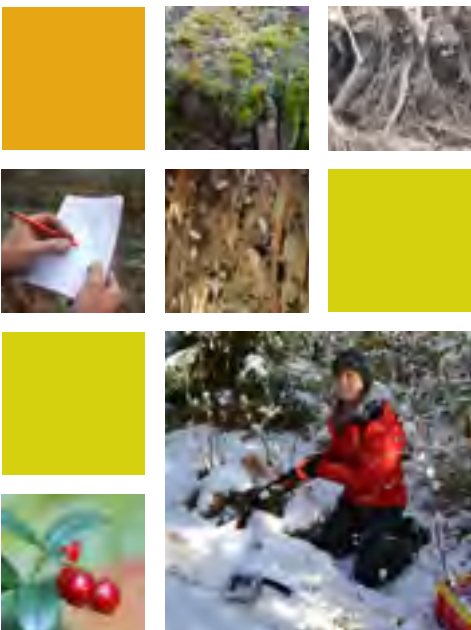




Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

- kunskap för en hållbar utveckling



STUBBSKÖRD

- hur påverkas
klimat och miljö?

Redaktörer: T Persson, C H Palmér och C Lithell

Stubbskörd – hur påverkas klimat och miljö?

Sammanfattning av åtta års forskning

År 2007 tog fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap (NL) på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) initiativ till temaprogrammet ”Tema-stubbar”. Det samfinansierades av Energimyndigheten, NL-fakulteten, och FSC-certifierade skogsbolag och löpte 2008–2011. Det följdes av programmet ”Tema-2 stubbar” under 2012–2015. Det strategiska arbetet har letts av en styrgrupp.

Den här rapporten sammanfattar resultat och slutsatser från de båda temaprogrammen men även en del annan forskning inom området. Ett stort antal forskare från SLU, Lunds universitet, Uppsala universitet, Umeå universitet och Skogforsk visar här hur stubbskörd påverkar mark, växter, svampar, smådjur, växthusgaser, kväveutlakning, kvicksilver och skogsproduktion. Man analyserar också hur stor klimatnyttan blir av att använda stubbar i stället för fossila bränslen, hur den biologiska mångfalden påverkas av olika stubbskördintensitet samt om man kan kompensera för nedgångar i mångfalden genom att skapa fler högstubbar.

Många personer och organisationer har bidragit till rapporten. Fyrtiotvå forskare (se adresslistan i slutet av rapporten) har skrivit de olika kapitlen, men ser man till de internationella publikationer som legat som underlag för kapitlen har ännu många fler forskare bidragit. Vi är tacksamma för deras viktiga insats att fylla ett stort antal kunskapsluckor. Vi vill också tacka programmets finansiärer Energimyndigheten, SLU och nio FSC-certifierade skogsbolag (Sveaskog, Holmen Skog, SCA Skog, Södra Skog, Bergvik Skog, Stora Enso Skog, Skogs-sällskapet, BillerudKorsnäs AB och Svenska kyrkan). Flera av dessa bolag har varit markvärddar för de nyetablerade stubbskördsförsöken liksom även Rappe- von Schmitterlöwska Stiftelsen, Norunda Häradsallmänning och SLU har varit. Vi tackar markvärdarna och deras personal för all hjälp och för gott samarbete.

Uppsala i januari 2017

Tryggve Persson
(Programkoordinator)

Hans Djurberg
Styrgruppens ordförande

Koordinator: Professor Tryggve Persson

Redaktör: Carl Henrik Palmér, Areca Information

Layout och illustrationer: Cajsa Lithell, RedCap Design

Foto: Tryggve Persson, Astrid Taylor, Bengt Olsson, Achim Grelle, Monika Strömgren,

Henrik von Hofsten, Jenny Svénnås-Gillner, Mats Jonsell, Cajsa Lithell och Sabine Jordan.

Tryck: SLU Repro 2017

Rapporten bör citeras:

Persson, T., Palmér, C.H., Lithell, C. (red.) 2017. Stubbskörd – hur påverkas klimat och miljö?

Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Uppsala.

ISBN 978-91-576-9454-6

Innehåll

Forskning om stubbskördens miljöeffekter	9
Skogssektorns behov av ny kunskap om stubbskörd	12
Stubbar som biobränsle	15
Stubbskörd – metod och marknadsläge	19
Vilken klimatpåverkan får man av att använda stubbar som (bio)bränsle?	23
Nya och gamla fältförsök med stubbskörd	27
Hur påverkas markens kolförråd av stubbskörd?	31
Stubbskörd och markens koldioxidbalans	35
Hur påverkas lustgas- och metanavgivning av stubbskörd?	39
Kvävemineralisering och kväveutlakning efter stubbskörd	43
Stubbskördens bidrag till kvicksilver i sjöar och vattendrag	49
Effekter på föryngring, träd tillväxt och markvegetation	53
Hög artmångfald i granstubbar	57
Stubbskörd och biologisk mångfald	67
Hur påverkas naturhänsynen av grot- och stubbskörd?	73
Kan ett ökat biobränsleuttag kombineras med god miljöhänsyn? – resultat av en intervjustudie med skogsbrukets aktörer	77
Det går att kompensera för biobränsleuttag genom att ställa fler högstubbar	81
Slutsatser om stubbskördens miljöeffekter	85
Litteraturlista	91
Adresslista	98



Forskning om stubbskördens miljöeffekter

Tryggve Persson (SLU, Uppsala), Hans Djurberg (SCA Skog AB), Pär Forslund (SLU, Uppsala) och Anna Lundborg (Energimyndigheten)

Att använda stubbar är inget nytt fenomen

Redan i slutet av 1600-talet försörjde Sverige och Finland världsmarknaden med tjära från tallstubbar, och under tjärbränningens glansperiod 1831 till 1905 bröts totalt 20–25 miljoner tallstubbar bara i Västerbotten, något som motsvarade en brytning av 600 hektar per år. Under andra världskriget 1939–1945 ökade behovet av tjära, och inte mindre än 30 000 ton tjära per år brändes, vilket motsvarade 4,5 miljoner stubbar på en yta av 7 000–9 000 hektar. I slutet av 1970-talet började man pröva om stubbar kunde användas som råvara till massafabriken i Mackmyra mellan Gävle och Sandviken. Totalt 9 200 hektar stubbskördades i Uppland och Gästrikland. Verksamheten lades ned efter cirka 10 år, främst därför att det var svårt att få bort jord och sten från stubbarna. Man har också brutit stubbar i Storbritannien, USA och Kanada, främst för att motverka spridningen av olika former av rottröta.

Ökat intresse efter stormen Gudrun

Under tidigt 2000-tal började skogsindustrin i Finland bryta stubbar för att få mer biobränsle, och år 2010 bröts stubbar på cirka 20 000 hektar per år eller på drygt 10 procent av hyggesarealen. Det svenska intresset för stubbskörd tog åter fart 2005 efter stormen Gudrun, men som mest har brytningsarealen i Sverige bara uppgått till 2 000 hektar per år. Faktorer som bromsat verksamheten var att man först ville undersöka vilka fördelar och risker

det fanns med stubbskörd, att verksamheten var och är starkt priskänslig, men också att certifieringsorganisationen Svenska FSC begränsade den tillåtna arealen för stubbskörd på FSC-certifierad mark med hänvisning till att stubbskördens miljökonsekvenser var otillräckligt kända.

Forskning för att täppa till kunskapsluckorna

För att täppa till kunskapsluckorna beslöt Energimyndigheten på initiativ av intresserade forskare att satsa resurser på stubbforskning. Tillsammans med med NL-fakulteten på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och FSC-certifierade skogsbolag lanserades 2007 ett forskningsprogram om ”Stubbskörd och miljöeffekter”. Programmet, som totalt bestod av 15 forskningsprojekt, pågick 2008–2011 och avslutades med ett internationellt symposium i Ultuna i Uppsala i oktober 2011. Symposiet resulterade bland annat i två specialhäften om stubbskörd i tidskrifterna *Forest Ecology and Management* och *Scandinavian Journal of Forest Research*.

Förnyat temaprogram 2012

Trots programsatsningen fanns 2011 fortfarande många kritiska kunskapsluckor kring stubbskördens effekter på mark, klimat och biologisk mångfald. Därför startades ett nytt forskningsprogram 2012. Det bestod av 14 forskningsprojekt, och kallades för ”Tema-2 stubbar”. Programmet finansierades av Energimyndigheten, SLU och FSC-certifierade skogsbolag. Syftet var att nå kunskap för

Det svenska intresset för stubbskörd tog fart efter stormen Gudrun 2005. Men vilka miljökonsekvenser kan stubbskörd ha? För att ta reda på det lanserades ett forskningsprogram av Energimyndigheten, SLU och FSC-certifierade skogsbolag.



Några av de personer som deltog i syntesmötet den 30 september 2014.

att bedöma stubbskördens klimatnytta i förhållande till befarad negativ inverkan på mark, vatten och biodiversitet. Det praktiska målet var att ge underlag för bättre riktlinjer om var och hur stubbskörd skall bedrivas i förhållande till uppställda miljömål.

Det nya programmet har letts av en styrgrupp bestående av Hans Djurberg (SCA, ordförande), Karin Fällman (Sveaskog), Henrik von Hofsten (Skogforsk), Anna Lundborg (Energimyndigheten), Stig Larsson (SLU, 2012–2014), Pär Forslund (SLU, 2014–), Pär Aronsson (SLU), Jenny Stendahl (Skogsstyrelsen), Cajsa Lithell (SLU, informatör) och Tryggve Persson (SLU, programkoordinator). För att nå största möjliga samordning har programdeltagarna kallats till årliga programkonferenser och syntesgruppsmöten. De senare var särskilt viktiga för att förbereda den slutkonferens om stubbskörd som hölls på World Trade Center i Stockholm den 26 mars 2015 med cirka 80 deltagare. De presentationer som hölls där har delvis publicerats i specialhäften i tidskrifterna *Forest Ecology and Management* (2016) och *Scandinavian Journal of Forest Research* (tryckår 2017).

En rapport från 24 forskningsprojekt

Programbudgeten för den senaste fyraårsperioden var 37,4 Mkr av vilka Energimyndigheten bidrog med 18,5 Mkr, SLU med 8 Mkr och skogsnäringen med 0,9 Mkr. Skogsnäringen bidrog dessutom med ett ”in kind-bidrag” i form av anläggning av skogliga försök för uppskattningsvis 10 Mkr. Förutom dessa 14 projekt stödde Energimyndigheten på egen hand ytterligare tio stubbforskningsprojekt med 14,7 Mkr, vars verksamhet har samordnats med Tema-2-programmet. Man kan alltså säga att 24 forskningsprojekt med en total budget på 52,1 Mkr under 2012–2015 har arbetat mot ett gemensamt mål att ge ett vetenskapligt underlag för att bedöma nytta och nackdelar med stubbskörd. Syftet med denna rapport är att visa på den forskning och de resultat och slutsatser som kommit fram under främst den senaste fyraårsperioden.



På slutkonferensen den 26:e mars 2015 deltog ett 80-tal personer från Miljö- och energidepartementet, Skogsstyrelsen, Energimyndigheten, FSC, WWF, skogsföretag, olika energibolag, finska TAPIO och forskare från Sverige och Finland. Här under en fikapaus.



Slutkonferensens diskussioner leddes av Gustaf Egnell från SLU, och där konstaterades att det inte verkar finnas några stora hinder för att öka stubbskörden i Sverige, förutom en viss risk för en nedgång av mångfalden av främst skalbaggar.



Skogssektorns behov av ny kunskap om stubbskörd

Karin Fällman (Sveaskog) och Jenny Stendahl (Skogsstyrelsen)

Efterfrågan på stubbflis har fluktuerat över tid och i dagsläget är den låg. Men de flesta bedömare är ense om att behovet av biomassa kommer att öka när vi går in i en framtida biobaserad ekonomi. Då kommer intresset för stubbskörd att väckas igen, eftersom stubbved har ett högt bränslevärde och passar bra till biobränsle. Med ny teknik kan produktiviteten i stubbskörden öka, samtidigt som man kan producera en renare råvara.

Behovet av biomassa kommer att öka när vi går in i en framtida bioekonomi. Forskningsresultaten från de båda temaprogrammen är viktiga underlag när de framtida spelreglerna för stubbskörd ska utformas.

Dagens "spelregler" för stubbskörd präglas av de kunskapsluckor som identifierades i början av 2000-talet. Det var framförallt efter stormen Gudrun som frågan om stubbskörd aktualiserades igen, denna gång som källa till bioenergi.

Inom skogscertifieringen FSC (Forest Stewardship Council) har stubbskörd varit en kontroversiell fråga från det att intresset väcktes från marknadens sida i mitten av 2000-talet och belagt med olika typer av restriktioner. För att kunna kallas "beprövad verksamhet" ställdes krav på ökad kunskap, framförallt om hur stubbskörden påverkar den biologiska mångfalden, men även effekter på klimat och vatten. FSC-bolagen har bidragit till temaprogrammen, främst som markvärddar, för att få säkrare kunskaper inom dessa områden.

Skogsstyrelsen beslutade 2009 om rekommendationer för stubbskörd, och de införlivades sedan som allmänna råd till Skogsvårdslagen. Rekommendationerna baserades

bland annat på den miljöanalys av stubbskörd som skogsbruket lämnade in till myndigheten i oktober 2008.

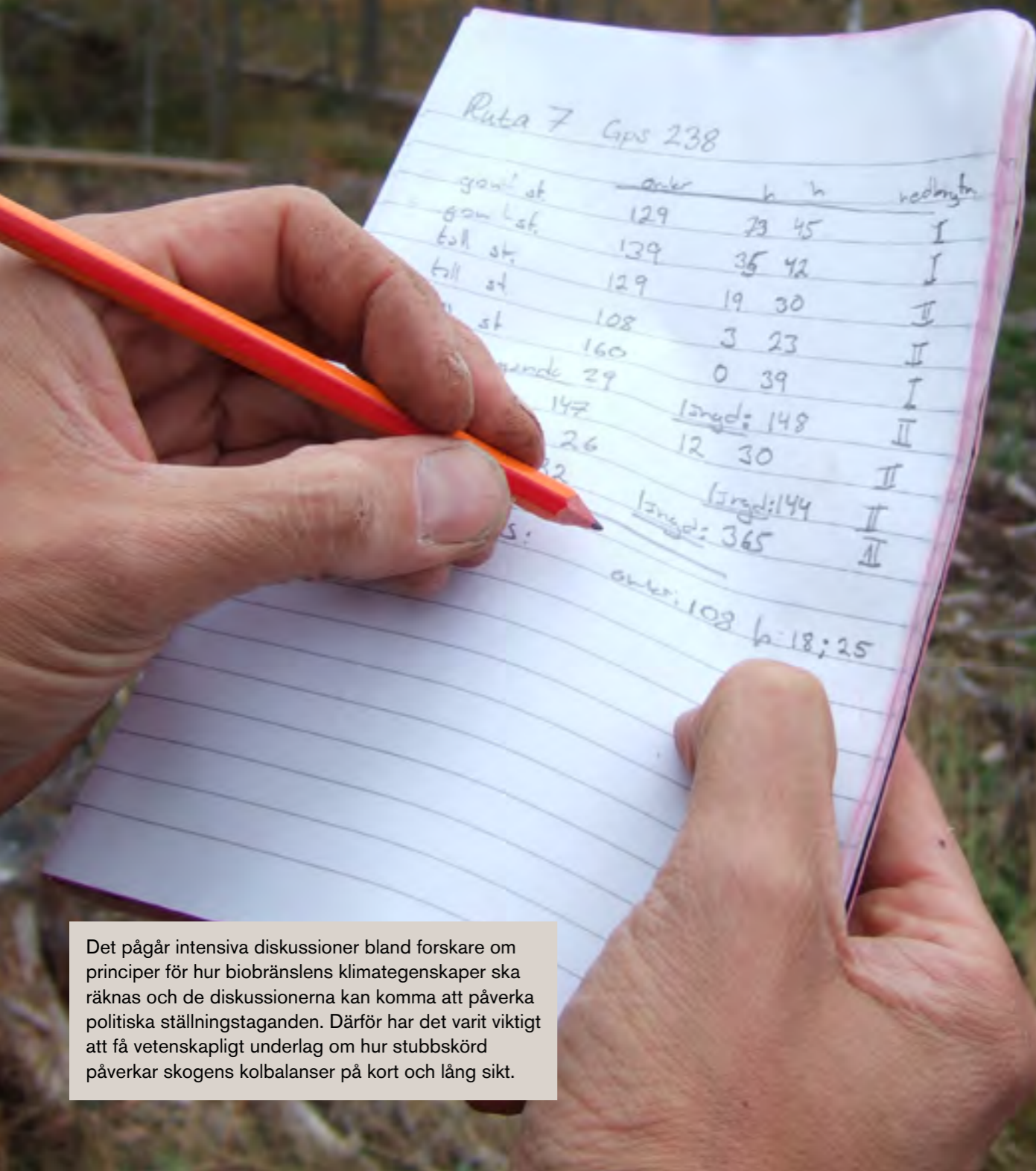
En viktig grund för rekommendationerna var att Skogsstyrelsen då gjorde bedömningen att stubbskörd under de närmaste åren skulle beröra en begränsad areal, i storleksordningen 10 000 till 20 000 ha per år, vilket motsvarar 5 till 10 procent av den årligen förnyingsavverkade arealen. Effekterna på biologisk mångfald bedömdes därmed bli begränsade, förutsatt att rekommendationerna följdes, samtidigt som effekterna var positiva för klimatet genom att stubbarna kunde ersätta fossila bränslen.

Skogsstyrelsen konstaterade dock att det inom flera områden fanns kunskapsluckor, och lyfte bland annat fram stubbskördens effekter på den biologiska mångfalden. Det var också oklart vad som skulle hända om stubbskörden skulle öka och påverka en större andel av landskapet. Man saknade någon form av tröskelvärde för hur mycket stubbar som skulle kunna tas ut utan tydlig negativ påverkan på biologisk mångfald. Ett ytterligare frågetecken rörde risken för läckage av metylkvicksilver. Skogsstyrelsens rekommendationer baserades på ett försiktighetstänkande.

Åren 2012 och 2013 gjorde Skogsstyrelsen en uppföljning av efterlevnaden av rekommendationerna (Rapport 2016-6, Skogsstyrelsen). Den, tillsammans med de nya forskningsresultat om stubbskördens miljöeffekter som kommit fram i de här båda temaprogrammen, är viktiga underlag om Skogsstyrelsen bedömer att rekommendationerna behöver ändras.

Stubbar som biobränsle

Anna Lundborg (Energimyndigheten)



Det pågår intensiva diskussioner bland forskare om principer för hur biobränslets klimategenskaper ska räknas och de diskussionerna kan komma att påverka politiska ställningstaganden. Därför har det varit viktigt att få vetenskapligt underlag om hur stubbskörd påverkar skogens kolbalanser på kort och lång sikt.

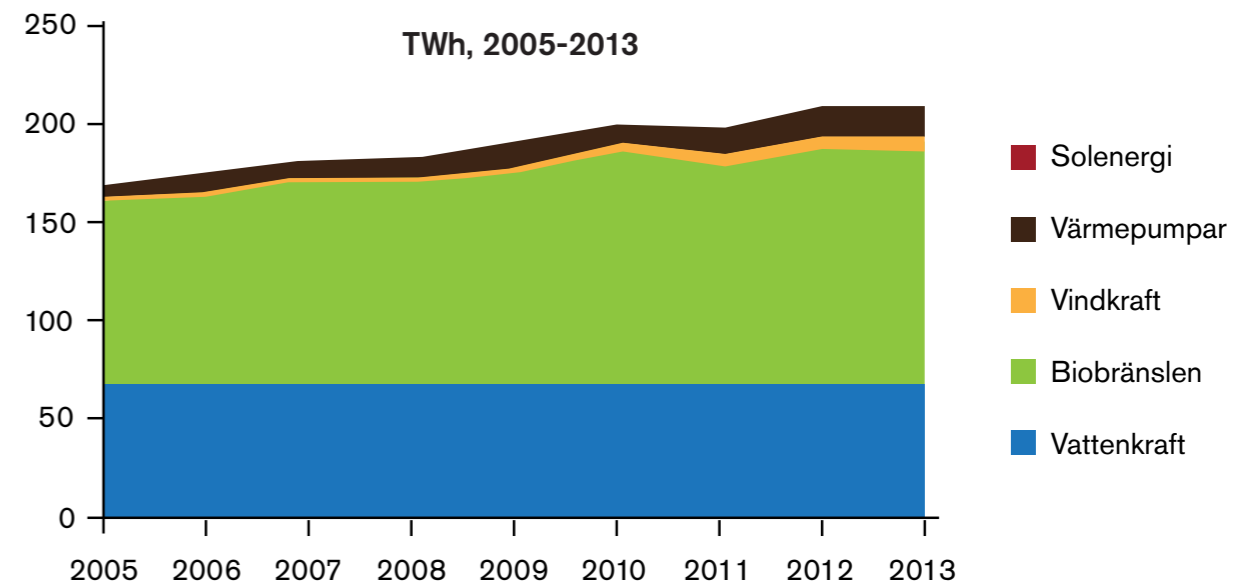
År 2013 användes 129 TWh biobränslen i Sverige, något som kan jämföras med den totala energianvändningen på 375 TWh. Bidraget från biobränslen har förutsättning att öka ytterligare. Stubbar har hittills använts som biobränsle i mycket liten omfattning, men här finns en stor potential (upp till 20–30 TWh).

Mycket talar för bioenergi

Mer än 80 procent av den globala energianvändningen kommer i dag från kol, olja och naturgas. Användningen av dessa fossila bränslen måste minska drastiskt, och förnybar energi är då ett viktigt bidrag.

Sverige har mycket goda förutsättningar för förnybar energi. Figuren nedan visar att vattenkraften är viktig. Vindkraft och solenergi växer men ger fortfarande ganska små bidrag. Men figuren visar framförallt att biobränslen är det stora och växande bidraget till vår förnybara energi.

Förnybar energi enligt förnybartdirektivet



Sverige ska ha minst 49 % förnybar energi år 2020 enligt EU och det är mycket tack vare bioenergin som Sverige klarar målet. Illustration efter Energimyndigheten, Eurostat.

2013 användes 129 TWh biobränslen i Sverige och det finns möjligheter att vid behov öka tillförsel och användning med ytterligare ca 70–90 TWh. Detta kan jämföras med den totala energianvändningen i Sverige, som 2013 var 375 TWh (energitillförseln var 565 TWh, skillnaden är i huvudsak överförings- och omvandlingsförluster).

Biobränslen är i dag det största energislaget för uppvärmning i Sverige. I kraftvärmeverk kan el produceras samtidigt med fjärrvärme, och det är ett mycket resurs-effektivt sätt att använda biomassan. Biobränslen kan dessutom användas för att ersätta fossila bränslen i industrin och fossila drivmedel.

Inhemsk bioenergi ger även andra samhällsnyttor, som sysselsättning, försörjningstrygghet, landsbygdsutveckling och vissa miljönyttor utöver klimatnytta.

Det är mycket tack vare bioenergin som Sverige klarar EU:s mål om förnybar energi – vi ska enligt detta ha minst 49 procent förnybar energi 2020. Det nationella

målet är satt till minst 50 procent av den totala energi-användningen samma år.

Forskning om miljöeffekter av stubbskörd

Stubbar används i dag bara i begränsad omfattning som biobränsle. Det beror framför allt på svag ekonomi, men också på tidigare osäkerheter kring stubbskördens miljö-effekter.

Eftersom stubbar har en så stor potential, Skogsstyrelsen bedömer i rapporten SKAVB 08 att ca 20–30 TWh stubbar kan bli tillgängliga efter ”schablonrestriktioner”, har Energimyndigheten under 2007–2015 satsat resurser på forskning kring miljökonsekvenser av stubbskörd, framförallt i de båda temaprogrammen.

Syftet har varit att klara ut frågor avseende biodiversitet, mark, vatten och climateffekter. En övergripande fråga har varit hur mycket stubbar som egentligen kan skördas utan att det försvårar arbetet med berörda miljömål. Det har också varit viktigt att få underlag för att

bedöma hur miljön påverkas om stubbskörd sker på en större andel av skogslandskapet.

Forskningen har varit framgångsrik och det finns nu ett säkrare underlag för svenska myndigheters riktlinjer om hur biobränsleproduktionen bör miljöanpassas och för utformning av hållbarhetskrav.

Kunskapen kan också användas i internationella förhandlingar om hållbar bioenergi, t ex inom EU i standardiseringsarbeten och i frivilliga certifieringssystem.

För att möta processer i EU som rör hållbart skogsbruk och hållbar bioenergi är det av största vikt att forskningsresultaten publiceras vetenskapligt så att de blir tillgängliga för en större internationell publik.

EU har hållbarhetskriterier för biobränslen

EU har i dag hållbarhetskriterier för biodrivmedel och flytande biobränslen och dessa har införlivats i svensk lag. Under 2016 kom ett direktivförslag där hållbarhetskriterier också ska gälla fasta biobränslen.

Ett viktigt kriterium för hållbarhet är att ett biobränsle ska ha ”tillräckligt stor klimatnytta” jämfört med ett fossilt alternativ. Man ska då räkna in emissionerna vid insamling och transport samt omvandlingsförluster. För

fullständighetens skull kan man även räkna in påverkan på ekosystemens kolbalanser och flöden av växthusgaser, liksom effekter av ändrad markanvändning. Likaså är det viktigt att känna till hur lång tid det tar från det att koldioxidutsläppen från förbränningen av stubbarna har balanserats av det utsläpp som annars skulle ha uppstått när stubbarna brutits ner i naturen.

Det pågår intensiva diskussioner bland forskare om principer för hur biobränslets klimategenskaper ska räknas och de diskussionerna kan komma att påverka politiska ställningstaganden. Därför har det varit viktigt att få vetenskapligt underlag om hur stubbskörd påverkar skogens kolbalanser på kort och lång sikt.



Idag används stubbar endast i begränsad omfattning som biobränsle, främst på grund av dålig ekonomi, men även för att det tidigare fanns osäkerheter kring stubbskördens miljöeffekter.



Stubbskörd – metod och marknadsläge

Henrik von Hofsten (Skogforsk)

Den stubbskörd som skett under senare år har i huvudsak gjorts med 1970-talsteknik. Stubbarna bänds upp med stora grävmaskiner och det blir ofta omfattande markskador. "Drömmen" är få fram ett lätt aggregat som klipper av rotbenen och sedan lyfter den frilagda stubben utan att skada den kringliggande marken. Men det ligger nog ganska långt fram i tiden.

Stubbar har skördats sedan medeltiden

Stubbskörd eller stubbrytning har förekommit i skandinaviska skogar sedan medeltiden. Fram till mitten av 1970-talet bröts framför allt tallstubbar med hjälp av spett, spadar och kättingspel för att utvinna tjära. Under tidigt 1970-tal uppstod en oro för att massaindustrin skulle få problem med råvaruförsörjningen, och man började då se över möjligheterna att utnyttja främst granstubbar vid tillverkning av pappersmassa. De aggregat som togs fram då lever i mångt och mycket kvar än idag, även om en viss utveckling har skett. I grova drag bygger de konventionella aggregaten på en kraftig griptång monterad på en bandgående grävmaskin. Metoden fungerar relativt bra, men kräver stor kraft, oavsett om man försöker bryta i lodled eller sidled, och orsakar oftast kraftig markomrörning. Den stora tekniska utmaningen ligger just i det

Efter att stubbarna lyfts, skakas och delas de i 2-4 delar så att stenar och lösa föroreningar faller av. Sedan läggs de i högar på hygget för senare skotning till bilväg.

faktum att stubbar och rötter utvecklats under hundratusentals år för att motstå brytande krafter i alla riktningar.

Jakten på den perfekta stubbskördaren

Förhoppningen är att kunna utveckla ett aggregat som klipper rötterna lagom långt ut från stubben och lyfter den utan onödig markpåverkan. Aggregatet bör vara så lätt och smidigt att en skotarkran kan hantera det. Det ska också rensa och dela stubben utan att det blir vibrationer i maskinen. Under den senaste tioårsperioden har det skett en viss teknisk utveckling, men sannolikt är det en god bit kvar innan det perfekta stubbaggatet ser dagens ljus.

I de försök om stubbskördens miljöeffekter som redovisas i denna rapport har näst intill uteslutande den gamla välbeprövade tekniken använts där man med stor kraft drar eller bryter upp stubbar. Markpåverkan har därmed varit stor och miljöpåverkan därefter.

Stubbehandling efter skörd

Efter det att stubbarna lyfts delas de normalt i 2-4 delar, dels för att göra dem mindre skrymmande, dels för att underlätta torkning och rensning. Stubbdelarna skakas av grävmaskinen för att få bort de värsta föroreningarna innan de läggs på hög längs med körslaget ute på hygget. Där får de ofta ligga några månader, ibland över vintern, innan de körs ihop och läggs upp i en stor stubbvälta vid bilväg. I de flesta fall lastas sedan stubbdelarna på lastbil

och körs till industri för sönderdelning och eldning. I vissa fall väljer man att sönderdela på avlägget för att få ett mer komprimerat lass och lägre transportkostnader. Man kan också bli av med en del föroreningar i samband med sönderdelningen.

Stubbved torkas på plats

Till skillnad från rundvirke får ofta stubbdelarna ligga ganska länge innan de transporteras till industri, först i småhögar på hygget och sedan i stubbvälta vid bilväg. Den primära orsaken är att man vill att regn, snösmältning och sol ska få föroreningarna att ramla av och att stubbveden ska torka. Stubbved har den goda egenskapen att den inte återfuktas särskilt lätt sedan den väl torkat vilket innebär att stubbdelarna, till skillnad från grot, kan ligga flera år utan några större kvalitetsförluster. Lagringstiden på hygget har efterhand kortats. Det beror på att såväl forskning som praktiska erfarenheter har visat att stubbarna torkar och rensar sig lika bra i vältrödd vid bilväg. Fördelen med tidig vältröddning är att hygget blir tillgängligt för återbeskogning. Nackdelen är att vältröddarna kan fungera som ekologiska fällor för vissa insektsarter.

Dålig ekonomi att skörda stubbar

I dagsläget har stubbskörd i princip upphört i Sverige. Orsakerna är flera varav de flesta i slutändan landar i den dåliga ekonomin. Att skörda stubbar är en förhållandevis dyr verksamhet som tar mycket tid och kräver kraftiga maskiner, samtidigt som utbytet är relativt litet. Totalkostnader kring 180 kr/MWh vid industrigrind är inte ovanliga samtidigt som skogsflis betalades med 180–190 kr/MWh i juni 2015.

Till detta kommer att miljövårdsorganisationerna är mycket skeptiska och FSC (Forest Stewardship Council) har lagt begränsningar på stubbskörden.

Slutligen är marknaden i dagsläget nästan översvämmad av skogsbränsle. Med två korta, ganska varma vintrar har värmeverken inte haft speciellt stort behov skogsflis. Samtidigt har massaindustrin tvingats dra ner sin produktion vilket gör att en stor mängd sekunda massaved blir tillgänglig för värmeverken. Och rundved är alltid billigare än grot, stubbar och klenträdd att avverka och hantera. Som lök på laxen är utbudet av andra så kallade biobränslen, som returträ och hushållssopor, stort - och



Pallari 160 är ett vanligt och typiskt aggregat för stubbrytning i både Sverige och Finland. Två tänder griper tag om stubben från ena sidan medan en vässad kniv klämmer åt och spräcker från den andra.



TL-GROT AB:s stubbaggatet klipper rötterna närmare stubben och lyfter sedan stubbkärnan med grovrötter. Tyvärr hade luften gått ur marknaden för stubbar innan aggregatet var helt klart, så det har ännu inte kommit i produktion.

billigt för värmeverken, förutsatt att de har tillräckliga reningsanläggningar.

Efterfrågan på stubbar kan öka snabbt

Värmevärdet för korrekt hanterad stubbflis är högre än för grot, och i ett annat politiskt eller marknadsläge kan efterfrågan på stubbar öka snabbt. Man ska heller inte

glömma att utvecklingen av nya biobaserade produkter, baserade på cellulosa och/eller lignin, går fort idag. Om den utvecklingen fortsätter kan efterfrågan på skogsråvara från svenska skogar öka igen.

Vilken klimatpåverkan får man av att använda stubbar som (bio)bränsle?

Johan Stendahl (SLU, Uppsala), Torun Hammar (SLU, Uppsala), Per-Anders Hansson (SLU, Uppsala) och Carina Ortiz (SCB, Stockholm)

För att bestämma klimatpåverkan av att använda stubbar för energiändamål behövs ett helhetsperspektiv. Genom livscykelanalys (LCA) uppskattas utsläppen av växthusgaser från alla delar av energisystemet och deras påverkan på klimatet kan beräknas.

Energi från stubbar ger en mindre påverkan på klimatet jämfört med fossilt kol redan från dag ett. Om alternativet är naturgas, som ger lägre utsläpp av växthusgaser per energienhet än kol, dröjer det däremot 10–20 år innan stubbarna ger en lägre klimatpåverkan. Därefter ökar skillnaden till stubbenergins fördel genom att man tagit bort en källa till växthusgasutsläpp från skogen.

När man skördar stubbar och använder dem som bio-bränsle påverkar det emissionerna av växthusgaser på flera olika sätt. Vid sidan av utsläppen från själva förbränningen sker utsläpp i samband med stubblyftning, bearbetning och transporter. Dessutom påverkas skogsekosystemets växthusgasutsläpp. För att kunna bedöma vilken klimatpåverkan man får av bioenergi baserad på stubbar måste man utgå från en livscykelanalys där alla växthusgasutsläpp förknippade med energiproduktionen är inkluderade och jämföra detta med något annat energialternativ.

Vägen från stubbe till energi

Vid tillvaratagandet av stubbar som skogsbränsle åtgår insatsenergi – den största andelen förbrukas vid stubblyftningen (ca 40 %), följt av insamling/flisning (ca 33 %) och vägtransporter (ca 25 %). Den totala insatsenergin är dock marginell jämfört med energin som finns i de skördade stubbarna och uppgår endast till ca 4 %. Skogsbränsle baserat på hyggesrester, som stubbar respektive grenar och toppar, brukar vanligtvis inte belastas med utsläpp

från den energi som åtgår vid avverkningen, utan denna läggs på virkesproduktionen.

Vid energiutvinning i värmeverk är energieffektiviteten något lägre för skogsbränsle än för fossila bränslen; ca 86 % av energin utnyttjas jämfört med 88 % för stenkol och 90 % för naturgas. Dock kan verkningsgraden för skogsbränslen förbättras om rökgaskondensering används. När man tar tillvara energi som frigörs när ånga kondenserar uppnås värden på runt 105 %, jämfört med energiinnehållet i det fuktiga bränslet. I en anläggning som enbart producerar el är verkningsgraden lägre än vid värmeproduktion; ca 33 % för skogsbränslen, 44 % för stenkol och 53 % för naturgas.

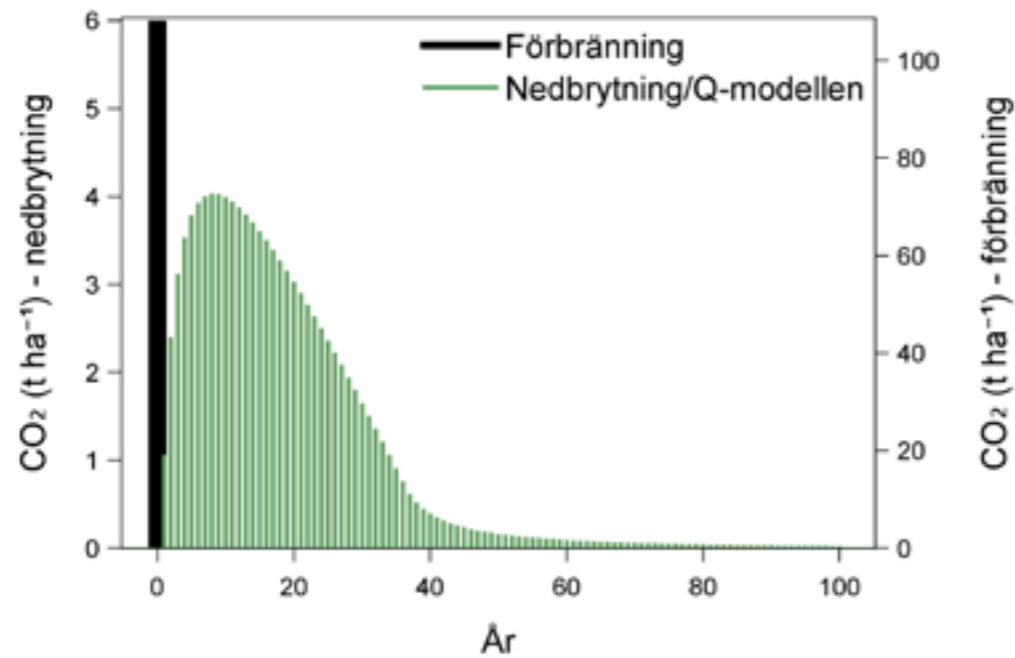
Vad händer i skogsekosystemet?

Stubbskörd innebär att man tar bort en källa till växthusgasutsläpp från skogen, eftersom de skördade stubbarna annars skulle förmultna och kolet i dem successivt frigöras som koldioxid. Nedbrytningen av stubbar sker dock långsamt, och kolet i stubbarna stannar kvar i ekosystemet under längre tid än t ex kolet i grenar och toppar. Utöver detta kan markstörningen leda till ökad omsättning av kolet i marken, men resultat från fältförsök visar att denna effekt är begränsad och övergående.

Hur beräknas klimatpåverkan?

Vid beräkning av klimatpåverkan av ett energisystem behöver man göra en livscykelanalys (LCA), där alla växthusgasutsläpp under hela produktionskedjan bestäms. För ett stubbaserat energisystem omfattar analysen utsläpp från skörd, insamling, flisning, transporter, förbränning, samt förändringar i skogens kolbalans. Beräkningarna





Förbränningen av stubbarna innebär en tidigareläggning av CO₂-utsläppen från stubbarna – utsläpp som ändå skulle skett genom nedbrytningen. Exempel från en granskog i södra Sverige. Observera skillnaden i skala på Y-axlarna.

i LCA:n gjordes här för ett stubbscenario och för ett ”referensscenario” utan skörd, där stubbarna lämnas kvar och får förmultna i skogen och energibehovet täcks med andra bränslen. Referensscenariot behövs för att kunna analysera konsekvenserna av att börja använda stubbar för energiändamål. En viktig skillnad mellan de bägge scenarierna är att utsläppen från förbränningen av stubbar i stubbscenarioet sker omedelbart, medan utsläppen från de förmultnande stubbarna i referensscenarioet är utspridda över tiden (se ovan). Förbränningen kan ses som ett tidigareläggande av utsläppet och skillnaden mellan de två scenarierna kommer att minska över tid i takt med att de kvarlämnade stubbarna förmultnar. Genom att tillämpa en tidsberoende LCA som uppskattar de årsvisa utsläppen över tiden fångar man upp variationen i nettoutsläppen.

Med hjälp av ekosystemmodeller (Heureka och Q-modellen), som beskriver kolförrådets utveckling och LCA-metodik, beräknades klimatpåverkan av energisystem baserade på stubbar från granskogar för tre regioner. I denna rapport presenteras resultat från södra Sverige (Jönköpings län).

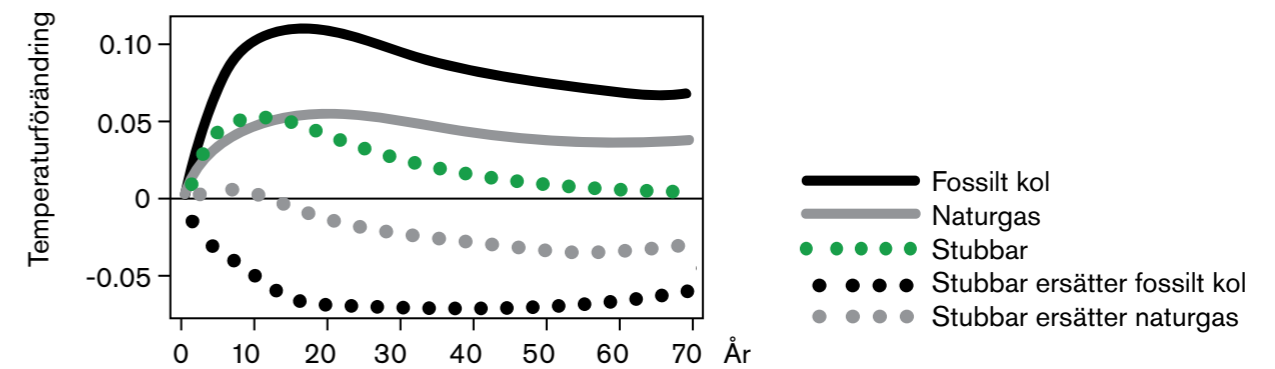
Resultat

Engångsuttag. Klimatpåverkan av att skörda stubbar vid ett tillfälle och bränna dem för energiändamål är som störst efter 10–15 år, men avtar sedan kraftigt (diagrammet ”Klimatpåverkan vid engångsskörd av stubbar”). Den avtagande effekten på temperaturen förklaras av att utsläppen från förbränningen av stubbarna kompenseras av de utsläpp som ändå skulle skett vid nedbrytningen av stubbar som lämnats kvar. Stubbarnas nedbrytning är inledningsvis långsam men ökar markant efter 5–10 år.

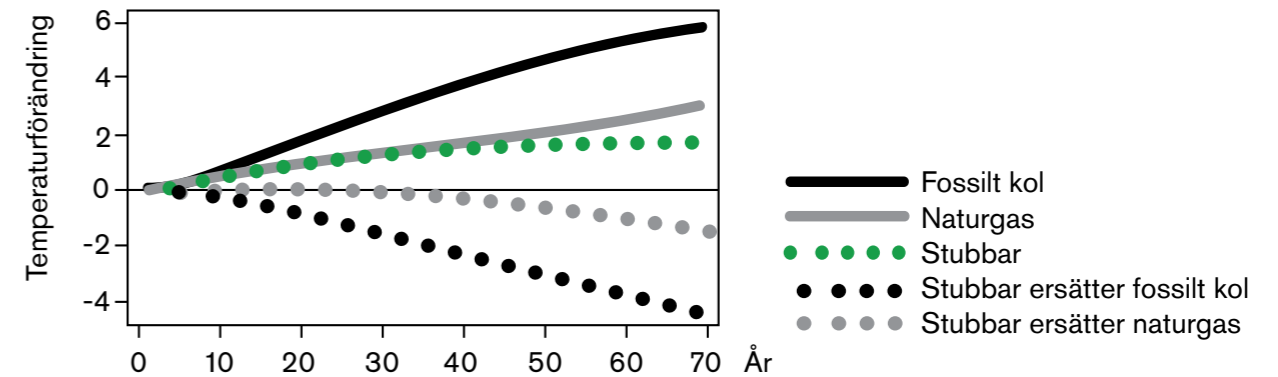
Naturgas har till en början något lägre klimatpåverkan jämfört med stubbenergin, men från ca 12 år och framåt är klimatpåverkan från stubbarna lägre. När stubbarna ersätter fossilt kol uppnår man däremot en omedelbar klimatnytta.

Kontinuerligt uttag. Vid kontinuerlig skörd (varje år) i ett skogslandskap är mönstret liknande, även om stubbenergin klimatpåverkan blir större i förhållande till de fossila systemen. Till skillnad från de fossila alternativen

Klimatpåverkan vid engångsskörd av stubbar



Klimatpåverkan vid kontinuerlig skörd av stubbar



Påverkan på den globala medeltemperaturen av bioenergi vid engångsskörd av stubbar (övre diagrammet) alternativt vid ett kontinuerligt uttag (nedre diagrammet) av stubbar jämfört med fossilt kol och naturgas i södra Sverige (enhet: miljarddelar kelvingrad per MJ). Där kurvorna för stubbenergin understiger kurvorna för de fossila alternativen är stubbenergin mer fördelaktig ur ett klimatperspektiv. Substitutionskurvorna motsvarar nettopåverkan om bioenergin ersätter fossila bränslen.

(diagrammet ”Klimatpåverkan vid kontinuerlig skörd av stubbar”) planar klimatteffekten ut för stubbenergin, vilket betyder att klimatvinsten ökar stadigt över tiden. Tiden tills stubbenergin är mer fördelaktig jämfört med naturgas blir något längre, ca 22 år, jämfört med engångsuttaget. När stubbarna ersätter fossilt kol uppnår man även här en omedelbar klimatnytta.

Resultaten visar också att klimatpåverkan per utvunnen energimängd är något större för norra jämfört med södra Sverige, vilket också förlänger tiden innan klimatnytta uppnås jämfört med naturgas med 2–4 år. I norra Sverige behöver också en större areal tas i anspråk för att producera samma bränslemängd.

Slutsatser

Användningen av stubbar från produktionskogsbruk som bränsle ger en klimatnytta vid substitution av fossila bränslen, också inom kortare tidsperspektiv på ca två-tre decennier. Klimatteffekten av stubbenergin avtar kraftigt över tiden med hänsyn tagen till att stubbarna annars skulle lämnats kvar i skogen och förmultnat. De regionala skillnaderna i klimatpåverkan för produktion av samma energimängd är små. Storleken på klimatpåverkan varierar kraftigt över tiden vilket visar på betydelsen av att använda tidsberoende LCA-metodik.

Växthusgaser påverkar strålningsbalansen

De växthusgaser som släpps ut i atmosfären kommer successivt att brytas ned eller tas upp i oceanerna och landecosystemen. Den kvarvarande andelen av en växthusgas kommer att påverka klimatet genom en förskjutning av strålningsbalansen (radiative forcing, RF) så att en större energimängd kvarhålls och värmer upp atmosfären. Med utgångspunkt i den årliga strålningsbalansen kan man beräkna effekten på den globala atmosfärstemperaturen med hjälp av funktioner som bygger på atmosfäriska cirkulationsmodeller. På grund av trögheten i atmosfären uppstår en tidsförskjutning av effekten på temperaturen. I denna studie används den absoluta förändringen av atmosfärstemperaturen i grader som mått på klimatpåverkan.

Nya och gamla fältförsök med stubbskörd

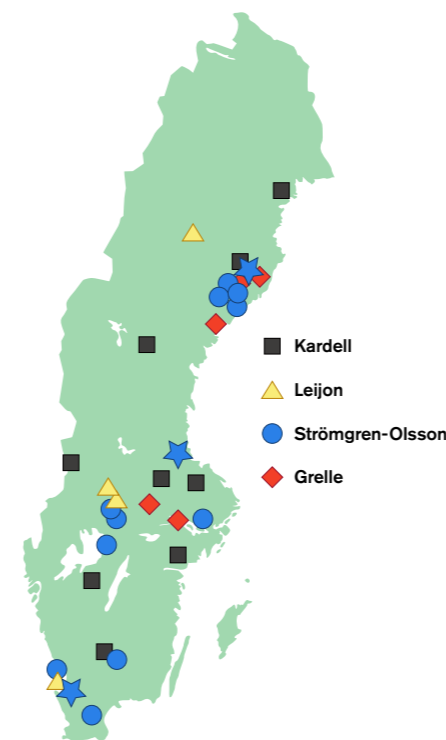
Monika Strömgren (SLU, Uppsala), Bengt A Olsson (SLU, Uppsala), Achim Grelle (SLU, Uppsala) och Anders Lindroth (Lunds universitet)



Merparten av det vi i dag vet om stubbskördens miljöeffekter kommer från fyra stora försöksserier med totalt 33 fältförsök spridda över landet. Till detta kommer fyra enskilda försök. De äldsta försöken är från sent 1970-tal, men merparten är relativt nyetablerade.

Här undersöks hur koldioxidbalansen påverkas av stubbskörd. Från master mäts ekosystemets "andetag", d v s upptag av koldioxid genom fotosyntes och avgång genom respiration.

För att undersöka miljöeffekter av olika skogsskötselmetoder är fältförsök ovärderliga. Med hjälp av dessa kan vi undersöka konsekvenserna av en viss metod, validera våra modeller och se om de hypoteser vi forskare ställer upp eller de farhågor ett samhälle har stämmer i verkligheten. Under 1970-talet var intresset stort för stubbskörd, vilket bland annat innebar att två försöksserier lades ut i slutet av 1970-talet och början av 1980-talet av Lars Kardell och Bo Leijon, båda vid SLU. Trots svalt intresse för stubbskörden under några årtionden därefter har dessa försök underhållits. När intresset för stubbar åter ökade i början av det nya seklet, har dessa kunnat användas för att undersöka miljökonsekvenser av stubbskörd efter 30 år. Då fanns det även behov av nya fältförsök, som var mer anpassade för de frågeställningar och mätmetoder som vi har nu och för att kunna undersöka effekterna under de första åren. Under åren 2007 till 2009 anlades därför flera



Fyra serier av stubbskördsförsök utlagda av Lars Kardell, Bo Leijon, Bengt Olsson/Monika Strömgren och Achim Grelle. Blå stjärnor avser huvudförsöken i Strömgren-Olssons försöksserie.

SilvaBoreal

SilvaBoreal är en svensk registerdatabas över skogliga fältförsök som ägs av SLU och administreras av Enheten för skoglig fältforskning.

Syftet med den är att i första hand öka tillgängligheten av den information som är knuten till skogliga fältförsök och demonstrationsytor runt om i landet.

Läs mer på: www.silvaboreal.com

enskilda försök på platser som Stadra (Nora), Fågelfors och Norunda (Uppsala) för att undersöka konsekvenserna på koldioxidbalansen de första åren efter stubbskörd.

För att se hur generaliserbara resultaten från dessa försök var, lades två nya försöksserier ut 2013–2014. Den ena av Bengt Olsson och Monika Strömgren omfattade fjorton försök över hela Sverige. Målet var att följa effekter på träd och mark under lång tid. Försöksserien ingår i Silva boreal (se faktaruta) vilket ger en bättre garanti för att försöken dokumenteras, data arkiveras och att försöken kan återfinnas efter en längre tid.

Den andra försöksserien (Achim Grelles) består av fem försök där varje försök omfattar en ganska stor yta, vilket gör det möjligt att följa storskaliga processer.

Lokaliseringen av försökslokalerna i de olika serierna framgår av kartan på föregående sida.

Närmare beskrivning av försöken

Kardells försöksserie

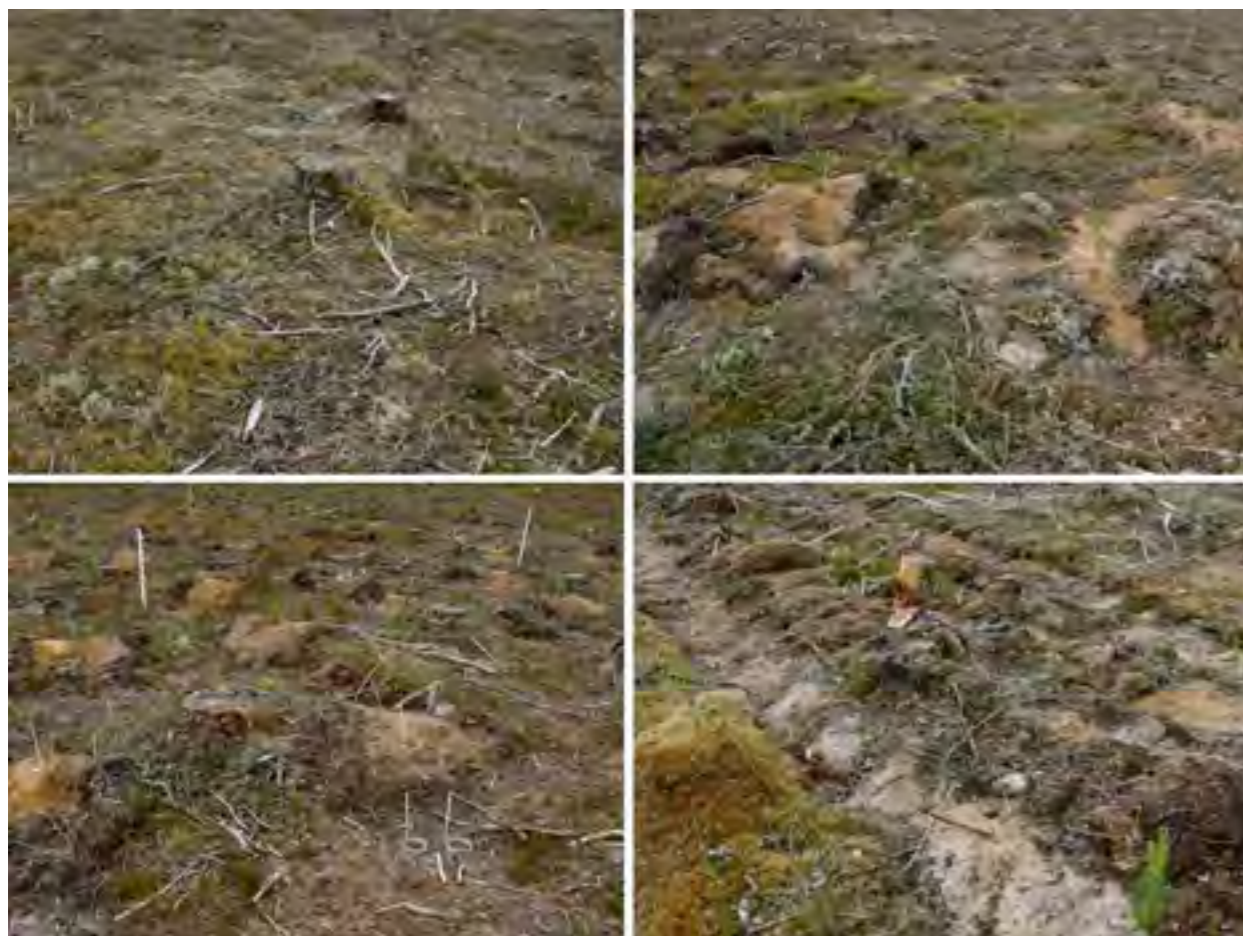
Åren 1978–1979 etablerade Lars Kardell vid SLU en försöksserie för att undersöka hur markvegetation, bärproduktion och trädproduktion påverkas av stubbskörd (Kardell 2010). Försöken har även använts för att undersöka hur kolförråden i mark och biomassa påverkas av de olika behandlingarna (se Kardell 2010, Jurevics m fl 2016).

Försökslokaler: 9

Behandlingar: 4 (kontroll, risskörd, stubbskörd, ris- och stubbskörd)

Försöksdesign: Behandlingar i parceller (40 x 40 m) upprepade i två block per lokal.

Övrigt: Maskinell markberedning på alla behandlingar



På huvudförsöken i Strömgren-Olssons serie av stubbtäktsförsök ingår fyra olika behandlingar: en kontroll utan markberedning (övre, vänstra), stubbskörd (övre, högra), högläggning (nedre, vänstra) och harvning (nedre, högra).

Leijons försöksserie

Bo Leijon vid SLU etablerade en försöksserie åren 1981–1983 för att undersöka de långsiktiga effekterna på träd-tillväxten. Försöken har även använts för att undersöka hur kolförråden i mark och biomassa påverkas av de olika behandlingarna (se Strömgren m fl 2013).

Försökslokaler: 4

Behandlingar: 3 (kontroll, stubbskörd, ris- och stubbskörd)

Försöksdesign: Behandlingar i parceller (35 x 35 m) upprepade i fyra block per lokal.

Övrigt: Manuell fläckmarkberedning på alla behandlingar.

Strömgren – Olssons försöksserie

Under 2013–2014 etablerades fjorton markberednings- och stubbtäktsförsök av Bengt Olsson och Monika Strömgren vid SLU. Syftet var att följa effekter av markberedning och stubbskörd på kol- och näringsförråd i mark och biomassa, men även effekter på plant-etablering, biomassaproduktion, vegetationsutveckling och markens syra-bas förhållande. Under de första åren har en grunddokumentation utförts, och effekter på plantetablering och avgång av växthusgaser från marken studerats (koldioxid, metan och lustgas) (se Strömgren m fl 2016, 2017).

Försökslokaler: 14 (3 huvudförsök, 11 basförsök)

Behandlingar: 4 för huvudförsöken (kontroll, fläckmarkberedning/högläggning, harvning, stubbskörd) och 3 för basförsöken (kontroll, fläckmarkberedning/högläggning eller harvning, stubbskörd)

Försöksdesign: Behandlingar i parceller (30 x 30 m till 40 x 40 m) upprepade i fyra block per lokal på huvudförsöken och tre block per lokal på basförsöken.

Övrigt: Risskörd utfördes på alla provytor innan behandling. På stubbskördade ytor har kompletterande markberedning gjorts vid behov, det vill säga på platser där stubbskörden inte resulterat i tillräckligt många planteringspunkter. Ingen markberedning har genomförts på kontrollytorna.

Grelles försöksserie

Under 2014–2015 etablerades en serie med stubbtäktsförsök av Achim Grelle vid institutionen för ekologi vid SLU. Syftet var att undersöka hur koldioxidbalansen påverkas av stubbskörd. Studierna genomförs med mikrometeorologisk teknik från master, där hela ekosystemets ”andetag”, dvs upptag av koldioxid genom fotosyntes och avgång genom respiration, kan följas med en mycket hög tidsupplösning. Mättekniken kräver att varje behandling utförs på en radie av minst 50 m runt varje mast.

Försökslokaler: 5

Behandlingar: 2, kontroll, stubbskörd

Försöksdesign: De två behandlingarna har placerats i varsin del av försökslokalen med liknande förhållanden.

Övrigt: Risskörd utfördes på alla provytor före behandling. Kontrollen är markberedd (fläckmarkberedning/högläggning eller harvad). På stubbskördade ytor har kompletterande markberedning gjorts vid behov.

Enskilda försök med stubbskörd

Stadra: Parcellförsök som etablerades utanför Nora år 2007. Försöket består av två behandlingar (stubbskörd och högläggning) utlagda på 50 x 50 m provytor i tre block. Utöver studier av koldioxidavgång från marken under de första åren, har även koldioxidbalansen följts med mikrometeorologiska metoder (se Strömgren m fl 2012 och Grelle m fl 2012).

Karlsheda: Parcellförsök i Småland där effekterna på koldioxidavgången från marken undersöktes under en månad efter stubbskörd (3 provytor) och jämfördes med obehandlade referensytor (2 provytor). Försöket ingick i ett projektarbete av SLU-studenten Björn Holmström (2008, se även Strömgren m fl 2012).

Fågelfors: Parcellförsök i Småland som etablerades år 2009. Består av tre behandlingar (fläckmarkberedning, harvning och stubbskörd) upprepade i tre block. Koldioxidavgång från marken följdes under två år efter behandling (se Strömgren & Mjöfors 2012).

Norunda: Stubbtäktsförsök etablerat på ett hygge i Uppland 2009 av Anders Lindroth vid Lunds universitet. Hygget är uppdelat i fyra ytor, där stubbar har skördats på två. Fläckmarkberedning har sedan genomförts på hela hygget. Kontinuerliga mätningar av flöden av koldioxid, metan och lustgas har genomförts via master över varje provyta (se Sundqvist m fl 2014 för metanflöden).



Hur påverkas markens kolförråd av stubbskörd?

Bengt A Olsson (SLU, Uppsala), Monika Strömgren (SLU, Uppsala), Riitta Hyvönen (SLU, Uppsala), Achim Grelle (SLU, Uppsala), Michael Freeman (SLU, Uppsala), Gustaf Egnell (SLU, Umeå) och Tryggve Persson (SLU, Uppsala)

Skörd av stubbar och grovrötter minskar det totala förrådet av kol i marken, men i takt med att de kvarvarande stubbarna och rötterna bryts ned, minskar skillnaden mellan stubbskördade och icke stubbskördade hyggen. Modellstudier indikerar att stubbskörd även på sikt kan leda till en viss minskning av markens kolförråd, men de flesta empiriska studier på välodränerad fastmark har inte kunnat visa på någon skillnad i markens kolförråd mellan stubbskörd och maskinell markberedning på längre sikt (35 år). Däremot finns belägg för att stubbskörd leder till att kolförrådet kan omfördelas från markens humusskikt till djupare liggande skikt.

Skogsmarkens förråd av kol bundet i dött organiskt material är resultatet av två processer som balanserar varandra – å ena sidan tillförsel av organiskt material från bland annat döda barr, rötter, vedartad förna och svamphyfer och å andra sidan nedbrytning. Nästan hela förrådet av kol ligger i form av organiska humusföreningar i varierande grad av förmultning och ålder – från årgammal förna till många sekler gamla humusrester. Skogsmarkens kväveförråd består till allra största delen av kväve som är organiskt bundet till kolet.

Sett i ett globalt perspektiv är markens kolförråd betydande, och en förlust av markens hela kolförråd skulle innebära en betydande ökning av atmosfärens koldioxidhalt. Samtidigt är en kontinuerlig omsättning av markkolet nödvändig för att frigöra den näring som finns bunden i organiskt material, vilket är en förutsättning för växtproduktion och därmed tillförsel av nytt kol till marken.

Poängen med att använda biobränslen, som stub-

bar och andra rester från skogsbruket, i stället för fossila bränslen, är att dessa skörderester avger koldioxid även om de lämnas kvar på hygget. Skillnaden är att koldioxidutsläppet sker momentant vid förbränning men långsamt från skörderesterna i naturen. Den förväntade effekten är att markens kolförråd (och kväveförråd) minskar något efter skörd av grot och stubbar, helt enkelt därför att ju mer organisk substans vi skördar, desto mindre finns kvar. Man har visat med modeller att då man börjar skörda stubbar i ett landskap med skogar i olika åldrar minskar de sammanlagda kolförråden i marken något till en början, men minskningen stannar av med tiden och en ny jämvikt uppstår (Eliasson m fl 2013).

Många fältförsök

Flera projekt inom Tema stubbar har undersökt effekten av stubbskörd på markens kolförråd, och det finns resultat från tidigare studier som har gett vissa svar. Studierna kan delas in efter typ av försök och försöksålder. Nya försök har startats sedan 2012 på 14 olika platser i Sverige för att jämföra effekten av stubbskörd med markberedning. Vi har också undersökt två serier med fältförsök med stubb- och grotskörd i olika kombinationer som startades i slutet av 1970- och början på 1980-talet. Det finns också studier av stubbskörd i praktisk verksamhet. I mellersta Finland började man skörda stubbar i större skala i början på 2000-talet, och studier på dessa lokaler har gett oss inblick i effekterna på ett decenniums sikt.

Referenssituationen viktig

Frågan som ställs i rubriken, d v s hur markens kolförråd påverkas av stubbskörd, kan bara besvaras som en jämförelse med en referenssituation. Den jämförelse som är mest realistisk i dagens skogsbruk är med hyggen där grot men inte stubbar skördas, och som markbereds maskinellt. Att skörda stubbar och lämna kvar grot är inte realistiskt, men förekommer i fältförsök.

Poängen med att använda biobränslen som stubbar, istället för fossila bränslen, är att stubbarna avger koldioxid även om de lämnas kvar på hygget.

Inga betydande effekter av stubbskörd

Nyanlagda försök

Om man bortser från kolet i stubbar och rötter, så har vi inte sett någon omedelbar effekt av stubbskörd på markens kolförråd i de nyanlagda försöken. En kortsiktig effekt på detta förråd i kilo kol per hektar borde inte heller uppstå, men stubbskörd skulle kunna resultera i en omlagring, med mindre förråd av kol vid markytan och större förråd djupare ner i marken. I de nya försöken fanns en tendens till att kolhalten (procent kol av torrvikten) var lägre i humusskiktet och högre i mineraljorden efter stubbskörd, men skillnaden var inte statistiskt säkerställd (Fig. 1).

10-åriga försök i Finland

På tioåriga markberedda hyggen i Finland gick det inte heller att se någon statistiskt säkerställd skillnad i markens kolförråd mellan hyggen med och utan stubbskörd. Medelvärdena var dock lägre på stubbskördade hyggen, vilket antydde en möjlig svag effekt (Hyvönen m fl 2016). I likhet med studien i svenska nyanlagda försök definierades markkolet här som det kol som fanns fördelat i jorden.

25-åriga försök

I en studie av fyra 25-åriga fältförsök var förråden av kol i markens översta skikt och de totala förråden i både mark och biomassa mindre på ytor med stubbskörd och grotuttag jämfört med ytor med enbart stamvedsuttag (och utan maskinell markberedning) (Strömgren m fl 2013). Det fanns ingen skillnad i det totala förrådet



Det finns inget stöd från fältexperiment för att stubbskörd skulle leda till betydande förluster av kol i marken. Det talar för att stubbar som bränsle har bra egenskaper ur ett växthusgasperspektiv.

mellan ytor med enbart stamvedsuttag och ytor med stam- och stubbskörd men med kvarlämnad grot.

20-30 åriga försök i Norduppland-Gästrikland

Under 1970- och 1980-talet bröts stubbar i Gästrikland och Norduppland för att förse massfabriken i Mackmyra utanför Gävle med råvara. En jämförelse av kolförrådet i stubbskördade ytor och ytor med vanlig markberedning gjordes 20-30 år efter stubbskörd av Persson m fl (2017). Inte heller där kunde man belägga någon skillnad i kol- och kvävförrådet i markprofilen som helhet, men på de stubbskördade ytorna var kolmängden i humusskiktet signifikant mindre än på de markberedda ytorna. Omvänt fanns en tendens till mer kol lite längre ned i marken på de stubbskördade ytorna, något som visar att stubbskörd ger en ökad omblandning av markskikten jämfört med markberedning.

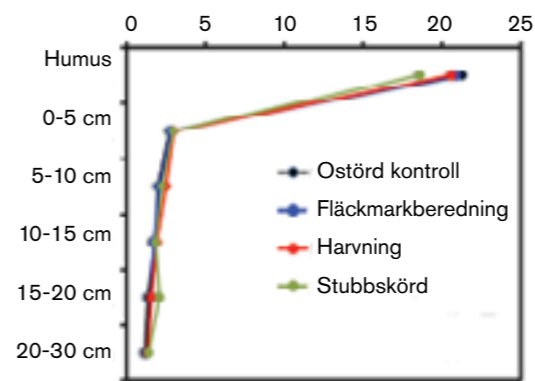
Kardells 35-åriga försök

De mest långsiktiga effekterna av stubbskörd – ca 35 år – har vi kunnat analysera genom studier av Lars Kardells fältförsök som etablerades i slutet på 1970-talet. Försöksserien jämförde effekten av grotuttag och stubbskörd var för sig och i kombination, och i alla försöksled gjordes en maskinell markberedning (Jurevics m fl 2016). Vi fann inte några signifikanta effekter av stubbskörd på markens totala kolförråd (här var också kolet i stubbar och grovrötter inräknat). I samma långtidsförsök fann Olsson & Strömgren (2016) att kolhalten i humusskiktet var statistiskt signifikant lägre efter stubb- och grotuttag jämfört med enbart stamkörd, vilket kan tolkas som en högre inblandning av mineraljord i humusskiktet orsakad av markstörningen (Fig. 1).

Försök med djup markberedning

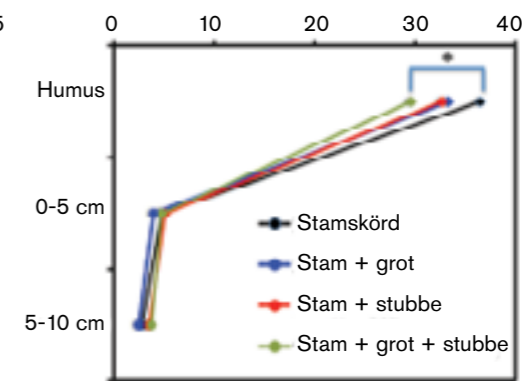
I slutet på 1980-talet startade Örlander m fl (2002) två försök, ett i Västerbotten och ett i Småland, med stubbskörd i kombination med djup markberedning med en plog. Hela markprofilen ner till 50 cm vändes om fullständigt. Ingreppet jämfördes med enbart stamvedsuttag och manuell fläckmarkberedning. Drygt 20 år efter behandlingarna observerades signifikant lägre kol- och kvävförråd i marken i det norrländska försöket, men inte i det småländska. På den senare lokalen var trädutväxten högre efter stubbskörd och markberedning, och den högre tillväxten gav en högre förnäringsproduktion som delvis hade kompenserat den negativa effekten av markberedning och stubbskörd på kol- och kvävförråden i marken (Egnell m fl 2015). Markberedningen i försöket påverkade djupare marklager och omfattade hela markytan, vilket inte är fallet med konventionella metoder. Försöket kan därför betraktas som en extrem behandling med vetenskapligt värde, men det avspeglar inte effekten av kon-

Kolhalt (C %)



Efter 1 år (nya försök)

Kolhalt (C %)



Efter ca 35 år (Kardells försök)

* = statistisk signifikant skillnad

Figur 1. Kolhalten i marken (% C av torrvikten) ca 1 år (vänster) och 35 år (höger) efter olika markbehandling och biomassaskörd. Data från två olika försöksserier. I de nya försöken skördades först grot i alla försöksled, och sedan jämfördes stubbskörd med olika markberedningsalternativ. I den äldre försöksserien, etablerad av Lars Kardell i slutet av 1970-talet, jämfördes olika skördeuttag (alla försöksled markbereddes). Den enda statistiskt säkerställda skillnaden (*) fanns i humusskiktet efter ca 35 år (Olsson & Strömgren 2016).

ventionell markberedning. Dessutom resulterade markberedningen i ett högre kolförråd i trädbiomassan, varför det totala kolförrådet i mark och biomassa inte skilde sig åt mellan behandlingarna. Detta visar kopplingen mellan markkolomsättning, näringsfrigörelse och trädutväxt. En viktig lärdom här är att man inte kan dra några slutsatser om klimatpåverkan genom att studera kolförråden enbart i mark eller enbart i bestånd.

Kväve bestämmer kolupplagringen på lång sikt

Det finns flera tänkbara förklaringar till varför stubbskörd inte har påverkat markens kolförråd i våra fältstudier. Det kan finnas små men sanna effekter som är svåra att upptäcka i fältförsök därför att de maskeras av andra faktorer och naturlig variation. Å andra sidan har vi med samma metoder upptäckt långsiktiga effekter av andra skogsbruksåtgärder på kolförråden, t ex gödsling, trädslagsval och grotuttag. Detta pekar på att effekterna av stubbskörd inte kan vara särskilt betydande.

På lång sikt bestäms uppbyggnaden av kol i marken i hög grad av skogstillväxten som i sin tur är starkt beroende av tillgången på kväve. Mindre skogsproduktion ger generellt mindre kolupplagring. Olika fältförsök har visat att grotuttag vid framför allt gallring men även slutavverkning ger minskad skogstillväxt, och kväveuttaget i grot är den mest troliga förklaringen till detta (Egnell 2016). Stubbskörd påverkar däremot inte skogstillväxten negativt, den kan tvärtom ge en svagt positiv effekt (t ex Jurevics m fl 2016). De relativt ringa kväveförlusterna vid stubbskörd kan vara en bidragande orsak till detta. Det betyder att stubbskörd inte påverkar den

långsiktiga kolinlagringen i marken genom förändrad skogstillväxt och förnäringsproduktion.

En annan viktig förklaring är att undersökningar av koldioxidutsläppen från marken i de nya försöken inte har gett stöd till hypotesen att markstörning ökar nedbrytningen av markens organiska material. Resultaten pekar snarare på det motsatta förhållandet (Strömgren m fl 2016).

Är stubbar bra som bränsle om man ser till kolomsättningen i marken?

Modellstudier har demonstrerat att det är högst troligt att stubbskörd kan leda till en viss minskning av markens kolförråd (t ex Melin m fl 2009; Eliasson m fl 2013). Men de flesta empiriska studier av stubbskörd på väl-dränerad fastmark i Sverige och Finland har inte kunnat visa några sådana effekter på markens kolförråd om jämförelsen är maskinell markberedning. Det finns därför inget starkt stöd från fältexperiment för att enbart stubbskörd skulle leda till några större förluster av kol i marken. Diskrepansen mellan modell och empiri kan bland annat förklaras med att det är svårt att mäta små kolförrådsändringar i skogsmark, där variationen mellan olika provtagningspunkter normalt är mycket stor.

Modellerna är å andra sidan ofta konstruerade för att svara på generella frågor snarare än att ge precisa förutsägelser. Värderingen av stubbar som bränsle ur ett växthusgasperspektiv måste bygga på kunskap om hur kolomsättningen påverkas i olika skalor i tid och rum. Om man enbart ser till effekterna av stubbskörd på markens kolförråd visar de empiriska studierna att stubbar är ett bra bränsle ur detta perspektiv.

Stubbskörd och markens koldioxidbalans

Kristina Mjöfors (SLU, Uppsala), Monika Strömgren (SLU, Uppsala), Achim Grelle (SLU, Uppsala), David Hadden (SLU, Uppsala), Anders Lindroth (Lunds universitet) och Patrik Vestin (Lunds universitet)

Markstörningar, som stubbskörd och markberedning, leder initialt till minskad koldioxidavgång från marken, visar en serie nya försök. Det är tvärtemot vad man tidigare har antagit. Efter det första året ligger avgången på ungefär samma nivå för störd mark som för ostörd mark.

Skogen och skogsmarken innehåller stora mängder kol i form av organiskt material i mineraljorden och humuslagret. Kolet i svensk skogsmark uppskattas till 1 700 miljoner ton, vilket är 100 gånger hela Sveriges årliga utsläpp av koldioxid. Detta betyder att även små förändringar i skogsmarkens kolförråd kan ha stor inverkan på Sveriges koldioxidbudget.

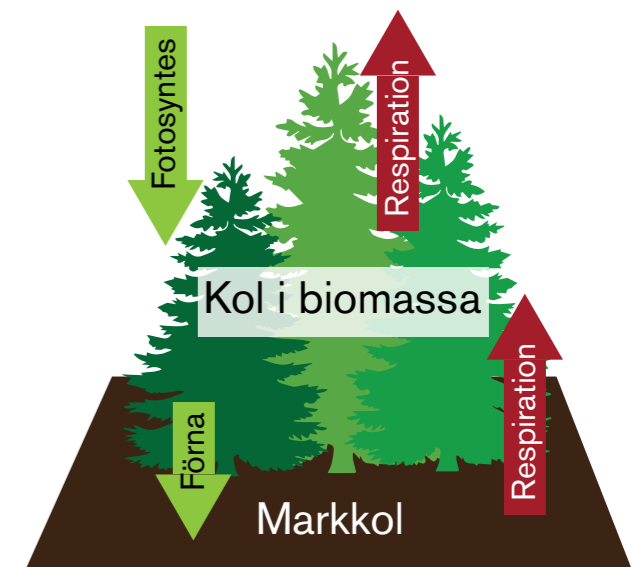
En farhåga har varit att kolförråden i marken skulle minska vid stubbskörd, dels på grund av det större uttaget av biomassa, dels som en följd av den starka markomrörningen. Detta skulle i så fall vara negativt för att använda stubbved som energi.

Kolets kretslopp

All vegetation tar upp koldioxid genom fotosyntes för att bygga upp sin biomassa, men den släpper även ut koldioxid när den andas, så kallad autotrof respiration. Så länge det finns en tillväxt av biomassa är koldioxidupptaget större än utsläppet. Marken får ett inflöde av kol genom det organiska material som tillförs från vegetationens förnafall, t ex barr, löv, gamla rötter och döda kvistar. När förnan når marken börjar denna brytas ner med hjälp av svampar och bakterier, som i nedbrytningsprocessen släpper ut koldioxid, så kallad heterotrof respiration. Nedbrytningen är långsam och när tillförseln av förna är större än det som avges vid nedbrytning byggs kolförrådet i marken upp. Det material som ansamlats i marken har under årens lopp byggt upp stora kolförråd.

Efter slutavverkning försvinner trädens fotosyntes.

Markvegetationen är ofta gles under det första året, så den bidrar inte heller till någon märkbar fotosyntes. Däremot fortsätter nedbrytning och respiration från mark och hyggesrester, vilket gör att skogen är en koldioxidkälla under hyggesfasen.



Kolets kretslopp i en skog. Gröna pilar visar processer där koldioxid binds in i ekosystemet och de röda pilarna visar processer där koldioxid släpps ut.

Stor andel av marken störs vid stubbskörd

En allmänt vedertagen "sanning" är att när man rör om marken ökar nedbrytningen av markens kol på grund av bättre nedbrytningsförhållanden. Detta skulle innebära att andelen av markytan som störs bör vara av stor betydelse. I 14 markberednings- och stubbtäktsförsök var i genomsnitt 70 % av markytan störd efter stubbskörd och kompletterande markberedning, medan motsvarande andel för den vanligt förekommande markberedningsmetoden harvning var betydligt lägre (54 %). Vid fläckmarkberedning och högläggning, som också är vanligt förekomman-

Efter att stubbarna lyfts läggs de på hög ute på hygget. Där får de ofta ligga några månader, ibland över vintern, innan de körs ihop och läggs upp i en stor stubbvälta vid bilväg.

de, var enbart 40 % av marken störd.

Försöken visar även att en del markstörningar varken har orsakats av markberedning eller stubbrytning utan uppkommit redan vid avverkning och borttransport av biomassa. På ytor där varken markberedning eller stubbskörd hade förekommit var nämligen 10 % av marken störd, främst var det körspår.

Små effekter av markörning på koldioxidavgång

När det gäller koldioxidavgång från marken visar nya försök att störningar inte ökar avgången, utan att den till och med kan minska under de första två åren. En kortvarig ökning av koldioxidutsläpp har observerats direkt efter stubbrytning, men denna försvann redan efter ett par veckor.

Resultat från en stubbskörd- och markberedningsstudie omfattande fjorton försökslokaler över Sverige (Se kapitlet ”Nya och gamla fältförsök med stubbskörd”) visade att ytor med stubbrytning och markberedning hade 12 % lägre koldioxidutsläpp det första året i jämförelse med ostörd mark, medan det inte fanns några skillnader det andra året. Det fanns en viss variation i koldioxidutsläpp, men under första växtsäsongen var det endast två av de fjorton försöken som hade högre koldioxidavgång än ostörd kontroll och i de markberedda försöken var koldioxidutsläppen i samtliga fall lägre än från de ostörda kontrollytorna.

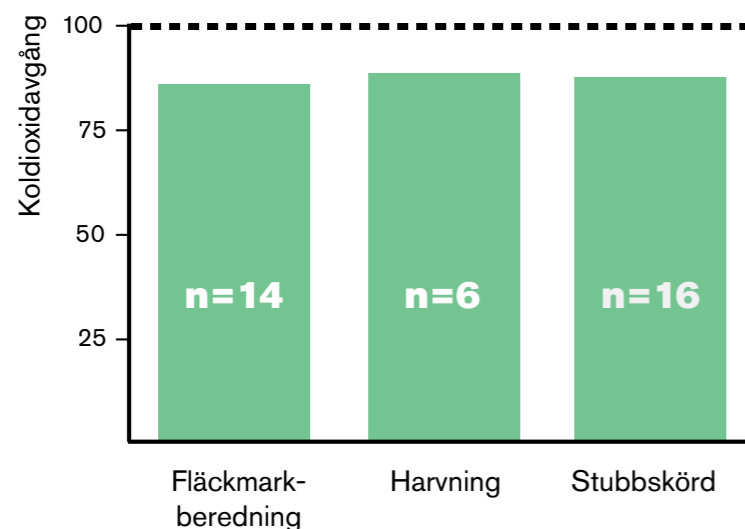
Resultaten beror sannolikt på skillnader i typ av markstörning. De lägsta koldioxidutsläppen uppmättes från markytor där mineraljorden blottats, vilket är väntat då en stor andel av koldioxiden kommer från humus-

lagret. För att stubbrytning och markberedning skall ge samma koldioxidutsläpp som den ostörda marken skulle de låga utsläppen från den bara mineraljorden behöva kompenseras med högt utsläpp från de markytor där humus och jord ansamlats (t ex högar och tältor). Detta sker dock inte. Det är till och med så att den ostörda marken generellt släpper ut mer koldioxid än de olika störningstyperna.

En anledning till att just stubbrytning kan leda till lägre koldioxidutsläpp är att stubbarna har tagits bort – de skulle ju annars ligga kvar, brytas ner och avge koldioxid. I tidigare studier har koldioxidavgången från kvarliggande stubbar och rötter uppskattats till ca 5 % av utsläppen. Även om dessa utsläpp tas i beaktande, kommer de inte att påverka resultaten statistiskt i studien med fjorton försökslokaler. Stubbskörd kommer fortfarande att avge signifikant mindre koldioxid än ett och ligga på samma nivå som ostörd mark år två. Det kommer inte heller att vara någon signifikant skillnad mellan markberedning och stubbskörd.

Hyggesvegetationen viktig för koldioxidflödena

Under det första året spelar vegetationen en mycket liten roll för koldioxidflödena på ett hygge, men ett par år efter slutavverkning börjar vegetationen återetableras. Detta syns vid mätningar av koldioxidflöden, då ett koldioxidupptag tydligt kan urskiljas under dagtid. Om stubbskörd eller markberedning görs efter att vegetationen har återetablerats kommer hyggesvegetationen att tas bort, vilket leder till minskad fotosyntes vilket i sin tur leder till en större nettoavgång av koldioxid till atmosfären.



Medelvärdet av koldioxidavgången under de två första åren från olika typer av störningar. 100 % är koldioxidavgången från ostörd mark, n = antal observationspunkter för varje störning.

Mätning av markens koldioxidbalans efter stubbrytning och markberedning

Marken innehåller en stor kolreservoar. Därför är det svårt att mäta kortsiktiga förluster eller ackumuleringar, eftersom förändringarna oftast är små. För att se effekter på markens kolförråd under loppet av några år, kan mätningar av koldioxidflöden vara mer effektivt.

Det kan göras med hjälp av mikrometeorologiska metoder (Eddy-flux-teknik), där man mäter det direkta koldioxidutbytet mellan ekosystem och atmosfär över ett större område (vid stubbskördsförsök är radien ca 50 m) eller med sk kyvetter som kan visa koldioxidflöden på en avgränsad markyta. Med den senare tekniken kan man uppskatta skillnader från olika typer av markstörningar, och om man vet hur stor del av marken som är påverkad av de olika störningstyperna kan man skatta hur mycket stubbrytning eller markberedning påverkar koldioxidavgången från ett hygge.

Genom att väga samman resultaten från dessa två mättekniker kan man få en tydlig bild av hur stubbrytning och markberedning påverkar markens koldioxidbalans.

Mätning med Eddy-flux-teknik (se faktaruta ovan) över större ytor visar att denna ökning är ganska kortvarig efter stubbskörd och att ökningen inte är urskiljbar efter ett år/några månader. I praktiken kan stubbskörd göras ett år och markberedning ett annat vilket gör att förlusten i fotosyntes kan ske två gånger på stubbskördade ytor jämfört med referensytor.

De olika störningar som skapas vid stubbskörd och markberedning kan öka etablering av fältvegetation och träd. Det är därför av stor vikt att fortsätta följa skogens återetablering och tillväxt under några år efter stubbskörd och markberedning. Då har man även möjlighet att upptäcka eventuella kolförluster från marken som kan uppträda med en viss fördröjning efter stubbskörd.

Slutsats

Den generella slutsatsen från publicerade försök och nuvarande svenska försök är att stubbrytning och markberedning leder till mindre koldioxidutsläpp från marken den första växtsäsongen efter behandlingen och att det under det andra året inte finns några skillnader i

koldioxidutsläpp mellan stubbrutna, markberedda eller ostörda hyggen. Farhågan att omrörning leder till ökad koldioxidavgång från marken verkar därför vara felaktig. Detta betyder ur klimatsynpunkt att stubbrytning och markberedning har liten eller ingen negativ inverkan på koldioxidutsläppen.

Studierna visar även att hyggesvegetationen är betydelsefull för kolbalansen under hyggesfasen och att stubbskörd och markberedning initialt kan ge en minskning i fotosyntes om åtgärderna sker när markvegetation har etablerats.

När stubbar skördas finns farhågor om att växthusgaser som metan och lustgas kan frigöras. För att mäta gasutsläppen används markkyvetter. De här mätringarna är placerade vid Smällfallet i Västmanland.



Hur påverkas lustgas- och metanavgivning av stubbskörd?

Anders Lindroth (Lunds universitet), Patrik Vestin (Lunds universitet) och Monika Strömgren (SLU, Uppsala)

I fyra försök var utsläppen av de kraftfulla växthusgaserna lustgas och metan ungefär på samma nivå från stubbskördade ytor som från ytor där stubbarna var kvar. Inte heller markberedning gav några signifikanta effekter. Det här är de första studierna i världen på det här området, och resultaten måste därför tolkas med viss försiktighet.

Bakgrund

För att förstå vilken inverkan stubbskörd har på klimatet måste man utöver utsläpp av koldioxid (CO_2) även beakta utsläpp av lustgas (N_2O) och metan (CH_4). De är mycket kraftfulla växthusgaser – i ett 20-årsperspektiv är metan 84 gånger kraftfullare än koldioxid medan lustgasen är hela 264 gånger kraftfullare.

Att bryta upp stubbar innebär en avsevärd störning av marksystemet, vilket kan leda till ökad substrattillgång för nedbrytare vilket i sin tur kan leda till större kvävefrigörelse. Detta ökar risken för ökade utsläpp av lustgas. Studier i tropiska jordar har t ex visat att ökad finrotsdödighet har lett till ökade emissioner av lustgas. Lustgasproduktionen påverkas även av andra faktorer, som t ex markens vattenhalt och temperatur vilka också förändras vid slutavverkning och därpå följande stubbrytning. Utsläpp av lustgas är väldigt lite undersökta, bland annat på grund av metodmässiga svårigheter då det är stora variationer i tid och rum.

Det är även dåligt känt hur metan påverkas av markstörningar. Metan tas normalt upp i skogsmarken, och vattenhalten och tillgången på kväve är de faktorer som har störst inverkan på upptaget. Bägge dessa faktorer påverkas kraftigt vid slutavverkning och stubbrytning. Minskad transpiration gör att grundvattenytan höjs vilket sannolikt leder till minskat metanupptag.

De studier av effekter av stubbskörd på utsläpp av lustgas och metan som redovisas här är de första i sitt slag i världen och de bör tolkas med viss försiktighet.

Kyvettförsök

Mätningar av lustgas- och metanemissioner med så kallade markkyvetter gjordes på tre av de fjorton markberednings- och stubbtäktsförsök som lagts ut på hyggen i Sverige 2013–2014 (Strömgren m fl 2016). Försöken ligger i Mellansverige (Lunsen i Uppland, Porrtjärn i Värmland och Smällfallet i Västmanland). Markerna är alla näringsrika och fuktiga, och risken för lustgasemissioner bedömdes vara större än i torrare och mer näringsfattiga marker. Mätningarna gjordes under växtsäsongerna 2013–2014 och det ingick tre försöksled: stubbskörd, markberedning och en ostörd kontroll, där träden avverkats, men där varken stubbskörd eller markberedning utförts.



Mätningar av lustgas- och metanemissioner gjordes med ett kyvettsystem med åtta förinstallerade mätringar per försöksled. Vid varje mätning sattes kyvetten på en mätring och de insamlade luftproverna analyserades med en gaskromatograf.

Lustgas. Mätningarna visade inga eller bara små skillnader mellan ostörda, markberedda och stubbskördade provytor. Lustgasavgången var dessutom generellt låg. På en av lokalerna kunde inga emissioner uppmätas, vilket kan bero på att mängden lättillgängligt kväve reducerats av den markvegetation som snabbt etablerades där. I Smällfallet, som hade högst flöden, svarade lustgas för 4–8 % av de sammanlagda växthusgasflödena räknat i koldioxidekvivalenter. För lokalerna Porrtjärn och Lunsen (år 2) uppgick de till max 1 % av de sammanlagda flödena.

Metan. För metan uppmättes generellt låga flöden, både upptag och avgång. Totalt motsvarade metanflödena endast 1–2 promille av de totala växthusgasflödena, och det var ingen skillnad mellan stubbskördade ytor och kontroller. Betydande metanemissioner förekom dock från körspår och mineraljordsfläckar, särskilt när dessa var vattenfyllda.

Mikrometeorologisk mätning i Uppland

Lustgas- och metanemissioner mättes på ekosystemnivå på ett nyupptaget hygge på Norunda Häradsallmänningsmarker utanför Björklinge i Uppland. Mätningarna gjordes kontinuerligt under juni 2010 till maj 2013 för metan och juli 2011 till september 2012 för lustgas. I försöket ingick fyra försöksled, två på lite fuktigare mark och två på lite torrare mark. En yta på respektive marktyp markbereddes och planterades, på den andra skördades även stubbarna.

Lustgas. Mätningarna indikerade att de torrare ytorna hade betydligt högre emissioner av lustgas än de fuktigare (se figur nedan). Under år två var skillnaderna mellan

behandlingarna statistiskt skilda, för den fuktigare marktypen var emissionerna högre än för den icke stubbskördade ytan än den stubbskördade, medan det var tvärt om på den torrare ytan. Samma mönster återkom år tre men här blev skillnaderna mellan behandlingarna inte signifikanta.

Lustgasemissionerna var generellt låga jämfört med CO₂-emissionerna utom för den stubbskördade torrare ytan år två där lustgasemissionen, när den “översattes” till CO₂-ekvivalenter uppgick till 14 % av CO₂-emissionen.

Metan. Emissionerna av metan i Norunda medförde ett betydande tillskott till de totala växthusgasemissionerna. Dessutom uppvisade de ett starkt beroende av fuktighetstyp med högre emissioner för de fuktigare ytorna (se figur på motsatt sida). Den högsta metanemissionen uppmättes år 3 på den fuktiga kontrollytan och motsvarade då 37 % av CO₂-emissionen på samma yta. Den lägsta metanemissionen uppmättes år 2 och då uppgick den endast till 12 % av CO₂-emissionen på samma yta.

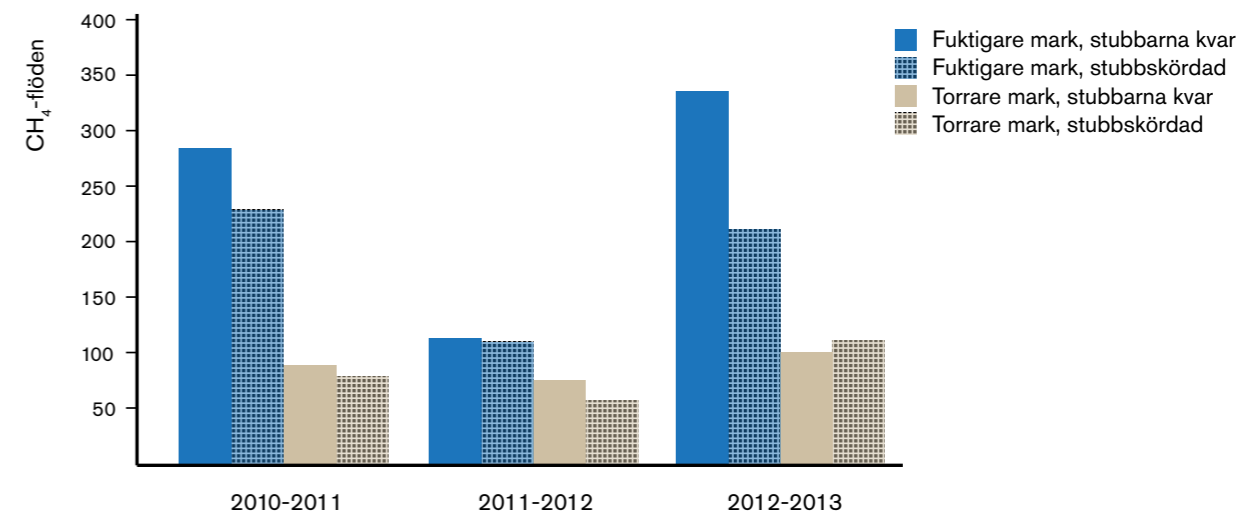
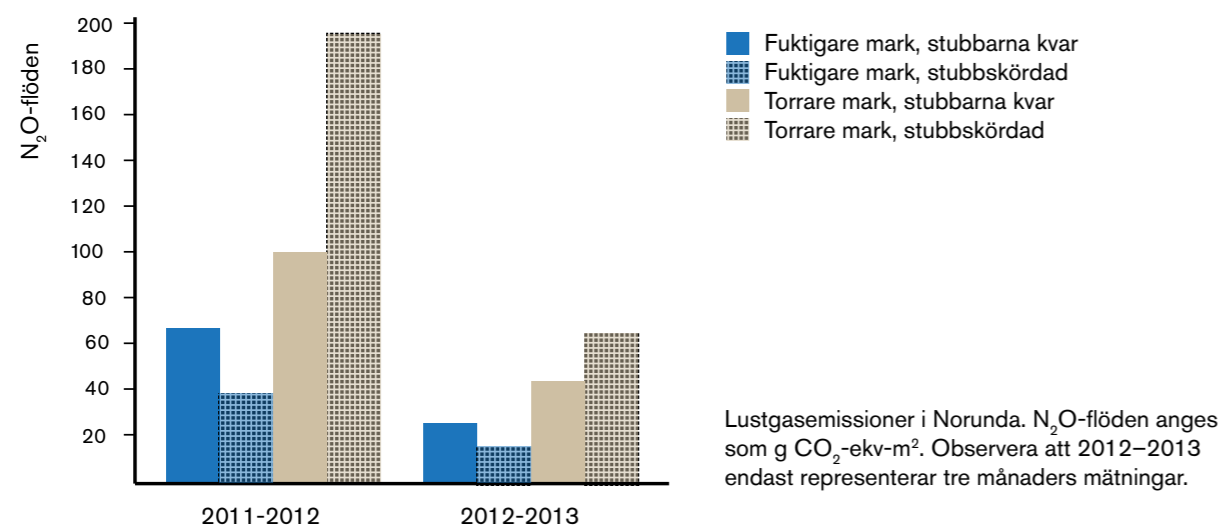
Emissionerna var lägre på de stubbskördade ytorna, utom för det tredje året på den torrare ytan, då de var aningen högre.

Total avgång av växthusgaser

För att få perspektiv på betydelsen av lustgas- och metanemissionerna beräknades även summan av samtliga växthusgaser för Norunda.

Koldioxidemissionerna var genomgående högre på de torrare ytorna än på de fuktigare under år 1 och 2 medan den torrare stubbskördade ytan hade lägst CO₂-emission det tredje året.

På de torrare ytorna var den sammanlagda växthusgasavgången alla tre åren signifikant lägre efter stubbskörd än



Metanemissioner i Norunda. CH₄-flöden anges som g CO₂-ekv-m². Observera att 2012–2013 endast representerar tre månaders mätningar.

på det försöksled där stubbarna var kvar.

På de fuktigare ytorna var de sammanlagda utsläppen av växthusgaser lägre efter stubbskörd år ett, högre år två och samma år tre, jämfört med ytan där stubbarna var kvar.

Det är en tydlig trend med minskade emissioner från år ett till år tre på de torrare ytorna, både för den stubbskördade ytan och den med stubbarna kvar, men denna tendens var inte lika entydig för de fuktigare ytorna.


ytan med stubbskörd och den utan. Det visade sig även i de signifikanta emissioner som kunde uppmätas från fuktiga eller blöta körspår i kyvettstudien.

För alla växthusgaser sammantaget fanns det för de torrare ytorna i Norunda en tydlig bild av lägre emissioner från den stubbskördade ytan än från kontrollen. Bilden var inte lika entydig för de två fuktigare ytorna, där emissionerna var lägre från den stubbskördade ytan vissa år och högre andra år.

Slutsatser

Lustgasemissionerna var genomgående låga i förhållande till koldioxidemissionerna på alla försökslokaler. Det fanns inga entydiga effekter av stubbskörd, men de relativt höga emissionerna på den torra stubbskördade ytan år två i Norunda är lite oväntade och ger anledning till fortsatta studier.

Metanflödena påverkades inte signifikant av stubbskörd eller markberedning i något av försöken, även om det fanns en tendens till lägre emissioner på den stubbskördade ytan jämfört med kontrollen i Norunda. Markfuktigheten var en viktig faktor för metanemissionerna. Dessa var betydligt högre på de fuktigare ytorna i Norunda jämfört med de torrare – det gäller både för



Skogslandskap i mellersta Finland nära Haukilahti, där en stor del av de finska stubbstudierna i det här kapitlet har gjorts.

Kvävemineralisering och kväveutlakning efter stubbskörd

Tryggve Persson (SLU, Uppsala) och Bengt A Olsson (SLU, Uppsala)

Stubbskörd ökar risken för utlakning av nitratkväve. Detta beror sannolikt på två faktorer:

1. De mikroorganismer som bryter ner stubbar och grövre rötter behöver kväve och binder in ammonium och nitrat för lång tid. Med färre stubbar finns det därför mer lättroligt kväve i marken.

2. Vid stubbskörd rörs marken om, och då kan nitratbildande mikroorganismer från större markdjup blandas in i skikt där det finns gott om ammonium som de omvandlar till nitrat.

Resultatet kan bli ökad nitratutlakning, och det har man också sett i åtminstone ett försök i södra Sverige.

Markens kväveomsättning ändras vid en slutavverkning

Vid en slutavverkning ändras markens kväveomsättning dramatiskt. Nedbrytarorganismerna (främst svampar och bakterier) bygger in kol och kväve i sina celler. Vid överskott på kväve avger dessa organismer överskottskvävet som ammonium, något som kallas för kvävemineralisering. Vid underskott på kväve tas kväve upp (kväveimmobilisering). Ibland pågår mineralisering och immobilisering av kväve samtidigt i marken, och resultatet blir då antingen nettomineralisering eller nettoimmobilisering av kväve. Ammonium kan sedan oxideras till nitrat, något som kallas för nitrifikation. Nitrifikationen sker i två steg, först till nitrit av ammoniumoxiderande bakterier och arkéer och sedan till nitrat av nitritoxiderande bakterier. För några decennier sedan trodde man att

arkéer, då kallade arkebakterier, var en slags bakteriegrupp, men modern genetisk forskning har visat att arkéerna är en helt fristående organismgrupp. Ny forskning tyder på att arkéer är minst lika viktiga som bakterier för att oxidera ammonium till nitrit. Det är det första steget i nitrifikationsprocessen som styr hastigheten. Ammonium-, nitrit- och nitratkväve kallas med ett samlingsnamn för mineralkväve. I praktiken menar man dock bara summan av ammonium- och nitratkväve när man talar om mineralkväve, eftersom nitrithalten alltid är låga i marken. Nitrifikation gynnas i regel av högt pH och god tillgång på ammonium, men vissa nitrifierare är toleranta mot lågt pH och kan bilda nitrit och nitrat t o m under pH 4.

En skillnad mot den växande skogen är att mineraliserat kväve på hygget i form av ammonium och nitrat inte längre kan tas upp av träden utan ackumuleras i marken, tas upp av hyggesvegetationen, lakas ut ur marksystemet eller avgår till atmosfären som gasformigt kväve. Men även stubbar och grovrötter kan ta upp kväve efter avverkningen.

Stubbar och döda rötter tar upp kväve

Stubbar och grovrötter består mest av kvävefattig ved. I några finska studier visade Palviainen m fl (2010) och Palviainen & Finér (2015) att stubbar och grovrötter under deras nedbrytning tar upp kväve från omgivningen, troligen därför att nedbrytarsvamparna importerar kväve från omgivande mark för att kunna bryta ned stubbarna. Bergholm m fl (2015) beräknade att kväveupptaget i stubbar och rötter var 9-10 kg per hektar och år under de fyra första åren efter en slutavverkning i södra

Sverige. Resultaten antyder alltså att så mycket som 40 kg mineralkväve per hektar kan läggas fast i stubbar och rötter under den tidiga hyggesfasen (se figur nedan). När man skördar stubbar, borde alltså mängden mineralkväve i marken öka.

Kvävemineralisering och nitrifikation i Norunda

Det finns ytterst få studier av kvävemineralisering i marken, där man jämfört markberedda och stubbskördade försöksytor. På försöksområdet Norunda i Uppland avverkades 2009 ett sex hektar stort skogsområde

med 120-årig tall- och granskog. Grenar och toppar fick ligga kvar. Området delades in i fyra försöksytor, och i maj 2010 stubbskördades två av dessa ytor, och en markberedning (högläggning) gjordes på de två andra ytorna. En kompletterande markberedning gjordes på stubbskördsytorerna för att få tillräckligt med planteringspunkter. Ett och ett halvt år senare, i november 2011, gjordes en markprovtagning. Proverna från olika markskikt sållades, och olika delprover lagrades (inkuberades) vid samma temperatur (15 °C) och markfuktighet. Nettokvävemineralisering och nettonitrifikation skattades genom att bestämma ökningen av mängden ammonium och nitrat

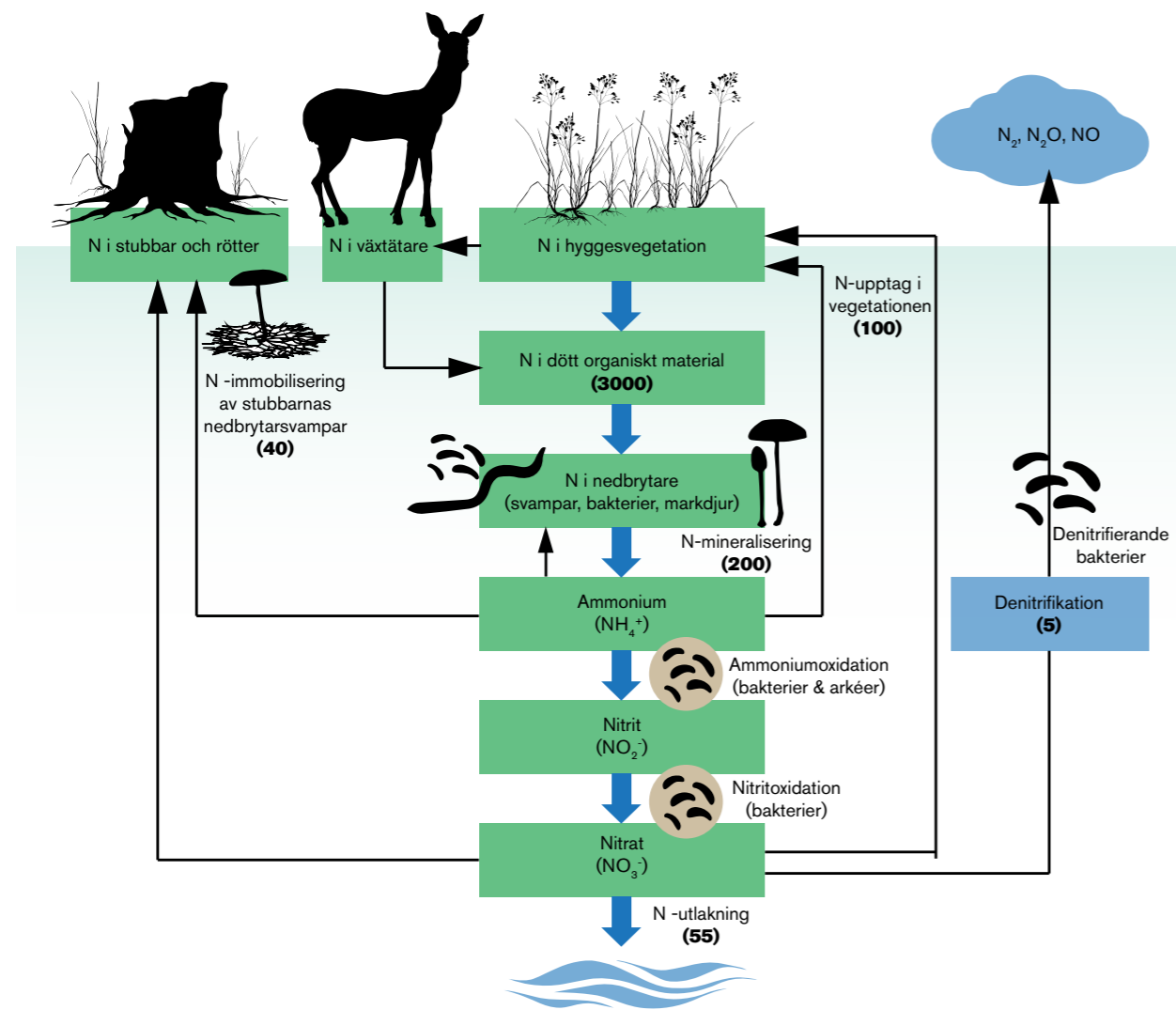
under 25 dygn.

Vid provtagningen 2011 kunde man inte se någon skillnad i mängden mineralkväve mellan de markberedda och de stubbskördade ytorna. Däremot fanns en tydlig skillnad mellan intakt och störd mark (oberoende av vad som åstadkom störningen). Den störda jorden innehöll dubbelt så mycket mineralkväve som den ostörda, 12 respektive 5,5 g per m². Huvuddelen av detta kväve bestod av ammonium, och andelen nitrat-N utgjorde bara 1 % och 4 % på de intakta och störda ytorna (se figur). Man skulle alltså kunna misstänka att markstörningen ökat kvävemineraliseringen. Så var dock inte fallet, för kvävemineraliseringsstudien på laboratoriet visade att det inte

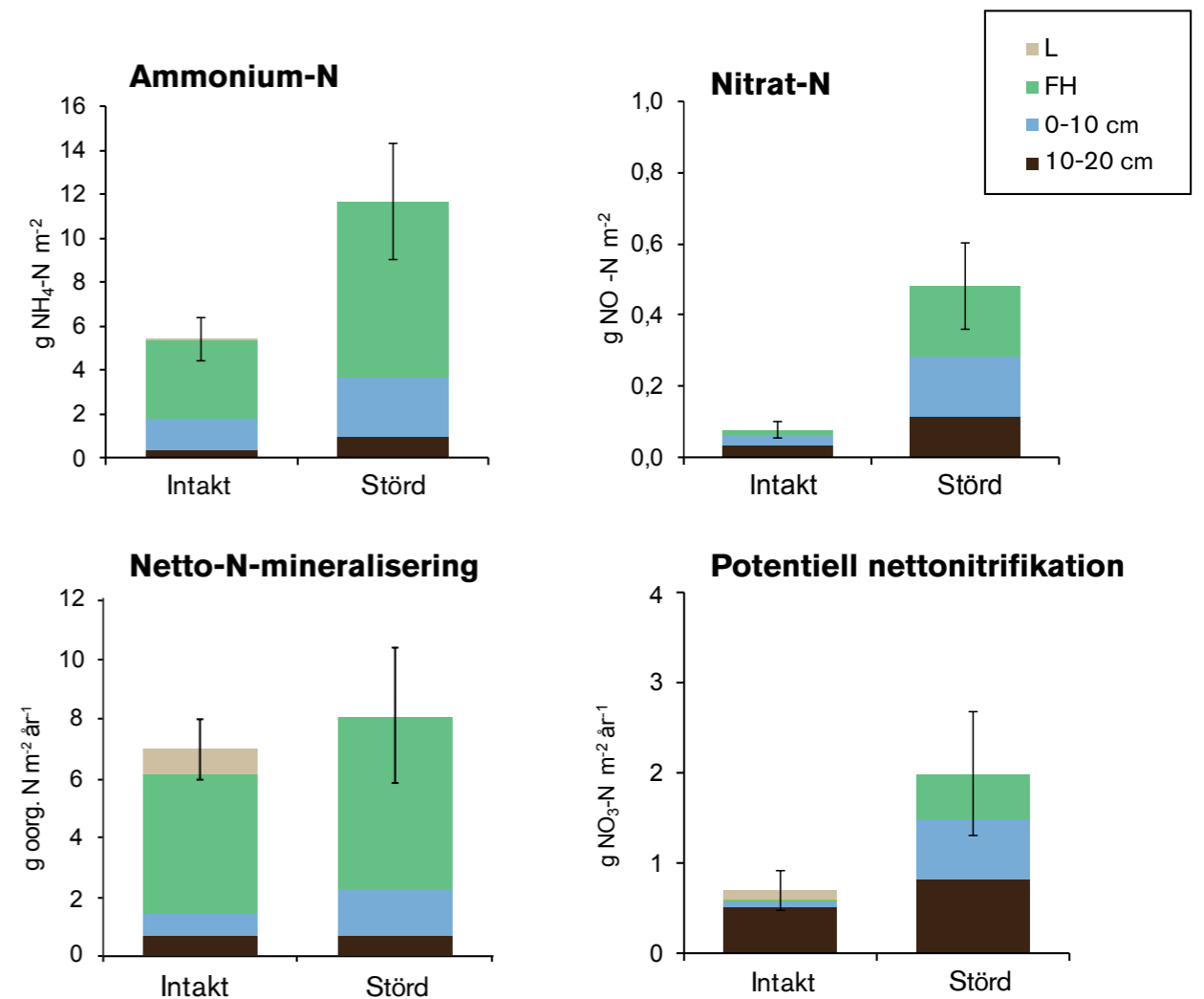
fanns någon påvisbar skillnad i nettokvävemineralisering mellan intakta och störda ytor (se figur). En förklaring till skillnaden i fält kan i stället vara att hyggesvegetationen hade tillräcklig förmåga att ta upp en del av det nybildade mineralkvävet på de intakta ytorna.

Däremot fanns en skillnad i nettonitrifikation mellan intakt och störd mark (0,7 respektive 2 g nitratkväve per m²) uträknat per år (se figur nedan). På de störda ytorna saknades förnaskiktet (L-skiktet), som vid stubbskörd och markberedning i stället inkorporerats i underliggande humus- (FH) och mineraljordsskikt.

Tidigare studier har visat att markens nitrifikationspotential är hög på 10-30 cm djup (Rudebeck &



Budget av kväveomsättningen på ett hygge i Blekinge under de första fyra åren (förenklad efter Bergholm m fl, 2015). Siffrorna anger kg N per hektar. Av de 200 kg N som mineraliserades, togs 100 kg upp av hyggesvegetationen, 40 kg immobiliserades i döda rötter och stubbar, 55 kg lakades ut (mest som nitrat) och 5 kg denitrifierades (osäkert värde). Dessutom kom 35 kg N som atmosfärsnedfall, vilket gjorde att kvävebudgeten inte var helt balanserad.



Mängd ammonium-N och nitrat-N i fält i Norunda på intakta och störda ytor hösten 2011, 2½ år efter avverkningen och 1½ år efter stubbskörd och markberedning. Dessutom visas skattad årlig nettomineralisering av kväve och nettonitrifikation på intakta och störda ytor i Norunda.



Vid stubbskörd kan större mängder av nitratkväve lakas ut. I en femårig studie i södra Sverige uppmättes ökad nitratutlakning, men fler studier skulle behövas för att kunna bedöma utlakningsrisker och hur stor mängd kväve som utlakas i olika delar av landet.

Persson, 1998; Bergholm m fl 2015). På detta djup är ofta kvävemineraliseringen låg, och tillgången på ammonium begränsar då nitratbildningen. Den påfallande större nitratbildningen i humusskiktet (FH) och 0-10 cm-skikten på de störda ytorna skulle kunna förklaras med att mineraljord från större djup med mineraljordsassocierade nitrifierare (troligen arkéer) blandats in i de skikt som bildar mycket ammonium.

Skillnaden i nitratbildning på intakta och störda ytor har relevans även för att bedöma hur stubbskörd påverkar nitratbildningen. I Norunda var andelen störd mark ungefär 40 % på höglagda och 70 % på stubbskördade ytor. Baserat på andelen intakta och störda ytor borde högläggning leda till en ungefärlig produktion av 12 kg nitratkväve per hektar och år och stubbskörd till 16 kg nitratkväve per hektar och år, d v s 33 % högre i stubbskörd- än i högläggningalternativet.

Kvävemineralisering i mellersta Finland

Studier av kvävemineralisering och potentiell nitrifikation har också gjorts i mellersta Finland av Kataja-aho m fl (2011). Där togs markprover 1-5 år efter slutavverkningen från blottlagda mineraljordsytor efter antingen stubbskörd eller högläggning. Precis som i Norunda togs markproverna till laboratoriet, där de inkuberades vid konstant temperatur (14 °C) och fuktighet. Både nettomineraliseringen av kväve och nettonitrifikationen var klart högre efter stubbskörd än efter högläggning ett år efter behandlingen, men efter två år verkade skillnaderna vara helt utsuddade för nettomineraliseringen, medan medelvärdena för nettonitrifikationen fortfarande var högre efter stubbskörd. Efter fyra och fem år fanns ingen tydlig skillnad mellan behandlingarna. Skillnaden i nitratbildning mellan högläggning och stubbskörd skulle, liksom i Norunda, kunna förklaras med att stubbskörd

ger en kraftigare omblandning av markskikt än högläggning med gynnsammare villkor för nitrifikation.

Kvävemineralisering i norra Uppland

Under perioden 1977 till 1987 skördades stubbar kommersiellt i ett ganska begränsat område i norra Uppland och Gästrikland med syftet att förse massfabriken i Mackmyra utanför Gävle med råvara. Även om många hyggen stubbskördades, fanns det också många hyggen som bara markbereddes (höglades). Åtta av dessa före detta hyggen studerades 2009 av Persson m fl (2017), d v s 20-30 år efter stubbskörden, med avseende på kväveförråd och kvävemineralisering. Närliggande bestånd med stubbskörd och högläggning betraktades som par, och totalt studerades fyra par med eller utan stubbskörd. Precis som i Norunda och i de finska försöken, togs markprover till laboratoriet för fortsatt bestämning av kvävemineralisering. Analyserna visade att markomblandningen var större i stubbskördade ytor än i höglagda ytor, men varken nettomineraliseringen av kväve eller nettonitrifikationen skilde sig åt mellan stubbskördade och inte stubbskördade ytor. I 20-30-åriga skogar är trädens kvävebehov stort, och deras rötter och mykorrhiza är effektiva konkurrenter om kvävet med markens nedbrytarorganismer. Detta kan förklara varför nitrifierarpopulationerna blir så låga att nitratbildningen blir försumbar.

Kväveutlakning efter stubbskörd

En av de få studier som gjorts på kväveutlakning efter stubbskörd gjordes på Tönnersjöheden i Halland av Staaf & Olsson (1994). Under en 5-årsperiod undersökte de markvattenkemin på 30 cm markdjup efter kalhuggning följt av olika grad av skördenivåer; (i) skörd av stamved, (ii) skörd av stammar och grot, och (iii) skörd av stammar,

grot och stubbar. Stubb- och grotskörd ökade ammoniumhalterna i markvattnet jämfört med bara grotskörd under de första två åren, men mellan år tre och fyra ökade nitralterna dramatiskt i markvattnet. Halterna i ytorna med stubb- och grotskörd låg där i genomsnitt fem gånger högre än i ytorna med bara grotskörd, vilket motsvarade ett utflöde på 50 respektive 10 kg nitrat-N per hektar under dessa två år. Skillnaden i nitratutlakning mellan stubbskördade och inte stubbskördade ytor kan inte förklaras med skillnader i markvegetation, eftersom markvegetationens täckning visade en total återhämtning från och med år tre. De troligaste förklaringarna till högre nitratutlakning efter stubbskörd är därför frånvaro av kväveimmobiliserande stubbar/rötter och kraftig markomblandning.

Slutsatser

Stubbar och grovrötter bidrar till kvävefastläggning under den tidiga hyggesfasen. Vid stubbskörd minskar denna förmåga, och större mängder av främst nitratkväve riskerar att lakas ut. Stubbkörd ger en markomblandning som kan öka nettomineraliseringen av kväve närmast efter markbehandlingen. Ännu viktigare är att nettonitrifikationen ökar åren närmast efter en markstörning, och då särskilt efter stubbskörd, som ger en effektivare omblandning av markskikten än exempelvis högläggning. Denna markomblandning tycks ge en större nitrifikationspotential. Sammanfattningsvis borde alltså stubbskörd leda till en ökad risk för nitratutlakning. Ökad nitratutlakning efter stubbskörd har också konstaterats i en femårig studie i södra Sverige, men fler studier behöver göras för att bättre kunna bedöma utlakningsrisker och kvantiteter av utlakat kväve i olika delar av landet.



Stubbskördens bidrag till kvicksilver i sjöar och vattendrag

Karin Eklöf (SLU, Uppsala), Andrea Garcia (Uppsala universitet), Stefan Bertilsson (Uppsala universitet), Pernilla Löfvenius (SLU, Umeå), Erik Björn (Umeå universitet), Ulf Skyllberg (SLU, Umeå) och Kevin Bishop (SLU, Uppsala)

Tidigare studier har visat att avverkning kan leda till ökad avrinning av kvicksilver (Hg), både totalt och biotillgängligt metyl-Hg. I en ny studie skapade stubbskörd miljöer där det bildades mycket metyl-Hg, främst i vattenfyllda körskador och håligheter efter borttagna stubbar. Trots detta ökade inte koncentrationen av metyl-Hg i avrinnande bäckvatten från detta område.

Höga kvicksilverhalter i fisk är idag ett stort problem i en stor del av den boreala regionen, däribland i Sverige. Därför är det av största vikt att förstå skogsbrukets bidrag till kvicksilverproblematiken.

Då träd avverkas stiger normalt grundvattennivån, samtidigt som snödjupet ökar vintertid och solinstrålningen ökar dagtid. Ofta leder detta till fuktiga och varma marker. Kompaktering av marken och körskador kan dessutom skapa stående vattensamlingar med begränsad syretillgång. Dessa miljöer är gynnsamma för de svavel- och järnreducerande bakterier som kan omvandla oorganiskt Hg till metyl-Hg. Denna process, som kallas metylering, gynnas också av tillskottet av organiska kolföreningar från avverkningsresterna. Förhöjda grundvattennivåer leder dessutom till ytliga flödesvägar genom de övre humusrika marklagren, och vattnet kan föra med sig organiskt material med Hg bundet till sig.

Stubbskörd skulle kunna öka avrinningen av Hg, framförallt av metyl-Hg, eftersom markstrukturen förändras. Det blir också mer körning med skogsmaskiner, vilket kan ge ytterligare kompaktering av marken och minska vattnets infiltration i marken. Sammantaget kan detta leda till fler stående vattensamlingar i körskador och håligheter efter borttagna stubbar. Det är miljöer

Bildning av metyl-Hg

Metyl-Hg bildas av t ex svavel- eller järnreducerande bakterier, som lever i miljöer med låg syretillgång. Bakteriernas aktivitet styrs av tillgång till elektronacceptorer (t ex sulfat) och elektrondonatorer (t ex organiskt material) som krävs för bakteriernas metabolism. Processen gynnas också av en hög temperatur och god tillgång till oorganiskt Hg (Hg^{2+}).

Mätningar av metyl-Hg i naturen speglar balansen mellan bildning av metyl-Hg genom metylering samt återbildning av oorganiskt Hg genom demetylering. Eftersom Hg-demetylering är både en kemisk och bakteriell process, varierar hastigheten mindre än för metylering, och mest fokus läggs därför på faktorer som påverkar metyleringen.

Kvicksilver i fisk är ett stort problem i Sverige. Studier visar att stubbskörd kan skapa miljöer där det bildas giftigt metylkvicksilver.

där mycket metyl-Hg kan bildas. Samtidigt kan ändrade flödesvägar och mer ytavrinning leda till att mer metyl-Hg når vattendragen innan det hinner återbildas till oorganiskt Hg.

Tre stora försök

För att öka kunskaperna om hur olika skogsbruksåtgärder påverkar avrinningen av kvicksilver samlade vi in markprover från tre försöksområden (ett utanför Örebro samt två i Västerbotten, Balsjö och Strömsjöleden). I varje försöksområde jämfördes ett avverkat område med ett icke avverkat referensområde. Några av de avverkade områdena markbereddes (en del i Örebro samt Balsjö) andra stubbskördades (en del i Örebro samt Strömsjöleden). Metyleringshastigheten av Hg kartlades genom att studera kvoten mellan metyl-Hg och totala halten Hg (total-Hg) i markproverna. Detta kompletterades med en genetisk analys av bakteriesamhällena i markproverna.

Hotspots med stor bildning av metyl-Hg

Mycket metyl-Hg i marken efter stubbskörd i Strömsjöleden...

I två av försöken, Örebro och Balsjö, var det ingen signifikant skillnad i metyl-Hg-koncentration i markproverna mellan de avverkade områdena och de obrukade referensområdena.

I det tredje försöket, Strömsjöleden, var det signifikant högre koncentrationer av Hg i markproverna i det avverkade och stubbskördade området jämfört med referensen. Stubbskörden orsakade tydliga markskador och här detekterades också de högsta koncentrationerna av metyl-Hg och högsta andelarna metyl-Hg av total-Hg. Dessa så kallade "metylerings-hotspots" återfanns ofta i mark under vattenfyllda hålrum efter borttagna stubbar eller i vattenfyllda körspår. Den högre andelen hotspots i det stubbskördade området i Strömsjöleden tros bero på att stubbskörden skapat miljöer med hög metyleringshastighet.

I Strömsjöleden återfanns också större bakteriell diversitet och högre andel av bakterier som är kända för att metylera kvicksilver jämfört med det icke avverkade referensområdet. Detta kan bero på att stubbskörden skapat en större variation i mikroklimat och redox-förhållanden, vilket gynnat etableringen av metylerande bakterier.

Sammantaget visar studien att stubbskörd kan skapa miljöer där metylerande bakterier kan etablera sig, vilket kan leda till stor produktion av metyl-Hg.

... men ingen ökad avrinning av metyl-Hg

I Strömsjöleden följdes vattenkemin två år före avverkningen, ett år efter avverkningen och två år efter stubbskörden. Bäckvattenprover togs två gånger per månad och



Vattenfyllda körskador och håligheter efter borttagna stubbar är gynnsamma miljöer för svavel- och järnreducerande bakterier som kan omvandla oorganiskt kvicksilver till metyl-kvicksilver.



Stubbskörd kan innebära fler stående vattensamlingar i körskador och håligheter efter borttagna stubbar. Det är miljöer där mycket metyl-Hg kan bildas.

Varifrån kommer kvicksilvret?

De ökade Hg-halterna i marken under de senaste 100 åren har sitt ursprung i atmosfäriskt nedfall från bland annat förbränning av fossila bränslen, metallutvinning och -produktion, spridning av avfall, sopförbränning och de gamla metoder för guldbrytning som fortfarande används i många delar av världen. I atmosfären kan Hg transporteras långa sträckor och i Sverige kommer ca 80 % av kvicksilvernedfallet från källor utanför landets gränser.

analyserades för bl a total-Hg, metyl-Hg och organiskt material.

Efter den inledande avverkningen, då stamveden togs ut, fördubblades metyl-Hg-koncentrationerna i avrinnande vattendrag jämfört med det från närliggande referensområde. Trots att den efterföljande stubbskörden tycks ha skapat miljöer med hög produktion av metyl-Hg, så ökade inte koncentrationen av metyl-Hg i avrinningsvattnet efter stubbskörden. Vår hypotes är att inte bara nybildning av metyl-Hg utan också flödesvägarna mellan hotspots och vattendrag avgör om stubbskörd leder till ökad avrinning av metyl-Hg eller inte. Hotspotsen i detta område förefaller vara relativt isolerade i landskapet.

Flödet mellan hotspots och vattendrag kan dessutom ha begränsats av att ingen stubbskörd eller körning gjordes i den bäcknära zonen, som var relativt sank.

Hur kan Hg-utlakningen minimeras i skogsbruket?

Baserat på kunskaper från denna och tidigare studier föreslår vi ett antal åtgärder som kan minska risken för utlakning av Hg och metyl-Hg efter stubbskörd:

1. Skörda inte stubbar i direkt kontakt till ytvatten, i våta områden eller i starkt lutande terräng. Undvik också stubbskörd i områden med finkornig mark, eftersom det lätt blir markskador där.
2. Begränsa snabba flödesvägar som kan transportera metyl-Hg från den brukade marken ut till vattendrag. Kör inte i den bäcknära zonen och undvik körskador i närheten av vattendragen.
3. Kör inte i skogen när marken är mycket blöt, speciellt inte när det är varmt, eftersom det lätt uppstår körskador och mycket metyl-Hg kan bildas.
4. Vid planering av avverkning och stubbskörd: utgå från lokal topografi, markens fuktighet och bärighet för att avgöra hur breda buffertzoner som krävs.

Rotröta orsakas av skadesvampen rotticka (den vita svampen på bilden), som kan orsaka stora ekonomiska förluster. Om stubbar skördas minskar infektionen i nästa skogsgeneration, men om skadebekämpningen ska vara fullt effektiv krävs att flertalet rötskadade stubbar tas ut.

Effekter på föryngring, träd tillväxt och markvegetation

Gustaf Egnell (SLU, Umeå)

Stubbskörd har sannolikt ingen större effekt på skogsproduktionen i nästa generation. Det visar en sammanställning av de långtidsförsök som finns i Sverige och Finland. Teoretiskt borde stubbskörd kunna ge lite mindre snytbaggeskador och lite mindre rotröta i den nya skogen, men frågan är om det har någon praktisk betydelse. Vid stubbskörd störs marken, vilket gynnar naturlig föryngring av tall och björk. Detta kan vara en pluspost, framför allt i glesa planteringar.

Vid skörd av grenar och toppar (grot) ökar biomassauttaget måttligt jämfört med att enbart skörda stamveden, men uttaget av växtnäring ökar avsevärt, speciellt i granskog. Fältförsök har visat att detta kan påverka skogsproduktionen negativt, även om resultaten inte är entydiga.

Skogsbränslepotentialen i stubbar vid föryngringsavverkning är ungefär lika stor som den för grot samtidigt som näringsinnehållet i stubbar är betydligt lägre än i grot. Det finns därför anledning att anta att den direkta effekten på skogsproduktionen är lägre vid stubbskörd än vid grotskörd. Stubbskörd skulle dock kunna påverka såväl plantetablering som tillväxt på andra sätt, bland annat har följande faktorer diskuterats:

- Mindre snytbaggeskador på plantor
- Mindre rotröta i nästa skogsgeneration
- Mindre konkurrensen från annan vegetation
- Ökat utbud av växtnäring
- Högre plantöverlevnad
- Mer naturlig föryngring

Snytbaggeskador

Doften från färsk stubbar på ett hygge lockar snytbaggar som näringsgnager på planterade plantor för att sedan

lägga ägg i rötternas bark eller i marken intill rötterna. Efter ett antal år kläcks nya snytbaggar och det blir då en andra våg av näringsgnag på plantorna. I en ny studie minskade snytbaggeskadorna om stubbarna direkt samlades ihop i stora högar vid avlägg, medan effekten var begränsad då skördade stubbar lämnades i små högar på hygget.

Flera studier har visat att andelen blottlagd mineraljord blir högre efter stubbskörd, vilket också skulle kunna minska skadorna något då snytbaggen skyr öppna områden. Teoretiskt borde också den andra vågen av skador kunna minska om stubbar skördas, eftersom mängden yngelsubstrat minskar. Detta har emellertid ännu inte visats i studier. Då snytbaggar är goda flygare krävs det förmodligen att stubbar skördas på en större andel av föryngringsavverkningarna i ett landskap för att plantskadorna ska minska. Effekten blir därför svår att påvisa i småskaliga experiment.

Rotröta

Rotröta orsakas främst av rottickan, som är en av de största skadegörarna i skogen och orsakar stora förluster för skogsbruket. Rotrötan sprids via trädets rötter till kringstående träd, men infekterar också färsk stubbar som kan föra rötan vidare till nästa skogsgeneration. Forskning visar att infektionsgraden i nästa skogsgeneration minskar då stubbar skördas. För att vara effektivt krävs det dock att en stor andel av de rötskadade stubbarna tas ut. Vid praktisk stubbskörd lämnas ofta en del av dessa.

Konkurrens från annan vegetation

Ett av skälen till att markbereda hyggen är att begränsa den konkurrens skogsplantor utsätts för från annan hyggesvegetation. Vid stubbskörd störs marken på ett sätt som kan liknas vid markberedning. Flera studier visar att andelen blottad mineraljord efter stubbskörd kan bli lika stor som efter en konventionell mekanisk markberedning

eller större. Det var också erfarenheten från de 14 försök med stubbskörd som anlades med finansiering från Energimyndighetens Bränsleprogram 2012-2015.

Den ökade markstörning och minskade konkurrens från annan vegetation som stubbskörden orsakar skulle kunna leda till långsiktiga effekter på fält- och botten-skiktets sammansättning. En studie av Rudolphi & Strengbom (2016) kunde dock inte visa på några signifikanta långtidseffekter av stubbskörd på markvegetationen. I elva bestånd som stubbskördats perioden 1977-1989 inventerades markvegetationen sommaren 2013. Vid en jämförelse med lika många bestånd som avverkats med konventionella metoder såg man efter 24-36 år inga effekter av stubbskörd på antal kärlväxter och mossor, inte heller på diversitet eller artsammansättning.

Näringstillgänglighet

En rådande uppfattning har varit att den markomrörning som stubbskörd och markberedning medför leder till snabbare nedbrytning av organiskt material och därmed frigörelse av växtnäring. Detta skulle kunna gynna trädplantornas etablering och tillväxt. Indirekta bevis för att så är fallet har också påvisats genom att högre kvävehalter och lägre kol/kväve-kvoter i marken har registrerats efter

stubbskörd. Direkta mätningar av koldioxidavgången ovan mark (ett mått på kolomsättningen) indikerar dock att nedbrytningen är oförändrad eller till och med kan minska efter såväl stubbskörd som markberedning i jämförelse med ett omarkberett hygge med stubbarna kvar. Detta talar för att den ökade kvävehalt som påvisats efter stubbskörd snarare är kopplad till den minskade vegetationskonkurrensen.

Plantöverlevnad

Överlevnad och tillväxt för planterade plantor kan påverkas av förändringar i mikroklimatet och av konkurrens från naturligt förnygrade plantor. En finsk studie indikerade att överlevnaden var högre då tall- och granplantor planterades efter stubb- och grotskörd i jämförelse med enbart grotskördade kontrolltytor som inte markbereddes. I svenska fältförsök är skillnaderna i överlevnad små och normalt inte statistiskt skilda, även om en något högre överlevnad statistiskt säkerställdes i ett försök på en svag mark planterad med tall. Denna bild bekräftas i en surveystudie från Finland där plantöverlevnaden på 37 stubbskördade hyggen inte skilde sig från den på 10 ej stubbskördade och markberedda hyggen.



Doften från färsk stubb på ett hygge lockar snytbagg till hygget. De näringsgnager på trädplantorna och lägger sina ägg i gropar i marken intill de avverkade trädens rötter, där nästa generation av snytbagg utvecklas. Det går att i någon mån minska snytbaggeskadorna om stubbarna samlas ihop i stora högar vid avlägg före plantering.

Naturlig förnygring

Stubbskörd förefaller vara positivt för etablering av naturligt förnygrade pionjärträslag som tall och björk, medan antalet naturligt förnygrade granar påverkas negativt. Pionjärträslagen gynnas antagligen av den ökade markstörningen, vilket skapar bra grönings- och etableringsförhållanden. En förklaring till det minskande antalet naturligt förnygrade granar kan vara att dessa etablerats redan i det gamla beståndet, s k beståndsfornygring, och att de dödats i samband med eller strax efter avverkningen.

Sammantaget är slutsatsen att stamantalet efter stubbskörd ökar något, vilket har potential att öka skogsproduktionen. Men då ökningen i stamantal främst består av tall och björk styrs skogsproduktionen av hur skogsägaren väljer att hantera dessa vid framtida röjningar och gallringar.

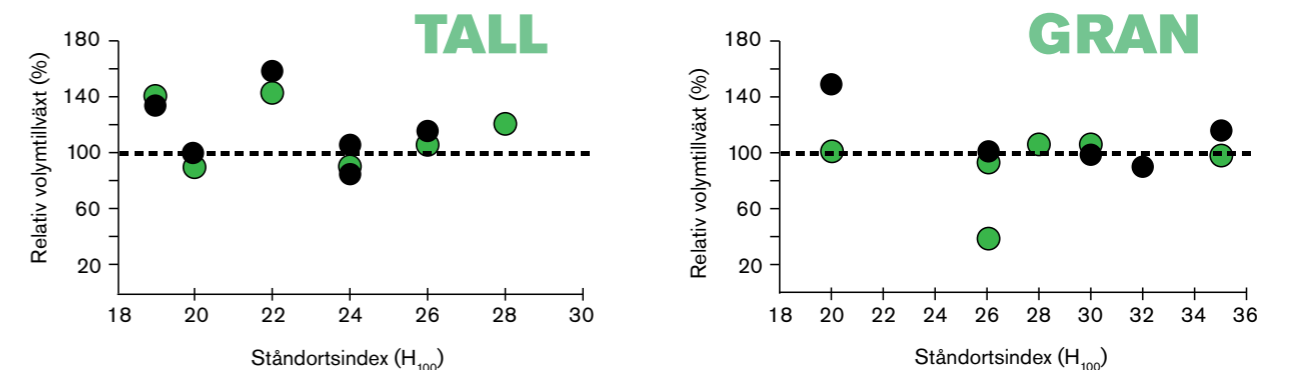
Effekter på skogsproduktionen

Det finns få långsiktiga fältförsök som kan belysa effekten av stubbskörd på skogsproduktionen. I Fig 1 jämförs skogsproduktionen efter 24 till 36 år i tall- och granplanteringar uppkomna efter stubbskörd. Den generella

bilden baserad på dessa försök är att skogsproduktionen inte påverkas negativt av stubbskörd och inte heller av stubbskörd i kombination med grotskörd. Snarare verkar det finnas en positiv effekt på skogsproduktionen – åtminstone i tallplanteringar. Det finns också en trend som pekar mot att svagare marker (lågt ståndortsindex) påverkas i mer positiv riktning.

Slutsats

Enbart sett till effekter på skogsproduktion leder dessa resultat till slutsatsen att stubbar är att föredra framför grot som biobränsle. Men stubbskörd kombineras gärna med grotskörd, då kvarlämnad grot utgör ett fysiskt hinder för en effektiv stubbskörd. Med dagens teknik är det dessutom billigare att skörda grot än stubbar.



Figur 1. Relativ volymtillväxt efter 24 till 36 år i gran- och tallplanteringar planterade efter stubbskörd (svarta cirklar) eller efter både stubb- och grotskörd (gröna cirklar). Tillväxten på kontrolltytor där enbart stamveden skördades och där plantorna planterats efter markberedning, har satts till 100 % (den streckade linjen). Resultat från fältförsök i Sverige och Finland.

Försöken är inte fullt ut jämförbara då försöksdesignen och skötseln skiljer sig något: I den ingående finska studien (Ståndortsindex, SI, 28), som omfattande både tall- och granplantering, skördades grot även på kontrolltytor, som inte heller markbereddes.

I en av de svenska försöksserierna markbereddes samtliga ytor (harv) och även den naturliga förnygringen mättes in. Den höga produktionen för tall på SI 22 kommer från denna serie. I en annan svensk serie (SI 26) markbereddes inte kontrolltytor och uppslag av naturlig förnygring röjdes bort och räknades inte in i produktionen. Den låga produktionen på en av de stubb- och grotskördade granytor kommer från denna serie. Försökslokalen var fuktig och stubbskörd i kombination med grotskörd resulterade i mycket naturlig förnygring som ej togs tillvara och som konkurrerade med de planterade plantorna. Detta ledde till avgångar och en långsammare start för de planterade granarna.

Hög artmångfald i granstubbar

Tryggve Persson (SLU, Uppsala), Anders Dahlberg (SLU, Uppsala), Joakim Hjältén (SLU, Umeå), Mats Jonsell (SLU, Uppsala), Lisette Lenoir (Brunnvalla, Tärnsjö f.d. SLU, Uppsala), Anna Malmström (Föreningen Skogen, Stockholm), Jörgen Rudolphi (SLU, Umeå), Måns Svensson (SLU, Uppsala) och Astrid Taylor (SLU, Uppsala)

Granstubbar är mycket artrika. I studierna av artmångfald inom temaprogrammet hittades 1 355 svamparter, 491 skalbaggsarter, 237 arter av övriga smådjur, 93 lavarter och 35 mossarter i och på granstubbar. Totalt blir detta drygt 2 200 arter. Ingen av studierna är dock heltäckande med avseende på trädslag, stubbålder och region, så det finns sammanlagt betydligt fler arter än så i avverkningsstubbar. Av de funna 2 200 arterna fanns 22 skalbaggsarter och 4 svamparter på rödlistan, och av dessa klassades fyra skalbaggsarter som "sårbara". Flest arter tycks finnas i 10–20-åriga stubbar med måttlig grad av nedbrytning.

Stubbar som resurs

En färsk stubbe på ett hygge innehåller mycket näring och energi. När stammen kapas finns inte längre något aktivt försvar mot angripare. Den som är först på plats kan ge sin avkomma en fin start i livet. Dessa, de första kolonisatorerna, lägger beslag på den lättast tillgängliga näringen och drar sedan snabbt vidare mot nya färska vedbitar. Men stubben finns kvar, och där finns resurser att leva på under flera decennier. Olika arter kommer att avlösa varandra i en succession, där de samspelar med varandra på alla möjliga sätt. I inledningsfasen är det många individer av ganska få arter. Artantalet ökar sedan och når sin kulmen efter 10–20 år. Svamparna står för huvuddelen av nedbrytningen, men de får hjälp av insekter som sprider svampsporer, perforerar veden och tuggar sönder den. Ganska snart har det bildats en hel näringsväv i stubben; svampar som bryter ned ved, insekter och andra ryggradslösa djur som äter svamp och rovlevande djur som i

sin tur äter dessa. På stubbens yta växer lavar, mossor och med tiden också bärris.

En uppgift i temaprogrammet var att ta reda på vilka arter som utnyttjar stubbarna. Förkunskapsläget varierade starkt. För vissa arter fanns omfattande fakta om biologi och utbredning. För andra, t.ex. hoppstjärtar och kvalster, saknades t.o.m. information om de förekom i stubbar. Det här kapitlet sammanfattar de undersökningar som gjorts inom temaprogrammet om (1) vilka arter som finns i och på stubbar, (2) när under stubbarnas nedbrytning som olika arter uppträder och (3) hur viktiga stubbar är för de olika arterna i förhållande till andra substrat, t.ex. mark eller andra typer av död ved.

Svampar

Svampar i ved studerades tidigare främst genom att inventera fruktkroppar. En begränsning med detta är att



De svamparter som hade mest mycel inne i veden var storsvampar som tickor, skivlingar och skinn. På bilden syns en fruktkropp av klibbticka.

De första djur som kommer till en färsk stubbe är insekter som specialiserat sig på att utnyttja nydöd ved. I första hand är det skalbaggar, som bronspraktbaggar på bilden.

fruktkropparna ofta är synliga bara vid vissa tider på året och att många svampar inte producerar några fruktkroppar alls. För att få en mer fullständig bild av vilka svampar som finns i ved har vi inom temaprogrammet använt en metod som kallas för DNA-barcoding, där en arts DNA jämförs med ett "bibliotek" av identifierade arter (Kubart m fl 2016). I vårt fall gjorde vi borrhål i stubbar, lågor och andra typer av ved och tog hem det urborrade vedspånet för DNA-analys.

Ca 500 granstubbar undersöktes på yngre (3-10 år) och äldre (11-20 år) hyggen i sju områden från Småland till Norrbotten. Artrikedomen av svampar var hög. I de 3-åriga stubbarna fanns många arter som är kända som pionjärarter. Artrikedomen blev större med ökande stubbålder. Sammanlagt fann vi 1 355 olika "operational taxonomic units", OTU (motsvarar ungefär arter). Av dessa kunde 19 % bestämmas ned till släktes- eller artnivå med hjälp av referens-DNA. Ett 100-tal var tickor och andra svamparter, d v s storsvampar, som bildar synliga fruktkroppar, men merparten var svampar som lever inne

i veden utan att visa sig, bl a olika mögelsvampar. De arter som dominerade som mycel i veden var dock främst arter med fruktkroppar. De vanligaste storsvamparna var tvåfärgsticka, klibbticka, grynljesskinn, glitterskinn, källarsvamp, finfjällig honungsskivling och narrskinn. Rötsvampar som rotticka och honungsskivling fanns främst i södra Sverige. Fyra av de påträffade vedsvamparna är rödlistade.

För vart och ett av försöken tog vi också vedprover från lågor (liggande grov död ved) i ett närliggande naturreservat och en nyckelbiotop. Sammanlagt identifierades närmare 1 500 olika OTUs (arter) i fler än en stubbe eller låga. Artrikedomen var ungefär lika hög i stubbar som i lågor. Drygt 1 000 arter påträffades både i stubbarna och lågorna, drygt 200 bara i lågorna och drygt 200 bara i stubbarna. Med all säkerhet förekommer betydligt fler arter i både lågor och stubbar, men eftersom observationerna baseras på få och små vedprover går det bara för de mest frekventa arterna att avgöra vilken betydelse stubbar har i förhållande till andra vedtyper. Ingen

svampart har haft en evolutionär utveckling baserad på färsk stubbved, men däremot finns arter som dragit fördel av sådana substrat, såsom rotticka. En samlad analys visade att svampsamhällena hos lågor och stubbar var tydligt skilda åt, de vanligaste arterna var gemensamma men förekom i olika frekvens. Detta mönster höll i sig från södra till norra Sverige. Av alla fynd av rödlistade svampar gjordes 97 % i lågor. En balanserad jämförelse visade också att de mest frekventa rödlistade svamparterna, gränsticka och lappticka, påträffades i 140 respektive 40 lågor men inte i någon av de 3-20 år gamla stubbarna.

Skalbaggar

De första djur som kommer till den färska stubben är insekter som specialiserat sig på att utnyttja nydöd ved. I första hand är det skalbaggar, och av dessa är det främst barkborrar och långhorningar som livnär sig på den mest näringsrika delen av stubben, kambiet. Skalbaggar för med sig olika svampar, och i många fall hjälper svampen skalbaggs-larverna att tillgodogöra sig näringen i veden. De kambieätande arterna äts i sin tur av rovlevande insekter, och i och med att mängden svamparter blir allt fler under stubbens nedbrytning, kan också fler svampätande skalbaggar etablera sig.

Många vedlevande skalbaggar har specifika krav på vilken ved de kan utnyttja och de kan känna doften av lämplig ved på långt håll. Det finns därför stora skillnader i skalbaggar-artsammansättning mellan olika trädslag (Jonsell & Hansson 2011). Detta undersöktes genom att både sälla bark och att kläcka fram skalbaggar från stubbvedsprover (Fig. 1). Efter sällningen drevs skalbaggar ut ur sällmaterialet i Tullgrentrattar. Asp, björk, gran och tall hade ungefär lika höga artantal, mellan 49 och 65 vedlevande arter. Totalt hittades 125 arter, men bara 15 var gemensamma för alla trädslagen. Artuppsättningen

Tabell 1. Sammanställning av de skalbaggsarter som observerats på och i granstubbar i de redovisade studierna. Tabellen visar också i vad mån de är vedlevande och hur arterna är klassificerade enligt den svenska rödlistan för 2015.

	Vedlevande arter	Övriga arter	Totalt
Livskraftig (LC)	256	213	469
Nära hotad (NT)	17	1	18
Sårbar (VU)	3	1	4
Totalt	276	215	491

hos gran och tall var sinsemellan mer lika än den hos asp och björk.

Granstubbar har hittills varit det mest intressanta trädslaget att bryta, och därför har flest studier fokuserat på just detta trädslag. Det totala antalet vedlevande arter som har hittats i granstubbar, 276 stycken (Tabell 1), är betydligt högre än siffrorna från trädslagsjämförelsen. Den högre siffran beror på att betydligt fler prover räknats in, och med fler prover ökar antalet skalbaggar som artbestäms. Totalt hittades 52 200 skalbaggar i de 2 041 vedprover som undersöktes (Tabell 2, sid. 64). Flera olika metoder har också använts; sällning, kläckning på laboratoriet och kläckning i fält, och med olika metoder får man fram lite olika arter. Räknar man dessutom in arter som inte är beroende av ved blir siffran strax under 500 (Tabell 1 och 2). Till de senare hör mindre specialiserade svampkonsumenter, många rovskalbaggar och arter som bara är på tillfälligt besök i stubben. Om huvuddelen av de 275 vedlevande skalbaggar verkligen lever på gran, innebär det att ca hälften av alla vedlevande arter som anses kunna leva i granved i Sverige (ca 450 stycken) har hittats på avverkningsstubbar. Det är mer än vi hade tänkt oss från början av våra projekt, men ändå kanske inte så märkligt. Gran är ett artrikt trädslag för vedskalbaggar, och avverkningsstubbar kan hysa en stor andel av de arter som påträffas i lågor och högstubbar.

Bland de arter som hittats fanns 20 rödlistade arter som lever på ved, och ytterligare två som klassats som icke vedberoende (Tabell 1). En bra fråga är om en art som kan hittas i avverkningsstubbar verkligen kan vara rödlistad. Är den utbredd över en stor del av landets hyggen så har rödlistningen troligtvis blivit fel på grund av bristande kunskap om vilka insekter som finns i stubbar. Det finns dock förmodligen arter som bara finns på vissa hyggen, beroende på grannskapets skogshistoria eller på att landskapet runt omkring är speciellt. De bör fortfarande vara aktuella för rödlistning, men för att säkert avgränsa vilka arter som tillhör denna kategori skulle vi behöva veta mer om var de finns och vad de har för krav.

Något som man tidigare bortsett från är att en stor del av stubbveden faktiskt finns under mark. Denna ved har tidigare aldrig undersökts vad gäller mångfald utan i stort sett bara betraktats som intressant som snytbagesubstrat. En viktig orsak kan vara att det är mycket arbetsamt att gräva fram denna ved. Vid en jämförelse av den ovan- och underjordiska delen av stubbarna hittades 50 skalbaggsarter ovan jord mot 27 arter i grovrötterna (under jord) (Victorsson & Jonsell 2016). Tio av de totalt 60 arterna hittades bara i rötterna. Veden under jord var visserligen betydligt artfattigare än ovan jord, men där finns en del arter som helst lever i ved under marken, t ex vissa vivlar och barkborrar och som därmed sannolikt missas vid provtagning ovan jord.

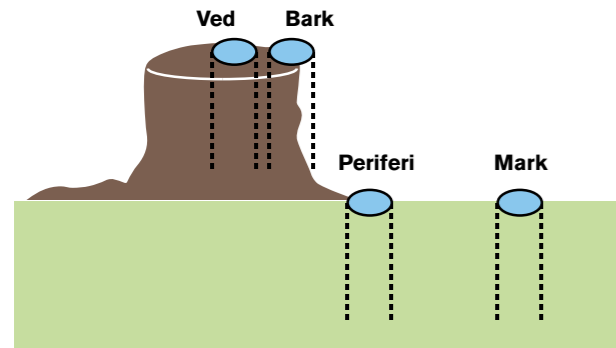


Figur 1. För att undersöka skalbaggsfaunan har vi samlat in vedprover från stubbar och kläckt fram dem i trälådor, där nykläckta insekter kan fångas genom att de dras mot ljuset i instuckna glasrör.

Av de 52 200 skalbaggar som hittades var den överlägset vanligaste skalbaggen *Crypturgus pusillus* (vanlig dvärgborre), som utgjorde 41 % av alla funna individer, följt av *Dryocoetes autographus* (hårig barkborre) (12 %). Dessa arter föredrar unga stubbar, och deras höga antal beror på att de har förmåga att utnyttja trädet medan den mesta näringen fortfarande finns kvar. Arter som kommer senare i successionen uppnår aldrig sådana tätheter.

Smådjur

I en stor studie i södra och mellersta Sverige undersöktes praktiskt taget alla grupper av smådjur (Persson m fl 2011, 2013). Till smådjuren räknades i detta fall djur som är mindre än dagmaskar, d v s främst småringmaskar, hoppstjärter, kvalster, insekter, spindlar och mångfotingar.



Figur 2. Illustration av hur proverna togs vid varje enskild gran- och tallstubbe. Jämförelsen av antalet smådjur per ytenhet baseras på de provtagningsytor man ser uppifrån, 16 cm².

Nematoder och landsnäckor ingick inte i studien. Det övergripande målet var att identifiera arter och grupper som har så stark preferens för stubbar jämfört med omgivande mark att de kan vara känsliga för stubbskörd.

För att ta reda på detta tog vi cylinderborrprover i stubbarnas ved, bark, periferi (närområdet runt stubbarna) och omgivande mark (Fig. 2).

Stubbarna var även av olika ålder (5-, 10- och 20-åriga) och trädslag (gran och tall), men här redovisas bara resultaten för granstubbar. Djuren drevs ut ur sina prover med hjälp av Tullgrentrattar (för luftlevande djur) och Baermanntrattar (för vattenlevande djur). Antalet smådjur anges fortsättningsvis som individer per m², där borrens yta (16 cm²) ligger till grund för skattningen. För vissa djurgrupper, t ex hoppstjärter och kvalster, räknades inte djuren i stubbperiferin.

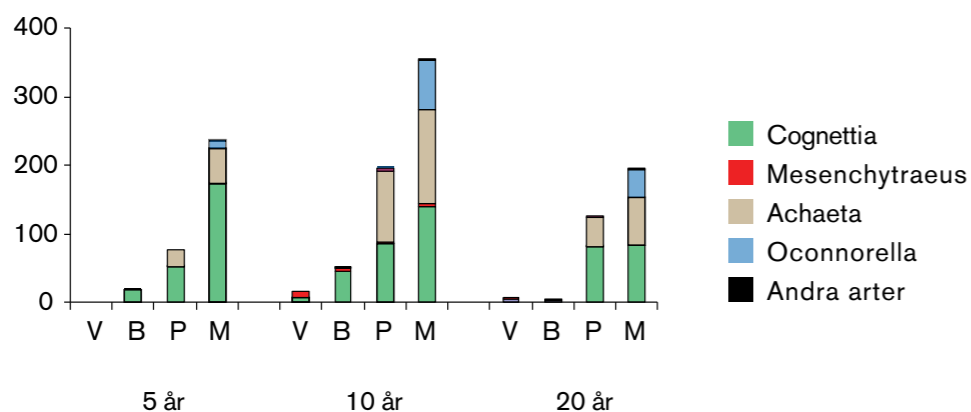
Småringmaskar

Småringmaskar (enchytraeider) är släkt med dagmaskarna och är vanliga i skogsmark, där de (nästan alltid) har högre biomassa än alla andra djurgrupper tillsammans. De är också vanliga i barken hos 5-10-åriga stubbar, där t ex *Cognettia sphagnetorum* var en av de talrikaste djurarterna (Fig. 3). Totalt hittades elva småringmaskarter, varav nio i stubbar. Som artgrupp var de ändå betydligt vanligare i mark än i stubbar, och ingen av arterna verkade vara beroende av stubbar.

Hoppstjärter

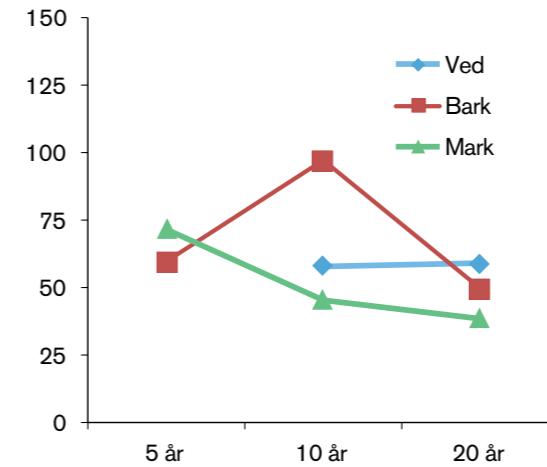
Hoppstjärterna hade sina högsta tätheter i barken på de 10-åriga stubbarna (Fig. 4). Inga vedprover togs när stubbarna var 5 år, men i den 10- och 20-åriga veden

Tusental småringmaskar per m² på Tönnersjöheden

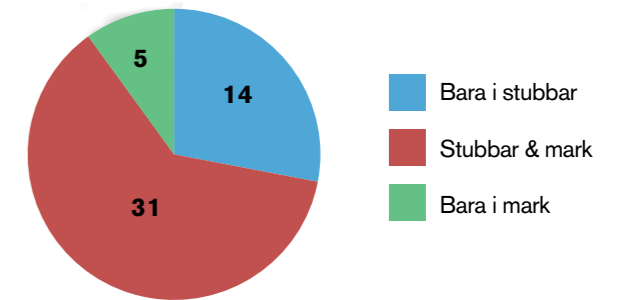


Figur 3. Antal småringmaskar (i tusental) i och omkring granstubbar på 5-, 10- och 20-åriga hyggen på Tönnersjöheden (Halland). Olika färger visar bidraget från olika arter. V=ved, B=bark, P=periferi och M=mark.

Tusental hoppstjärter per m²



Hoppstjärter (artantal)



Figur 4. Tusental hoppstjärter per m² i ved och bark (=stubbe) och omgivande mark 5, 10 och 20 år efter avverkningen samt var de funna arterna hittats sett över alla åldrar. Resultaten bygger på medelvärden för granstubbar från Tönnersjöheden, Asa och Jädraås.

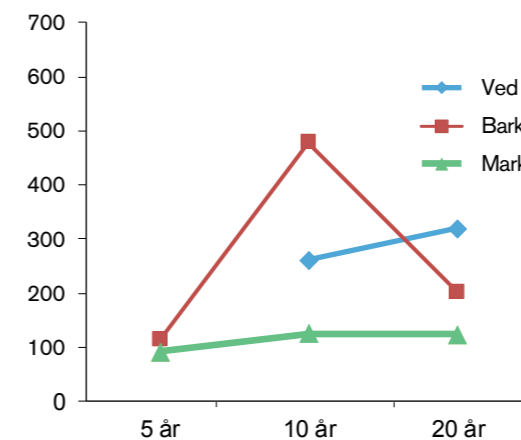
fanns fler hoppstjärter än i marken. Totalt hittades 50 hoppstjärterarter, av vilka 45 någon gång fanns i stubbar. Fjorton arter hittades bara i stubbar, men om man räknar bort enstaka fynd, som kan bero på tillfälligheter, verkade åtta arter vara stubbgynnade (mer än 50 gånger högre täthet per m² i stubbar än i mark).

Pansarkvalster

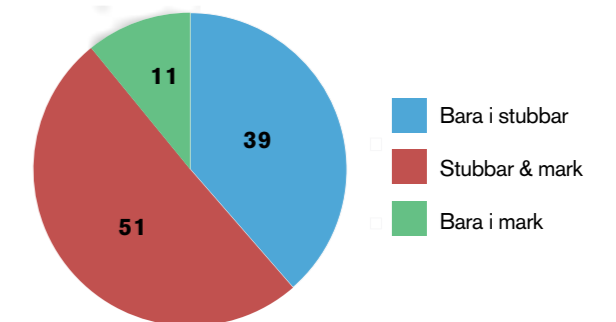
Pansarkvalster anses vara typiska markdjur. Det var

därför oväntat att äldre stubbar hade fler pansarkvalster per m² än mark (Fig. 5). De flesta fanns i 10-årig bark. När stubbarna blivit 20 år fanns flest djur i veden. Totalt hittades minst 101 arter (vissa djur bestämdes bara till familj). Av dessa hittades totalt 90 arter i stubbar av vilka 39 bara fanns i stubbar. När enstaka fynd räknades bort, bedömdes minst 27 arter vara stubbgynnade (mer än 50 gånger högre täthet per m² i stubbar än i mark). Speciellt gynnade av stubbarna var vissa svamp- och lavätare.

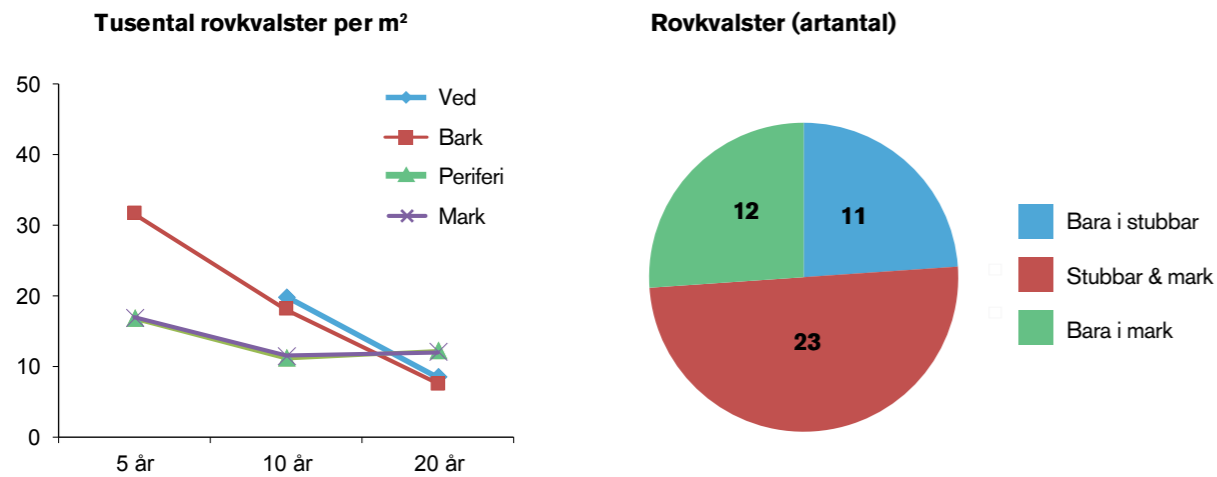
Tusental pansarkvalster per m²



Pansarkvalster (artantal)



Figur 5. Totalantal pansarkvalster per m² i ved och bark (=stubbe) och omgivande mark 5, 10 och 20 år efter avverkningen samt var de funna arterna hittats sett över alla stubbåldrar. Medelvärden från bara två försökslokaler, Tönnersjöheden och Jädraås.



Figur 6. Totalantal rovkvalster per m² i ved och bark (=stubbe), periferi och omgivande mark 5, 10 och 20 år efter avverkningen. Medelvärden för granstubbar i Tönnersjöheden, Asa och Jädraås. Fördelningen av arter har bara gjorts för 5- och 10-åriga stubbar i Jädraås, där periferin räknades som en del av marken.

Som kuriosa kan nämnas att den rödfläckiga bägarlaven *Cladonia norvegica* bara får sina arttypiska röda fläckar om den får bitmärken av det stubbgynnade pansarkvalstret *Carabodes marginatus* och andra *Carabodes*-arter.

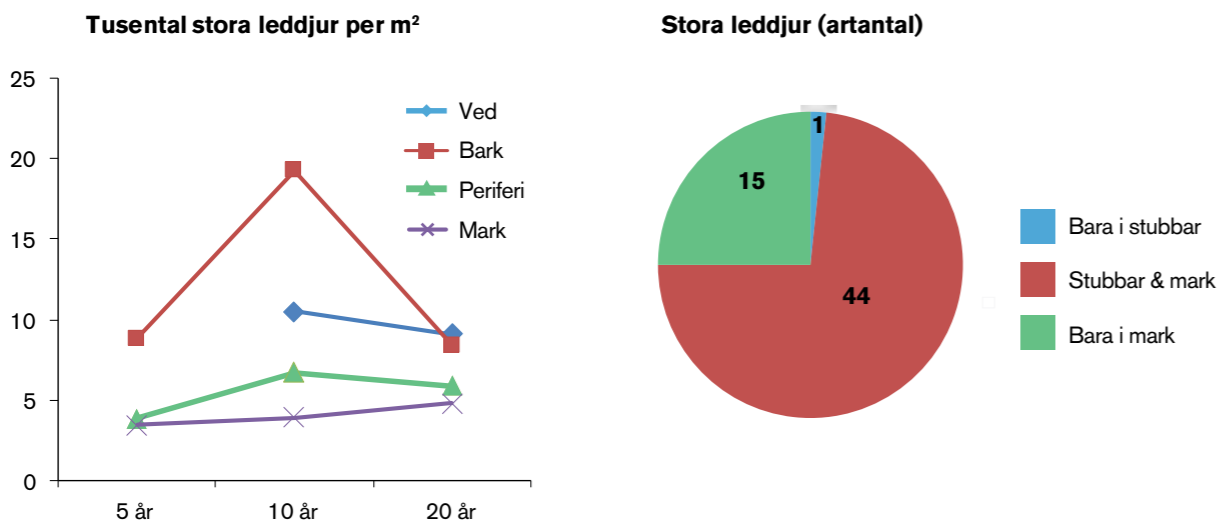
Rovkvalster

Gamasid-, uropodid- och sejidkvalster tillhör gruppen Mesostigmata, en grupp som främst är rovkvalster. Flest rovkvalster per m² fanns under barken på 5-åriga stubbar, men många också i bark och ved på 10-åriga stubbar (Fig. 6). Totalt artbestämdes 46 arter, av vilka 34 fanns i

stubbar, 11 enbart i stubbar och 12 i mark och periferi. De arter som mest bidrog till de höga individtalen i stubbarna var olika arter av nematodätare.

Stora leddjur (makroarthropoder)

De stora leddjur som studerades var, med undantag för skalbaggar (se ovan), gråsuggor, mångfotingar, insekter, spindlar, lockespindlar och klokrypore. Totalt kunde 60 arter och andra grupper urskiljas, varav 45 arter/grupper



Figur 7. Totalantal stora leddjur (förutom skalbaggar) per m² i ved och bark (=stubbe), periferi och omgivande mark 5, 10 och 20 år efter avverkningen samt var de funna arterna hittats sett över alla stubbåldrar. Medelvärden från Tönnersjöheden, Asa och Jädraås, där periferin räknades som en del av marken.

hittades i stubbar (Fig. 7). Artantalet var säkert betydligt högre, men bestämningen av mygg- och fluglarver kunde bara göras till familjenivån. Talrikast var dubbelfotingarna (29 % av totalantalet). Den i särklass vanligaste arten i stubbar var barkpärlfotingen (*Proteroiulus fuscus*). Denna enda art bidrog till 38, 37 och 22 % av antalet av alla stora leddjur i 5-, 10- och 20-årig bark. En annan vanlig art var skogsjordmyran *Lasius platythorax*, som hade kolonier i 30, 75 och 27 % av de undersökta 5-, 10- och 20-åriga granstubbarna (Fig. 8).

Lavar

En ganska stor mängd lavar växer på stubbarnas snitt- och barkytor (Fig. 9). Många av dessa kan emellertid även växa på andra typer av substrat, t ex grenar och bark på levande träd, eller på stenar, och för sådana generalister har stubbarna förmodligen liten betydelse. I en studie av två skogslandskap i mellersta Sverige (Östergötland och Dalarna) inventerades olika typer av död ved, inklusive stubbar, på förekomsten av lavar (Svensson, 2013; Svensson m fl 2013, 2016). Stubbar och lågor (liggande grov död ved) verkade vara likvärda substrat för vedlevande lavar. De vedberoende lavarna var vanligare i brukade skogar som var yngre än 60 år än i äldre skogar. Detta

beror sannolikt på att yngre skogar innehåller mer grov död ved än äldre, främst gallringsrester och gallringsstubbar. Inventeringen omfattade totalt 576 granstubbar i ungskog och på dessa hittades 77 lavararter. Av dessa fanns betydligt fler arter på 16-19 år gamla stubbar än på sådana som var 4-7 år gamla. Fjorton arter var mer eller mindre specialiserade på vedytor i solöppna lägen. Vedberoende lavar var relativt ovanliga på stubbar, dels för att de lätt konkurreras ut av mer snabbväxande lavar, dels för att de blir övervuxna av mossor. I en studie av lavar på 450 granstubbar i Uppland fann Caruso m fl (2008) 52 lavararter. Flest arter fanns på 12-13-åriga stubbar, och 16 av arterna var nya i förhållande till studien av Svensson m fl (2013).

Mossor

Ett stort antal mossarter kan hittas på stubbar. Till skillnad från lavarna växer de flesta mossarterna helst i något mer skuggiga lägen. I en studie i Uppland av 449 granstubbar i en åldersserie omfattande 4-5, 8-9, 12-13 och 16-18 år fann Caruso & Rudolphi (2009) att artrikedomen ökade med ökande stubbålder, ökande nedbrytningsgrad och ökande beskuggning. Totalt hittades 35 mossarter. En jämförelse med lavar visade att lavarna hade snabbare ko-



Figur 8. Björnripen 10-årig stubbe i Finland, där skogsjordmyran *Lasius platythorax* haft en koloni.

lonisation av stubbytorna än mossorna, men att mossorna ökade i frekvens ju längre tiden gick. Precis som med lavarna var endast ett fåtal arter sällsynta, och de flesta arter som växer på avverkningsstubbar kan också växa på stenar och på marken kring stubbarna. På stubbar som står i anslutning till nyckelbiotoper eller andra artrika skogar kan man dock hitta en del lite mer skyddsvärda arter som egentligen hör till den slutna skogen (Caruso m fl 2011).

Hur många arter finns i granstubbar?

I de ovan redovisade studierna fanns över 1 355 arter svampar (varav 260 kunde identifieras och namnges), 491 arter av skalbaggar (253 enbart i den studie som gjordes av Work m fl i Nordmaling), 237 arter övriga smådjur, 93 arter lavar och 35 arter mossor (Tabell 2). Totalt ger detta drygt 2 200 arter. Men till detta kan läggas ett stort antal nematodarter, kvalster t ex inom den artrika gruppen

Tabell 2. Antal arter (släkten, familjer) som hittats i eller på granstubbar i de redovisade studierna.

	Antal landskap	Antal be- stånd	Stubbålder (år)	Antal stubbar	Antal arter	Referens
Svampar	7 (Sm-Nb)	40	3-10, 11-20	485	1355	Kubart m fl (2016)
Skalbaggar	1 (Ån)	20	2-3½	1049	253	Work m fl (2016)
"	1 (Ån-Vb)	10	5-7	30	68	Hjältén m fl (2010)
"	1 (Hs)	10	3-7, 8-14	79	74	Jonsell & Schröder (2014)
"	1 (Up)	7	1, 4-5	28	70	Jonsell & Hansson (2011)
"	1 (Up)	4	5-7	50	25	Ols m fl (2013)
"	1 (Up)	14	1-5	112	70	Jonsell (opubl)
"	3 (Hs, Vg, Ög)	16	2	160	46	Victorsson & Jonsell (2013a, b)
"	3 (Up, Vs, Sm)	12	1-2½	96	60*	Victorsson & Jonsell (2016)
"	3 (Vs, Nä, Ög)		1-3½	392	235	Victorsson (2016)
"	3 (Ha, Sm, Gä)	9	5, 10, 20	45	29	Persson m fl (opubl)
Skalbaggar totalt			1-20	2041	491	
Småringmaskar	3 (Ha, Sm, Gä)	9	5, 10, 20	90	9	Persson m fl (2011)
Hoppstjärter	3 (Ha, Sm, Gä)	9	5, 10, 20	90	45	"
Pansarkvalster	2 (Ha, Gä)	6	5, 10, 20	60	90	"
Rovkvalster	3 (Ha, Sm, Gä)	9	5, 10, 20	90	34	"
Stora leddjur	3 (Ha, Sm, Gä)	9	5, 10, 20	90	59	Persson m fl (2013)
Lavar	2 (Dr, Ös)	48	4-7, 16-19	576	77	Svensson m fl (2013)
"	1 (Up)	30	4, 8, 12, 16	450	52 (16**)	Caruso m fl (2008)
Mossor	1 (Up)	30	4, 8, 12, 16	450	35	Caruso & Rudolphi (2009)
Totalt					2211	

* Inklusive stubb- och rotprover. Stubbar ovan mark hade i denna studie 50 arter.

** Lavararter utöver de 77 i studien av Svensson m fl (2013)



Figur 9. Tioårig granstubbe med påväxt av lavar på både ved- och barkytor. Från sidorna börjar mossor växa in, och de kommer så småningom att växa över lavarna.

Prostigmata, steklar, myggor, flugor och arter inom förbisedda djurgrupper såsom plattmaskar och björndjur (*Tardigrada*). Tillsammans borde dessa tillägg på kanske 300 arter resultera i minst 2 500 arter. Denna siffra kan säkert också öka om man utvidgar antalet trädslag, regioner, mängd stubbar och stubbåldrar. Frågan om hur många arter som finns i och på avverkningsstubbar kan för närvarande därför bara besvaras med att det åtminstone finns 2 500 arter, säkert många fler om man fortsätter att leta.

Frågan om hur gamla stubbarna skall vara för att

inhålla flest arter och individer beror på vilka organismer man ser på. För svampar visade det sig vara 11-20 år, d v s innan de blivit alltför nedbrutna (Kubart m fl, 2016), för de flesta smådjur 10 år (Persson m fl, 2011, 2013), för lavar 12-13 år (enligt Caruso & Rudolphi, 2009) eller 16-19 år (enligt Svensson 2013) och för mossor 16-18 år. Skalbaggarna har i de flesta fall undersökts i unga stubbar (1-7 år), men stubbåldersstudien i södra och mellersta Sverige visade att flest skalbaggsarter fanns i 10-åriga stubbar.



Lavar växer på stubbarnas yta och inventeras förhållandevis enkelt genom att ytan spanas av med handlupp med stark förstoring, gärna i fuktigt väder, då bålarna är väl utvecklade.

Stubbskörd och biologisk mångfald

Mats Jonsell (SLU, Uppsala), Anders Dahlberg (SLU, Uppsala), Victor Johansson (SLU, Uppsala), Joakim Hjältén (SLU, Umeå) och Jonas Victorsson (SLU, Uppsala)

Stubbskörd påverkar den biologiska mångfalden. På ett stubbskördat hygge med 25 % av stubbarna kvar kan man räkna med att ca 25 % av de vedberoende arterna kommer att saknas. Vid större uttag ökar antalet arter som försvinner dramatiskt.

Det är dock vad som görs över hela skogslandskapet som har störst betydelse. Modellstudier tyder på att risken för artutdöende är liten om stubbskörden begränsas till 10 % av hyggesarealen i landskapet. När uttagsnivån ökar, är det främst "sällsynta specialister på solbelyst ved" som påverkas negativt.

Den extra markstörning man får efter stubbskörd verkar leda till förvånansvärt små effekter på den ytlevande markfaunan.

Stubbvältor riskerar att fungera som en fälla för insekter som anlockas till högen. Effekten är dock inte så stark, bara ett fåtal arter var vanligare i stubbhögar än i de kvarvarande stubbarna på hygget. Om man begränsar antalet hyggen som stubbskördas enligt ovan finns inte heller någon risk för dessa arter.

Inverkan på biologisk mångfald

Stubbrytning kan påverka biologisk mångfald på åtminstone fyra olika sätt:

- Organismer som är beroende av död ved får mindre livsutrymme.
- Marklevande arter kan påverkas av markstörningen.
- Utan stubbar försvinner en ytstruktur som kan ge skydd och skugga, något som vissa organismer har nytta av.
- Stubbvältor kan locka till sig äggläggande insekter, vars avkomma riskerar att dö när stubbarna tas till värmeverken.

Artrik ved

Inom temaprogrammet har främst dödvedlevande organismer studerats. Stubbar är mycket artrika, och man har uppskattat att det finns kanske 2 500 arter i granstubbar (se föregående kapitel). Granstubbar tycks hysa ungefär lika många arter som granlågor. De svampar, lavar och mossor som lever på stubbarna är med få undantag vanliga arter (Kubart m fl 2016; Svensson m fl 2013; Caruso & Rudolphi 2009), medan man bland vedlevande skalbaggar kan hitta en del rödlistade arter, speciellt i stubbar av lövträd.

Ett viktigt faktum för de vedlevande arterna är att ingen är helt specialiserad på slutavverkningsstubbar. Hur mycket stubbskörd påverkar dem beror därför till stor del på vilken annan typ av ved de förekommer i och hur vanlig den veden är. Eftersom död ved alltid har varit en resurs som uppstått och försvunnit, är de arter som vill utnyttja den tvingade att förflytta sig. Spridningen sker på större avstånd än över ett vanligt skogsbestånd, särskilt för arter som lever på solexponerad ved, som i obrukad skog främst bör ha bildats efter katastrofer i naturen, t ex bränder eller stormar (Fig. 1). Detta gör att graden av påverkan som en skogsbruksåtgärd har på en art måste studeras på landskapsnivå, eftersom död ved finns i alla typer av skogsbestånd, även om mängden och kvaliteten varierar mellan olika åldrar och skötselriktningar. De flesta vedinsekter och många svampar har ganska strikta krav på ved vad gäller trädslag, solexponering, diameter och typ av röta. Mängden lämplig ved i olika typer av skogsbestånd varierar kraftigt men är avgörande för hur stor andel av en population som påverkas.

Under temaprogrammets andra del var målet med studierna av biologisk mångfald att undersöka betydelsen av stubbskörd för populationernas överlevnad. Därför gjordes flera landskapsstudier, men det gjordes också ett antal jämförelser mellan stubbskördade och icke stubbskördade hyggen för att studera effekten på lokal nivå.

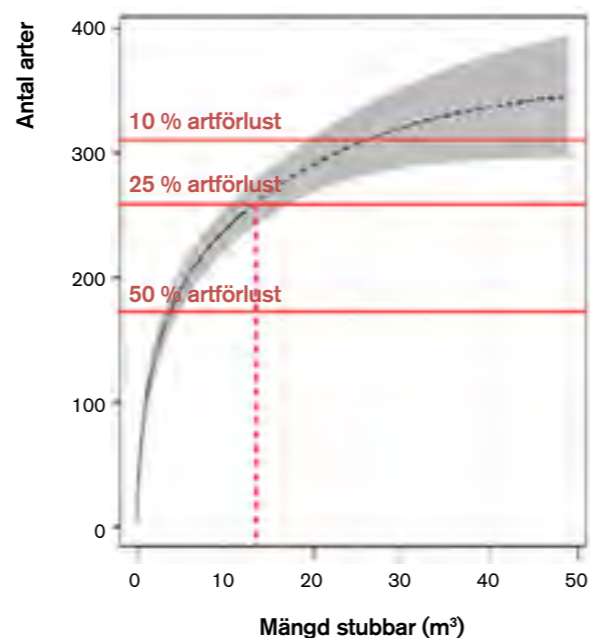


Figur 1. De arter som föredrar ved på hyggen är förmodligen sådana som anpassat sig till att utnyttja skogen efter stora katastrofer. Hyggerna erbjuder mer solexponerad död ved än någon annan miljö i den brukade skogen, dock långt under de nivåer som t ex en stormfällning kan orsaka. Bild efter stormen Ivar i Västernorrland, som fällde nästan all skog i kanten på ett reservat som bildade gräns mot ett ganska nytt hygge.

Hyggesperspektivet

Stubbskörd innebär vanligtvis att ungefär 75 % av stubbveden tas bort från hygget. Antalet individer av stubblevande arter antas minska i proportion till uttaget, medan själva artantalet minskar alltmer ju fler stubbar som tas bort (se artackumuleringskurvan i Fig. 2). Eftersom det finns många individer av samma art, kommer de första stubbarna som tas bort att inte betyda lika stor minskning i artantal som om man tar bort de allra sista stubbarna. Beräkningar från hyggen i Ångermanland och Västerbotten visade att med 25 % kvarlämnade stubbar minskade antalet vedskalbaggsarter i stubbarna med 24 % (Fig. 2) (Work m fl 2016). Eftersom artackumuleringskurvan sluttar brantare vid större uttag av stubbar kommer en minskning till 15 % kvarlämnade stubbar att minska artantalet med hela 38 %. Om man däremot lämnar kvar 50 % av stubbarna kommer bara 10 % av arterna att försvinna.

Förutom att den rena effekten av att mindre mängd livsmiljö (=stubbar) ger utrymme för färre arter per hygge, finns också några studier som visat att det blir färre arter per stubbe i de kvarstående stubbarna. För vedlevande skalbaggar på hyggen, sjönk antalet från 18 till 15 arter räknat på 10 granstubbar (Victorsson & Jonsell 2013a). För två arter av vedassocierade dubbelfotingar sjönk antalet individer till ungefär hälften per stubbe på stubbskördade hyggen (Taylor & Victorsson 2016). I den



Figur 2. Artackumuleringskurva som beräknar hur antalet arter som förekommer på ett normalstort (6 ha) hygge förändras vid olika nivåer på stubbrytning. Den markerade nivån på ca 25 % artförlust är ungefär vad man kan räkna med när 75 % av stubbarna skördas. Kurvan viker kraftigt nedåt när mängden stubbar minskar vilket medför att antalet arter kommer att minska dramatiskt vid högre uttag av stubbar. Den grå zonen visar osäkerheten (95 % konfidensintervall) i beräkningen.

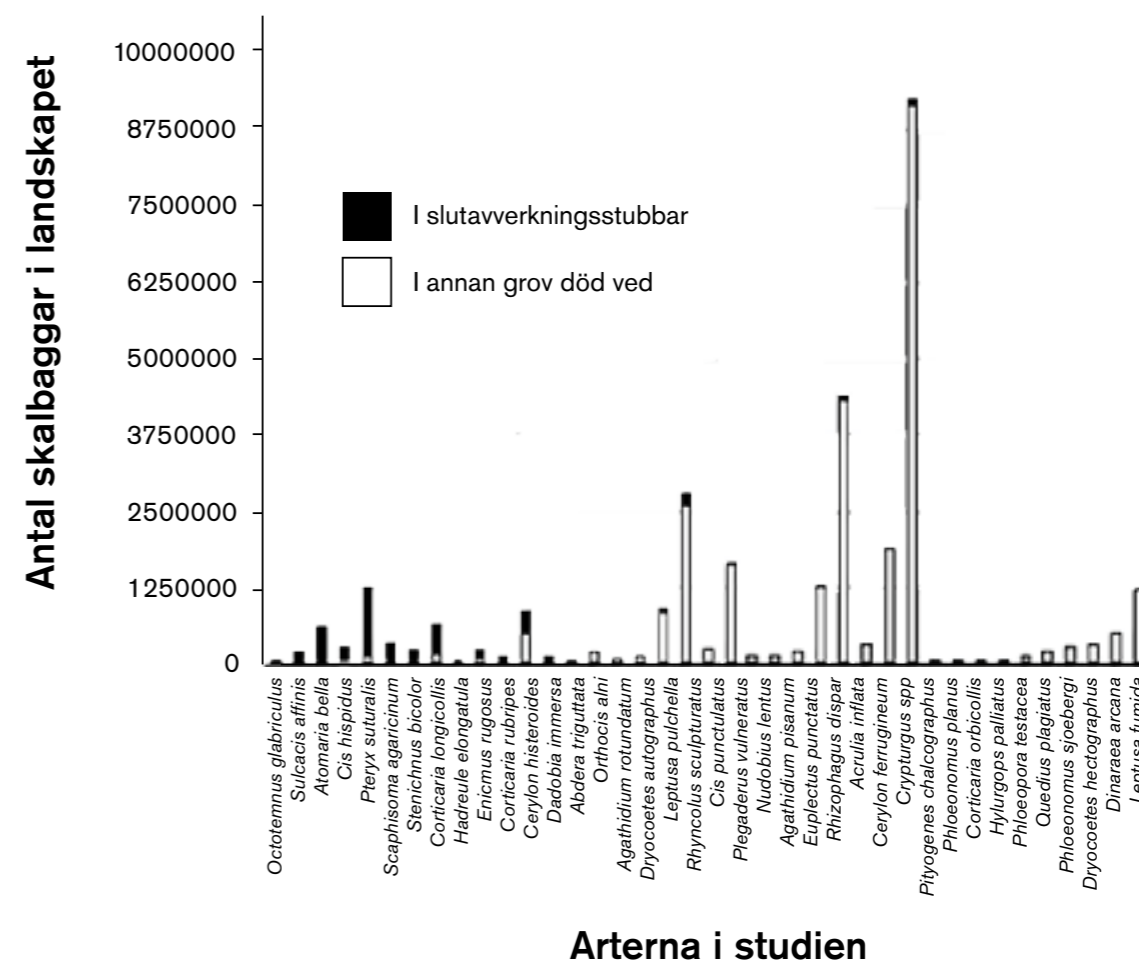
tidigare nämnda studien i Ångermanland och Västerbotten fanns ingen sådan effekt (Work m fl 2016). Varför studierna ger olika resultat vet vi inte, och det finns flera möjliga förklaringar. En är att många marklevande skalbaggar (som inte är beroende av veden) inkluderades i den nordliga studien. En annan är att stubbarna hade olika ålder då proverna togs. En tredje är att de entreprenörer som skördade stubbar kan ha lämnat olika sorters stubbar. Till exempel lämnas ofta stubbar främst i blöta lägen på hygget. Detta är positivt för att hindra näringsläckage och erosion, men blött stående stubbar är sämre för vedlevande skalbaggar. Flera arter föredrar torrt stående stubbar, och när samtidigt ingen enda art tycks föredra stubbar på våt mark blir diversiteten i blöta lägen lägre (Ols m fl 2013).

Artackumuleringskurvan (Fig. 2) kan användas som ett argument för att man inte bör ta bort fler än 50 % av stubbarna på varje hygge, om man drar gränsen för en acceptabel artförlust vid 10 %. Varje ytterligare borttagen

stubbe leder till ökande förlust (kurvan lutar allt brantare). Alternativt skulle kurvan också kunna användas som argument för att man bör ta så många stubbar som möjligt på de hyggen man skördar stubbar på för att minska andelen stubbskördade hyggen i landskapet. Det är med andra ord omöjligt att ge rekommendationer om hur stubbskörd ska bedrivas baserat bara på hur arterna reagerar på hyggesnivå, eftersom statusen på det kringliggande landskapet har stor betydelse.

Stubbskörd och markdjur

Hur marklevande insekter påverkas av stubbrytning har studerats i jämförelser av stubbskördade och icke stubbskördade hyggen och uppvuxen skog. Artsammansättningen påverkades i liten utsträckning av stubbskörd, även om öppenmarksarter och generalister gynnades i någon utsträckning (Kataja-aho m fl 2016). Själva avverkningen innebar däremot en stor störning med stark påverkan på artsammansättningen, så den ytterligare störning man får av stubbskörd är i sammanhanget liten.



Figur 3. Antal skalbaggar i avverkningsstubbar och annan död ved i ett landskap i norra Hälsingland. Arterna har ordnats efter hur stor andel av populationen som fanns i slutavverkningsstubbar. De vanligaste arterna hade oftast ganska liten andel av sina populationer i stubbarna.

Landskapsperspektivet

Lavar

Vedlevande lavar har studerats i två landskap med lång historia av skogsbruk, ett i Östergötland och ett i södra Dalarna (Fig. 3, Svensson m fl 2016). Av de 20 studerade arterna hade 11 mer än hälften av sina populationer på stubbar, fyra enbart på stubbar. Resultaten tyder på att avverkningsstubbar hyser en stor del av populationerna. Stubbar hade betydligt större betydelse än det andra stora bioenergisortimentet, grot och klen ved, som bara utnyttjades av fem arter. För alla fem visade det sig dessutom att annan typ av ved var viktigare än den klena veden.

Preliminära resultat från en landskapsstudie i Hälsingland visade en delvis annan bild (M Hiron m fl, opubl.). Där hade avverkningsstubbar inte någon större betydelse för någon art, medan grot hade stor betydelse för två av 15 arter. Detta landskap skiljer sig från de två andra genom en betydligt kortare historia av skogsbruk.

Svampar

I landskapsstudien i Hälsingland analyserades också vedlevande svampar, och även bland dessa hade preliminärt ca 15 % av arterna hälften eller mer av sina populationer i bioenergived. Grot och stubbar hade ungefär samma betydelse för vedsvamparna (Hiron m fl, opubl.).

Skalbaggar

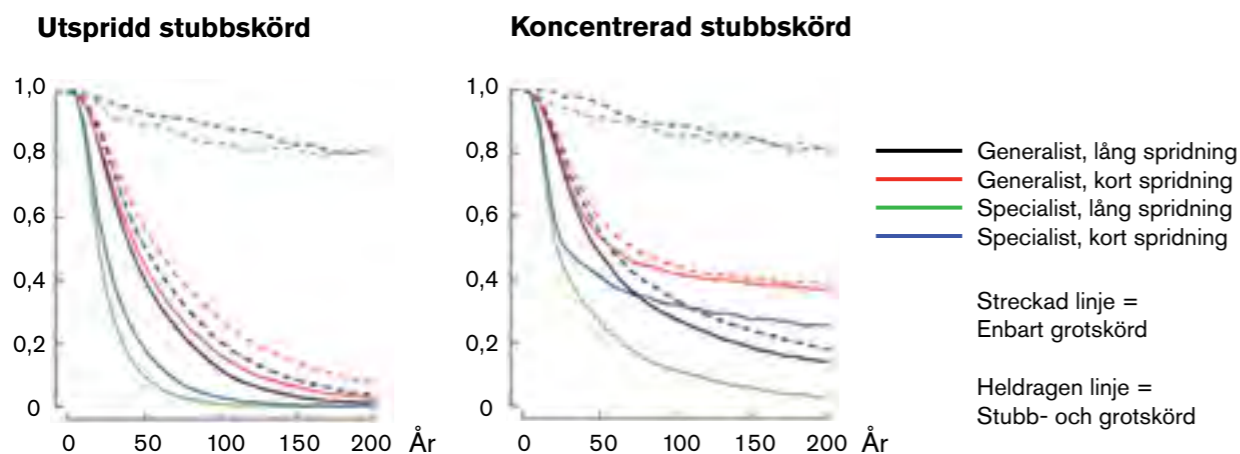
Bland 39 arter skalbaggar i samma skogslandskap i Hälsingland uppskattades att 26 % hade mer än hälften av sina populationer i slutavverkningsstubbar (Jonsell & Schroeder, 2014). Två av arterna uppskattades ha hela sin population på dessa stubbar. Det är rimligtvis en över-

skattning, eftersom ingen art än så länge kan ha specialiserat sig på denna typ av ved, men det visar på stubbarnas betydelse för dessa arter. I denna studie saknades tyvärr mätningar på klen ved.

I den ovan nämnda studien av Hiron m fl (opubl.) visade resultaten att de flesta skalbaggar som i 39-artersstudien hade hög andel av populationerna i avverkningsstubbar också hade en ganska stor andel av sina populationer i grotved. Läger man samman populationsandelen i avverkningsstubbar och grotved hade nio av dessa arter mellan 46 och 95 % av populationerna i bioenergived. Ett undantag är trädsvampborraren *Hadreule elongatula*, som hade huvuddelen av sina populationer i högstubbar på hyggen. De arter som i stor utsträckning utnyttjar bioenergived har anpassat sig till att använda solexponerad ved som uppstått efter katastrofer i skogslandskapet, t ex storm och brand. I dagens skogslandskap är hyggena den främsta leverantören av denna livsmiljö, och därmed har den ved som skördas som bioenergi stor betydelse för dessa arter.

Modellstudie

I en teoretisk studie lät man åtta ”påhittade” arter kolonisera och dö ut från död ved under 200 simulerade år med varierande intensitet av stubb- och grotskörd (Johansson m fl 2016). Arterna tilldelades olika egenskaper vad gäller spridningsförmåga, miljöspecialisering och hur vanlig arten var. Utdöenderisken för en art varierade med dessa egenskaper. De ovanliga arterna minskade relativt sett mer än vanligare, speciellt de som dessutom hade dålig spridningsförmåga och speciella krav på substrat, t ex solbelyst död ved. Den mest känsliga kombinationen var ”sällsynta specialister på solexponerad ved” och dessa



Figur 4. Ett exempel på populationsförändringar över tiden för fyra ”påhittade”, sällsynta arter som normalt bara finns på 20 % av hyggena. Stubbskörd sker på upp till hälften av hyggena i det teoretiska skogslandskapet. För specialister på grov och solexponerad ved gick det fortare än för andra arter att påverkas. Populationerna sjönk mindre om bioenergiuttaget koncentrerades till en viss del av landskapet (jfr de två figurerna).



Figur 5. Stubbvältor kan vara ekologiska fällor för vedlevande insekter, eftersom högarna innehåller en stor mängd doftande ved som kan locka till sig stora mängder insekter som vill föröka sig i veden. De är dock bara ett fåtal arter som lockas av vältorna – de flesta arter är betydligt ovanligare där än i de kvarstående stubbarna.

hade en viss utdöenderisk redan vid 10 % stubbskörd. Man kunde minska de negativa effekterna genom att koncentrera uttagen av bioenergi till en del av landskapet (Fig. 4). Det dröjde i många fall mer än 100 år innan modellen ställde in sig på en ny jämvikt, d v s innan arternas populationsnivå sjunkit färdigt efter att stubbrytningen introducerats. Vi kan alltså förvänta oss att det tar lång tid innan effekter på mångfalden syns om man påbörjar stubbskörd, även om det sker i stor skala.

Stubbvältor som ekologiska fällor

När bioenergived skördas på hyggen läggs veden i vältor intill hygget en längre tid (Fig. 5). Dessa vältor riskerar att bli ”ekologiska fällor” för vedlevande insekter, eftersom honor luras att föröka sig i veden. De lägger äggen där, eftersom veden har de rätta egenskaperna för förökningen, men all avkomma dödas då veden flisas. Anlockningen till vältorna riskerar att vara hög, eftersom vedinsekterna orienterar sig med hjälp av dofter, och vältornas stubbar har potential att sända ut de rätta kemiska signalerna.

För att ta reda på fällefektens storlek jämförde vi på 16 olika hyggen i landet hur många skalbaggar som fanns i de stubbar som stod kvar på hygget jämfört med stubbar som låg i stubbvältorna. Vi fann att 66 % av den lämpliga miljön, d v s barkyta på stubbar, fanns i vältorna och 34 % på kvarvarande stubbar på hygget. Ändå beräknades bara 14 % av de vedlevande skalbaggar finnas i vältornas stubbar vid tidpunkten för flisning (Victorsson & Jonsell 2013b). Av totalt 15 arter fanns 11 i betydligt glesare populationer i stubbarna på upplaget än i stubbarna på hygget, och för dessa arter var fällefekten sålunda inte så stark. För de fyra arter som var vanligare i stubbvältorna var fällefekten starkare. Tre arter var ca sju

gångr vanligare i stubbvältorna, vilket gör fällefekten betydligt högre för dessa.

Sett till alla vedskalbaggar är med andra ord inte fällefekten i vältorna så stor, beroende på att de lagrade stubbar är ett ganska dåligt habitat för de flesta insekter som lever under bark. De arter som lever på granved hör dessutom inte till de stora förlorarna bland skalbaggar, eftersom mängden gran ökar i landet. Vid ett måttligt utnyttjande av stubbrytning av gran bör därför riskerna att arter dör ut lokalt på grund av fällefekten vara liten. För andra typer av bioenergived, där den lagrade veden inte försämras lika mycket, eller där vedtypen inte ökat på samma sätt på senare årtionden, kan fällefekten vara betydligt större.

Slutsatser

Det finns en hel del vedlevande arter i skogslandskapet som har en stor andel (mer än 50 %) av sina populationer i avverkningsstubbar. Hur stort uttag av stubbar de skulle tåla utan att dö ut är svårt att förutsäga. Det är främst ”sällsynta specialister på solbelyst ved” som påverkas negativt.

Modellstudier tyder på att risken för artutdöende ökar redan då 30 % av hyggesarealen i landskapet stubbskördas.

Den extra markstörning man får efter stubbskörd verkar leda till förvånansvärt små effekter på den ylevande markfaunan.

Stubbvältor och grovrötter drar till sig vissa skalbaggsarter, men bara få arter tycks föredra stubbhögar framför de kvarvarande stubbarna på hygget.



Hur påverkas naturhänsynen av grot- och stubbskörd?

Jörgen Rudolphi (SLU, Umeå) och Lena Gustafsson (SLU, Uppsala)

En inventering av av träd och andra objekt som lämnats av naturvårdsskäl på 122 hyggen visade inte på några stora skillnader mellan stubbskördade, grotskördade och konventionellt avvertrade objekt. På de stubbskördade hyggena hade dock den liggande döda veden lite mer markkontakt och där fanns också något färre stående döda träd.

Tillsammans med formellt skyddade områden, som nationalparker och naturreservat, utgör generell naturhänsyn och frivilliga avsättningar hörnstenar i naturvården i skogen, såväl nationellt som internationellt.

En stor mängd studier har utförts om naturhänsynens effekter på den biologiska mångfalden. Kunskapssynteser har gjorts över levande träd kvarlämnade vid avverkning i Europa och Nordamerika och över levande och döda träd i norra Europa. Dessa pekar på tydligt positiva effekter jämfört med kalavverkning, särskilt för ektomykorrhizasvampar, epifytiska lavar och störningsgynnade insekter. Studier över andra processer, som kväveretention, trädförnygring och skadedjursangrepp, är färre. Studier över estetiska aspekter finns men är också relativt fåtaliga. Inga studier finns vetenskapligt publicerade om naturhänsyn, kulturmiljövärd eller rekreationsaspekter.

Studier över naturhänsyn kopplade till biobränsleskörd är mycket fåtaliga. En av de få vetenskapligt publicerade studierna är gjord i Sverige och visar på ganska stora förluster av grövre död ved utanför grothögar – det är substrat som troligen lämnats som hänsyn men som ändå tagits ut vid skotningen.

Signifikant lägre volymer av bl a högstubbar och lågor (liggande död ved) fanns på grotskördade hyggen jämfört med konventionella enligt en fältstudie i östra Mellan-

sverige. En analys av Polytaxdata utförd i mitten av 2000-talet visade på signifikant lägre betyg för faktorn ”skador på mark och vatten” på grotskördade hyggen.



Det finns få studier över hur naturhänsyn är kopplade till biobränsleskörd, men där träd lämnas kvar vid avverkning gynnas t ex lavar.

Kvarlämnade träd vid avverkning ger positiva effekter på många arter. Men hur går det med de liggande döda träd som lämnats av naturvårdsskäl när grot och stubbar skördas?

Stor studie

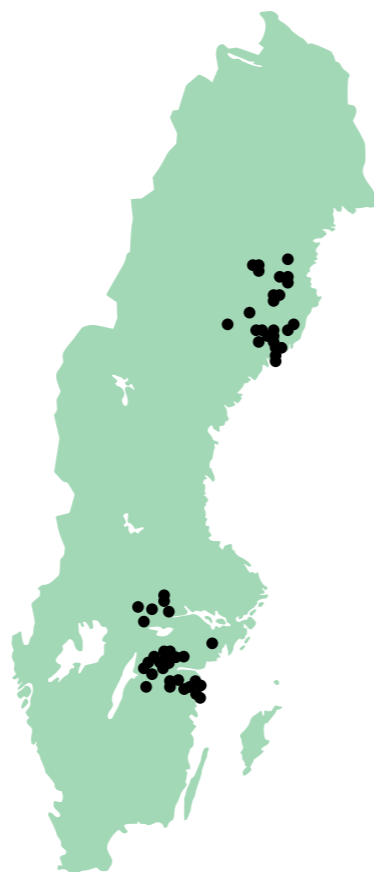
Ovanstående studier, egna fältiakttagelser och samtal med olika skogliga aktörer har väckt farhågan att de objekt som lämnats av naturhänsynen kan försämrats inte bara av grotskörd utan också av stubbskörd, framförallt beroende på det stora antalet maskiner som då kör på hygget. Vid grot- och stubbskörd är inte mindre än sex maskiner engagerade: skördare, skotare, grotskotare, stubbskördare, stubbskotare och markberedare, vilket är dubbelt så många som vid avverkning utan biobränsleskörd. Detta riskerar dels ge upphov till markskador, dels skada de levande och döda träd som lämnats för att gynna den biologiska mångfalden.

Under 2012 och 2013 undersöktes därför de lämnade naturhänsynsobjekten på totalt 122 hyggen fördelade på tre kategorier:

1. Grotskördade,
2. Grot- och stubbskördade, och
3. Konventionellt avverkade hygen utan uttag av biobränsle (dessa kallas här kontrollhyggen).

Syftet var att se hur de hänsynsträd och lågor som lämnats vid slutavverkning påverkas av uttag av grot och stubbar och om detta varierar regionalt.

Storleken på hyggena varierade mellan 2 ha och 51 ha. Stubbskördade hyggen var i genomsnitt drygt 6 ha större än hyggen som endast grotskördats eller avverkats utan biobränsleuttag.



Naturhänsynsobjekten på 122 hyggen undersöktes. Hyggena var konventionellt avverkade utan uttag av biobränsle, grotskördade eller grot- och stubbskördade.



	Grotskörd (n=41)	Grot- och stubbskörd (n=45)	Kontroll (n=36)
Liggande död ved (m³/ha)	7,5	5,0	6,5
- Markkontakt (%)	15,8	20,6	11,5
- Sönderkörning	52,0	41,0	40,0
Stående död ved (antal objekt)	4,3	3,7	5,2
- Varav högstubbar	2,6	2,5	3,1
- Varav torrträd	1,7	1,2	2,1
Antal levande hänsynsträd	3,6	3,1	3,2
- DBH 15-50 cm	3,5	3,0	3,1
- DBH > 50 cm	0,1	0,1	0,1
Antal stubbar	574,8	215,6	517,4

Medelvärden för de uppmätta variablerna i studien. Siffror i fet stil indikerar signifikant skillnad från kontrollhyggen. Stående död ved (högstubbar och torrträd), levande hänsynsträd och avverkningsstubbar presenteras som antal per hektar. DBH = stamdiameter i brösthöjd.

Några huvudresultat

- Vi kunde inte påvisa några signifikanta skillnader mellan hyggeskategorierna vad gäller volym liggande död ved eller antal levande hänsynsträd.
- Andel sönderkörda lågor skilde sig inte åt mellan hyggeskategorierna.
- På stubbskördade hyggen hade den liggande döda veden högre grad av markkontakt jämfört med kontrollhyggena.
- Det fanns signifikant färre stående döda träd på stubbskördade hyggen i jämförelse med kontrollhyggena.


Den högre graden av markkontakt hos den liggande döda veden efter stubbskörd leder sannolikt till att veden bryts ner snabbare och därmed inte finns tillgänglig som substrat för organismer som kräver död ved under lika lång tid. Den högre graden av markkontakt kan bero på det större antalet maskiner som kör över den avverkade ytan. Å andra sidan skilde sig inte andelen överkörda vedobjekt åt mellan stubb-/grotskördade hyggen och kontrollhyggen. Det tycks alltså som om många liggande vedobjekt körs sönder redan vid slutavverkning och att

grot- och stubbskörd inte ger någon ökning. Eftersom vi inte registrerade i vilken utsträckning varje enskilt vedobjekt var sönderkört, kan vi inte dra några säkrare slutsatser kring hur biobränsleskörd påverkar skador på enskilda lågor.

Det lägre antalet torrträd på stubbskördade bestånd kan potentiellt få betydelse för framförallt vedlevande skalbaggar, men även en del lavar och svampar. Torrträd på hyggen har visats ha stor betydelse för många arter och det är viktigt att de träd som lämnas i samband med slutavverkning får stå kvar.

Bilden av att det är färre stående döda träd efter biobränsleskörd stämmer med resultaten från den tidigare nämnda studien, som även konstaterade att antalet naturliga högstubbar var lägre på hyggen som grotskördats i jämförelsen med hyggen där grenar och toppar fått ligga kvar.

Även om studien framförallt var utformad för att ge svar på relativa skillnader mellan hyggeskategorier kan man konstatera att nivåerna på naturhänsynen överlag var låga. Det understryker vikten av att de träd och den död ved som faktiskt lämnats får stå kvar och att den inte skadas av biobränsleskörden.



"Det är brist på praktikmoment i utbildningarna"
- *Entreprenör och maskinförare*

"Privata markägare lämnar ofta över ansvaret för miljöhänsyn på entreprenören"
- *Privat markägare*

"Brister i planeringen leder till onödigt mycket körning"
- *Tjänsteman vid skogsbolag*

Kan ett ökat biobränsleuttag kombineras med god miljöhänsyn?

– resultat av en intervjustudie med skogsbrukets aktörer

Karin Gerhardt (SLU, Uppsala), Marie Appelstrand (Lunds universitet) och Johnny de Jong (SLU, Uppsala)

Det är många maskiner och människor engagerade i en avverkning där man tar ut virke, grot och stubbar. En serie djupintervjuer med olika intressenter och aktörer visar att det finns stora brister i planering, logistik och kommunikation mellan de olika leden i kedjan, speciellt då flera olika entreprenörer är inblandade. Svaren visar också att det finns ett behov av bättre utbildning – och att man måste bli bättre på att ta tillvara den kunskap som finns, framförallt hos maskinförare och entreprenörer.

För att få en bild av olika aktörers kunskap, attityd och motivation till att kombinera skogsbränsleuttag, framförallt av stubbar, med miljöhänsyn genomfördes 28 kvalitativa djupintervjuer med markägare, entreprenörer, maskinförare, myndighetspersoner och miljöorganisationer.

De övergripande frågeställningarna var:

- *Kan ett ökat uttag av biobränsle förenas med god miljöhänsyn?*
- *Motivation* – hur kan aktörerna motiveras till ett utökat uttag och god miljöhänsyn?
- *Drivkrafter* – vilka fördelar respektive nackdelar upplever skogsägare och övriga aktörer med ett ökat uttag av skogsbränsle (stubbar och grot)?

Intervjuerna kombinerades i vissa fall med fältbesök i stubbskördade områden.

Resultaten visar på brister i planering, logistik och kommunikation i avverknings/biobränslekedjan, speciellt då flera olika entreprenörer är inblandade.

Svaren visade också att entreprenörerna anser sig ha en tuff arbetssituationen, med brutna kontrakt, korta tidsramar och stor personalomsättning. Några svar pekade på att statusen behöver höjas för maskinförarna, då deras praktiska kunskaper inte alltid respekteras eller lyssnas på.

En teknikutveckling med färre maskiner som kan



Ibland förekommer brister i miljöhänsyn vid stubbskörd. Här har entreprenörens grävmaskin körts in på en fuktig del av hygget, som fått fula körsador.

klara fler moment är också viktig ansåg flera av de intervjuade. Det skulle kunna leda till minskade kostnader, färre kommunikationsled såväl som en minskad mängd körsador på hygget och på den lämnade hänsynen.

Det pekades även på bristen av praktiska övningar och fältmoment inom såväl längre skogsutbildningar som kortare kurser för t.ex. maskinförare.

Några punkter från intervjusvaren, fördelade på huvudområden:

Ekonomi

- Sopimport har lett till minskad efterfrågan på skogsbränsle
- Så länge skogsägaren inte får ekonomisk avkastning, så finns det inget större intresse
- Kostnad för markberedning kvittas mot stubbar (entreprenör)
- Stubbar är inte så lagringskänsliga som grot, därför är stubbar ett intressant sortiment som kan bli lönsamt (tjänsteman vid skogsbolag)

Miljöpåverkan

- Icke-kunniga grävare från byggnadssektorn förstör tidigare lämnad hänsyn (entreprenör)
- Varför stubbrytning när död ved är en bristvara? (representant för miljöorganisation)
- Ingen skillnad i miljöhänsyn jämfört med konventionell avverkning (tjänsteman vid skogsbolag)
- Estetiska hänsyn och vilthänsyn är viktigare än naturhänsyn (privat markägare)
- Mer värdefull mångfald i lågor/torrakor/ högstubbar än i lågstubbar (tjänsteman vid skogsbolag)

Teknik/Logistik

- Brister i planeringen leder till onödigt mycket körning (tjänsteman vid skogsbolag, entreprenör)
- Man kör oavsett förhållanden, även om det är blött (privat markägare)
- För mycket transport av maskiner mellan områden (tjänsteman vid skogsbolag, entreprenör)



Huvudområden för de 28 djupintervjuerna som gjordes med markägare, entreprenörer, maskinförare, myndighetspersoner och miljöorganisationer för att få deras bild av ett kombinerat skogsbränsleuttag, med fokus på stubbar.

- Utvecklingsarbete pågår för att minska antalet maskiner i avverkningskedjan (tjänsteman vid skogsbolag)

Kunskap/Utbildning

- För stor kunskapsbrist idag för ett ökat stubbuttag (repr. för myndighet, tjänsteman vid skogsbolag, entreprenör)
- Det är brist på praktikmoment i utbildningarna (entreprenör, maskinförare)
- Utbildning av styrelserna i skogsbolagen behövs (representant för miljöorganisation)

Attityd och motivation

- Behovet av skogsbränsle är mer drivet av samhället än av oss! Politisk fråga! Vi plockar inte ut bio-bränslen om det inte gynnar vår affärsverksamhet (tjänsteman vid skogsbolag)
- Privata markägare lämnar ofta över ansvaret för miljöhänsyn till entreprenören (privat markägare)
- Utbo mindre intresserad av naturhänsyn än åbo (privat markägare)



Det går att kompensera för biobränsleuttag genom att ställa fler högstubbar

Thomas Ranius (SLU, Uppsala) och Jörgen Rudolphi (SLU, Umeå)

Grot- och stubbuttag missgynnar många arter som lever på död ved. De flesta av dessa arter kan dock också utnyttja högstubbar och en analys visar att det är kostnadseffektivt att kombinera grotskörd med skapande av högstubbar. Det krävs dock ganska många högstubbar för att nå full kompensation. Däremot är det enligt analysen inte effektivt att kompensera för stubbskörd med högstubbar. Skillnaden beror framför allt på att nettointäkten är lägre för stubbar.

Bakgrund

Ett av de främsta argumenten mot uttag av biobränslen ur skogen är att det missgynnar organismer som är beroende av död ved. Detta kan göra det svårt att få acceptans för ett mera omfattande uttag av stubbar i Sverige.

Ett alternativ till att begränsa uttaget av skogsbränslen är att kompensera med åtgärder som ökar mängden död ved. Globalt utförs kompensationsåtgärder i en ökande utsträckning. De utgör en kompromiss mellan aktiviteter med negativ inverkan på biologisk mångfald och bevarandet av biologisk mångfald. De används t ex för att bevara våtmarker i USA och inom EU:s regler för Natura 2000-områden. Kompensationsåtgärder i skogsbruket, t ex att ställa fler högstubbar som kompensation för skörd av stubbar, har diskuterats, men har tidigare inte studerats systematiskt.

I detta projekt analyserade vi effektiviteten av en kompensationsåtgärd – skapande av högstubbar – för att

öka mängden livsmiljö för arter som missgynnas av biobränsleuttag. Analysen gjordes i ett landskapsperspektiv.

Metod

Analyserna gjordes för en normalskog av gran, d v s ett brukat skogslandskap med jämn åldersfördelning. Tre regioner ingick i analysen: Kronobergs, Gävleborgs och Västerbottens län.

Vi började med att förutsäga skogens utveckling och beräkna optimala tidpunkter för gallringar och slutavverkning med hjälp av den sk Beståndsmetoden. Baserat på detta simulerade vi hur mycket död ved som finns i skogen.

Effekterna på biologisk mångfald analyserades för alla arter av skalbaggar, lavar, svampar och mossor som lever på död granved i Sverige. Analysen gjordes med hjälp av en databas med expertbedömningar av vilka typer av död ved som varje enskild art kan förekomma i och föredrar. Genom att kombinera hur mycket det finns av olika typer av död ved skattade vi mängden tillgänglig livsmiljö för varje art.

Resultat och diskussion

Grot- och stubbskörd minskar mängden livsmiljö påtagligt för dödvvedlevande arter

I ett granlandskap minskar enligt analysen volymen död ved med 22–25 % om grot tas ut vid alla slutavverkningar och med 42–46 % om man tar ut både grot och stubbar. Intervallen anger skillnaden mellan regionerna i Sverige, som alltså är ganska liten. Siffrorna inkluderar all död ved, även rötter under marken. För närvarande är det inte

Genom att ställa högstubbar kan man kompensera för de förluster av död ved man får vid grot- och stubbskörd. Men det är tveksamt om det är kostnadseffektivt för stubbar, eftersom intäkterna från stubbved är låga i dag

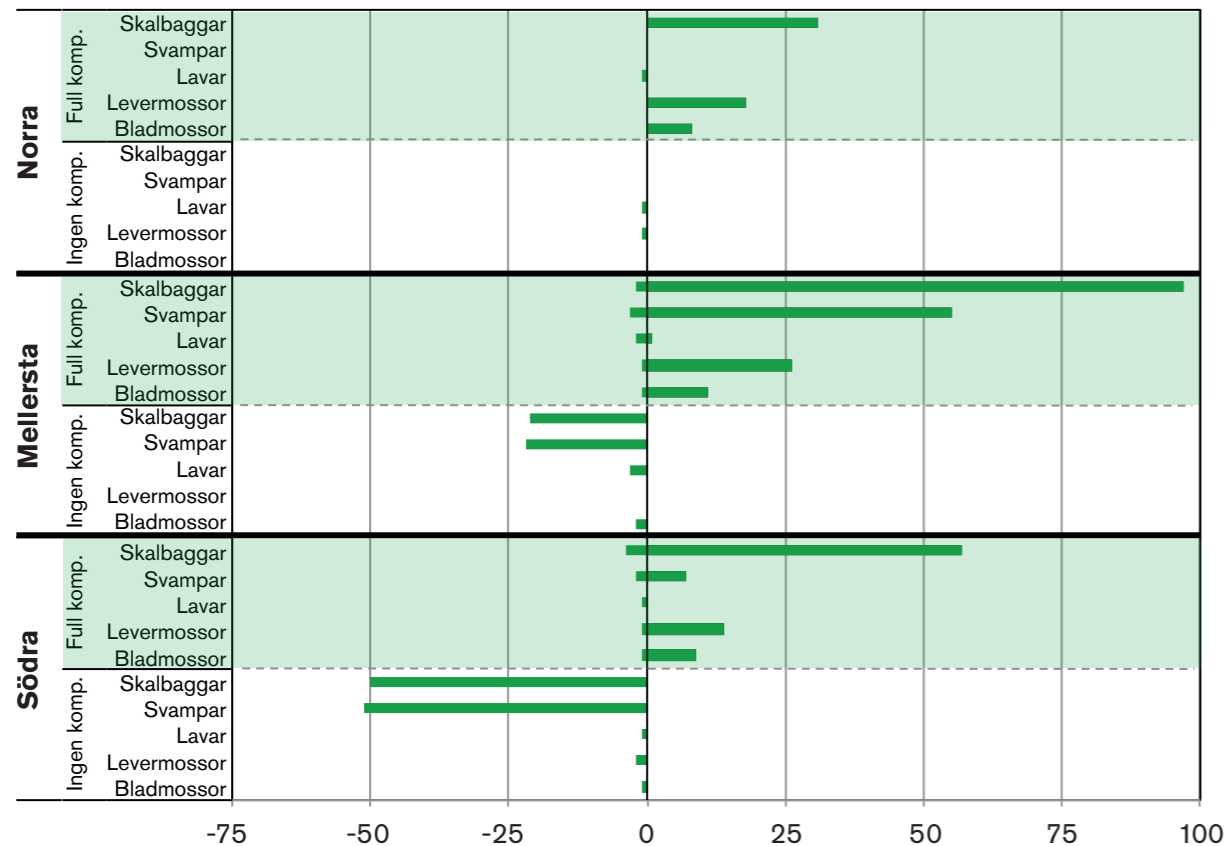


Effekterna på biologisk mångfald analyserades för alla arter av skalbaggar, lavar, svampar och mossor som lever på död granved i Sverige.

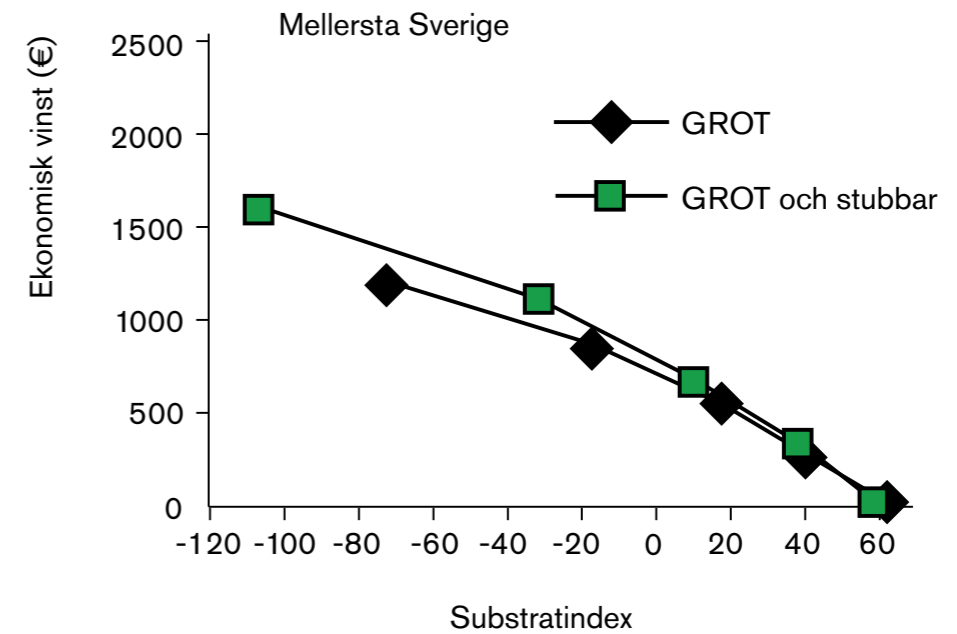
realistiskt att ta ut bibränsle vid varenda slutavverkning, så i praktiken blir minskningen mindre.

Med grot- och stubbskörd minskar mängden livsmiljö med mer än 50 % för 8 % av de analyserade arterna. De flesta av dessa arter är svampar och skalbaggar, eftersom det är de artrikaste grupperna som lever i död ved.

Grot- och stubbuttag kan kompenseras av högstubbar
Om man använder alla intäkter från grot- och stubbskörd till att skapa högstubbar får de flesta arter som missgynnas av bibränsleuttaget en bättre situation (se nedan). Detta visar att kompensationen fungerar. För många arter ger denna kombination av bibränsleskörd och högstubbar mycket mer livsmiljö jämfört med att inte göra något av detta.



Antal arter vars substrattillgång påverkades kraftigt (> 50 %) av bibränsleskörd och skapande av högstubbar. "Ingen komp." innebär att både grot och stubbar skördas på alla hyggen och inga högstubbar lämnas, medan "Full komp." innebär att alla nettointäkter man får från grot- och stubbskörd används för att skapa högstubbar. Resultat för våra tre studieregioner i Sverige.



Kvadraten längst till vänster visar utfallet om man skördar grot och stubbar (gröna kvadrater) resp. enbart grot (svarta kvadrater) utan att skapa några högstubbar. Där har man bäst ekonomiskt utfall och sämst index för biologisk mångfald. Går man åt höger, visar nästa kvadrat utfallet när man använder 25 % av nettointäkterna från skogsbränslet till att skapa högstubbar, därefter 50 %, 75 % och 100 %.

Kurvorna befinner sig delvis inom ett område där både ekonomiskt utfall och index för biologisk mångfald är bättre än om man varken skördar grot eller stubbar eller utför någon kompensationsåtgärd. Det innebär att skapande av högstubbar är en kostnadseffektiv kompensation.

Att de två linjerna (med och utan stubbskörd) ligger nära varandra betyder att man inte får något mervärde av att kombinera stubbskörd med skapande av högstubbar. Figuren visar resultatet för Gävleborg. Resultaten för Västerbotten och Kronoberg såg ut på liknande sätt men låg på lite andra nivåer.

Det är kostnadseffektivt att kombinera grotskörd med skapande av högstubbar – mer tveksamt vid stubbskörd

Vi fann att det behövs många högstubbar för att kompensera för bibränsleuttaget. Ungefär 40 % av intäkterna från grot- och stubbskörd behöver användas för att ge samma index för biologisk mångfald som när grot och stubbar inte skördas. Vid enbart grotskörd behöver högstubbar skapas av 9 % av de avverkade träden, om också stubbarna skördas handlar det om 14 %. Högstubbar skapas redan idag vid avverkning, men de är fåtaliga i jämförelse med de nivåer som behövs för att uppnå full kompensation och har därför liten betydelse för utfallet av våra analyser.

Det går att kombinera grotuttag med skapande av högstubbar så att utfallet blir bättre både ekonomiskt och för biologisk mångfald (se ovan). Visserligen är högstubbarna dyrare per kubikmeter än grot, men högstubbarna fungerar som livsmiljö under längre tid innan de bryts

ner, och fler arter kan utnyttja grov ved jämfört med grot. Det innebär att om man vill begränsa de negativa effekterna av grotuttag är det bättre att skapa flera högstubbar än att begränsa grotuttaget.

För stubbuttag blir inte utfallet så tydligt positivt. Ur ekonomisk synvinkel är det bättre att begränsa skörden av stubbar. Skillnaden i utfall mellan grot- och stubbuttag beror främst på att det är dyrare att skörda stubbar.

Slutsatser om stubbskördens miljöeffekter

Tryggve Persson (SLU, Uppsala)

Ur klimatsynpunkt är bioenergi från stubbar bättre än energi från fossila bränslen, och stubbskörd ger totalt sett mindre utsläpp av koldioxid till atmosfären än naturgas och kol. Stubbskörd ökar andelen vegetationsfri mark och ökar också markomblandningen. Trots farhågor om motsatsen tyder våra resultat på att omrörningen minskar utsläppen av koldioxid, lustgas och metan till atmosfären. Stubbskörd kan ibland öka mängden gropar där en del av det kvicksilver som finns i marken kan omvandlas till giftigare metylkvicksilver. Trots detta verkar koncentrationen av metylkvicksilver i avrinnande bäckvatten inte öka. Stubbskörd ökar den naturliga föryngringen av björk och tall, ser inte ut att påverka virkesproduktionen i nästa skogsgeneration, och tycks minska infektionsgraden av rotröta. Stubbskörd minskar mängden bärris på unga hyggen, och har i något fall visats leda till ökad kväveutlakning. Den biologiska mångfalden, särskilt de arter som lever i död ved, påverkas negativt av intensiv stubbskörd. Modellstudier tyder dock på att risken för att arter dör ut är liten om uttagsnivån per år begränsas till 10 % av den möjliga hyggesarealen i landskapet.

Frågor och svar om stubbskörd

I början av programperioden fanns ett antal kunskapsluckor om stubbskörd att täppa till. Några viktiga frågor att besvara var (1) om biomassa från stubbar ger större klimatnytta (minskad global uppvärmning) än förbränning av fossila bränslen; (2) om den markomrörning som är ofrånkomlig vid stubblyftning leder till en extra avgivning av koldioxid och därigenom motverkar den förväntade klimatnyttan; (3) om stubbskörd ökar kväve-

utlakningen; (4) om stubbskörd ökar avrinningen av metylkvicksilver; (5) om virkesproduktion och naturlig föryngring ökar eller minskar efter stubbskörd; (6) i hur hög grad stubbskörd påverkar den biologiska mångfalden; och (7) på vilket sätt natur- och miljöhänsyn påverkas av stubbskörd och annat biobränsleuttag.

I början av stubbforskningsprogrammet studerades främst effekter på enskilda hyggen, men så småningom fanns en allt tydligare önskan om att få bättre kunskap om landskapseffekter och helst också hur påverkan ser ut under en hel trädgeneration, inte bara under den tidiga hyggesfasen. Forskarnas svar på frågorna har redovisats i de föregående kapitlen, som ger en kortfattad version på svenska av ett antal nya publikationer på engelska. Mina slutsatser bygger både på vad man skrivit i dessa kapitel och vad som nyligen publicerats på engelska i två specialhäften om stubbskörd i tidskrifterna *Forest Ecology and Management* (2016) och *Scandinavian Journal of Forest Research* (tryckår 2017).

Stubbskörd och klimatnytta

När biobränsle från stubbar och grovrötter förbränns i ett kraftvärmeverk frigörs i stort sett lika mycket koldioxid som om man bränner fossila bränslen. Tanken att biobränsle från stubbskörd ger mer klimatnytta än fossila bränslen bygger främst på idén att stubbar och rötter som ligger kvar i skogen också producerar koldioxid när de bryts ner. I fossilbränslealternativet avges således koldioxid från både fossilbränslet och stubbarna i skogen, medan det i stubbskördalternativet bara är stubbarna som avger koldioxid. Resonemanget att man får stor klimatnytta av att använda stubbränsle har ifrågasatts, främst därför att stubbar/grovrötter bryts ned relativt långsamt (Ågren m fl 2008; Palviainen & Finér 2015; Repo m fl 2015), och att man därför får en fördröjning av den positiva klimat-effekten.

Med hjälp av livscykelanalys och ekosystemmodellering jämförde Ortiz m fl (2016) klimateffekten av

Lingon och blåbär växer gärna intill stubbar. Flera studier visar att dessa arter missgynnas av stubbskörd.



I en landsomfattande studie av granstubbar hittades 1355 svamparter med hjälp av DNA-teknik. De flesta av dessa vedsvampar bildar inga synliga fruktkroppar. Andra svampar visar sig desto tydligare, såsom den föränderliga tofsskivlingen på bilden.

biobränsle från granstubbar med två slags fossila bränslen, fossilt kol och naturgas, vid samma energiproduktion. I jämförelse med fossilt kol, som blir metanutsläpp vid brytningen, ledde stubbränsle till större klimatnytta (mindre temperaturhöjning) redan från dag ett. Stubbränsle har på sikt också betydligt bättre klimategenskaper än naturgas, men på grund av att stubbar bryts ned relativt långsamt, är klimatnyttan inte tydlig förrän efter 20–30 år.

Markstörning minskar koldioxidavgivningen

Stubbskörd och markberedning leder till att en större del av hyggesytan störs och att en större volym mark blandas om. Tidigare studier, till exempel den forskningsöversikt som gjordes av Walmsley & Godbold (2010), varnade för att stubbskörd skulle kunna ge stora koldioxidutsläpp. Tvärtom dessa farhågor har flera nya försök i Sverige, Finland och Estland visat att stubbskörd och markberedning initialt leder till minskad koldioxidavgång från marken. Efter det första året tycks avgången ligga på

ungefär samma nivå för störd mark som för ostörd mark. Hittills saknas resultat om hur det ser ut efter ytterligare några (3–5) år, men fortsatta studier skall täppa till också denna kunskapslucka.

Lustgas och metan är kraftfulla växthusgaser, men i en studie av tre 1–2 år gamla hyggen i Mellansverige visade Strömgren m fl (2016) att bidraget till den globala uppvärmningen från dessa växthusgaser var betydligt lägre än den från koldioxid. Utsläppen låg på ungefär samma nivå från stubbskördade ytor som från ytor där stubbarna var kvar. Inte heller markberedning gav några tydliga effekter. Bidraget till den globala uppvärmningen varierade med mark och störningstyp. Mark med hög kvävetillgång hade högre lustgasavgång än kvävefattig mark, och mera metan kom från hjulspår med kompakterad våt jord med syrebrist. Eftersom det här är de första studierna i världen på hur stubbskörd påverkar metan och lustgas, behöver fler studier göras inom forskningsområdet.

Stubbskörd minskar markens och ekosystemets kolmängd, men hur länge?

På ett normalt hygge i Mellansverige på bra bonitet finns ca 75 ton kol per hektar i markens organiska substans. Dessutom finns ca 30 ton kol per hektar i stubbar och grovrötter. På ett nytt hygge utan stubbskörd finns således $75+30=105$ ton kol i mark och olika stubbdelar. Vid stubbskörd tas normalt 75 % av alla stubbar och grovrötter bort, och kvar blir då $75 + (0,25 \times 30) = 82,5$ ton kol. Skillnaden i stubb/rot-kol mellan konventionella och stubbskördade hyggen (i exemplet från Mellansverige 22,5 ton per hektar) minskar över tiden beroende på att stubbar och rötter bryts ned.

I en markstudie i centrala Finland fann Hyvönen m fl (2016) ingen skillnad i finjordens kolförråd mellan stubbskördade och enbart markberedda hyggen 8–13 år efter avverkningen. I en annan studie i åtta fältförsök över olika regioner i Sverige fann Jurevics m fl (2016) ingen statistiskt säkerställd skillnad i mängden kol i marken mellan stubbskördade och markberedda bestånd 32–39 år efter avverkningen (här var också kol i stubbar och grovrötter inräknat). Enligt den nedbrytningsmodell för stubbar och grovrötter som tagits fram av Melin m fl (2009), bör 63 % av den initiala mängden av stubb/rot-kol finnas kvar efter 10 år, men bara 20 % efter 35 år, dvs 6 ton på hyggen där stubbarna var kvar mot 1,5 ton på stubbskördade hyggen enligt exemplet från Mellansverige. Det ger en skillnad i totalt kolförråd på 5,6 %, och en så liten skillnad är svår att belägga statistiskt, något som inte heller Jurevics m fl (2016) lyckades göra i sin långtidsstudie.

Stubbskörd ökar markens nitratbildning och nitratutlakning

Markstörning kan öka nettomineraliseringen av kväve under det första året efter markbehandlingen på vissa lokaler. Stubbskörd ger en effektivare omblandning av markskikten än vad högläggning gör. Denna markomblandning tycks också ge en större nitrifikationspotential. Stubbskörd leder alltså till en ökad risk för nitratutlakning, både genom att en mindre mängd kväve binds in i stubbar och grovrötter och genom att nitratbildningen gynnas. Ökad nitratutlakning efter stubbskörd har också konstaterats i en femårig studie i södra Sverige, men fler studier behöver göras för att bättre kunna bedöma risk för kväveutlakning i olika delar av landet.

Stubbskörd ökar inte metylkvicksilver i bäckvatten

Olika slags störningar av skogsmark i samband med avverkning har visat sig bidra till en ökad avrinning av kvicksilver inklusive den giftiga formen metylkvicksilver.

Man antog därför att stubbskörd riskerar att skapa lämpliga miljöer för de mikroorganismer som kan omvandla befintligt oorganiskt kvicksilver till metylkvicksilver, såsom vattenfyllda körskador och gropar efter borttagning av stubbar. I en ny studie framkom också att mycket metylkvicksilver bildades i sådana miljöer (Eklöf m fl, denna rapport). Trots att det fanns flera miljöer där metylkvicksilver bildas ökade dock inte koncentrationen av metylkvicksilver i avrinnande bäckvatten från dessa områden.

Träd tillväxt, naturlig föryngring och rotröta

En sammanställning av svenska och finska långtidsförsök visar att stubbskörd sannolikt inte har någon större effekt på skogsproduktionen i nästa trädgeneration. Stubbskörd förefaller vara positivt för etablering av naturligt föryngrade pionjärträdslag som tall och björk, medan antalet naturligt föryngrade granar kan påverkas negativt (Egnell, 2016). En god naturlig föryngring gör att vegetationen snabbare kan binda in luftens koldioxid. Stubbskörd har också potential att minska mängden rötskadade träd i nästa trädgeneration. Svenska och danska försök har visat att angreppen av rotticka, som är den främsta orsaken till rotröta, minskade med 20–72 % efter stubbskörd (Cleary m fl 2013). För att få maximal effekt på rotrötebekämpningen och minska sporspridningen bör man vid stubbskörden se till att ta ut så många rötskadade stubbar som möjligt (Vasaitis m fl 2008).

Stubbars biologiska mångfald varierar över tiden

Avverkningsstubbar har ersatt lågor som den vanligaste formen av grov död ved i brukad skogsmark. Sällsynta och rödlistade arter hittas främst i och på lövträdsstubbar. Svensk stubbskörd har därför begränsats till barrträdsstubbar och främst granstubbar. I de färskaste stubbarna bryts veden ofta ned av olika slags vedsvampar. I en omfattande studie av 41 hyggen av olika ålder över hela Sverige använde sig Kubart m fl (2016) av DNA-analys för att bestämma svampar i granstubbar. De fann inte mindre än 1 355 svamparter, av vilka 260 kunde bestämmas till släkte och art. De vanligaste arterna var generalister, och bara fyra av arterna var rödlistade.

De första djur som kommer till de färskaste stubbarna är skalbaggar. De livnar sig främst på den mest näringsrika delen av stubben, kambiet. De kan känna igen lämplig ved på långt håll genom att reagera på vedens doftämnen och sedan rikta sitt flygande mot doftkällan. Det finns därför stora skillnader i skalbaggarartsammansättning mellan olika trädslag. Men inte bara skalbaggar attraheras av stubbarna. Utrymmet mellan ytterbark och ved blir på kort tid en attraktiv miljö för småringmaskar, hoppstjärter, kvalster, mångfotingar, flug- och mygglarver och

myror. När stubbarna nått en ålder på ca tio år innehåller de enligt Persson m fl (2011, 2013) fler smådjur än både yngre (5 år) och äldre (20 år) stubbar.

Den biomassa som tas ut vid stubbskörd av gran består till ca 30 % av stubbved och 70 % av grovrötter. Det är därför anmärkningsvärt att nästan inga studier har gjorts på organismer i grovrötterna. Studien av Victorsson och Jonsell (2016) är ett undantag. De jämförde diversiteten av skalbaggar i 2-åriga stubbar och grovrötter på 12 hyggen i mellersta Sverige, och fann att grovrötterna innehöll hälften så många arter som stubbarna, när de jämförde samma barkyta över som under mark. Bara 28 % av arterna var gemensamma för stubbar och grovrötter. En slutsats av studien är att många arter förbises om man bara låter sig nöja med de arter som finns i stubbarna ovanför markytan.

Stubbskörd påverkar främst död-ved-beroende arter

Skalbaggar är en organismgrupp med många arter i stubbar. Work m fl (2016) satte kläckningsfällor på totalt 1 049 stubbar i norra Sverige fördelade på 10 hyggen utan stubbskörd och 10 hyggen med stubbskörd. Totalt kläcktes 9 800 skalbaggar fördelade på 253 vedberoende arter. Av dessa var 19 rödlistade. Författarna fann att det fanns lika många arter per stubbe oberoende av om hygget var stubbskördat eller inte, men genom att antalet individer totalt sett var mindre på stubbskördade hyggen,

beräknade man med hjälp av s.k. art – abundansmodeller att det i genomsnitt borde finnas ca 25 % färre skalbaggsarter på ett stubbskördat hygge.

Effekten av stubbskörd på mångfotingar har bara undersökts i några enstaka fall. Taylor & Victorsson (2016) fann att antalet individer av dubbelfotingar per stubbe minskade till hälften på stubbskördade jämfört med icke stubbskördade hyggen. Vid stubbskörd minskar antalet stubbar och ökar avståndet mellan stubbarna jämfört med vanliga hyggen, och dessa faktorer kan vara viktiga för organismer som liksom vissa dubbelfotingar har begränsad spridningsförmåga.

Inverkan på markfaunan

Stubbskörd påverkar inte bara arter som är beroende av död ved utan även markfauna som lever i markens förna- och humusskikt. I en finsk studie av Kataja-aho m fl (2016) jämfördes antalet smådjur i avverkningsmogen granskog med stubbskördade respektive icke stubbskördade hyggen. Stubbskörd ledde till förvånansvärt små effekter på flera djurgrupper, men hoppstjärter och lockespindlar föreföll missgynnas av störda ytskikt, medan jordlöpare verkade föredra bar mineraljord efter stubbskörd.

Markvegetationen påverkas på unga hyggen

Stubbskörd påverkar initialt markvegetationen, både genom att andelen bevuxna ytor minskar men också

genom att växter som gärna växer nära stubbar, t ex lingon och blåbär, förlorar denna typ av miljö. Andersson m fl (2017) fann t ex att blåbär och lingon reagerade med kraftiga nedgångar i täckningen i stubbskördade jämfört med markberedda hyggen 2-3 år efter avverkningen. Kardell (2010) följde bärrisens återhämtning och fann att blåbär och lingon under den första 10-årsperioden efter avverkningen i runda tal hade 50 % respektive 30 % täckning efter stubbskörd jämfört med stamskördade ytor. Bärrisens återhämtning påverkades i motsvarande grad. I en studie som gjordes 8-13 år efter stubbskörd, fann Hyvönen m fl (2016) inga statistiskt säkerställda skillnader i växtsamhället mellan stubbskördade och markberedda hyggen i Finland, men det fanns en tendens till minskad täckning av mossor och lingon efter stubbskörd. I en mellansvensk studie, som gjordes 24 till 36 år efter avverkningen, fann Rudolphi och Strengbom (2016) ingen skillnad i artrikedom och sammansättning av mossor och kärllväxter mellan stubbskördade och icke stubbskördade bestånd och drog slutsatsen att stubbskörd inte tycks ge några långsiktiga effekter på markvegetationen.

Artöverlevnaden påverkas av skördeintensiteten

I brist på direkta fältstudier gjorde Johansson m fl (2016) en modelleringsstudie, där de prövade hur olika skördeintensitet av död ved (t ex stubbar) påverkade ett antal ”teoretiska arter” med olikheter i spridningsförmåga, miljöspecialisering och förekomst. Författarna simulerade dynamiken i kolonisering och utdöende av arterna utifrån tillgången på död ved. Simuleringen kördes för en 200-årsperiod i ett 11 x 11 km² brukat skogslandskap i Sverige, där man antog ett årligt uttag av stubbar på 10, 30, 50, 70 och 90 % av tillgängliga hyggen. Utdöenderisken varierade med olika egenskaper hos arterna. För den känsliga kombinationen ”sällsynta specialister på solexponerad ved” fanns en viss utdöenderisk redan vid 10 % stubbskörd, och vid 30 % uttag varierade utdöenderisken mellan 23 och 94 % för de mest känsliga arterna. Utdöenderisken berodde också på hur man valde att skörda stubbarna i landskapet, och ett koncentrerat uttag i en del av landskapet befanns vara bättre än en slumpmässig fördelning av skördeobjekten, speciellt för arter med begränsad spridningsförmåga.

Miljö- och naturhänsyn vid stubbskörd

Det finns en risk att naturhänsynen försämras av grot- och stubbskörd, främst beroende på antalet maskiner som kör på hygget. Den inventering av kvarlämnad naturhänsyn på 122 hyggen som gjordes av Rudolphi & Gustafsson (2016) visade inte på några stora skillnader mellan stubbskördade, grotskördade och konventionellt avverka-

de objekt. På de stubbskördade hyggena hade dock den liggande döda veden lite mer markkontakt, något som gynnar vednedbrytningen, och där fanns också något färre stående döda träd.

Många maskiner och människor är engagerade i en avverkning, där man tar ut virke, grot och stubbar. I en serie djupintervjuer med olika intressenter och aktörer visade Gerhardt m fl (2016) att det finns stora brister i planering, logistik och kommunikation mellan de olika leden i kedjan, speciellt då flera olika entreprenörer är inblandade. Intervjusvaren visade också att det finns ett behov av bättre utbildning – och att man måste bli bättre på att ta tillvara den kunskap som finns, främst hos maskinförare och entreprenörer – för att undvika onödiga misstag.

Många arter som lever på död ved missgynnas av grot- och stubbuttag. Ett alternativ till att begränsa uttaget av skogsbränslen är att kompensera med åtgärder som ökar mängden död ved, t ex att låta fler högstubbar kompensera för skörd av grot och stubbar. En analys av Ranius & Rudolphi (denna rapport) visade att det dock krävs ganska många högstubbar för att nå full kompensering. Det visade sig kostnadseffektivt att kombinera grotskörd med skapande av högstubbar. Däremot var det inte effektivt att kompensera för stubbskörd med högstubbar. Skillnaden i utfall beror främst på att det är dyrare att skörda stubbar än grot.

Kort sammanfattning

- Biobränsle från stubbar och grovrötter ger vid förbränning alltid mindre utsläpp av växthusgaser än fossilt kol. Stubbränsle har på sikt också betydligt bättre klimatgenskaper än naturgas, men på grund av att stubbar bryts ned relativt långsamt, är klimatnyttan inte tydlig förrän efter 20-30 år.
- De markstörningar som orsakas av stubbskörd tycks inte öka utan snarare minska avgivningen av växthusgaserna koldioxid, lustgas och metan jämfört med ostörd mark.
- Skörd av stubbar och grovrötter minskar det totala förrådet av kol i marken, men i takt med att de kvarvarande stubbarna och rötterna bryts ned, minskar skillnaden i totalt kolförråd mellan stubbskördade och icke stubbskördade hyggen från ca 20 % vid stubbskörden till ca 5-6 % efter 35 år.
- Stubbskörd kan öka mängden hjulspår och gropar med lämpliga miljöer för de mikroorganismer som kan omvandla oorganiskt kvicksilver till metylkvicksilver. Trots detta har man inte kunnat belägga ett ökat utflöde av metylkvicksilver i bäckvatten efter stubbskörd.
- Stubbskörd tycks inte öka markens kväve mineralisering, men däremot markens potential att bilda nitrat.



Många skalbaggar inom gruppen långhorningar har larver som lever i stubbarnas ved. Här syns ovala kläckhål som visar att nykläckta barkbockar lämnat sin tallstubbe.

- Stubbskörd förefaller vara positivt för etablering av naturligt föryngrade pionjärträdsdrag som tall och björk.
- Virkesproduktionen under de 30-40 år som hittills kunnat studeras påverkas i liten utsträckning av stubbskörd. I kombination med grotskörd har dock stubbskörd haft en tendens att minska produktionen av gran och öka produktionen av tall.
- Markvegetationen påverkas initialt av stubbskörd, men skillnaderna mellan stubbskörd och markberedning är svåra att belägga efter 8-13 år, och efter 24-36 år fanns inga skillnader mellan behandlingarna.
- Markfaunan tycks påverkas i mindre grad av stubbskörd, trots att andelen ostörd markyta minskar. Olika djurgrupper reagerar olika, och vissa gynnas av störd mark och andra föredrar opåverkad mark.
- Stubb- och rotskörd påverkar vedlevande arter negativt. Enligt en modellstudie med teoretiska arter (modellarter som fått bestämda egenskaper) påverkas arter med begränsad spridningsförmåga mera än de med god spridningsförmåga. Andra arter som påverkas starkt är de som har specifika miljökrav, t ex solbelysta stubbar. För den känsliga kombinationen ”sällsynta specialister på solexponerad ved” fanns en viss utdöenderisk redan då 10 % av samtliga hyggen i

ett 11 x 11 km² landskap stubbskördades. En skördeintensitet på 10 % i hela Sverige motsvarar ungefär 20 000 hektar per år.

- En inventering av av träd och död ved som sparats av naturvårdsskäl på 122 hyggen visade inte på några stora skillnader mellan stubbskördade, grotskördade och konventionellt avvertrade objekt. På de stubbskördade hyggena hade dock den liggande döda veden lite mer markkontakt.
- Trots allt förekommer missar i miljöhänsynen. I en serie djupintervjuer med olika intressenter och aktörer visades att det finns stora brister i planering, logistik och kommunikation mellan de olika leden i kedjan, speciellt då flera olika entreprenörer är inblandade. Det finns alltså ett behov av bättre utbildning och samordning.
- Många arter som lever på död ved missgynnas av biobränsleuttag. Man har prövat om fler högstubbar på ett hygge kan kompensera för skörd av grot och stubbar. Fler högstubbar kunde på ett kostnads-effektivt sätt kompensera för mångfaldsförlusten vid grotuttag, men av kostnadsskäl fungerade inte metoden som kompensation för stubbskörd.

Att skörda eller inte skörda stubbar?

Att skörda stubbar är en förhållandevis dyr verksamhet. I lägen där stubbskörd är ekonomiskt försvarbar, visar våra resultat att stubbskörd ger klimatnytta, att den har stor potential att begränsa spridningen av rottröta, att den inte ger ökad avgivning av växthusgaser, och att den tycks vara relativt neutral i förhållande till utflödet av metylkvicksilver och till nästa generations skogsproduktion. Nackdelen med stubbskörd är att den minskar mängden död ved, något som påverkar de organismer som är beroende av död ved under den tidiga hyggesfasen. Lingon och blåbär, som gärna växer intill stubbar, reagerar också med tydliga nedgångar under denna period. Sammanfattningsvis visar studierna av biologisk mångfald att intensiv stubbskörd kan ge negativa effekter på antalet dödvedberoende arter som långsiktigt kan överleva i landskapet. En uttagsnivå på t ex 30 % (tre av tio hyggen stubbskördas varje år) kan medföra en risk för främst svårspredda och specialiserade arter.

Litteraturlista

Mer information kring de olika studierna finns listade under respektive kapitel.

Forskning om stubbskördens miljöeffekter

Anerud, E. (2012). Stumps as fuel – the influence of handling method on fuel quality. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 2012:85 SLU, Uppsala.

Cleary, M.R., Arhipova, N., Morrison, D.J., Thomsen, I.M., Sturrock, R.N., Vasaitis, R., Gaitnieks, T. & Stenlid, J. (2013) Stump removal to control root disease in Canada and Scandinavia: A synthesis of results from long-term trials. *Forest Ecology and Management*, 290, 5-14.

Juntunen, M. & Herrala-Ylinen, H. (2011). Metsien hoito [Silviculture]. In: Ylitalo, E. (ed.) *Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2011*, pp. 117-164. Vantaa, Finland, Finnish Forest Research Institute. (På finska, engelsk sammanfattning)

Skogsstyrelsen (2009). Stubbskörd – kunskapsöversikt och skogsstyrelsens rekommendationer. Meddelande 4-2009.

Svenska FSC (2011). Paketbeslut om stubbrytning och kontinuitetsskogsbruk, 2011-05-16. <http://www.fsc-sverige.org/press/nyheter/25-senaste?start=30>

Tirén, L. (1937). Skogshistoriska studier i trakten av Degerfors i Västerbotten. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksinstitut*, 30.

Zabowski, D., Hambreau, D., Rotramel, N. & Thies, W.G. (2008). Long-term effects of stump removal to control root rot on forest soil bulk density, soil carbon and nitrogen content. *Forest Ecology and Management*, 255, 720-727.

Skogssektorns behov av ny kunskap om stubbskörd

Drott, A., Stendahl, J. 2016. Uppföljning av miljöhänsyn vid stubbskörd. Skogsstyrelsen, Rapport 2016-6, 56 sid.

Skogsstyrelsen, 2009. Stubbskörd – kunskapsöversikt och Skogsstyrelsens rekommendationer. Meddelande 2009-4.

Stubbar som biobränsle

SKA-VB 08, 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008. Skogsstyrelsen, Rapport 25, 2008.

Stubbskörd – metoder och marknadsläge

Anerud, E. 2012. Stumps as Fuel. Sveriges Lantbruksuniversitet. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. No. 85.

Annon. 2015. Innventias hemsida om forskning kring biobaserade produkter. <http://www.innventia.com>

Backlund, B. och Nordström, M. 2014. Nya produkter från skogsråvara – En översikt av läget 2014 (New products from wood raw material – Status report 2014). Skogforsk. Arbetsrapport 854.

Berg, S. 2014. Technology and Systems for Stump Harvesting with Low Ground Disturbance. Sveriges Lantbruksuniversitet. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. No. 95.

Eriksson, A., von Hofsten, H., Eliasson, L. 2015. Systemkostnader, logistik och kvalitetsaspekter för sju försörjningskedjor för stubbränslen. Skogforsk. Arbetsrapport 868.

Iwarsson Wide, M. m. fl. 2015. Skogens energi – en källa till hållbar framtid. Skogforsk.

von Hofsten, H. 2014. Utvärdering av TL-GROT AB:s stubbaggat. Skogforsk. Arbetsrapport 853.

Vilken klimatpåverkan får man av att använda stubbar som (bio)bränsle?

Ericsson N., Porsö C., Ahlgren S., Nordberg A., Sundberg C., Hansson P.A. 2013. Time-dependent climate impact of a bioenergy system – methodology development and application to Swedish conditions. *Global Change Biology Bioenergy*, 5, 580-590.

Gode, J., Martinsson, F., Hagberg, L., Öman, A., Höglund, J. & Palm, D. 2011. Miljöfaktaboken 2011. Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter. Anläggnings- och förbränningsteknik 1183. Stockholm.

Hammar T., Ortiz C.A., Stendahl J., Ahlgren S., Hansson P.-A. 2015. Time-dynamic effects on the global temperature when harvesting logging residues for bioenergy. *Bioenergy Research*, 1-13.

Ortiz, C.A., Hammar, T., Ahlgren, S., Hansson, P.-A., Stendahl, J., 2016. Time-dependent global warming impact of tree stump bioenergy in Sweden. *Forest Ecology and Management* 371, 5-14.

Pumpanen, J., Westman, C.J., Ilvesniemi, H., 2004. Soil CO₂ efflux from a podzolic forest soil before and after forest clear-cutting and site preparation. *Boreal Environmental Research* 9, 199-212.

Uppenberg, S., Almemark, M., Brandel, M., Lindfors, L.-G., Marcus, H.-O., Stripple, H., Wachtmeister, A. & Zetterberg, L. 2001. Miljöfaktabok för bränslen, 2:a upplagan. Stockholm.

Nya och gamla fältförsök med stubbskörd

Grelle, A., Strömgren, M. and Hyvönen, R., 2012. Carbon balance of a forest ecosystem after stump harvest. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(8): 762-773.

Jurevics, A., Peichl, M., Olsson, B.A., Strömgren, M., Egnell, G. 2016. Slash and stump harvest have no general impact on soil and tree biomass C pools after 32 – 39 years. *Forest Ecology and Management*, 371, 33-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.008>

Kardell, L. 2010. Skogsenergiförsöken 1977-2008. Stubbrytningens m m effekter på markvegetation och skogsproduktion. Rapport 111. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård, 112 sid.

Strömgren, M. and Mjöfors, K., 2012. Soil-CO₂ flux after patch scarification, harrowing and stump harvest in a hemi-boreal forest. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(8): 754-761.

Strömgren, M., Mjöfors, K., Holmström, B. and Grelle, A., 2012. Soil CO₂ Flux During the First Years After Stump Harvesting in Two Swedish Forests. *Silva Fennica*, 46(1): 67-79.

Strömgren, M., Egnell, G., Olsson, B.A., 2013. Carbon stocks in four forest stands in Sweden 25 years after harvesting of slash and stumps. *Forest Ecology and Management*, 290, 59-66.

Strömgren, M., Hedwall, P.-O., Olsson, B.A., 2016. Effects of stump harvest and site preparation on N₂O and CH₄ emissions from boreal forest soils after clear-cutting. *Forest Ecology Management* 371, 15-22.

Strömgren, M., Mjöfors, K., Olsson, B., 2017. Soil-surface CO₂ flux during the first two years after stump harvesting and site preparation in fourteen Swedish forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, DOI: 10.1080/02827581.2016.1221993

Sundqvist, E. Vestin, P., Crill, P., Persson, T., Lindroth, A., 2014. Short-term effects of thinning, clear-cutting and stump harvesting on methane exchange in a boreal forest. *Biogeosciences*, 11, 6095-6105.

Hur påverkas markens kolförråd av stubbskörd?

Egnell, G., Jurevics, A., Peichl, M., 2015. Negative effects of stem and stump harvest and deep soil cultivation on the soil carbon and nitrogen pools are mitigated by enhanced tree growth. *Forest Ecology and Management*, 338, 57-67.

Egnell, G. 2016. Effects of slash and stump harvesting after final felling on stand and site productivity in Scots pine and Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, 371, 42-49

Eliasson, P., Svensson, M., Olsson, M., Ågren, G.I. 2013. Forest carbon balances at the landscape scale investigated with the Q model and the CoupModel – responses to intensified harvests. *Forest Ecology and Management*, 290, 67-78.

Hyvönen, R., Kaarakka, L., Leppälammil-Kujansuu, J., Olsson, B.A., Palviainen, M., Vegerfors, B., Helmisaari H-S. 2016. Effects of stump harvesting on soil C and N stores and vegetation 8-13 years after clear-cutting. *Forest Ecology and Management*, 371, 23-32.

Jurevics, A., Peichl, M., Olsson, B.A., Strömgren, M., Egnell, G. 2016. Slash and stump harvest have no general impact on soil and tree biomass C pools after 32 – 39 years. *Forest Ecology and Management*, 371, 33-41.

Melin, Y., Petersson, H., Nordfjell, T. 2009. Decomposition of stump and root systems of Norway spruce in Sweden – A modelling approach. *Forest Ecology and Management*, 257, 1445-1451.

Olsson, B.A., Strömgren, M. 2016. Effekter av stubb- och grotuttag på markens kol- och näringsförråd. Slutrapport till Energimyndigheten, p35245-1, 14 s.

Persson, T., Lenoir, L., Vegerfors, B. 2017. Long-term effects of stump harvesting and site preparation on pools and fluxes of soil carbon and nitrogen in central Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, i tryck.

Strömgren, M., Egnell, G., Olsson, B.A., 2013. Carbon stocks in four forest stands in Sweden 25 years after harvesting of slash and stumps. *Forest Ecology and Management*, 290, 59-66.

Strömgren, M., Mjöfors, K., Olsson, B.A. 2017. Soil-surface CO₂ flux during the first two years after stump harvesting and site preparation in fourteen Swedish forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, i tryck.

Örlander, G., Nordborg, F., Gemmel, P. 2002. Effects of complete deep-soil cultivation on initial forest stand development. *Studia Forestalia Suecica* 20.

Stubbskörd och markens koldioxidbalans

Grelle, A., Strömgren, M. and Hyvönen, R., 2012. Carbon balance of a forest ecosystem after stump harvest. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(8): 762-773.

Mjöfors, K., Strömgren, M., Nohrstedt, H.-Ö. and Gärdenäs, A., 2015. Impact of site-preparation on soil-surface CO₂ fluxes and litter decomposition in a clear-cut in Sweden, 49.

Strömgren, M. and Mjöfors, K., 2012. Soil-CO₂ flux after patch scarification, harrowing and stump harvest in a hemi-boreal forest. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(8): 754-761.

Strömgren, M., Mjöfors, K., Holmström, B. and Grelle, A., 2012. Soil CO₂ Flux During the First Years After Stump Harvesting in Two Swedish Forests. *Silva Fennica*, 46(1): 67-79.

Strömgren, M., Mjöfors, K., Olsson, B., 2016. Soil-surface CO₂ flux during the first two years after stump harvesting and site preparation in fourteen Swedish forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 00, 000-000.

Hur påverkas lustgas- och metanavgivning av stubbskörd?

Borken, W. och Beese, F. 2005. Control of nitrous oxide emissions in European beech, Norway spruce and Scots pine forests. *Biogeochemistry*, 76:141-159.

Crill, P.M. 1991. Seasonal patterns of methane uptake and carbon dioxide release by a temperate woodland soil. *Global Biogeochem. Cycles*, 5, 319-334.

Keller, M., Weitz, A.M., Bryan, B. et al. 2000. Soil-atmosphere nitrogen oxide fluxes: effects of root disturbance. *Journal of Geophysical Research*, 105:17693-17698.

Kähkönen, M.A., Wittmann, C., Ilvesniemi, H., Westman, C.J. and Salkinoja-Salonen, M.S. 2002. Mineralization of detritus and oxidation of methane in acid boreal coniferous forest soils: seasonal and vertical distribution and effects of clear-cut. *Soil Biology and Biochemistry* 34, 1191-2000.

Matson, P.A., Vitousek, P.M., Livingston, G.P. et al. 1990. Sources of variation in nitrous oxide flux from Amazonian ecosystems. *Journal of Geophysical Research*, 95:16789-16798.

Stuedler, P.A., Bowden, R.D., Melillo, J.M. and Aber, J.D. 1989. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. *Nature*, 341, 314-316.

Strömgren, M., Hedwall, P.-O., Olsson, B.A., 2016. Effects of stump harvest and site preparation on N₂O and CH₄ emissions from boreal forest soils after clear-cutting. *For. Ecol. Manage.* 371, 15-22.

Kvävemineralisering och kväveutlakning efter stubbskörd

Bergholm, J., Olsson, B.A., Vegerfors, B., Persson, T., 2015. Nitrogen fluxes after clear-cutting. Ground vegetation uptake and stump/root immobilisation reduce N leaching after experimental liming, acidification and N fertilisation. *For. Ecol. Manage.* 342, 64-75.

Katja-aho, S., Smolander, A., Fritze, H., Norrgård, S., Haimi, J., 2012. Responses of soil carbon and nitrogen transformations to stump removal. *Silva Fennica* 46, 169-179.

Palviainen, M., Finér, L., 2015. Decomposition and nutrient release from Norway spruce coarse roots and stumps – A 40-year chronosequence study. *For. Ecol. Manage.* 358, 1-11.

Palviainen, M., Finér, L., Laiho, R., Shorohova E., Kapitsa, E., Vanha-Majamaa, I., 2010. Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. *For. Ecol. Manage.* 259, 390-398.

Persson, T., Lenoir, L., Vegerfors, B., 2016 (inskickad). 2017. Long-term effects of stump harvesting and site preparation on pools and fluxes of soil carbon and nitrogen in central Sweden. *Scand. J. For. Res.* 00, 000-000.

Rudebeck, A., Persson, T., 1998. Nitrification in organic and mineral soil layers in coniferous forests in response to acidity. *Environmental Pollution* 102, 377-383.

Staaf, H., Olsson, B.A., 1994. Effects of slash removal and stump harvesting on soil water chemistry in a clearcutting in SW Sweden. *Scand. J. For. Res.* 9, 305-310.

Stubbskördens bidrag till kvicksilver i sjöar och vattendrag

Bishop, K., Allan, C., Bringmark, L., Garcia, E., Hellsten, S., Högbom, L., Johansson, K., Lomander, A., Meili, M., Munthe, J., Nilsson, M., Porvari, P., Skyllberg, U., Sørensen, R., Zetterberg, T. & Åkerblom, S. 2009. The effects of forestry on Hg bioaccumulation in nemoral/boreal waters and recommendations for good silvicultural practice. *Ambio* 38(7): 373-380.

Eklöf, K.; Kraus, A.; Weyhenmeyer, G. A.; Meili, M.; Bishop, K. 2012. Forestry influence by stump harvest and site preparation on methylmercury, total mercury and other stream water chemistry parameters across a boreal landscape. *Ecosystems* 15, (8), 1308-1320.

Eklöf, K.; Lidskog, R.; Bishop, K. Managing Swedish forestry's impact on mercury in fish: Defining the impact and mitigation measures In press in *Ambio*.

Eklöf, K.; Meili, M.; Åkerblom, S.; von Brömssen, C.; Bishop, K. 2013. Impact of stump harvest on run-off concentrations of total mercury and methylmercury. *Forest Ecology and Management*, 290, 83-94.

Eklöf, K.; Schelker, J.; Sørensen, R.; Meili, M.; Laudon, H.; von Brömssen, C.; Bishop, K. 2014. Impact of Forestry on Total and Methyl-Mercury in Surface Waters: Distinguishing Effects of Logging and Site Preparation. *Environmental Science & Technology* 48, (9), 4690-4698.

Effekter på föryngring, trädtilväxt och markvegetation

Cleary, M.R., Arhipova, N., Morrison, D.J., Thomsen, I.M., Sturrock, R.N., Vasaitis, R., Gaitnieks, T., Stenlid, J., 2013. Stump removal to control root disease in Canada and Scandinavia: A synthesis of results from long-term trials. *Forest Ecology and Management* 290, 5-14.

Egnell, G. 2016. Site and species specific effects of slash and stump harvest in final felling on future stand and site productivity in Scots pine and Norway spruce. Manuscript submitted to *Forest Ecology and Management*, special issue on stump harvest.

Hellsten, S., Helmisaari, H.-S., Melin, Y., Skovsgaard, J.P., Kaakinen, S., Kukkola, M., Saarsalmi, A., Petersson, H., Akselsson, C., 2013. Nutrient concentrations in stumps and coarse roots of Norway spruce, Scots pine and silver birch in Sweden, Finland and Denmark. *Forest Ecology and Management* 290, 40-48.

Kardell, L., 2008. Stubbrytning och schaktning – Skogsenergiförsöken i Vindeln 1979-2004. In, SLU, Institutionen för skoglig landskapsvård, Rapport 102, pp. 0-126.

Karlsson, K., Tamminen, P., 2013. Long-term effects of stump harvesting on soil properties and tree growth in Scots pine and Norway spruce stands. *Scand. J. Forest Res.* 28, 550-558.

Katja-aho, S., Smolander, A., Fritze, H., Norrgard, S., Haimi, J., 2012. Responses of Soil Carbon and Nitrogen Transformations to Stump Removal. *Silva Fenn.* 46, 169-179.

Mjöfors, K., Strömberg, M., Nohrstedt, H.O., Gärdenäs, A.I., 2015. Impact of site-preparation on soil-surface CO₂ fluxes and litter decomposition in a clear-cut in Sweden. *Silva Fenn.* 49, <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1403>.

Rahman, A., Viiri, H., Pelkonen, P., Khanam, T., 2015. Have stump piles any effect on the pine weevil (*Hyllobius abietis* L.) incidence and seedling damage? *Global Ecology and Conservation* 3, 424-432.

Uri, V., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Kukumaegi, M., Ligi, K., Paern, L., Kanal, A., 2015. Biomass resource and environmental effects of Norway spruce (*Picea abies*) stump harvesting: An Estonian case study. *Forest Ecology and Management* 335, 207-215.

Hög artmångfald i granstubbar

Caruso, A., Rudolphi, J. 2009. Influence of substrate age and quality on species diversity of lichens and bryophytes on stumps. *The Bryologist* 112, 520-531.

Caruso, A., Rudolphi, J., Rydin, H. 2011. Positive edge effects on forest-interior cryptogams in clear-cuts. *PLoS ONE* 6(11), e27936.

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.

Hjältén, J., Stenbacka, F., Andersson, J. 2010. Saproxylic beetle assemblages on low stumps, high stumps and logs: Implications for environmental effects of stump harvesting. *For. Ecol. Manage.* 260, 1149-1155.

Jonsell, M., Hansson, J. 2011. Logs and stumps in clearcuts support similar saproxylic beetle diversity: implications for bioenergy harvest. *Silva Fennica* 45(5), 1053-1064.

Jonsell, M., Schroeder, M. 2014. Proportions of saproxylic beetle populations that utilise clear-cut stumps in a boreal landscape – biodiversity implications for stump harvest. *For. Ecol. Manage.* 334, 313-320.

Kubart, A., Vasaitis, R., Stenlid, J., Dahlberg, A. 2016. Fungal communities in Norway spruce stumps along a latitudinal gradient in Sweden. *For. Ecol. Manage.* 371, 50-58.

Ols, C., Victorsson, J., Jonsell, M. 2013. Saproxylic insect fauna in stumps on wet and dry soil: Implications for stump harvest 290, 15-21.

Persson, T., Lenoir, L., Malmström, A., Taylor, A. 2011. Är murkna stubbar hotspots för skogens biologiska mångfald? Slutrapport P 30475-1 till Energimyndigheten.

Persson, T., Lenoir, L., Vegerfors, B. 2013. Which macroarthropods prefer tree stumps over soil and litter substrates? *For. Ecol. Manage.* 290, 30-39.

Svensson, M. 2013. Occurrence patterns of dead wood and wood-dependent lichens in managed boreal forest landscapes.

Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Doctoral Thesis No. 2013:84.

Svensson, M., Dahlberg, A., Ranius, T., Thor, G. 2013. Occurrence patterns of lichens on stumps in young managed forests. *PLoS ONE* 8(4), e62825.

Svensson, M., Johansson, V., Dahlberg, A., Frisch, A., Thor, G., Ranius, T. 2016. The relative importance of stand and dead wood types for wood-dependent lichens in managed boreal forests. *Fungal Ecology* 20, 166-174.

Victorsson, J. 2016. Landscape level effects of stump extraction. Are there threshold effects for saproxylic insects? Slutrapport P 36068-1 till Energimyndigheten.

Victorsson, J., Jonsell, M. 2013a. Effects of stump extraction on saproxylic beetle diversity in Swedish clear-cuts. *Insect Conservation and Diversity* 6, 483-493.

Victorsson, J., Jonsell, M. 2013b. Ecological traps and habitat loss, stump extraction and its effects on saproxylic beetles. *For. Ecol. Manage.* 290, 22-29.

Victorsson, J., Jonsell, M. 2016. Overlooked subterranean saproxylic beetle diversity in clear-cut stumps and its implications for stump extraction. *For. Ecol. Manage.* 371, 59-66.

Work, T., Andersson, J., Ranius, T., Hjältén, J. 2016. Defining stump harvesting retention targets required to maintain saproxylic beetle biodiversity. *For. Ecol. Manage.* 371, 90-102.

Stubbskörd och biologisk mångfald

Caruso, A., Rudolphi, J. 2009. Influence of substrate age and quality on species diversity of lichens and bryophytes on stumps. *The Bryologist* 112, 520-531.

Hiron, M., Jonsell, M., Kubart, A., Dahlberg, A., Johansson, V., Schroeder, M. m fl under prep. The consequences of biofuel harvest in managed forests for the landscape-level population changes for beetles, fungi and lichens.

Johansson, V., Felton, A. and Ranius, T. 2016 Long-term landscape scale effects of bioenergy extraction on dead wood-dependent species. *For. Ecol. Manage.*, 371, 103-113.

Jonsell, M., Berglund, H., Caruso, A., Rudolphi, J., Svensson, M., Taylor, A. m fl 2013 Stubbrytningens effekter på vedlevande mångfald. Fakta skog, 2013, 7.

Jonsell, M. and Schroeder, L.M. 2014 Proportions of saproxylic beetle populations that utilise clear-cut stumps in a boreal landscape – Biodiversity implications for stump harvest. *For. Ecol. Manage.*, 334, 313-320.

Katja-aho, S., Hannonen, P., Liukkonen, T., Rosten, H., Koivula, M.J., Koponen, S., Haimi, J., 2016. The arthropod community of boreal Norway spruce forests responds variably to stump harvesting. *For. Ecol. Manage.*, 371, 75-83.

Kubart, A., Vasaitis, R., Stenlid, J. and Dahlberg, A. 2016 Fungal communities in Norway spruce stumps along a latitudinal gradient in Sweden *For. Ecol. Manage.*, 371, 50-58.

Ols, C., Victorsson, J. and Jonsell, M. 2013 Saproxylic insect fauna in stumps on wet and dry soil: Implications for stump harvest. *For. Ecol. Manage.*, 290, 15-21.

Svensson, M., Johansson, V., Dahlberg, A., Frisch, A., Thor, G. and Ranius, T. 2016 The relative importance of stand and dead wood types for wood-dependent lichens in managed boreal forests. *Fungal Ecology*, 20, 166-174.

Taylor, A.R. and Victorsson, J. 2016 Short-term effects of stump harvesting on millipedes and centipedes on coniferous tree stumps *For. Ecol. Manage.*, 371, 67-74.

Victorsson, J. and Jonsell, M. 2013 Ecological traps and habitat loss, stump extraction and its effects on saproxylic beetles. *For. Ecol. Manage.*, 290, 22-29.

Victorsson, J. and Jonsell, M. 2013 Effects of stump extraction on saproxylic beetle diversity in Swedish clear-cuts. *Insect Conservation and Diversity*, 6, 483-493.

Victorsson, J. and Jonsell, M. 2016 Overlooked subterranean saproxylic beetle diversity in clear-cut stumps and its implications for stump extraction *For. Ecol. Manage.*, 371, 59-66.

Work, T.T., Andersson, J., Ranius, T. and Hjältén, J. 2016 Defining stump harvesting retention targets required to maintain saproxylic beetle biodiversity *For. Ecol. Manage.*, 371, 90-102.

Hur påverkas naturhänsynen av grot- och stubbskörd?

Dynesius, M., Gibb, H., Hjältén, J., 2010. Surface covering of downed logs: drivers of a neglected process in dead wood ecology. *PLoS one* 5, e13237.

Gustafsson, L., Baker, S.C., Bauhus, J., Beese, W.J., Brodie, A., Kouki, J., Neyland, M., Palik, B., Sverdrup-Thygeson, A., Volney, W., others, 2012. Retention forestry to maintain multifunctional forests: a world perspective. *BioScience* 62.

Gustafsson, L., Weslien, J.-O., 2004. Skogsbränsleuttagets påverkan på naturhänsynen – en analys av nuläget P12779-1 (Slutrapport). Energimyndigheten.

Hottola, J., Siitonen, J., 2008. Significance of woodland key habitats for polypore diversity and red-listed species in boreal forests. *Biodiversity and Conservation* 17, 2559–2577.

Lindenmayer, D.B., Franklin, J.F., Löhmus, A., Baker, S.C., Bauhus, J., Beese, W., Brodie, A., Kiehl, B., Kouki, J., Pastur, G.M., others, 2012. A major shift to the retention approach for forestry can help resolve some global forest sustainability issues. *Conservation Letters* 5, 421–431.

Löfgren, S., Ring, E., von Brömssen, C., Sörensen, R., Högbom, L., 2009. Short-term effects of clear-cutting on the water chemistry of two boreal streams in northern Sweden: A paired catchment study. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 38, 347–356.

Pitkänen, A., Törmänen, K., Kouki, J., Järvinen, E., Viiri, H., 2006. Effects of green tree retention, prescribed burning and soil treatment on pine weevil (*Hyllobius abietis* and *Hyllobius pinastri*) damage to planted Scots pine seedlings. *Agricultural and Forest Entomology* 8, 1–12.

Rudolphi, J., Gustafsson, L., 2005. Effects of forest-fuel harvesting on the amount of deadwood on clear-cuts. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20, 235–242.

Spribile, T., Thor, G., Bunnell, F.L., Goward, T., Björk, C.R., 2008. Lichens on dead wood: species-substrate relationships in the epiphytic lichen floras of the Pacific Northwest and Fennoscandia. *Ecography* 31, 741–750.

Sverdrup-Thygeson, A., Ims, R.A., 2002. The effect of forest clearcutting in Norway on the community of saproxylic beetles on aspen. *Biological Conservation* 106, 347–357.

Tönnes, S., Karjalainen, E., Löfström, I., Neuvonen, M., 2004. Scenic Impacts of Retention Trees in Clear-cutting Areas. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19, 348–357.

Det går att kompensera för biobränsleuttag genom att ställa fler högstubbar

Hjältén, J., Stenbacka, F & Andersson, J. (2010) Saproxylic beetle assemblages on low stumps, high stumps and logs: Implications for environmental effects of stumps harvesting. *Forest Ecology and Management* 260: 1149-1155.

McKenny, B.A. & Kieseckar, J.M. (2010) Policy development for biodiversity offsets: a review of offset frameworks. *Environmental Management* 45: 165-176.

Ranius, T., Caruso, A., Jonsell, M., Juutinen, A., Thor, G., Rudolphi, J. (2014) Dead wood creation to compensate for habitat loss from intensive forestry. *Biological Conservation* 169: 277-284.

Slutsatser om stubbskördens miljöeffekter

Andersson, J., Dynesius, M., Hjältén, J. 2017. Short-term response to stump harvesting by the ground flora in boreal clear-cuts. *Scand. J. For. Res.* 00:000-000.

Ågren, G.I., Hyvönen, R., Nilsson, T., 2008. Are Swedish forest soils sinks or sources for CO₂ – model analyses based on forest inventory data? *Biogeochemistry* 89, 139–149.

Cleary MR, Arhipova N, Morrison DJ, Thomsen IM, Sturrock RN, Vasaitis R, Gaitnieks T, Stenlid J 2013. Stump removal to control root disease in Canada and Scandinavia: A synthesis of results from long-term trials. *For. Ecol. Manage.* 290, 5-14.

Egnell, G., 2016. Effects of slash and stump harvesting after final felling on stand and site productivity in Scots pine and Norway spruce. *For. Ecol. Manage.* 371, 42-49.

Eklöf, K., Garcia, A., Bertilsson, S., Löfvenius, P., Björn, E., Skyllberg, U., Bishop, K., 2017. Stubbskördens bidrag till kvicksilver i sjöar och vattendrag. Denna rapport.

Hyvönen, R., Kaarakka, L., Leppälampi-Kujansuu, J., Olsson, B.A., Palviainen, M., Vegerfors-Persson, B., Helmisaari, H.-S., 2016. Effects of stump harvesting on soil C and N stocks and vegetation 8-13 years after clear-cutting. *For. Ecol. Manage.* 371, 23-32.

Johansson, V., Felton, A., Ranius, T., 2016. Long-term landscape scale effects of bioenergy extraction on dead wood-dependent species. *For. Ecol. Manage.* 371, 103-113.

Jurevics, A., Peichl, M., Olsson, B.A., Strömngren, M., Egnell, G., 2016. Slash and stump harvest have no general impact on soil and tree biomass C pools after 32-39 years. *For. Ecol. Manage.* 371, 33-41.

Kardell, L. 2010. Skogsenergiförsöken 1977-2008. Stubbrytningens m m effekter på markvegetation och skogsproduktion. Rapport 111. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård, 112 sid.

Kataja-aho, S., Hannonen, P., Liukkonen, T., Rosten, H., Koivula, M.J., Koponen, S., Haimi, J., 2016. The arthropod community of

boreal Norway spruce forests responds variably to stump harvesting. *For. Ecol. Manage.* 371, 75-83.

Kubart, A., Vasaitis, R., Stenlid, J., Dahlberg, A., 2016. Fungal communities in Norway spruce stumps along a latitudinal gradient in Sweden. *For. Ecol. Manage.* 371, 50-58.

Melin, Y., Petersson, H., Nordfjell, T., 2009. Decomposition of stump and root systems of Norway spruce in Sweden – a modelling approach. *For. Ecol. Manage.* 257, 1445–1451.

Ortiz, C.A., Hammar, T., Ahlgren, S., Hansson, P.-A., Stendahl, J., 2016. Time-dependent global warming impact of tree stump bioenergy in Sweden. *For. Ecol. Manage.* 371, 5-14.

Palviainen, M., Finér, L., 2015. Decomposition and nutrient release from Norway spruce coarse roots and stumps – A 40-year chronosequence study. *For. Ecol. Manage.* 358, 1–11. doi:10.1016/j.foreco.2015.08.036

Persson, T., Lenoir, L., Malmström, A., Taylor, A., 2011. Är murkna stubbar hot-spots för skogens biologiska mångfald? Slutrapport P 30475-1 till Energimyndigheten.

Persson, T., Lenoir, L., Vegerfors, B., 2013. Which macroarthropods prefer tree stumps over soil and litter substrates? *For. Ecol. Manage.* 290, 30-39.

Repo, A., Tuovinen, J.P., Liski, J., 2015. Can we produce carbon and climate neutral forest bioenergy? *Glob. Change Biol. Bioenerg.* 7, 253-262.

Rudolphi, J., Strömgren, J., 2016. No support for long-term effects of commercial tree stump harvest on understory vegetation. *For. Ecol. Manage.* 371, 84-89.

Strömgren, M., Hedwall, P.-O., Olsson, B.A., 2016. Effects of stump harvest and site preparation on N₂O and CH₄ emissions from boreal forest soils after clear-cutting. *For. Ecol. Manage.* 371, 15-22.

Taylor, A., Victorsson, J., 2016. Short-term effects of stump harvesting on millipedes and centipedes on coniferous tree stumps. *For. Ecol. Manage.* 371, 67-74.

Vasaitis R, Stenlid J, Thomsen IM, Barklund P, Dahlberg A 2008. Stump removal to control root rot in forest stands. A literature study. *Silva Fenn.* 42(3), 457–483.

Victorsson, J., Jonsell, M., 2016. Overlooked subterranean saproxylic beetle diversity in clear-cut stumps and its implications for stump extraction. *For. Ecol. Manage.* 371, 59-66.

Walmsley, J.D., Godbold, D.L., 2010. Stump harvesting for bioenergy – a review of the environmental impacts. *Forestry* 83, 17-38.

Work, T.T., Andersson, J., Ranius, T., Hjältén, J., 2016. Defining stump harvesting retention targets required to maintain saproxylic beetle biodiversity. *For. Ecol. Manage.* 371, 90-102.

Adresslista

Namn	Adress	E-post
Marie Appelstrand	Lunds universitet, Inst för handelsrätt, Box 7080, 220 07 Lund	marie.appelstrand@har.lu.se
Pär Aronsson	SLU, Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap, kansli, Box 7082, 750 07 Uppsala	par.aronsson@slu.se
Stefan Bertilsson	Uppsala universitet, Inst för ekologi och genetik, Norbyv. 18 D, 752 36 Uppsala	stebe@ebc.uu.se
Kevin Bishop	SLU, Inst för vatten och miljö, Box 7050, 750 07 Uppsala	kevin.bishop@slu.se
Erik Björn	Umeå universitet, Kemiska institutionen, 901 87 Umeå	erik.bjorn@umu.se
Anders Dahlberg	SLU, Inst för skoglig mykologi och växtpatologi, Box 7026, 750 07 Uppsala	anders.dahlberg@slu.se
Hans Djurberg	SCA, Box 200, 101 23 Stockholm	hans.djurberg@sca.com
Gustaf Egnell	SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel, Skogsmarksgränd, 901 83 Umeå	gustaf.egnell@slu.se
Pär Forslund	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	par.forslund@slu.se
Michael Freeman	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	michael.freeman@slu.se
Karin Fällman	Sveaskog, Stab skogsbruk och miljö, 105 22 Stockholm	karin.fallman@sveaskog.se
Andrea Garcia Bravo	Uppsala universitet, Inst för ekologi och genetik, Norbyv. 18 D, 752 36 Uppsala	andrea.garcia@ebc.uu.se
Karin Gerhardt	SLU, Centrum för biologisk mångfald, Box 7016, 750 07 Uppsala	karin.gerhardt@slu.se
Achim Grelle	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	achim.grelle@slu.se
Lena Gustafsson	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	lena.gustafsson@slu.se
David Hadden	SLU, Inst. för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	david.hadden@slu.se
Torun Hammar	SLU, Inst för energi och teknik, Box 7032, 750 07 Uppsala	torun.hammar@slu.se
Per-Anders Hansson	SLU, Inst för energi och teknik, Box 7032, 750 07 Uppsala	per-anders.hansson@slu.se
Joakim Hjältén	SLU, Inst för vilt, fisk och miljö, Skogsmarksgränd, 901 83 Umeå	joakim.hjalten@slu.se
Riitta Hyvönen	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	riitta.hyvonen@slu.se
Victor Johansson	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	victor.johansson@slu.se
Johnny de Jong	SLU, Centrum för biologisk mångfald, Box 7016, 750 07 Uppsala	johnny.de.jong@slu.se

Mats Jonsell	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	mats.jonsell@slu.se
Stig Larsson	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	stig.larsson@slu.se
Lisette Lenoir	Brunnvalla 401, 740 45 Tärsjö	brunnvalla.biservice@gmail.com
Cajsa Lithell	RedCap Design, Kungsgatan 16, 753 32 Uppsala	cajsa.lithell@redcapdesign.com
Anders Lindroth	Lunds universitet, Inst för naturgeografi och ekosystemvetenskap, 223 62 Lund	anders.lindroth@nateko.lu.se
Anna Lundborg	Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna	anna.lundborg@energimyndigheten.se
Pernilla Löfvenius	Enheten för skoglig fältforskning, Vindelns försöksparker, 922 91 Vindeln	pernilla.lofvenius@slu.se
Anna Malmström	Skogen i skolan, Föreningen Skogen, Box 1159, 118 81 Stockholm	info@skogeniskolan.se
Kristina Mjöfors	SLU, Inst för mark och miljö, Box 7014, 750 07 Uppsala	kristina.mjofors@slu.se
Bengt A Olsson	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	bengt.olsson@slu.se
Carina Ortiz	SCB, Regioner och miljö, Box 24300, 104 51 Stockholm	carina.ortiz@scb.se
Carl Henrik Palmér	Areca Information, Kragsta 314, 741 91 Knivsta	chp@areca.se
Tryggve Persson	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	tryggve.persson@slu.se
Thomas Ranius	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	thomas.ranius@slu.se
Jörgen Rudolphi	SLU, Inst för vilt, fisk och miljö, Skogsmarksgränd, 901 83 Umeå	jorgen.rudolphi@slu.se
Ulf Skyllberg	SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel, Skogsmarksgränd, 901 83 Umeå	ulf.skyllberg@slu.se
Jenny Stendahl	Skogsstyrelsen, Uppsala-Västmanlands distrikt, Box 1350, 751 43 Uppsala	jenny.stendahl@skogsstyrelsen.se
Johan Stendahl	SLU, Inst för mark och miljö; Skoglig biogeokemi, Box 7014, 750 07 Uppsala	johan.stendahl@slu.se
Monika Strömgren	SLU, Inst för mark och miljö; Skoglig biogeokemi, Box 7014, 750 07 Uppsala	monika.stromgren@slu.se
Måns Svensson	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	mans.svensson@slu.se
Astrid Taylor	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	astrid.taylor@slu.se
Patrik Vestin	Lunds universitet, Inst för naturgeografi och ekosystemvetenskap, 223 62 Lund	patrik.vestin@nateko.lu.se
Jonas Victorsson	SLU, Inst för ekologi, Box 7044, 750 07 Uppsala	jonas.victorsson@slu.se
Henrik von Hofsten	Skogforsk, Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala	henrik.vonhofsten@skogforsk.se