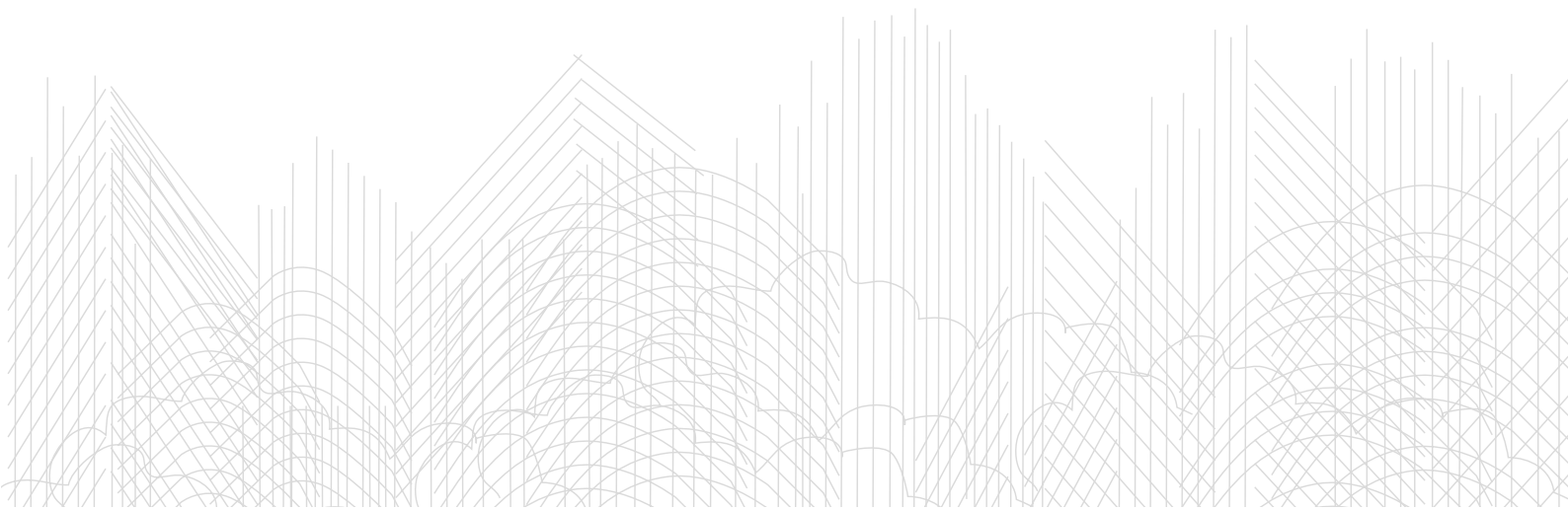


SKOGSBRÄNSLE



Skogsskötselserien är en sammanställning för publicering via Internet av kunskap om skogsskötsel utan ställningstaganden eller värderingar.

Texterna har skrivits av forskare och har bearbetats redaktionellt både sakligt och språkligt. De är upphovsrättsligt skyddade och får inte användas för kommersiellt bruk utan medgivande.

I Skogsskötselserien ingår:

1. Skogsskötselns grunder och samband
2. Produktion av frö och plantor
3. Plantering av barrträd
4. Naturlig föryngring av tall och gran
5. Sådd
6. Røjning
7. Gallring
8. Stamkvistning
9. Skötsel av björk, al och asp
10. Skötsel av ädellövskog
11. Blädningsbruk
12. Skador på skog
13. Skogsbruk - mark och vatten
14. Naturhänsyn
15. Skogsskötsel för rekreation och friluftsliv
16. Produktionshöjande åtgärder
17. *Skogsbränsle*
18. Skogsskötselns ekonomi
19. Skogsträdsförädling
20. Slutavverkning

Skogsskötselserien har tagits fram med finansiering av Skogsstyrelsen, Skogsindustrierna, Sveriges lantbruksuniversitet och LRF Skogsägarna. Bidrag har även lämnats av Energimyndigheten för behandling av frågor som rör skogsbränsle och av Stiftelsen Skogssällskapet.

Omarbetningar (revisioner) för att ta fram andraupplagor har till stor del även bekostats av Erik Johan Ljungbergs Utbildningsfond och Stiftelsen Skogssällskapet.

Skogsskötselserien – Skogsbränsle

Första upplagan, april 2009

Andra omarbetade upplagan, september 2013

Skogsskötselserien – Skogsbränsle

Författare:

Gustaf Egnell, SkogDr, forskare, SLU

© Gustaf Egnell och Skogsstyrelsen

Redaktör: Clas Fries, Skogsstyrelsen

Typografisk formgivning: Michael Håkansson, Textassistans AB

Grafisk profil: Louise Elm, Skogsstyrelsen

Diagrambearbetning och sättning: Bo Persson, Skogsstyrelsen

Foto omslag: Stefan Anderson

Utgivning: Skogsstyrelsens förlag, www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien

Innehåll

SKOGSBRÄNSLE	4
Nytt sortiment – nya begrepp och sorter	5
Energi från skogen inget nytt	9
Framtiden för skogsbränslen	12
Hur mycket skogsbränsle finns det?	16
Hur mycket når marknaden?	20
Skogsbränsleuttag i praktiken	23
Skogsbränsleuttag i föryngringsavverkning	23
Grot	23
Stubbar	26
Gallring och röjning	28
Kostnader vid skogsbränsleskörd	29
Näringskompensation	30
Skogsbränsleanpassad skogsskötsel	31
Påverkas miljö kvalitetsmålen?	34
Klimat	34
Biologisk mångfald	37
Stubbar	41
Askåterföring	42
Försurning av mark och ytvatten	43
Miljögifter	44
Påverkas skogsproduktionen?	46
Skogsbränsleuttag	47
Grot	47
Stubbar	60
Spårbildning och markkompaktering	62
Askåterföring	63
Litteratur	66

SKOGSBRÄNSLE

Nytt sortiment

Skogsbränsle är redan idag det tredje största sortimentet vid sidan av timmer och massaved.

Energi från skogen inget nytt

Även om skogsbränsle definieras som ett nytt sortiment har skogen använts som energikälla sedan människan lärde sig använda elden.

Framtiden för skogsbränslen

Vi upplever idag ett bibränsleintresse kanske större än någonsin. Men det var inte allt för länge sedan skogsbränslen var aktuella, nämligen under energikrisen på 1970-talet.

Hur mycket skogsbränsle finns det?

Detta är en fråga som ofta förekommer och naturligtvis ett viktigt underlag för energiindustrin i samband med investeringsbeslut. Det är också viktigt att förstå skillnaden mellan maximalt fysiskt tillgängligt skogsbränsle, det vill säga all trädbiomassa som finns ute i våra skogar, och den mängd som realiseras på energimarknaden, vilket beror på tekniska och ekonomiska restriktioner och miljörestriktioner.

Skogsbränsleuttag i praktiken

Dagens skogsbränsleuttag består i första hand av grenar och toppar (grot) men en del skördas också i form av långa okvistade toppar och kläna stammar. Till detta kommer skadad stamved, såsom rötskadad eller brandskadad ved. På senare tid har intresse för att även skörda stubbar visats.

Skogsbränsleanpassad skogsskötsel

Det traditionella skogbruket utan skogsbränsleuttag har till stor del varit inriktat mot att producera massaved och sågtimmer. Med skogsbränsle som ett tredje sortiment finns det anledning att tänka om vad avser såväl skogsskötselsystem som befintligt teknik och logistik, vilket på sikt kan öka den mängd biomassa som realiseras på marknaden.

Påverkas miljökvalitetsmålen?

Uttag av skogsbränsle innebär en intensifiering av skördeuttaget, vilket kan påverka skogsekosystemet och omgivande ekosystem på kort och lång sikt.

Nytt sortiment – nya begrepp och sorter

Skogsbränsle är redan idag det tredje största sortimentet vid sidan av timmer och massaved. Normalt borde skogsbränsle, i en skötselhandbok som denna, behandlas som de andra två – nämligen som en integrerad del vid olika skogsskötselåtgärder. Men då sortimentet är nytt förtjänar det att belysas lite extra. Förhoppningen är att denna del i Skogsskötselserien ska reda ut några av begreppen kring skogsbränslen och räta ut några av de frågetecken en skogsförvaltare kan stå inför när det gäller integrering av skogsbränslesortimentet i olika skogsskötselåtgärder.

Skogen som energikälla för med sig nya begrepp såsom biobränslen, trädbränslen, skogsbränslen och grot. I figur SB1 görs ett försök att reda ut begreppen med *biobränslen* som en överordnad nivå som omfattar alla bränslen med sitt ursprung i biomassa från såväl skogsbruk som jordbruk, liksom kemiskt processad bioråvara.

Inom begreppet biobränslen finns *trädbränslen*. I trädbränslen ingår inte kemiskt processade skogsråvaror såsom returpapper och returlutar (svartlut) från massaindustrin. Trädbränslen kan i sin tur delas upp i *skogsbränsle*, *energiskogsbränsle* och *återvunnet trädbränsle*.

Energiskogsbränsle utgörs idag främst av Salixodlingar på jordbruksmark, vilket trots markslaget och den relativt korta omloppstiden, räknas in bland trädbränslen.

Till trädbränslen kommer också andra snabbväxande trädslag som odlas fram på jordbruksmark att räknas, såsom till exempel hybridasp och olika poppelarter. Återvunnet trädbränsle utgörs såsom namnet antyder av till exempel gammalt emballage- och formvirke samt rivningsvirke.

Skogsbränslet, som utgörs av i stort sätt oanvänd trädbiomassa, delas ibland också upp i *primärt skogsbränsle* och *sekundärt skogsbränsle*.

Till de sekundära skogsbränslena räknas olika biprodukter från skogsindustrin som inte processats kemiskt såsom sågspån, kutterspån och bark.

Till de primära skogsbränslena räknas de avverkningsrester som vid enbart stamskörd blir kvar på avverkningsplatsen i form av grenar och toppar, så kallad grot, avverkningsstubbar samt på olika sätt tekniskt skadat virke som inte kan användas i industrin såsom röt-, brand- och stormskadat virke.

Till de primära skogsbränslena hör också okvistade klens stammar som skördats för energiändamål i röjning eller tidiga gallringar. I detta avsnitt avses fortsättningsvis oftast *primärt skogsbränsle* då ordet skogsbränsle används.

De sekundära skogsbränslena är till största delen intecknade idag, varför marknadstilväxten till största delen är beroende av ökade uttag av primära skogsbränslen där uttag av grot står för den största ökningen idag.

FAKTARUTA 1

Biomassa: Vikten av all levande substans, dvs den sammanlagda vikten av alla levande organismer, inom ett visst område. Vanligen utgörs biomassans huvuddel av växter. Inom energitekniken material med biologiskt ursprung som utnyttjas för produktion av biobränslen. Biomassa avser biologiskt material som inte, eller endast obetydligt, omvandlats kemiskt. Biomassa för energiändamål kan komma från skogsbruket, t.ex i form av avverkningsrester, eller från jordbruket, i form av energiskog, energigräs eller andra grödor.

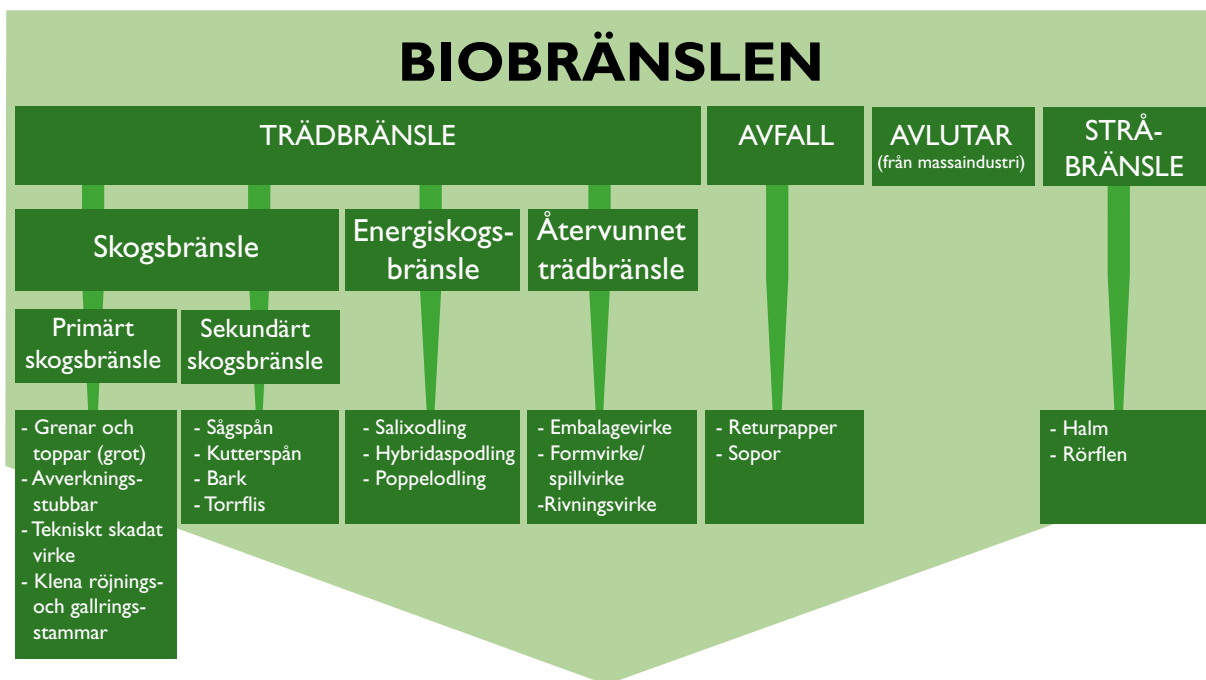
Biobränsle: Energiress som erhålls från någon typ av biomassa. Häri inbegrips även fasta, flytande och gasformiga bränslen som erhållits direkt eller indirekt ur olika typer av biomassa. I Sverige, men inte internationellt, anges även torv som möjligt ursprung för biobränslen.

Även massaindustrins lutar samt gödsel, hushålls- och industriavfall med biomassausprung, biogas och flytande bränslen framställda ur biomassa är biobränslen. Fasta biobränslen kan indelas efter förädlingsgrad, där ved, flis, pellets, briketter och träpulver är olika kategorier.

I många utvecklingsländer är biobränslen av olika slag den helt dominerande energiråvaran. I industriländerna används biobränslen i varierande omfattning och mest för storskalig produktion av värme och el. I Sverige uppgick användningen av biobränslen (inkl. massaindustrins lutar) 2007 till ca 120 TWh (motsvarande ca 19 % av Sveriges totala energitillförsel). Den starkt ökande användningen av biobränslen i Sverige beror på god tillgång på biobränslen, att skogsbränslen prisvärt kan konkurrera med andra energiråvaror samt att användningen av biobränslen har miljömässiga fördelar framför allt från klimatpåverkan synpunkt.

Trädbränsle: Bränsle där träd eller delar av träd är utgångsmaterial. Ved, bark, spån, industrins virkesavfall, rötter, röjnings- och gallringsvirke samt energiskog som används för värme- och elproduktion tillhör trädbränslen. Trädbränslen indelas efter sitt ursprung i skogsbränslen (stamved, avverkningsrester, gallrings- och röjningsvirke, bark), återvunnet trädbränsle (t.ex. rivningsvirke, spillvirke) och energiskogsbränsle (trädbränsle från snabbväxande träarter särskilt odlade för energiändamål).

Källa: Nationalencyklopedin.



Figur SB1 Skogsbränsle utgörs av grenar och toppar, så kallad grot, avverkningsstubbar, virke utan industriell användning (t ex röt-, brand- och stormskadat virke) samt ej kemiskt processade biprodukter från skogsindustrin såsom bark, torrflis, sågspån och kutterspån. Trädbränslen är ett vidare begrepp som emellertid inte omfattar kemiskt processade energibärare med sitt ursprung i biomassa från skogen såsom massaindustrins returpapper (svartlut) och returpapper.

Med skogsbränslesortimentet kommer också nya sorter och mått som kan vara svåra att greppa i början. I tabell SB1 visas omvandlingstal för några av de vanligaste energienheterna.

Tabell SB1 Omvandlingsfaktorer mellan några vanliga energienheter där GJ står för gigajoule, MWh för megawattimme, toe för ton oljeekvivalenter och Mcal för megakalori.

	GJ	MWh	toe	Mcal
GJ	1	0,28	0,02	239
MWh	3,6	1	0,086	860
Toe	41,9	11,63	1	10000
Mcal	0,00419	0,00116	0,0001	1

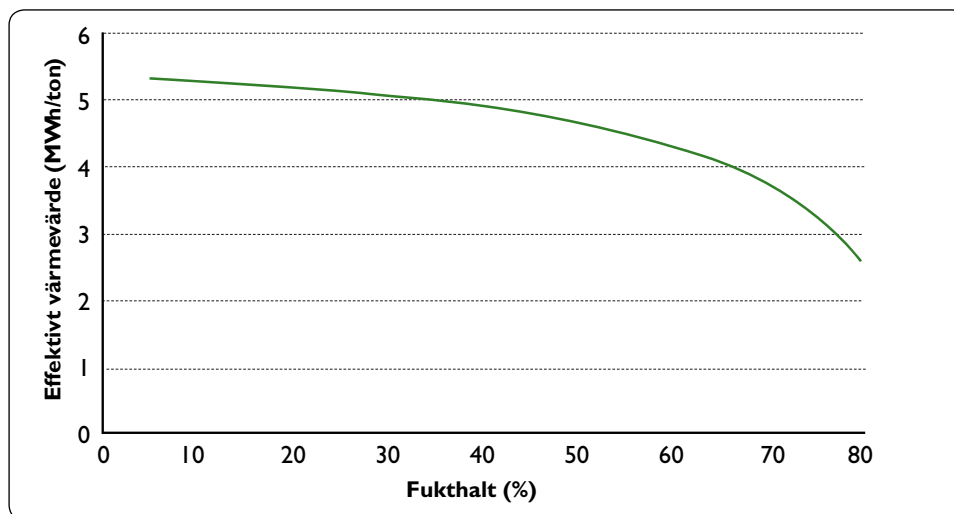
För att gaffla in enheterna till något som är lättare att relatera till kan det vara bra att veta att en MWh är lika mycket som 1 000 kWh (kilowattimmar). I tabell SB2 anges värmevärden för några olika energibärare.

Tabell SB2 Värmevärdet för några energibärare.

Källa: Energimyndigheten.¹

Bränsle	Fysisk kvantitet	MWh	GJ
Skogsflis	1 ton	2,00-4,00	7,20-14,4
Torv	1 ton	2,50-3,00	9,00-11,0
Pellets, briketter	1 ton	4,50-5,00	16,0-18,0
Kol	1 ton	7,56	27,2
Koks	1 ton	7,79	28,1
Råolja	1 m ³	10,1	36,3
Diesel och eldningsolja 1	1 m ³	9,96	35,9
Tjocka eldningsoljor nr 2 - 5	1 m ³	10,6	38,1
Naturgas	1000 m ³	11	39,7

Av tabellen framgår att spridningen i värmevärdet är stor för bränslen från skogen. Detta beror till del på skillnader mellan olika delar av ett träd och mellan olika träarter, men främst på olika fukthalt där värmevärdet minskar med ökad fukthalt (figur SB2). Det åtgår energi för att förångas det vatten som finns i bränslet. Kvar blir då det man kallar *effektivt värmevärde*. I moderna kraftvärmeverk tillgodogör man sig emellertid en hel del av den energi som åtgår för att förångas vatten.



Figur SB2 Effektivt värmevärde per ton trädbiomassa vid olika fukthalt beräknat med formeln $W_{\text{eff}} = W_k - 1,33 - 2,45 * (FH/(100-FH))^2$ där W_{eff} = effektivt värmevärde; W_k = kalorimetriskt värmevärde (här satt till 20,6 MJ per kg); FH = fukthalt (%).²

¹ Anon. 2011. *Energiläget 2011*. Statens Energimyndighet ET 2011:42.

² Thörnqvist T. 1985. Åtgångstal och verkningsgrad i en 18 MW hetvattenpanna med fast snedrost. SLU, inst. för virkeslära. *Rapport 165*.

Energi från skogen inget nytt

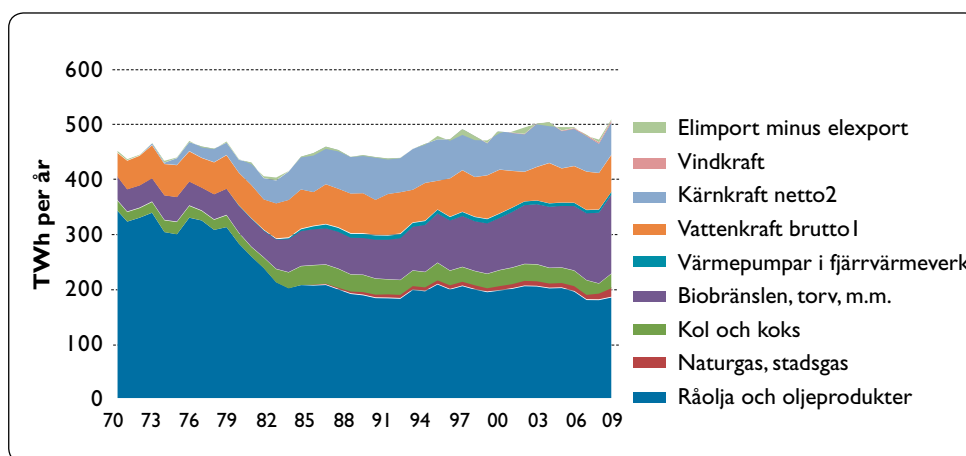
Även om skogsbränsle definieras som ett nytt sortiment har skogen använts som energikälla sedan människan lärde sig använda elden. Allt sedan dess har ved använts som energikälla och i sociala eller rituella sammanhang fram till våra dagar.

Under senare år har marknaden för olika energisortiment med sitt ursprung från skogen ökat markant. Dels som ett resultat av energipolitiken men också som ett resultat av ökade priser för alternativen och en medvetenhet om att flera av alternativen utgörs av ändliga resurser.

Politiskt drivs frågan främst av två skäl. Ett skäl är önskan att minska beroendet av importerad energi, främst då av fossila bränslen, i en tid då allt fler människor i världen gör anspråk på denna ändliga resurs och där mycket av de kända reserverna finns i politiskt oroliga delar av världen. Det andra skälet är kunskapen om hur klimatet kan komma att påverkas om vi fortsätter att använda fossila bränslen i den takt vi gör idag.

Genom att på olika sätt gynna förnybara energislag såsom bioenergi har Sverige idag en unikt hög andel bioenergiandel i vår totala energitillförsel.

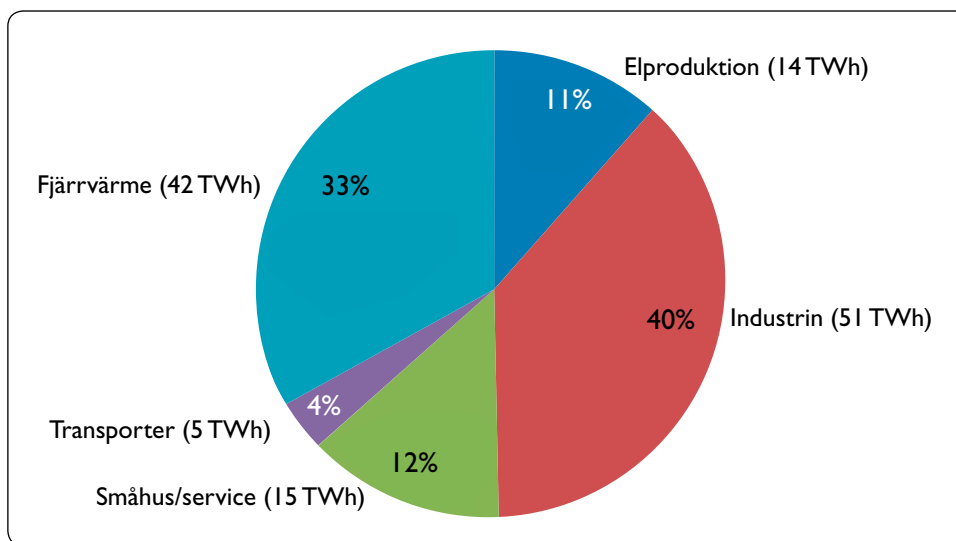
Figur SB3 visar att landets totala energitillförsel har ökat från 1970 fram till 2009, medan vissa energislag - såsom olja - har minskat sin andel samtidigt som andra - såsom kärnkraft och biobränslen - har ökat sina andelar. Vid jämförelsen bör man komma ihåg att ca 2/3 av kärnkraftens tillförda energi går förlorad som kylvatten ut i havet.



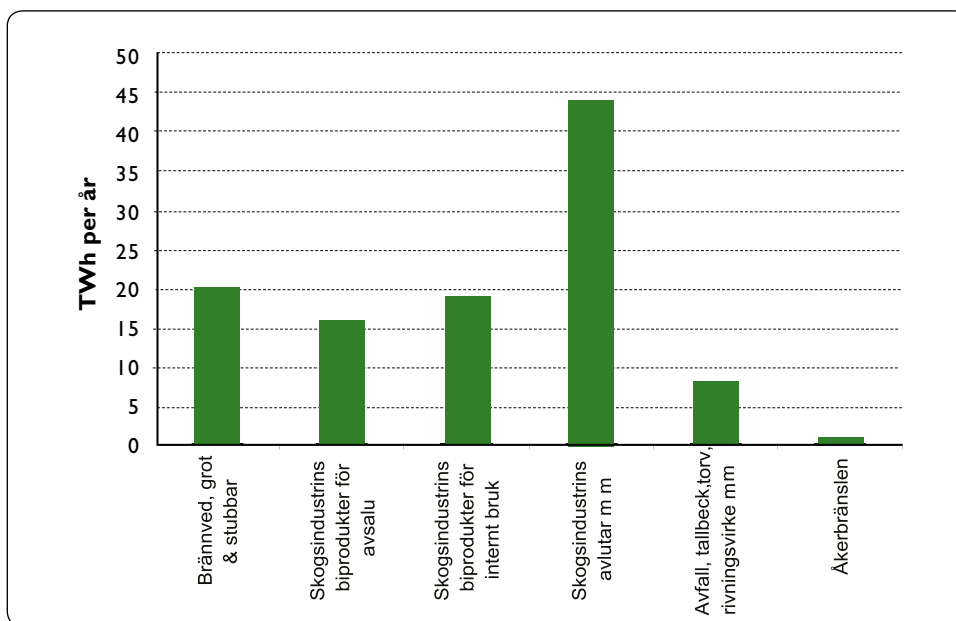
Figur SB3 Sveriges totala energitillförsel (TWh) 1970-2009.³

Av de 127 TWh (terawattimmar) - biobränslen (inklusive torv och avfall) som tillfördes 2009 användes den största delen i industrin - i första hand i skogsindustrin - och i fjärrvärmesektorn (figur SB4). Den största delen av användandet i småhus utgörs av hemved, men här vinner pelletsmarknaden nya kunder varje år. Fyra procent av biobränslena användes som drivmedel för transporter, vilket ungefär motsvarar samma andel av den totala energianvändningen i transportsektorn. Av biobränslena står biobränslen från skogen för den i särklass största delen och biobränslen från åkern står fortfarande för en blygsam andel (figur SB5).

³Anon. 2011. *Energiläget 2011*. Statens Energimyndighet ET 2011:42.



Figur SB4 Slut användningen av de 127 TWh bi bränslen som förbrukades i landet 2009 fördelat på olika sektorer (Källa: Energimyndigheten).⁴



Figur SB5 Tillförda bi bränslen 2005 fördelade på olika ursprung.⁵

⁴ Anon. 2011. *Energiläget 2011*. Statens Energimyndighet ET 2011:42.

⁵ Anon. 2007. *På väg mot ett oljefritt Sverige*. Kommissionen mot oljeberoende juni 2006

FAKTARUTA 2

Styrmedel för att gynna förnybar energi

I Sverige har ekonomiska styrmedel använts för att styra energiutvecklingen och användningen mot förnybara energikällor. Traditionellt har skatteverket använts där oönskade energislag har belagts med olika typer av skatter, medan de förnybara energislagen har åtnjutit skattebefrielse.

Idag har paletten utökats med mer marknadsbaserade styrmedel såsom *elcertifikatsystemet* (2003) och *handeln med utsläppsrätter* (2005).

I elcertifikatsystemet införs kvoter över andelen förnybar energi som marknaden måste uppnå och genom utsläppshandeln sätts ett tak för koldioxidutsläppen. Resultaten för de olika verktygen är därmed givna redan vid införandet, samtidigt som de överlåter åt marknaden att avgöra vilka åtgärder som ska genomföras för att resultaten skall nås.

Elcertifikatsystemet är ett marknadsbaserat stödsystem där handel sker mellan producenter av förnybar el och kvotpliktiga. I handeln med utsläppsrätter köps och säljs rättigheter att släppa ut växthusgaser inom Europa.

Till detta kommer *energieffektiviseringsprogrammet* (PFE) som riktar sig till svenska energiintensiva industriföretag, teknikupphandling för att främja framtagandet och utvecklandet av energieffektiv teknik samt olika styrmedel för att påverka energihushållningen i byggnader såsom:

Byggregler

Energideklarationer

Investeringsstöd till solvärme

Stöd till konvertering av uppvärmningssystem

Skattereduktion för installation av småskalig biobränsleanläggning i småhus

Skattereduktion för byte till energieffektiva fönster

Källa: Energimyndigheten.

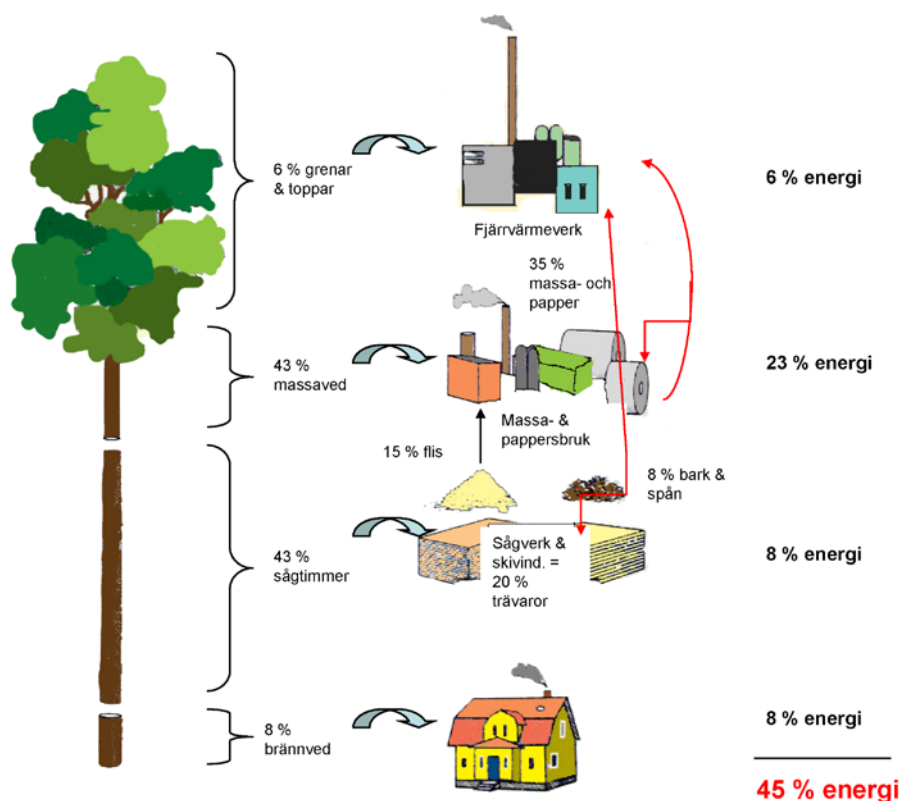
Framtiden för skogsbränslen

Skogsskötsel är jämfört med många andra verksamheter en långsiktig investering där varje beslut bygger på antagande om den framtida marknaden och det framtida behovet av intäkter från den egna skogen.

Vi upplever idag ett biobränsleintresse kanske större än någonsin. Men det var inte allt för länge sedan skogsbränslen var aktuella, nämligen under energikrisen på 1970-talet. Även då riktades blickarna mot avverkningsresterna i skogen och industrins restprodukter.

Läget nu är emellertid ett annat än då. Från att ha utgjort ett deponiproblem har skogsindustrins restprodukter successivt in-tecknats för energiändamål och idag utnyttjas nästan alla restprodukter i landet.

Detta illustreras väl i figur SB6 som visar att hela 45 % av den skogsbiomassa som avverkades i landet 2003 tämligen omgående omsattes till energi, antingen i industrin och i värmeverk eller i enskilda hus. Sedan 2003 har skörden av grenar och toppar ökat stadigt och marknaden söker ytterligare sortiment såsom klena stammar och stbbar. De skogsprodukter som produceras har dessutom ett energiinnehåll som i många fall återvinns senare då produkten är förbrukad. I slutändan har hela den skördade trädbiomassan potential att användas för energiändamål.



Figur SB6 Figuren visar biomassaandelen av olika sortiment i 2003 års avverkning i landet och hur den biomassan antingen direkt eller via strömmar från pappers och massa-industrin eller sågverksindustrin används för energiändamål. Hela 45 % av den skördade biomassan omsattes tämligen omgående till energi.⁶

⁶ Johansson, B. 2007. (red.) *Bioenergi till vad och hur mycket?* Formas Fokuserar.

Om ytterligare kvantiteter skogsbiomassa i form av restprodukter från skogsindustrin ska tillföras den svenska energimarknaden krävs energi-effektiviseringar eller strukturomvandlingar inom skogsindustrin.

Kvar i skogen finns emellertid en resurs i form av sådan biomassa som den traditionella skogsindustrin inte använder. I första hand utgörs denna av *grot*, stubbar, klens stammar och på olika sätt skadat virke såsom röt-skadat, bränt eller torkat virke. Därefter blir det konkurrens om i första hand massaveden. Lokalt eldar man redan idag en del massaved när inte tillräckligt med andra skogsbränslen har kommit ut ur skogen.

Samtidigt tas nya investeringsbeslut på energianläggningar baserade på biomassa i en rask takt i landet. Ett genombrott när det gäller någon av teknikerna för att ta fram drivmedel från trädbiomassa kommer på ett påtagligt sätt att ytterligare öka efterfrågan. Det mesta talar därför för att skogsbränslen kommer att vara efterfrågade under de kommande decennierna.

Import osäkerhetsfaktor

Bland osäkerhetsfaktorerna märks i första hand import av biomassa där all biomassa som hamnat på en båt kan bära sina kostnader över långa avstånd. Kanada och Ryssland är exempel på två mycket stora skogsländer som samtidigt har stora förråd av andra energialternativ – inte minst fossila bränslen – vilket hämmar utvecklingen av biobränslen inom det egna landets gränser.

Båda dessa länder har därför en stor exportpotential. Svårigheten ligger i att med bibehållen ekonomi få det bulkiga, relativt lågt prissatta skogsbränslet på en båt. Inte minst då infrastrukturen inom dessa länders skogsområden är svagt utvecklad. Hur mycket av denna potential som kommer ut på marknaden är därför svårt att bedöma idag.

I Kanada har tallskogarna, framförallt de i British Columbia, angripits och dödats av en barkborre (mountain pine beetle) vilket resulterat i stora mängder död ved på rot i landets skogar. Totalt finns det bedömningar som pekar mot att barkborreangreppen har skapat så mycket som 1 miljard kubikmeter död ved. Delar av denna potential har nått biobränslemarknaden och det kommer att dyka upp fler tillfällen där stora volymer ved plötsligt blir tillgängligt på marknaden på grund av skadegörare samt snö- och vindskador. Denna slumpmässiga tillförsel av råvara är emellertid inget det går att planera för.

Potential för export

I stora delar av världen finns också en potential till ökad biomassaproduktion för export till en växande energimarknad. Bedömningar av den potentialen är svåra att göra då de bygger på ett flertal olika antaganden – bland annat hur stora arealer odlingsmark som finns tillgänglig för energiodlingar, vilka grödor som kommer att användas och vilken produktion dessa kommer att ha. Här finns en mängd olika bedömningar om den globala biomassapotentialens storlek.^{7 8 9}

⁷ Berndes G, & Magnusson L. 2006. The future of bioenergy in Sweden – Background and summary of outstanding issues. Energimyndigheten. *Rapport 30*.

⁸ Berndes G, Hoogwijk M & van den Broek R. 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25, 1-28.

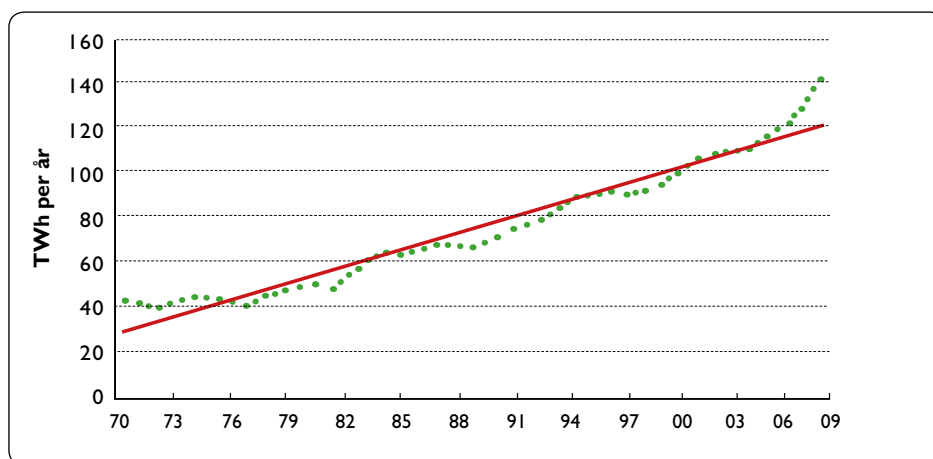
⁹ Hoogwijk M, Faaij A, van den Broek R, Berndes G, Gielen D & Turkenburg W. 2003. Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy*, 25, 119-133.

Global brist kan uppstå

Den europeiska avfallslagstiftningen förbjöd deponi av organiskt och biologiskt material 2005, vilket resulterade i att en hel del centraleuropeiskt avfall hamnade på den svenska energimarknaden där det redan fanns förbränningsanläggningar godkända för förbränning av avfall. Med de ambitioner och mål som EU har satt vad gäller andelen förnybar energi kommer detta flöde sannolikt successivt att avta allt eftersom nya moderna förbränningsanläggningar byggs runt om i Europa.

När det gäller flöden av biomassa från övriga världen beror mycket på vilka ambitioner och politiska beslut som fattas i andra länder. Bestämmer man sig över stora delar av världen för att öka andelen bioenergi väsentligt kommer detta, med dagens höga energikonsumtion, att leda till en global bristsituation.

Osäkerheterna till trots så är trenden i landet klar med en stadig ökning för bioenergin motsvarande 2 TWh per år under de senaste 30 åren och hela 3 TWh per år under de senaste 10 åren (figur SB7).



Figur SB7 Total tillförsel av bioenergi och torv i Sverige 1970-2009.³

Till detta kan man sedan lägga de nya mål för andelen av förnybar energi inom unionen som EU-kommissionen antagit nämligen:

- 20 % förnybara energikällor
- 20 % lägre CO₂-utsläpp än år 1990
- 10 % av drivmedlen från förnybara energikällor.

Målen är tänkta att nås genom såväl energieffektivisering som energiomställning. Fördelningen av bördan mellan EU:s medlemsländer, baserad på ländernas ekonomi och förutsättningar för förnybar energi, presenterades av kommissionen den 23 januari 2008. För Sveriges del gäller att fram till år 2020:

- öka andelen förnybar energi i energibalansen från dagens 40 % till 49 % (baserat på energianvändningen)
- minska utsläpp av koldioxid med 17 % jämfört med 2005 års nivå.

Procentsiffror är alltid svåra att tolka. Något lättare blir det om man tittar i backspegeln. Under perioden 1983-2006, det vill säga under en period på dryga 20 år, har Sverige presterat en ökning med 9 % av den förnybara energin. Nu ska detta klaras av under 13 år samtidigt som mycket av de lågt hängande frukterna redan är plockade – nämligen utnyttjandet av skogsindustrins restprodukter samt en bred introduktion av biobränslen i värmesektorn.

Ska detta klaras av innebär det med all säkerhet en hetare marknad för biomassa i Sverige och Europa samtidigt som möjligheter för sol-, vind- och vattenkraft måste räknas in tillsammans med kraftfulla energieffektiviseringar i alla sektorer.

Hur mycket skogsbränsle finns det?

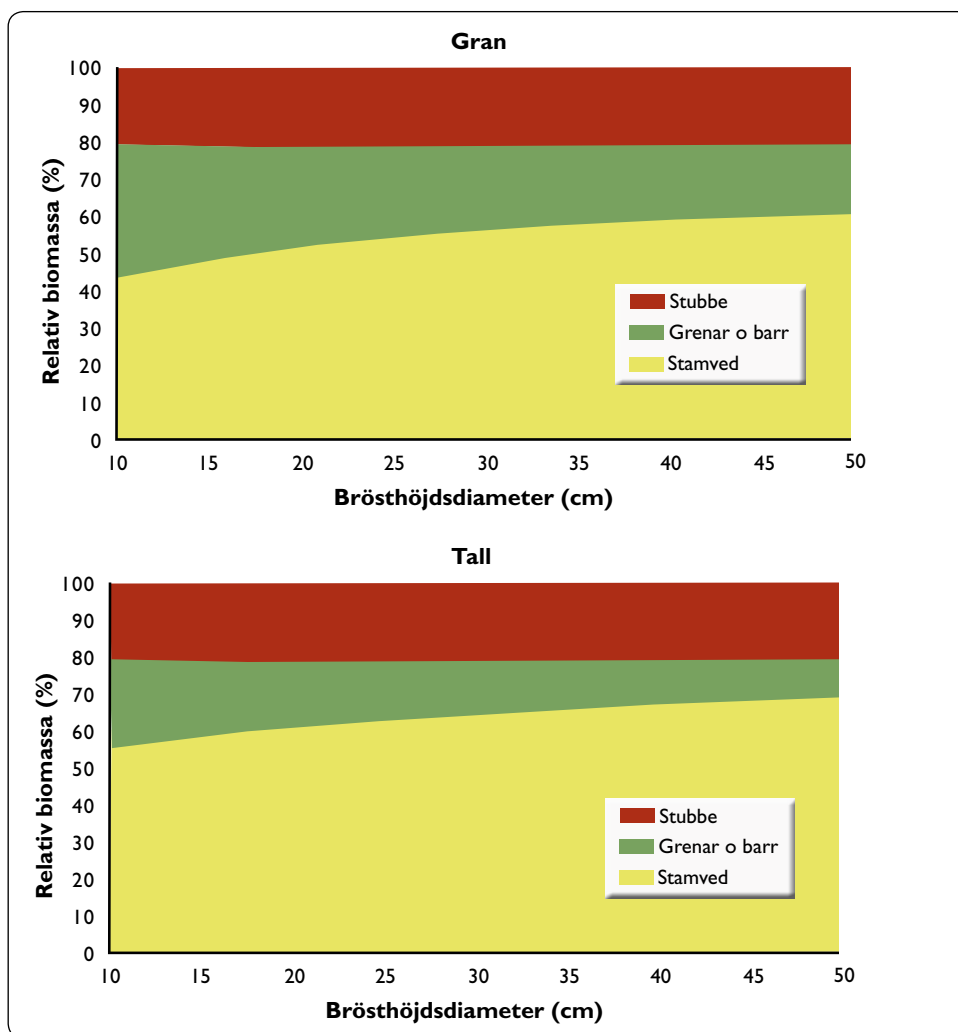
Detta är en fråga som ofta förekommer och naturligtvis ett viktigt underlag för energiindustrin i samband med investeringsbeslut. Det är också viktigt att förstå skillnaden mellan maximalt fysiskt tillgängligt skogsbränsle och den mängd som realiserar på energimarknaden samt vilka faktorer som kan påverka den mängden på kort och lång sikt.

Då merparten av restprodukterna från skogsindustrin redan är in-tecknade kan skogen på kort sikt bara bidra ytterligare genom:

- ökad skördeintensitet genom skörd av grenar, toppar, stubbar och klena stammar
- omfördelning av stamved mellan skogs- och energiindustri
- import av rundvirke och skogsbränsle
- utökad skogsindustrikapacitet.

I dagsläget är det främst genom ökad skördeintensitet som den ökade efterfrågan på skogsbränsle från energimarknaden möts. Därför ställs ofta frågan hur mycket sådant skogsbränsle som finns och kommer att finnas ute i våra skogar. För att kunna ge ett bra svar på den frågan krävs kunskap om det stående förrådet, dess framtida tillväxt, vilka avverkningsnivåer man kan förvänta sig samt hur biomassan fördelar sig mellan olika fraktioner i ett träd.

Biomassans fördelning skiljer sig åt mellan trädslagen och inom ett och samma trädslag förändras fördelningen med trädets storlek (figur SB8). Dessutom skiljer sig densiteten mellan olika arter och mellan olika trädindivider inom art. Fördelningen påverkas också av ståndorten och beståndshistoriken. Vi behöver inte ta hänsyn till detta i grova skattningar, men det blir naturligtvis viktigare då biomassan i ett enskilt bestånd skattas.



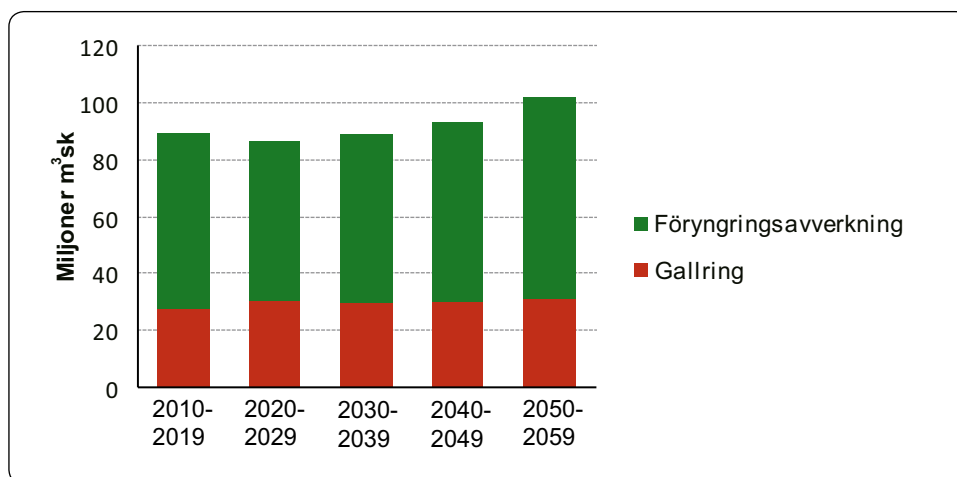
Figur SB8 Andel av den totala trädbiomassan (%) i stamved, grenar och barr samt stubbved vid ökande brösthöjdsdiameter hos gran och tall enligt Marklunds biomassafunktioner.¹⁰

Av figur SB 8 framgår att stubbens andel av den totala biomassan är förhållandevis konstant över trädstorlek och i stort sätt lika för de båda trädslagen, medan grotandelen minskar med ökande diameter. Grotandelen är dessutom lägre för tall jämfört med gran.

Med en uppfattning om hur stor avverkningen kommer att vara i landet framöver går det att grovt skatta den fysiska maxpotentialen skogsbränsle i stubbar och grot. Regelbundet genomförs så kallade skogliga konsekvensanalyser baserade på uppgifter från den omfattande årliga inventeringen av svensk skog (Riksskogstaxeringen¹¹), olika antaganden om skogarnas skötsel och skörd samt tillväxtmodeller. I SKA 08 (skogliga konsekvensanalyser 2008) togs framtida avverkningsnivåer fram för olika skötselscenarier. I referensscenariet, som förutsätter nuvarande skogsskötsel, beslutad miljöpolitik till år 2010, och en ökad tillväxt på grund av ett förändrat klimat, pendlar de årliga avverkningsnivåerna mellan 90 och 100 miljoner skogskubikmeter per år.

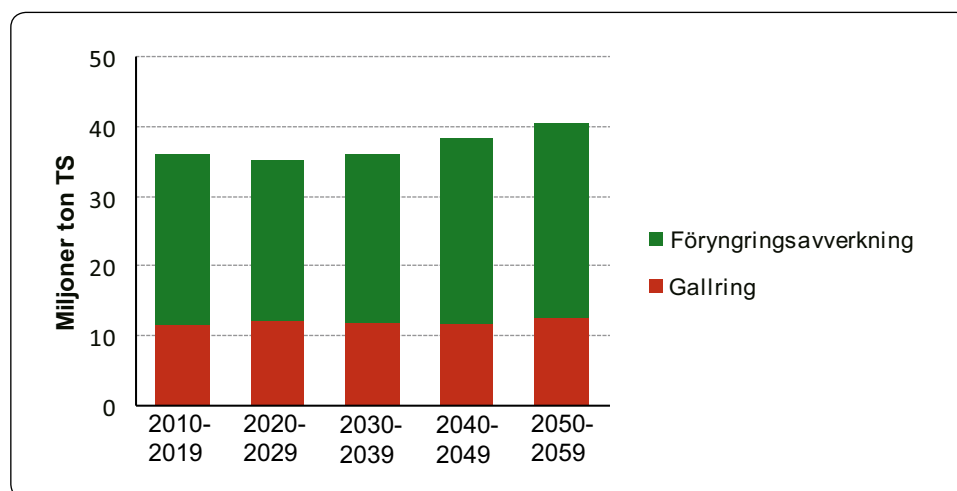
¹⁰ Marklund L. G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. SLU, inst. för skogstaxering. Rapport 45.

¹¹ <http://www-riksskogstaxeringen.slu.se/>



Figur SB9 Skattad årlig avverkning av rundved (miljoner skogskubikmeter) i gallring och slutavverkning för 10-årsperioder fram till 2059 förutsatt nuvarande skogsskötsel, beslutad miljöpolitik till år 2010, samt ökad tillväxt på grund av ett förändrat klimat enligt scenario ”referens”, SKA 08 (SLU).¹²

Med denna kunskap och ett antagande om att medeldensiteten för denna avverkade volym ligger på 400 kg per kubikmeter kan den avverkade volymen också uttryckas i mängd biomassa (figur SB10).

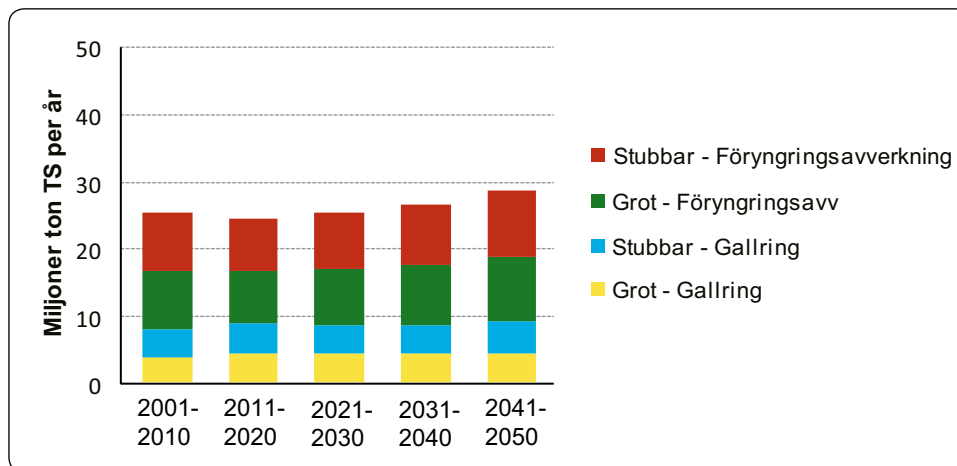


Figur SB10 Skattad årlig avverkning av stambiomassa (miljoner ton torrsubstans) i gallring och slutavverkning för 10-årsperioder fram till 2059 förutsatt nuvarande skogsskötsel, beslutad miljöpolitik till år 2010, samt ökad tillväxt på grund av ett förändrat klimat enligt scenario ”referens”, SKA 08 (SLU).¹³

Marklunds biomassafunktioner ger nu en indikation om hur grot- och stubbiomassan förhåller sig till stamvedsbiomassan (jämför med figur SB8). Med ett antagande om att toppen motsvarar 5 % av stamvedsbiomassan bidrar grot och stubbar med ytterligare 35 % biomassa vardera, eller totalt 70 % (figur SB11).

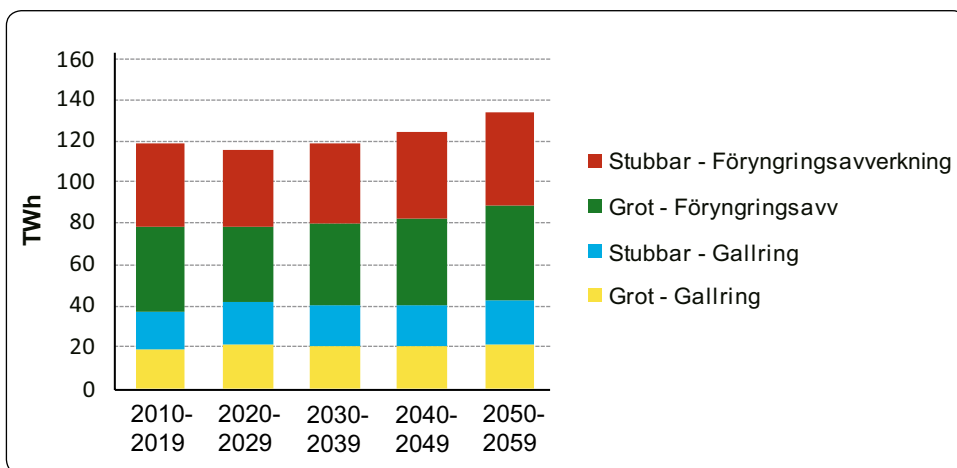
¹² Anon. 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008 - SKA-VB-08. Skogsstyrelsen Rapport 25.

¹³ Anon. 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008 - SKA-VB-08. Skogsstyrelsen Rapport 25.



Figur SB11 Skattad årlig maximalt tillgänglig biomassa i form av grot och stubbar i gallring och slutavverkning för 10-årsperioder fram till 2059 förutsatt nuvarande skogsskötsel, beslutad miljöpolitik till år 2010, samt ökad tillväxt på grund av ett förändrat klimat enligt scenario "referens", SKA 08 (SLU).¹⁴

För att sätta dessa mängder i relation till dagens energianvändning i landet kan biomassan räknas om till effektivt värmevärde. Med ett antagande om att fukthalten i biomassan ligger på 50 % får vi enligt figur SB12 ett effektivt värmevärde på 4,7 MWh per ton torr trädbiomassa (råvikt 1,5 ton) vilket motsvaras av 4,7 TWh per miljoner ton torr trädbiomassa.



Figur SB12 Energiinnehållet i avverkningsrester (50 % fukthalt, 4,7 TWh per miljoner ton TS) i den skattade årligt maximalt tillgängliga biomassan i form av grot och stubbar fördelat på gallring och slutavverkning för 10-årsperioder fram till 2059 förutsatt nuvarande skogsskötsel, beslutad miljöpolitik till år 2010, samt ökad tillväxt på grund av ett förändrat klimat enligt scenario "referens", SKA 08 (SLU).¹⁴

¹⁴ Anon. 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008 - SKA-VB-08. Skogsstyrelsen Rapport 25.

Hur mycket når marknaden?

Av den i figur SB12 beskrivna maximalt tillgängliga kvantiteten grot och stubbar skördades 2006 ca 8 TWh i form av grot. Kvar finns ändå skogsbränsle motsvarande ca 110 TWh fysiskt tillgängligt med dessa avverkningsnivåer. Det svåra är att gå från maximalt fysiskt tillgänglig potential till en rimlig bedömning av vad som kan tänkas realiseras på en marknad.

Skogsindustrierna bedömde grotpotentialen i landet till 15 TWh och stubbpotentialen till 5,1 TWh, vilket ska jämföras med den fysiska maxpotentialen enligt figur SB12 på upp mot 60 TWh i vardera grot och stubbar.¹⁵

En ofta citerad bedömning gjordes av SLU 1998, där man i bedömningen av utbudet på medellång sikt (2010) utgick från en avverkningsnivå på 87 miljoner kubikmeter stamved.¹⁶ Efter ekologiska och tekniska restriktioner landade man på en årlig leverans motsvarande 43 TWh grot. Begränsades uttaget också med ekonomiska restriktioner med en kostnad i dåtidens penningvärde som inte fick överstiga 115 SEK per MWh begränsades grotpotentialen till 32 TWh. Det vill säga fortfarande dubbelt så mycket som i Skogsindustriernas bedömning.

I SLU-studien skattades inte potentialen i stubbar överhuvudtaget. Oljekommissionen bedömde i sitt slutbetänkande¹⁷ att den framtida årliga tillförseln från brännved, grot och stubbar borde kunna nå 40 och 52 TWh till år 2020 respektive 2050. För att göra siffrorna mer jämförbara med övriga skattningar ovan kan nämnas att användningen av brännved idag ligger på ca 10 TWh.

Restriktioner kan begränsa utbud

Skillnaden i skattningarna beror främst på olika antaganden om de restriktioner som trots tillgång i skogen kan komma att begränsa utbudet av skogsbränsle. Den fysiska maxpotentialen utgör ett absolut tak och den på marknaden realiserade potentialen påverkas av ett antal restriktioner såsom:

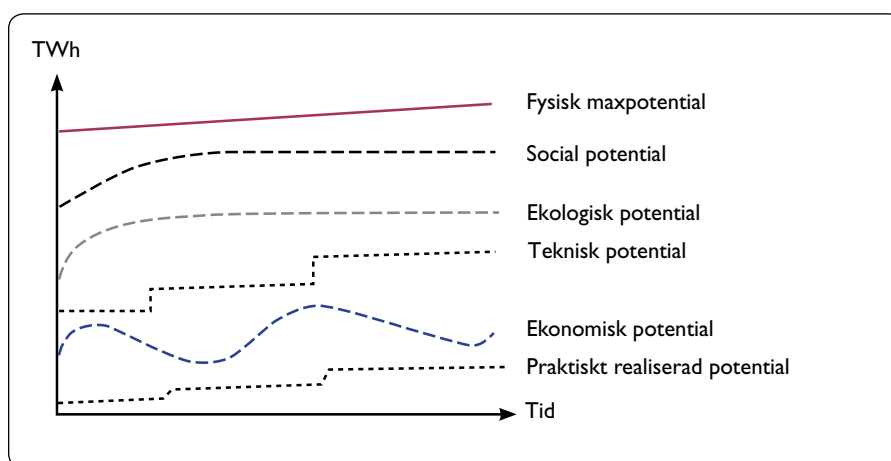
- *Tekniska restriktioner* som i många fall är tydligt kopplade till ekonomiska restriktioner. Det vill säga befintlig teknik och logistik sätter gränser för vilka kvantiteter det är lönsamt att ta ut ur våra skogar. Det finns dock stor potential för att utveckla teknik och logistik vid skörd av sådan biomassa som tidigare lämnades kvar i skogen vid stamvedsskörd. I stort sätt hela den teknik- och produktivitetsutveckling som skogsbruket har genomgått har riktat in sig på skörd av enskilda stammar för leverans till massa- och pappersindustrin samt sågverken. Idag då biomassan i grenar, toppar, stubbar och klena stammar också har ett kommersiellt värde finns mycket utvecklingsarbete kvar att göra.

¹⁵ Jacobsson J. 2005. *En uppdatering av kunskapsläget beträffande tillgång och efterfrågan på biobränsle*. Rapport, Skogsindustrierna.

¹⁶ Lönner G, Danielsson B O, Vikinge B, Parikka M, Hektor B & Nilsson P O. 1998. *Kostnader och tillgänglighet för träbränslen på medellång sikt*. SLU, inst. för skog- och industri-marknad studier. *Rapport 51*.

¹⁷ Anon. 2007. *På väg mot ett oljefritt Sverige*. Kommissionen mot oljeberoende juni 2006. Johansson, B. (red.) *Bioenergi till vad och hur mycket?* Formar Fokuserar.

- *Ekonomiska restriktioner* styrs i grunden av prissättningen på biomassa för energiändamål och hur detta pris förhåller sig till kostnaderna för att leverera biomassa. Men potentialen styrs också av prissättningen på skogsråvaran för skogsindustrin och därmed lönsamheten för skogsindustrin då en stor del av energiflödena av skogsbiomassa för energiändamål går via skogsindustrin. Idag har skogsbränslemarknaden satt ett golv för massavedspriset, vilket ökar flödet av massaved till energiindustrin under lågkonjunktur. Andra viktiga faktorer här är hur privata skogsägare värderar sitt skogsinnehav och vad de önskar få ut av det i form av pengar eller andra värden.
- *Ekologiska restriktioner* som kopplar till andra värden som brukare av våra skogar förväntas ta hänsyn till, nämligen biologisk mångfald, skogsmarkens långsiktiga produktionsförmåga, fysiska och kemiska effekter på skogsmarken och därmed på grundvatten och omgivande sjöar, vattendrag och hav. Den ekologiska potentialen påverkas också direkt av lagar såsom miljöbalken och skogsvårdslagen liksom av de certifieringsstandarder som finns kring den certifierade delen av svenskt skogsbruk, vilket idag omfattar merparten av skogsarealen inom ramen för två certifieringssystem, Forest Stewardship Council (FSC) och Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC).
- *Sociala restriktioner* påverkas av allmänhetens uppfattning om vad som är rimlig exploatering av biomassa i naturresursen skog. Här ingår annan alternativ markanvändning såsom rennäring, jakt, friluftsliv, svamp- och bärplockning samt hänsyn till forn- och kultur lämningar. Delar av detta regleras i kulturminneslagen, skogsvårdslagen och rennärlagen. Det ingår också delvis i FSC:s och PEFC:s certifieringsstandarder.



Figur SB13 Principfigur som illustrerar hur den praktiskt realiserade biomassapotentialet förhåller sig till den fysiska maxpotentialen över en tänkt tidsaxel. Nivåerna på de olika linjerna gör inget anspråk på att ligga nära verkligheten.¹⁸

¹⁸ Figuren bygger på en figur ur: *Bioenergi från jordbruket – en växande resurs*. SOU 2007:36. 2007.

Alla dessa faktorer behöver vägas in vid bedömning av den framtida biomassapotentialet från den svenska skogen. Principiellt beskrivs detta i figur SB13 där den praktiskt realiserade potentialen på grund av olika restriktioner hamnar betydligt lägre än den fysiska maxpotentialen.

I figur SB13 ligger den fysiska maxpotentialen fast på en given nivå. För skog gäller detta på i skogliga sammanhang kort sikt (0-30 år). På längre sikt (30-80 år) finns möjlighet att öka den fysiska potentialen genom produktionshöjande åtgärder.

En stor del av kunskapen om hur skogsproduktionen kan ökas finns redan idag. Men i flera fall behöver teknik och logistik vässas samtidigt som nya riskbedömningar behöver göras både vad avser miljöeffekter och säkerheten i den långsiktiga skogsproduktionen innan dessa åtgärder kan rekommenderas i större skala.

Förbättrad skogsskötsel

Försök har gjorts att uppskatta vad olika skogsskötselinsatser såsom, bättre kvalitet i föryngringsarbetet, förädlad plantmaterial, mer snabbväxande trädslag, gödsling, intensivgödsling, dikesrensning etc, kan ge i form av ökad skogsproduktion och därmed avverkningspotential.

I en sådan undersökning landade den maximala produktionsökningen på 42 % och den bedömda rimliga ökningen på 20 % i förhållande till dagens.¹⁹ Det är viktigt att understryka att denna ökning, på grund av de långa omloppstiderna i skogsbruket, realiseras först om 50-100 år. Huvudbudskapet i undersökningen var att traditionella skogsskötselåtgärder såsom förbättrat föryngringsarbete och användning av förädlade plantor har störst betydelse för ökad tillväxt eftersom de har potential att direkt verka på stora arealer och kräver små beslut och en liten investering för den enskilde skogsägaren.

Mer spektakulära åtgärder med större tillväxteffekt är ofta mer kostsamma och krävande för skogsägaren, samtidigt som de kan kräva olika typer av miljöprövningar innan de tillåts varför de får svårare att snabbt erövra stora arealer. Därmed får de inte så stor betydelse för den nationella biomassaförsörjningen men kan naturligtvis göra stor skillnad på en lokal marknad där satsningar görs.

I den så kallade MINT-utredningen²⁰, bedömdes att skogsproduktionen skulle kunna fördubblas på den mark som tas i anspråk för mer produktionsintensiv skogsskötsel. Den produktionsintensiva skogsskötseln omfattar olika gödslingsregimer, förädlad plantmaterial och snabbväxande trädslag såsom contorta tall. Om 15 % av skogsmarken togs i anspråk idag skulle den möjliga årsavverkningen på sikt kunna öka med 30 miljoner kubikmeter. Intensivodling på 400 000 ha nedlagd åkermark skulle kunna ge ytterligare 6 miljoner kubikmeter. Stamvedsvolymer som också ger motsvarande potentialer i form av grot och stubbar.

¹⁹ Rosvall O. 2007. Produktionspotentialen är betydligt högre än dagens tillväxt. I: Skogsskötsel för en framtid. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* nr 4, 13-30.

²⁰ Larsson S, Lundmark T & Ståhl G. 2008. Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885, SLU.

Skogsbränsleuttag i praktiken

Dagens skogsbränsleuttag består i första hand av grenar och toppar (grot) som tas ut i samband med föryngringsavverkning men en del skördas också i form av långa okvistade toppar och klena stammar. Till detta kommer skadad stamved, såsom rötskadad eller brandskadad ved, som inte håller den kvalitet som skogsindustrin kräver. Lokalt går också en del massaved direkt till förbränning. Ett nyvaknat intresse för stubbar som skogsbränsleråvara gör att viss testverksamhet pågår - dels för att utvärdera lönsamheten i stubbskörd men inte minst för att utvärdera miljöeffekter av stubbskörd.

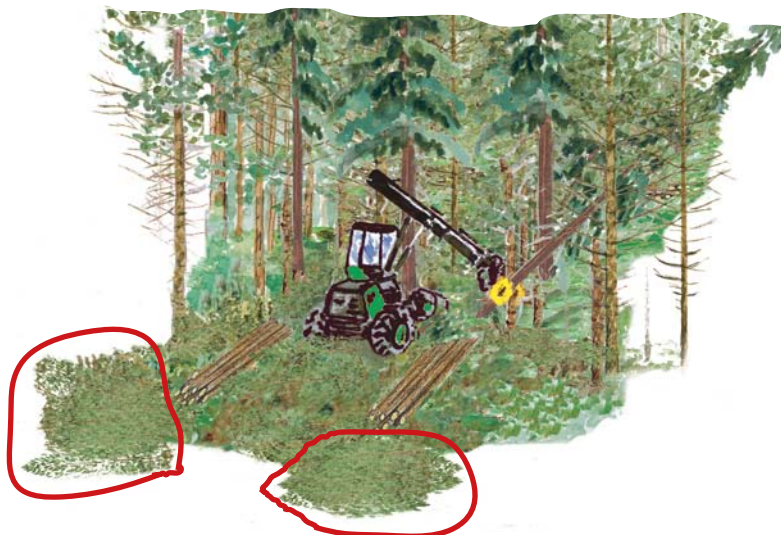
Fortfarande är skogsbränsle till stor del ett avverkningsavfall som man, i samband med stamvedsuttag, försöker samla ihop, mellanlagra och transportera så effektivt som möjligt. Framtiden för skogsbränslen ser emellertid ljus ut i perspektivet av de ökade energipriserna, den ökade medvetenheten om miljöproblemen med andra energislag och de politiska viljetrytningarna inom den Europeiska unionen. Efterfrågan på skogsbränslen ökar också för varje år. Det är därför troligt att en hel del kommer att hända på teknik och logistiksidan för att effektivisera skörd, mellanlagring och transport av hela träd-biomassan. Dessutom finns det anledning att se över skogsskötselssystemen och hur de kan optimeras med ytterligare ett huvudsortiment, skogsbränsle, fullt ut integrerat med massaved och sågtimmer. Däremot finns risk att helt revolutionerande teknikutveckling för integrerad skörd av skogsbränsle får vänta tills marknaden för skogsbränslen blir stor i fler skogsländer än Sverige och Finland.

Skogsbränsleuttag i föryngringsavverkning

Huvuddelen av det skogsbränsle som skördas i landet tas ut i föryngringsavverkning där de största mängderna finns att hämta. Då gran har mer biomassa i grenar (jämför med figur SB8) än andra vanliga svenska trädarter inriktas uttagen främst mot grandominerade bestånd på lite bättre mark. Andra kriterier som avgör objektens lämplighet för skogsbränsleskörd är bland annat objektens storlek, terrängtransportavstånd och terrängförhållanden, avstånd till slutanvändare och transportfordon (bil, tåg, båt) och dagspriset på råvaran.

Grot

Vid uttag av grot i föryngringsavverkning tillämpas så kallad bränsleanpassad avverkning. Med detta menas att avverkningsresterna läggs upp på sidan av körvägen där högar med grenar och toppar varvas med massaved och sågtimmer (figur SB14).



Figur SB14 Figuren visar hur skogsbränsle i form av grenar och toppar läggs upp i högar på sidan av skördarens körväg varvat med rundvedssortimenten. Illustration Bo Persson.

Genom detta avverkningsystem underlättas senare lastning och vidaretransport av bränslet, samtidigt som man minskar mängden bränslekvalitetssänkande föroreningar i form av sten och grus i bränslet. Högarna får normalt sedan ligga kvar på hygget en tid med förhoppningen att en del av de näringsrika barren ska falla av på hygget samtidigt som bränslet torkar. Både den därmed minskade askhalten och fukthalten är kvalitetshöjande för bränslet samtidigt som näringsuttaget från skogsmarken minskar.²¹ Det har emellertid visat sig svårt att få barren kvar på hygget med den teknik som används idag trots att barren släppt från grenaxlarna.²² Avgörande är tiden och vädret under torkperioden på hygget, men också vädret i samband med att bränslet skotas ut till väg eller sönderdelas,²³ alternativt buntas på hygget, där fuktig väderlek gör att barren klibbar fast i riset och därför till stora delar följer med bränslet. Försök har också gjorts att avbarra bränslet i samband med att groten komprimeras till ”grotstockar”.²⁴

Från de bränsleanpassade grothögarna tillämpas några olika system innan bränslet transporteras vidare till förbränningsanläggningen:

- Skogsbränslet transporteras med skotare till vältor på hygget eller vid bilväg där det mellanlagras ytterligare en tid (figur SB15). Vanligtvis täcks vältan med papper för att minska återfuktningen. Vältan sönderdelas sedan på plats för vidaretransport till förbränningsanläggning eller så transporteras skogsbränslet intakt till terminal eller slutanvändare där det sönderdelas.

²¹ Jacobson S. 2000. Skörd av färsk eller avbarrad GROT - växtnäringsaspekter. SkogForsk. *Arbetsrapport* 450.

²² Filipsson J & Nordén B. 2001. Avbarrning av skogsbränsle – pilotstudie av aktiv avbarrning av trädrester med skotargrip vid lastning. SkogForsk, *Arbetsrapport* 488.

²³ Sönderdelning används här och i fortsättningen som samlingsnamn för olika principer att finfördela skogsbränslet såsom flisning och krossning

²⁴ Bohm Larsson M. 2004. Fraktionsfördelning och näringsuttag vid Wood Pac buntning av färsk GROT. SLU, inst. för skogsskötsel. *Examensarbeten* nr 16.

- Ingen grotkotning utan skogsbränslet sönderdelas direkt från högarna på hygget. Transport till förbränningsanläggning.
- Komprimering av skogsbränslet, vidaretransport till terminal eller slutanvändare där det sönderdelas. Här finns några olika tekniska lösningar som skapar så kallade ”grotstockar”, vilka genom sin stockform kan hanteras med i stort sätt samma transportsystem som timmer och massaved (figur SB16). Systemet kräver en sönderdelningsutrustning som kan hantera hela grotstockar.

Av dessa system är det första det helt dominerande medan det sista vinner mark samtidigt som det fortfarande ligger på försöksstadiet.



Figur SB15 Grot som mellanlagras i skogen. Täckpappen bidrar till att bränslet inte återfuktas i samma utsträckning som utan täckning. Foto Södra Skogsenergi.



Figur SB16 Grothögar efter bränsleanpassad avverkning komprimeras till grotstockar. En av fördelarna med systemet är att grotstockarna kan transporteras med konventionell transportutrustning för rundved. Foto Gustaf Egnell.

Okvistad skogsbränsletopp

Andra system som testas eller praktiseras i mindre skala är olika varianter av helträdshantering där grenar och toppar hanteras med hela den okvistade stammen eller med trädet kapat i längder, så kallade träddeklar. En sådan metod, som för skogsägaren kan vara lönsam, är den så kallade ”långa-topparmetoden”. I systemet kapas toppen vid en grövre toppdiameter än vad som är normalt vid konventionell skörd av massaved och sågtimmer. Toppdiametern kan då styras av prisskillnaden mellan skogsbränsle och massaved samt transportavståndet eller transportkostnaden till köparen. I vissa fall kan det vara lönsammast att kvista och kapa sågtimret och någon massavedsbit, för att först därefter kapa en skogsbränsletopp.

I andra fall kan det vara mer lönsamt att bara kvista och kapa sågtimmerdelen, medan resterande del av trädet lämnas som en okvistad skogsbränsletopp. Här finns också utrymme för att även ta med kapade kvistar i skogsbränsleuttaget – men det normala är att dessa lämnas.

En fördel med att lämna dessa kvistar är att de kan utnyttjas som underlag i körvägen och därmed minska markkompaktering och spårbildning. Detta gör att systemet lämpar sig för fuktiga finjordsrika marker med dålig bärighet. För skogsägaren ger detta system ofta bättre rotnetto än såväl rena grot-system, där skogsbränslet i form av grenar och toppar samlas in efter kvistning i högar, som system där endast timmer och massaved skördas.^{25 26} Den nationella råvaruförsörjningen till massa- och pappersindustrin minskar däremot med detta system.

Stubbar

Intresset för skörd av stubbar har ökat under senare år. Bland annat därför sammanfattades kunskapsläget om stubbskörd med inriktning mot produktions- och miljöeffekter av stubbskörd i en rapport finansierad av Energimyndigheten.²⁷ Mycket av det som återges här har sitt ursprung i den. I rapporten konstateras att det för närvarande skördas begränsade mängder stubbar i Sverige, i första hand på försöksbasis, medan verksamheten i Finland redan är mer omfattande. Då verksamheten just har kommit igång råder det en viss osäkerhet om vilken teknik som kommer att användas framöver och vilken miljöprestanda stubbskörd har.

I dagsläget använder man sig i stort av samma teknik som togs fram under 1970-80 talet med några speciellt framtagna stubbskördarhuvuden monterade på en bandgående grävmaskin (figur SB17).

²⁵ Liss J-E. 2006. *Långa toppar - metod för uttag av skogsbränsle i slutavverkningar*. Slutrapport för projekt 21937-1. Energimyndigheten.

²⁶ Hörnlund T, Lundmark T, & Egnell G. 1999. A comparison between different methods for extracting wood fuel after clear-felling. I: *Developing Systems for Integrating Bioenergy into Environmentally Sustainable Forestry*. Proceedings of IEA Bioenergy Task 18, Workshop and joint workshop with task 25, 7-11 September 1998, Nokia, Finland. New Zealand Forest Research Institute, Forest Research Bulletin No. 211. Lowe A T & Smith C T. (red.) New Zealand Forest Research Institute Limited, Rotorua, s 93-95.

²⁷ Egnell G, Hyvönen R, Högbom L, Johansson T, Lundmark T, Olsson B, Ring E. & von Sydow F. 2007. Miljökonsekvenser av stubbskörd - en sammanställning av kunskap och kunskapsbehov. Energimyndigheten. *Rapport 40*.



Figur SB17 Dagens stubbskördare med ett specialgjort stubbskördarhuvud på en konventionell grävmaskin. Foto Gustaf Egnell.

Stubbskördarhuvudet sönderdelar stubben i samband med upptagningen och lägger upp stubbdelarna i högar på hygget där de lagras en tid. Under 1970- och 1980 -talen framfördes sönderdelningen som viktig för att göra stubbarna fria från föroreningar som sten och grus samtidigt som bulkvolymen ökade vid transport och förbättrad torkning minskade volymvikten.

Idag framförs också den minskade markstörningen som en fördel då stubben sönderdelas i samband med att den lösgörs från marken. Ytterligare en fördel är att sönderdelningsprincipen gör det lättare att lämna de mer näringsrika klena rötterna kvar. Stubbhögar kan sedan skotas fram för mellanlagring längs med skogsbilväg (figur SB18), eller för vidaretransport till terminal eller direkt till slutanvändaren.



Figur SB18 Skördade stubbar som mellanlagras i skogen. Foto Gustaf Egnell.

Sönderdelning av stubbarna kan ske längs hela denna kedja. Nya studier indikerar emellertid att grovkrossning vid avlägg kan vara ekonomiskt fördelaktigt framförallt genom att nyttolasten vid vidaretransporten kan ökas²⁸. Kombinerat med sållning kan också mängden föroreningar i bränslet minskas.

²⁸ Thorsén, Å. & Björheden, R. (Ed.) 2010. Skogen – en växande energikälla. Sammanfattande rapport från Effektivare Skogsbränslesystem 2007-2010. 110 s. Skogforsk, Uppsala.

Stubbskörd och markberedning

I samband med stubbskörden görs försök att åstadkomma en tillräckligt bra markberedning. För detta ändamål har vissa skördarhuvuden modifierats något. För att få fram ett tillräckligt antal planteringspunkter krävs ofta kompletterande markberedning mellan de markberedningsfläckar som åstadkoms då stubbar skördas.

Dessutom visar praktisk erfarenhet att vissa områden på ett enskilt objekt undantas från stubbskörd. Det kan röra sig om fuktiga eller på annat sätt tekniskt svåråtkomliga områden eller områden med allt för små stubbar för att det ska vara lönsamt att skörda. Att integrera markberedningen med stubbskörden blir därför inte helt lätt – åtminstone inte med dagens teknik. Detta är en av flera tekniska utmaningar för framtiden.

En alternativ teknik för stubbskörd har provats i liten skala där markska-dorna istället minimeras genom att enbart stubbens centrala ved skördas med ett aggregat som är uppbyggt som en hålräs.²⁹ Med en sådan skördeteknik kommer kompletterande markberedning att krävas på de flesta marker.

Ytterligare en faktor som kan driva på teknikutvecklingen är förarmiljön i dagens stubbskördare där Skogforsk vid mätningar kunnat konstatera att rekommenderade gränsvärden för helkroppsvibrationer överskrids i flera fall.³⁰

Gallring och röjning

I takt med att skogsbränslemarknaden växer ökar intresset att ta ut skogsbränsle även vid gallring och röjning.

Den vanligaste metoden här är att hela träd eller träddelar (okvistad stam kapad i längder) transporteras med skotare till vältor som sedan sönderdelas i fält. Här finns även system där hela träd eller träddelar transporteras ut ur skogen med specialfordon till terminaler där de antingen sönderdelas i sin helhet eller där grenarna sönderdelas efter det att kvistning skett i särskilda kvistningstrummor. I det senare fallet går massaveden sin tidigare normala väg till massaindustrin. För att öka lastvikterna samtidigt som en del av de näringsrika delarna av trädet blir kvar i skogen görs försök med så kallad ”slarvkvistning” eller ”knäckkvistning” där de fina kvistarna slås av.

Även i gallringsskogen kan ett system där skogsbränslet tas ut i form av en okvistad lång topp användas. Fördelen här är att de grövre kvistarna från timmer och massavedslängderna kan användas i körvägen vilket minskar risken för rotskador i det kvarvarande beståndet.

Uttag i eftersatt röjningsskog, så kallade röjningsgallringar, praktiseras i begränsad omfattning i Sverige medan omfattningen är förhållandevis stor i grannlandet Finland. Orsaken till skillnaden är att verksamheten subventioneras i Finland genom ett bidragssystem för uttaget. Av detta förstår man att ett av skälen till den låga aktiviteten i Sverige är lönsamheten. Även här dominerar system där hela stammar skördas och läggs upp i högar för mellanlagring längs med skogsbilväg, där de sedan sönderdelas på plats eller efter transport till slutanvändare.

²⁹ von Hofsten H. 2006. Maskinell upptagning av stubbar - Möjligheter och problem. Skogforsk. *Arbetsrapport* 621.

³⁰ Personlig kommentar från Henrik von Hofsten, SkogForsk.

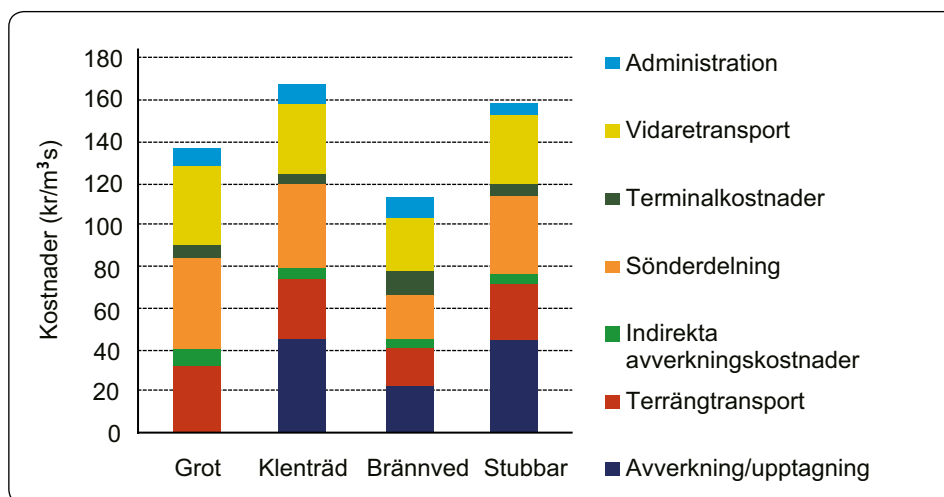
Ett av skälen till den låga lönsamheten är att den tekniska utvecklingen varit inriktad mot gallringsskördare som hanterar ett träd i taget vilket kvistas och kapas i massavedslängder. I täta ungskogar blir medeldiametern lägre än i den tidigt röjda skogen varför det blir svårt att få lönsamhet med skördare som hanterar ett träd i taget. En teknisk utveckling av flerträdshanterande skördare för skörd av ett rent energisortiment pågår för närvarande på flera håll (figur SB19).



Figur SB19 Ett av flera flerträdshanterande fällhuvuden under utveckling.
 Foto Anders Nilsson.

Kostnader vid skogsbränsleskörd

Med dagens teknik ligger kostnaden för skörd och transport av skogsbränslen till slutanvändare mellan 110 kronor per kubikmeter flis för ren brännved och 170 kronor för klenträd (figur SB20). De större kostnaderna fördelar sig förhållandevis jämnt mellan terrängtransport, sönderdelning och vidaretransport. I slutavverkning ligger kostnaderna högre för stubbar än för grot. Samtidigt är erfarenheten av stubbskörd ännu begränsad varför det troligen finns en potential att skära kostnader bara genom ökad färdighet hos operatörerna.



Figur SB20 Bränsleproducenternas genomsnittliga kostnader för olika skogsbränslesortiment exklusive ersättning till markägaren. Siffrorna är baserade på enkätsvar från de större producenterna av skogsbränsle i landet och avser kostnaderna för 2010. Källa: Kunskap Direkt, Skogforsk

Näringskompensation

Näringskompensation associeras oftast till att vedaskan återförs efter skogsbränsleuttag. Spridning av aska praktiseras ännu inte i den skala som skulle vara motiverad utifrån allmänna råd till skogsvårdslagen 30 §³¹ och nivån på skogsbränsleuttagen idag. I många fall rör det sig om testverksamhet, men lokalt kan aktiviteten vara ganska hög – främst i södra Sverige.

De metoder som används för spridning av askor är främst traktorspridning men även helikopterspridning förekommer. I båda fallen används befintlig teknik för att sprida fastgödselmedel. Kostnaden för spridning talar i de flesta fall för traktorspridning. Undantaget kan vara större sammanhängande områden långt från väg eller tekniskt svåråtkomliga bestånd (täta bestånd, storblockig eller kraftigt lutande mark). Sådana områden torde emellertid vara sällsynta då skogsbränsleskörd knappast är aktuellt då transportavståndet i terräng blir för långt eller då terrängen är för svår.

För skogsägaren är det viktigt att hålla nere kostnaderna i alla de åtgärder som utförs i skogen. Det är därför angeläget att hitta metoder för askspridning som är kostnadseffektiva samtidigt som de har avsedd verkan i skogen och inte orsakar några oönskade bieffekter. Ett sätt att minska kostnaden är att kombinera spridningen med andra skogliga åtgärder då såväl maskiner som personal finns på plats.

I stora delar av landet bör ett omfattande uttag av skogsbränsle också kunna legitimera näringskompensation med kväve, det näringsämne som i första hand begränsar tillväxten. Rent logistiskt vore det i så fall lämpligt att sprida askan tillsammans med kvävegödselmedel. Detta kräver emellertid att askan är väl stabiliserad och därmed inte så reaktiv att kvävegödselmedlet till del går förlorat i gasform. Andra skäl att ha en stabiliserad aska är att undvika direkta skador på markvegetationen.

³¹ Skogsstyrelsen. 2012. *Skogsvårdslagstiftningen. Gällande regler 1 januari 2012*. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se, Lagen.

Skogsbränsleanpassad skogsskötsel

Det traditionella skogbruket utan skogsbränsleuttag har till stor del varit inriktat mot att producera massaved och sågtimmer till den traditionella skogsindustrin. Detta har präglat skogsskötselsystemen, vilka har varit inriktade mot att så snabbt som möjligt producera gagnvirke³² av stamved. Med skogsbränsle som ett tydligt och trovärdigt framtida tredje sortiment finns det anledning att ta ett steg tillbaka och tänka om vad avser såväl skogsskötselsystem som befintligt teknik och logistik. Men också att tänka sig för.

Vid *beståndsanläggningen* finns anledning att fundera ytterligare en gång på trädslagsvalet. Möjligheten att även få ersättning för mer än bara stamveden gör att trädslag med stor andel biomassa i grenar såsom gran och contortatall blir mer konkurrenskraftiga.

Ett annat alternativ, som ännu inte ryms inom skogsvårdslagets rāmärken, är att rikta in produktionen mot skogsbränsle och leverera hela trädet som skogsbränsle i skogsskötselsystem med avsevärt kortare omloppstid än dagens. I sådana system lämpar sig snabbväxande pionjärträdslag såsom hybridasp, olika poppelarter och kanske contortatall.

I ett skogsbränsleanpassat skogsbruk finns också anledning att bejaka täta plantuppslag, vilket kan uppnås med täta planteringsförband. Men då skogsbränsle är, och sannolikt kommer att förbli, ett förhållandevis lågt prissatt sortiment, kan det troligen inte bära kostnaden för täta planteringsförband. Bättre då att överväga olika typer av sådd eller att genom olika åtgärder på lämpliga ståndorter försäkra sig om ett frikostigt uppslag av naturlig föröng-ring.

Röj senare

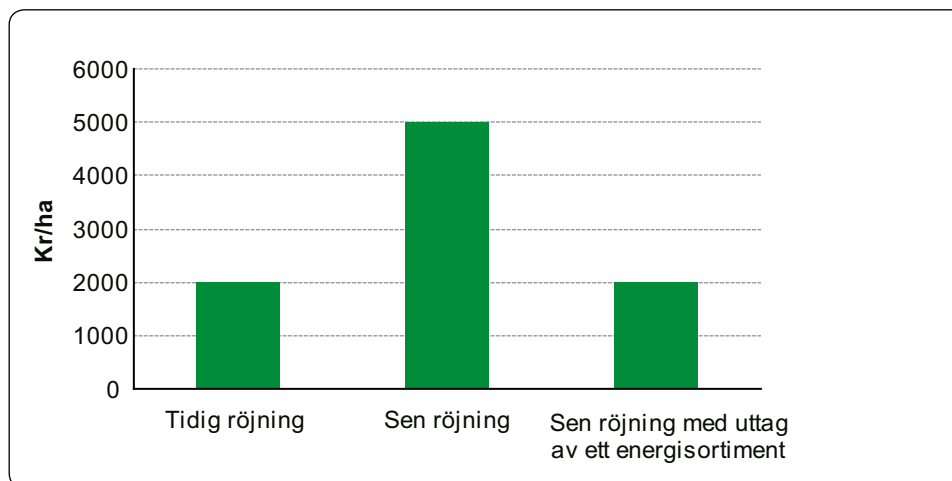
Om föröngningsarbetet har gått bra är nästa steg i ett konventionellt kalhygesbaserat skogsskötselsystem röjning. Syftet med åtgärden är att genom en tidig ungsogsröjning fördela tillväxten till ett mindre antal jämnt fördelade skadefria stammar av lämpligt trädslag. Orsaken till rekommendationen att röja tidigt har varit att man inte har haft någon avsättning för den klena veden, att kostnaden för att röja i täta bestånd ökar med beståndshöjd och stamantal, samt att risken för det kvarvarande beståndet att skadas av snö och vind har ansetts stor efter sena röjningar.³³ Detta trots kunskapen om att täta ungsogor producerar såväl mer stamved som biomassa.

Med det tredje sortimentet skogsbränsle finns anledning att överväga en senareläggning av röjningen och att leverera hela okvistade stammar som ett energisortiment vid röjningstillfället. Definitionsmässigt talar vi då egentligen om en gallring då avverkade träd tas ut som skogsbränsle. Genom att intäkterna från skogsbränslet kan ta delar eller hela röjningskostnaden, kan en senareläggning av röjningen teoretiskt bli ett konkurrenskraftigt alternativ (figur SB21). En förutsättning för att sådana skogsskötselsystem ska bli verklighet är att tekniken för att skörda klena stammar utvecklas och blir mer effektiv, samtidigt som lämpliga ståndorter för dessa system kan identifieras.

³² Gagnvirke är skogsvirke av sådan dimension och beskaffenhet att det ekonomiskt kan förädlas.

³³ Se del 6 i Skogsskötselserien: *Röjning*.

Rimliga krav på dessa ståndorter är att de är lättföryngrade (sådd eller naturlig föryngring) och att de inte löper stor risk att drabbas av snö och vindskador efter en sådan gallring. Här finns möjligheter men innan sådana röjningsprinciper kan rekommenderas krävs mer kunskap.



Figur SB21 Principfigur som visar kostnaden för tidig röjning, sen röjning och sen röjning med uttag av ett energisortiment där intäkten för energisortimentet bär en stor del av kostnaden för den sena röjningen. Diskonterat blir det tredje alternativet det bästa.

Bättre gallringsteknik behövs

För att få ekonomi i sena röjningar och klena gallringar krävs en förbättring av dagens skördeteknik som tagits fram för att hantera en stam i taget med slutlig leverans av stamved till skogsindustrin. Med många klena stammar krävs att flera stammar kan hanteras samtidigt. Sådan teknikutveckling pågår – men behöver drivas vidare.

Andra tankar för att öka lönsamheten vid skogsbränsleskörd i sena röjningar är att skörda alla stammar i stickvägarna och i geometriskt utlagda stråk i vinkel mot stickvägarna emellan vilka samtliga stammar lämnas.³⁴ Tester visar att prestationen vid geometrisk gallring ligger högre än vid selektiv gallring vid medelstamsdiametrar < 7 cm. På grund av bristande teknik och okunskap om hur det kvarvarande beståndet utvecklas efter en sen röjning, med avseende på tillväxt, virkeskvalitet och skador från framförallt snö och vind kan sådana system emellertid ännu inte rekommenderas i stor skala. Däremot förtjänar de att utvecklas vidare.

Vid *gallring* och *föryngringsavverkning* påverkar skogsbränslesortimentet redan apteringsrutinerna i en del regioner där mer eller mindre av stammen levereras okvistad som ett bränslesortiment, bland annat i form av långa toppar. Prisrelationen mellan massaved och skogsbränsle samt transportavståndet till slutanvändaren är viktiga faktorer som i högre grad bör påverka apteringsrutinerna för att på så sätt ge högsta möjliga ersättning till skogsägaren.

³⁴ Bergström, D. 2009. Techniques and systems for boom-corridor thinning in young dense forests. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 2009:87.

Skogsbränsle i alla kalkyler

I ett skogsbruk med skogsbränslet fullt ut integrerat ska intäkterna från skogsbränslet finnas med i alla kalkyler rörande lönsamheten för olika produktionshöjande åtgärder såsom till exempel gödsling. Då uttag av mer näringsrik biomassa såsom den i grenar och barr har potential att påverka skogsproduktionen i negativ riktning är det viktigt att ta hänsyn till detta då lönsamheten i att leverera skogsbränsle beräknas.

Avgörande för lönsamheten i skogsbränsleanpassade skogsskötselsystem kommer bland annat att vara:

- Framtida prissättning på skogsbränsleråvaran (vilket till en icke oväsentlig del styrs av politiska styrmedel).
- Teknik- och därmed kostnadsutvecklingen vid skörd, transport och lagring av hela träd i täta ungskogar, skogsbränsle i gallring och slutavverkning samt vid skörd av stubbar.
- Kvalitet och tillväxt i det kvarvarande eller nya beståndet.
- Ökad spårbildning och markkompaktering som ett resultat av att avverkningsresterna och stubbarna inte kan användas som underlag för skogsmaskinerna samtidigt som grot- och stubbskotning och eventuellt askåterföring medför extra körning.
- Indirekta effekter av skogsbränsleuttaget på andra skogsskötselåtgärder såsom till exempel markberedning och plantering eller på risken för olika skador såsom vind- eller snöskador eller skadegörare såsom snytbagge och rotröta.

Den teknikutveckling - och därmed produktivitetsutveckling - som skogsbruket framgångsrikt har genomfört har varit inriktad mot leverens av stamved till den traditionella skogsindustrin. Det finns anledning att ta ett rejält kliv tillbaka och fundera på vilken väg tekniken bör ta för att anpassa sig till ”det tredje sortimentet”. Det kan till exempel finnas skäl att på nytt jämföra kortvirkessystem där kvistning och kapning sker i direkt anslutning till där träden faller i skogen med helträdssystem där träd eller träddeklar transporteras till en uppberbningsplats.

Påverkas miljö kvalitetsmålen?

Uttag av skogsbränsle innebär ett intensifierat skördeuttag, vilket kan påverka skogsekosystemet och omgivande ekosystem på kort och lång sikt. Ett flertal av samhällets 16 miljö kvalitetsmål³⁵ berörs på ett eller annat sätt av ett ökat nyttjande av skogsbränsle.

Vid värdering av dessa miljöeffekter är det viktigt att tänka på två saker. För det första, att det oftast är avverkningen i sig som påverkar skogsekosystemet och omgivande ekosystem mest, medan det extra skogsbränsleuttaget adderar ytterligare effekt. För det andra, att om skogsbränslet inte utnyttjas i energiomställningen behöver det ersättas av något annat förnybart energislag eller i värsta fall av fossil energi, alla med sina effekter på miljömålen. Dessutom: Merparten av koldioxidutsläppen måste bort på sikt. Runt 80 % av världens energitillförsel är fossila bränslen. Klimatarbetet innebär både omfattande energieffektivisering och satsning på olika förnybara energislag. Om skogsbränslet inte utnyttjas så medför det att motsvarande mängd fossila bränslen inte ersätts.

Underlag för detta avsnitt utgörs till stor del av de synteser rörande miljöeffekter av skogsbränsleuttag och askåterföring som färdigställdes på initiativ av Energimyndigheten 2006³⁶ och 2012³⁷ samt den miljökonsekvensbeskrivning från 1998³⁸ som legat till grund för Skogsstyrelsens tidigare och nuvarande rekommendationer och allmänna råd.

Klimat

En av drivkrafterna bakom ett ökat nyttjande av skogsbränsle är oron för ett förändrat klimat orsakat av ökade koncentrationer av de så kallade växthusgaserna i atmosfären. En ökning som till stor del kan tillskrivas användningen av fossila bränslen. Begränsad klimatpåverkan är därför det av samhällets miljö kvalitetsmål som har använts som argument för att ersätta fossila bränslen med förnybara bränslen från våra skogar. Hur ser det då ut med växthusgasbalansen vid skörd och energiomvandling?

Växthusgasbalansen vid skörd och energiomvandling

En vanlig uppfattning är att det går åt mycket energi för att få skogsbränslet hela vägen till slutanvändare, vilket i så fall skulle påverka växthusgasbalansen negativt. Livscykelanalyser visar emellertid att både skörd av grot och stubbar ger ett stort energiutbyte i relation till insatsenergin som krävs för skörd, sönderdelning och transport till värmeverk. Totalt rör det sig om

³⁵ www.miljomal.nu.

³⁶ Egnell G, Dahlberg A, Westling O, Bergh J & Rytter L. 2006. Miljöeffekter av skogsbränsleuttag och askåterföring i Sverige. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram 1997 till 2004. Energimyndigheten. *Rapport 44*.

³⁷ de Jong J, Akselsson C, Berglund H, et al. 2012. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram inom Skogsbränsle och Miljö 2005 – 2009. ER xxx. Energimyndigheten, Eskilstuna.

³⁸ Egnell G, Nohrstedt H-Ö, Weslien J, Westling O & Örlander G. 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen. *Rapport 1-1998*.

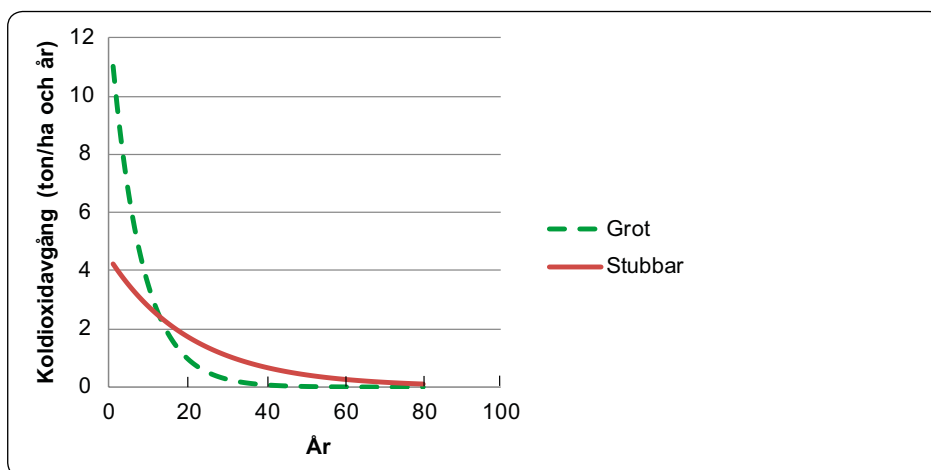
en insatsenergi motsvarande 2-5 % av energiinnehållet i levererad flis³⁹. Växthusgasbalansen och därmed klimatnyttan i detta steg beror bland annat på vilken sorts drivmedel som använts och hur den el som använts genererats. Mest gynnsamt blir det då såväl förnybara drivmedel och förnybar el använts. Klimatnyttan vid energiomvandlingen beror på energiutbytet i energiomvandlingen, där elproduktion i kombination med värmeleveranser till ett fjärrvärmesystem eller en värmekrävande industriprocess har en gynnsam balans, medan enbart elproduktion där överskottsvärmen kyls bort är mindre gynnsamt. Slutligen påverkas klimatnyttan av vilka energibärare som ersätts med biobränsle. Gynnsammast bland de fossila alternativen är att ersätta kol, följt av olja och naturgas.

Växthusgasbalansen i skogsekosystemet

Växthusgasbalansen och därmed klimatnyttan i skogsekosystemet efter skogsbränsleuttag bestäms av hur olika växthusgasflöden påverkas av skogsbränsleuttaget. De stora posterna utgörs av växternas upptag av koldioxid genom fotosyntes och fastläggningen av kol i biomassa, samt markandningen. Markandningen är ett resultat av att kolrikt material bryts ner av markorganismer, vilket resulterar i koldioxidavgång till atmosfären. Till detta kommer eventuella effekter av skogsbränsleuttag på flöden av andra viktiga växthusgaser såsom lustgas och metan. Det är summan av dessa flöden som avgör den slutliga växthusgasbalansen i skogsekosystemet vid skörd och nyttjande av skogsbränsle.

Resultatet i sådana balansberäkningar påverkas mycket av vilket tids- och rumsperspektiv som väljs. Begränsas beräkningen till ett enskilt bestånd där skogsbränsle skördas kommer det kol som finns bundet i grot och stubbar att frigöras till atmosfären direkt vid förbränning, medan det skulle frigöras långsamt, allt eftersom avverkningsresterna bryts ner, om det lämnas kvar på hygget. Detta samtidigt som tillväxten i det nya beståndet ännu inte förmår kompensera genom att binda koldioxid i ny biomassa. Med beståndsperspektivet och ett kort tidsperspektiv (< 20 år) förefaller det därför bäst ur klimatsynpunkt att lämna avverkningsresterna i skogen. Med ett längre tidsperspektiv (20-50 år) väger det över till fördel för skogsbränsleuttag då lämnade avverkningsrester till större delen skulle ha brutits ner samtidigt som det nya beståndet ökat sin årliga inbindning av kol till nivåer som kompenserar för uttaget. För stubbar, som bryts ner långsammare än grot, tar det längre tid innan det väger över till fördel för skogsbränsleuttag (figur SB22).

³⁹ Lindholm EL, Berg S & Hansson PA 2010. Energy efficiency and the environmental impact of harvesting stumps and logging residues. *European Journal of Forest Research* 129: 1223-1235.



Figur SB22 Skattad årlig koldioxidavgång (ton/ha år) från stubbar och grot då de bryts ner efter slutavverkning av ett granbestånd (325 m³sk/ha) där enbart stamveden skördats. Efter ca 20 år har det mesta av kolet bundet i grot avgått som koldioxid till atmosfären och skulle, ur klimatsynpunkt, med det tidsperspektivet, hellre ha använts som förnybar energi. För stubbar, som bryts ner långsammare, tar det längre tid att nå denna brytpunkt då man har beståndsperspektivet i balansberäkningarna.

Skogsbränslen från boreala och nordligt tempererade skogar med långa omloppstider ger därför ingen omedelbar positiv klimateffekt om balansberäkningarna görs med ett beståndsperspektiv. På längre sikt, över en eller flera omloppstider, är klimatnyttan emellertid uppenbar då det mesta av kolet bundet i skogsbränslet ändå avges till atmosfären. Den långsiktiga klimatnyttan bör därför beräknas över åtminstone en omloppstid för att ge skogsbränslet rättvisa.

Ett alternativ till att beräkna skogsbränslets växthusgasbalans på beståndsnivån över en omloppstid är att beräkna den över ett större skogslandskap där alla beståndsåldrar finns representerade. Här kompenseras den direkta emissionen av kol från grot och stubbar av inbindning av kol i bestånd som befinner sig i den växtligaste fasen av beståndsutvecklingen. Modellsimuleringar av kolbalanser som skalas upp från beståndsnivån till landskapsnivån, där alla beståndsåldrar finns representerade, visar att ökade uttag av skogsbränslen ger en positiv effekt på kolbalansen redan på kort sikt.

Osäkerheter som inte har beaktats i resonemanget ovan är att uttag av näringsrik biomassa för energiändamål kan påverka skogsproduktionen i nästa skogsgeneration negativt, vilket kan påverka kolbalansen (se avsnittet om skogsproduktion). Det råder också en viss osäkerhet om hur eventuellt ökad markstörning efter grot- och framför allt stubbskörd påverkar nedbrytningshastigheten och koldioxidavgången från marken. En eventuell ökning av nedbrytningshastigheten kan också öka tillgängligheten på näring, vilket kan stimulera tillväxten i det nya beståndet inklusive fält- och bottenvegetation. Kol kan genom detta flyttas från markförrådet till förrådet i levande biomassa utan att påverka kolbalansen. Det är därför viktigt att beakta förändringar i alla kolförråd när effekterna av en åtgärd skall utvärderas. Förändringar i flöden av andra växthusgaser såsom lustgas och metan kan också påverka det slutliga resultatet. På skogsmark utgör dessa flöden normalt en liten post.

Sett över hela landets skogstillgångar kan ökad skörd av skogsbränsle

påverka kolbalansen något, medan den påverkas betydligt mer av hur avverkningsnivåerna förhåller sig till tillväxten. Beräkningar utförda av SLU inom ramen för ett regeringsuppdrag⁴⁰ visar att en minskning av dagens avverkningsnivåer med 10 % ger en direkt ökning av kolinlagringen med 25 % som ökar till 60 % år 2030, medan en ökning av avverkningsnivån med 10 % ger en minskad kolinlagring i samma storleksordning. Det är viktigt att förstå att de stora skillnaderna i kollager i svensk skogsmark snarare är kopplad till den årliga tillväxten i förhållande till skörden än till hur mycket av biomassan av ett enskilt träd som skördas.

Detta gör att faktorer som påverkar avverkningsnivåer och skogsproduktionsnivåer framöver kommer att vara mer avgörande för den svenska skogens bidrag för att motverka klimatförändringar orsakade av växthusgaser än om delar av avverkningsresterna används för energiändamål.

Biologisk mångfald

Bevarandet av biologisk mångfald har stått högt upp på agendan under många år och manifesteras för skogens del genom att direkt tas upp i två av miljökvalitetsmålen nämligen **Levande skogar** och **Ett rikt växt- och djurliv**. Därtill kan aktiviteter på skogsmark indirekt medföra effekter i omgivande ytvatten varför även **Levande sjöar och vattendrag** kan beröras av skogsbränsleuttag och askåterföring.

Skogsbränslesortimentets intåg, som det tredje största sortimentet vid sidan av massaved och timmer, har fram till idag främst lett till ökad skördeintensitet där mer och mer av trädbiomassan skördas i samband med avverkning samt en viss askåterföringsaktivitet. Nu diskuteras allt mer behovet av att också öka biomassaproduktionen i våra skogar till exempel genom näringstillförsel, snabbväxande trädslag och kloner, kortare omloppstider, mer välslutna bestånd, dikning, aska på skogliga torvmarker etc. Då den relevanta nivån att avläsa effekter på biologisk mångfald är landskapsnivån är det viktigt att förstå att det är den sammanlagda effekten av ökad skörd, intensivare produktionssystem och eventuell askkompensation på landskapsnivån som bör beaktas och inte varje aktivitet för sig.

Nu låter sig inte detta göras helt enkelt varför mycket av det som återges här bygger på studier av en åtgärds effekter på en eller flera organismgrupper i taget.

Inriktningen här blir dessutom mot skogsbränsleuttag och askåterföring, vilka har potential att påverka den biologiska mångfalden genom att:

- Mängden ved för vedlevande arter att leva av, i eller på minskar.
- Naturvårdshänsynsambitionen i samband med avverkning påverkas av att även det ”nya” sortimentet skogsbränsle ska skördas.
- Tidigare ekonomiskt ointressanta träd och trädslag med bevarandevärden nu blir ekonomiskt intressanta att avverka.
- Skogsbränslet kan utgöra en dödsfälla för insekter när den transporteras bort, eftersom färskt solexponerat hyggesavfall fungerar som fångstvirke och attraherar vedlevande insekter från kringliggande områden.

⁴⁰ Lundblad M et al. 2009. *Flöden av växthusgaser från skog och annan markanvändning*. Slutrapport regeringsuppdrag Jo 2008/3958. Sveriges Lantbruksuniversitet. ISBN: 978-91-86197-58-2.

- De skyddande och skuggiga miljöer som hyggesavfall ger minskar.
- Uttag av skogsbränsle påverkar markens förna och humuslager, vilket kan få effekter på markens sammansättning av arter.
- Ökade markskador då hyggesavfallet inte kan användas som underlag för skogsmaskiner eller i samband med skörd av stubbar vilket kan leda till ökade flöden av finjordspartiklar och organiska föreningar ut till ytvatten där det biologiska livet kan påverkas.
- Återföring av aska kan direkt eller indirekt påverka fauna, flora och svampar i mark och i omgivande vattendrag.

I den brukade skogen skördas och bortförs en stor del av träden för att bli timmer eller massaved, ved som tidigare utgjorde en viktig bas för en stor del av skogens artmångfald. I ökande grad skördas nu också ganska stora delar av hyggesavfallet som skogsbränsle och på en växande marknad har nu även intresset att skörda stubbarna ökat.

Förutsättningen för alla skogslevande arter är att det finns träd och annan växtlighet. En del av de skogslevande arterna klarar sin energiförsörjning genom fotosyntes. Alla andra arter ingår i de olika näringskedjorna som antingen utgår från nedbrytning av ved och annat dött material eller, i mindre omfattning, av betning av de levande växterna. Döda blad, grenar och död ved är därför en nödvändig energikälla för det stora flertalet arter och en förutsättning för en hög artmångfald i skog. Det är i storleksordningen minst 10-15 000 arter som lever nere i skogsmarken och lika många som huvudsakligen lever ovan mark. Närmare 7 000 skogslevande arter är helt beroende av olika kvaliteter av död ved.⁴¹

Den kunskapen låg till grund för det tidigare delmålet under **Levande skogar**, om förstärkt biologisk mångfald, som formulerade att mängden död ved, arealen av äldre lövrik skog och gammal skog ska bevaras och förstärkas till år 2010 på bland annat följande sätt: *Mängden hård död ved har ökat med minst 40 % i hela landet och avsevärt mer i områden där den biologiska mångfalden är särskilt hotad.*

Skogsbruket lämnar nu regelmässigt döda träd i skogen och mängden död ved ökar successivt. Det är viktigt att det ökade intresset för skogbränslesortiment inte drastiskt förändrar denna utveckling. Den ökade efterfrågan på skogsbränsle gör det också viktigt att förstå skillnader i kvalitet mellan olika typer av ved. Generellt sett hyser grov död ved (diameter > 10 cm) en större artrikedom än klenare död ved. Detta beror bland annat på att grövre ved är ett mer heterogent habitat som samtidigt kan rymma fler arter, och att grov ved tar längre tid att bryta ner och därför ger ett stabilare mikroklimat, vilket gynnar vissa arter.

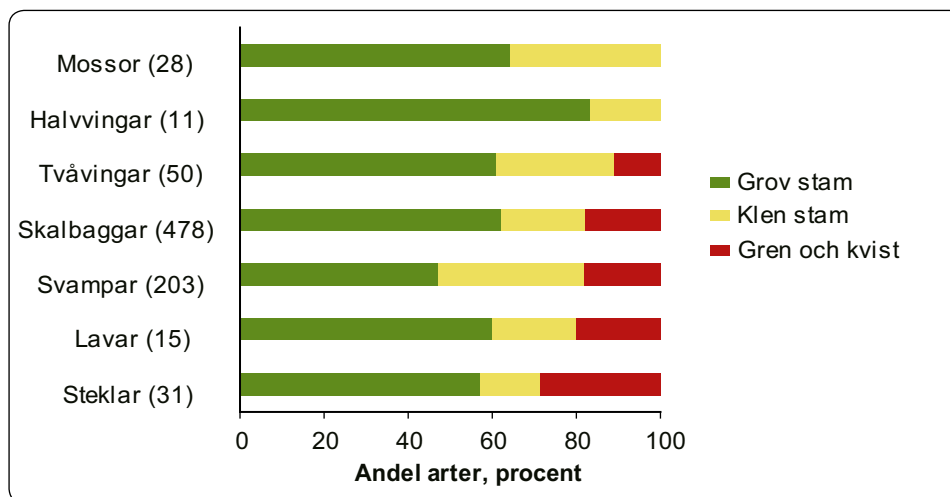
Men undersökningar av hur stor artrikedom det finns på lika stor volym eller yta från grövre och klenare död ved visar inte några större skillnader.⁴²

⁴¹ Dahlberg A & Stokland J N. 2004. Vedlevande arters krav på substrat – en sammanställning och analys av 3 600 arter. Skogsstyrelsen. *Rapport 7-2004*.

⁴² Krus N and Jonsson B G. 1999. Fine woody debris is important for species richness on logs in managed boreal spruce forests of northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*. 29, 1-5.

Det är dock viktigt att skilja mellan antalet arter och vilka arter som i praktiken uppträder på olika diametrar av död ved. Vissa arter uppträder bara på

grenar medan andra arter bara uppträder på grov ved. En sammanställning av 3 600 rödlistade arters vedberoende visade att de flesta av dessa var beroende av stamved medan endast en mindre andel var beroende av grenveden. (figur SB23).



Figur SB23 Andelen vedlevande rödlistade arter inom olika organismgrupper som förekommer på grova stammar, klenare stammar eller på grenar och kvistar. Det totala antalet arter rödlistade arter inom varje organismgrupp anges inom parentes.⁴³

Den klenare veden tillförs dessutom löpande i våra skogar under en stor del av omloppstiden och i stora mängder i samband med avverkning. Vid kolbalansberäkningar i skogslandskapet uppskattas till exempel att gran tappar 10 % av sin barrbiomassa och 2 % av sin grenbiomassa årligen.⁴⁴ Motsvarande siffror för tall är 25 och 5 %, medan tillförsel av grov död ved till att börja med kräver att träden vuxit till sig och därefter levereras den slumpmässigt i samband med skadegörare, storm, brand eller avverkning (i första hand stubbar).

Detta resonemang talar för att den biologiska mångfalden, ur substratsynpunkt, tål ett ganska omfattande uttag av grot från våra vanliga barrträd, medan det finns anledning att vara mer försiktig med uttag av grot från ovanligare trädslag såsom till exempel våra ädla lövträd och då inte minst ek där ett stort antal sällsynta vedberoende insekter utnyttjar grenved. I de fall i landskapet sällsynt förekommande ved nyttjas som skogsbränsle kan den negativa effekten ytterligare öka om sällsynta insektsarter hinner lägga sina ägg i skogsbränslet innan det flisas och bränns. Skogsbränslet fungerar därmed närmast som fångstvirke för sällsynta arter. För att undvika eller minska detta problem har det, grundat på kunskap om vedlevande insekters ekologi, föreslagits⁴⁵ att:

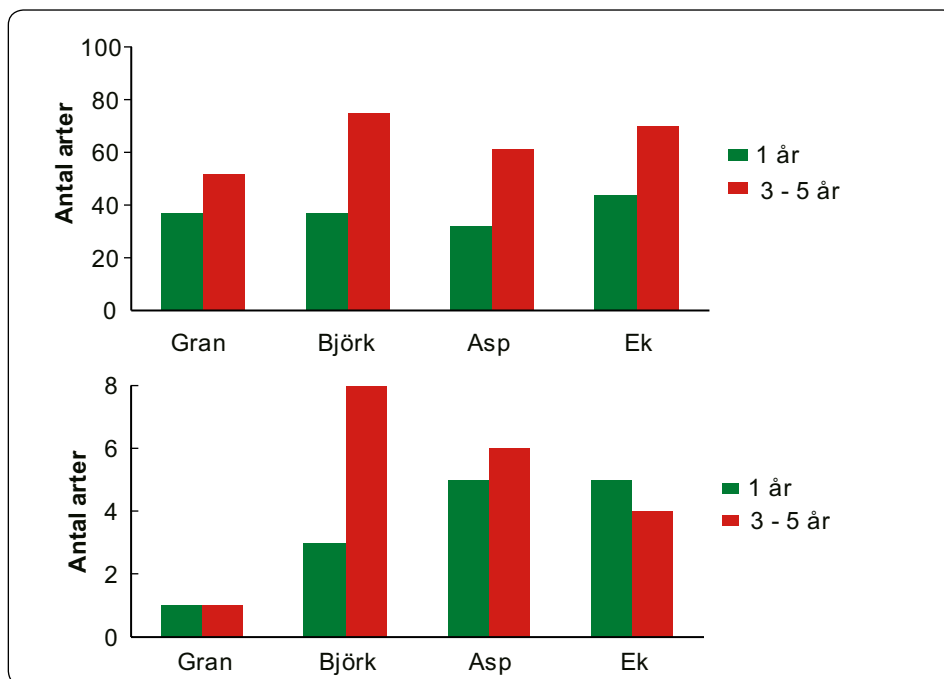
⁴³ Dahlberg A & Stokland J N. 2004. Vedlevande arters krav på substrat – en sammanställning och analys av 3 600 arter. Skogsstyrelsen. *Rapport 7-2004*.

⁴⁴ Ägren G. 1983. Nitrogen productivity of some conifers. *Canadian Journal of Forest Research* 13, 494-500.

⁴⁵ Egnell G, & Lönnell N. (red.) 2001. *Skogsbränsle, hot eller möjlighet? - vägledning till miljövänligt skogsbränsleuttag*. Skogsstyrelsen.

- Skogsbränsle från i landskapet sällsynta trädslag fraktas bort innan de hinner koloniserar av insekter under vår och försommar
- Skogsbränsle från i landskapet sällsynta trädslag som lagrats över insekternas flygperiod under vår och försommar lagras ytterligare ett år så att en del av de fångade insekterna hinner kläckas
- Trivialare grot från barrträd läggs om möjligt som täckning över grot från i landskapet sällsynta trädslag
- Saknas täckning med barrträdsgröt lämnas det översta, mest solexponerade skogsbränslet i högar med grot från i landskapet sällsynta trädslag kvar.

Dessa rekommendationer har fått stöd i efterföljande forskning där flest skalbaggsarter och individer utnyttjat det översta lagret i högar av ekgröt.⁴⁶ En jämförelse mellan grot från olika trädslag visar vidare att antalet skalbaggsarter av vedlevande skalbaggar är ungefär lika för gran, björk, asp och ek, medan antalet rödlistade arter är högre för lövträden (figur SB24). Vidare visar studien att fler arter, såväl rödlistade som totalt, återfanns i den något äldre groten (3-5 år).



Figur SB24 Antal vedlevande skalbaggsarter (överst) och antalet rödlistade vedlevande skalbaggar (nederst) i 1-årig och 3-5-årig grot från gran, björk, asp och ek som påträffades vid en jämförelse av en gren av varje träd- och ålderslag per hygge. Data från en studie av 60 hyggen i södra Sverige.⁴⁷

Insekternas flygperiod under vår och försommar varierar över landet och med vädret under ett givet år, där varma dagar under våren kan få fart på

⁴⁶ Hedin J, Isacson G, Jonsell M & Komonen A. 2008. Forest fuel piles as ecological traps for saproxylic beetles in oak. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23, 348-357.

⁴⁷ Jonsell M, Hansson J & Wedmo L. 2008. Diversity of saproxylic beetle species in logging residues in Sweden – Comparisons between tree species and diameters. *Biological Conservation* 138, 89-99.

flygaktiviteten. För att vara på den säkra sidan bör grot av ovanligare trädslag forslas bort redan i slutet av april. Ett annat sätt att minska ”fångsteffekten” kan vara att täcka grot från ovanligare trädslag med grangrot i grothögar och vältor.

I en studie jämfördes sammansättningen av lavararter på stamved och grotfraktioner av gran och asp. Även om antalet arter var förhållandevis stort på grotfraktionerna rörde det sig genomgående om vanliga arter. Slutsatsen var därför att grotskörd kommer att ha en begränsad effekt på lavmångfalden i nästa skogsgeneration.⁴⁸

Stubbar

I kunskapssammanställningen rörande stubbskörd från 2007⁴⁹ angavs fyra möjliga effekter av stubbskörd på biologisk mångfald:

- Mängden död ved minskar vilket är negativt för vedlevande organismer. Dels försvinner själva stubbarna, och dels körs en del död ved som lämnats för naturvårdsändamål sönder av skogsmaskinerna.
- De brutna stubbarna som lagras i skogen kan fungera som fångstved för vedlevande insekter. Många vedinsekter har bra spridningsförmåga och attraheras av lukten av nyligen dött virke, det finns därför risk att dessa insekter attraheras i stor mängd till uppbrutna stubbar. Avkomman bränns därefter upp i kraftvärmeverk.
- Stubbarna i sig utgör strukturer på hygget som kan utnyttjas av organismer – antingen som skydd att gömma sig under, eller som ytor att växa på.
- Näringsinnehållet i marken riskerar att påverkas, vilket i sin tur kan påverka markorganismer.

Bedömningen var att vedberoende arter, främst insekter och svampar, riskerar att drabbas mest av stubbskörd genom minskning av grov död ved – ett substrat som redan identifierats som en bristvara i dagens brukade skogar. I den brukade skogen kan stubbarna utgöra ersättningssubstrat för andra mer optimala substrat. Samtidigt är kunskapsluckorna stora vad gäller effekter av stubbskörd. Huvudparten av de mångfaldsstudier som gjorts har inriktat sig på grov ved som lämnats för att befrämja den biologiska mångfalden såsom högstubbar och lågor. I några fall har insektsfaunan i högstubbar jämförts med den i lågstubbar och andra substrat. Dess studier visar att insektsfaunan skiljer sig mellan hög- och lågstubbar i såväl södra⁵⁰ som mellersta⁵¹ och

⁴⁸ Caruso A & Thor G. 2007. Importance of different tree fractions for epiphytic lichen diversity on *Picea abies* and *Populus tremula* in mature managed boreonemoral Swedish forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22, 219-230.

⁴⁹ Egnell G, Hyvönen R, Högbom L, Johansson T, Lundmark T, Olsson B, Ring E. & von Sydow F. 2007. Miljökonsekvenser av stubbskörd - en sammanställning av kunskap och kunskapsbehov. Energimyndigheten. *Rapport 40*.

⁵⁰ Abrahamsson M & Lindbladh M. 2006. A comparison of saproxylic beetle occurrence between man-made high- and low-stumps of spruce (*Picea abies*). *Forest Ecology and Management* 226, 230-237.

⁵¹ Hedgren P O. 2007. Early arriving saproxylic beetles (Coleoptera) and parasitoids (Hymenoptera) in low and high stumps of Norway spruce. *Forest Ecology and Management* 241, 155-161.

norra⁵² Sverige, vilket visar att stubbarna har betydelse för mångfalden.

Vid studier av lavfaunan på grangrot och granstubbar visades att stubbarna hade en större andel unika arter, varav några bland de mer ovanliga lavar-terna. Tillgången på stubbar bedömdes därför som viktigare för att bevara mångfalden av lavar.^{53 54}

En annan aspekt på såväl grot- som stubbskörd är att båda medför ökad risk för spårbildning och markkompaktering. Grotskörden genom att grenar och toppar inte kan användas som underlag för skogsmaskinerna och stubbskörden genom att stabiliserande rotben rycks upp med den teknik som används idag. Till detta kommer ökad trafik då biomassan ska transporteras ut. Där har en ökad spårbildning potential att öka transporter av organiska föreningar och finjordspartiklar ut till ytvatten där det biologiska livet kan påverkas. Riskerna med detta finns det begränsad kunskap om idag.

Askåterföring

Kompensation med aska för ökat näringsuttag vid skogsbränsleskörd motverkar långsiktiga förändringar av markkemi till följd av skogsbränsleuttag, men kan inte kompensera för omedelbara negativa effekter på flora och fauna. Dåligt stabiliserade askor har en negativ effekt på många arter där vissa artgrupper av mossor utmärker sig som särskilt känsliga, medan studier visar att fem år efter behandling med 3 ton härdad krossaska per hektar är effekterna på kärlväxter små eller inga med avseende på artsammansättning, artantal och täckningsgrad.^{55 56 57} Därför bör endast långsamverkande och stabiliserade askor användas. Detta är också vad Skogsstyrelsen rekommenderar och i sina rekommendationer definierar man också vad som menas med en väl stabiliserad och långsamlöslig aska.⁵⁸ I Skogsstyrelsens rekommendationer anges också maxhalter för olika giftiga ämnen såsom olika tungmetaller i aska som lämpar sig för spridning på skogsmark.

⁵² Hjältén J. 2008. *Stubbars betydelse för bevarandet av vedlevande insekter*. Slutrapport för projekt 30197-1. Energimyndigheten.

⁵³ Caruso A, Rudolphi J & Thor G. 2008. Lichen species diversity and substrate amounts in young planted boreal forests: A comparison between slash and stumps of *Picea abies*. *Biological Conservation* 141, 47-55.

⁵⁴ Caruso A. 2008. Uttag av grot och stubbar som energiråvara – hur påverkas skogens lavar av helträds-skörd? SLU. *Fakta Skog* nr 3.

⁵⁵ Gyllin M, Kruuse A. 1996. *Effekter på florán efter tillförsel av ved- och blandaska*. Ramprogram Askåterföring. NUTEK R 1996.

⁵⁶ Arvidsson H, Vestin T & Lundkvist H. 2002. Effects of crushed ash application on ground vegetation in young Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 161, 75-87.

⁵⁷ Jacobson S, & Gustafson L. 2001. Effects on ground vegetation of the application of wood ash to a Swedish Scots pine stand. *Basic and Applied Ecology* 2, 233-241.

⁵⁸ Anon. 2008. Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. *Meddelande 2-2008*, Skogsstyrelsen.

Försurning av mark och ytvatten

Under miljö kvalitetsmålet **Bara naturlig försurning** står att: ”De försurande effekterna av nedfall och markanvändning ska underskrida gränsen för vad mark och vatten tål. Nedfallet av försurande ämnen ska inte heller öka korrosionshastigheten i markförlagda tekniska material, vattenledningssystem, arkeologiska föremål och hållristningar.”

Antalet försurade sjöar har minskat men vid uppföljningen år 2013 gjordes bedömningen att sätta mål till år 2020 inte kommer att nås med befintliga styrmedel. Bland annat konstaterades att skogsbrukets försurningsbelastning ökar som ett resultat av ökat uttag av skogsbränslen medan askåterföringen inte ökat i motsvarande takt.

En stor del av mark- och ytvattenförsurningen har sitt ursprung i förbränning av fossila bränslen och nedfall av försurande kväve- och svavelföreningar. Men all skogstillväxt är också markförsurande då träden vid sitt upptag av näringsämnen i form av katjoner (positivt laddade joner) i utbyte avger vätejoner som verkar försurande. Om träden inte skördas utan tillåts dö och brytas ner på plats i skogen neutraliseras denna effekt. Men då träden skördas resulterar det i en markförsurning. Markförsurningen orsakad av skogens tillväxt har ökat allt eftersom skogstillväxten har ökat i landet och nu med skogsbränslet som ett nytt eftertraktat sortiment ökar den ytterligare genom att mer av biomassan skördas. Den skördade biomassan i form av grot och i någon mån stubbar är dessutom näringstätare än stamveden (jämför med figur SB30).

Samtidigt som nedfallet av försurande svavelföreningar minskat avsevärt och en återhämtning från försurning har registrerats i mark och ytvatten finns en oro att ökad tillväxt och ökad skördeintensitet ska minska hastigheten i återhämtningen.

I allmänna råd till skogsvårdslagen anges därför att uttag av skogsbränsle kompenseras genom att aska återförs till skogsmarken. Stöd för detta finns i forskningen som visar att basmättnad och pH blir lägre i skogsmark efter skogsbränsleuttag med de största skillnaderna i humusskiktet. Effekten visar sig också i markvattnet med högre vätejonhalter och lägre koncentration av baskatjoner. Tillförsel av aska har visat sig kunna kompensera och därmed motverka detta.^{59 60} Däremot saknas empiriska studier som visar att återföring av aska till skogsmark i måttliga doser (Skogsstyrelsens allmänna råd anger att max 3 ton tillförs per ha och 10-årsperiod och 6 ton per ha och omloppstid) påverkar avrinningsvattnets kvalitet och därmed försurningssituationen i ytvatten. Det råder därför delade meningar om behovet av askåterföring för att motverka ytvattenförsurning efter skogsbränsleskörd. Här får framtida forskning visa vägen.

⁵⁹ Westling O, Örlander G & Andersson I. 2004. Effekter av askåterföring till granplanteringar med riståkt. *IVL Rapport B 1552*.

⁶⁰ Arvidsson H. 2001. Wood ash application in spruce stands: effects on ground vegetation, tree nutrient status and soil chemistry. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Silvestria* 221.

Miljögifter

Under miljömålet **Giffri miljö** står att: ”Förekomsten av ämnen i miljön som har skapats i eller utvunnits av samhället ska inte hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden. Halterna av naturfrämmande ämnen är nära noll och deras påverkan på människors hälsa och ekosystemen är försumbar. Halterna av naturligt förekommande ämnen är nära bakgrunds nivåerna”.

Under miljömålet **Säker strålmiljö** står att: ”Människors hälsa och den biologiska mångfalden ska skyddas mot skadliga effekter av strålning”.

Även dessa miljömål kan påverkas av såväl ökat uttag av skogsbränsle som av återföring av vedaska till skogsmarken.

Ett miljöproblem där skogsbruk bidrar är kvicksilverhalten i framförallt våra sötvatten där kvicksilvret via näringsvävarna når insjöfisken.^{61 62} Kvicksilver har under perioden med fossilbränsleanvändning ackumulerats i skogsmarken och är där förhållandevis hårt bundet i marken. Men skogsliga åtgärder som avverkning och olika former av markstörning har potential att påverka kvicksilvrets rörlighet och också dess toxiska egenskaper där metylkvicksilver är den mest biorörliga och toxiska formen av kvicksilver.⁶³

För att förstå olika skogsbruksåtgärders inverkan på metylkvicksilverbidraget från skogsmark till ytvatten är det viktigt att förstå själva metyleeringsprocessen som stimuleras av anaeroba miljöer (stigande grundvatten), tillgången på svavel, aktiviteten hos svavelreducerande organismer samt en kolkälla (helst färsk) till dessa.⁶⁴

Med denna kunskap går det att peka ut finjordsrika och fuktiga till blöta marker som de marker där man behöver vara extra försiktig. På många sådana marker finns anledning att avstå från uttag av grot (möjligen kan långa toppar tas ut) och stubbar samtidigt som det i vissa fall kan var klokt att avstå från kalavverkning för att på så sätt hålla nere grundvattennivån. Har man väl skapat förutsättningar för bildning av metylkvicksilver kan en del av skadan undvikas om det metylkvicksilverrika vattnet inte med lätthet kommunicerar med intilliggande naturliga vattendrag och sjöar. Detta till exempel genom stor försiktighet både vad gäller skörd och körning i anslutning till sjöar och vattendrag eller genom att anlägga tillfälliga broar eller andra underlag för skogsmaskinerna vid körning över vattendrag och fuktiga avsnitt.⁶⁵

⁶¹ Skyllberg U. 2008. Competition among thiols and inorganic sulfides and polysulfides for Hg and MeHg in wetland soils and sediments under suboxic conditions: Illumination of controversies and implications for MeHg net production. *J. Geophys. Res.* 113, G00C03, doi:10.1029/2008JG000745.

⁶² Bishop K, Allan C J, Bringmark L, Garcia E, Hellsten S, Heyes A, Högbom L, Johansson K, Lomander A, Mackereth R J, Meili M, Munthe J, Nilsson M, Porvari P, Skyllberg U, Sorensen R, Verta M, Zetterberg T & Åkerblom S. 2009. Does forestry contribute to mercury in Swedish fish? *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* No 1, 2009.

⁶³ Skyllberg U. 2003. Kvicksilver och metylkvicksilver i mark och vatten – bindning till humus avgörande för miljörisk. SLU. *FaktaSkog* 11-2003.

⁶⁴ Skyllberg U. 2008. Competition among thiols and inorganic sulfides and polysulfides for Hg and MeHg in wetland soils and sediments under suboxic conditions: Illumination of controversies and implications for MeHg net production. *J. Geophys. Res.* 113, G00C03, doi:10.1029/2008JG000745.

⁶⁵ Bishop K, Allan C J, Bringmark L, Garcia E, Hellsten S, Heyes A, Högbom L, Johansson K, Lomander A, Mackereth R J, Meili M, Munthe J, Nilsson M, Porvari P, Skyllberg U, Sorensen R, Verta M, Zetterberg T & Åkerblom S. 2009. Does forestry contribute to mercury in Swedish fish? *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* No 1, 2009.

Askåterföring och miljögifter

Skogsstyrelsen rekommenderar att återföra vedaska efter skogsbränsleuttag medför en ökad risk för att olika miljögifter (tungmetaller och olika organiska miljögifter) följer med askan ut till skogsmarken. Framförallt om askan kommer från anläggningar som eldar olika typer av bränslen där skogsbränslen utgör ett. Skogsstyrelsen har därför angett gränsvärden för hur höga halterna av olika miljögifter som får finnas i askor som ska spridas på skogsmark.⁶⁶

Problemet med förhöjda halter av cesium 137 i biobränsleaska i vissa områden i Sverige efter Tjernobylyckan hanteras av Strålskyddsinstitutet (SSI). SSI antog i februari 2005 en ny policy (allmänna råd) för hantering av aska kontaminerad med cesium 137 (SSI FS 2005:1).⁶⁷ Askåterföring kan, främst i södra Norrland, leda till att ett dostillskott läggs ovanpå det som redan är följden av nedfallen från Tjernobylyckan. Dessutom finns risken att kontaminerad aska hamnar på tidigare förskonad mark.

De nya allmänna råden innebär att återföring av kontaminerad aska till skogsmark får ske om ¹³⁷Cs-halten är lägre än 10 kBq per kg TS (gäller från och med 1 januari 2006). Kontaminerad aska med halter lika med eller högre än 10 kBq per kg torr aska, ska deponeras. Den tidigare gränsen låg på 5 kBq per kg. Ett skäl till att gränsvärdet ökades var en studie som visade att cesiumupptaget i vegetationen var begränsat vilket förklarades med att kaliuminnehållet i bränsleaskan blockerade upptag av cesium.⁶⁸ Återföring av kontaminerad aska får inte heller ske på lavmark i renbetesområden.

⁶⁶ Anon. 2008. Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. *Meddelande 2-2008*, Skogsstyrelsen.

⁶⁷ Möre H & Hubbard M. 2005. Kommentarer och vägledning till föreskrifter och allmänna råd om hantering av aska som är kontaminerad med cesium-137. *SSI rapport 2005:7*.

⁶⁸ Högbom L. and Nohrstedt H.-Ö. (2001) The fate of ¹³⁷Cs in coniferous forests following the application of wood-ash. *Sci. Total Environ.* 280, 133-141.

Påverkas skogsproduktionen?

Upprätthållandet av skogsproduktionen berörs inte på ett tydligt sätt av Sveriges antagna miljökvalitetsmål eller i de olika delmålen, men under **Levande skogar** står: *Skogens och skogmarkens värde för biologisk produktion ska skyddas samtidigt som den biologiska mångfalden bevaras och kulturmiljövärden och sociala värden värnas.*

Dessutom skulle en minskad skogsproduktion beroende på skogsbränsleuttag minska graden av förnybarhet och därmed i någon mån stå i strid med miljökvalitetsmålet **Begränsad klimatpåverkan**. Men främst skulle en minskad skogsproduktion, på grund av skogsbränsleuttag, påverka den framtida avverkningspotentialen och skogsägarnas vilja att leverera skogsbränsle.

Stubbskörd har potential att öka skogsproduktionen genom att påverka skadegörare som gynnats av den stora mängd stubbar som modernt skogsbruk producerar. Här är klarlagt att i en mängd studier att avlägsnandet av avverkningstubbar är effektivt för att minska infektionen av olika typer av rotrötter i kvarvarande stammar eller kommande skogsgeneration.⁶⁹

Stubbskörd och skadeinsekter

Den svarta bastborren och framför allt snytbaggen utgör ett stort problem i våra förnygringar då deras näringsgnag skadar och dödar skogsplantorna. Det har spekulerats i om stubbskörd skulle kunna minska trycket från dessa skadegörare i förnygringar.^{70 71} Efter en avverkning dras skadeinsekterna av doften till hygget under några år och näringsgnager där på eventuella plantor. Denna första attack kan inte på kort sikt påverkas av stubbskörd. Fortplantning sker sedan i stubbar och rötter med ungefär en fjärdedel av larverna i klenare rötter som normalt inte berörs av stubbskörden. Det är denna fortplantning och det näringsgnag som följer efter kläckning som stubbskörd har potential att påverka lokalt och på kort sikt. Eidmann och Klingström menar att om 20 % av yngelmaterialet blir kvar efter stubbskörd så reduceras reproduktionen med 80 %, en siffra som kan ökas ytterligare om delar av de kvarlämnade rötterna torkar ur.⁶⁶

Om stubbskörd får en stor omfattning på landskapsnivån påverkas då naturligtvis också antalet inflygande insekter direkt efter avverkningen på sikt. Det är emellertid fortfarande oklart hur stor andel av stubbarna som måste skördas innan det får märkbar effekt på populationen och därmed det skadliga näringsgnaget på plantorna.

I slutrapporten från *Projekt Helträdsutnyttjande, projektgrupp Skog*, redovisas en studie där man visat att snytbaggelarverna till viss del överlever mellanlagringen av de skördade stubbarna i skogen, framförallt i det icke solexponerade bottenlagret.⁶⁴ Då snytbaggen har minst en tvåårig utvecklingscykel i landet rekommenderar man därför att stubbarna inte blir kvar på eller i anslutning till hygget längre än till juni månad andra året efter avverkning.⁷²

⁶⁹ Egnell G, Hyvönen R, Högbom L, Johansson T, Lundmark T, Olsson B, Ring E. & von Sydow F. 2007. Miljökonsekvenser av stubbskörd - en sammanställning av kunskap och kunskapsbehov. Energimyndigheten. *Rapport 40*.

⁷⁰ Lekander B & Lindelöw Å. 1977. Helträdsutnyttjandet och insekterna. SLU, Projekt helträdsutnyttjande, *Rapport 52*.

⁷¹ Eidmann H H. & Klingström A. 1976. *Skadegörare i skogen*. LTs förlag.

⁷² Jonsson Y. 1976. Drivningsmetoder för stubb- och rotved. I: *Stubbdagen 1976-03-09*. SLU, Projekt helträdsutnyttjande. *Rapport 13*, s 37-47.

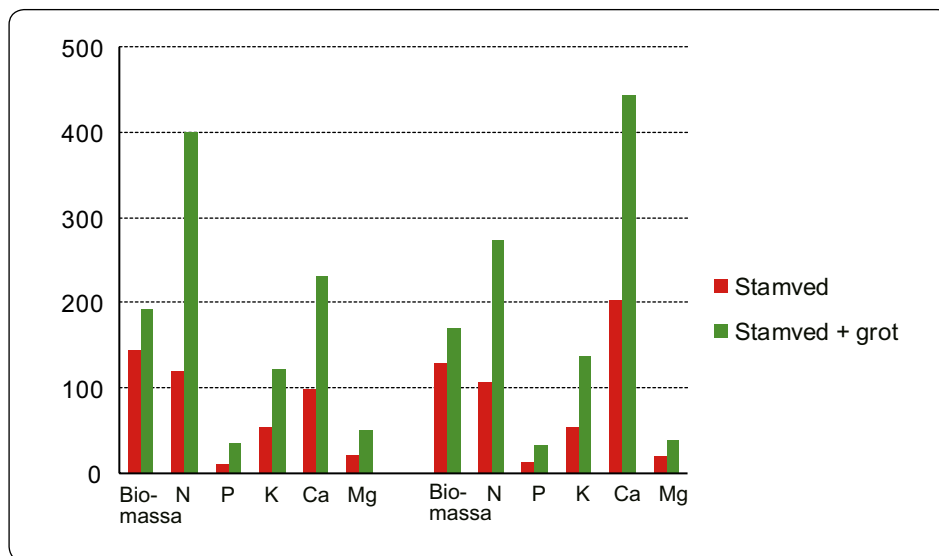
Skogsbränsleuttag

Uttag av skogsbränsle i form av grot och stubbar har potential att påverka skogsproduktionen på två sätt. En ökad skörd av biomassa innebär en ökad skörd av näringsämnen, vilket kan påverka skogsproduktionen på kort och lång sikt. Vid skörd av grot kan inte grenar och toppar användas som underlag för skogsmaskinerna, vilket ökar risken för spårbildning och markkompaktering. Skördas dessutom stubbar ökar risken för markstörning ytterligare, vilket kan öka näringssläckaget eller skapa en ogynnsam rotmiljö för nästa skogsgeneration.

En viss markstörning är emellertid önskvärd för att trygga en snabb och säker etablering av det nya beståndet. Vid konventionell skörd praktiseras därför ofta olika former av markberedning för att få till en snabb och säker etablering av det nya beståndet.

Grot

Redan efter den första energikrisen i mitten på 1970-talet ökade intresset för ett större nyttjande av energi från skogen. Insikten om att grenar och barr var mycket näringstätare än stamved skapade en oro om att det ökade näringsuttaget, då även grenar och toppar skördades (figur SB25), skulle påverka stamvedsproduktionen i negativ riktning.⁷³ Flera fältförsök, designade för att besvara den frågan, anlades därför i början av 1980-talet. Dessa försök, tillsammans med andra äldre och yngre försök, kan idag användas för att studera produktionseffekter.



Figur SB25 Biomassauttag (ton/ha) och näringsuttag (kg/ha) vid konventionellt stamvedsuttag jämfört med uttaget då även grenar och toppar (grot) skördas i två grandominerade bestånd. Beståndet till vänster beläget i Halland, ståndortsindex G30 med ett virkesförråd på 325 m³/ha. Beståndet till höger beläget i Västerbotten, ståndortsindex G20 med ett virkesförråd på 290 m³/ha.⁷⁴

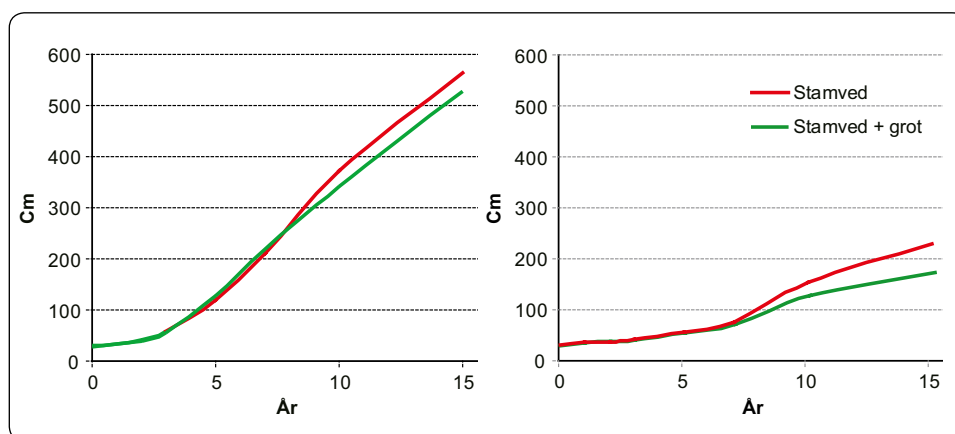
Granplantornas tillväxt efter enbart stamvedsuttag och efter stamvedsuttag och skogsbränsleuttag i form av grenar och toppar har följts i de två bestånden som beskrivs i figur SB26.

⁷³ Mälkönen E. 1976. Effect of whole-tree harvesting on soil fertility. *Silva Fennica* 10, 157-164.

⁷⁴ Björkroth G & Rosén K. 1978. Biomassa och näringsmängder på fyra ståndorter. SLU, Projekt helträdsutnyttjande. *Rapport* 49.

Figur SB26 visar hur medelhöjden för de planterade plantorna utvecklades under de första 15 åren efter plantering. Figuren visar att tillväxteffekten kommer först efter några år. Denna tidsförskjutning stämmer väl överens med kunskapen om kvävet dynamik i avverkningsrester, där kvävet blir kvar oåtkomligt för plantorna under ett antal år^{75 76} för att därefter tas upp av plantorna. Det är fortfarande oklart hur länge den tillväxtnedsättande effekten kvarstår men underlag i form av långsiktiga försök finns för att fastställa detta.

Resultaten i dessa två försök stämmer väl överens med försök i Sverige och andra länder, åtminstone när det gäller gran.^{77 78 79} Höjdtillväxten för tallplantor planterade efter skogsbränsleskörd i förnyingsavverkning har inte påverkats i samma utsträckning.⁸⁰



Figur SB26 Medelhöjdens utveckling under de första 15 åren för granplanterade efter skogsbränsleuttag (grot) i jämförelse med kontrolltytor där enbart stamveden skördats. Data från två granbestånd, varav det ena i Halland (vänster) och det andra i Västerbotten (höger).

Figur SB27 visar resultat från ett större antal fältförsök i Sverige där medelhöjden för gran- och tallplantor planterade efter skogsbränsleuttag jämförs med medelhöjden för plantor planterade på hyggen där avverkningsresterna lämnats kvar, 10-15 år efter plantering. För granplantorna rör det sig om en

⁷⁵ Fahey T J, Stevens P A, Hornung M & Rowland P. 1991. Decomposition and nutrient release from logging residue following conventional harvest of Sitka spruce in north Wales. *Forestry* 64, 289-301.

⁷⁶ Johansson M-B. 1994. The influence of soil scarification on the turn-over rate of slash needles and nutrient release. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9, 170-179.

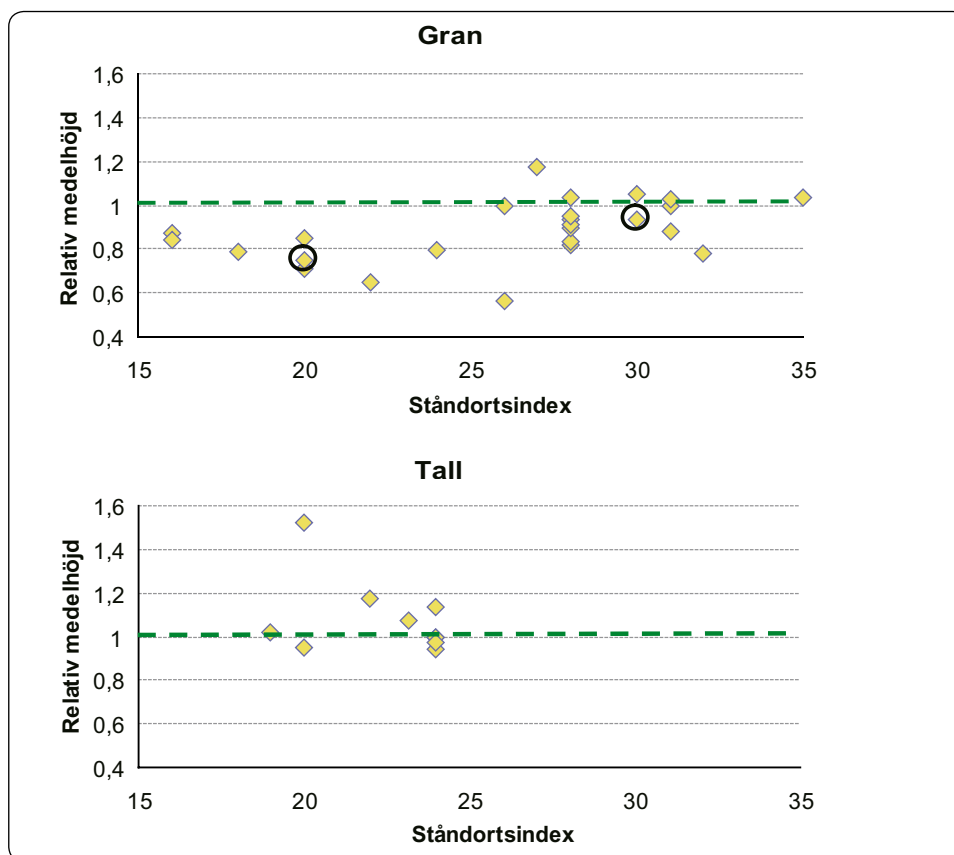
⁷⁷ Egnell G & Leijon B. 1996. Kortsiktiga effekter på skogsproduktionen av helträdsuttag i gallring och slutavverkning. I: Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring. Konferens på Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien den 5 juni 1996. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* nr 13, 73-82.

⁷⁸ Emmett B A, Anderson J M & Hornung M. 1991. Nitrogen sinks following two intensities of harvesting in a Sitka spruce forest (N. Wales) and the effect on the establishment of the next crop. *Forest Ecology and Management* 41, 81-93.

⁷⁹ Proe M F, Cameron A D, Dutch J & Christodoulou X C. 1996. The effect of whole-tree harvesting on the growth of second rotation Sitka spruce. *Forestry* 69, 389-401.

⁸⁰ Egnell G & 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* 14, 303-311.

15-20 procent lägre medelhöjd medan tallplantornas höjdtillväxt troligen inte påverkas. Möjligen finns en svag trend som antyder att svagare granmarker är mer känsliga än bördigare.



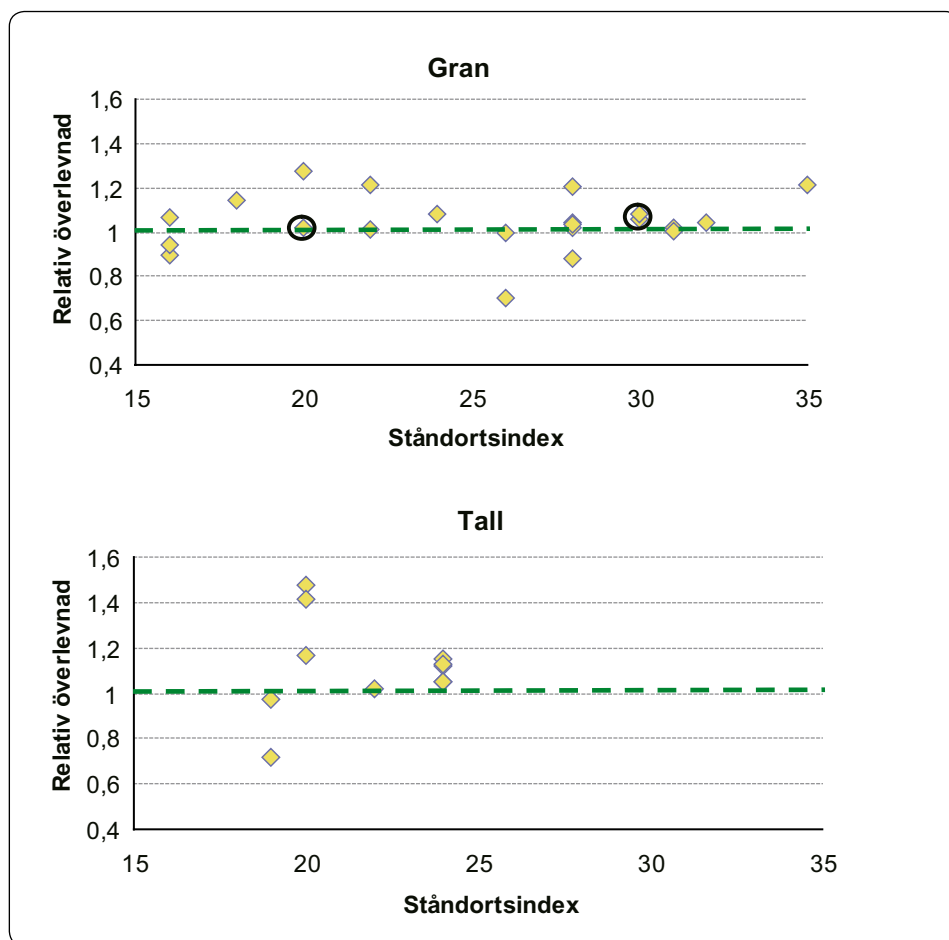
Figur SB27 Kvoten mellan planterade granar och tallars medelhöjd planterade efter uttag av skogsbränsle (grot) och medelhöjden för plantor som planterats där avverkningsresterna lämnats kvar, 10-15 år efter plantering (skogsbränsleuttag/stamvedsuttag). Punkter under den streckade linjen indikerar sämre tillväxt efter skogsbränsleuttag. Granförsöken i Västerbotten (G20) och Halland (G30) har markerats med svarta cirklar.

I figur SB28 jämförs plantöverlevnaden för gran och tallplantor planterade efter skogsbränsleuttag i jämförelse med där avverkningsresterna lämnats kvar. Överlevnaden påverkas troligen inte nämnvärt av skogsbränsleuttaget, möjligen då i positiv riktning för tall. Däremot gynnar skogsbränsleuttaget etableringen av naturlig föryngring^{81 82} samtidigt som beståndsföryngringen riskerar att påverkas negativt.⁸³

⁸¹ Kardell L. 1992. Vegetationsförändring, plantetablering samt bärproduktion efter stubb- och riståkt. SLU, inst. för skoglig landskapsvård. Rapport 50.

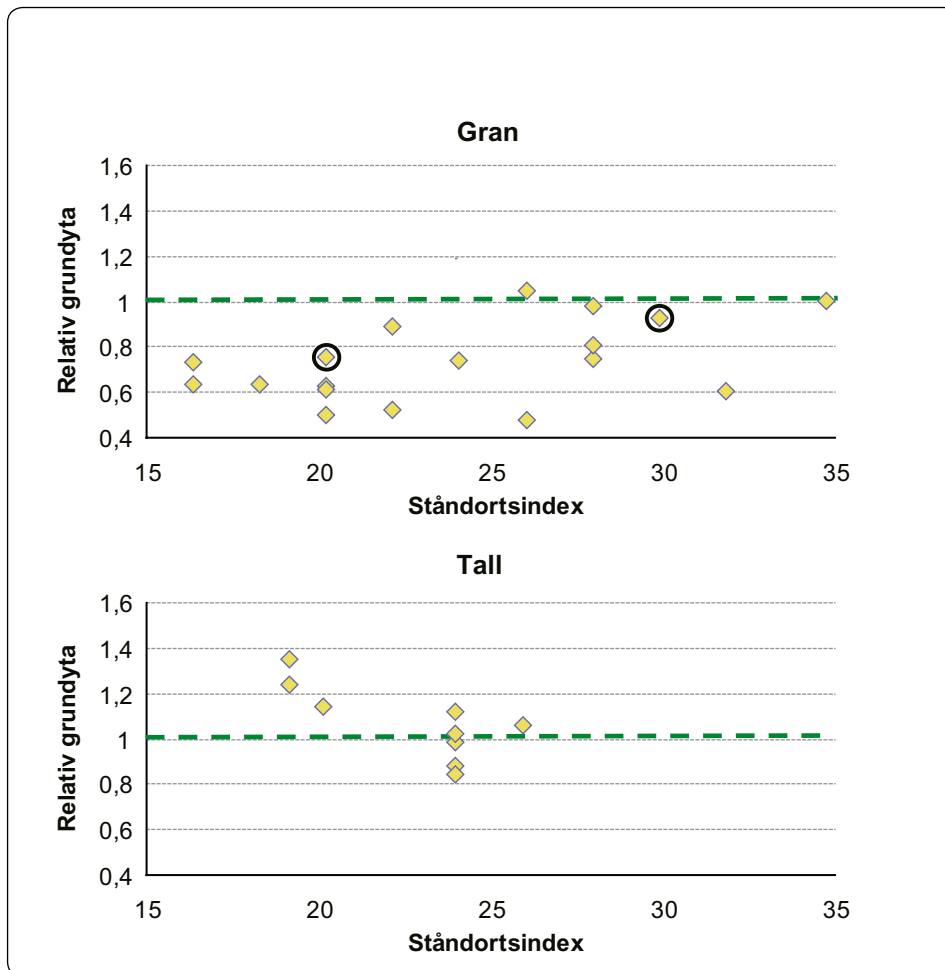
⁸² Karlsson M, Nilsson U & Örlander G. 2002. Natural Regeneration in Clear-cuts: Effects of Scarification, Slash Removal and Clear-cut Age. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17, 131-138.

⁸³ McInnis B G & Roberts M R. 1994. The effects of full-tree and tree-length harvests on natural regeneration. *Northern Journal of Applied Forestry* 11, 131-137.



Figur SB28 Kvoten mellan planterade granar och tallars överlevnad då de planterats efter uttag av skogsbränsle (grot) och överlevnaden för plantor som planterats där avverkningsresterna lämnats kvar, 10-15 år efter plantering (skogsbränsleuttag/stamvedsuttag). Punkter under den streckade linjen indikerar sämre överlevnad efter skogsbränsleuttag. Granförsöken i Västerbotten (G20) och Halland (G30) har markerats med svarta cirklar.

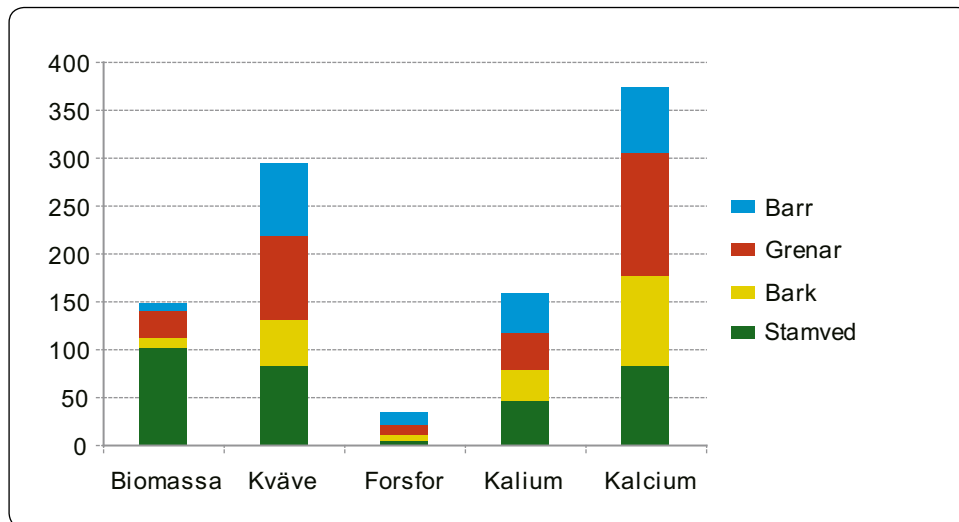
Då den totala skogsproduktionen är en funktion av enskilda trädets tillväxt och antalet träd per ytenhet beskrivs produktionseffekten bäst av *grundyte- eller volymtillväxten*. I figur SB29 visas skogsbränsleuttagets effekt på grundyte-tillväxten baserat på data från långsiktiga försök. Att tillväxten för planterad gran efter skogsbränsleuttag påverkas negativt står med dessa resultat klart. Däremot går det inte att fastställa någon negativ tillväxteffekt för planterad tall.



Figur SB29 Kvoten mellan gryndytan för gran och tall planterad efter uttag av skogsbränsle (grot) och grundytan efter plantering då avverkningsresterna lämnats kvar, 15-30 år efter plantering (skogsbränsleuttag/stamvedsuttag). Eventuell självföryngring har inte medräknats. Punkter under den streckade linjen indikerar sämre överlevnad efter skogsbränsleuttag. Granförsöken i Västerbotten (G20) och Halland (G30) har markerats med svarta cirklar.

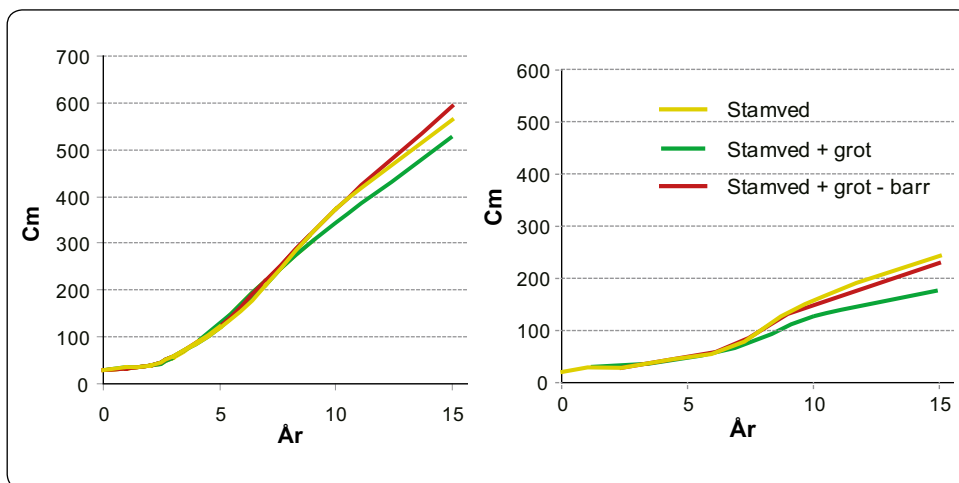
Ett skäl till att planterade granar reagerar mer tydligt negativt på att skogsbränsle skördats är att biomassan i näringsrika grenar och barr är betydligt större i granbestånd än i tallbestånd. Det tidigare beståndet är också i de flesta fall grandominerat där granar planterats efter skogsbränsleuttag.

Figur SB30 visar hur biomassan och några viktiga näringsämnen fördelar sig i ett granbestånd i Västerbotten. Av figuren framgår att barren står för en ringa del av biomassan i beståndet men att en relativt stor andel av näringen finns i barren. Detta, tillsammans med det faktum att barren ställer till med problem i många förbränningsanläggningar, har föranlett en rekommendation att lämna så mycket som möjligt av barren jämnt spridda på hygget.



Figur SB30 Biomassan (ton/ha) och näringsämnenas (kg/ha) fördelning i ett 139 årigt granbestånd i Västerbotten med ett stående virkesförråd på 278 m³sk.⁸⁴

Genom att lämna kvar barren jämnt spridda förefaller det som om höjdtillväxten för granar planterade efter skogsbränsleuttag kan upprätthållas (figur SB31) på samma nivå som på kontrolltytor där enbart stamved skördats. Åtminstone under de första 15 åren.



Figur SB31 Medelhöjdens utveckling under de första 15 åren för granplanterade efter skogsbränsleuttag (grot) samt där skogsbränslet skördats efter det att det torkat så att barren lämnats kvar jämnt spridda på hygget (grot - barr) i jämförelse med kontrolltytor där enbart stamveden skördats. Data från två granbestånd, varav det ena i Halland (vänster) och det andra i Västerbotten (höger).⁸⁵

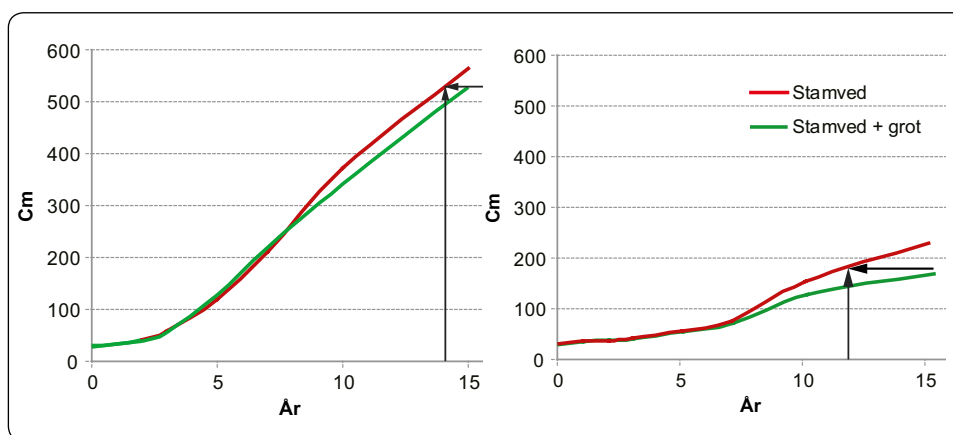
⁸⁴ Nykvist N. 1974. Växtnäringsförluster vid helträdsutnyttjande - En sammanställning av undersökningar i gran- och tallbestånd. I: Helträdsutnyttjande. Föredragen från helträds-konferensen den 27 mars 1974. Johansson G & Wernius S (red.) SLU, inst. för skogsteknik. *Rapporter och Uppsatser* 36, s 74-93.

⁸⁵ Egnell G & 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* 14, 303-311.

Ett problem som uppstår i praktisk verksamhet är att det, vid bränsleanpassad avverkning där skogsbränslet samlas i högar, är svårt att få till en jämn spridning av barren. Det har också visat sig svårt att få barren kvar på hygget då skogsbränslehögarna skotas ihop. Merparten av barren följer, trots att de har släppt från grenarna, med skogsbränslet ut från skogen.⁸⁶

Avgörande faktorer är vädret under torkperioden och framförallt vädret i samband med att skogsbränslet skotas ut från skogen. Fuktig väderlek i anslutning till skotningen gör att det är svårt att få en stor andel av barren kvar i skogen. Tallbarr släpper inte heller lätt från grenarna efter det att skogsbränslet torkat. Försök har också gjorts med aktiv avbarrning av såväl färsk som lagrad grot i samband med att den buntas till grotstockar, med resultat liknande dem vid passiv avbarrning i högar.⁸⁷ Det vill säga en hel del av barren följer med skogsbränslet ut ur skogen och kvarlämnade barr lämnas inte jämnt spridda.

De negativa tillväxteffekterna ovan kan se dramatiska ut så som de redovisas här. Ett annat sätt att se på tillväxteffekterna är att beräkna hur många tillväxtsånger efter plantor planterade efter skogsbränsleuttag befinner sig. Detta visas i figur SB32 där granarna i Hallandsbeståndet ligger ett knappt år efter medan granarna i Västerbottensbeståndet ligger tre år efter.



Figur SB32 Samma figur som SB26 som visar medelhöjdens utveckling under de första 15 åren i för granplantorna på fältförsöken i Halland (vänster) och Västerbotten (höger). De svarta pilarna visar hur många år efter i höjdtillväxt som plantor planterade efter skogsbränsleuttag är.

⁸⁶ Filipsson J & Nordén B. 2001. Avbarrning av skogsbränsle – pilotstudie av aktiv avbarrning av trädrester med skotargrip vid lastning. SkogForsk, *Arbetsrapport* 488.

⁸⁷ Bohm Larsson M. 2004. Fraktionsfördelning och näringsuttag vid Wood Pac buntning av färsk GROT. SLU, inst. för skogsskötsel. *Examensarbeten* nr 16.

Skillnader mellan försök och praktik

Vidare är det för tolkningen av resultaten viktigt att förstå skillnaden mellan försök och praktisk verksamhet. I fältförsök tar man ofta i lite extra när man studerar effekter av olika behandlingar, samtidigt som man försöker undvika andra typer av störningar är själva behandlingen i sig. I försök med skogsbränsleuttag har detta bland annat resulterat i att man i de flesta försök har:

- Skördat en stor andel av groten (ofta upp mot 100 %).
- Lämnat den kvarvarande groten jämnt spridd på kontrolllytorna (I en del fall har kontrollytorna fått dubbel grotmängd).
- Avverkat motormanuellt och ingen körning med skogsmaskiner har tillåtits på försöksytorna.
- Markberett och planterat manuellt och såväl markberedning som planteringen har utförts relativt kort tid efter avverkning och samma år oavsett behandling.

Mycket grot kvar i skogen

Vid praktisk skogsbränsleskörd med dagens teknik blir en hel del av grotbiomassan av olika skäl kvar i skogen. Till del beror det på tekniken som inte medger att en stor andel tas ut. Detta är något som kan komma att ändras om ny teknik vid grotskörd tas fram. Till detta kommer grot som avsiktligt läggs i körvägen på sträckor med dålig bärighet eller som av olika skäl ligger olämpligt till. Undersökningar pekar på att omkring 30 % av tillgänglig grot blir kvar på hygget vid skogsbränsleuttag.⁸⁸ Dagens avverkningsmaskiner lämnar vidare avverkningsresterna i strängar längs med körvägarna och inte jämnt spridda så som i många fältförsök. Däremot kör man med maskiner över skogsmarken vid praktisk skogsbränsleskörd vilket kan påverka spår- bildning och markkompaktering då skogsbränslet inte kan användas som underlag till maskinerna.

Vid praktiskt skogsbruk tillämpas ofta så kallad hyggesvila mellan avverkningen och föryngringsåtgärderna. Två skötselmässiga skäl har anförts för detta.

För det första utgör hyggesavfallet ett fysiskt hinder för såväl markberedning som plantering eller sådd, främst då på bördiga grandominerade marker, vilket är samma marker som idag i första hand är intressanta för skogsbränsleskörd.

Det andra skälet som anförts har varit att minska risken för omfattande skador av snytbagge på plantorna. Vid skogsbränsleskörd har det första argumentet för hyggesvila eliminerats. Det är därför möjligt att komma igång med föryngringsåtgärder tidigare då skogsbränsle skördats.

⁸⁸ Eriksson L-G. 1993. Mängd trädrester efter trädbränsleskörd. Vattenfall Utveckling AB, Projekt Bioenergi, *Rapport* 28.

I en försöksserie på fyra försökslokaler i södra Sverige, det så kallade ”hyggesåldersförsöket”⁸⁹, kan kombinerade effekter av skogsbränsleskörd utvärderas då försöket omfattar föryngringsavverkning med eller utan skogsbränsleskörd följt av olika lång hyggesvila (0-4 år) innan markberedning och plantering. Skogsbränsleskörden i försöksserien har dessutom genomförts på ett sätt som mer liknar praktisk skörd, med ett uppskattat grotuttag på omkring 80 % av den tillgängliga biomassan. Resultat från hyggesåldersförsöket visas i figur SB33.

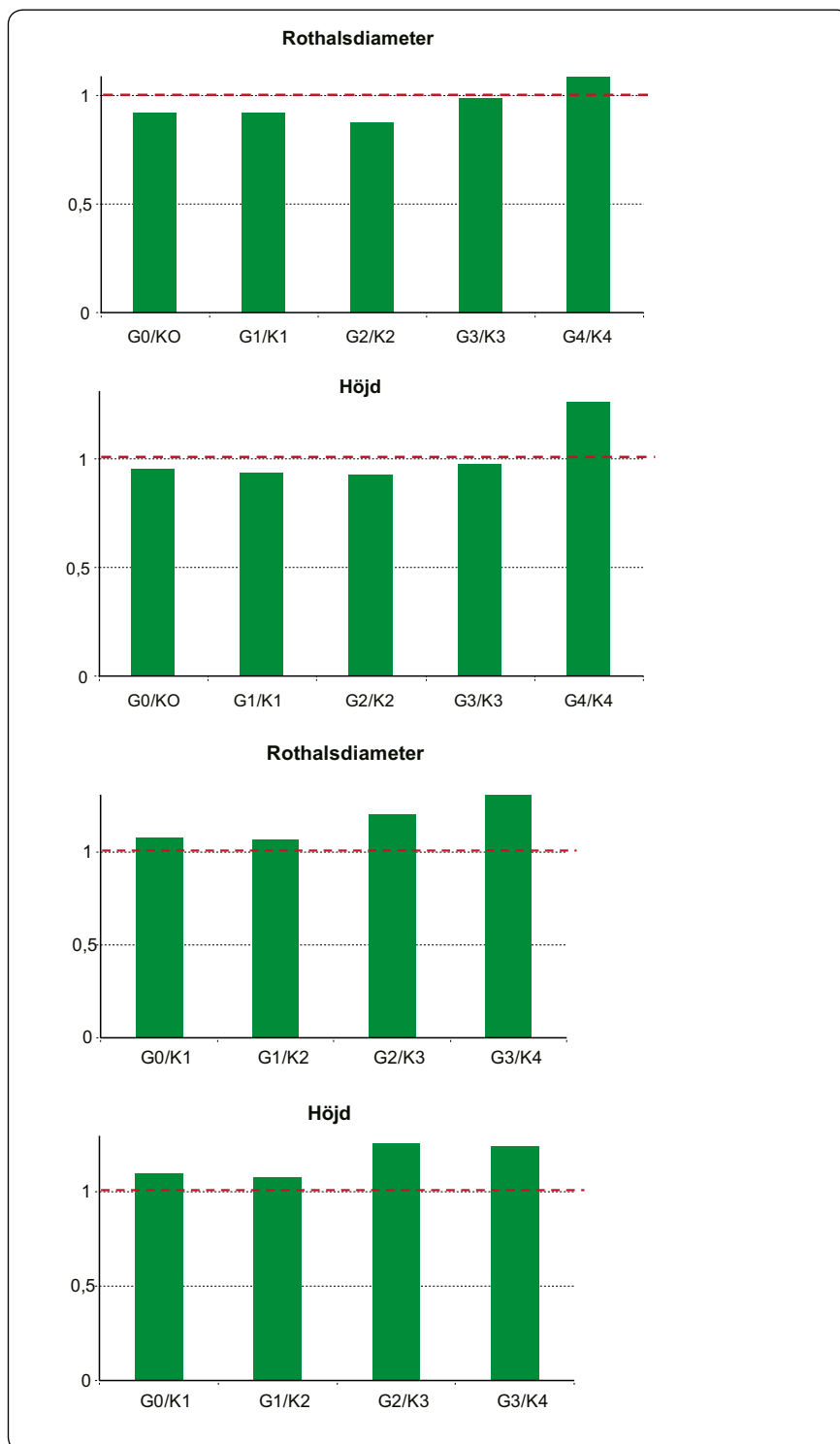
Lång hyggesvila fördelaktigt

De övre figurerna överensstämmer väl med den totala bilden från fältförsök och visar på en lägre tillväxt efter skogsbränsleuttag. Nytt är att den negativa effekten förefaller att avta med hyggesvilans längd och att det vid lång hyggesvila (3-4 år) till och med skulle kunna vara en fördel med skogsbränsleuttag. En tolkning av detta kan vara att den näring som finns i avverkningsresterna vid lång hyggesvila, istället för av plantorna, tas tillvara av annan konkurrerande vegetation. Detta kunde emellertid inte styrkas i försöket då mängd hyggesvegetation med eller utan skogsbränsleuttag jämfördes.⁹⁰

I de nedre två figurerna jämförs medelrothalsdiameter och medelhöjd för plantorna vid ett och samma år (1997) – men där plantorna på de skogsbränsleskördade ytorna genomgående planterats ett år tidigare än plantorna på kontrollytorna där avverkningsresterna lämnats. Figuren visar att genom att komma igång med markberedning och plantering ett år tidigare då skogsbränsle skördas kompenseras gott och väl hela den tillväxtminskning som skörden medför.

⁸⁹ Örlander G & Nilsson U. 1999. Effect of Reforestation Methods on Pine Weevil (*Hylobius abietis*) Damage and Seedling Survival. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14, 341-354.

⁹⁰ Örlander G, Nilsson U & Hällgren J-E. 1996. Competition for water and nutrients between ground vegetation and planted *Picea abies*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 26, 99-117.



FigurSB33 Resultat från ”hyggesåldersförsöket” – medelvärden från 4 lokaler i Götaland. De översta två figurerna visar kvoterna för granplantornas rothalsmedeldiameter och medelhöjd 10 vegetationsperioder efter plantering på hygge där skogsbränsle skördats (G) och där det lämnats kvar (K) samt efter olika lång hyggesvila (0-4 år). I de nedre två figurerna har kvoterna beräknats för medelrothalsdiameter och medelhöjd samma år (1997) och genomgående med en ett år kortare hyggesvila i de fall skogsbränsle har skördats. Då stapeln når över den streckade linjen växer plantorna bättre där skogsbränsle skördats.

Till detta kan sedan läggas att avverkningsresterna inte ligger kvar som ett fysiskt hinder för markberedare och plantörer, vilket gör arbetet enklare, effektivare, i många fall kvalitetsmässigt bättre och inte minst billigare.

Hur går det då med snytbaggeskadorna? Resultaten från hyggesålderförsöket pekar på att det krävs lång hyggesvila (mer än två år) för att minska skadorna på plantorna till acceptabla nivåer om dessa inte är skyddade på annat sätt. Rekommendationen är därför att komma igång med föryngringsarbetet så fort som möjligt och att skydda plantorna mot snytbagge på annat sätt (med mekaniska eller kemiska skydd samt markberedning).⁹¹ En snabb start på föryngringsarbetet underlättas om skogsbränslet skördas. En slutsats av detta är att man i ett skogsbruk med skogsbränsleuttag i samband med föryngringsavverkning inte behöver oroa sig för de kortsiktiga tillväxteffekterna av det extra näringsuttaget under förutsättning att föryngringsarbetet kommer igång snabbt efter avverkning.

Tillväxtförluster kan motverkas

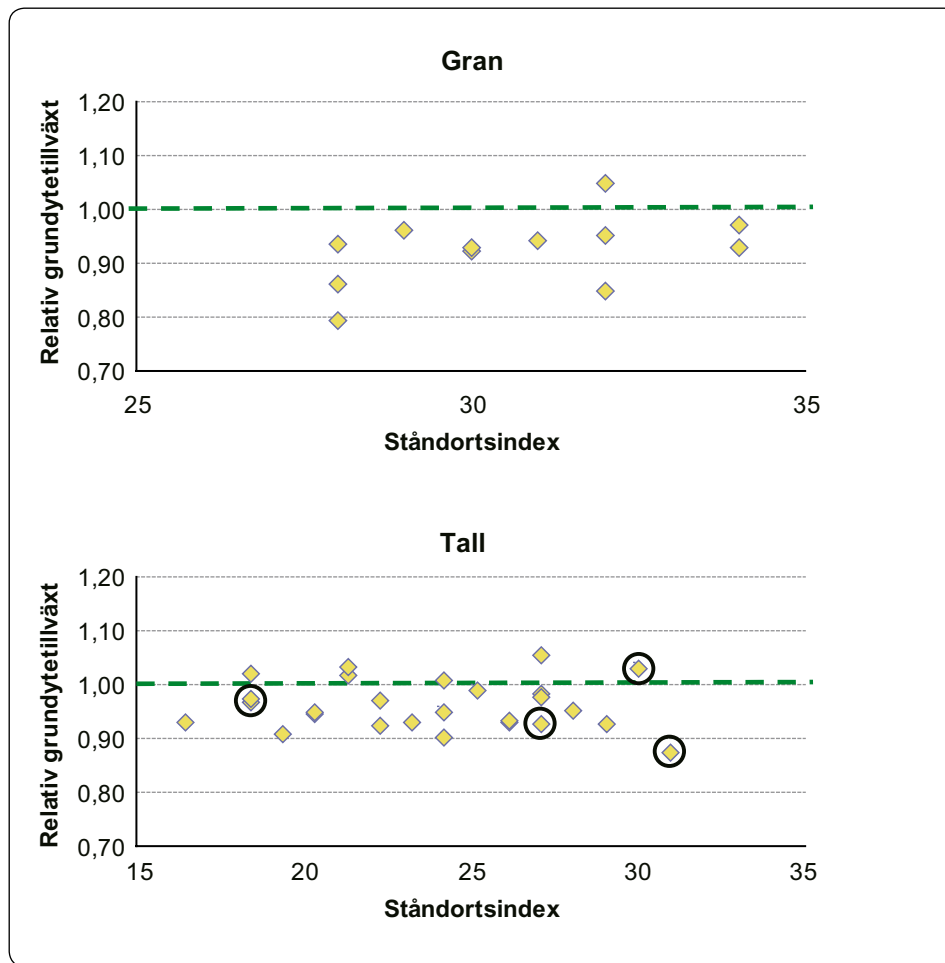
Vid skogsbränsleskörd i samband med gallring och röjning finns det kvar ett bestånd som direkt kan tillgodogöra sig den näring som successivt frigörs från lämnade röjningsstammar eller grenar och toppar efter en gallring. Figur SB34 visar effekten på grundytetillväxten i det kvarvarande beståndet efter skogsbränsleuttag i röjning (4 tallytor) och gallring från fältförsök i Norden.^{92 93 94} Av figuren framgår att grundytetillväxten för såväl kvarvarande gran- som tallbestånd påverkas negativt av skogsbränsleuttaget och att effekten relativt sätt inte tycks påverkas av markens bördighet (ståndortsindex).

⁹¹ Örlander G & Nilsson U. 1999. Effect of Reforestation Methods on Pine Weevil (*Hylobius abietis*) Damage and Seedling Survival. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14, 341-354.

⁹² Jacobson S. 1996. Askåterföring och kompensationsgödsling efter helträdsavverkning - effekt på trädens stamtillväxt. I: Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring. Konferens på Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien den 5 juni 1996. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* nr 13, 91-102.

⁹³ Jacobson S, Kukkola M, Mälkönen E & Tveite B. 2000. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. *Forest Ecology and Management* 129, 41-51.

⁹⁴ Egnell G & Leijon B. 1997. Effects of different levels of biomass removal in thinning on short-term production of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12, 17-26.

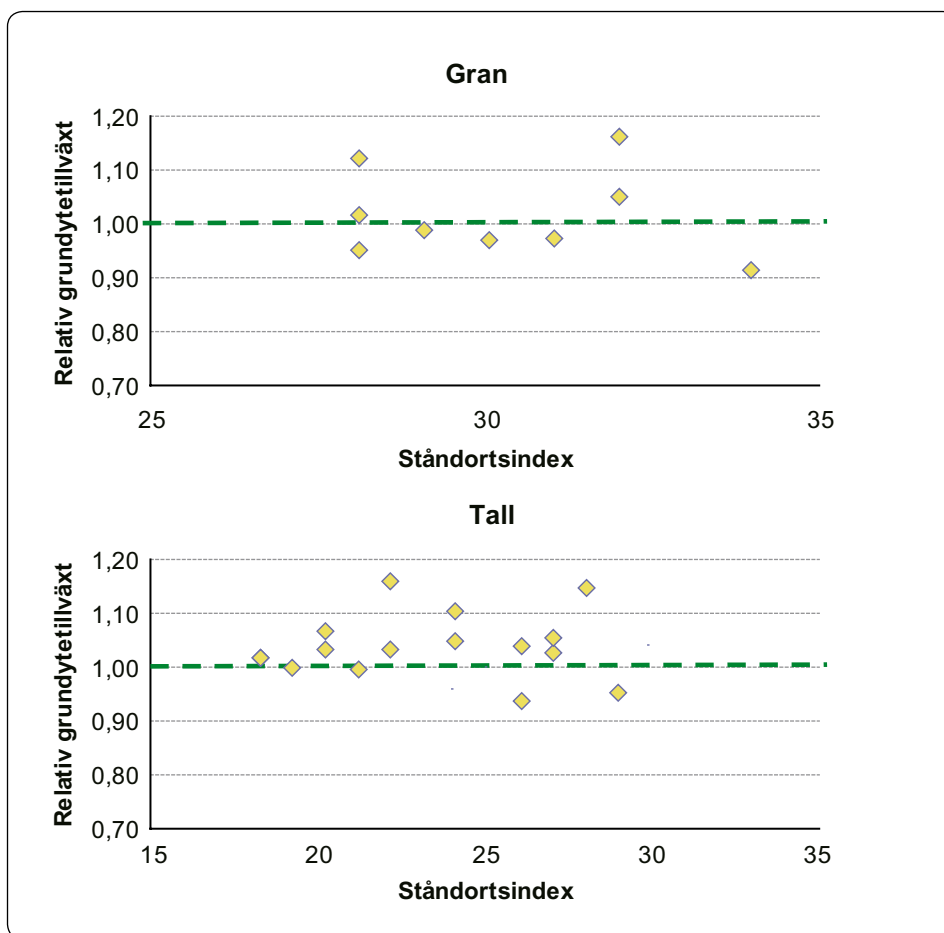


Figur SB34 Figuren visar grundytetillväxten för gran- och tallbestånd efter skogsbränsleuttag i gallring dividerat med grundytetillväxten för kontrollbestånd där inget skogsbränsle skördats vid gallringen, 10 till 20 år efter gallring. Punkter under den streckade linjen indikerar sämre tillväxt efter skogsbränsleuttag. De svarta cirkelarna ringar in fyra försök med skogsbränsleuttag i röjning.

I flera av de försök som ingår som underlag till figur SB34 ingår också ett försöksled där det extra näringsuttaget i grenar och toppar kompenseras med en näringsgiva i samband med gallringen. I figur SB35 jämförs istället det kompensationsgödslade försöksledet med kontrolllytorna och det förefaller som om en kompenserande dos mineralnäring räcker för att motverka den tillväxtförlust som skogsbränsleuttaget medför.^{95 96}

⁹⁵ Jacobson S & Kukkula M. 1999. Skogsbränsleuttag i gallring ger kännbara tillväxtförluster. SkogForsk. *Resultat* 13-1999.

⁹⁶ Jacobson S. 2001. Fertilization to increase and sustain tree growth in coniferous stands in Sweden. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Silvestria* 200.



Figur SB35 Figuren visar grundytetillväxten för gran- och tallbestånd efter skogsbränsleuttag i gallring där det extra näringsuttaget i skogsbränslet kompenseras med mineralnärning (N, P, K) dividerat med grundytetillväxten för kontrollbestånd där inget skogsbränsle skördats vid gallringen, 10 till 20 år efter gallring. Punkter under den streckade linjen indikerar sämre tillväxt efter skogsbränsleuttag + NPK.⁹⁷

I figurerna ovan jämförs relativa tillväxteffekter. För en skogsägare är det absoluta tillväxtförluster som räknas, vilka ska ställas i relation till den intäkt (direkt eller indirekt) som skogsbränslet ger. Vid en sådan jämförelse faller uttagen i röjning och gallring ut som mer tveksamma än uttagen vid förnyingsavverkning, då de förstnämnda i de flesta fall ger relativt små kvantiteter skogsbränsle samtidigt som tillväxtförlusten blir förhållandevis stor.⁹⁸

För att kunna räkna hem skogsbränsleuttag i röjning och gallring bör intäkter från skogsbränsleuttaget kunna bära kostnaden för en kompenserande gödsling. En gödsling som inte nödvändigtvis behöver göras i direkt anslutning till skogsbränsleuttaget och inte heller i enbart kompenserande dos utan som en del i ett ordinarie skogsgödslingsprogram.

⁹⁷ Jacobson S. 2001. Fertilization to increase and sustain tree growth in coniferous stands in Sweden. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Silvestria* 200.

⁹⁸ Mattsson S. 1999. Ekonomiska kalkyler visar: Tillväxtförluster ger ”dolda kostnader” vid uttag av skogsbränsle – framförallt i gallring. *SkogForsk. Resultat* 14-1999.

Stubbar

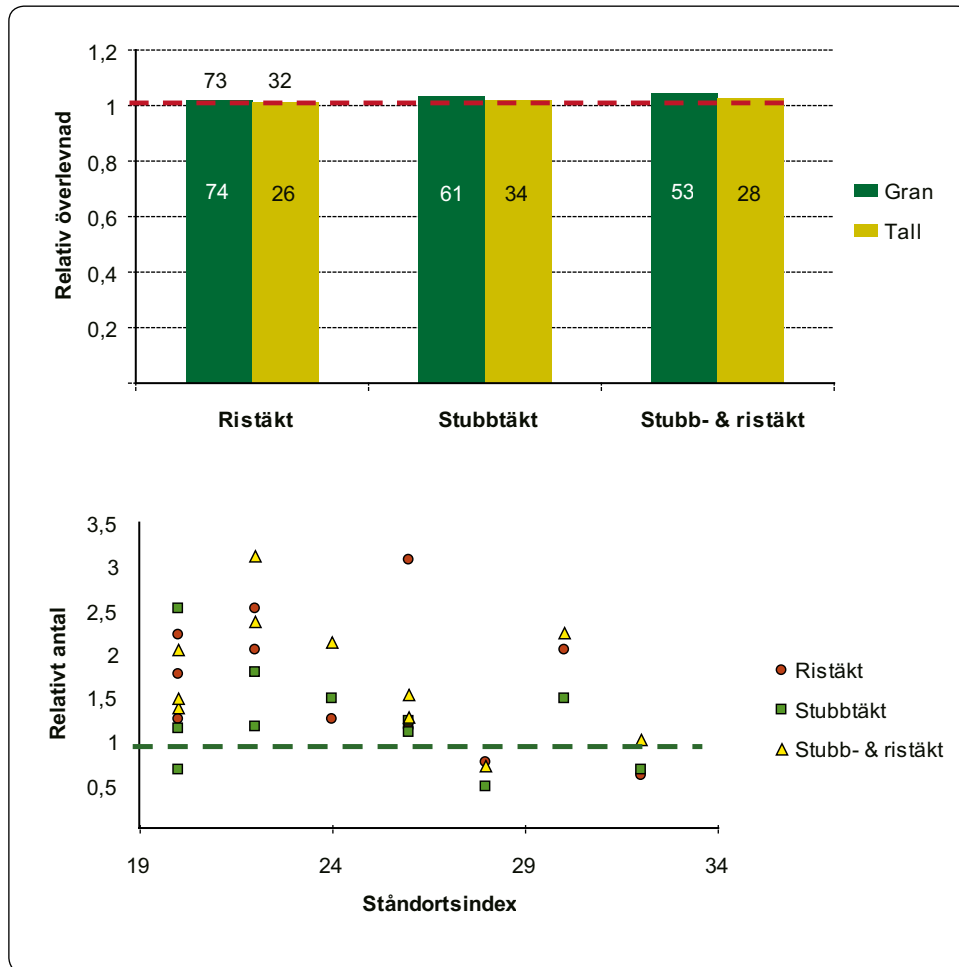
Skörd av stubbar kan påverka skogsproduktionen på två sätt. Dels genom den extra mängd näring som tas ut med stubbiomassan och dels genom den markstörning som själva skörden orsakar, vilken har potential att påverka mineralisering av näring i marken, näringsförlust genom utlakning samt plantöverlevnad och mängden självföryngring.

Näringsinnehåll i stubbar är inte studerat i någon större omfattning – men stubben och de grövre rötterna (> 5 cm) torde närmast vara att likna vid stamved och grövre grenar varför skörd av dessa inte dramatiskt torde öka näringsuttaget. Om skörden också omfattar klenare rötter kan däremot näringsuttaget öka märkbart.⁹⁹

I Sverige finns två äldre försöksserier förvaltade av SLU som ger en fingerisning om vilka kortsiktiga tillväxteffekter som kan förväntas efter stubbskörd.¹⁰⁰ Från den första försöksserien visar figur SB36 relativt antal levande plantor och relativt antal naturligt föryngrade plantor efter sju vegetationsperioder. Figuren visar inte på några behandlingseffekter av stubbskörd på plantöverlevnaden. Ser man till hjälpplanteringsinsatserna för de olika skördeintensiteterna kan man möjligen skönja ett bättre föryngringsresultat efter stubb- och riståkt i granskog. Däremot gynnas tillslaget av naturlig föryngring av alla skördeintensiteter utöver stamved. I flera fall ökar tillslaget av självföryngring med en faktor två eller mera.

⁹⁹ Palviainen M. 2005. Logging residues and ground vegetation in nutrient dynamics of a clear-cut boreal forest. *Dissertationes Forestales* 12, Faculty of Forestry, Joensuu University.

¹⁰⁰ Kardell L. & Wärne C. 1981. Stubbar och ris - Blåbär och lingon. Utläggning av skogsenergiförsök 1978-1980. SLU, inst. för skoglig landskapsvård. *Rapport* 21.

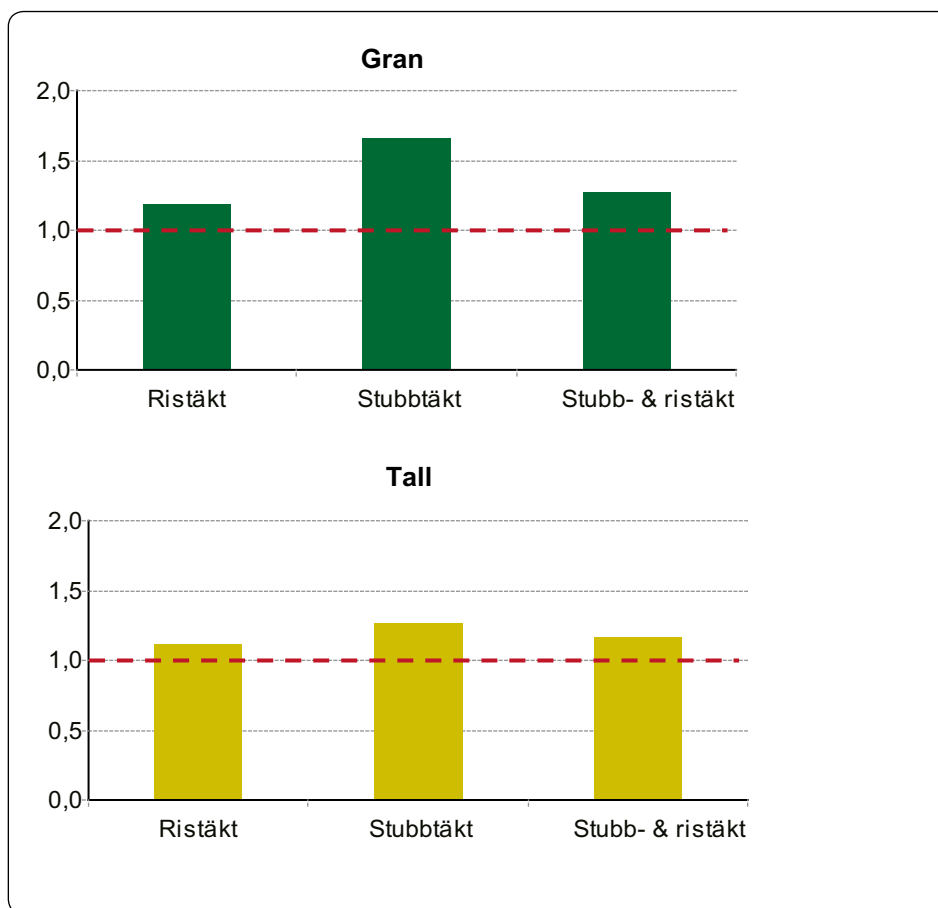


Figur SB36 Övre figuren visar relativ plantöverlevnad (inklusive hjälpplanterade plantor) efter 7 vegetationsperioder vid olika skördeintensitet i jämförelse med kontrollytor där enbart stamved skördats. Andelen hjälpplanterade plantor (%) anges i staplarna (ovan streckade linjen för kontrollytorna). Nedre figuren visar relativt antal självföryngrade plantor efter olika skördeintensitet i jämförelse med kontrollytorna i samma försöksserie. Underlag från nio försökslokaler spridda över landet.¹⁰¹

I figur SB37 jämförs medelhöjden för plantor i samma försöksserie efter sju vegetationsperioder. Inte i något fall förefaller skördeintensiteten ha påverkat höjdtillväxten negativt – inte ens efter enbart uttag av näringsrik grot (riståkt).

En anledning till detta kan vara att risrensningen gjordes ”efterföljande sommar” efter avverkningen, vilket kan ha medfört att en hel del av de näringsrika barren blev kvar på ytan. En annan faktor kan vara att samtliga försöksled i denna försöksserie markbereddes (harvning), vilket kan ha över-skuggat effekterna av riståkten.

¹⁰¹ Kardell L. 1992. Vegetationsförändring, plantetablering samt bärproduktion efter stubb- och riståkt. SLU, inst. för skoglig landskapsvård. Rapport 50.



Figur SB37 Stubb- respektive ristäktens inverkan på planterade granars och tallars höjdtillväxt i jämförelse med kontrolltytor (röd streckad linje) där enbart stamved skördats före markberedning och plantering. Relativa värden, där kontrollparcellernas medelhöjder efter 7 vegetationsperioder satts till 1.¹⁰²

Från den andra försöksserien anlagd av Bo Leijon finns inga produktionsdata publicerade men data har samlats in löpande. Figur SB38 visar grundytan ett kvarts sekel efter plantering. Inte heller i denna serie förefaller stubbskörden ha påverkat skogsproduktionen negativt. Det förefaller därför inte som om skörd av stubbar i sig medför några kortsiktiga produktionsminskningar – men då stubbskörd underlättas om även avverkningsrester skördas är det rimligt att anta viss produktionsnedsättning efter ”ris- och stubbskörd” även om resultaten presenterade här inte entydigt pekar åt det hållet.

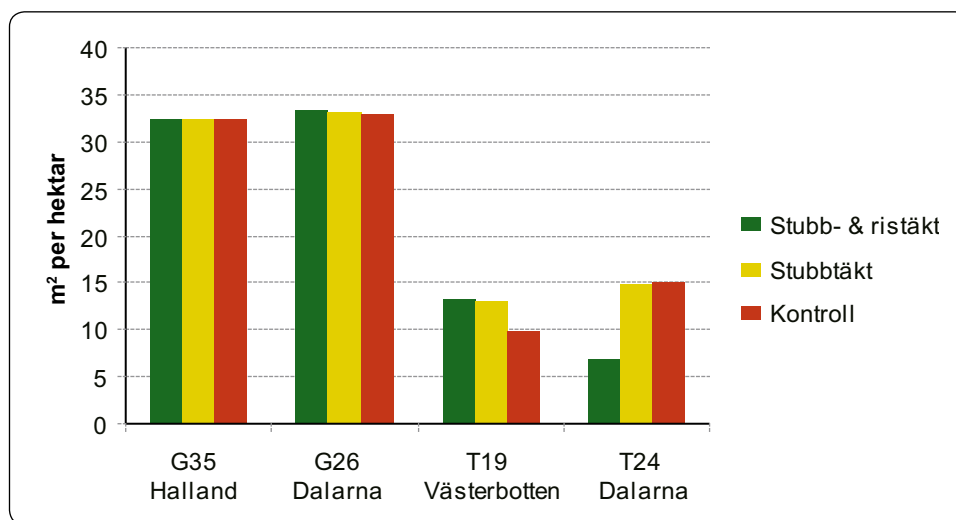
Spårbildning och markkompaktering

All körning i bestånd ökar risken för spårbildning och markkompaktering. Markkompaktering kan leda till förändrade förutsättningar i rotmiljön för kommande skogsgeneration, vilket i värsta fall kan leda till tillväxtninsk-

¹⁰² Kardell L. 1992. Vegetationsförändring, plantetablering samt bärproduktion efter stubb- och ristäkt. SLU, inst. för skoglig landskapsvård. Rapport 50.

ningar.^{103 104 105} Spårbildning är till del ett estetiskt problem, men kan också skada fornlämningar och skapa förutsättningar för transport av finare material och vattenlösliga organiska föreningar till omgivande vattendrag.

Skörd av grot och stubbar ökar risken för markkompaktering och spårbildning då avverkningsresterna tidigare använts som underlag för de tunga skogsmaskinerna samtidigt som stubbarna och framförallt de grövre rötterna fungerade armerande. Till detta kommer att skogsbränslesortimentet medför ytterligare körning i samband med stubbskörd och terrängtransport av skogsbränslet. Är det också så att vi går mot varmare och blötare vintrar där perioder med tjäle blir allt sällsyntare i landet så finns det anledning att ta detta problem på allvar.



Figur SB38 Grundytan (m²/ha) efter 24-27 vegetationsperioder.¹⁰⁶

Askåterföring

De kortsiktiga tillväxteffekterna av skogsbränsleskörd som beskrivits tidigare beror med stor sannolikhet i första hand på det kväve som skördas med skogsbränslet och därmed undanhålls den nya skogsgenerationen eller det kvarvarande beståndet vid röjning och gallring. Resultaten visar också att tillväxtnedskningen kan elimineras med kompensation för det extra kväveuttaget med kvävegödsel (jämför med figur SB35). Då det inte finns något kväve i vedaska kan därför inte någon kortsiktig positiv effekt av vedaska på skogsproduktionen förväntas under förutsättning att askan i sig inte påverkar kvävetillgängligheten i någon riktning.

¹⁰³ Skinner M F, Murphy G, Robertson E D & Firth J G. 1989. Deleterious effects of soil disturbance on soil properties and subsequent early growth of second-rotation radiata pine. I *Research strategies for long-term site productivity*. Proceedings, IEA/BE A3 workshop, Seattle, WA, August 1988. Report No. 8. Forest Research Institute, New Zealand. Bulletin 152. Dyck W J. & Mees C A. (red.) Forest Research Institute, New Zealand, s 201-211.

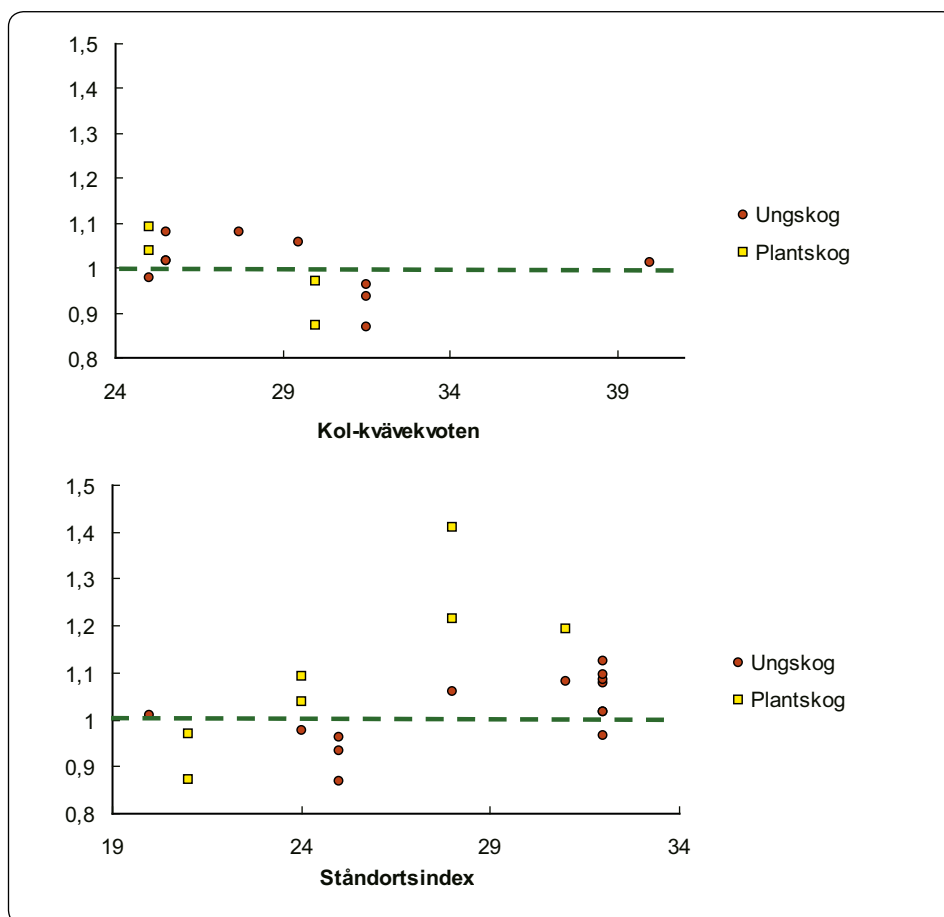
¹⁰⁴ Wästerlund I. 1994. Forest responses to soil disturbance due to machine traffic. I: *Interactive workshop and seminar FORSITRISK, soil, tree, machine interactions*. Feldafing, Tyskland, 4-8 Juli 1994, s 0-24.

¹⁰⁵ Hakkila P. 1989. Ecological consequences of residue removal. I: *Utilization of residual forest biomass*. Springer-Verlag (Berlin, Heidelberg, New York), s 479-516.

¹⁰⁶ Bo Leijons försöksserie, opublicerat.

Det förefaller som om försök med askåterföring ger liknande produktionsrespons som äldre kalkningsförsök, där tillväxten stimuleras på marker med ett lägre kolförråd i förhållande till kväveförrådet i humusskiktet, den så kallade kol-kväveknoten.¹⁰⁷ Tröskelvärden ligger på kvoter kring 30. Kalkning eller askåterföring till skogsmarker med kol-kväveknoter väl över 30 i humusskiktet tenderar att ge en tillväxtminskning, medan produktionen ökar på marker med värden väl under 30. På marker med värden kring 30 syns ofta ingen effekt alls.

Figur SB39 visar resultat från ett antal fältförsök med askåterföring, där 1-6 ton aska har påförts plant- eller ungskog i landet, som förstärker den bilden. Kol-kväveknoten är inte en uppgift som normalt finns tillgänglig i ett beståndregister varför sambandet mellan kol-kväveknoten och markens bördighet (ståndortsindex) kan nyttjas. Tröskelvärden för ståndortsindex förefaller ligga kring 24, vilket innebär att bättre boniteter kan påverkas positivt av askåterföring medan sämre boniteter kan reagera negativt.

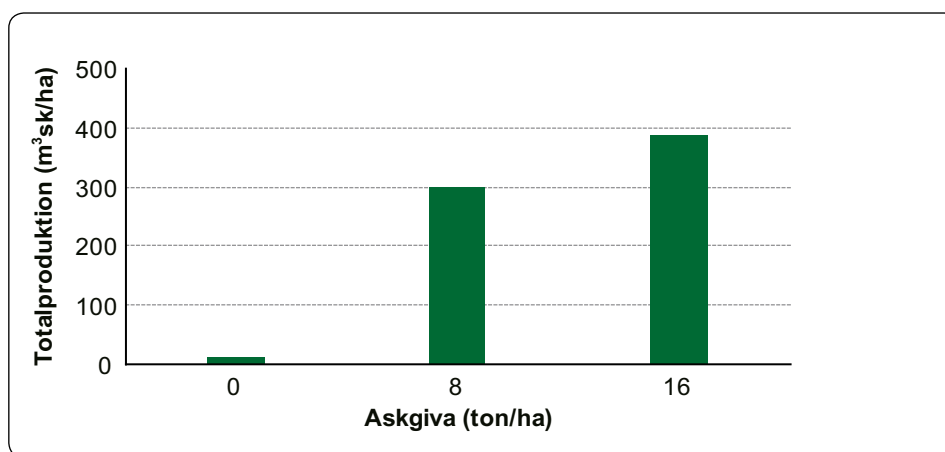


Figur SB39 Resultat från fältförsök i Sverige. Relativ tillväxt för ungskog och plantskog efter askåterföring (givor på 1-6 ton per hektar). X-axeln svarar mot försökslokalernas kol-kväveknot i humusskiktet eller bördighet (ståndortsindex). Den streckade linjen motsvarar tillväxten för kontrolltytor där ingen aska tillförts. Punkter ovanför den streckade linjen indikerar bättre tillväxt efter askåterföring.

¹⁰⁷ Staaf H, Persson T & Bertills U. 1996. Skogsmarkskalkning - Resultat och slutsatser från Naturvårdsverkets försöksverksamhet. Rapport 4559. Staaf H, Persson T & Bertills U. (red.) Naturvårdsverkets förlag, Stockholm.

Behovet av att ur skogsproduktionssynpunkt kompensera för näringsförluster orsakade av luftföroreningar och/eller skogsbränsleskörd med aska eller andra produkter utan kväve har debatterats under en längre tid och i många fall blir slutsatsen att det ur skogsproduktionssynpunkt är onödigt på fastmarker.¹⁰⁸

Men det finns marker där vedaska har en känd och påtaglig effekt på skogsproduktionen – nämligen på de skogsmarker som definieras som torvmarker med ett organiskt markskikt som är 30 cm eller mäktigare. Många av dessa marker är tidigare dikade för att på detta sätt få fart på skogsproduktionen. Skogsproduktionen på dessa marker är främst begränsad av den låga kalium- och fosfortillgången. Tillförsel av vedaska till sådana marker kan öka produktionen avsevärt. I figur SB40 visas resultat från ett sådant försök i Finland där totalproduktionen under de första 42 åren ökade från 12 till 300 respektive 400 kubikmeter vid en askgiva på 8 respektive 16 ton per hektar.



Figur SB40 Totalproduktionen 42 år efter tillförsel av 0, 8 och 16 ton vedaska per hektar på en dikad torvmark i Finland.¹⁰⁹

Bristen på kalium och fosfor på torvmarker gör också att det ur produktionssynpunkt är direkt lämpligt att där återföra vedaska efter skogsbränsleuttag.

Arealen idag lämpliga marker för produktionshöjande askgödsling i Sverige har uppskattats till 190 000 hektar, varav 60 000 hektar i norra Norrland, 30 000 hektar i vardera södra Norrland och Svealand samt 70 000 hektar i Götaland.¹¹⁰ Härtill kommer ytterligare areal som idag är kalmare, plant- eller ungskog samt avslutade torvtäkter. Vid skogsgödsling på torvmark behövs 40-50 kg fosfor per ha vilket tillämpat på ett antal kända trädbränsleaskor motsvaras av givor på 3-8 ton per hektar.

Det finns andra argument än skogsproduktion för askåterföring där kvalitén på avrinnande vatten och därmed effekten på grund- och ytvatten är ett. Om produktionshöjande askåterföring på skogliga torvmarker också kan bidra till önskvärda förändringar i intilliggande ytvatten vore det en bonus.

¹⁰⁸ Sikström U, Albrektsson A, Näsholm T & Bergh J. 2001. Effekter på skogsproduktion av markförsurning och motåtgärder. Skogsstyrelsen. Rapport 11-2001.

¹⁰⁹ Silverberg K & Hotanen J-P. 1989. Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic Sphagnum papillosum fen i Oulu district, Finland. *Folia Forestalia* 742.

¹¹⁰ Hånell, B. 2004. Arealer för skogsgödsling med träaska och torvaska på organogena jordar i Sverige. Värmeforsk. Rapport 872.

Litteratur

- Abrahamsson M & Lindbladh M. 2006. A comparison of saproxylic beetle occurrence between man-made high- and low-stumps of spruce (*Picea abies*). *Forest Ecology and Management* 226, 230-237.
- Anon. 2011. *Energiläget 2011*. Statens Energimyndighet ET 2011:42.
- Anon. 2008. *Skogliga konsekvensanalyser 2008 - SKA-VB-08*. Skogsstyrelsen Rapport 25.
- Anon. 2007. På väg mot ett oljefritt Sverige. Kommissionen mot oljeberoende juni 2006.
- Arvidsson H. 2001. Wood ash application in spruce stands: effects on ground vegetation, tree nutrient status and soil chemistry. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Silvestria* 221.
- Arvidsson H, Vestin T & Lundkvist H. 2002. Effects of crushed ash application on ground vegetation in young Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 161, 75-87.
- Bergström, D. 2009. Techniques and systems for boom-corridor thinning in young dense forests. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 2009:87.
- Berndes G, Hoogwijk M & van den Broek R. 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25, 1-28.
- Berndes G, & Magnusson L. 2006. The future of bioenergy in Sweden – Background and summary of outstanding issues. Energimyndigheten. *Rapport 30*.
Bioenergi från jordbruket – en växande resurs. SOU 2007:36. 2007.
- Bishop K, Allan C J, Bringmark L, Garcia E, Hellsten S, Heyes A, Högbom L, Johansson K, Lomander A, Mackereth R J, Meili M, Munthe J, Nilsson M, Porvari P, Skyllberg U, Sorensen R, Verta M, Zetterberg T & Åkerblom S. 2009. Does forestry contribute to mercury in Swedish fish? *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* No 1, 2009.
- Björkroth G & Rosén K. 1978. Biomassa och näringsmängder på fyra ståndorter. SLU, Projekt helträdsutnyttjande. *Rapport 49*.
- Bohm Larsson M. 2004. Fraktionsfördelning och näringsuttag vid Wood Pac buntning av färsk GROT. SLU, inst. för skogsskötsel. *Examensarbeten* nr 16.
- Bylund, H. 2011. *Ger stubbrytning färre snytbaggas och bättre plantöverlevnad?* Slutrapport till Energimyndigheten för projekt 30648-1.
- Caruso A. 2008. Uttag av grot och stubbar som energiråvara – hur påverkas skogens lavar av helträds-skörd? SLU. *Fakta Skog* nr 3.
- Caruso A & Thor G. 2007. Importance of different tree fractions for epiphytic lichen diversity on *Picea abies* and *Populus tremula* in mature managed boreonemoral Swedish forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22, 219-230.
- Caruso A, Rudolphi J & Thor G. 2008. Lichen species diversity and substrate amounts in young planted boreal forests: A comparison between slash and stumps of *Picea abies*. *Biological Conservation* 141, 47-55.
- Dahlberg A & Stokland J N. 2004. Vedlevande arters krav på substrat – en sammanställning och analys av 3 600 arter. Skogsstyrelsen. *Rapport 7-2004*.
- de Jong J, Akselsson C, Berglund H, et al. 2012. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram inom Skogsbränsle och Miljö 2005 – 2009. ER xxx. Energimyndigheten, Eskilstuna.
- Egnell G, Dahlberg A, Westling O, Bergh J & Rytter L. 2006. Miljöeffekter av skogsbränsleuttag och askåterföring i Sverige. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram 1997 till 2004. Energimyndigheten. *Rapport 44*.
- Egnell G, Hyvönen R, Högbom L, Johansson T, Lundmark T, Olsson B, Ring E. & von Sydow F. 2007. Miljökonsekvenser av stubbskörd - en sammanställning av kunskap och kunskapsbehov. Energimyndigheten. *Rapport 40*.
- Egnell G & Leijon B. 1996. Kortsiktiga effekter på skogsproduktionen av helträdsuttag i gallring och slutavverkning. I: Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring. Konferens på Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien den 5 juni 1996. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* nr 13, 73-82.
- Egnell G & Leijon B. 1997. Effects of different levels of biomass removal in thinning on short-term production of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12, 17-26.
- Egnell G & 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* 14, 303-311.

- Egnell G, & Lönnell N. (red.) 2001. *Skogsbränsle, hot eller möjlighet? - vägledning till miljövänligt skogsbränsleuttag*. Skogsstyrelsen.
- Egnell G, Nohrstedt H-Ö, Weslien J, Westling O & Örlander G. 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen. *Rapport 1-1998*.
- Eidmann H H. & Klingström A. 1976. *Skadegörare i skogen*. LTs förlag.
- Emmett B A, Anderson J M & Hornung M. 1991. Nitrogen sinks following two intensities of harvesting in a Sitka spruce forest (N. Wales) and the effect on the establishment of the next crop. *Forest Ecology and Management* 41, 81-93.
- Eriksson L-G. 1993. Mängd trädrester efter trädbränsleskörd. Vattenfall Utveckling AB, Projekt Bioenergi, *Rapport 28*.
- Fahey T J, Stevens P A, Hornung M & Rowland P. 1991. Decomposition and nutrient release from logging residue following conventional harvest of Sitka spruce in north Wales. *Forestry* 64, 289-301.
- Filipsson J & Nordén B. 2001. Avbarrning av skogsbränsle – pilotstudie av aktiv avbarrning av trädrester med skotargrip vid lastning. SkogForsk, *Arbetsrapport 488*.
- Gyllin M, Kruuse A. 1996. *Effekter på floran efter tillförsel av ved- och blandaska*. Ramprogram Askåterföring. NUTEK R 1996.
- Hakkila P. 1989. Ecological consequences of residue removal. I: *Utilization of residual forest biomass*. Springer-Verlag (Berlin, Heidelberg, New York), s 479-516.
- Hedin J, Isacson G, Jonsell M & Komonen A. 2008. Forest fuel piles as ecological traps for saproxylic beetles in oak. *Scandinavian Journal of Forest Research* 23, 348-357.
- Hedgren P O. 2007. Early arriving saproxylic beetles (Coleoptera) and parasitoids (Hymenoptera) in low and high stumps of Norway spruce. *Forest Ecology and Management* 241, 155-161.
- Hjältén J. 2008. *Stubbars betydelse för bevarandet av vedlevande insekter*. Slutrapport för projekt 30197-1. Energimyndigheten.
- Hoogwijk M, Faaij A, van den Broek R, Berndes G, Gielen D & Turkenburg W. 2003. Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy*, 25, 119-133.
- von Hofsten H. 2006. Maskinell upptagning av stubbar - Möjligheter och problem. Skogforsk. *Arbetsrapport 621*.
- Hånell, B. 2004. Arealer för skogsgödsling med träaska och torvaska på organogena jordar i Sverige. Värmeforsk. *Rapport 872*.
- Högbom L. and Nohrstedt H.-Ö. 2001. The fate of 137Cs in coniferous forests following the application of wood-ash. *Sci. Total Environ.* 280, 133-141.
- Hörlund T, Lundmark T, & Egnell G. 1999. A comparison between different methods for extracting wood fuel after clear-felling. I: *Developing Systems for Integrating Bioenergy into Environmentally Sustainable Forestry*. Proceedings of IEA Bioenergy Task 18, Workshop and joint workshop with task 25, 7-11 September 1998, Nokia, Finland. New Zealand Forest Research Institute, Forest Research Bulletin No. 211. Lowe A T & Smith C T. (red.) New Zealand Forest Research Institute Limited, Rotorua, s 93-95.
- Jacobsson J. 2005. *En uppdatering av kunskapsläget beträffande tillgång och efterfrågan på biobränsle*. Rapport, Skogsindustrierna.
- Jacobson S. 1996. Askåterföring och kompensationsgödsling efter helträdsavverkning - effekt på trädens stamtillväxt. I: Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring. Konferens på Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien den 5 juni 1996. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* nr 13, 91-102.
- Jacobson S. 2000. Skörd av färsk eller avbarrad GROT - växtnäringsspekter. SkogForsk. *Arbetsrapport 450*.
- Jacobson S. 2001. Fertilization to increase and sustain tree growth in coniferous stands in Sweden. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Silvestria* 200.
- Jacobson S, & Gustafson L. 2001. Effects on ground vegetation of the application of wood ash to a Swedish Scots pine stand. *Basic and Applied Ecology* 2, 233-241.
- Jacobson S & Kukkula M. 1999. Skogsbränsleuttag i gallring ger kännbara tillväxtförluster. SkogForsk. *Resultat 13-1999*.
- Jacobson S, Kukkola M, Mälkönen E & Tveite B. 2000. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. *Forest Ecology and Management* 129, 41-51.

- Johansson, B. 2007. (red.) *Bioenergi till vad och hur mycket?* Formas Fokuserar.
- Johansson M-B. 1994. The influence of soil scarification on the turn-over rate of slash needles and nutrient release. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9, 170-179.
- Jonsell M, Hansson J & Wedmo L. 2008. Diversity of saproxylic beetle species in logging residues in Sweden – Comparisons between tree species and diameters. *Biological Conservation* 138, 89-99.
- Jonsson Y. 1976. Drivningsmetoder för stubb- och rotved. I: Stubbdagen 1976-03-09. SLU, Projekt helträdsutnyttjande. *Rapport* 13, s 37-47.
- Kardell L. 1992. Vegetationsförändring, plantetablering samt bärproduktion efter stubb- och riståkt. SLU, inst. för skoglig landskapsvård. *Rapport* 50.
- Kardell L. & Wärne C. 1981. Stubbar och ris - Blåbär och lingon. Utläggning av skogsenergiförsök 1978-1980. SLU, inst. för skoglig landskapsvård. *Rapport* 21.
- Karlsson M, Nilsson U & Örlander G. 2002. Natural Regeneration in Clear-cuts: Effects of Scarification, Slash Removal and Clear-cut Age. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17, 131-138.
- Kruys N and Jonsson B G. 1999. Fine woody debris is important for species richness on logs in managed boreal spruce forests of northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*. 29, 1-5.
- Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. 2009. Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885
- Lekander B & Lindelöw Å. 1977. Helträdsutnyttjandet och insekterna. SLU, Projekt helträdsutnyttjande, *Rapport* 52.
- Lindholm EL, Berg S & Hansson PA. 2010. Energy efficiency and the environmental impact of harvesting stumps and logging residues. *European Journal of Forest Research* 129: 1223-1235.
- Liss J-E. 2006. *Långa toppar - metod för uttag av skogsbränsle i slutavverkningar*. Slutrapport för projekt 21937-1. Energimyndigheten.
- Lönner G, Danielsson B O, Vikinge B, Parikka M, Hektor B & Nilsson P O. 1998. Kostnader och tillgänglighet för trädbränslen på medellång sikt. SLU, inst. för skog-industri-marknad studier. *Rapport* 51.
- Marklund L. G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. SLU, inst. för skogstaxering. *Rapport* 45.
- Mattsson S. 1999. Ekonomiska kalkyler visar: Tillväxtförluster ger ”dolda kostnader” vid uttag av skogsbränsle – framförallt i gallring. SkogForsk. *Resultat* 14-1999.
- McInnis B G & Roberts M R. 1994. The effects of full-tree and tree-length harvests on natural regeneration. *Northern Journal of Applied Forestry* 11, 131-137.
- Mälkönen E. 1976. Effect of whole-tree harvesting on soil fertility. *Silva Fennica* 10, 157-164.
- Möre H & Hubbard M. 2005. Kommentarer och vägledning till föreskrifter och allmänna råd om hantering av aska som är kontaminerad med cesium-137. *SSI rapport* 2005:7.
- Nykvist N. 1974. Växtnäringsförluster vid helträdsutnyttjande - En sammanställning av undersökningar i gran- och tallbestånd. I: Helträdsutnyttjande. Föredragen från helträdskonferensen den 27 mars 1974. Johansson G & Wernius S (red.) SLU, inst. för skogsteknik. *Rapporter och Uppsatser* 36, s 74-93.
- Palviainen M. 2005. Logging residues and ground vegetation in nutrient dynamics of a clear-cut boreal forest. *Dissertationes Forestales* 12, Faculty of Forestry, Joensuu University.
- Proe M F, Cameron A D, Dutch J & Christodoulou X C. 1996. The effect of whole-tree harvesting on the growth of second rotation Sitka spruce. *Forestry* 69, 389-401.
- Rosvall O. 2007. Produktionspotentialen är betydligt högre än dagens tillväxt. I: Skogsskötsel för en framtid. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* nr 4, 13-30.
- Sikström U, Albrektsson A, Näsholm T & Bergh J. 2001. Effekter på skogsproduktion av markförsurning och motåtgärder. Skogsstyrelsen. *Rapport* 11-2001.
- Silverberg K & Hotanen J-P. 1989. Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic Sphagnum papillosum fen i Oulu district, Finland. *Folia Forestalia* 742.
- Skinner M F, Murphy G, Robertson E D & Firth J G. 1989. Deleterious effects of soil disturbance on soil properties and subsequent early growth of second-rotation radiata pine. I *Research strategies for long-term site productivity*. Proceedings, IEA/BE A3 workshop, Seattle, WA, August 1988. Report No. 8. Forest Research Institute, New Zealand. Bulletin 152. Dyck W J. & Mees C A. (red.) Forest Research Institute, New Zealand, s 201-211.

- Skogsstyrelsen. 2012. *Skogsvårdslagstiftningen. Gällande regler 1 januari 2012*. Tillgänglig på www.skogsstyrelsen.se, Lagen.
- Skyllberg U. 2003. Kvicksilver och metylkvicksilver i mark och vatten – bindning till humus avgörande för miljörisk. SLU. *FaktaSkog* 11-2003.
- Skyllberg U. 2008. Competition among thiols and inorganic sulfides and polysulfides for Hg and MeHg in wetland soils and sediments under suboxic conditions: Illumination of controversies and implications for MeHg net production. *J. Geophys. Res.* 113, G00C03, doi:10.1029/2008JG000745.
- StAAF H, Persson T & Bertills U. 1996. Skogsmarkskalkning - Resultat och slutsatser från Naturvårdsverkets försöksverksamhet. *Rapport* 4559. StAAF H, Persson T & Bertills U. (red.) Naturvårdsverkets förlag, Stockholm.
- Thorsén, Å. & Björheden, R. (Ed.) 2010. Skogen – en växande energikälla. Sammanfattande rapport från Effektivare Skogsbränslesystem 2007-2010. 110 s. Skogforsk, Uppsala.
- Thörnqvist T. 1985. Åtgångstal och verkningsgrad i en 18 MW hetvattenpanna med fast snedrost. SLU, inst. för virkeslära. *Rapport* 165.
- Westling O, Örlander G & Andersson I. 2004. Effekter av askåterföring till granplanteringar med riståkt. *IVL Rapport* B 1552.
- Wästerlund I. 1994. Forest responses to soil disturbance due to machine traffic. I: *Interactive workshop and seminar FORSITRISK, soil, tree, machine interactions*. Feldafing, Tyskland, 4-8 Juli 1994, s 0-24.
- Ågren G. 1983. Nitrogen productivity of some conifers. *Canadian Journal of Forest Research* 13, 494-500.
- Örlander G & Nilsson U. 1999. Effect of Reforestation Methods on Pine Weevil (*Hylobius abietis*) Damage and Seedling Survival. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14, 341-354.
- Örlander G, Nilsson U & Hällgren J-E. 1996. Competition for water and nutrients between ground vegetation and planted *Picea abies*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 26, 99-117.