

# Marginalkostnader för skörd av grot och stubbar från förnygringsavverkningar i Sverige



Foto: Magnus Matisons

Dimitris Athanassiadis  
Ylva Melin  
Anders Lundström  
Tomas Nordfjell

**Arbetsrapport 261 2009**



# Marginalkostnader för skörd av grot och stubbar från föryngringsavverkningar i Sverige

Dimitris Athanassiadis

Ylva Melin

Anders Lundström

Tomas Nordfjell

Arbetsrapport 261  
Skoglig resurshushållning

---

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för skoglig resurshushållning  
Utgivningsort: Umeå  
Utgivningsår: 2009

ISSN 1401-1204  
ISRN SLU-SRG-AR-261-SE

## **Förord**

Inom skogssektorn finns en lång tradition av att studera hållbarhet med hjälp av skogliga konsekvensanalyser (SKA) och virkesbalanser (VB). Skogliga konsekvensanalyser genomförs för att strategiskt studera konsekvenser av olika scenarier i avvägningen mellan produktion, miljö och andra intressen. På senare år har också skogens möjliga bidrag till energi- och klimatpolitik blivit allt mer aktuellt.

Skogsstyrelsen fick regeringens uppdrag att, efter samråd med berörda myndigheter, skogsnäring, energisektor och andra intressenter, analysera den nuvarande och förväntade framtida virkesbalansen i olika delar av landet. Analysen ska möjliggöra efterföljande djupare analyser av ekonomiska, ekologiska och sociala konsekvenser och värdering av olika scenariers hållbarhet inklusive sårbarhet. Vidare ska arbetet resultera i underlag för skogsbrukets strategiska övervägande och beslut om skötsel och nyttjande av skogsresurserna.

Uppdraget har utförts i form av projektet SKA-VB 08, Skogliga konsekvensanalyser och virkesbalanser 2008.

De skogliga konsekvensanalyserna, som avrapporteras i form av en rapport (SKS, rapport 25 2008), är genomförda i nära samarbete med SLU.

Föreliggande studie är en utvidgning av skogsbränsleanalyserna i SKA-VB 08 beträffande marginalkostnad för grot och stubbar från föryngringsavverkningar. Studien har i hög grad finansierats av Energimyndigheten. Experter från myndigheten har aktivt medverkat i framtagandet av underlag och analyser.

## **Innehållsförteckning**

<b>Förord</b> .....	<b>2</b>
<b>Innehållsförteckning</b> .....	<b>3</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>4</b>
<b>Inledning</b> .....	<b>5</b>
Generellt .....	5
Ekologiska och tekniska/ekonomiska restriktioner .....	5
<b>Material och metoder</b> .....	<b>7</b>
1. Allmänt .....	7
2. Stubblyftning .....	10
3. Skotning (grot & stubbar).....	10
4. Flisning (grot).....	10
5. Vägtransport (grotflis) .....	10
6. Vägtransport (stubbar).....	10
7. Krossning (stubbar) .....	10
8. Andra antaganden .....	11
<b>Resultat</b> .....	<b>12</b>
Marginalkostnadskurvor .....	12
Känslighetsanalys .....	16
<b>Diskussion och slutsatser</b> .....	<b>17</b>
Bioenergipotentialen i Sverige .....	17
Marginalkostnadskurvorna .....	17
Maskin- och transportsystem, samt hantering av grot och stubbar .....	18
Ersättning till markägare .....	18
Framtida utvecklingsmöjligheter för stubb- och grotskörd .....	19
<b>Litteratur/källförteckning</b> .....	<b>20</b>
<b>Bilaga 1. Sammanställning av maskinkostnader</b> .....	<b>22</b>
<b>Bilaga 2. Sammanställning av publicerade produktivetsstudier</b> .....	<b>23</b>
<b>Bilaga 3. Kontaktpersoner</b> .....	<b>25</b>

## Sammanfattning

Kostnaden för att ta ut grot och stubbar från föryngringsavverkningar i Sverige har uppskattats och redovisas i form av marginalkostnadskurvor. Beräkningarna baseras på den mängd grot och stubbar som faller ut till följd av föryngringsavverkningar som utförs i referensscenariot i SKA-VB 08 för perioden 2010 - 2019. De potentialer som använts är efter avdrag för ekologiska, tekniska och ekonomiska restriktioner, dvs. nivå 3 i SKA-VB 08. Kostnaderna för uttag av grot och stubbar har beräknats för de maskinsystem som är vanligast förekommande i Sverige och Finland idag. Ersättning till markägare, administrationsomkostnader och kostnader för skörd, sönderdelning, maskinflyttningar och transport av grot och stubbar är de kostnadsposter som ingår i beräkningarna.

Grot kan tas ut till en lägre kostnad än stubbar vilket leder till att marginalkostnadskurvan för grot startar på en lägre nivå än marginalkostnadskurvan för stubbar; 600 kr/ton TS för grot respektive 800 kr/ton TS för stubbar. Om kostnaden får öka från 770 till 920 kr/ton TS kan tillvaratagandet av grot öka från dagens ca 2 till 2,9 Mton TS, dvs. 90 % av den tillgängliga potentialen som är 3,2 Mton TS. Först vid en kostnad på 850 kr/ton TS trädbränsle uppgår andelen stubbar till 10 % av sortimentsfördelningen. Vid en kostnad på 1 100 kr/ton TS är sortimentsfördelningen så gott som lika för grot och stubbar. Om 2,5 Mton TS (60 %) av tillgänglig potential stubbar i nuläget ska bli aktuella för skörd blir uttagskostnaden upp till 1 000 kr/ton TS. Omräkningstalet 1 ton TS = 4,9 MWh har använts vid omvandling mellan massa och energi. Detta värde anger mängden energi som kan avges som värme vid förbränning av skogsbränsle med en fukthalt på 40 % när vattnets ångbildningsenergi inte utnyttjas. Om prestationen för de maskiner som ingår i stubbssystemet ökar med 15 % så kan man få ut samma mängd vid 920 kr/ton TS. Kostnadsfördelningen visar att transportkostnaderna är den viktigaste kostnadsposten, speciellt när det gäller små avverkningstrakter, belägna långt från tätort.

# Inledning

## *Generellt*

Allt större krav ställs på användning av förnyelsebara råvaror för att minska utsläppen av växthusgaser. EUs medlemsstater har som mål att minska utsläppen till år 2020 med 20 % jämfört med utsläppsnivån 1990, och även öka andelen förnyelsebar energi med 20 % under samma period (EU kommissionen, 2008). Konkurrensen om skogsråvaran har ökat under senare tid (Lundmark & Söderholm 2004) och det blir allt viktigare att råvaran från förnygringsavverkningar utnyttjas mer fullständigt. Vad gäller stubbråvara från slutavverkning uppskattar Skogsstyrelsen att 10 000 – 20 000 ha/år kommer att beröras av stubbskörd de närmaste åren, i jämförelse med nuvarande 1 500 ha/år (Skogsstyrelsen 2009a).

Föreliggande studie är ett komplement till SKA-VB 08 (Skogsstyrelsen 2008b) och baseras på potentialer från scenariot Referens som omfattar förnygringsavverkningar på ca 170 000 ha/år under perioden 2010-2019 (totalt 7,4 % av Sveriges skogsmarksareal). Scenariot Referens beskriver utvecklingen förutsatt nuvarande skogsskötsel, att delmål 1 under Miljökvalitetsmålet Levande skogar uppfylls till år 2010 och att en förändring av klimatet sker enligt Sweclim's B2-scenario (Rummukainen et al. 2004).

## *Ekologiska och tekniska/ekonomiska restriktioner*

I SKA-VB 08 beräknas de årliga potentialerna för skogsbränslen för tre olika nivåer med ekologiska och tekniska/ekonomiska restriktioner (Skogsstyrelsen 2008b). Nivå 1 innebär inga restriktioner alls, dvs. den teoretiskt maximala potentialen när alla toppar, grenar, barr och stubbar tas tillvara (dock inga uttag från ytor som faller inom Reservat eller på Hänsynsmark). Nivå 1 innebär ett uttag på totalt 28,7 miljoner ton torr substans (TS) per år eller 141 TWh per år fördelat på 19,1 miljoner ton TS från förnygringsavverkning och 9,6 miljoner ton TS från gallring (67 % av uttaget från slutavverkning och 33 % från gallring) (Tabell 1).

Nivå 2 innebär att uttag inte sker på ytor som ligger inom 25 m från annat ägoslag än produktiv skogsmark eller ytor som ligger i sumpskog, blöta marker eller fuktiga marker med låg bärighet. Vidare beräknas 20 % av groten, 20 % av barrstubbar, och alla lövträdsstubbar bli kvar på avverkningstrakten.

I nivå 3 har utöver de ekologiska restriktionerna i nivå 2 ytterligare mängd grot och stubbar beräknats bli kvar på avverkningstrakten. Av den totala mängden grot och barrstubbar kvarlämnas totalt 40 %, vilket för grot ungefär motsvarar dagens tillvaratagandegrad vid praktisk drift (Nurmi 2007). Ytor med ytstruktur klass 4 och 5 eller lutning klass 4 och 5 enligt terrängtypsschemat (Nilsson 1969) har uteslutits. På beståndsnivå har av ekonomiska skäl alla bestånd mindre än 1 hektar räknats bort. Med hänsyn till restriktionerna i nivå 3 blir det sammanlagda uttaget vid gallring och förnygringsavverkning 10,9 miljoner ton TS per år, 68 % av uttaget från slutavverkning och 32 % från gallring (Tabell 1).

**Tabell 1. Årlig mängd (Mton TS/år) grot och stubbar enligt SKA-VB 08 referensscenariot och olika nivåer med ekologiska/tekniska/ekonomiska restriktioner.**

Avverkningsform	Nivå 1		Nivå 2		Nivå 3	
	Grot	Stubbar	Grot	Stubbar	Grot	Stubbar
Föryngringsavverkning	7,4	11,7	5,1	6,9	3,2	4,2
Gallring	3,9	5,7	2,7	2,7	1,7	1,8
<b>Totalt</b>	<b>11,3</b>	<b>17,4</b>	<b>7,8</b>	<b>9,6</b>	<b>4,9</b>	<b>6</b>
<b>Totalt grot &amp; stubbar</b>						
<b>Mton TS/år</b>	<b>28,7</b>		<b>17,4</b>		<b>10,9</b>	
<b>TWh/år</b>	<b>141</b>		<b>85</b>		<b>53</b>	

I utformningen av de ekologiska restriktionerna för nivå 2 (som också nivå 3 berörs av) har det antagits att askåterföring sker där så är motiverat, men utgifterna för densamma ingår inte i marginalkostnadskurvorna. I Skogsstyrelsens rekommendationer (Skogsstyrelsen 2008a) anges att man bör kompensera med askåterföring där grot tas ut i betydande omfattning någon gång under omloppstiden, om inte barren lämnats kvar någorlunda jämt spridda. Man konstaterar dock att med dagens avverkningsystem är det sällan rekommendationerna för kvarlämnande av barr kan uppfyllas. Det finns i föreliggande studie inga restriktioner som innebär att specifikt barr skall lämnas kvar. De nivåer på 20 respektive 40 % kvarlämnade mängd grot och stubbar som angivits avser grot och stubbar generellt. Rekommendationerna för grot tillämpas i brist på bättre kunskapsunderlag även för stubbar, dock något kompletterade med stöd av en nyligen publicerad miljöanalys för skörd av stubbar (Skogsstyrelsen 2008c).

Syftet med denna studie är att utarbeta marginalkostnadskurvor där man kan utläsa tillgänglig mängd skogsbränsle i Sverige som kan skördas årligen till en viss anskaffningskostnad. Marginalkostnadskurvorna baserar sig på referensscenariot och nivå 3 av grot- och stubbpotentialer från föryngringsavverkningar enligt SKA-VB 08 (Tabell 1) och gäller för tidsperioden 2010-2019.



# Material och metoder

## 1. Allmänt

I denna studie har riksskogstaxeringens enskilda provvytor utnyttjats, där åtgärder utförts enligt prioriteringar i Hugin-systemet (Skogsstyrelsen 2008b). Sannolikhet för åtgärd, t ex slutavverkning eller gallring, baseras på analyser av Riksskogstaxeringens permanenta provvytor. De framtagna sambanden avspeglar det avverkningsbeteende som gällde under början av 2000-talet.

Vid beräkning av kostnader för grot har ett maskinsystem med skotning (grotskotare), sönderdelning vid avlägg (mobil flishugg) och vägtransport av flis in till tätort med containerbil förutsatts (Figur 1).



Figur 1. Produktionskedja för grot (modifierad från VTT & Skogforsk).

För stubbar har ett maskinsystem som består av stubblyftning (grävmaskin med stubbaggreat), skotning (grotskotare), transport av icke sönderdelat material in till tätort (grotbil) och sönderdelning med en stationär kross förutsatts (Figur 2).



Figur 2. Produktionskedja för stubbar (modifierad från VTT & Skogforsk).

Systemen är dominerande både i Sverige och i Finland (Engblom 2007, Kallio & Leinonen 2005). I tabell 2 redovisas kostnader och prestationer för de maskiner som ingår i analysen. Verktuget FLIS (v Hofsten et al. 2006) har använts för att beräkna maskinkostnaderna. I beräkningarna som görs för varje maskin inkluderas såväl kapital- och personalkostnader som driftkostnader (Bilaga 1).

**Tabell 2. Sammanställning av maskinkostnader, tidsåtgång och prestationer för grot- och stubbssystemen.**

	Stubblyftning	Skotning (grot & stubbar) 180/420 m	Flisning (grot)	Vägtransport (flis) 50/100 km	Vägtransport (stubbar) 50/100 km	Krossning (stubbar)
Kapitalkostnader (tkr/år)	225	375	677	326/326	563/563	1075
Personalkostnader (tkr/år)	966	970	956	869/869	873/873	692
Driftskostnader (tkr/år)	770	909	972	723/890	628/820	1118
Kostnad (kr/U- tim)	619	712	820	611/659	653/710	909
Kostnad (kr/G <sub>15</sub> - tim)	698	835	2117	-	-	2425
Lastning (min)	-	24	-	45/45	60/60	-
Lossning (min)	-	10	-	25/25	45/45	-
Last (råton) (50 % fuktighet)	-	8,2	-	35/35	22/22	-
Prestation (ton TS/U- tim)	-	-	-	5,6/3,4	3/1,9	-
Prestation (ton TS/G <sub>15</sub> - tim)	3,7	5,1/4	12,8	-	-	20,4
Kostnad (kr/ton TS)	186,5	163/208	166	108/191	218/364	119

Flyttkostnaderna (2 500 kr per flytt och maskin) slås ut på den mängd biomassa som skördas på respektive avverkningstrakt.

Prestationen och därmed kostnaden för skotning och vägtransport är beroende av avståndet till avlägg respektive industri. Följande funktioner har använts för att beräkna kostnaderna för skotning och vägtransport för olika transportavstånd:

$$S_k = 129,3 + (0,1879 \times A_s)$$

$$VG_k = 25,9 + (1,65 \times A_{vgs})$$

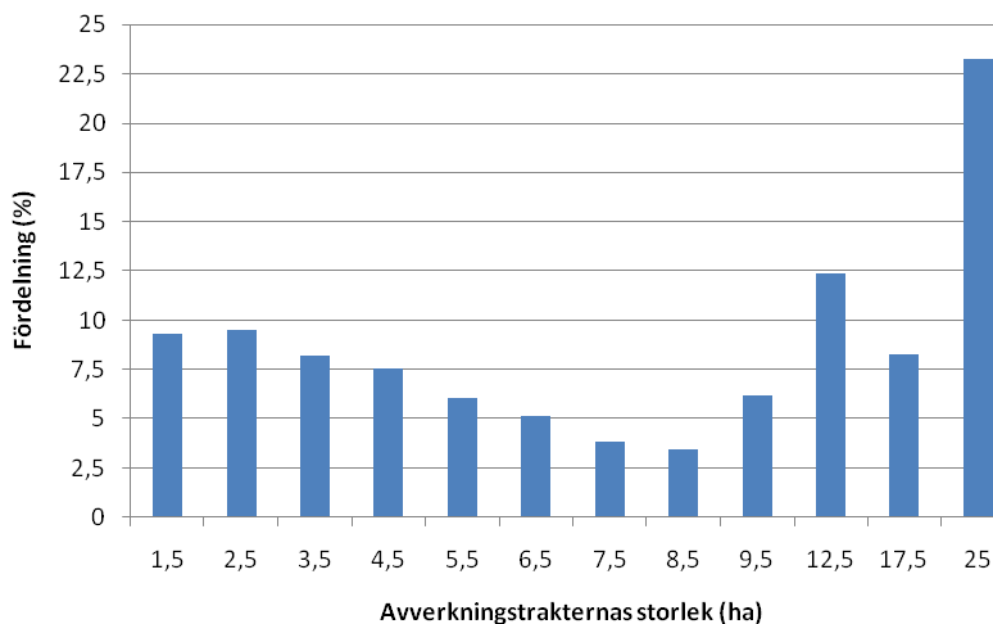
$$VS_k = 72,7 + (2,91 \times A_{vgs})$$

$S_k$  = kostnaden för skotning av både grot och stubbar (kr/ton TS),  $A_s$  = terrängtransportavstånd (m) enkel väg,  $VG_k$  = kostnaden för vägtransport av grot (kr/ton TS),  $A_{vgs}$  = avstånd från avlägg till tätort större än 10000 invånare (km),  $VS_k$  = kostnaden för vägtransport av stubbar (kr/ton TS).

Avstånd från riksskogstaxeringens ytor till tätort större än 10 000 invånare är framtagna genom en GIS-analys, medan avstånd från provytan till närmaste bilväg är bedömd vid Riksskogstaxeringens fältinventering. Båda avstånden avser fågelvägen och har därför multiplicerats med en slingerfaktor på 1,2 för terrängtransport och 1,4 för vägtransport (Berglund & Börjesson 2003) för att ta fram faktiskt transportavstånd.

I analysen har hyggesstorlek använts för att fånga flyttkostnaderna. Hyggesstorlek fångas inte upp vid riksskogstaxeringens fältinventering utan storleken har simulerats.

Avverkningsanmälningarnas fördelning på storleksklasser per beräkningsområde (län) har använts som underlag för denna simulering (Figur 3). Rent generellt är trakterna betydligt större i norra än i södra Sverige.



Figur 3. Fördelning av avverkningstrakternas storlek.

En överväldigande andel av avverkningstrakterna tillhörde lutnings- och ytstruktursklass 1 (Tabell 3). Trakter i klasser 4 och 5 ingick inte i föreliggande studie. Cirka 80 % av mängden stubbar och grot fanns inom ett avstånd mindre än 100 km från tätort större än 10 000 innevånare (Tabell 4). Cirka 50 % av mängden stubbar och grot fanns inom ett avstånd mindre än 180 m till bilväg (Tabell 5).

Tabell 3. Fördelning (%) av avverkningstrakterna i lutnings- och ytstruktursklasser.

	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5
Lutning	74	18	5	2	1
Ytstruktur	49	25	14	11	1

Tabell 4. Fördelning (%) av den totala mängden grot och stubbar på vägtransportavstånd till tätort med fler än 10 000 innevånare.

Avståndsklasser (km)	Grot	Stubbar
0-40	45,5	43,5
40-80	28	28,5
80-120	11,6	12,1
120-160	8,4	9,1
160-200	2,8	3,1
>200	3,3	3,4

**Tabell 5. Fördelning (%) av den totala mängden grot och stubbar på terrängtransportavstånd.**

<b>Avståndsklasser (m)</b>	<b>Grot</b>	<b>Stubbar</b>
0-90	26,8	25,8
90-180	22,7	23,2
180-300	16,4	16,3
300-420	34,1	34,6

## **2. Stubblyftning**

En ca 23 tons grävmaskin med stubbaggregat förutsattes. Stubbskördarens prestation har antagits vara 3,7 ton TS/G<sub>15</sub>- tim vilket motsvarar 5 ton TS/G<sub>0</sub>- tim (ca 12 m<sup>3</sup>f biomassa/G<sub>0</sub>-tim) (Tabell 2).

## **3. Skotning (grot & stubbar)**

Vid skotning av grot och stubbar förutsattes att avverkningen är grot-anpassad<sup>1</sup> och att ingen extra kostnad behöver läggas till. En grotskotare (18 ton) utrustad med ett utökat lastutrymme förutsattes. Kostnaden för skotning ges av en linjär funktion som ger en kostnad på 163 och 208 kr/ton TS för terrängtransportavstånd på 180 respektive 420 meter (Tabell 2).

## **4. Flisning (grot)**

I studien antogs att groten flisas med en mobil flishugg direkt när den transporterats ut till avlägget, vilket innebär att kostnader för välttäckning<sup>2</sup> utgår. Produktiviteten för flishuggen antas vara 12,8 ton TS/G<sub>15</sub>- tim (75 m<sup>3</sup>s/G<sub>15</sub>- tim) och kostnaden 166 kr/ton TS (Tabell 2).

## **5. Vägtransport (grotflis)**

För grotflis förutsattes lastning i containrar och transport in till tätort med mer än 10 000 innevånare med en containerlastbil (~105 m<sup>3</sup>s). En linjär funktion har använts som innebär en kostnad på 150 kr/ton TS vid ett transportavstånd på 75 km och 190 kr/ton TS vid ett transportavstånd på 100 km (Tabell 2).

## **6. Vägtransport (stubbar)**

För stubbar förutsattes transport av icke sönderdelat material in till värmeverk med en grotlastbil. En linjär funktion har använts som innebär en kostnad på 218 och 364 kr/ton TS för transportavstånd på 50 respektive 100 km (Tabell 2).

## **7. Krossning (stubbar)**

För stubbar förutsattes sönderdelning med en stationär kross vid värmeverk eller kraftvärmeverk som medför en kostnad på 119 kr/ton TS (20,2 kr/m<sup>3</sup>s) (Tabell 2).

<sup>1</sup> Grot-anpassning innebär att grenar och toppar från flera träd koncentreras till högar intill virkeshögarna, vilket underlättar utskotningen.

<sup>2</sup> Vid avlägg täcks groten vanligtvis med papp för att skyddas från nederbörd.

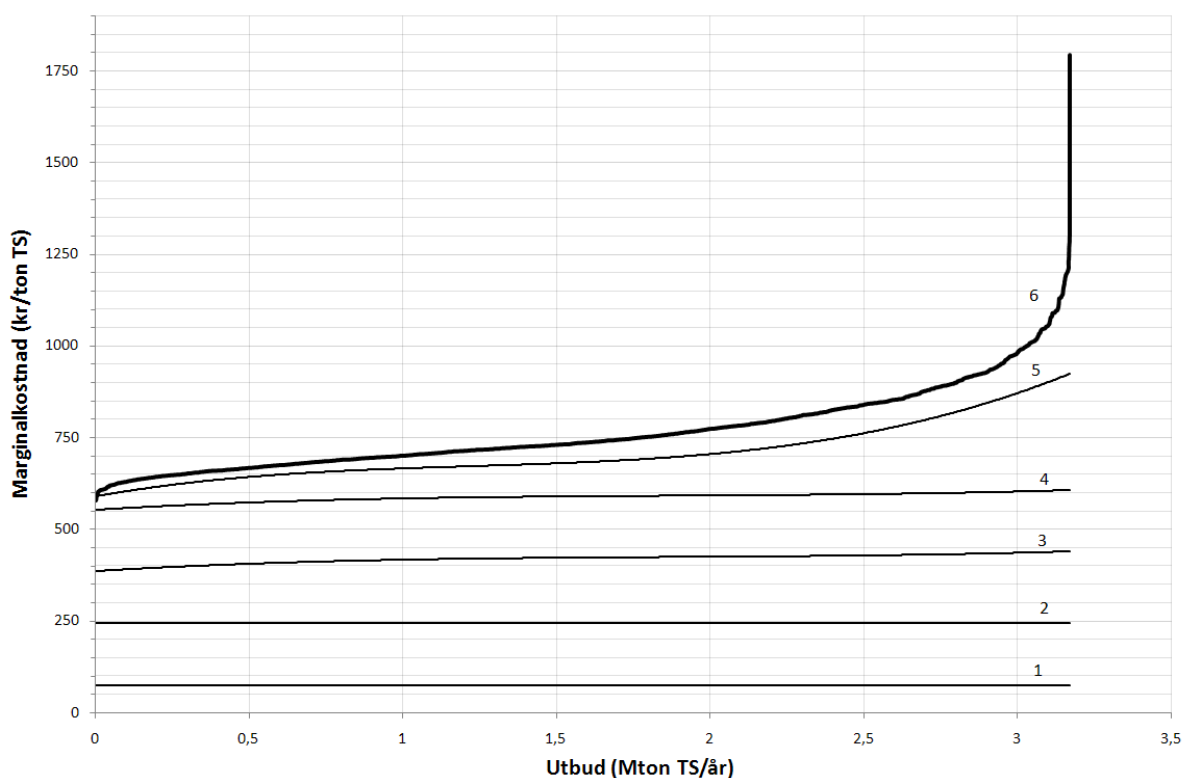
## ***8. Andra antaganden***

Fukthalten för såväl stubbar som grot förutsattes vara 50 % med ett värmevärde på 0,82 MWh/m<sup>3</sup>s rå flis. Torr-rådensitet (kvot av torr massa och rå volym) för både stubbar och grot antogs vara 170 kg TS/m<sup>3</sup>s rå flis. Markägareersättning för både grot och stubbar är antagen till 172 kr/ton TS (29,3 kr/m<sup>3</sup>s) och administrationsomkostnader till 73,5 kr/ton TS (12,5 kr/m<sup>3</sup>s). I de fall som mängderna uttrycks i energienheter har omvandlingstalet 4,9 MWh per ton TS använts. Detta värde anger mängden energi som kan avges som värme vid förbränning av skogsbränsle med en fukthalt på 40 % när vattnets ångbildningsenergi inte utnyttjas. I ökad omfattning används dock teknik som även utnyttjar ångbildningsenergin, t.ex. rökgaskondensering. För att inkludera även ångbildningsenergin skulle en omräkning istället ske med 1 Ton TS = 5,33 MWh (Ringman 1996). Inga andra kostnadsposter än ersättning till markägare, administrationsomkostnader och kostnader för skörd, sönderdelning, maskinflyttningar och transport av grot och stubbar ingår i beräkningarna. I bilaga 2 sammanfattas kort publicerade forskningsresultat och erfarenhetstal angående kostnader och prestationer för skörd, sönderdelning, maskinflyttningar och transport av grot och stubbar.

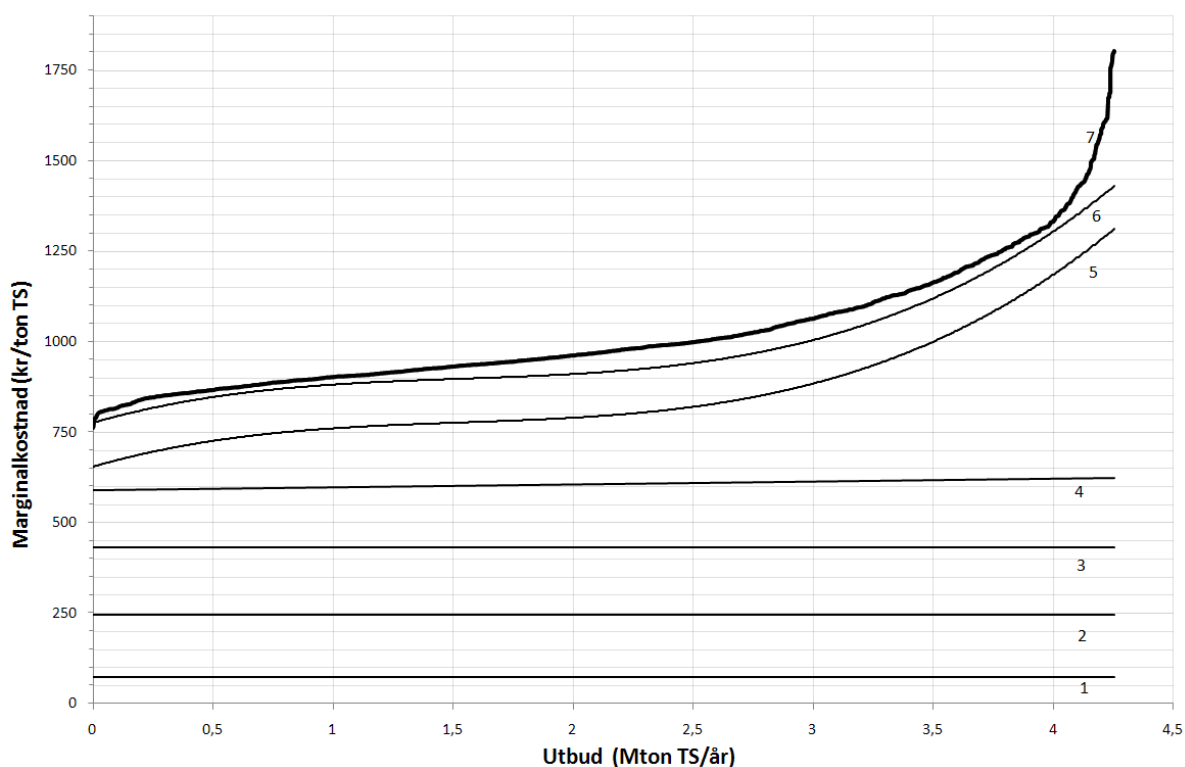
# Resultat

## Marginalkostnadskurvor

Enligt referensscenariots nivå 3 i SKA-VB 08 är den tillgängliga potentialen grot och stubbar från föryngringsavverkning i Sverige 3,2 respektive 4,2 Mton TS/år. I figur 4 och 5 kan mängd tillvarataget skogsbränsle för olika nivåer av marginalkostnader utläsas. Linjerna för varje kostnadspost är ackumulativa, dvs. för varje kostnadspost läggs alla underliggande kostnader ihop. Grot kan tas ut till en lägre kostnad än stubbar vilket leder till att marginalkostnadskurvorna för grot startar på en lägre nivå (600 kr/ton TS för grot, respektive 800 kr/ton TS för stubbar). När kurvan närmar sig den tillgängliga potentialen på 3,2 Mton/år för grot och 4,2 Mton/år för stubbar böjer kurvan av kraftigt uppåt. Detta beror på att den sista delen av uttaget finns på små trakter som är avlägset belägna vilket innebär långa vägtransporter och dyra maskinflyttningar vilket i sin tur leder till ökade kostnader. För att tillvaratagandet av grot skall öka från dagens ca 2 Mton TS, till 90 % av den tillgängliga potentialen kommer kostnaden för det sista framtagna ton TS att öka från 770 till 920 kr/ton TS (dvs. en kostnadsökning på nästan 20 %). För att 60 % av tillgänglig potential stubbar skall bli aktuell för skörd kommer motsvarande kostnad att vara 1 000 kr/ton TS.



Figur 4. Marginalkostnadskurvor för skörd av grot från föryngringsavverkning, ackumulativa värden (kr/tonTS) som funktion av Mton TS/år). 1: administrationskostnader, 2: markägaresättning, 3: skotning, 4: sönderdelning, 5: vägtransport av flis, 6: maskinflyttningar.



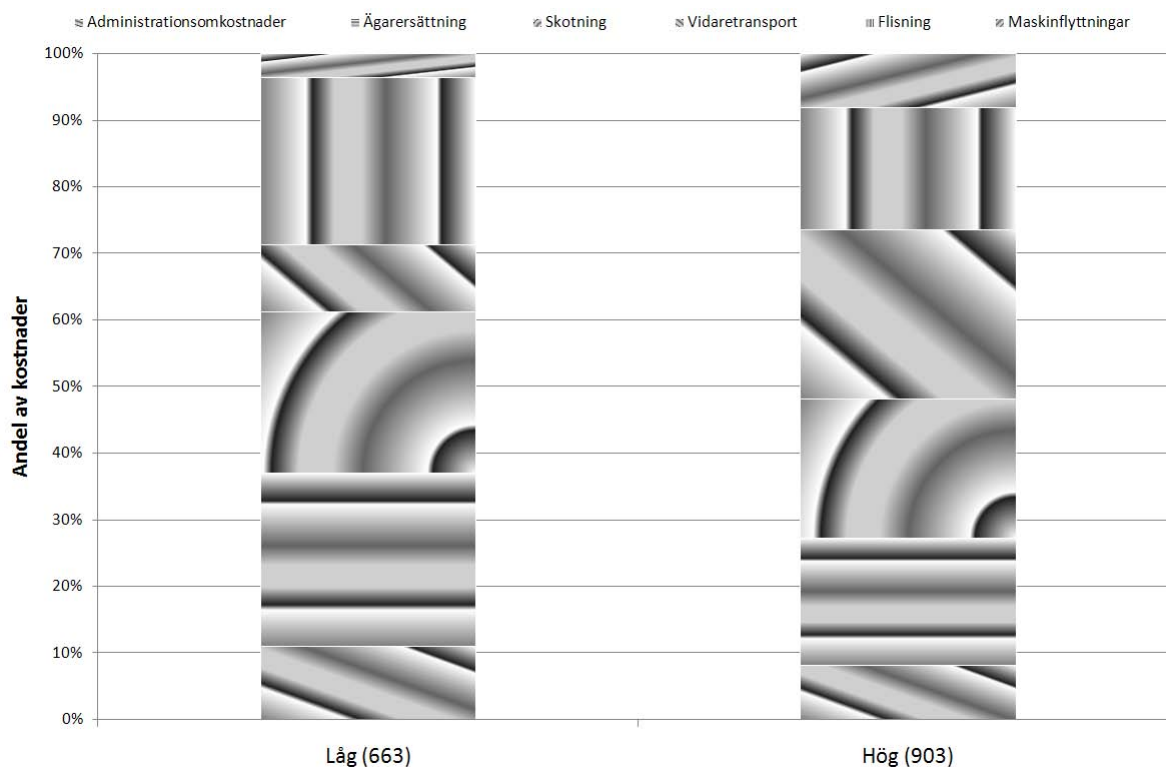
Figur 5. Marginalkostnadskurvor för skörd av stubbar från föryngringsavverkning, ackumulativa värden (kr/ton TS som funktion av Mton TS/år). 1: administrationskostnader, 2: markägareersättning, 3: stubblyftning, 4: skotning, 5: vägtransport av stubbar, 6: krossning, 7: maskinflyttningar.

Först vid en marginalkostnad på 850 kr/ton TS uppgår andelen stubbar till 10 % av sortimentsfördelningen. Vid en marginalkostnad på 1 100 kr/ton TS är sortimentsfördelningen så gott som lika för grot och stubbar (Tabell 6).

**Tabell 6. Produktmix av skogsbränslen från föryngringsavverkning, andel (%) grot och stubbar vid olika marginalkostnadsnivåer. Baserat på nivå 3 med ekologiska och tekniska/ekonomiska restriktioner enl. SKA-VB 08.**

Marginalkostnad (Kr/ton TS)	Totalt utbud		Andel GROT (%)	Andel Stubbar (%)
	Mton TS/år	TWh/år		
600	0,006	0,03	100	0
650	0,3	1,5	100	0
700	1,0	4,9	100	0
750	1,8	8,7	100	0
850	2,9	14,2	90	10
950	4,7	23,1	62	38
1100	6,4	31,1	49	51
1500	7,3	36	43	57

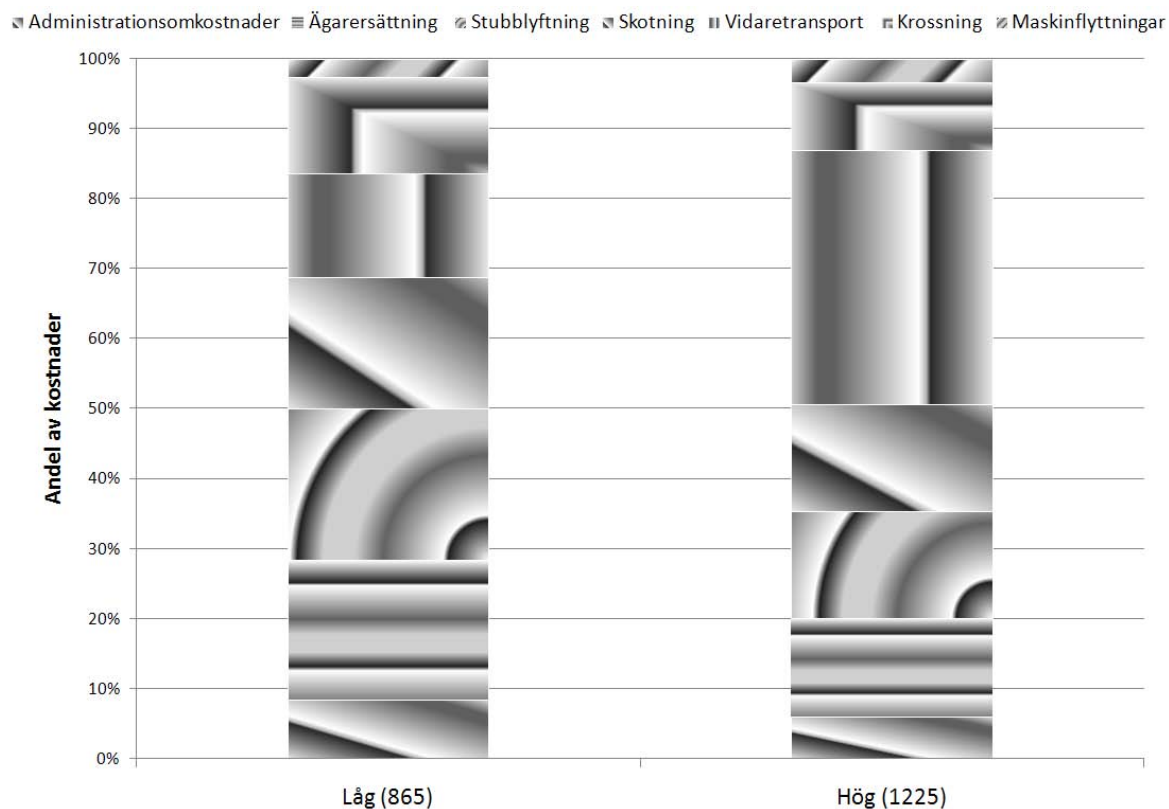
För att visualisera hur de olika kostnadsposterna förhåller sig till varandra har data från marginalkostnadskurvorna presenterats på ett ytterligare sätt. I figur 6 visas fördelningen av olika kostnadsposter vid en låg och en hög marginalkostnad för grot. För den låga kostnadsnivån utgör markägareersättning och administrationsomkostnader ca 40 % av den totala kostnaden. För den höga kostnadsnivån utgör vidaretransporten den enskilt största kostnadsposten, ca 25 %.



Figur 6. Sammanställning av kostnadsposter(kr/ton TS) för grot vid låg marginalkostnad (663 kr/ton TS) och vid hög marginalkostnad (903 kr/ton TS). Jämför figur 4. Administrationsomkostnader representeras av rutan längst ner i figuren.



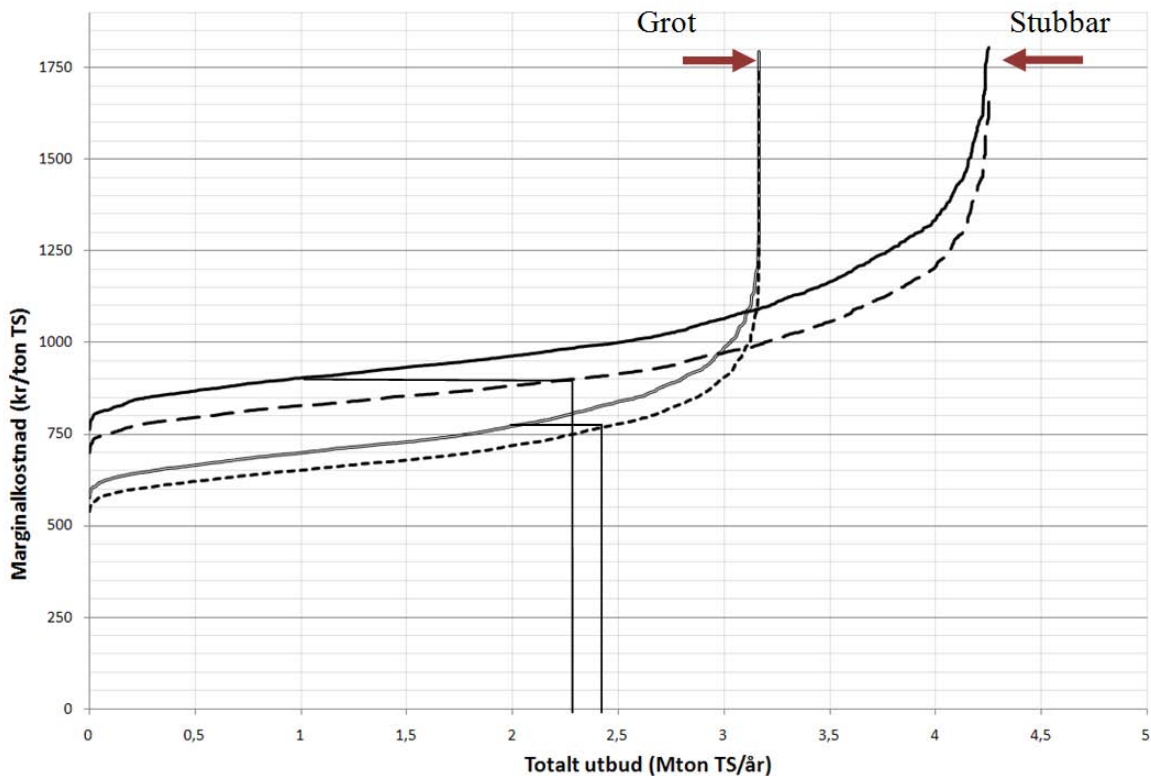
Motsvarande analys för stubbar redovisas i figur 7. För den låga kostnadsnivån utgör markägarersättning, administrationsomkostnader och stubblyftning ca 50 % av den totala kostnaden. För den höga kostnadsnivån utgör vidaretransporten den enskilt största kostnadsposten, ca 35 %.



Figur 7. Sammanställning av kostnadsposter (kr/ton TS) för stubbar vid låg marginalkostnad (865 kr/ton TS) och vid hög marginalkostnad (1225 kr/ton TS). Jämför figur 5. Administrationsomkostnader representeras av rutan längst ner i figuren.

## Känslighetsanalys

För att bedöma betydelsen av maskinsystemens produktivitet för marginalkostnadskurvornas utformning har en känslighetsanalys utförts (Figur 8). De nedre streckade kurvorna i respektive kurvpår för grot och stubbar visar kostnadsläget när grot- och stubbsystemets produktivitet ökar med 15 % och när ökningen gäller alla maskiner. De heldragna kurvorna visar de redan presenterade marginalkostnadskurvorna, jämför figurerna 4 & 5. Analysen visar att marginalkostnadskurvorna börjar på en lägre nivå (700 och 550 kr/ton TS för stubbar respektive grot) och att man får ut mer material för samma marginalkostnad med ett mer produktivt maskinsystem beroende på vilken marginalkostnad man utgår ifrån. När det gäller grot så kan man idag få ut 2 Mton TS/år för upp till 780 kr/ton TS. Om prestationen för de maskiner som ingår i grotsystemet ökar med 15 % kan man få ut ca 2,4 Mton TS/år för samma kostnad. När det gäller stubbar kan man idag få ut 1 Mton TS/år vid en marginalkostnad på 900 kr/ton TS. Om prestationen av de maskiner som ingår i stubbsystemet ökar med 15 % kan man få ut 2,25 Mton TS/år för samma kostnad.



Figur 8. Känslighetsanalys där de undre streckade kurvorna i varje par visar marginalkostnaden när systemens produktivitet ökar med 15 %. Det övre paret avser stubbar och det nedre paret avser grot.

## Diskussion och slutsatser

### *Bioenergipotentialen i Sverige*

Om potentialen för skogsbränsle vid förnygringsavverkning och nivå 3 för ekologiska, tekniska/ekonomiska restriktioner utnyttjas motsvarar det ca 36 TWh/år för stubbar och grot tillsammans. I nuläget utnyttjas kanske 8-10 TWh grot vilket innebär att ökningen kan bli 26 - 28 TWh. Å andra sidan kan klimatförändringen komma att minska tiden med tjälad mark i södra Sverige. Resultatet kan bli att grot i större omfattning kommer att användas som körunderlag för avverkningsmaskinerna. En viss andel av det möjliga uttaget av grot kommer på detta sätt att lämnas kvar. Om maskinsystemen anpassas till att köra på blötare marker så kan även denna mängd tas tillvara.

Att teknik och metoder för skörd av skogsbränsle är omogen är en orsak till varför dagens nivå av tillvaratagande på en enskild trakt inte är högre än 60 %. I framtiden är det dock rimligt att tekniken tillåter att man närmar sig nivå 2, dvs. 80 % tillvaratagande på en enskild trakt. I vilken utsträckning miljörestriktioner kommer att påverka uttag av stubbar är i skrivande stund under utredning på Skogsstyrelsen (Skogsstyrelsen 2009b).

### *Marginalkostnadskurvorna*

Marginalkostnadskurvorna är baserade på nivå 3 i SKA-VB 08 (Skogsstyrelsen 2008b). Med dagens pris på skogsflis, ca 850 kr/ton TS exkl. skatt (172 kr/MWh) (Energimyndigheten 2009) vid värmeverksgrinden blir den teoretiska tillgängligheten ca 2,6 Mton TS/år enligt marginalkostnadskurvan för grot (Figur 4). Denna mängd motsvarar ca 13 TWh/år. Bilden skiljer sig något från verkligheten. Enligt tillgänglig statistik produceras 8-10 TWh från grot i Sverige (Anon. 2008), vilket i marginalkostnadskurvan för grot (Figur 4) motsvarar en marginalkostnadsnivå på 750 kr/ton TS; dagens priser för skogsflis ligger alltså högre än marginalkostnadskurvan, och följaktligen borde utbudet vara högre än dagens tillvaratagande. Skillnaden kan delvis förklaras med att marknaden ännu inte mognat och att ett stort antal mindre effektiva maskiner används i praktiken. När maskinsystemen blir mer effektiva kommer en större andel grot och stubbar kunna tas ut vid dagens marginalkostnadsnivå.

När vägtransporter av stubbar och grotflis läggs till marginalkostnadskurvan stiger kostnadsnivån snabbt för grot och stubbar som ligger långt ifrån industrin. Detta visar att just denna kostnadspost är den som är mest begränsande för uttaget av grot och stubbar. Efter 2,5 respektive 3 Mton TS blir kurvan för grot respektive stubbar mycket brantare. Detta betyder att uttaget av varje tillkommande ton TS blir mycket dyrare än den föregående.

I analysen ingår antaganden om nivåer för en mängd kostnadsposter som baseras på praktiska erfarenhetstal och vetenskapliga studier. En förteckning över de personer som bidrog med erfarenhetstalen finns i bilaga 3. I och med att kostnadsnivåerna varierar över tiden kommer kurvornas utformning att förändras i ett längre perspektiv. Antaganden om markägarensättning, kostnader för flisning och krossning samt stubblyftning kan dock läsaren själv justera genom att höja eller sänka nivån på kurvorna i och med att dessa kostnadsposter antas vara konstanta per ton TS. Administrationen kan tänkas bli billigare per ton TS vid uttag från större hyggen än små, men i studien har även dessa kostnader antagits vara konstanta. Känslighetsanalysen av maskinsystemen visar att en ökning av systemens prestation gör en större mängd primärt skogsbränsle (grot och stubbar) tillgänglig till industrin vid en viss prisnivå.

## ***Maskin- och transportsystem, samt hantering av grot och stubbar***

Marginalkostnadskurvorna utgår från en förenklad analys där ett maskinsystem för grotuttag och ett annat för stubbuttag ingick. De två systemen är ur ett ekonomiskt perspektiv intressanta och representativa för Sverige och Finland. En översikt över de maskiner som skulle kunna användas vid uttag av grot och/eller stubbar finns i Liss (2001), Kallio & Leinonen (2005), v Hofsten (2006), Nilsson (2007), Hedman (2008) & Lindberg (2008). Författarna utgår ifrån att det finns tre grundalternativ vid uttag av grot från en föryngringsavverkning, dvs. sönderdelning på hygget, sönderdelning vid avlägg och sönderdelning vid industrin. I föreliggande studie förutsattes att groten sönderdelas vid avlägget medan stubbarna sönderdelas vid industrin. Sönderdelning av grot vid avlägg är det vanligaste metoden både i Finland (Kärhä 2007) och i Sverige. Det finns olika hanteringsalternativ för det flisade materialet. Ett alternativ är att flisa groten på en duk på marken och att en skopbil transporterar flisen till industrin. Ett annat alternativ är att groten flisas direkt i bilflaket med en integrerad flishugg, och sedan vidaretransporteras. Ett tredje alternativ är att groten flisas i containers som hämtas och levereras till slutkonsument av ett lastväxlarfordon. I samtliga alternativen är flisning och vägtransport oberoende av varandra. Systemet med skopbil och bil med integrerad flishugg är mycket vanliga i norra Sverige medan systemet med lastväxlarfordon är det vanligast förekommande systemet i södra Sverige och det som använts i föreliggande analys. I en framtida analys där de metoder och maskinsystem används som är bäst anpassade och ger lägst kostnader kommer den totala marginalkostnadskurvan att bli något mindre brant än den som redovisas här.

Lindberg (2008) presenterade ekonomiska jämförelser mellan olika system där det t.ex. vid långa avstånd och stora volymer blir mera lönsamt med lagring och stationär sönderdelning av grot och stubbar vid en terminal, dvs. att grot transporteras intakt till slutkonsument eller terminal. Terminalhantering kan vara en avsevärd kostnadspost som uppstår på grund av att de flesta värmeverken, sett över hela året, har en ojämn mottagning av bränsle. Det innebär att många leverantörer tvingas lagra material producerat under sommaren vid en terminal för att hålla produktionen igång. En terminal kan placeras i nära anslutning till en förbrukare eller på en plats så att transporter av icke sönderdelat material minimeras.

## ***Ersättning till markägare***

I nuläget är ersättningsnivåerna till markägare relativt låga. Detta är naturligt under en uppbyggnadsfas där såväl teknik, arbetsmetoder som marknad är omogna. På längre sikt är det dock rimligt med en utveckling där markägarens ersättning blir proportionell mot den som utgår för rundvirke. Med det menas att om markägare efter avverkningskostnader och transport av rundvirke i genomsnitt får 50 % av industrins totala virkeskostnader vid industrigrind, så är det rimligt att ungefär samma nivå på sikt även etablerar sig för skogsbränsle. Detta är också en förutsättning för att markägare i stor skala skall realisera den potential som finns. Vidare är markägaren många gånger ovillig att ta ut grot av rädsla för markskador och att produktionsförmågan kommer att äventyras (Bohlin & Roos, 2002).

Viljan att ta ut grot (och stubbar) kan däremot öka om man kan visa att askåterföring återställer markens produktionsförmåga. När det gäller stubbskörd kan man förvänta sig att markägarens ersättning inte kommer att vara så hög som ersättningen för tillvaratagandet av grot. Huvudsakligen beror detta på att kostnaden för markberedning som idag är 1500 kr/ha (Anon. 2008) utgår eller sänks betydligt. Inställningen hos markägare kommer också i hög utsträckning att påverkas av den pågående miljödebatten rörande skogsbränsle. I den debatten finns två motstridiga miljömål. Det ena är bevarandemålet, som i huvudsak bromsar in en

kraftig expansion av skogsbränsleskörden. Det andra är målet om ersättning av fossila energislag, som påskyndar skogsbränsleskördens expansion.

### ***Framtida utvecklingsmöjligheter för stubb- och grotskörd***

I dagsläget sker i stort sett inget tillvaratagande av skogsbränsle från gallring eller röjning. När det gäller grot finns i princip redan teknik och metoder som möjliggör sådan skörd från gallring. Det handlar då om träddelsgallring, som tidigare också har tillämpats. Dess potentiella omfattning är dock helt beroende av en utbyggnad av träddelsterminaler där rundvirke och skogsbränsle separeras. Även träd från grova och täta röjningsbestånd kan med fördel hanteras i sådana terminaler. Ny teknik för skörd i grova och täta röjningsbestånd måste dock utvecklas, även om vissa utvecklingslinjer redan finns utstakade (Bergström et al. 2007). Beträffande stubbar från gallring är situationen annorlunda. Här måste helt nya tekniska lösningar utvecklas. En intressant utvecklingslinje är att ta med stubbens centrala del (stubbkärnan) som en förlängning av rotstocken direkt vid skörden av rundvirke. Prototyper enligt den principen utvecklades redan i mitten av 80-talet (Jonsson 1985, Östberg 1990). Vid sådan skörd tillvaratas endast ca hälften av stubbens totala volym, men de logistiska fördelarna är stora då stubbkärnan hanteras tillsammans med rotstocken ända in till industrin. Dessutom blir utarmningen av marken lägre då rötterna får stanna kvar i marken. Teknik för sådan skörd kan komma att utvecklas för såväl förnygringsavverkning som gallring.

## Litteratur/källförteckning

- Anon. 2008. Statistical Yearbook of Forestry 2008. Swedish Forest Agency. Jönköping, Sweden. ISSN 0491-7847.  
<http://www.svo.se/minskog/Templates/EPFileListing.asp?id=16871>
- Alakangas, E. & Virkkunen, M. 2007. EUBIONET2: Biomass fuel supply chains for solid biofuels. Jyväskylä.
- Berglund, M. & Börjesson, P. 2003. Energianalys av biogassystem. Rapport 44, Miljö- och energisystem. Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Bergström, D., Bergsten U., Nordfjell T. & Lundmark T. 2007. Simulation of geometric thinning systems and their time requirements for young forests. *Silva Fennica*, 41(1):137-147.
- Bohlin, F. & Roos, A. 2002. Wood fuel supply as a function of forest owner preferences and management styles. *Biomass & Bioenergy*, 22(4):237-249.
- Energimyndigheten, 2009. Prisblad för biobränslen, torv m.m. Nr 2.
- Engblom, G. 2007. Systemanalys av skogsbränsletransporter. Arbetsrapport 175. Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- EU kommissionen, 2008. EU:s klimat- och energipaket,  
[http://ec.europa.eu/environment/climat/climate\\_action.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/climate_action.htm)
- Hedman, L. 2008. Produktivitet vid stubbskörd. Arbetsrapport 219. Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- v Hofsten, H., Lundström, H., Nordén, B., & Thor, M. 2006. Systemanalys för uttag av skogsbränsle – ett verktyg för fortsatt utveckling. Skogforsk. Resultat nr 6.
- v Hofsten, H. 2006. Maskinell upptagning av stubbar - möjligheter och problem. Skogforsk. Arbetsrapport nr 621.
- Johansson, J., Liss, J-E., Gullberg, T., & Björheden, R. 2006. Transport and handling of forest energy bundles-advantages and problems. *Biomass & Bioenergy* 30(4): 334-341.
- Jonsson, Y. 1985. Teknik för tillvaratagande av stubbved. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse nr 3.
- Kallio, M. & Leinonen, A. 2005. Production technology of forest chips in Finland. VTT. Report PRO2/P2032/05.
- Karlsson, J. 2007. Produktivitet vid stubblyftning. Arbetsrapport 168. Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- Korpilahti, A. 2001. Käyttöpaikallahaketukseen perustuva puupolttoaineen tuotanto - PUUY02. VTT. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001. Symposium 216.
- Korpinen, O-J., Ranta, T., Jäppinen, E., Hämäläinen, E. & Laitila, J. 2007. Forest fuel supply chains based on terminals and stumps. International Bioenergy Conference and Exhibition. September 3rd-6th 2007. Jyväskylä.
- Kärhä, K. 2007. Machinery for forest chip production in Finland in 2007. Metsäteho.  
[http://www.metsateho.fi/uploads/Tuloskalvosarja\\_2007\\_14\\_forest\\_chips\\_machinery\\_kk\\_1.pdf](http://www.metsateho.fi/uploads/Tuloskalvosarja_2007_14_forest_chips_machinery_kk_1.pdf)
- Kärhä, K. & Vartiamäki, T. 2006. Productivity and costs of slash bundling in Nordic conditions. *Biomass & Bioenergy* 30(12): 1043–1052.

- Laitila, J., Ranta, T. & Asikainen, A. 2008. Productivity of stumps harvesting for fuel. *International Journal of Forest Engineering*. 19(2):37-47.
- Lindberg, D. 2008. Stubbtransporter och bränslekvalitet hos stubbved. Arbetsrapport 220. Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- Liss, J-E. 2001. Trädbränslen från skogen - teknik för skörd. Arbetsdokument nr. 1. Institutionen för matematik, naturvetenskap och teknik. Högskolan Dalarna.
- Liss, J-E. 2003. Kostnadsjämförelse mellan buntsystem och traditionella flissystem vid uttag av skogsbränsle. Arbetsdokument nr. 4. Institutionen för matematik, naturvetenskap och teknik. Högskolan Dalarna.
- Lundmark, R. & Söderholm, P. 2004. Brännhett om svensk skog. En studie om råvarukonkurrensens ekonomi. SNS Förlag. ISBN 91-7150-952-6.
- Nilsson, B. 2007. Skogsbränslehantering. Effektivitet och kostnader för olika hanteringsmetoder för grotuttag. Examensarbete nr: TD 090/2007. Växjö universitet, Avdelningen för Skog och Träteknik.
- Nilsson, T. 1969. Terrängtypsschema för svenskt skogsbruk. Redogörelse nr 9. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm.
- Nurmi, J. 2007. Recovery of logging residues for energy from spruce (*Picea abies*) dominated stands. *Biomass & Bioenergy* 31(6):375–380.
- Pettersson, M. 2006. Grotkotning – Driftsuppföljning och tidstudier. *Energidalen*. [http://www.energidalen.se/files/Delrapport\\_Grotkotning.pdf](http://www.energidalen.se/files/Delrapport_Grotkotning.pdf)
- Ranta, T. & Rinne, S. 2006: The profitability of transporting uncomminuted raw materials in Finland. *Biomass and Bioenergy* 30(3): 231–237.
- Ringman, M. 1996. Trädbränslesortiment - definitioner och egenskaper [Wood fuel assortments - definitions and properties]. Swedish University of Agriculture Sciences, Department of forest products, Uppsala. Report no. 250. ISSN 0348-4599.
- Rummukainen, M., Bergström, S., Persson, G., Rodhe, J. & Tjernström, M. 2004. The Swedish Regional Climate Modelling Programme, SWECLIM: A Review. *AMBIO*, 33(4): 176-182.
- Skogsstyrelsen, 2008a. Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. Meddelande 2/2008. ISSN 1100-0295.
- Skogsstyrelsen, 2008b. Skogliga konsekvensanalyser 2008. SKA-VB 08. Rapport 25. <http://www.skogsstyrelsen.se/epi-server4/dokument/sks/aktuellt/press/2008/rapport%20SKA.pdf>
- Skogsstyrelsen, 2008c. Miljöanalys – Stubbskörd. Rapport 2008-10-19. [http://www.svo.se/epi-server4/dokument/sks/projekt/stubbskord/MA-huvuddokument-Miljöanalys\\_stubbskörd.pdf](http://www.svo.se/epi-server4/dokument/sks/projekt/stubbskord/MA-huvuddokument-Miljoanalys_stubbskord.pdf)
- Skogsstyrelsen, 2009a. Skogsstyrelsens preliminära rekommendationer gällande stubbskörd <http://www.svo.se/epi-server4/templates/SNormalPage.aspx?id=41949>
- Skogsstyrelsen, 2009b. Översiktligt tidsschema för utveckling av eventuellt regelverk för stubbskörd. <http://www.svo.se/epi-server4/dokument/sks/projekt/stubbskord/Tidtabell%20stubbsk%C3%B6rd.pdf>
- Östberg, M. 1990. En smedjas förvandling – ÖSAs historia. Nyströms tryckeri AB. Bollnäs.

## Bilaga 1. Sammanställning av maskinkostnader.

	Grotskotning				Stubbtransport	Flistransport
	420 m	Stubblyftning	Flisning	Krossning	100 km	100 km
Investering, kr	2500000	1500000	5500000	9000000	2830000	2167000
Avskrivningstid, år	7	7	7	10	5	7
Kalkylränta, %	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Restvärde, kr	375000	225000	1650000	900000	424500	325050
Amorteringsfaktor	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
<b>Σ Kapitalkostnader, kr/år</b>	<b>373924</b>	<b>224355</b>	<b>677463</b>	<b>1074609</b>	<b>563311</b>	<b>326428</b>
Arbetsdagar/år	200	200	200	200	210	210
U-tim/skift	8	8	8	8	8	8
Antal skift	2	2	2	2	2	2
TU, G <sub>0-tim</sub> /G <sub>15-tim</sub>	0,9	0,95	0,7	0,65	-	-
U-timmar per år	3200	3200	3200	3200	3360	3360
G <sub>15-tim</sub> /år	2730	2840	1240	1200	-	-
<b>Σ Personalkostnader, kr/år</b>	<b>971208</b>	<b>966622</b>	<b>955922</b>	<b>691802</b>	<b>872577</b>	<b>868756</b>
Diesel, kr/l	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
Smörj- & hydraulolja, kr/l	30	30	30	30	30	30
Dieselförbrukning, l/G <sub>15-tim</sub>	15	15	45	60	-	-
Oljeförbrukning, l/G <sub>15-tim</sub>	0,5	0,45	0,5	0,5	-	-
Rep o Underhåll, kr/G <sub>15-tim</sub>	100	80	150	100	-	-
Övrigt, kr/G <sub>15-tim</sub>	50	10	40	25	-	-
Bränslekostnad, kr/år	458640	477120	624960	806400	700282	684660
Oljekostnad, kr/år	40950	38340	18600	18000	17530	19510
Rep, Underhåll, kr/år	273000	227200	186000	120000	101560	109514
Övrigt, kr/år	136500	28400	142600	174000	0	72576
<b>Σ Driftskostnader, kr/år</b>	<b>909090</b>	<b>771060</b>	<b>972160</b>	<b>1118400</b>	<b>819373*</b>	<b>886260**</b>
Skatt, kr/år	-	-	-	-	38434	41874
Försäkring, kr/år	25000	20000	20000	25000	62000	60000
Övriga fasta kostnader	-	-	-	-	28500	32000
<b>Σ Fasta kostnader, kr/år</b>	<b>25000</b>	<b>20000</b>	<b>20000</b>	<b>25000</b>	<b>128934</b>	<b>133874</b>
<b>Total kostnad, kr/år</b>	<b>2279222</b>	<b>1982037</b>	<b>2625545</b>	<b>2909811</b>	<b>2384195</b>	<b>2215317</b>
kr/U-tim	712	619	820	909	710	659
Kr/G <sub>15-tim</sub>	835	698	2117	2425	-	-
Prestation, m <sup>3</sup> s/G <sub>15-tim</sub>	24	22	75	120		
Prestation, m <sup>3</sup> s/U-tim	-	-	-	-	11	20
Prestation, m <sup>3</sup> s/år	65520	62480	93000	144000	36960	67200
Totalt, kr/m <sup>3</sup> s	35	32	28	20	62	32

\* Vid 50 km transportavstånd är driftskostnaden 628 186 kr/år. \*\* Vid 50 km transportavstånd är driftskostnaden 723 000 kr/år.



## Bilaga 2. Sammanställning av publicerade produktivetsstudier.

### 1. Stubblyftning

Produktivitetssuppgifter för stubblyftning har publicerats av Hofsten (2006), Karlsson (2007), Hedman (2008) och Laitila et al. (2008). Vid ytstruktur och lutning enligt terrängtypsschemats klass 1 (Nilsson 1969) var produktiviteten i upptagningsarbetet 2,5 - 3 ton TS/G<sub>0</sub>- tim (ca 6-7 m<sup>3</sup>f biomassa/G<sub>0</sub>- tim). Motsvarande värde vid ytstruktur och lutning enligt klass 3 var 2,2 - 2,7 ton TS/G<sub>0</sub>- tim (ca 5,2 - 6,4 m<sup>3</sup>f biomassa/G<sub>0</sub>- tim) (Karlsson 2007). Hedman (2008) studerade stubbskörd i ett område med mycket gynnsam lutning och ytstruktur (klass 1) och en medelstubbsdiameter på 38 cm och fastställde produktiviteten till 4 ton TS/ G<sub>0</sub>- tim (ca 9,5 m<sup>3</sup>f biomassa/G<sub>0</sub>- tim). Laitila et al. (2008) rapporterar en produktivitet som är högre och kommer upp till 13 m<sup>3</sup>f biomassa/G<sub>0</sub>- tim (ca 5,5 ton TS/G<sub>0</sub>- tim). Studierna, som är relativt samstämmiga, har visat att produktiviteten (ton TS/tim) ökar när stubbens storlek ökar.

### 2. Skotning (grot & stubbar)

Uppgifter om skotarnas prestation och kostnader kommer både från praktiken (erfarenhetstal) och vetenskapliga studier. Kärhä & Vartiamaäki (2006) rapporterar om en prestation på 11,1 m<sup>3</sup>f/ G<sub>15</sub>- tim (4,7 ton TS/ G<sub>15</sub>- tim) för transportavståndet 250 meter. Nurmi (2007) anger en högre prestation (~13 råton/G<sub>15</sub>- tim) för ett transportavstånd på 300 meter. Engblom (2007) anger att prestationen för grotskotning ligger på 4,4 ton TS/- tim. Pettersson (2006) visar, baserad på 2 stycken driftsuppföljningar, att det råder en stor spridning (4-12 råton/G<sub>15</sub>- tim) i en skotarens prestation och rapporterar en medelprestation på 7,6 råton/G<sub>15</sub>- tim vid ett terrängtransportavstånd på 230 meter. Här betonas vidare vikten av att grot-anpassa avverkningen eftersom grotskotarens prestation kan förbättras betydligt (30-40% prestationsökning). Karlsson (2007) visar, efter en analys av driftsuppföljningsdata, att prestationen för stubbskotning varierade mellan 11,5 och 18 råton/G<sub>0</sub>- tim. Erfarenheter från praktiken visar att skotarna lastar 7,0 råton stubbved per vända och producerar 8,8 råton/ G<sub>0</sub>- tim (6,6 råton/ G<sub>15</sub>- tim) med ett medelskotningsavstånd på ca 220 m.

### 3. Flisning (grot)

Uppgifter om flisarens prestation och kostnader kommer både från praktiken (erfarenhetstal) och vetenskapliga studier. I Alakangas & Virkkunen (2007) nämns att prestationen för sönderdelning vid avlägg kan vara mellan 35 och 40 m<sup>3</sup>f/G<sub>0</sub>- tim (88 och 100 m<sup>3</sup>s/G<sub>0</sub>- tim). Lindberg (2008) rapporterar att krossar som kan vara lämpliga för avlägg har en kapacitet på 60 till 150 m<sup>3</sup>s/tim, medan stationära krossar kan producera 80-120 m<sup>3</sup>s/tim. Liss (2003) rapporterar dock en produktivitet som är väsentligt lägre (30 m<sup>3</sup>s/G<sub>15</sub>- tim). Engblom (2007) däremot redovisar en prestation på 70 m<sup>3</sup>s/- tim för flisning vid terminal eller industri.

### 4. Vägtransport (grotflis)

Uppgifter om flisbilens prestation och kostnader kommer både från praktiska erfarenhetstal och studier; Ranta & Sinne (2006) anger en kostnad på 3,5 €/MWh (172 kr/ton TS) vid ett transportavstånd på 75 km och 4,6 €/MWh (225 kr/ton TS) vid ett transportavstånd på 100 km. Johansson et al (2006) rapporterar att kostnaden för transport av råflis ligger på 41 kr/MWh, dvs. 200 kr/ton TS vid ett transportavstånd på 100 km. Korpilahti (2001) och Liss (2003) anger en kostnad för vidaretransport med containerfordon (80 km) som ligger runt 205 kr/ton TS. Korpilahti anger även att kostnaden vid ett transportavstånd på 40 km är 2,6 €/MWh (127 kr/ton TS).

### 5. Vägtransport (stubbar)

Lindberg (2008) rapporterar att transporten kostar ~70 kr/MWh (dvs. ~340 kr/ton TS) vid ett transportavstånd på 100 km. Erfarenheter från industrin pekar på att mängden som lastas på bilen varierar mycket, mellan 14 och 31 (!) ton/lass men att en del av den massan (uppskattningsvis 20 %) består av stenar, jord och grus.

### 6. Krossning (stubbar)

Uppgifter om krossarens prestation och kostnader kommer både från praktiken (erfarenhetstal) och studier; när det gäller sönderdelning i terminal eller värmeverk anges i Alakangas & Virkkunen (2007) en prestation på 50-60 m<sup>3</sup>f/G<sub>0</sub>- tim (120 m<sup>3</sup>s/G<sub>15</sub>- tim). Korpinen et al. (2007) uppger en produktivitet av 50-250 m<sup>3</sup>s/tim beroende på storleken av krossen. Från praktiken rapporteras en produktivitet på 122 m<sup>3</sup>s/tim med en kostnad på 30-35 kr/m<sup>3</sup>s. Stubbarna matas med traktor- eller lastbilsgrip.

### **Bilaga 3. Kontaktpersoner.**

Följande personer har bidragit med praktiska erfarenhetstal av stor betydelse för studiens genomförande:

Peter Bjerkinger: Stora Enso

Mikael Fahlman: Vida Energi AB

Karl-Magnus Hembjer: SMF

Henrik v Hofsten: Skogforsk (Via FLIS)

Mats Johansson: Södra

Petter Johansson: Sveaskog

Patrik Jonsson: Norra skogsägarna

Seved Lycksell: Skellefteå Kraft

Mats Svensson: Såtab

Marcus Åström: SCA

Åsa Öhman: Naturbränslen

Ett stort tack riktas till ovan nämnda personer samt till Ola Lindroos för hans synpunkter och idéer om kostnadskurvornas utformning.