

Examensarbete INES nr 314

# Stubbrytningens klimatpåverkan

En studie av stubbrytningens kortsiktiga effekter på koldioxidbalansen i boreal barrskog

**Maja Jensen**

---

2014  
Institutionen för  
Naturgeografi och Ekosystemvetenskap  
Lunds Universitet  
Sölvegatan 12  
S-223 62 Lund



# **Stubbrytningens klimatpåverkan**

En studie av stubbrytningens kortsiktiga effekter på  
koldioxidbalansen i boreal barrskog

**Maja Jensen, 2014**

Kandidatuppsats 15 hp vid Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap  
Lunds Universitet

Handledare: Harry Lankreijer

## Förord

Detta arbete kom till, mycket tack vare Patrik Vestin på INES vägledning och tillhandahållande av data från flödesmätningar från undersökningsområdet i Norunda. Jag vill därför tacka honom särskilt för all tid han har lagt ned på att hjälpa mig. Jag skulle även vilja tacka Fredrik Lagergren för råd om vilka biomassa- och nedbrytningsfunktioner som var lämpliga, och Ludvig Forslund för hans hjälp med GCC-analysen. Dessutom skickar jag ett tack till min handledare Harry Lankreijer för god handledning som har hjälpt mig att strukturera arbetet och resultatet.

## Abstract

Harvesting stumps for biofuel purposes has the potential to reduce the amount of fossil fuel that we use. The climate gain from exchanging fossil- for biofuel can however be offset if the harvesting technique results in higher decomposition rates. Stump extraction causes a significant disturbance of the soil that could result in a net CO<sub>2</sub> efflux from increased decomposition. The aim of this study was to determine whether or not stump harvesting can be considered climate neutral in terms of CO<sub>2</sub> emissions in a short term perspective. To do this, NEE (net ecosystem exchange) for three years from two areas in a former coniferous boreal forest in central Sweden was investigated. The reference site was clear felled and site prepared, the control site was clear felled, stump harvested and then site prepared. For comparison, the reduced amount of decomposable substrate on the stump harvested site had to be accounted for. This was achieved by calculating the total amount of stump biomass that was removed and then by modelling respiration from its decay using a negative exponential function. The results indicate no increase in CO<sub>2</sub> emissions from the stump harvested site, on the contrary it was found to be a smaller CO<sub>2</sub> source annually than the reference site. The difference in CO<sub>2</sub> fluxes was however not significant ( $p < 0,05$ ). In conclusion stump harvesting can be considered climate neutral in terms of CO<sub>2</sub> emissions in a short term perspective. The long term effects of stump harvesting are however still unknown.

**Keywords:** *Stump harvest, CO<sub>2</sub>, Sweden, NEE, coniferous, decomposition, boreal*

## Sammanfattning

Att skörda stubbar för att använda som biobränsle kan potentiellt minska användandet av fossila bränslen, men klimatnyttan reduceras om avverkningstekniken skulle visa sig resultera i en ökad nedbrytning. Stubbrytning orsakar en kraftig störning av jorden som skulle kunna leda till ökad nedbrytning och ett ökat koldioxidflöde från marken. Syftet med denna studie är att avgöra huruvida stubbskörd kan anses klimatneutralt i fråga om CO<sub>2</sub>-utsläpp ur ett kortsiktigt perspektiv. För jämförelsen undersöktes två ytors kolbalanser för tre år. Ytorna låg i en tidigare boreal barrskog i Mellansverige. Referensytan var slutavverkad och markberedd, kontrollytan var slutavverkad, stubbskördad och därefter markberedd. De två ytornas kolbalanser var dock inte direkt jämförbara eftersom stubbarna skördats från kontrollytan och mängden nedbrytbart substrat alltså minskat med en betydande mängd. Detta korrigerades genom att beräkna den totala mängden stubbiomassa som skördats för att sedan modellera nedbrytningen med en negativ exponentialfunktion. Den resulterande mängden koldioxid från nedbrytningen adderades till den stubbskördade ytans för analys.

Studien visar inte på några signifikanta ( $p < 0,05$ ) skillnader i koldioxidflöden från stubbskördad mark jämfört med konventionellt slutavverkad mark. Tvärtom visade sig den stubbskördade ytan årligen vara en mindre kolkälla än referensytan under undersökningsperioden. Den störning som stubbrytning utgör verkar således inte vara mer omfattande än den som utgörs av markberedningsåtgärder. Sammanfattningsvis kan stubbrytning anses vara klimatneutralt i fråga om CO<sub>2</sub>-utsläpp ur ett kortsiktigt perspektiv. De långsiktiga effekterna av stubbskörd är dock fortfarande okända.

**Nyckelord:** *Stubbrytning, koldioxid, Sverige, NEE, barrskog, nedbrytning, boreal*



# Innehållsförteckning

1.	Introduktion	1
1.1.	Syfte	1
2.	Stubbrytning, vad är det?	1
3.	Stubbskördens effekter	7
3.1	Kolbalans och växthusgaser	7
3.2	Biodiversitet	8
3.3	Näringsbalans	9
3.4	Försurning och kvicksilvermetylering	9
4.	Teori	11
4.1	Flödesmätningar av koldioxid	11
4.2	Grönhetsindex	12
4.3	Biomassaberäkningar	12
4.4	Stubbars nedbrytningshastighet	12
5.	Metod	15
5.1	Områdesbeskrivning	15
5.2	Brösthöjdsdiameter	15
5.3	Torrsvikt	16
5.4	Nedbrytning	17
5.5	Flödesberäkningar och grönhetsindex	17
6.	Resultat	19
7.	Diskussion	23
7.1	Resultat	23
7.2	Metod	24
7.3	Giltighet och förslag för vidare forskning	25
8.	Slutsats	27
	Referenser	28





# 1. Introduktion

Med anledning av det globala intresset för minskad klimatpåverkan ökar intresset för förnybara energiresurser. Efter Europaparlamentets och rådets direktiv (2009/28/EG) om främjandet av förnybara energikällor antog Sverige 2009 som mål att halva Sveriges energianvändning år 2020 ska komma från förnybara energikällor (Näringsdepartementet 2014). Vatten-, vind- eller solkraft är ofta de första förnybara energikällor man tänker på, men även biobränsle räknas som en förnybar resurs. Biobränsle bidrar inte till växthuseffekten på samma sätt som fossila bränslen eftersom den mängd koldioxid som bildas vid förbränning tas upp av den återväxande vegetationen. Nettoutsläppet antas därför bli noll. Till biobränslen räknas bland andra torv, biologiskt hushållsavfall och trädbränslen. I dagsläget står redan andelen energi från förnybara källor för 51 % varav biobränsle står för 23 % men det finns fortsatta drivkrafter för att öka andelen (Energimyndigheten 2012; Naturvårdsverket 2014). Självklart är allt minskat utsläpp från fossilt bränsle ett steg i rätt riktning för minskad miljöpåverkan, men det är inte bara de rent klimatsmarta skälen som får skogsindustrin att vilja satsa mer på biobränsle. Flera ekonomiska incitament att producera och använda just biobränsle har introducerats. Inom skogsindustrin önskar man därför maximera råvaruuttaget och man har börjat studera de outnyttjade restprodukterna från traditionellt skogsbruk: grenar, toppar (grot) och stubbar, och hoppas att dessa skall kunna vara en del av ett framtida klimatsmart Sverige.

Fokus i den här studien ligger på stubbrytning, alltså skörd av de stubbar som annars lämnas kvar i marken för nedbrytning. Ett intensifierat skogsbruk med stubbskörd får dock viktiga konsekvenser som måste utredas grundligt innan ett storskaligt uttag av restprodukter kan tillåtas. Fördelarna med stubbrytning är bland annat ökad produktion av biobränsle, ökad inkomst för skogsägare, effektiv markberedning och potentiell minskning av svampsjukdomar. De oönskade effekterna innefattar minskad tillförsel av förna, okända effekter på växthusgaser, ökad erosion, ökad markpackning, okänd effekt på produktiviteten och minskad biodiversitet (Walmsley och Godbold 2010).

Stubbrytningens miljöpåverkan är ännu inte fullt utredd (Andersson et al. 2009) och endast ett fåtal studier av stubbrytningens påverkan på kolbalansen har gjorts (de Jong et al. 2012), men forskning pågår på de ekologiska, ekonomiska och klimatologiska följderna på flera områden i Sverige. För att beräkna den eventuella klimatnyttan av stubbrytning ur ett kortsiktigt perspektiv analyseras i den här studien koldioxidbalansen från två slutavverkade skogsytor inom samma studieområde. Studieområdet ligger i Norunda härad nordväst om Uppsala och två ytor, varav den ena stubbskördades 2010, har undersökts i detalj gällande kolbalansen.

## 1.1. Syfte

Studien ämnar bestämma huruvida stubbskörd, eller stubbrytning, kan anses ha en neutral påverkan på koldioxidbalansen i jämförelse med konventionell skörd samt redogöra för viktiga effekter av skördemetoden på ekosystemnivå.

För att göra detta skall koldioxidbalansen från två slutavverkade skogslokaler, varav den ena blivit stubbskördad, studeras och eventuella skillnader analyseras för åren 2010-2012. Dessutom kommer här att sammanställas relevant kunskap kring stubbrytningens effekter på biodiversiteten samt på kol- och näringsbalansen.



## 2. Stubbrytning, vad är det?

Stubbrytning har funnits som avverkningsmetod i Sverige under en lång tid, om än i begränsad omfattning (Egnell et al. 2007). Stubben var först och främst en råvara för tjärtillverkning där tallstubbar som innehöll mycket kåda lämpade sig särskilt väl för tjärframställning. När oljebaserade preparat så småningom tog över tjärans roll som tätningsmedel försvann detta användningsområde. Under 70-talet började man oroa sig för en framtida minskad tillgång på massaved till pappersindustrin och man experimenterade under 80-talet med att skörda stubbar för massaproduktion i stor skala. Resultatet blev inte som man önskat, stubbarna innehöll en för stor del sten och jord, det blev helt enkelt inte lönsamt om man utöver brytningen dessutom skulle behöva rengöra stubbarna.

År 2005 drabbades Sverige och det svenska skogsbruket av stormen Gudrun och omkring 75 miljoner m<sup>3</sup> skog fälldes (Svensson 2006). En stor mängd träd hade fällts med roten och under uppröjningsarbetet valde man på ett flertal hyggen att skörda stubbarna, dels för den ekonomiska potentialen och dels för att underlätta föryngringsarbetet (Andersson et al. 2009), och det är först efter stormen som man har börjat se stubbarna som ett potentiellt värdefullt biobränsle (Andersson et al. 2009).

Stubbar skördas med hjälp av ett aggregat som griper tag om stubben, lyfter upp den och skakar om så att det mesta av jord och stenar ska falla av (se figur 1). Stubben klyvs antingen vid själva brytningen eller strax efter för att gynna torkningen och läggs därefter på hög i väntan på att föras bort av en skotare d.v.s. en transportmaskin. Stubben transporteras därpå till flisning och därefter till förbränning<sup>1</sup>. Oftast räcker inte stubbskörden som markberedningsmetod utan måste kompletteras för att få tillräckligt med yta för återplantering, därför är aggregatet ofta utrustat så att det också kan höglägga eller fläckmarksbereda (Karlsson 2007).

Sedan 1998 skall skogsägaren enligt § 14 Skogsvårdslagen (1979:429) anmäla allt planerat uttag av skogsbränsle, inklusive stubbar, till Skogsstyrelsen. Som mest anmäldes ca 7600 ha för planerat uttag av stubbar under 2010 men antalet har minskat sedan dess (Figur 2). Under 2012 anmäldes 3 360 hektar vilket motsvarar mindre än 2 % av den totala arealen slutavverkad skog i Sverige (Skogsstyrelsen 2013). Det minskade uttaget stämmer tidsmässigt överens med att svenska Forest Stewardship Council (FSC) bestämde att högst 2 500 ha av FSC-certifierad skog får stubbskördas per år.

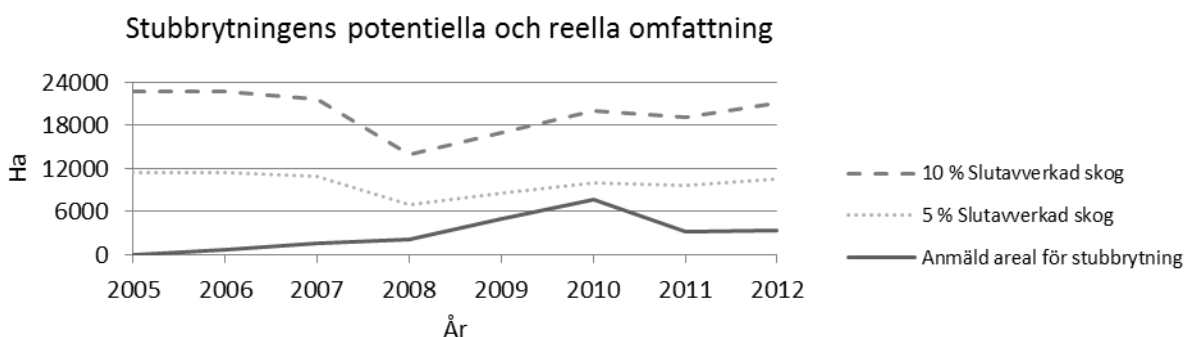


Figur 1 Vid stubbskörd används en maskin med ett särskilt gripaggregat som drar upp stubben ur marken. Stubben skakas sedan för att bli av med en så stor mängd jord och stenar som möjligt. Stubben klyvs sedan antingen vid själva brytningen eller därefter för att sedan läggas på hög för torkning innan den flisas för förbränning. Foto: Patrik Vestin

<sup>1</sup> Personlig kommunikation Patrik Vestin Doktorand Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys, april 2014

I Sverige var över 11 miljoner ha skogsmark FSC-certifierad år 2011 vilket motsvarade drygt hälften av Sveriges produktiva skogsmark (Svenska FSC 2014), så beslutet påverkade naturligtvis praxis i hög grad.

Skogsstyrelsen bedömde i deras kunskapssammanställning från 2009 att om övriga rekommendationer följs så kan 5 till 10 % av den slutavverkade arealen i landet stubbskördas utan att de negativa effekterna blir för stora (Andersson et al. 2009). I figur 2 visas stubbrytningens omfattning sedan 2005 samt på vilken nivå stubbskörden kunde ha legat om uttag skett enligt Skogsstyrelsens rekommendationer. Effekten av en skörd i den rekommenderade omfattningen skulle kunna innebära en energitillförsel på 1,3 – 2,6 TWh per år, motsvarande 1 – 2 % av den totala energimängden från biobränsle i Sverige (Andersson et al. 2009).



Figur 2 Anmäld areal för uttag av stubbar för skogsbränsleproduktion 2005 – 2012 samt nivåerna 5 respektive 10 % av total slutavverkad skog per år som enligt Skogsstyrelsens rekommendationer kan stubbskördas (Skogsstyrelsen 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013) (Andersson et al. 2009)

Den mängd stubbved som kan skördas per hektar, och som nämns i Energimyndighetens sammanställning, är 67 m<sup>3</sup> i Götaland, 44 m<sup>3</sup> i Svealand och 23 m<sup>3</sup> i Norrland (von Hofsten 2006). Då tall och gran har en torrsvikt omkring 400 kg/m<sup>3</sup> (Ljungblom 1996) motsvarar detta 27 ton torrsvikt i Götaland, 18 i Svealand, och 9 i Norrland, men en undersökning från Stadra i Svealand (59°33'N, 14°42'Ö) rapporterade en stubbskörd på hela 38 ton torrsvikt per hektar (Grelle et al. 2012). Även från ett antal försöksområden i Jämtland rapporterades stubbskörden motsvara 38 ton torrsvikt per hektar (Anerud et al. 2012). Ytterligare en undersökning från mellersta och norra Sverige redovisar en skörd på mellan 28 och 54 ton torrsvikt per hektar (Athanasiadis et al. 2011). Sammantaget är det svårt att ange ett medeltal för torrsvikten stubbar som kan skördas per hektar eftersom denna beror på bland annat skogens bonitet, ålder, sammansättningen av trädslag, och dessutom på hur stor andel stubbar som skördas, och vilken minsta diameter som tillåts för stubbskörd.

Energipotentialen i stubbved ligger på 3,8 MWh per ton torrsvikt (Näslund Eriksson och Gustavsson 2008). Tidigare studier har visat på stubbskörspotentialer från 170 – 250 MWh per hektar (Axelsson 2011). Den mängd stubbved som redovisas av von Hofsten ovan skulle resultera i energipotentialer mellan 87,4 och 254,6 MWh per hektar.

Flera politiska styrmedel driver på för en ökad produktion och användning av biobränsle. I och med direktivet för handel med utsläppsrätter (2003/87/EG) finns det ett privat- och nationalekonomiskt intresse av att minska andelen fossilt bränsle eftersom det bara är utsläpp

från fossila bränslen som ”kostar” utsläppsrätter. Ytterligare ett styrmedel menat att öka produktionen av förnybar energi är systemet med elcertifikat som innebär att den som producerar förnybar el tilldelas elcertifikat som sedan kan säljas vidare till exempelvis elleverantörer med en så kallad kvotplikt (Energimyndigheten u.å.). Den privatperson eller det företag som bara använder biobränsle slipper dessutom betala energiskatt enligt § 11 i lagen (SFS 1994:1776) om skatt på energi. Den privatekonomiska potentialen för skogsägaren som drivkraft ska heller inte förringas. Helt plötsligt kan en tidigare förbisedd råvara generera inkomst.



## 3. Stubbskördens effekter

### 3.1 Kolbalans och växthusgaser

När en stubbe skördas förs den ut ur skogen och förbränns på en annan plats. Resultatet blir en initial minskning av koldioxidflödet från den skördade markytan då stubben inte lämnas för nedbrytning, men vid själva skörden störs jorden på ett sätt som kan gynna nedbrytningen. Jorden är det markekosystem som innehåller mest kol (Batjes 2014). Den svenska skogen har dubbelt så mycket kol lagrat i marken som i biomassan (Strömgren 2009). Det är med andra ord en betydande mängd kol som kan komma att påverkas om förutsättningarna för nedbrytning förändras.

Effekten av störningen som stubbrytning medför är inte fullt utredd och de få resultaten är tvetydiga. Dels medför skörden en initial ökning av nedbrytningen av markkol men denna ökning kan kompenseras av en förhöjd produktion och på så vis leda till ett nettoupptag av kol (Örlander et al. 1996). Den kan också, i samband med ökade körskador, leda till att jorden packas hårdare vilket i sin tur skulle leda till mindre markvegetation och på så vis ett nettoutsläpp av koldioxid (de Jong och Lönnberg 2010). I den tidigare nämnda studien av stubbrytningens påverkan på kolbalansen i en skog i Stadra befanns en stubbskördad yta avge mindre koldioxid än den konventionellt skördade under tre år efter skörd. Under det första året var flödet från båda ytorna höga, det steg sedan ytterligare under år två för att sedan sjunka under det sista året i undersökningen. Flödet från ytorna låg på mellan 4 och 5 ton kol per hektar och år (Grelle et al. 2012).

Störningsgraden vid stubbrytning beror på bl.a. jordens egenskaper och på brytningstekniken. Ju större störningsgrad från markberedningen desto större påverkan på markegenskaperna, även om effekten verkar avta med djupet på störningen (Blouin et al. 2005). Dessutom påverkar vilket trädslag som bryts. En gran har grunda men vidsträckt rötter medan en tall har djupare rötter och därför innebär en bruten granstubbe en större störd area än en bruten tallstubbe. Störningen kan liknas vid plöjning av åkermark eller dess motsvarighet i skogen: markberedning (Walmsley och Godbold 2010). Det finns flera olika markberedningsmetoder, till exempel högläggning, hyggesplöjning, harvning och fläckmarksberedning. De syftar till att förbättra förutsättningarna för den planterade återväxten och att minska konkurrensen från annan vegetation. Markberedningsåtgärder innebär en påverkan på jordens syresättning, temperatur och markfuktighet och på så vis en påverkan på nedbrytningskapaciteten. Enligt Mjöfors och Johansson (2010) är stubbskörd jämförbar med hyggesplöjning ur störningssynpunkt. Just hyggesplöjning är förbjudet enligt skogsvårdslagen i Sverige sedan 1994 men effekterna av metoden finns kvar och kan undersökas. En 100 procentig markstörning så som hyggesplöjning, ledde till en långsiktig ökning av återväxttakten för försöksytorna med tallskog i Sverige men de ledde också till förluster av markkol i storleksordningen 6-41 % (Örlander et al. 1996). Undersökningar i USA visade på en förlust av markkol på upp till 53 % tio år efter stubbskörd och markberedning vilket skulle motsvara ett nettoutsläpp av 3,76 ton koldioxid per hektar och år till atmosfären (Hope 2007).

Stubbskörden har mest troligt också konsekvenser för produktionen och upptaget av övriga växthusgaser så som lustgas ( $N_2O$ ) och metan ( $CH_4$ ) men effekterna på dessa är inte väl utredda i dagsläget. Lustgas- precis som metangasproduktion påverkas av markens vattenhalt, temperatur och av tillgången på substrat och då stubbskörd potentiellt kan förändra alla dessa faktorer finns

det ett stort behov av forskning på området. Enligt fortfarande opublicerat material från samma område i Norunda som undersökts i denna studie resulterade både konventionell avverkning och stubbskörd i signifikanta metangasutsläpp. Båda ytorna blev även signifikanta lustgaskällor efter skörden (Vestin et al. 2014).

## 3.2 Biodiversitet

På traditionellt brukad skogsmark utgör de kvarlämnade stubbarna ca 80 % av den grova döda ved som finns tillgänglig (Egnell et al. 2007) och ett stort antal arter lever på död ved. Stubbarna fungerar som skydd, habitat, föda och har många andra funktioner för dessa arter. En intensifierad stubbskörd skulle leda till minskade habitat och ändrade livsförutsättningar. Lavar har stubbar som ett särskilt viktigt habitat (Caruso och Rudolphi 2009) men även svampar, mossor, insekter och fåglar som lever av insekter som bryter ned död ved skulle drabbas av stubbskörden (de Jong et al. 2012).

Flera studier på högstubbar visar att de har en essentiell betydelse för vedlevande skalbaggar (Jonsell et al. 2004; Lindhe och Lindelöw 2004; Hedgren 2007). Färre studier har gjorts på lågstubbar men Hjältén et al. (2010) visar att lågstubbar, som skulle vara aktuella för stubbrytning, har en lika stor artrikedom som högstubbar per andel ved och sammanfattar att lågstubbars betydelse för artrikedomen är synnerligen förbisedd.

Energimyndighetens forskningsprogram inom skogsbränsle och miljö menar att få rödlistade arter är beroende av lågstubbar men det poängteras samtidigt att stubbskörd leder till en homogenisering av hygget och det kommer att påverka flertalet arters förutsättningar (de Jong och Lönnberg 2010). Även Skogsstyrelsens sammanställning av kunskapen kring stubbskörd ger vid handen att effekterna på biodiversiteten kan bli påtagliga. De rekommenderar därför att man lämnar 15 – 25 % av stubbvolymen för att bibehålla biodiversiteten, samt att enbart stubbar från gran och tall skördas eftersom stubbar av andra trädslag har visat sig vara mer centrala habitat för ett större antal arter (Andersson et al. 2009).

Även grotskörd har studerats för dess effekt på olika djur- och växtarter och den har visat sig minska förekomsten av predatorer som spindlar och kortvingar med upp till 50 % (Bengtsson et al. 1998). För svampförekomsten konstaterades att det inte är det fina grottmaterialet som har störst betydelse utan det är den grova döda veden (Allmer 2005) och därför torde stubbrytning ha en negativ effekt även på svampförekomsten.

Rotröta är ett av skogsbrukets största hot och sjukdomen innebär stora kostnader för skogsindustrin varje år (Asiegbu et al. 2005). Rötan orsakas av mycelet som växer i framför allt död ved men som kan sprida sig till levande träd där det bryter ned veden som till följd av detta inte kan användas som virke utan får nedgraderas till massaved eller biobränsle. Flera studier visar på att stubbskörd reducerar rotröta och därmed gynnar återväxten, men effekten beror på brytningstekniken och den mängd ved som lämnas kvar i marken (Bloomberg och Reynolds 1988; Morrison et al. 1988; Thies och Westlind 2005). Enligt den sammanställning av kunskapen om stubbskörd och rotröta som gjort av Vasaitis et al. (2008) är effekten övervägande positiv, även sammanställningen av Cleary et al. (2013) summerar att stubbskörd är en effektiv metod för att minska rotröta. Däremot kommer Walmsley och Gobolds (2010) i deras översikt till slutsatsen att stubbskörd lämnar en så pass stor mängd död ved kvar att sporer ändå kan spridas. De menar därför att stubbskörd inte kan rekommenderas som metod för att minska rotröta.



### 3.3 Näringsbalans

Stubbrytning har även effekter på skogens näringsbalans. När virke förs ut ur skog tas de näringsämnen som är bundna i själva träet, och som annars hade återförts till jorden vid nedbrytningen, ut ur ekosystemet. Därför är det viktigt att inte föra bort mer än vad som hinner vittra från berggrunden eller vad som tillförs manuellt eller via deposition. För tillväxten i svenska skogar är främst kväve följt av fosfor de mest betydelsefulla näringsämnena för tillväxt (de Jong och Lönnberg 2010).

Hellsten et al. (2009) studerade näringsinnehållet i gran-, björk- och tallstubbar från Sverige, Finland och Danmark. Stubbarnas och de grövre rötternas näringsnivå påvisades vara i nivå med stamvedens med högst koncentration i barken. Med minskad rot diameter ökade näringskoncentrationen. Då stubbrytning framförallt rör de grövre rötterna (finrötterna rycks av vid skörd och lämnas i jorden för nedbrytning) borde stubbskörd i teorin inte ha en mer betydande näringspåverkan än enbart stamskörd, förutom att volymen naturligtvis ökar. Skördas däremot även grot, vilket oftast är praktiskt nödvändigt, så blir effekten tydligt märkbar eftersom grot har betydligt högre näringskoncentration än stamved (Andersson et al. 2009).

Även om kväve är det mest begränsande näringsämnet i svenska barrskogar så förekommer det kväveutlakning från skogsmark. Kväveutlakning kan leda till övergödning om det transporteras till sjöar och hav och är därför en riskfaktor (Kronnäs et al. 2012). Slutavverkning leder till att näringsämnen inte längre tas upp av träden och ämnena kan därför ackumuleras i marken. Markvattenhalten spelar då stor roll för kvävebalansen eftersom vissa kväveformer så som ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) och nitratjoner ( $\text{NO}_3^-$ ) är vattenlösliga och kan urlakas med nederbörden (Davis et al. 2012). Få undersökningar har gjort av stubbskördens effekter på kväveutlakning men enstaka försök tyder på framför allt höjda halter av ammonium men även höga nitratvärden under 3-5 år efter stubbskörd (Staaf och Olsson 1994). Enligt en modellering av näringsförhållanden efter stubbskörd konstaterades att metoden ökar risken för kväveförlust från marken under återhämtningstiden innan återväxt (Hyvönen et al. 2012).

### 3.4 Försurning och kvicksilvermetylering

De viktigaste näringsämnena i försurningsproblematiken är de så kallade baskatjonerna, framför allt calcium (Ca), magnesium (Mg) och kalium (K), som i sig är basiska. Skogar, och då främst barrskogar, skapar en naturlig försurning av marken via deras näringsutbyte där en baskatjon som tas upp av roten oftast ersätts av en vätejon till marken. För lövträd som fäller sina blad är detta inte ett problem, men eftersom barrträd behåller näringen i sina barr under långa perioder så töms marken naturligt på baskatjoner (Chapin et al. 2011). En redan sur mark innehåller en stor mängd vätejoner och dessa binder starkare till humuspartiklar än baskatjoner vilket i sin tur innebär att de baskatjoner som inte är kemiskt bundna urlakas vid nederbörd. I första hand leder detta till att sjöar och vattendrag får en tillförsel av näring, men efterhand som mindre näring tillförs marken via nedbrytning urlakas alla baskatjoner och rena vätejoner läcker ut och försurar vattendrag och sjöar (Brimblecombe et al. 2007)

Färre försök har gjorts på effekten av stubbuttag än på uttag av grot men en undersökning av fyra områden i Sverige där man jämförde baskatjonförrådet i humusskiktet och i mineraljorden 25 år efter uttag av stubbar och grot respektive uttag av enbart stubbar visade att den enda signifikanta skillnaden i baskatjonförråd visade sig finnas mellan konventionellt skogsbruk och uttag av både

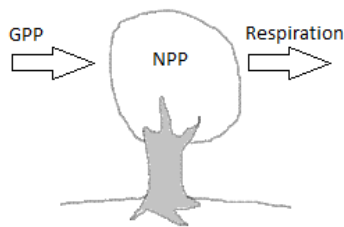
grot och stubbar. Enbart stubbskörd ledde alltså inte till en signifikant minskning av baskatjonförrådet (de Jong och Lönnberg 2010).

Metylkviksilver är en giftig förening mellan metallen kvicksilver och de organiska ämnena kol och väte med den kemiska formeln  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ . Resultatet av metylkvicksilverförgiftning hos människor blev tydligt 1956 i staden Minamata i Japan där föreningen som släppts ut av en kemisk fabrik ledde till allvarliga neurologiska sjukdomar och omkring 1800 döda (Harada 1995). Föreningen kan bildas under anaeroba förhållanden med tillräcklig tillgång på kvicksilver, sulfat och lättillgängligt kol (Bishop et al. 2008). Faran med metylkvicksilver är att den är bioackumulerande och den har i flera studier påvisats öka i vatten i anslutning till avverkad eller störd skogsmark (Garcia och Carignan 1999; Porvari et al. 2003; Munthe och Hultberg 2004; de Jong och Lönnberg 2010). När en skog avverkas stannar avdunstningen upp och grundvattenytan höjs tillfälligt vilket leder till anaeroba förhållanden för nedbrytningen (Ring et al. 2008). Hur just stubbrytning kommer påverka metylkvicksilverhalten är inte fullt utrett men en svensk undersökning av kvicksilverhalten i vatten i anslutning till skogsmark fann ingen signifikant skillnad mellan den stubbskördade ytan, den markberedda och referensytan (Eklöf et al. 2012). Energimyndighetens sammanställning gör dock bedömningen att markstörningen och den potentiella markpackning som stubbrytning innebär troligtvis kan leda till ökad metylering och ökad transport av metylkvicksilver till vattendrag (de Jong och Lönnberg 2010).

## 4. Teori

### 4.1 Flödesmätningar av koldioxid

I den globala kolbalansen tas koldioxid upp av växter via fotosyntesen, och släpps ut till atmosfären via nedbrytning och förbränning. Dött material bryts ned via läckage, fragmentering och slutligen kemisk förändring där den största mängden kol omvandlas till koldioxid genom cellrespiration om det finns tillräcklig tillgång på syre. Vid syrefria förhållande kan kol omvandlas till kolhaltiga spårgaser som metan (Chapin et al. 2011). På grund av ofullständig förbränning, ogynnsamma förhållanden för nedbrytning eller höga halter av svårnedbrytbara kolföreningar som t.ex. humuspartiklar kan kol stanna kvar länge i jorden och jorden kan på så vis fungera som en kolsänka. Flera faktorer påverkar nedbrytningsprocessen; markvattenhalt, temperatur, mark-pH, substratets kvalitet och närvaro av föroreningar är några (Whalen och Sampedro 2010). I de boreala skogarna i Sverige är förhållandena för nedbrytning inte gynnsamma. Barrträdens förna innehåller höga ligninhalter vilket påverkar substratkvaliteten. När det i jämförelse enbart tar timmar eller dagar för sockerarter att brytas ned kan lignin ta flera decennier (Chapin et al. 2011). I de skandinaviska skogarna är det emellertid temperaturen som har visat sig vara den viktigaste faktorn för både respiration och fotosyntetisk kapacitet under största delen av året (Lagergren et al. 2008).



Figur 3 Schematisk förenklad bild av kolbalansen för en enskild växt

Figur 3 visar en förenklad bild av kolbalansen för en enskild växt. Den mängd koldioxid som binds via fotosyntes brukar benämnas GPP (gross primary production) och består av de kolhydrater som bildas i processen. Variabeln mäts i mängd kol som binds över en viss tid. Plantan måste sedan använda en del, omkring 50 %, av GPP direkt i sin cellrespiration för att producera och underhålla biomassa (autotrof respiration). Mängden biomassa som bildas brukar benämnas NPP (net primary production) och består alltså av  $GPP - \text{Autotrof respiration}$  (Chapin et al. 2011).

GPP och NPP gäller för varje enskild växt men det är ofta av intresse att uppskatta kolbalansen för större områden eller hela ekosystem. I denna studie används variabeln NEE (net ecosystem exchange) vilken motsvarar en approximation av koldioxidflödet mellan ekosystem och atmosfären. Ett negativt värde på NEE motsvarar ett koldioxidupptag av ekosystemet. Värt att notera här är att den mängd koldioxid som släpps ut via respiration och som inkluderas i NEE inte enbart kommer från växternas cellrespiration utan även från heterotrofisk respiration, alltså från nedbrytare som djur, bakterier och svampar.

För att uppskatta NEE mäts utbytet av koldioxid mellan ekosystemet och atmosfären kontinuerligt. Detta görs genom samtidiga och högfrekventa mätningar (typiskt 10 Hz) av koldioxidkoncentrationer och vertikal vindhastighet. Gaskoncentrationen mäts med en gasanalysator och vertikal vindhastighet mäts med en sonisk anemometer. De högfrekventa mätningarna medelvärdesbildas sedan över en längre period, vanligtvis 30 minuter nettoflödet av koldioxid från en yta beräknas från kovariansen av avvikelserna från medelvärdet av koldioxidkoncentrationen och vertikala vindkomponenten.

## 4.2 Grönhetsindex

En ytas grönhetsindex mäts med upprepade digitala fotografier. Det är en alternativ metod till att mäta NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) och används bland annat för att fjärranalysera fenologi och för att uppskatta återväxt efter slutavverkning. Metoden innebär en förenkling i det att en digital webkamera med enbart tre våglängdsband kan användas istället för mer avancerade sensorer som registrerar även det infraröda våglängdsbandet. Digitala kameror är lättillgängliga och har dessutom högre upplösning än till exempel satellitbilder och kan därför användas för analys av mindre områden. Alla pixlar har ett värde för varje färg (röd, grön, blå) mellan 1 och 255 och grönhetsindex GCC (Green chromatics coordinates) räknas ut enligt ekvation 1. (Richardson et al. 2007)

$$GCC = \frac{\text{Grönt}}{(\text{Rött} + \text{Grönt} + \text{Blått})} \quad \text{Ekvation 1}$$

GCC används i studien för att stärka analysen av återväxt efter stubbskörd och utfördes enligt metod beskriven av Forslund (2014) som studerat återväxt på samma försöksområde i Norunda.

## 4.3 Biomassaberäkningar

Genom att räkna ut de skördade stubbarnas biomassa kan mängden koldioxid som genereras vid nedbrytningen uppskattas och läggas till kolbalansen för den stubbskördade ytan. En stubbes kan naturligtvis vägas vid skördetillfället men det är då svårt att skilja stubben från jord och stenar som sitter i rotsystemet. Dessutom består veden i stubben till stor del av vatten och för att beräkna nedbrytningen är det vedens torrsvikt som är av intresse.

Det finns flera metoder för att teoretiskt beräkna torrsvikten av biomassa i träds olika delar. Dessa används bland annat för att uppskatta skogens kapacitet som kolsänka, något som varje land som undertecknat Kyotoprotokollet åtagit sig att inkludera i sitt lands kolbudget. I Sverige utvecklade Marklund (1988) funktioner för biomassan i gran, tall och björk genom empiriska studier av förhållandet mellan brösthöjdsdiametern och träddeklars torrsvikt. Hans funktioner för stubbrotssystemet utvecklades sedan av Petersson och Ståhl (2006) till att även innefatta finare rötter ned till 2 mm i diameter. Biomassafunktioner finns dessutom för, bland andra, förhållanden i Finland (Repola 2008, 2009) och för Centraleuropa (Wirth et al. 2004) men i den här studien används funktioner för svenska förhållanden.

Undersökningar av hur väl Marklunds funktioner stämmer överens med verkligheten har utförts och visar att de generellt underskattar torrsvikten av stubb- och rotsystemet med mellan två och 55 % (Anerud et al. 2012).

## 4.4 Stubbars nedbrytningshastighet

Granstubbar i Sverige bryts enligt Melin et al. (2009) ned med en medelhastighet av 4,6 % per år. Hastigheten baseras på empiriskt uppmätta värden från två studieområden i Sverige: Vindeln i Västerbotten (71°33'N; 16°93'Ö) och Asa i Småland (63°38'N; 14°37'Ö). Hastigheten liknar den som uppmättes i sydöstra Norge där nedbrytningshastigheten av granstammar beräknades till 3,3 % per år (Naesset 1999). I södra Finland bestämdes nedbrytningshastigheten till 5,2 % per år och från samma studie finns en uppmätt nedbrytningshastighet för tall på 4,8 % per år (Shorohova et al. 2012). Skillnaden i medelhastigheter för Sverige, Norge och Finland kan bero på en mängd olika faktorer varav skillnader i försöksmetoder är en, men nedbrytningshastigheten är väldigt lokalt beroende. Den påverkas, som beskrivet ovan, av framför allt temperatur men

även av bland annat markfuktighet och näringsinnehåll i substratet, och dessa faktorer varierar stort i landskapet. Samtliga hastigheter består av funktioner som anpassats till empirisk data, de baseras alltså inte på fysikaliska lagar och inkluderar inga påverkande faktorer bortsett från tid. Funktionen för de ovan beskriva nedbrytningshastigheterna beskrivs som:

$$C = C_0 * e^{-\frac{v}{t}} \quad \text{Ekvation 2}$$

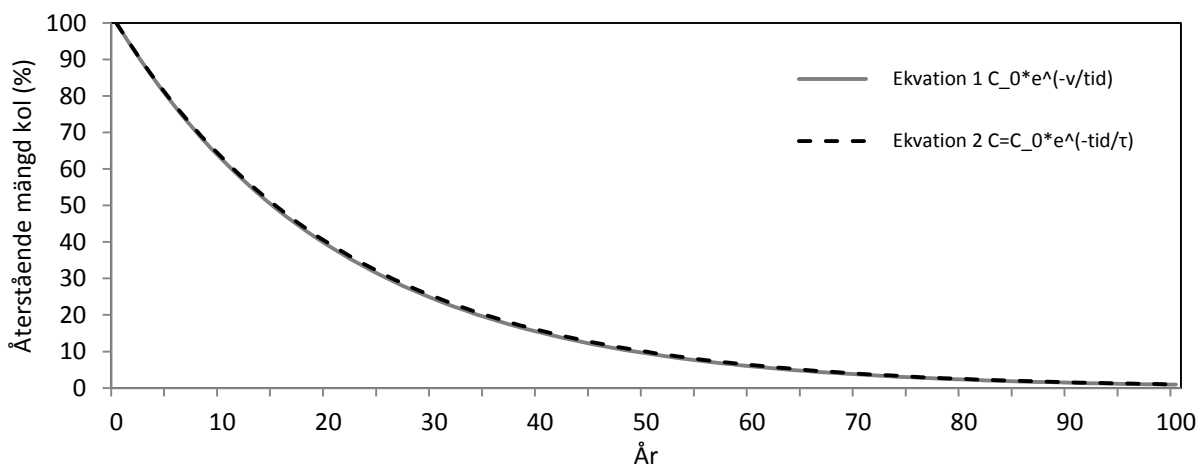
där  $C_0$  är den ursprungliga mängden kol,  $t$  är tid och  $v$  är nedbrytningshastigheten.

Ett alternativt och mer korrekt sätt att beräkna nedbrytningshastigheten är att använda fakta om vedens halveringstid. Halveringstiden beskriver den tid det tar för hälften av en given mängd att sönderfalla och är enligt Melin et al. (2009) 15 år för granved. Funktionen blir även här exponentiellt avtagande och beskrivs allmänt som:

$$C = C_0 * e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{Ekvation 3}$$

där  $C_0$  är den ursprungliga mängden kol,  $t$  är tid och  $\tau$  är tidskonstanten, i det här fallet  $15 \ln(2)$ .

För svenska förhållanden kan alltså både ekvation 1, med Melins nedbrytningshastighet på 4,6 %, och ekvation 2, där halveringstiden inkluderas, användas. Båda funktioner ger liknande resultat över en omloppstid vilket illustreras i figur 4.



Figur 4 Grafen visar två olika sätt att räkna ut hur stor mängd kol som återstår i stubb- och rotsystemet efter en given tid. Ekvation 1 använder Melins nedbrytningshastighet på 4,6 % per år, och Ekvation 2 använder tidskonstanten ( $\tau$ )  $15 \ln(2)$ . Båda funktionerna ger i stort sett samma resultat.



## 5. Metod

### 5.1 Områdesbeskrivning

Studieområdet består av en slutavverkad skogsyta i Norunda härad omkring 3 mil norr om Uppsala (60°5'N, 17°29'Ö, 45 m.ö.h.), se figur 5. Skogen bestod innan avverkningen av blandbarrskog, och utgör del av de boreala skogarnas södra gräns. Marken består av sandig-siltig morän med en hög andel block och stenar. Topografin skiljer sig som mest med 10 meter inom området. Medeltemperaturen låg år 1961-1990 på 5,6° C och medelnederbörden i Uppsala är 527 mm (Lundin et al. 1999).

Studieområdet slutavverkades i början av 2009 och uppdelades i fyra mindre delområden varav yta 1 och 2 markbereddes med högläggning. Yta 3 och 4 stubbskördades i maj 2010 och markbereddes samtidigt också med högläggning. Varje delområde mäter ca 100 meter i diameter och har ett 3 meter högt mättorn centralt placerat på ytan. De fyra delområdena visade sig skilja sig i markfuktighet där yta 1 och 3 var fuktigare än yta 2 och 4. I denna studie används data från de två torrare ytorna 2 och 4.

Yta 4, som stubbskördades, täcktes till 58 % av tall (*Pinus sylvestris*) och till 41 % av gran (*Picea abies*), resten framför allt av björk (*Betula pubescens*). Yta 2 täcktes av till 75 % tall, 25 % gran och < 1 % björk.



Figur 5 Studieområdets placering ca tre mil norr om Uppsala

### 5.2 Brösthöjdsdiameter

För att göra de båda ytornas kolbalanser jämförbara beräknades mängden stubbar som skördats från yta 4. Art, diameter och höjd för stubbarna på ytorna 3 och 4 noterades inom ramen för det forskningsarbete som bedrivs av naturgeografiska institutionen vid Lunds universitet i Norunda. Förhållandet mellan stubbens diameter och brösthöjdsdiameter utarbetades från empiriskt uppmätta värden ifrån ett skogsbestånd bredvid avverkningsområdet (Axelsson 2011). Tre ekvationer för varje trädslag (tall och gran) erhöles utifrån stubbens höjd där varje stubbes höjd faller inom ett höjdintervall enligt följande:

#### Höjdintervall

20-25 cm	→ 20 cm
26-35 cm	→ 30 cm
≥ 36 cm	→ 40 cm

Enbart trädstubbar med en medeldiameter  $\geq 20$  cm valdes ut för beräkning. Av det sammanlagda antalet träd på ytorna 3 och 4 skördades 78 %. Därför valdes 78 % av biomassan på yta 4 för vidare beräkningar.

Ekvationerna 4 - 9 beskriver uträkningen av brösthöjdsdiameter. Den tillskrivna höjden samt trädslag bestämmer vilken ekvation som skall användas. Stubbens diameter står för x-värdet och d för brösthöjdsdiameter som motsvaras av diametern vid 1,3 meters höjd:

#### Tall

$$20 \text{ cm} \quad d=0.8264x+0.2856 \quad \text{Ekvation 4}$$

$$30 \text{ cm} \quad d=0.8254x+1.1708 \quad \text{Ekvation 5}$$

$$40 \text{ cm} \quad d=0.7844x+3.698 \quad \text{Ekvation 6}$$

#### Gran

$$20 \text{ cm} \quad d=0.7878x+0.5438 \quad \text{Ekvation 7}$$

$$30 \text{ cm} \quad d=0.8264x+0.6622 \quad \text{Ekvation 8}$$

$$40 \text{ cm} \quad d=0.8515x+0.9024 \quad \text{Ekvation 9}$$

### 5.3 Torrsvikt

För att uppskatta torrsvikten av de skördade stubbarna användes först Marklunds ekvationer för uträkning av biomassa (Marklund 1988). Ekvationerna har olika precision där de enklaste enbart tar hänsyn till trädets art och brösthöjdsdiameter (d), medan de med högst validitet även tar med variabler som höjd över havet och markfuktighet. Ekvationerna T25 för tall och G23 för gran, här benämnda ekvation 10 respektive 11, användes för uträkning av stubbrotssystemets torrsvikt i kg (y).

$$y = e^{(11,1106 * \frac{d}{d+12} - 3,3913)} \quad \text{Ekvation 10}$$

$$y = e^{(10,5381 * \frac{d}{d+14} - 2,4447)} \quad \text{Ekvation 11}$$

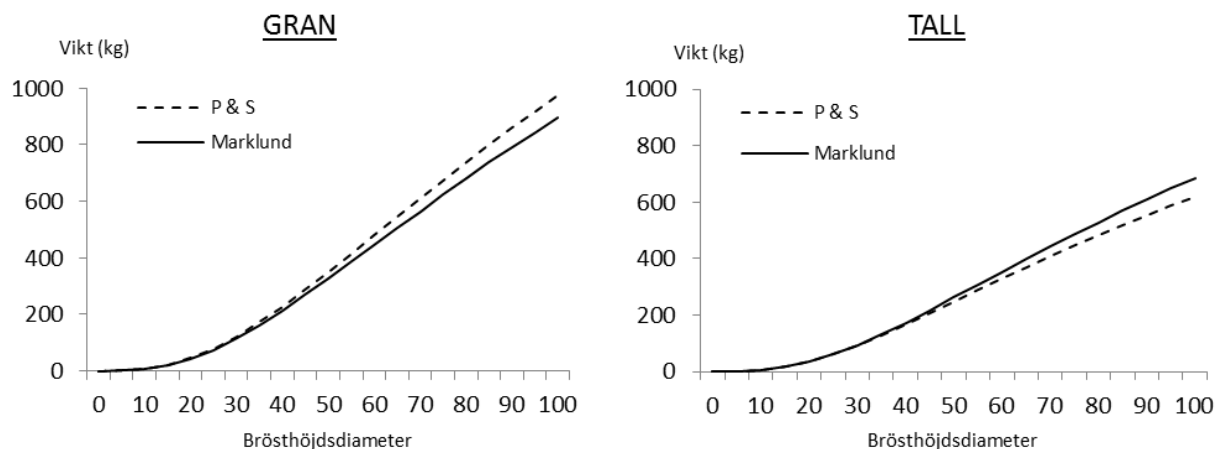
Torrsvikten räknades även ut enligt Petersson och Ståhls (2006) ekvationer för vad de benämner case A kategori i, alltså för rötter ned till 5 mm i diameter. Även här valdes de ekvationer med enbart brösthöjdsdiameter som variabel och resultatet ges i gram (y). Ekvation 12 gäller för gran och 13 för tall.

$$y = e^{4.52965 + 10,57571 * (\frac{d}{d+142})} \quad \text{Ekvation 12}$$

$$y = e^{3,39014 + 11,06822 * (\frac{d}{d+113})} \quad \text{Ekvation 13}$$

Figur 6 visar hur Marklunds respektive Petersson och Ståhls biomassaekvationer skiljer sig för tall och gran. Petersson och Ståhls ekvation genererar högre biomassa än Marklunds för gran, men lägre än Marklunds för tall.





Figur 6 Petersson och Ståhls respektive Marklunds biomassafunktioner för gran och tall. För gran ger Petersson och Ståhls ekvation (Case A i) högst biomassa, för tall är det däremot Marklunds ekvation (T25) som genererar högst biomassa. Granstubbar har högre densitet än tallstubbar.

## 5.4 Nedbrytning

Efter att ha kontrollerat skillnaden mellan nedbrytningshastighet enligt Melins et al. (2009) relativa nedbrytningsfunktion, ekvation 2, och nedbrytningsfunktionen baserad på halveringstid, ekvation 3 och konstaterat deras likheter (se figur 4) valdes för beräkning av nedbrytning funktionen med tidskonstanten ( $\tau$ )  $15 \ln(2)$ .

$$C = C_0 * e^{-\frac{tid}{\tau}} \quad \text{Ekvation 3}$$

Från den erhållna mängden skördade stubbar från brösthöjds- resp. biomassaberäkningarna uppskattades alltså hur mycket som skulle ha avgetts som koldioxid vid nedbrytning. Den torrsvikt biomassa som beräknades ha brutits ned varje månad omvandlades till ren kolmängd genom antagandet att 50 % av torr biomassa består av kol (Zetterberg och Hansén 1998). Det nedbrutna rena kolet räknades sedan om till koldioxid genom molberäkning för att adderas till varje månads utsläpp från den stubbrutna ytan.

## 5.5 Flödesberäkningar och grönhetsindex

Grönhetsindex för perioden april – oktober 2012 togs fram enligt ekvation 1 för båda ytorna. För en utförlig beskrivning av metoden se Forslund (2014).

NEE mättes med den så kallade flux-gradientmetoden där koncentrationmätningar på två höjder i en mast kombineras med information om turbulent diffusivitet. Koldioxidkoncentrationerna mättes med gasanalysator (LGR DLT-100, Los Gatos Research Inc, USA). Turbulent diffusivitet beräknades från mätningar av friktionshastighet och sensibelt värmefflöde med en sonisk anemometer (Gill windmaster, Gill instruments Ltd., UK). Beräknade värden av NEE filtrerades av Patrik Vestin utifrån ett flertal olika kvalitetskriterier. Data som inte uppfyllde kvalitetskraven sorterades bort. Luckor i dataserierna fylldes sedan med ett webbaserat luckfyllningsverktyg (<http://www.bgc-jena.mpg.de/~MDIwork/eddyproc/>) Eddy covariance gap-filling & flux partitioning tool) enligt en standardiserad metod som också delade upp NEE i GPP och respiration.



## 6. Resultat

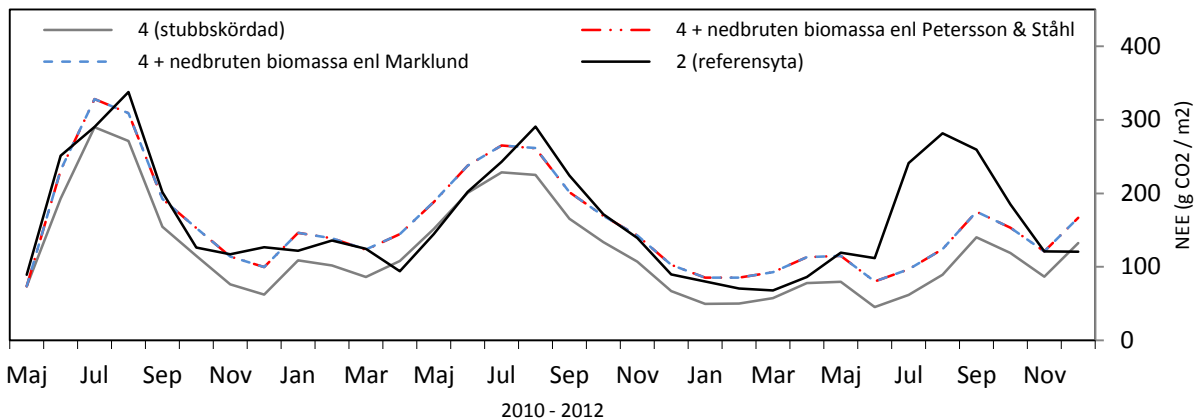
I tabell 1 redovisas resultatet av biomassaberäkningarna. Stubbarna på den stubbskördade ytan (4) hade en medeltorrsvikt enligt Marklunds ekvationer på 97 kg för gran och 83 kg för tall. Enligt Petersson och Ståhls ekvationer låg samma medelvikt på 105 respektive 80 kg. Ytan bestod ursprungligen till 58 % av tall och till 41 % av gran, resten bestod av björkstubbbar men dessa togs inte med i beräkningen. Enligt båda biomassaberäkningarna skördades sammanlagt 42 ton stubbar från den stubbskördade ytan vilket motsvarar 53,5 ton per hektar. 53,5 ton torrsvikt motsvarar en energipotential på 203,3 MWh/ha (Näslund Eriksson och Gustavsson 2008).

Tabell 1 Beräkningar av total mängd biomassa som avlägsnats från yta 4 i samband med stubbskörd. Marklund och Petersson och Ståhls ekvationer ger olika värden för vikt av trädslagen gran och tall, men sammantaget för yta 4 blir resultatet likartat.

Biomassafunktion	Medelvikt stubbe (kg)*		Totalvikt yta 4 (ton)*	Vikt kol yta 4 (ton)
	Gran	Tall	Gran (41 %) & Tall (58 %)	Gran & Tall
Marklund	97,03	82,56	42,81	21,41
Petersson & Ståhl	105,20	79,83	42,73	21,36

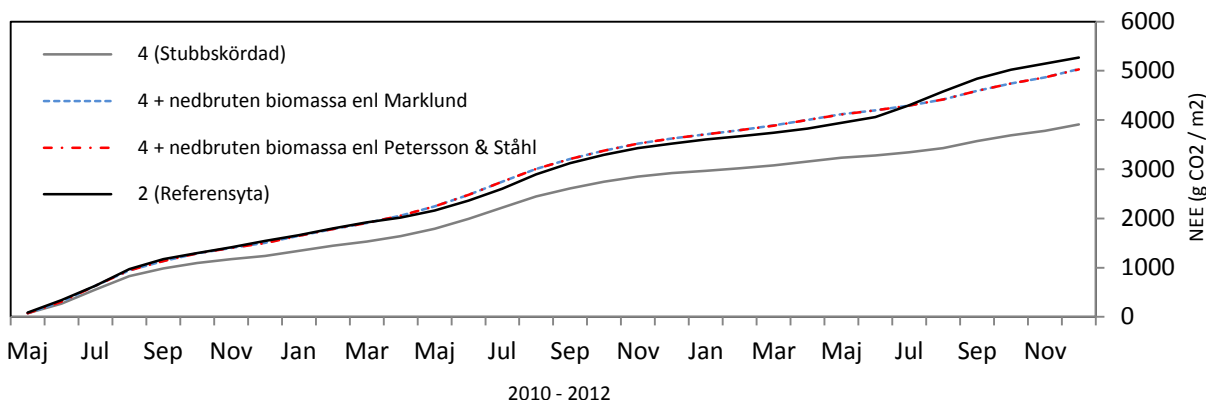
\* Torrsvikt

Nettokoldioxidflödena (NEE) från referensytan 2, och den stubbskördade ytan redovisas i figur 7 för undersökningsperioden (maj 2010 till december 2012). De högsta värdena uppmättes under sommarhalvåret och de lägsta under vinterhalvåret. I figuren redovisas även hur koldioxidflödet hade sett ut från yta 4 om de stubbar som skördades hade lämnats kvar för nedbrytning. De två olika biomassaberäkningarna som utförts enligt Marklunds och Petersson och Ståhls ekvationer redovisas som streckade linjer. Nettoflödet från yta 2 och yta 4 skiljer sig signifikant ( $p > 0,05$ ), däremot skiljer sig inga av de uppskattade (streckade) flödena från yta 4 signifikant från yta 2.



Figur 7 Linjediagrammet visar nettokoldioxidflödet (NEE) kumulativt per månad från yta 2 och 4 från maj 2010 till december 2012. De heldragna linjerna visar faktiskt uppmätta värden och de streckade linjerna visar det beräknade koldioxidflödet från yta 4 där nedbrytningen av de stubbar som förts bort i samband med stubbrytning lagts till.

Det kumulativa flödet från ytorna under undersökningstiden visar att yta 2 hade ett sammanlagt högre utsläpp än yta 4 (se figur 8). Yta 2 hade dessutom ett högre utsläpp än de två beräknade emissionerna från yta 4. År 1 efter skörd liknar koldioxidflödet från yta 2 det uppskattade flödet från yta 4. År 2 ligger det uppskattade flödet högre. År 3 är utsläppen från yta 4 så låga (se figur 7) att referensytan återigen tar över som den största kolkällan.



Figur 8 Kumulativt koldioxidflöde från yta 2 och 4 från maj 2010 till december 2012. De heldragna linjerna visar faktiskt uppmätta värden och de streckade linjerna visar beräknade koldioxidflöden från yta 4 där nedbrytningen av de stubbar som förts bort i samband med stubbrytning lagts till.

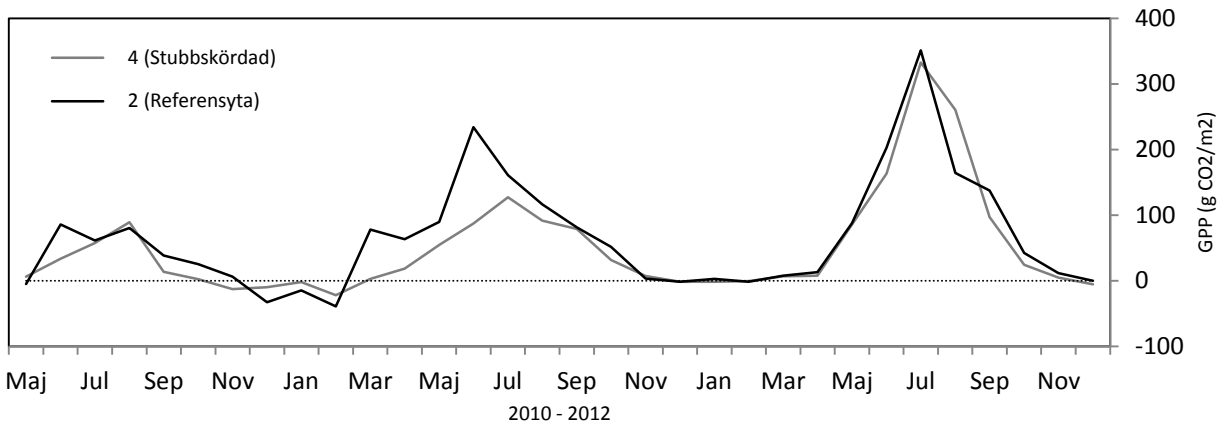
Tabell 2 anger kolutsläpp per hektar och år från yta 2 och 4, tillsammans med de två beräknade emissionerna från yta 4. Utsläppen varierar mellan 2,7 och 5,8 ton kol per hektar och år. Referensytan emitterar mer kol än den stubbskördade ytan under år 1 och 3, under år 2 resulterar de två beräknade nedbrytningarna i högre emissioner. Notera att år 1 endast inkluderar utsläpp från maj till december så mängden är inte direkt jämförbar med den för år 2 och 3.

Tabell 2 Beräkningar av totalt kolutsläpp per hektar och år. Referensytan emitterar störst mängd kol under år 1 och 3. Under år 2 emitterar yta 4 mest om den beräknade nedbrytningen inkluderas. Under år 1 inkluderas enbart utsläpp från månaderna maj till december.

	Yta 2 (Referens)*	Yta 4 (Stubbskördad)*	Yta 4 + Marklund*	Yta 4 + P & S*
År 1**	4.20	3.37	4.10	4.10
År 2	5.41	4.59	5.79	5.79
År 3	4.76	2.70	3.85	3.84

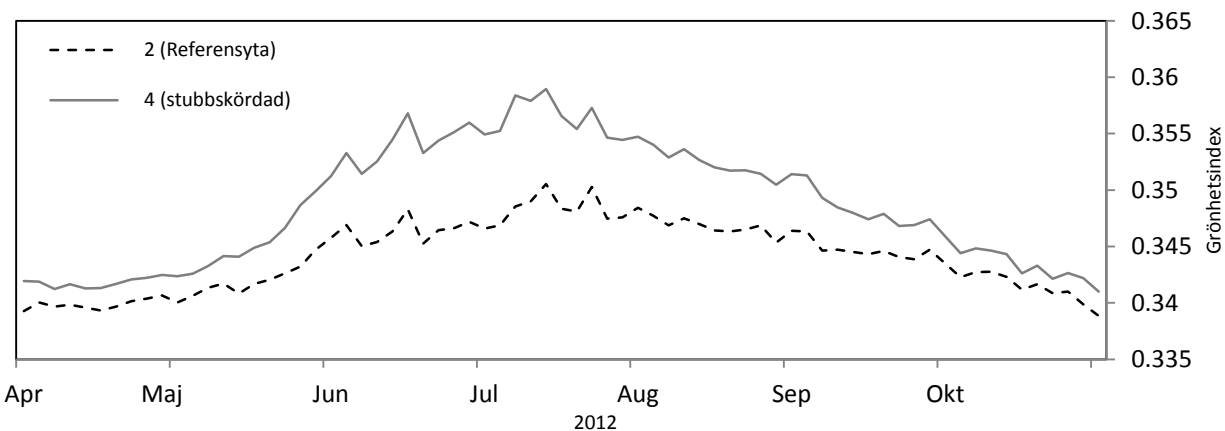
\* C (ton/ha)  
\*\* (maj-dec)

Ytornas nettoutsläpp är ett resultat av upptag (GPP) minus respiration. GPP för de båda ytorna visas i figur 9 och de skiljer sig framför allt under andra året efter skörd då referensytan binder en större mängd kol än den stubbskördade. År tre är båda ytor likvärdiga kolsänkor och de skiljer sig inte signifikant ( $p < 0,05$ ) från varandra.



Figur 9 Linjediagrammet visar upptaget av koldioxid (GPP) från yta 2 och 4 från maj 2010 till december 2012. Det första året efter skörd är upptaget lågt för båda ytorna. Under det andra året efter skörd binder yta 2 mer koldioxid än yta 4. Det sista mätåret visar på liknande upptag från båda ytorna.

Grönhetsindexet GCC (green chromatics coordinates) är framtaget enbart från april till oktober 2012, den period där ytornas NEE skiljer sig som mest, och resultatet visas i figur 10. GCC skiljer sig signifikant ( $p < 0,05$ ) mellan yta 2 och 4 där den stubbskördade ytan visar på högst grönhetsindex och alltså mest grön vegetation.



Figur 10 GCC för ytorna 2 och 4 under perioden april till oktober år 2012. Diagrammet visar att den stubbskördade ytan har ett konsekvent högre grönhetsindex. Skillnaden mellan de båda ytorna är signifikant ( $p < 0,05$ ).



## 7. Diskussion

### 7.1 Resultat

För att jämföra referensytans och den stubbskördade ytans flöden lades koldioxiden från den beräknade nedbrytningen av stubbar till yta fyras kolbalans. Hade stubbrytning inneburit ett nettokoldioxidflöde på  $\pm 0$  jämfört med konventionell avverkning hade de streckade linjerna mött linjen för referensytan i den kumulativa grafen (figur 8). I det här fallet faller de streckade linjerna under referensytans vilket indikerar att stubbrytning inte leder till ett ökat utsläpp av koldioxid, den stubbskördade ytan verkar till och med ha ett lägre utsläpp än referensytan under undersökningsperioden. Skillnaden mellan de två ytorna är emellertid inte statistiskt signifikant. Man kan alltså inte heller hävda att stubbskörd leder till ett minskat flöde av koldioxid till luften. Resultaten från studien stämmer inte överens med tidigare studier som funnit att stubbskörd leder till ett initialt ökat utsläpp av koldioxid från nedbrutet markkol jämfört med konventionell slutavverkning (Örlander et al. 1996; Hope 2007). Den totala mängden kolutsläpp från de båda ytorna varierar mellan 2,7 och 5,8 ton/ha år med ett medelvärde på 4,24 ton/ha år. Det innebär att flödesvärdena från denna studies undersökningsområde varierar mer än de från Stadra som låg på mellan 4 och 5 ton kol per hektar och år, men även där fann man utsläppen vara lägre från den stubbskördade ytan, och från båda ytorna var utsläppen högst under det andra året efter skörd (Grelle et al. 2012).

Yta fyras relativt låga nettoutsläpp under det tredje året (se figur 7) skulle kunna förklaras av att ytan hade ett högre kolupptag, men GPP (figur 9) visar inte på några skillnader mellan ytorna under den här perioden. Däremot visar grönhetsindexet (GCC) på en signifikant skillnad mellan ytorna. De båda metoderna för att mäta kolupptag, GPP med gasanalysator eller GCC med kamera, utgör en skillnad som kan vara orsak till de olika resultaten. Att enbart se till en ytas GCC är att enbart se det tvådimensionella planet som inte tar hänsyn till växtlighetens höjd och täthet, och därmed hur stor kolbindningskapaciteten är. GCC har bevisats vara en god indikator av NDVI som i sig är en indikator av kolupptag, men att direkt anta att en kraftigare grön färg skulle betyda ett mer effektivt kolupptag är inte säkert. Även om alltså GCC-analysen pekar på att yta 4 skulle ha ett större kolupptag än yta 2 kan detta inte säkerställas eftersom GPP inte följer samma trend. Att grönhetsanalysen är gjord enbart för det sista årets växtperiod är också en svaghet som gör att de två metoderna inte kan korreleras.

Stubbrytningen från yta fyra innebar en skörd på hela 53,5 ton stubbved per ha vilket motsvarar 26,75 ton rent kol. Den mängd stubbved som kan skördas per hektar är omtvistad och den beror naturligtvis på skogens bonitet, ålder och sammansättning av träslag, men också på hur stor andel stubbar som skördas, och vilken minsta diameter som tillåts för stubbskörd. Dessutom finns det enligt Skogsstyrelsen sex olika sätt att beräkna färsk vedvolym, och till detta kommer att de flesta mått anges i torrsvikt som beror på densitet och varierar för träslag och ståndort (Skogsstyrelsen 2014). Sammantaget gör detta att det är svårt att uppskatta potentiell stubbskörd och svårt att sammanställa de resultat som publicerats eftersom det inte alltid är angett exakt vilken enhet som används, eller hur omvandlingen färsk ved - torrsvikt - kolinnehåll har gjorts. Från de undersökta studierna rapporteras skördad torrsvikt på från 23 ton per hektar till hela 54 ton och resultatet från Norunda (53,5 ton) motsvarar alltså en stor skörd. Detta kan ha påverkat hur stor störning stubbskörden i Norunda utgjorde jämfört med andra försök och kan ha påverkat nedbrytningen i marken.

Stubbvedens 53,5 ton torrsvikt motsvarar en energipotential på 203,3 MWh/ha vilket ligger i nivå med tidigare studier. Energimyndighetens kunskapssammanställning om stubbrytning baserade sin uppskattning av stubbars energipotential på den mängd stubbved per hektar som redovisas av von Hofsten (2006) och som alltså enligt Näslund Eriksson och Gustavssons (2008) uppmätta energipotential skulle ligga på mellan 87 och 255 MWh per hektar.

## 7.2 Metod

Flera antaganden i metoden har påverkat resultatet. Uteslutandet av stubbar med en medeldiameter under 20 cm gjordes för att kunna applicera Axelssons ekvationer för uträkning av brösthöjdsdiameter. Hennes val av 20 cm baserades på Skogsstyrelsens avrådan från att skörda stubbar mindre än detta, men i själva verket visar data från Norunda att 50 % av samtliga tallstubbar, och 87 % av alla granstubbar, under 20 cm i diameter skördades. I slutresultatet är heller inga björkstubbar medräknade men i själva verket skördades 14 av 16 björkar från ytorna 3 och 4. Den massa som sju björkstubbar utgör är dock så liten att den troligtvis inte skulle påverka resultatet nämnvärt. Däremot är det intressant att dessa skördades trots Skogsstyrelsens avrådan från att skörda lövträdstubbar. Ett annat antagande som kraftigt påverkat den mängd koldioxid som lades till yta fyras kolbalans är att 100 % av det nedbrutna kolet antas omvandlas till koldioxid. Melin et al. (2009) tog fram kolets halveringstid genom empiriska mätningar av den massa som fanns kvar av stubben. Ingenting skrivs om vart kolet slutligen hamnar. Den nedbrutna mängden kol kan, beroende på förutsättningarna, bland annat stanna kvar i jorden som markkol, det kan återgå till atmosfären som metangas eller som koldioxid. Det kan dessutom bindas i biomassan av nedbrytaren eller lösas i vatten och transporteras mot havet. En fullständig förbränning är föga trolig och därför är det beräknade utsläppet från stubbarna överskattat.

Den nedbrytningsberäkning som utförts baseras på en simpel avtagande exponentiell kurva där enbart tid är den påverkande faktorn. Nedbrytningen påverkas, som tidigare nämnt, av en rad andra faktorer varav temperatur är den mest avgörande. Resultatet av den enkla funktionen är att nedbrytningen blir konstant över året. Hade nedbrytningsfunktionen istället varit anpassad efter temperatur och stannat av under vinterhalvåret för att sedan öka under sommarhalvåret hade den resulterande NEE-kurvan varit mer realistisk. Nedbrytningsberäkningen är dessutom baserad på enbart gran. Att tall skulle brytas ned med ungefär samma hastighet är rimligt, men inte bevisat. Den finska studien av Shorohova et al. (2012) som visade på hastigheter på 5,2 % per år för gran, och 4,8 % per år för tall, indikerar att tallstubbar bryts ned långsammare än granstubbar, vilket alltså skulle innebära att den beräknade nedbrutna mängden från yta 4 är överskattad, men i studiens kortsiktiga perspektiv är det inte av avgörande betydelse.

Många av de originalkällor som använts för att dokumentera stubbskördens effekter citeras inom sammanställningar av kunskapsläget som gjorts på uppdrag av dels Energimyndigheten och dels Skogsstyrelsen. Det är rimligt att anta att dessa källor är utvalda för att de pekar mot att stubbrytningen inte har betydande negativ effekt. Negativa slutsatser om stubbrytning skulle motverka framför allt Energimyndighetens syfte att främja biobränsleframställningen i Sverige men även Skogsstyrelsens ekonomiska mål. För att nyansera det hela inkluderades även källor citerade i t.ex. världsnaturfondens rapport om stubbarnas betydelse för den biologiska mångfalden (WWF 2008), och en internationell sammanställning av forskningen (Walmsley och Godbold 2010), då dessa har en mer kritisk vinkling.



### 7.3 Giltighet och förslag för vidare forskning

Studien ämnade avgöra stubbrytningens klimatpåverkan i fråga om koldioxidbalansen, men som tidigare nämnt är koldioxid inte den enda växthusgas som påverkas av stubbskörd. För en bättre analys av klimatpåverkan bör även dessa andra växthusgaser, som metan (CH<sub>4</sub>) och lustgas (NO<sub>2</sub>), inkluderas i analysen. En aspekt att ha i åtanke är den globala klimatförändring som antagligen kommer att innebära både förhöjd nedbrytning och, under en viss period, ökad tillväxt till följd av ökad temperatur, ökad nederbörd och ökade halter av koldioxid i luften. Att studera stubbrytningens effekter under en längre period där resultatet korreleras med faktorer som temperatur, markfuktighet och tillväxttakt skulle vara en hjälp i förståelsen för hur skördemetoden kan komma att påverka klimatet mer långsiktigt. För en total klimatanalys eller en så kallad livscykelanalys borde även energiförbrukningen vid skörd, markberedning, transport och förbränning innefattas och detta skulle styrka resultatets giltighet avsevärt. Eftersom resultatet från studier av markberedningsåtgärder visar på stora skillnader mellan effekterna på kolbalansen beroende på olika jordars kolinnehåll (Walmsley och Godbold 2010) menar jag det dessutom vara av vikt att forskning kring stubbrytning utförs på så skilda marktyper som möjligt.

Trots vissa brister bedömer jag denna studie vara en tydlig indikation på att stubbrytning i boreala skogar inte nödvändigtvis leder till större markstörning än vad som redan är fallet vid konventionell slutavverkning med markberedning. Däremot anser jag stubbrytningens påverkan på andra delar av ekosystemet, så som biodiversiteten och näringsbalansen, vara så pass betydande att stubbskörd fortsatt endast bör utföras i forskningssyfte.



## 8. Slutsats

Studien visar inte på några signifikanta skillnader i koldioxidflöden från stubbskördad mark jämfört med konventionellt slutavverkad mark. Den störning som stubbrytning utgör verkar således inte vara mer omfattande än den som utgörs av markberedningsåtgärder. Jämförelsen var möjlig genom att en teoretisk mängd koldioxid lagts till den stubbskördade ytans kolbalans. Mängden motsvarade det koldioxid som hade genererats vid nedbrytningen av stubbarna om de lämnats i marken. De båda biomassafunktioner som använts för beräkningen av stubbmängd ger mycket lika resultat.

Den forskning som gjorts på stubbrytningens effekter av biodiversitet och näringsbalans tyder på att framför allt biodiversiteten kan komma att påverkas negativt. Näringsbalansen torde inte påverkas i betydande omfattning då näringen i stubbar koncentreras i finrötterna som inte kommer med vid skörd. Däremot kan markförhållandena ändras i samband med skörden vilket kan leda till både kväveläckage och metylering av kvicksilver.

## Referenser

- Allmer, J. 2005. *Fungal communities in branch litter of Norway spruce: dead wood dynamics, species detection and substrate preferences*. Uppsala, Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Mycology and Pathology.
- Andersson, E. , N. Carlborg , C. Fries , G. Isacsson , G. Kock, och N. Åberg, 2009. Stubbskörd : kunskapssammanställning och Skogsstyrelsens rekommendationer. Skogsstyrelsen Rapport 1569, Jönköping.
- Anerud, E. , T. Johannesson , H. v. Hofsten, och L. Eliasson, 2012. Validering av funktioner för beräkning av kvantitet skogsbränsle vid stubbskörd - En pilotstudie. Skogforsk Rapport 780-2012, Uppsala.
- Asiegbu, F. O. , A. Adomas, och J. A. N. Stenlid. 2005. Conifer root and butt rot caused by *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s.l. *Molecular Plant Pathology*, 6: 395-409. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2005.00295.x
- Athanassiadis, D. , O. Lindroos, och T. Nordfjell. 2011. Pine and spruce stump harvesting productivity and costs using a Pallari KH 160 stump-lifting tool. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26: 437-445. DOI: 10.1080/02827581.2011.573502
- Axelsson, E. 2011. *Spatiotemporal variation of carbon stocks and fluxes at a clear-cut area in central Sweden*. Lund: Lund University.
- Batjes, N. H. 2014. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 65: 10-21. DOI: 10.1111/ejss.12114\_2
- Bengtsson, J. , H. Lundkvist , P. Saetre , B. Sohlenius, och B. Solbreck. 1998. Effects of organic matter removal on the soil food web: Forestry practices meet ecological theory. *Applied Soil Ecology*, 9: 137-143. DOI: 10.1016/s0929-1393(98)00067-5
- Bishop, K. , M. Nilsson, och R. Sörensen. 2008. *Mercury loading from forest to surface waters : the effects of forest harvest and liming*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Bloomberg, W. J., och G. Reynolds. 1988. Equipment trials for uprooting root-rot-infected stumps. *Western Journal of Applied Forestry*, 3: 80-82.
- Blouin, V. M. , M. G. Schmidt , C. E. Bulmer, och M. Krzic. 2005. Mechanical disturbance impacts on soil properties and lodgepole pine growth in British Columbia's central interior. *Canadian Journal of Soil Science*, 85: 681-691.
- Brimblecombe, P. , H. Hara , D. Houle, och M. Novak. 2007. *Acid Rain - Deposition to Recovery*. Dordrecht: Springer.
- Caruso, A., och J. Rudolphi. 2009. Influence of substrate age and quality on species diversity of lichens and bryophytes on stumps. *Bryologist*, 112: 520-531. DOI: 10.1639/0007-2745-112.3.520
- Chapin, I. I. F. S. , P. A. Matson, och P. M. Vitousek. 2011. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology [Elektronisk resurs]*. New York, NY: Springer New York.
- Cleary, M. R. , N. Arhipova , D. J. Morrison , I. M. Thomsen , R. N. Sturrock , R. Vasaitis , T. Gaitnieks, och J. Stenlid. 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.05.040>

- Davis, M. , G. Coker , M. Watt , D. Graham , S. Pearce, och J. Dando. 2012. Nitrogen leaching after fertilising young *Pinus radiata* plantations in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 280: 20-30. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.06.009
- de Jong, J. , C. Akselsson , H. Berglund , G. Egnell , K. Gerhardt , L. Lönnberg , B. Olsson, och H. von Stedingk, 2012. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. Energimyndigheten Rapport 2012:08, Eskilstuna.
- de Jong, J., och L. Lönnberg, 2010. Konsekvenser av skogsbränsleuttag. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram inom Skogsbränsle och Miljö 2005 - 2009. Energimyndigheten Rapport 1403-1892, Eskilstuna.
- Egnell, G. , R. Hyvönen , L. Högbom , T. Johansson , T. Lundmark , B. Olsson , E. Ring, och F. v. Sydow, 2007. Miljökonsekvenser av stubbskörd - en sammanställning av kunskap och kunskapsbehov. Energimyndigheten Rapport 2007:40, Eskilstuna.
- Eklöf, K. , A. Kraus , G. Weyhenmeyer , M. Meili, och K. Bishop. 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: 1308-1320. DOI: 10.1007/s10021-012-9586-3
- Energimyndigheten. 2012. Energy in Sweden facts and figures 2012. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Energimyndigheten. u.å. Elcertifikatsystemet - ett stödsystem för förnybar elproduktion. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Forslund, L. 2014. *Using digital repeat photography for monitoring the regrowth of a clear-cut area*. Lund: Lunds universitet.
- Garcia, E., och R. Carignan. 1999. Impact of wildfire and clear-cutting in the boreal forest on methyl mercury in zooplankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56: 339-345. DOI: 10.1139/cjfas-56-2-339
- Grelle, A. , M. Strömgren, och R. Hyvönen. 2012. Carbon balance of a forest ecosystem after stump harvest. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27: 762-773. DOI: 10.1080/02827581.2012.726371
- Harada, M. 1995. Minamata disease - Methylmercury poisoning in Japan caused by environmental - pollution. *Critical Reviews in Toxicology*, 25: 1-24. DOI: 10.3109/10408449509089885
- Hedgren, P. O. 2007. Early arriving saproxylic beetles (Coleoptera) and parasitoids (Hymenoptera) in low and high stumps of Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, 241: 155-161. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.020>
- Hellsten, S. , H.-S. Helmisaari , Y. Melin , J. P. Skovsgaard , I. Wängberg , S. Kaakinen , M. Kukkola , A. Saarsalmi, et al., 2009. Halter av baskatjoner, fosfor och kväve i stubbar i Sverige, Finland och Danmark. IVL Rapport B1855, Stockholm.
- Hjältén, J. , F. Stenbacka, och J. Andersson. 2010. Saproxylic beetle assemblages on low stumps, high stumps and logs: Implications for environmental effects of stump harvesting. *Forest Ecology and Management*, 260: 1149-1155. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.003>
- Hope, G. D. 2007. Changes in soil properties, tree growth, and nutrition over a period of 10 years after stump removal and scarification on moderately coarse soils in interior British Columbia. *Forest Ecology and Management*, 242: 625-635. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.01.072

- Hyvönen, R. , B. A. Olsson, och G. I. Ågren. 2012. Dynamics of soil C, N and Ca in four Swedish forests after removal of tops, branches and stumps as predicted by the Q model. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27: 774-786. DOI: 10.1080/02827581.2012.727025
- Jonsell, M. , K. Nitterus, och K. Stighall. 2004. Saproxyllic beetles in natural and man-made deciduous high stumps retained for conservation. *Biological Conservation*, 118: 163-173. DOI: 10.1016/j.biocon.2003.08.017
- Karlsson, J. 2007. *Produktivitet vid stubblyftning*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Kronnäs, V. , S. Hellsten, och C. Akselsson, 2012. Kväveutlakning från skogsmark vid olika skogsbruksåtgärder: uppskalning för avrinningsområden i södra Östersjöns, norra Östersjöns samt Västerhavets vattendistrikt. IVL Rapport B2056, Stockholm.
- Lagergren, F. , A. Lindroth , E. Dellwik , A. Ibrom , H. Lankreijer , S. Launiainen , M. Molder , P. Kolari, et al. 2008. Biophysical controls on CO<sub>2</sub> fluxes of three Northern forests based on long-term eddy covariance data. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 60: 143-152. DOI: 10.1111/j.1600-0889.2006.00324.x
- Lindhe, A., och Å. Lindelöw. 2004. Cut high stumps of spruce, birch, aspen and oak as breeding substrates for saproxyllic beetles. *Forest Ecology and Management*, 203: 1-20. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.047>
- Ljungblom, L. 1996. *Vedpärmen : informationsmaterial om vedeldning i småhus framtagen av Novator Föreningskonsult AB på uppdrag av Nutek inom programmet Småskalig förbränning av biobränsle*. Stockholm: Novator.
- Lundin, L. C. , S. Halldin , A. Lindroth , E. Cienciala , A. Grelle , P. Hjelm , E. Kellner , A. Lundberg, et al. 1999. Continuous long-term measurements of soil-plant-atmosphere variables at a forest site. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-9: 53-73. DOI: 10.1016/s0168-1923(99)00092-1
- Marklund, L. G. 1988. *Biomassfunktioner för tall, gran och björk i Sverige : Biomass functions for pine, spruce and birch in Sweden*. Umeå.
- Melin, Y. , H. Petersson, och T. Nordfjell. 2009. Decomposition of stump and root systems of Norway spruce in Sweden-A modelling approach. *Forest Ecology and Management*, 257: 1445-1451. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.12.020
- Mjöfors, K., och M.-B. Johansson, 2010. Kan markberedning beskriva vad som händer efter stubbskörd? Med fokus på det organiska markkolet 25 år efter behandlingen. Energimyndigheten Rapport, Eskilstuna.
- Morrison, D. J. , G. M. Wallis, och L. C. Weir. 1988. *Control of Armillaria and Phellinus root diseases: 20-year results from the Skimikin stump removal experiment*. Victoria, BC: Canadian Forestry Service.
- Munthe, J., och H. Hultberg. 2004. Mercury and Methylmercury in Runoff from a Forested Catchment – Concentrations, Fluxes, and Their Response to Manipulations. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 4: 607-618. DOI: 10.1023/B:WAFO.0000028381.04393.ed
- Naasset, E. 1999. Decomposition rate constants of Picea abies logs in southeastern Norway. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 29: 372-381.
- Näringsdepartementet. 2014. Förnybar energi. Hämtad 2014 09 April, från <http://www.regeringen.se/sb/d/2448>.

- Näslund Eriksson, L., och L. Gustavsson. 2008. Biofuels from stumps and small roundwood—Costs and CO<sub>2</sub> benefits. *Biomass and Bioenergy*, 32: 897-902. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.01.017>
- Naturvårdsverket. 2014. Förnybar energi. Hämtad 2014 09 April, från <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Energi/Fornybar-energi/>.
- Örlander, G. , G. Egnell, och A. Albrektson. 1996. Long-term effects of site preparation on growth in Scots pine. *Forest Ecology and Management*, 86: 27-37. DOI: 10.1016/s0378-1127(96)03797-8
- Petersson, H., och G. Ståhl. 2006. Functions for below-ground biomass of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21: 84-93. DOI: 10.1080/14004080500486864
- Porvari, P. , M. Verta , J. Munthe, och M. Haapanen. 2003. Forestry practices increase mercury and methyl mercury output from boreal forest catchments. *Environmental Science & Technology*, 37: 2389-2393. DOI: 10.1021/es0340174
- Repola, J. 2008. Biomass Equations for Birch in Finland. *Silva Fennica*, 42: 605-624.
- Repola, J. 2009. Biomass Equations for Scots Pine and Norway Spruce in Finland. *Silva Fennica*, 43: 625-647.
- Richardson, A. D. , J. P. Jenkins , B. H. Braswell , D. Y. Hollinger , S. V. Ollinger, och M. L. Smith. 2007. Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest. *Oecologia*, 152: 323-334. DOI: 10.1007/s00442-006-0657-z
- Ring, E. , S. Löfgren , L. Sandin , L. Högbom, och W. Goedkoop, 2008. Skogsbruk och vatten - En kunskapsöversikt. Skogforsk Rapport 1103-4580, Uppsala.
- Shorohova, E. , O. Ignatyeva , E. Kapitsa , H. Kauhanen , A. Kuznetsov, och I. Vanha-Majamaa. 2012. Stump decomposition rates after clear-felling with and without prescribed burning in southern and northern boreal forests in Finland. *Forest Ecology and Management*, 263: 74-84. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.09.006
- Skogsstyrelsen. 2006. *Skogsstatistisk årsbok. 2006*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen. 2007. *Skogsstatistisk årsbok. 2007*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen. 2008. *Skogsstatistisk årsbok. 2008*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen. 2009. *Skogsstatistisk årsbok. 2009*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen. 2010. *Skogsstatistisk årsbok. 2010*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen. 2011. *Skogsstatistisk årsbok. 2011*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen. 2012. *Skogsstatistisk årsbok. 2012*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen. 2013. *Skogsstatistisk årsbok. 2013*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen. 2014. Skogliga mått och enheter. Hämtad 2014 25 Maj, från <http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Skogsbruk/Aga-skog/Matt-och-enheter/>.
- Staaf, H., och B. A. Olsson. 1994. Effects of slash removal and stump harvesting on soil water chemistry in a clearcutting in SW Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9: 305-310.

- Strömngren, M., 2009. Kort- och långsiktiga effekter på markkolet vid stubbrytning Slutrapport till Energimyndigheten. Energimyndigheten Rapport, Eskilstuna.
- Svenska FSC. 2014. Statistik i punktform. Hämtad 2014 24 April, från <http://se.fsc.org/statistik-och-fakta.242.htm>.
- Svensson, S. A. 2006. *Ekonomiska och sociala konsekvenser i skogsbruket av stormen Gudrun*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Thies, W. G., och D. J. Westlind. 2005. Stump removal and fertilization of five *Phellinus weirii*-infested stands in Washington and Oregon affect mortality and growth of planted Douglas-fir 25 years after treatment. *Forest Ecology and Management*, 219: 242-258. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.08.050
- Vasaitis, R. , J. Stenlid , I. M. Thomsen , P. Barklund, och A. Dahlberg. 2008. Stump removal to control root rot in forest stands. A literature study. *Silva Fennica*, 42: 457-483.
- Vestin, P. , M. Mölder , E. Sundqvist , M. Hellström , A. Båth , I. Lehner , L. Klemendtsson, och A. Lindroth. 2014. WP1: A Full Greenhouse Gas Budget at at Clear-cut and stump Harvested Boreal Forest Stand.
- von Hofsten, H. 2006. *Maskinell upptagning av stubbar : möjligheter och problem*. Uppsala: Skogforsk.
- Walmsley, J. D., och D. L. Godbold. 2010. Stump Harvesting for Bioenergy - A Review of the Environmental Impacts. *Forestry*, 83: 17-38. DOI: 10.1093/forestry/cpp028
- Whalen, J. K., och L. Sampedro. 2010. *Soil ecology and management*. Wallingford: CABI.
- Wirth, C. , J. Schumacher, och E. D. Schulze. 2004. Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe - a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology*, 24: 121-139.
- WWF. 2008. Stubbarnas biologiska betydelse underskattas! Potentiella konsekvenser av storskalig stubbskörd för den vedberoende biologiska mångfalden. Hämtad 2014 14 Maj, från <http://www.wwf.se/source.php/1241203/Stubbarnas%20biologiska%20betydelse%20underskattas.pdf>.
- Zetterberg, L., och O. Hansén, 1998. Nettoemissioner av koldioxid till atmosfären vid användning av hyggesrester för el- och värmeproduktion. IVL Rapport B1298, Stockholm.



Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds Universitet.

***Student examensarbete (Seminarieuppsatser). Uppsatserna finns tillgängliga på institutionens geobibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serien startade 1985. Hela listan och själva uppsatserna är även tillgängliga på LUP student papers ([www.nateko.lu.se/masterthesis](http://www.nateko.lu.se/masterthesis)) och via Geobiblioteket ([www.geobib.lu.se](http://www.geobib.lu.se))***

The student thesis reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography and Ecosystem Science, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden. Report series started 1985. The complete list and electronic versions are also electronic available at the LUP student papers ([www.nateko.lu.se/masterthesis](http://www.nateko.lu.se/masterthesis)) and through the Geo-library ([www.geobib.lu.se](http://www.geobib.lu.se))

- 285 Cansu Karsili (2013) Calculation of past and present water availability in the Mediterranean region and future estimates according to the Thornthwaite water-balance model
- 286 Elise Palm (2013) Finding a method for simplified biomass measurements on Sahelian grasslands
- 287 Manon Marcon (2013) Analysis of biodiversity spatial patterns across multiple taxa, in Sweden
- 288 Emma Li Johansson (2013) A multi-scale analysis of biofuel-related land acquisitions in Tanzania - with focus on Sweden as an investor
- 289 Dipa Paul Chowdhury (2013) Centennial and Millennial climate-carbon cycle feedback analysis for future anthropogenic climate change
- 290 Zhiyong Qi (2013) Geovisualization using HTML5 - A case study to improve animations of historical geographic data
- 291 Boyi Jiang (2013) GIS-based time series study of soil erosion risk using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model in a micro-catchment on Mount Elgon, Uganda
- 292 Sabina Berntsson & Josefin Winberg (2013) The influence of water availability on land cover and tree functionality in a small-holder farming system. A minor field study in Trans Nzoia County, NW Kenya
- 293 Camilla Blixt (2013) Vattenkvalitet - En fältstudie av skånska Säbybäcken
- 294 Mattias Spångmyr (2014) Development of an Open-Source Mobile Application for Emergency Data Collection
- 295 Hammad Javid (2013) Snowmelt and Runoff Assessment of Talas River Basin Using Remote Sensing Approach
- 296 Kirstine Skov (2014) Spatiotemporal variability in methane emission from an Arctic fen over a growing season – dynamics and driving factors
- 297 Sandra Persson (2014) Estimating leaf area index from satellite data in deciduous forests of southern Sweden

- 298 Ludvig Forslund (2014) Using digital repeat photography for monitoring the regrowth of a clear-cut area
- 299 Julia Jacobsson (2014) The Suitability of Using Landsat TM-5 Images for Estimating Chromophoric Dissolved Organic Matter in Subarctic Lakes
- 300 Johan Westin (2014) Remote sensing of deforestation along the trans-Amazonian highway
- 301 Sean Demet (2014) Modeling the evolution of wildfire: an analysis of short term wildfire events and their relationship to meteorological variables
- 302 Madelene Holmblad (2014). How does urban discharge affect a lake in a recreational area in central Sweden? – A comparison of metals in the sediments of three similar lakes
- 303 Sohedul Islam (2014) The effect of the freshwater-sea transition on short-term dissolved organic carbon bio-reactivity: the case of Baltic Sea river mouths
- 304 Mozafar Veysipanah (2014) Polynomial trends of vegetation phenology in Sahelian to equatorial Africa using remotely sensed time series from 1983 to 2005
- 305 Natalia Kelbus (2014) Is there new particle formation in the marine boundary layer of the North Sea?
- 306 Zhanzhang Cai (2014) Modelling methane emissions from Arctic tundra wetlands: effects of fractional wetland maps
- 307 Erica Perming (2014) Paddy and banana cultivation in Sri Lanka - A study analysing the farmers' constraints in agriculture with focus on Sooriyawewa D.S. division
- 308 Nazar Jameel Khalid (2014) Urban Heat Island in Erbil City.
- 309 Jessica, Ahlgren & Sophie Rudbäck (2014) The development of GIS-usage in developed and undeveloped countries during 2005-2014: Tendencies, problems and limitations
- 310 Jenny Ahlstrand (2014) En jämförelse av två riskkarteringar av fosforförlust från jordbruksmark – Utförda med Ekologgruppens enkla verktyg och erosionsmodellen USPED
- 311 William Walker (2014) Planning Green Infrastructure Using Habitat Modelling. A Case Study of the Common Toad in Lomma Municipality
- 312 Christiana Marie Walcher (2014) Effects of methane and coastal erosion on subsea-permafrost and emissions
- 313 Anette Fast (2014) Konsekvenser av stigande havsnivå för ett kustsamhälle- en fallstudie av VA systemet i Beddingestrand
- 314 Maja Jensen (2014) Stubbrytningens klimatpåverkan. En studie av stubbrytningens kortsiktiga effekter på koldioxidbalansen i boreal barrskog