de övriga huggarna som monteras på traktorer eller huggbilar och kan därför även användas på terminaler för sönderdelning av grot, träddeklar och rundved. I de fall sönderdelning sker på terminal så blir enheten fristående från transportfordonen. Till fördel för separathuggarna kan räknas den höga kapaciteten och mobiliteten. De förflyttar sig snabbt mellan olika uppdrag. Till nackdelarna räknas den eventuella risken för väntetider och i värsta fall stillestånd som kan bero på störningar hos transportfordonen. Systemen kräver ofta relativt mycket utrymme.



Figur 33. Lastbilsmonterad separathugg som flisar grot direkt i lastutrymmet på en flisbil. Foto: Kvarnmon Flis AB.

Fördelar med separathuggar:

- De har en hög kapacitet och kan snabbt flytta mellan olika objekt.
- Systemet är effektivt vid stora objekt och långa transportavstånd då huggarna ofta körs i kombination med stora flisbilar.
- Huggarna kan användas både för sönderdelning i fält och på terminaler samt klara grova dimensioner.
- Transportkapaciteten blir skalbar genom att nyttja fler eller färre lastbilar.

Nackdelar med separathuggar:

- Huggutrustningen är mycket känslig för förorenat material.
- Systemet kräver väldigt god logistik och är väldigt känsligt för störningar.
- Generellt sett är systemen utrymmeskrävande då flera fordon ska vistas i närhet av varandra.
- Systemet blir känsligt för objekt med små volymer.

Mobila terminalhuggar

Främst för sönderdelning av rundved, men även grot och träddelar på större koncentrerade volymer används ofta ännu kraftfullare maskiner för arbetet (Figur 33, 34 och 35). Dessa har en mycket hög kapacitet och förflyttas mellan olika terminaler och andra lagerplatser och där de snabbt producerar stora mängder färdigt bränsle. Konstruktionen hos huggar i denna storleksklass varierar men kan lite förenklat delas in i två olika metoder – antingen trumhugg eller skivhugg. Trumhuggarnas konstruktion är likadan, bortsett från storleken, som de mindre huggarna som återfinns på exempelvis lastbilshuggarna. Skivhuggarna skiljer sig där emot då de har en stor roterande skiva försedd med knivar. Skivan är aningen snedställd i förhållande till materialet som matas in. Samma teknik återfinns vid flisning av massaved på pappers- och massabruket.

Trumhuggarna har ett bredare spann för vilket material den klarar av att sönderdela. Rundved, träddelar och grot fungerar normalt sett bra medan skivhuggarna är anpassade för att enbart flisa rundved.



Figur 34. Stor skivhugg som sönderdelar rundved på terminal. Foto: Lars Eliasson



Figur 35. Större trumhugg vid sönderdelning av rundved på terminal. Foto: Lars Eliasson.

Mobila terminalkrossar

Det förekommer ibland föroreningar i trädbränslet som omöjliggör användandet av huggar. Främst förekommer detta i returträ och stubbar men ibland förekommer även förorenad grot. För att sönderdela dessa material används ofta mobila krossar som antingen är bandgående eller monterade på lastbil eller på trailer. De

matas antingen av lastbilens egen kran eller av en separat lastare. Grot som krossas får till viss del andra egenskaper jämfört mot huggen grotflis. Framförallt så brukar andelen finfraktion öka om materialet är torrt och det finns även en risk för ökad andel av överstort material och långa stickor. Värt att notera är att vad som kommer ut till stor del beror på vad som stoppas in. Variationen är stor.



Figur 36. Stor terminalkross vid sönderdelning av rundved på terminal. Foto: Lars Eliasson.

Värt att notera gällande de mobila terminalsystemen:

- Det finns en stor spridning i tekniker, maskiner och systemupplägg. De maskiner som används är designade och optimerade för vissa typer av bränslen och vissa typer av flöden. Systemupplägget beror även ofta på hur de industrier eller värmeanläggningar ser ut och vilka förhållande som gäller på de enskilda platserna.
- Det är generellt mycket tunga fordon som inte är anpassade för att arbeta i fält.
- Både trumhuggar och skivhuggar är känsliga för föroreningar.
- Till krossarnas fördel är att de är relativt okänsliga mot föroreningar av jord eller grus.
- Till krossarnas nackdelar är en mindre homogen slutprodukt och en högre kostnad för sönderdelningen.

Stationär sönderdelning

I Sverige finns även att antal kraftvärmeverk som själva på anläggningarna sönderdelar sitt bränsle med hjälp av stationära krossar (Figur 37). Dessa är oftast eldrivna vilket leder till en lägre energikostnad jämfört med dieseldrivna krossar. Liksom för de mobila krossarna är även dessa relativt okänsliga för föroreningar av jord eller grus. Krossarna har ofta någon form av roterande valsar för sönderdelning av material.



Figur 37. En stationär elektrisk valskross för sönderdelning av olika material. Foto: Doppstadt.

Utrustning för sållning av flisat material

I vissa fall förekommer det att man efter sönderdelningen sållar det flisade materialet för att öka dess homogenitet genom en mindre blandad fraktionsfördelning (Figur 38). De två vanligaste teknikerna är s.k. skaksåll och stjärnsiktar. Målet för de båda teknikerna är det samma att sortera bort oönskade (reject) storlekar från det önskade (accept). Att sålla materialet kan vara kostsamt men har fördelar både för lagring och för förbränning.



Figur 38. Stjärnsikt som delar upp grotflis i en rejektfraktion och en acceptfraktion. Foto: Anders Eriksson.

Lagring av flisat material

Eftersom förbrukningen av skogsbränsle främst sker under vinterhalvåret behöver man lagra förhållandevis stora volymer. Lagring kan ske på olika terminaltyper eller på plats hos förbrukarna. Lagringsperioden innebär nästa alltid olika risker och det genomförs ett aktivt arbete för att minska eller eliminera dessa risker (Figur 39).

Värmeutvecklingen i flisstackarna kan ha en viss positiv effekt då det bidrar till att förångas vatten ur materialet och på så sätt minska bränslets fukthalt. Samtidigt är biomassan hygroskopisk och återfuktas lätt av snö och regn, vilket ger negativa effekter på det effektiva värmevärdet. Genom att täcka flisstackarna med dukar som släpper ut den fukt som förångas ur flisstackarna men samtidigt inte släpper igenom nederbörd kan bränslets kvalitet förbättras vid lagring.



Figur 39. Flisstack som till hälften är täckt med TopTex i ett lagringsförsök som genomfördes i Norrsundet. Foto: Lars Eliasson.

Vid lagring bryts biomassa ner till följd av dels olika mikroorganismer (mikrober, mikrosvampar och bakterier) samt kemiska oxidationsprocesser (Figur 40). Detta leder i sin tur till såväl torrsubstansförluster som självuppvärmning av biomassan. Sammantaget leder detta till förluster av torrsubstans, vilket även innebär en energiförlust. Därtill sker en självuppvärmning av biomassan (påskyndas även av fysikaliska och exoterma utjämningsprocesser), vilket leder till en överhängande risk för självantändning av den lagrade biomassan.

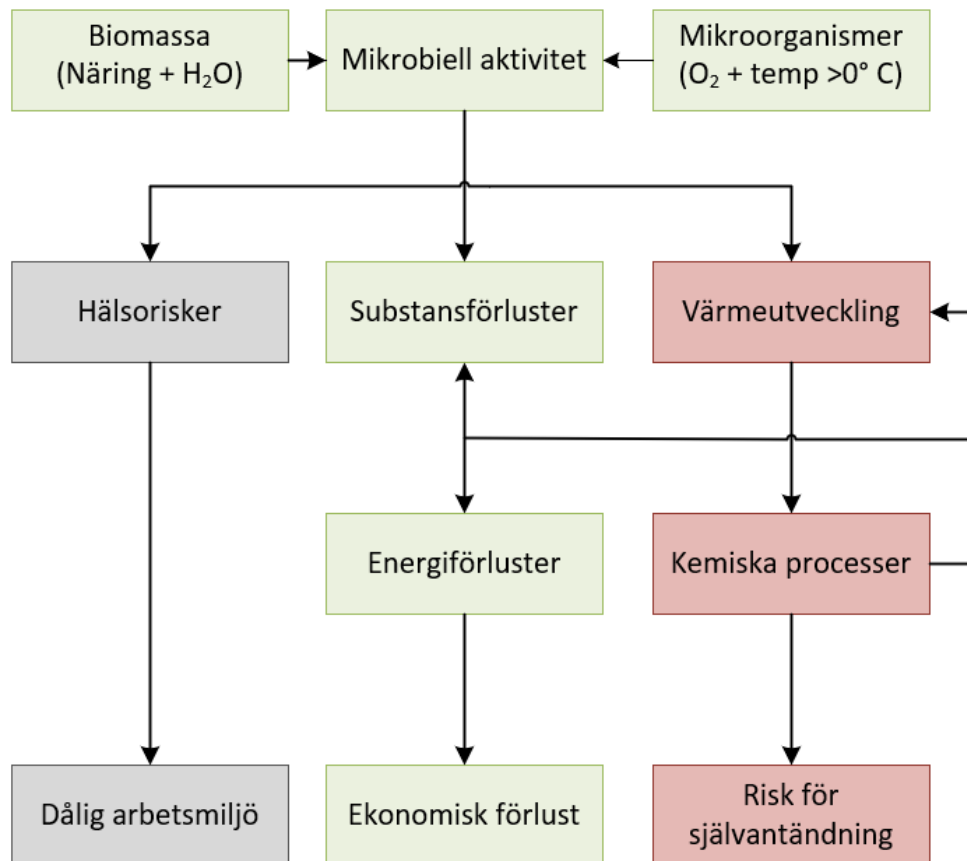
Utöver substans-, energiförluster och ökad risk för självantändning kan mikroberna i sig leda till arbetsmiljörelaterade problem till följd ökad hälsorisk då lagrad biomassa kan innehålla höga koncentrationer av mögelsporer, vilket i sin tur kan leda till såväl allergiska reaktioner som kroniska sjukdomstillstånd. Initialt är det främst den mikrobiella aktiviteten som är problematisk (Figur 25) i och med att erhållen värmeutveckling under mikrobiell aktivitet i sig påskyndar alla andra exoterma reaktioner och leder till sporbildning inuti en bränslestack, men vid högre temperatur är de främst de kemiska processerna som kan leda till att biomassan självantänder.

Mikroorganismerna har förhållandevis låga krav gällande substrat. Det som krävs är:

- Tillgång till nedbrytbart substrat (exempelvis flis eller annan biomassa)
- Tillgång till kväve i substratet
- Tillgängligt vatten på ytan av materialet i cellerna, eller tillräckligt hög luftfuktighet

- En för mikroorganismerna lämplig temperatur (0 – 70 °C)
- Ett för mikroorganismerna lämpligt pH-värde (3 – 6)

Sammanlagt kan lagring resultera i stora förluster i både torrsubbstans och energi och det är därför viktigt att försöka minimera den biologiska aktiviteten under lagring av biomassa.



Figur 40. Schematiskt exempel på hur mikrobiell aktivitet i en stack med skogsflis kan medföra negativa effekter.

Temperaturutveckling beroende av fraktionsfördelning

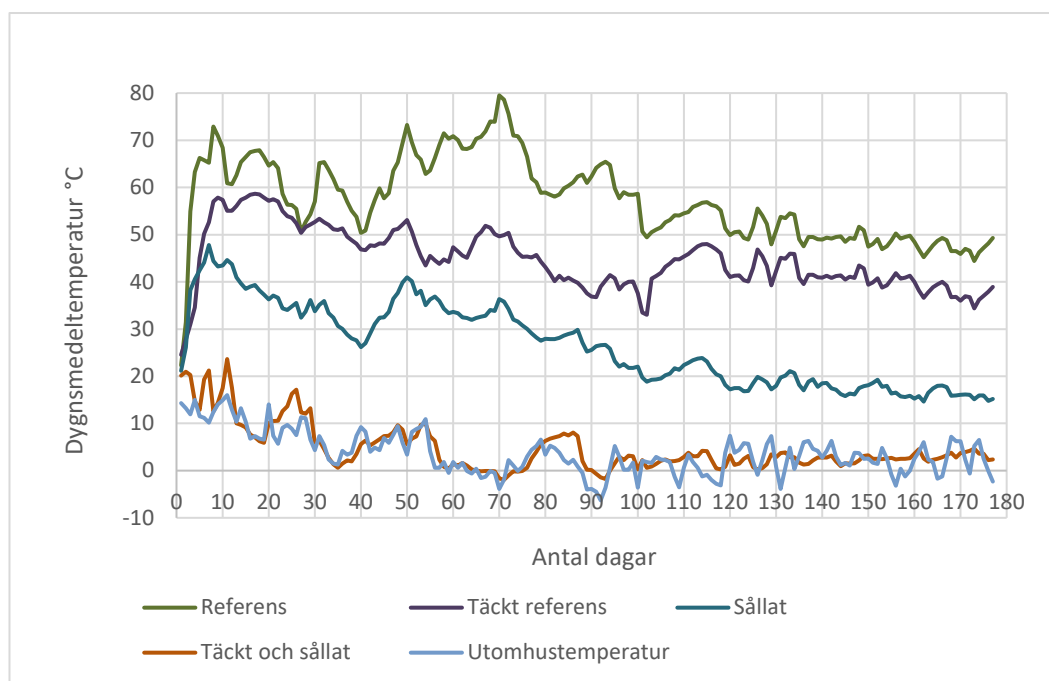
Vid lagring av skogsflis eftersträvas ett så homogent bränsle som möjligt både sett till fukthalt och fraktionsstorlek i och med att skillnader i fukthalt oavkortat leder till exoterma utjämnings effekter samtidigt som skillnader i fraktionsstorleksfördelning leder till skillnader i permeabilitet. Sammanlagt leder skillnader i såväl biomassans sammansättning som skillnader i fukthalt och permeabilitet till en högre aktivitet och kan leda till en hög värmeutveckling.

Ju grövre fraktioner som lagras desto snabbare avtar värmeutvecklingen i och med att förhållandet mellan biomassans area och volym minskar, dvs totala ytan för ett mikrobiellt angrepp minskar, samtidigt som permeabiliteten är högre. En lägre aktivitet och därmed lägre substansförluster har kunnat påvisas i ett flertal studier

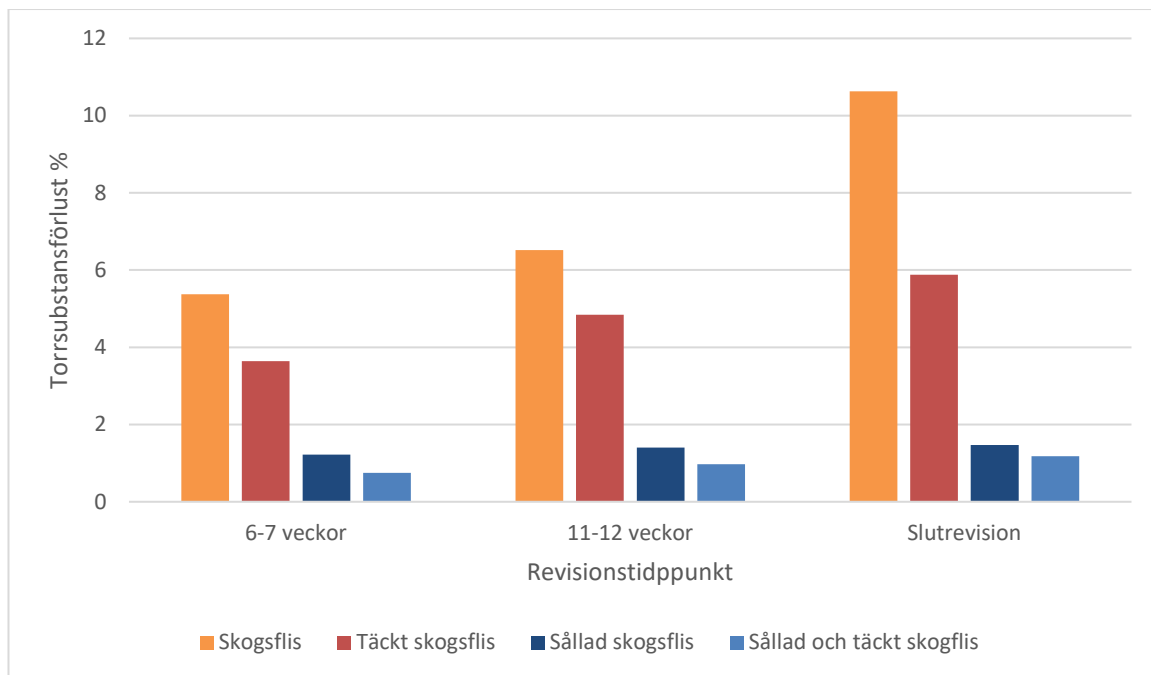
(Anerud 2020), vilket leder till lägre aktivitet. Skillnader i värmeutveckling och hur lång tid värmen består i den lagrade biomassan (Figur 41 och 42) reflekterar dock inte enbart temperatur utan speglar även energiomvandlingen och energiavgång under lagring. Det är därför högst angeläget att begränsa lagringstiden.

Sållning av sönderdelat skogsbränsle

Ett effektivt, men ganska ovanligt, sätt att minska förlusterna är att sålla bort finfraktion från bränslet. Det resulterar i att värmeutvecklingen och substansförlusterna i stort sett helt uteblir. Samtidigt bör man notera att ca 25 % (Eliasson 2021) av det ursprungliga materialet sållas bort som finfraktion och att även det innebär en ekonomisk förlust i de fall man inte har avsättning för den bortsållade fraktionen.



Figur 41 visar sållningens effekt på temperaturutvecklingen under lagring. Det täckta och sållade material i stort sett följer utomhustemperaturen medan övriga material har tydlig värmeutveckling. Referensmaterialet som varken var täckt eller sållat hade den mest påtagliga värmeutvecklingen. Källa: SLU och Skogforsk

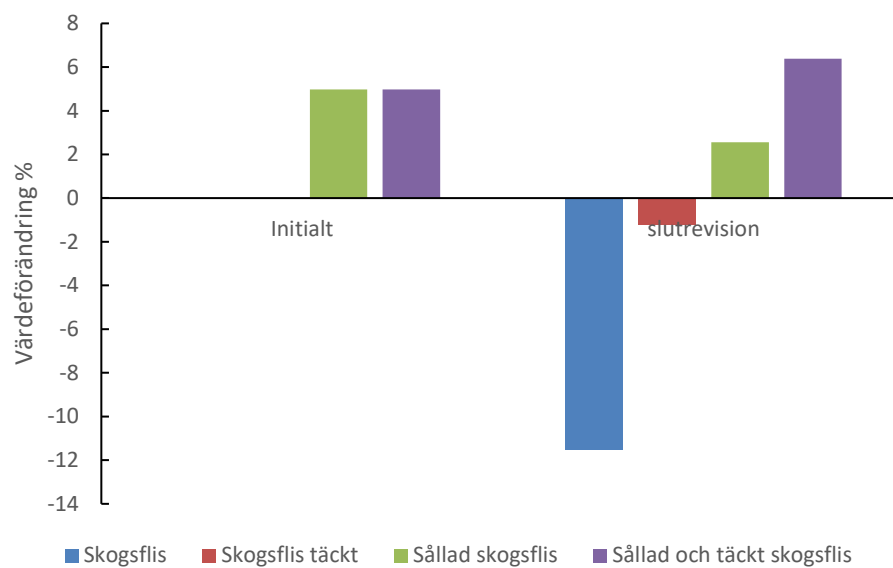


Figur 42. Diagrammet visar den ackumulerade torrsubstansförlusten vid olika hantering av skogsflis. Skogsflis där finfraktionen sållats bort har betydligt lägre substansförluster jämför med helt obehandlad flis.

Tidigare lagringsförsök (Anerud 2022) visar att den sållade flisen hade ca 11 % lägre substansförlust (Figur 42) än den ej sållade flisen samt att förlusterna tycks avta efter 6 veckor för sållat material. I det ej sållade materialet fortsatte substansförlusterna ända till den sista mätningen vid försökets slut.

Ur ett ekonomiskt perspektiv bör man notera att:

- Ca 25 % av materialet sållas bort som finfraktion. Det kan fortfarande användas som bränsle men har dåliga lagringsegenskaper, om man lagrar den riskerar man stora lagringsförluster och en kraftig värmeutveckling. I värsta fall kan lagrad finfraktion självantända.
- Värdet på den resterande volymen (acceptflisen) ökar (Figur 43) med ca 5 % då en stor del av bränslets fukthalt ofta finns i de fina fraktionerna. De något grövre (resterande) fraktionerna är torrare och har därför ett högre energivärde.



Figur 43. Diagrammet visar värdeförändring på den flis som lagrades i försöket.

Det sållade material som beskrivs i Figur 43 hade redan vid försökets start ett högre energiinnehåll per ton TS jämfört med det ej sållade. För den flis som varken sållades eller täcktes sjönk energiinnehållet med ca 11 %.

Skogsbränsle och leverantörerna – sett ur kundernas perspektiv

Storlekar, konstruktioner och kapacitet hos olika förbränningsanläggningar skiljer sig markant från varandra och de är alla konstruerade för olika syften. Om man exempelvis jämför det största kraftvärmeverket (Värtaverket i Stockholm) så har det helt andra förutsättningar jämfört med mindre värmeverk i mindre orter, eller hetvattenpannor inom industrin. Förutom skillnader i effekt så finns det skillnader i typ av pannor, lagringskapacitet för bränsle, kvalitetskrav på bränsle och så vidare. Skillnaderna är stora och man kan säga att varje anläggning är unik och har sina egna specifika krav. Anläggningarna designas utifrån vad de ska producera och vilket bränsle som anses finnas tillgängligt, till en rimlig kostnad, under pannans beräknade livslängd. Anläggningarna har olika krav och toleranser på olika kvalitetsparametrar och kraven kan variera mellan olika perioder. Kallt/milt väder eller högt/lågt elpris är några faktorer som påverkar vilket bränsle eller bränslmix som är mest optimalt för stunden. Det är därför svårt (omöjligt) att presentera ”sanningar eller facit” som förklarar hela bilden. Vill man veta mer så måste man studera de enskilda anläggningarna och bränslebehov i detalj.

Vad som är räknas vara ett acceptabelt bränsle och vilka avvikelser som tolereras regleras ofta i avtalen mellan leverantör och anläggning. Det finns dock en del gemensamma faktorer och kvalitetsparametrar i de flesta avtal man som bränsleleverantör måste förstå och ta hänsyn till såsom:

- Leveranssäkerhet
- Askhalt
- Fukthalt
- Fraktionsfördelning

Leveranssäkerhet

Under eldningssäsongen är en säker tillgång på bränsle mycket viktigt. Möjligheten till egna interna lager skiljer mellan olika anläggningars utformning och tillgängliga lagerytor. Som jämförelse kan man beakta några av de stora anläggningarna som i vissa fall kan lagra bränsle internt för flera månader medan andra, ofta mindre, anläggningar behöver inkörning varje dygn. Vissa av de mindre anläggningarna har endast tippfickan som internlager vilket innebär att det behövs en leverans i dygnet, varken mer eller mindre. Detta gör att leverantörernas tillgång till leveransklara volymer och en säkrad transportkapacitet värderas högt. I avtalen brukar leveransavvikelser straffas förhållandevis hårt ekonomiskt med olika former av viten. Under känsliga delar av perioden är det också extra viktigt att levererat bränsle håller rätt kvalitet.

Bränslets askhalt

Aska från skogsbränsle består till stor del av kalcium, kisel och kalium. Askans innehåll av kalium är det främsta problemet vid förbränning av skogsbränslen. Ju högre askhalt i bränslet desto mer kalium innehåller bränslet. Kalium kan orsaka slaggnings och sintring (sammansmältning) av aska i pannans bränslebädd, eller beläggningar på värmeöverförande ytor och efterföljande korrosion.

Askhalten i olika slags skogsbränslen beror på bland annat på träslag men även på vilka delar av trädet som ingår i bränslet. Askhalten i grotflis kan vara svår att skatta i förväg då det kan variera beroende på kvoterna mellan stamved – grenar – och barr. Färsk ej avbarrad (grön) grotflis har ofta högre askhalt än avbarrad (brun) grotflis.

Tabell 11. Förväntade askhalter i olika delar av skogsbränsle.

	Askhalt (avseende torrt bränsle)
Stamved	Ca 0,3 – 0,7%
Bark	Ca 2 – 7%
Grenar (inkl. bark)	Ca 1,5 – 3%
Barr	Ca 3 – 6%

Bränslets fukthalt och förbränningens fyra faser

För att lättare förstå fukthaltens betydelse behöver man också förstå hur förbränningen av biomassa går till. Denna sker i fyra olika faser som tar olika lång tid beroende av vilka egenskaper bränslet har:

- Torkning. Detta kräver en temperatur på ca 100 °C. Överflödigt fukt ska torkas bort ur bränslet innan nästa fas kan inledas. Torkningsfasen avgörs av bränslets storlek och fukthalt.
- Pyrolys. Temperaturen stegras till ca 400 °C och elden ger en rödaktig låga. Det gul-röda som syns i lågorna är glödande sotpartiklar.
- Förbränning av flyktiga gaser. Temperatur kring ca 800 – 900 °C.
- Förbränning av fast kol. Temperatur kring 800 °C. Glöd och enstaka blå lågor kan ses.

Temperaturerna kan ökas och förbränningen kan styras genom extra tillförsel av syre eller återföring av rökgaser.

Fukthalt och fraktion blir tydligt om man gör jämförelse med att själv tända en brasa. Finns det torrt bränsle, ex ”spänt-ved”, torrt granris eller björknäver är det ganska enkelt.

Bränslets fraktioner eller fraktionsfördelning

Grotsflisens enskilda flisor, eller partiklar, varierar ofta mellan 0 – 100 millimeter i storlek. De små partiklarna har således en lägre vikt och förbränns snabbare än de större partiklarna. Allt för små partiklar, det som vanligen kallas finfraktion, är så pass lätta att de kan åka med rökgaserna upp i pannan. I värsta fall sker då förbränningen på fel plats. Allt för stora partiklar kan också ha en negativ inverkan på förbränningen beroende på vilken typ av panna som används. Stora partiklar, ex långa stickor eller käppar som kommer med i bränslet kan också orsaka allvarliga störningar i inmatningsutrustningen. Vilka toleranser som gäller för fin- respektive överstora fraktioner varierar mellan olika anläggningars konstruktion samt om de har eller inte har någon egen form av bränsleberedning exempelvis ett bränslesåll eller kross för överstort material (Figur 30). En egen bränsleberedning ger anläggningen en större flexibilitet i vilka bränslefraktioner som kan tas emot på anläggningen.



Figur 44. Bilden visar delar av bränslehanteringen på Jämtkrafts anläggning i Östersund. Vid pil 1 lastar en hjullastare returträ i en förkross. Materialet passerar därefter en magnetisk metallavskiljare (pil 2) och vidare in i en slutkross (pil 3). Efter slutkrossning passerar ännu en magnetisk metallavskiljare (pil 4) och det färdigbearbetade bränslet går vidare in mot pannan (pil 5). Foto: Jämtkraft.

3 T och 3 S

För att klara olika utsläppskrav och ekonomi på ett tillfredställande sätt behöver man kunna styra förbränningen med precision. I detta pratar man ofta i termer av ”3 T” och ”3 S”.

Tid, Temperatur och Turbulens (luftflöde och -rörelser i förbränningszonen) är avgörande för pannans verkningsgrad då det är de parametrarna som styr förbränningshastigheten för de enskilda partiklarna. Oförbränt material ska inte passera vidare efter förbränningszonen men inte heller uppehålla sig för länge innan det

brunnit ur. En effektiv förbränning i kombination med rätt temperatur och syremängd är också viktigt för att nå miljökraven på rökgaserna.

Stabilitet, Säkerhet och Styrbarhet är också viktigt. Det stabila innebär att pannan brinner utan oönskade överraskningar och håller en jämn temperatur. Säkerhet och styrbarhet kopplas ofta med att man håller förbränningen i den eller de förbränningszoner man önskar och inte riskerar ”bak-bränder” då elden brinner uppström i bränsleinmatningen eller för långt upp i rökkanalerna.

För såväl de 3 T:na och de 3 S:en har bränslet fukthalt och fraktionsfördelning en stor inverkan. De flesta moderna pannor har en verkningsgrad på strax över 90 % vid optimal bränslemix.

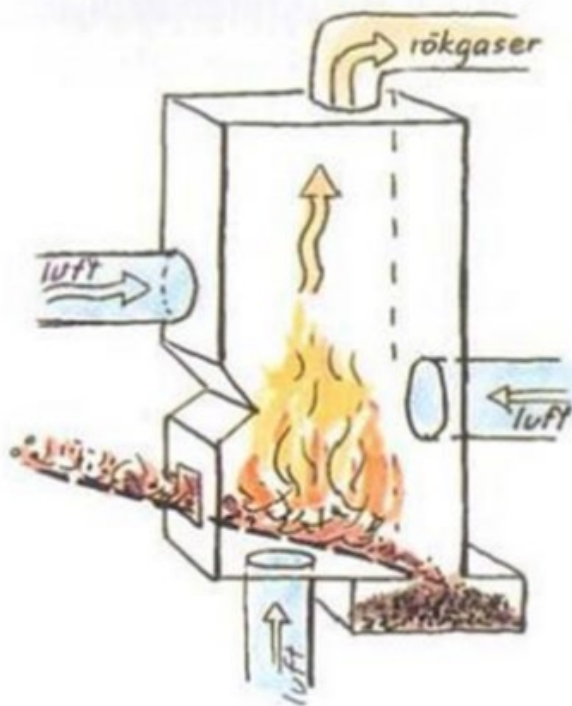
Övergripande om olika pann typer och konstruktion

Det finns två dominerande tekniker för förbränning i stora anläggningar. De två är s.k. roster-teknik och fluid-teknik. Fluid-tekniken är i sin tur indelad i två varianter – bubblande eller – cirkulerande och bubblande. Dessa beskrivs övergripande i följande avsnitt. I texten görs inga försök att beskriva teknikerna eller konstruktionerna i detalj då det är mer en regel än ett undantag att pannorna är specialanpassade för den specifika funktion som de har. Val av pann typ och teknik vid installation styrs av många parametrar, exempelvis kapacitetsbehov, ekonomi och bedömd tillgång och prisbild för framtida bränslen.

Rosterpanna

Rosterpannor är de vanligaste pannorna i Sverige och också den äldsta tekniken. Rostret kan antingen vara fast eller rörligt och fungerar som en "rutschkana" där bränslet glider neråt genom eldstaden. I slutet av rostret samlas aska upp för att sedan matas ut. Förbränningen styrs ofta genom att kontrollera bränslemängd och lufttillförsel. Den primära förbränningsluften leds in underifrån genom hål eller spalter i rostret. Sekundär- och ibland ter tiärluft leds in från sidorna.

- Pannorna klarar generellt fukthalter mellan 35 – 50 %
- Fungerar bäst med jämnstora fraktioner
- Bränslets rasvinkel är viktig



Figur 45. Illustration av en rosterpanna.
(Wigren, Jirjis & Jonsson 1993)

Men tekniken har även vissa svagheter:

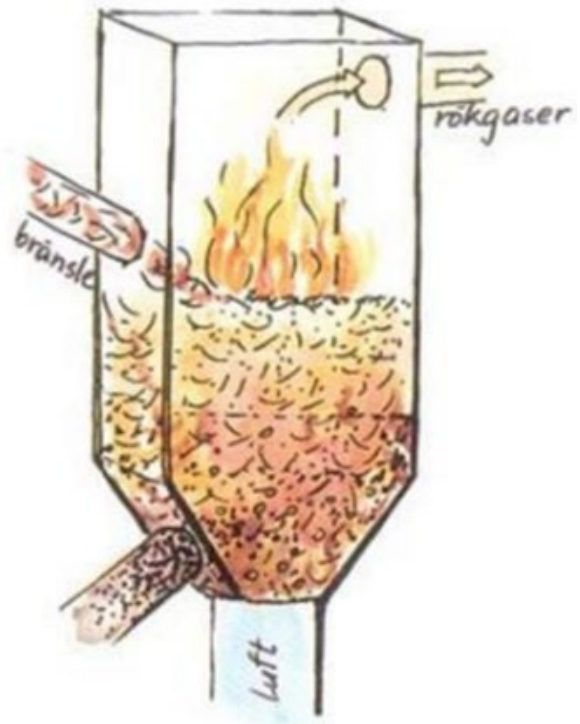
- Allt för små bränslefraktioner riskerar att åka med luftströmmen uppåt och förbrännas på fel plats i förbränningskammaren eller åka vidare ut i rökgaskanalerna.
- Allt för stora fraktioner, eller fuktigt bränsle hinner inte med att förbrännas under den tid de åker med i bränslebädden utan leder till att oförbränt material hamnar i askhanteringen.
- Föroreningar som leder till att aska kan sintra (smälta samman till klumpar) kan leda till att lufthål eller spalter på rostret täpps igen. Pannor med

fast roster är mer känsliga än de som har rörligt roster. Sämre luftströmmar leder till att pannans effekt och verkningsgrad försämras.

Bubblande fluidiserande bädd (BFB)

En anläggning med BFB-panna (Bubblande Fluidiserad Bädd) och bränsleberedning kan hantera visst överstort material, men anläggningen är känslig för mer överstort material än vad den är designad för. Om anläggningen får mer överstort material än vad bränsleberedningen klarar att sönderdela riskerar överstort material att komma in i pannan och orsaka förbränningsproblem, t.ex. sämre verkningsgrad och problem att klara utsläppsgränser.

En panna med fluidiserad bädd bygger på att det fasta bränslet inte ligger på en rost i botten på pannan utan bränslebädden består av ett lager med sand blandat med bränsle. I pannans botten finns dysor som blåser in primärluft så att bädden fluidiserar, vilket innebär att den beter sig som en vätska och får en god omblandning av bränsle och luft. Den varma sanden bidrar till att hålla en jämn temperatur i pannan.



Figur 46. Illustration av panna med bubblande fluidiserande bädd. (Wigren, Jirjis & Jonsson 1993)

Cirkulerande fluidiserande bädd (CFB)

CFB-panna (Cirkulerande Fluidiserad Bädd) är en variant på fluidiserad bädd där bränslepartiklar som följer med upp till toppen av förbränningsrummet i pannan avskiljs i en cyklonseparator och återförs in i botten på pannan. Denna typ av panna är vanlig i moderna kraftvärmeverk som använder olika former av biobränslen. CFB-pannan brukar vara designad för något mindre bränslefraktioner än en BFB-panna. Anläggningar med CFB-pannor är på samma sätt som BFB-pannor känsliga för om det kommer in alltför mycket överstort material.

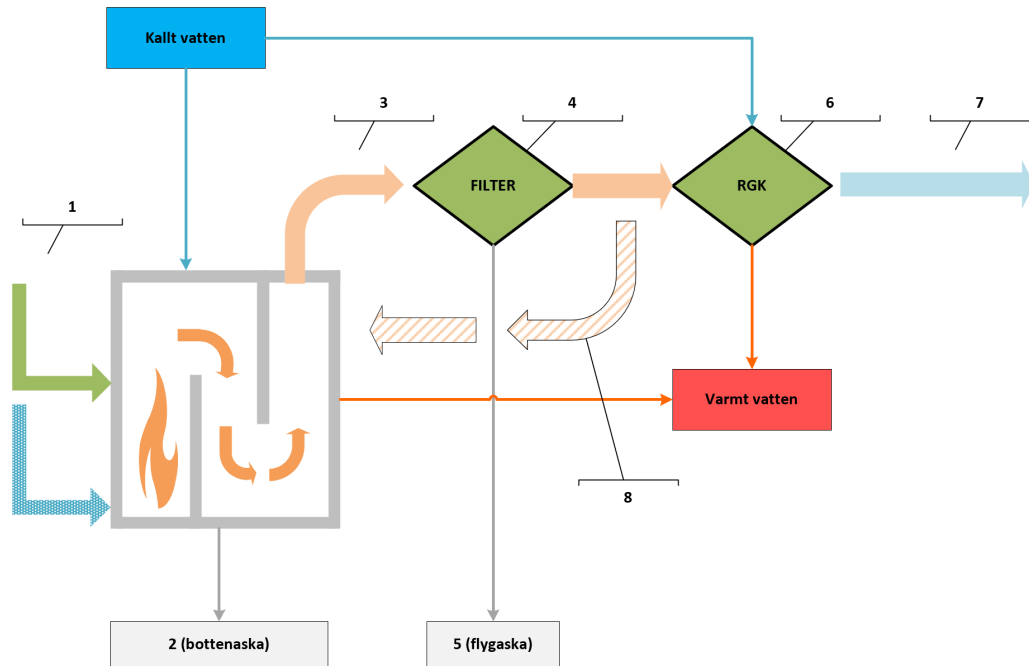


Figur 47. Illustration av panna med cirkulerande bubblande fluidiserande bädd. (Wigren, Jirjis & Jonsson 1993)

Rökgasrening och rökgaskondensering

Vid förbränning skapas rökgaser som innehåller stoft och olika partiklar som kan vara skadliga för människor och miljö. Rökgaserna ska därför renas för att undvika skadliga utsläpp. Reningen kan ske i flera olika steg. Övergripande kan detta beskrivas med två olika metoder, torr eller blöt rökgasrening. Den torra metoden (Figur 47) sker ofta med filter som fångar stoftet i de varma rökgaserna. Därefter kan det finnas ett antal "blöta" reningssteg där rökgaserna går igenom ett eller flera kemiska bad för att fånga eventuella tungmetaller. Som ett sista steg brukar man använda en rökgaskondensator för att utvinna den sista energin ur rökgaserna.

Både små och stora förbränningsanläggningar kan ha rökgaskondensering. Om det är lönsamt att installera rökgaskondensor bestäms till stor del av hur fuktigt bränslet är som ska eldas. Rökgaskondensering innebär att rökgasen ut från pannan kyls till vattenångans daggpunkt (typiskt kring 60 °C, men varierar beroende på tryck och gassammansättning). Vid kondensationen frigörs värme som därefter kan omvandlas som fjärrvärme. Hög fukthalt på bränslet är viktigt för värmeutvinning genom rökgaskondensering. Upp till 60 % fukthalt kan vara acceptabelt.



Figur 48. En principskiss på rökgasrening och rökgaskondensering. De olika siffrorna förklaras nedan.

1. Bränsle och luft tillförs i förbränningen som värmer upp vatten.
2. Den aska som bildas (bottenaska) matas ut i pannans nedre del och samlas upp. Askan kan ofta innehålla slaggrester och sand och är därför inte alltid lämpad för återföring till skogsmark.
3. Det mesta av rökgasernas energi tillvaratas i pannan och rökgaserna går vidare till ett stofffilter.
4. Filtret fångar stoft innan rökgaserna går vidare.
5. Den flygaska som fångats i filtret separeras och matas ut till separata behållare. Flygaska är den aska man främst använder vid askåterföring.
6. Rökgaserna som fortfarande är relativt varma kondenseras och den återstående energin används för att värma vatten.
7. Rökgaserna är nu nerkylda och rena och går vidare ut i atmosfären. Den vita rök som ibland kan ses ur skorstenarna består av vattenånga.
8. Ibland väljer man att återföra de varma rökgaserna till pannan för att reglera förbränning och temperatur.

Referenser

- Anerud, E. Larsson, G. Eliasson, L. (2020). *Storage of Wood Chips: Effect of Chip Size on Storage Properties*, Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering 41(2) (2020) p. 1–11.
- Anerud, E. Bergström, D., Routa, J., & Eliasson, L. (2022). *Sieving and covering of wood chips improves storability*. Energies, 15(8), 2953.
- Biometria (2022). *Bestämning av torrhalt och energiinnehåll*.
- Björheden, R., Grönlund, Ö. & Lundström, H. (2013). *Är det lönsamt att täcka groten? Effekten av täckpappens bredd på skogsbränslets kvalitet*. Skogforsk, Arbetsrapport Nr. 799,
- Brunberg, T. (2014) *Skogsbränslets metoder, sortiment och kostnader 2013*.
<https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2014/Skogsbranslets-metoder-sortiment-och-kostnader-2013/>
[Hämtad 2023-03-28]
- Drott, A., Andersson, S. and Eriksson H. (2019). *Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder*,
<https://www.skogstyrelsen.se/globalassets/om-oss/publikationer/2019/rapport-2019-13-regler-och-rekommendationer-for-skogsbransleuttag-och-kompensationsatgarder---kunskapsunderlag.pdf> [Hämtad: 2020-10-06].
- Energimyndigheten (2022). *Energiläget i siffror 2022*
[energilaget-i-siffror-2022.xlsx \(live.com\)](https://www.energi.se/energilaget-i-siffror-2022)
[Hämtad 2023-03-28]
- Energimyndigheten Statistikdatabas (2023).
[Produktion av sönderdelade oförädlade skogsbränslen fördelade på sortiment och råvarans ursprung, GWh, 2013-. PxWeb \(energimyndigheten.se\)](https://www.energi.se/statistikdatabas/produktion-av-sonderdelade-oforadlade-skogsbranslen-fordelade-pa-sortiment-och-ravarans-ursprung)
[Hämtad 2023-03-28]
- Egnell, G. and Leijon, B. (1999). Survival and Growth of Planted Seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* After Different Levels of Biomass Removal in Clear-felling. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1999. 14(4): p. 303-311.
- Egnell, G. and E. Valinger E. (2003). Survival, growth, and growth allocation of planted Scots pine trees after different levels of biomass removal in clear-felling. *Forest Ecology and Management*, 2003. 177(1 - 3): p. 65 - 74.
- Eliasson, L., et al. (2011). *Prestation och bränsleförbrukning för tre flishuggar*,
[https://www.skogforsk.se/cd_20190114161517/contentassets-66782a41c3994638a710078a6f1d91c9/arbetsrapport-749-2011.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_20190114161517/contentassets/66782a41c3994638a710078a6f1d91c9/arbetsrapport-749-2011.pdf)
[Hämtad: 2020-10-06].

- Eliasson, L. Johannesson, T. (2014). *Effekten av olika bottensåll på prestation, bränsleförbrukning och flisens fraktionsfördelning för flishuggarna Kesla 645 och Eschlöck Biber 92*. Skogforsk arbetsrapport 822–2014.
https://www.skogforsk.se/cd_20190114162255/contentasets/465fea0223004c029b5aef8c89290904/arbetsrapport-822-2014.pdf
[Hämtad 2023-03-28]
- Eliasson, L. & Nilsson, B. (2015). *Skotning av grot direkt efter avverkning eller efter hyggeslagring*. Skogforsk arbetsrapport 878 - 2015.
- Eliasson, L. (2021). *Kostnader för grothantering 2020*.
<https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2021/kostnader-for-grot-hantering-2020/>
[Hämtad 2023-03-28]
- Eliasson, L. Eriksson, A. Hofstan von, H. Anerud, E. (2021). *Sållning av grotflis*.
<https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2021/sallning-av-grotflis/>
[Hämtad 2023-03-28]
- Eriksson, A. Johannesson, T. Eliasson, L. (2023). *Manus: Systemanalys av flisning och transport av grot*.
- Fernandez Lacruz, R. (2023). *Manus: Vad kostar det att ta ut mer grot?*
- Fridh, L. (2012). *Utvärdering av portabla fukthaltsmätare*,
https://www.skogforsk.se/cd_20190114161742/contentasets/8f7a6eaa9dae47b7a9f44fed8379772c/utvardering-av-portabla-fukthaltsmatare.pdf
[Hämtad 2023-03-27]
- Hofsten von, H. (2018). *GROT-skotningens kostnader i nästa led*. Skogforsk arbetsrapport 993 - 2018.
- Jakobsson, S. m.fl. (2016). *Tillväxteffekter av asktillförsel på skogsmark med varierande bördighet*. Energiforsk Rapport 2016:328
<https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/22062/tillvaxteffekter-av-asktillforsel-pa-skogsmark-energiforskrapport-2016-328.pdf>
[Hämtad 2023-03-28]
- Johannesson, T. Njurell, R. (2014). *Grövre bränsle en omöjlig uppgift?* Skogforsk arbetsrapport 847–2014.
https://www.skogforsk.se/cd_20190114162317/contentasets/c3625c6d048c4ef39e9701ba948990d6/grovre-bransle-en-omojlig-uppgift.pdf
[Hämtad 2023-03-28]
- Lehtikangas (1999). *Lagringshandbok för trädbränslen*. Uppsala: SLU, Institutionen för virkeslära.
- Skogsstyrelsen (2015) *Skogliga konsekvensanalyser (SKA-I5)*.
<https://www.skogsstyrelsen.se/mer-om-skog/skogliga-konsekvensanalyser/skogliga-konsekvensanalyser-2015/>

Svensk Standard (2015) *Fasta biobränslen – Bestämning av fukthalt – Torkning i ugn – Del 1: Total fukthalt – Referensmetod* (SS-EN ISO 18134–1:2015)

Svensk Standard (2017) *Fasta biobränslen – Bestämning av fukthalt – Torkning i ugn – Del 2: Total fukthalt – Förenklad metod* (SS-EN ISO 18134–2:2017)