

Skogsbränslets elementära sammansättning med tanke på
förbränningsprocessen och för näringsämnesförluster i ekosystemet

Jan Kristoffer Majuri
Helsingfors universitet
Agrikultur -forstvetenskapliga fakulteten
Institutionen för skogsekologi
Pro Gradu avhandling
2009

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Agrikultur-forstvetenskapliga fakultetet		Institutionen för skogsekologi	
Tekijä — Författare — Author			
Jan Kristoffer Majuri			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Skogsbränslets elementära sammansättning med tanke på förbränningsprocessen och för näringsämnesförluster i ekosystemet			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Skoglig marklära			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages
Pro Gradu		Februari 2009	58
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Det finns flera orsaker till att öka användningen av skogsbiomassa för energi i Finland. Förutom att skogsbiomassa anses vara en koldioxidneutral energikälla, är den även inhemsk och fördelad över hela landet. Användning av skogsbiomassa i form av hyggesrester minskar Finlands beroende av energiimport samt ger inkomster och arbetsplatser. Skogsfliset fås i huvudsak från grandominerade slutavverkningar, gallringar av ungskogar och även från slutavverkningars stubbtäkt. Den största delen av skogsfliset består av hyggesrester, vilkas andel av råvaran är 64 %. Skogsbiomassa används storskaligt, men till exempel effekterna av skördning av hyggesrester på skogsmarkens kol och näringsbalanser har undersökts tämligen lite. Inte heller har hyggesresternas tungmetall- och klorhalt just undersökts.</p> <p>Målet med undersökningen var att undersöka halterna av kol, växtnäringsämnen, tungmetaller och andra för förbränningsprocessen negativa ämnen i skogsflis av tall och gran och uppskatta effekten av skördning av hyggesrester på växtplatsens kolbalans och näringshushållning. En andra målsättning var att undersöka hyggesresternas energiinnehåll. Hyggesresterna insamlades till denna undersökning från kustnära gran- och talldominerade slutavverkningsytor belägna mellan Hangö och Sjundeå. Undersökningen beställdes av Raseborgs Trä Ab.</p> <p>Sampellokalerna var 29 till antalet, lokalarealen var i snitt 3,18 ha och den genomsnittliga gagnvirkesvolymen var 212,6 m³. Den genomsnittliga tallgagnvirkes-volymen var 70 m³ ha⁻¹, grangagnvirkes-volymen var 124 m³ ha⁻¹ och lövgagnvirkesvolymen 18,5 m³ ha⁻¹. Andel gran av totala volymen och beståndets volym hade relevans för hur mycket näring som fördes ur skogen med skördning av hyggesrester. I denna undersökning observerades det att skogsflisets näringsmängder steg tydligt, då granens andel av beståndets virkesvolym steg.</p> <p>S, K, Na och Cl -halterna i skogsfliset i denna studie steg med ökande andel gran av totalvolymen, vilket kan ha att göra med att granen är en effektiv uppsamlare av atmosfärisk torrdeposition. De näringsmängder som förloras genom skördning av hyggesrester var mindre än de i litteraturen nämnda, under ett omlopp till skogsmarken genom atmosfärisk deposition, förnedfall samt vittring tillförda näringsmängderna. Skördning av hyggesrester innebär en relativt blygsam ökning av kolmängden som förs bort ur skogen i samband med slutavverkningar. Vid skörd av hyggesrester försvinner 15,2 % mera kol ur skogen jämfört med skördning av endast gagnvirke.</p> <p>Eftersom hyggesresterna i min undersökning uppvisade höga klorhalter, är sannolikheten för korrosion i samband med förbränningen vid kraftverk tämligen hög. Sannolikheten för svavelframkallad korrosion är liten då hyggesresternas svavelhalt var relativt låg. Hyggesresterna uppvisade tämligen höga tungmetallhalter. Om tungmetallhalterna i denna undersökning är representativa för hyggesrester i kustens skogsområden allmänt, kan det finnas skäl att vara försiktig med användning av askan från det förbrända skogsfliset för skogsgödslingsändamål.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
Skogsenergi, hyggesrester, klor, svavel, tungmetaller, skogsflis, näringsämnen			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Institutionen för skogsekologi			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	4
1.1 Bakgrund - Skogsenergi	4
1.2 Skogsflis	6
1.3 Arbetets målsättning.....	7
2. Skördning av hyggesrester och skogsmarkens näringsämnesbalans	8
2.1 Kolets och näringsämnenas kretslopp i skogsekosystemet	8
2.2. Näringsförluster vid uttag av hyggesrester	9
2.3. Effekterna av skördningen av hyggesrester på trädbeståndens tillväxt.....	11
2.4 Tungmetaller	13
3. Material och metoder	16
3.1 Forskningens uppläggning.....	16
3.2 Materialet	17
3.3 Undersökningsmetoder.....	20
3.3.1. Laboratorieanalyser	20
3.3.2. Bestämning av klorhalt	21
3.4. Bestämning av kalorimetriskt värmevärde	21
3.5 Räkneoperationer	22
4. Resultat	23
4.1 Flisets näringsämneshalter och med hyggesrester förlorade näringsmängder.....	23
4.2. Kolhalten.....	26
4.3 Flisens klor-, svavel- och natriumhalter	28
4.4 Tungmetallhalten i skogsfliset	31
4.5 Energiinnehållet i skogsfliset.....	32
5. Diskussion	34
5.1 Balanser	34
5.2 Potentiella felkällor i undersökningen.....	37
5.3 Slutsatser.....	39
6. Slutord	40
Källor.....	41

Bilagor

1. Inledning

1.1 Bakgrund - Skogsenergi

I Rio de Janeiro den 3 - 14 juni 1992 på Förenta nationernas konferens om miljö och utveckling, undertecknade samtliga medlemsstater Förenta nationernas ramkonvention om klimatförändringar. För åren 2008 - 2012 bestämdes utsläppsgränserna i samband med Kyotoavtalet 1997.

Industriländernas växthusgasutsläpp bör enligt detta avtal reduceras 5,2 % jämfört med år 1990 utsläppsnivå (http://ec.europa.eu/environment/climat/campaign/actions/euinitatives_sv.htm).

Därefter det bestämdes det i EU:s vita bok att till år 2010 skall 12 % av energin utvinnas ur förnybara energikällor. Trä och andra organiska biomassor fungerar som kolsänkor, och den koldioxid som frigörs till atmosfären då de bränns, binds åter i träd och växter. (Lauhanen & Laurila 2007)

Det finns flera orsaker till att öka på användningen av skogsbiomassa för energi både i Finland och i Europa. Förutom att skogsbiomassa anses vara en koldioxidneutral energikälla, är den även inhemsk och fördelad över hela landet. Detta innebär att användning av skogsbiomassa minskar Finlands beroende av energiimport samt ger inkomster och arbete för invånare på landsbygden (Asikainen, Raulund-Rasmussen m.fl. 2008). De fossila bränslenas (speciellt oljans) realprisutveckling har varit stigande. De framtida, allt striktare klimatmålen i EU och globalt, har även de en prishöjande effekt på de fossila bränslena. Även Finlands nya klimatstrategiska redovisning (KTM 2005) samt trafikens utredning gällande produktion och användning av biobränslen (KTM 2006) uppmuntrar till en ökad användning av bioenergi (Harstela & Hetemäki m.fl. 2006).

Skogsfliset fås huvudsakligen från grandominerade slutavverkningar, gallringar av ungskogar och på senare tid även från slutavverkningars stubbar. Merparten av skogsfliset, nästan 90 %, förbrukades i kraftverk (Metsätilastotiedote 770, 2005). År 2004 fanns det 485 kraftverk som använde skogsflis, och 18 % av skogsfliset förbrändes i Mellersta Finlands, och 14 % på kustens skogscentrals område. Den största delen av skogsfliset bestod av hyggesrester, vilkas andel av råvaran var 64 %. Den näst största delen bestod av småträd som skördats vid gallring av ungskogar samt plantskogsskötsel.

Användningen av skogsbiomassa för energiproduktion har ökat markant i Finland under de senaste åren. År 2000 användes ca 0,75 milj. m³ skogsflis för värme- och energiproduktion, år 2003 ca 1,65 milj. m³ och 2005 redan 2,6 milj. m³ (Metsätilastotiedote 820, 2006). År 2006 användes 3,4 milj. m³ och strategin är att utöka skogsbränsleuttaget till 5 milj. m³ år 2010. (Lauhanen & Laurila 2007)

Hyggesresters energiinnehåll varierar mellan 0,6 – 1,0 MWh/i-m³, beroende till stor del på hyggesresternas fukthalt. Fukthalten i färska hyggesrester är mellan 50 - 60 viktprocent, men fukthalten i skogsfliset som tillverkats av hyggesrester varierar mellan 25 - 65 %. Fukthalten påverkar av bl.a. årstiden och lagring (Lindholm 2000).

Emellertid kräver ett storskalig utnyttjande av skogsbiomassa att man även beaktar möjliga negativa aspekter. Användning av skogsbiomassa för energiproduktion är inte alltid helt koldioxidneutralt, eftersom fossila bränslen används under produktionskedjan. Dessutom allokeras alltid en del av beståndsförnan till marken och bildar där bestående organiska föreningar. Detta flöde bryts efter skörd i skogen då förnans kol i sin helhet återförs till atmosfärens koldioxid. Man kan vidare fråga om skördning av hyggesrester har negativa effekter för skogsmarkens produktionspotential, i då en betydande del av trädens näringsinnehåll finns i hyggesresterna (Asikainen, Raulund-Rasmussen m.fl. 2008). Förutom näringsämnen, förs även mycket kol bort från skogen vid uttag av hyggesrester (Kokko & Nurmi 2001). Enligt Kokko och Nurmi är markens kolförråd mindre på lokaler där hyggesresterna har skördats jämfört med lokaler där endast gagnvirket skördats. Denna skillnad i kolmängderna i marken är skillnaden i kolförråd som orsakats av skördningen av hyggesrester.

Teoretiskt kan näringsförlusterna vid uttag av hyggesrester med undantag för kväve kompenseras genom att återföra den träaska som uppkommit i förbränning av hyggesrester (Sustainable use of...2008). Träaskan innehåller dock inte kväve och askgödsling kan medföra problem då askan sällan är ren utan kan innehålla skadliga ämnen från andra energikällor och även t.ex. tungmetaller från flis som koncentrerats i förbränningsprocessen. Det är därför det är angeläget att ha kunskap om skogsflisets hela elementära sammansättning.

Hyggesrester kan även innehålla klor och svavel samt alkalimetallerna natrium och som vid förbränning bildar kemiska föreningar som korroderar värmeverkens pannor (VTT Tiedottaa, 2000). Isynnerhet klor i nederbörden är direkt relaterat till avståndet till havet; det existerar forskning över detta och det kan även härledas från Meteorologiska Institutets mätningar. Man

kan då dra slutsatsen att flis från isynnerhet kustnära skogar i Finland kan vara kontaminerat med Cl. Klorret (Cl) piskas upp i atmosfären i form av aerosoler vid hårt väder och sjögång, och når trädbestånden i form av nederbörd. Man kan anta att ju närmare kusten skogsbeståndet finns, desto högre är klorhalten i träden.

1.2 Skogsflis

De träbränslen som fås från skogen, är huvudsakligen hyggesrester från slutavverkningar, småträd från ungskogar eller grenar och toppar (GROT) från gallringar i produktionsskogar ungskogars (Selvitys puupolttoaineista...2000). De största hyggesrestpotentialerna finns i Södra Finland (Helynen & Nousiainen 1996). Mängden hyggesrester som fås från en lokal, påverkas av trädslag, virkesvolymen, trädens grovlek samt kvistmängd. Hyggesrestuttaget är ungefär dubbelt i ett granbestånd jämfört med ett tallbestånd. Hos granen är andelen GROT 30 - 40 % av det fullvuxna trädets ovanjordliga biomassa, medan motsvarande andel hos tall är 20 - 25 %. På ett typiskt slutavverkat granbestånd är hyggesrestvolymen $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ då gagnvirkesskörden är $200 - 250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Selvitys puupolttoaineista...2000).



Figur 1. Skogsenergi i form av helträd. Bild Jussi Laurila

Vid förbränning av ved frigörs energi i enlighet med vedens effektiva värmevärde. Värmevärde som avgivits som ånga till omgivningen och antagit en given temperatur kallas effektivt värmevärde. Med ökad mängd vatten i bränslet reduceras det effektiva värmevärdet. Flisens effektiva värmevärde är alltid mindre än dess kalorimetriska värmevärde (Skogsencyklopedin 2000).

Friska hyggesrester har en fukthalt på 50 - 60 %, vilket betyder att det effektiva värmevärdet därmed avviker kraftigt från det kalorimetriska värmevärdet. Om hyggesresterna får ligga kvar på ytan över sommaren, blir fukthalten betydligt lägre och effekten vid förbränningen högre, då avdunstning av vatten genom förbränning förbrukar 0,7 kWh/kg. Om hyggesresternas fukthalt sänks från 55 % till 40 % stiger det effektiva värmevärdet med 8 % (Puuenergiaohjelma... 2004).

Lagringen av hyggesresterna kan även leda till att eventuella Cl-avlagringar på barren tvättas bort med nederbörden. Då hyggesresterna torkar, faller även barren av, tunna kvistar går av och en del av barken flagnar. Hyggesresternas trähalt stiger, och fukthalten sjunker, men upp till 30 % av den skördbara mängden hyggesrester förloras i huvudsak för att barren faller av (VTT 2000). Däremot gagnas skogsmarken av detta, då barrrens näringsämnen kan återgå till näringscykeln.

Torrsubstansen i en kubikmeter flis beror på risets fukthalt vid flisningen. Utan barr/löv är hyggesresters torrsubstanshalt 465 kg m^{-3} och med barren inkluderade 425 kg m^{-3} .

Lagringsmetoden av hyggesresterna påverkar flisens kvalitet (Selvitys puupolttoaineista...2000).

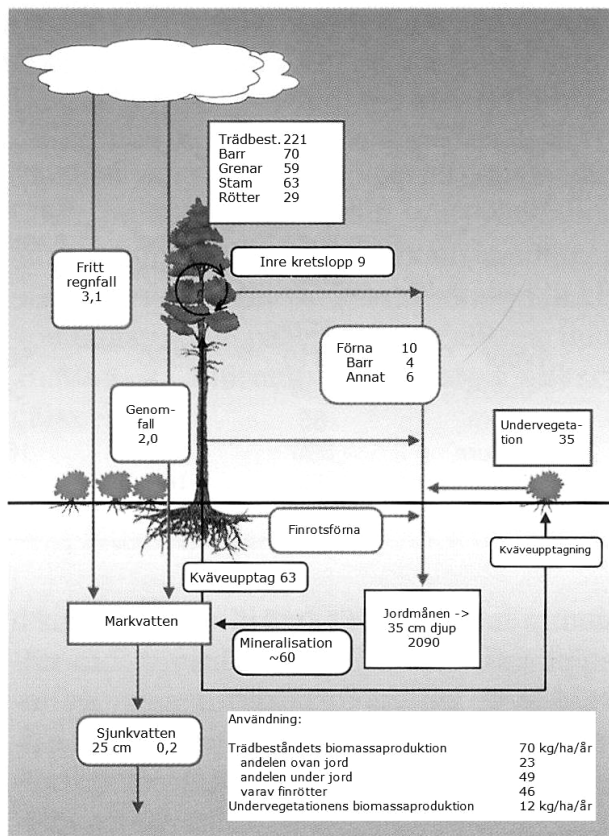
1.3 Arbetets målsättning

Detta arbetes målsättning är att undersöka halterna av kol, växtnäringsämnen, tungmetaller och andra för förbränningsprocessen negativa ämnen i skogsflis av tall och gran och uppskatta effekten av skördning av hyggesrester på växtplatsens kolbalans och näringshushållning. En andra målsättning är att undersöka hyggesresternas energiinnehåll.

2. Skördning av hyggesrester och skogsmarkens näringsämnesbalans

2.1 Kolets och näringsämnenas kretslopp i skogsekosystemet

I en skog i vilken det inte idkas skogsbruk, är näringscykeln rätt sluten på beståndsnivå, då näringsämnen som immobiliserats i biomassan återförs genom förnedfall och förnedbrytning. I ett längre perspektiv tillförs ekosystemet kol och kväve från atmosfären och en mindre del av kolet och kvävet binds till markens C och N -förråd (Sustainable use of...2008). Det boreala ekosystemet förlorar kontinuerligt näringsämnen som friställts genom vittring (Olsson & Melkerud 1998, Starr & Lindroos 1998). Årligen förloras på så sätt ungefär lika mycket näringsämnen som vid skörd av gagnvirke (<http://www.mm.helsinki.fi/mmeko/kurssit/ME312/index.html>). Traditionellt skogsbruk fördubblar med andra ord ekosystemets näringsförluster. Vid skördning av gagnvirke blir dock hyggesresternas näringsämnen kvar på lokalen. Under de första åren efter en slutavverkning, då det endast finns lite växtlighet som upptar näring, ökar urlakningen av näringsämnen för några år (Biomassan tehostetun talteenoton...2001).



Figur 2. Kvävetets kretslopp i skogsekosystemet, $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ (Helmissaari 1998)

2.2. Näringsförluster vid uttag av hyggesrester

För att kunna bestämma om ett skogsbruk var helträdsuttag används är långsiktigt hållbart, måste man beräkna skogsekosystemets näringsbalans. Om näringsuttaget är större än insättningen är balansräkningen negativ, vilket betyder att systemet är ohållbart på lång sikt (Sustainable use of...2008). Studier har visat att skördning av biomassa leder till en minskad mängd näringsämnen i skogsmarken. Dock är en minskning av näringsämnen i marken inte nödvändigtvis en tillväxtnedsättande faktor, så länge som den för växter tillgängliga mängden näring inte understiger en kritisk nivå. Snarare kan en negativ näringsbalans tolkas som ett varningstecken på negativa effekter i framtiden (Sustainable use of...2008). Studier har ofta koncentrerat sig på uttaget av kväve (N), då mängden tillgängligt N i momarker i Finland alltid är en tillväxtbegränsande faktor (Helmisaari 1998, Mälkönen 1998).

Hyggesresterna utgör ett stort näringsförråd. Hyggesrester innehåller mera näringsämnen än stamvirket, för att näringshalterna är i hyggesrester betydligt högre än i stamvirke. Jacobson m.fl. (2000) säger att näringsmängderna (kg ha⁻¹) i ett 100 år gammalt tallbestånd är som följande; 220 kg N, av vilka 130 kg i grenarna och barren, 50 kg P, av vilka 45 kg i grenarna och barren, 110 kg K, av vilka 60 kg i grenarna och barren, samt 145 kg Ca, av vilka 45 kg i grenarna och barren. I en avverkningsmoget granbestånd finns i hyggesresterna 75 % av trädbeståndets kväve, och 80 % av fosfor (Nykvist 1971, Kubin 1977).

Enligt Mälkönen (1976) har skördandet av hyggesrester konstaterats att öka på näringsförluster på följande sätt; N 2 - 4 gånger högre (jämfört med gagnvirkesskördning), P 2 - 5 gånger högre, K 1,5 - 2,5 gånger högre och Ca 1,5 - 2,5 gånger högre. Enligt en annan studie kan ett högentensivt skördande av hyggesrester leda till ett 6 - 7 gånger högre näringsuttag jämfört med skördning av endast stammar (Sustainable use of...2008). Enligt Mälkönen (1976) kan N och P vara de tillväxtbegränsande faktorerna för nästa trädgeneration. Mängden N i marken är betydligt större än i träden. Skogsmark innehåller vanligen mellan 900 och 3000 kilogram N per hektar i form av organiska föreningar beroende på växtplats (Tabell 1.). Däremot är bara en relativt liten del av N:et i marken i en form tillgänglig för växter.

Tabell 1. Mängden N och P i skogsmarkens rotskikt (humuslager + 0 - 20 cm) i Södra Finland (Tamminen 1998)

	Total mängd kväve, kg ha ⁻¹	Tillgänglig fosfor, kg ha ⁻¹
Lund & OMT	2700	14,1
MT	1600	16,4
VT	1265	13,5
CT & CIT	915	12,5

Den största delen av kvävet i humusskiktet är i form av relativt stabila föreningar vilka bryts ned långsammare än kvävet i hyggesresterna (Mälkönen 1976). Endast 0,5 - 3 % av markens N-förråd mineraliseras årligen, och därför kommer en betydande del av de näringsämnen den nästa generationens trädbestånd använder sig av från hyggesrester (Persson & Wiren 1995). Skördning av hyggesrester påverkar sannolikt bara lite markens kväveförråd, men påverkar däremot väsentligt på den för träden tillgängliga mängden kväve.

En del av näringsämnena i hyggesresterna kan urlakas från avverkningsområdena, och speciellt kalium frigörs från hyggesresterna snabbt. Av det kalium som finns i hyggesresterna, frigörs i regel 80-90 % under det första året efter avverkningen (Palviainen 2005, Wall 2008). Även fosfor frigörs relativt snabbt, men kvävet frigörs långsamt (Palviainen 2005).

Borttagningen av hyggesresterna först efter att barren fallit hade endast en mindre effekt på flödet av näringsämnen till marken (O-horisonten) och ingen signifikant effekt på markens näringsförråd (Wall 2008). Resultaten från Walls undersökning indikerar att på kort sikt undergräver inte skördning av hyggesrester markens produktivitet på lokaler där N är en minimifaktor, men nog var K är en minimifaktor. Dock finns det i regel ett tillräckligt utbud av K i momarker, så K begränsar sannolikt sällan produktiviteten. Borttagningen av hyggesrester minskade urlakningen av organiska N-föreningar, P och K från O-horisonten, jämfört med ytor där hyggesresterna lämnades kvar (Wall 2008). Olsson (2002) hittade små skillnader i mängden extraherbara baskatjoner i marken, med något lägre förråd efter helträdsgallring, men skillnaderna var inte signifikanta för vare sig näringsförrådet i träden eller marken. Olsson m.fl. (1996) fann att markens kol-kväve kvot hade stigit som följd av skördning av hyggesrester i en undersökning som gjordes 15 år efter slutavverkningen, vilket gör att mineraliseringen av näringsämnen i marken kan sakta ned.

Marken kan fungera som sänka för den atmosfäriska koldioxiden (CO₂), vilket innebär att markens kolförråd är medräknade i kolbalansen för Kyotoprotokollets växthusgaser (Sustainable use of...2008). Kolmängderna i mineraljordens 0-30 cm lager varierar mellan 30 - 50 t ha⁻¹, beroende på kvartärperiodens skikttyp. Kollagret i marken är ungefär dubbelt jämfört med den levande biomassan, vilket betyder att marken utgör kolets huvudförråd (Starr m.fl. 2005).

Vid skörd av hyggesrester minskar mängden kol som via nedbrytningsprocesser återförs till marken (Kokko & Nurmi 2001). Skördningen av hyggesrester minskar på markens kolförråd speciellt under de två första årtiondena efter slutavverkningen. Efter det är markens kolförråd igen nära nivån som motsvarar slutavverkningar där hyggesrester inte skördats. Enligt vissa uträkningar skulle medtagandet av denna faktor avsevärt öka på träenergins växthusutsläpp (Kokko & Nurmi 2001). Men tillvaratagandet av hyggesrester kan även ha indirekta följder på skogarnas kolbalans. Enligt Kohlmeier m.fl. (1995) kan skörd av hyggesrester leda till en minskning av markens kolförråd.

Skördning av hyggesrester kan påverka nedbrytningshastigheten av organisk materia i marken och trädens tillväxtförhållanden genom att påverka markens temperatur, pH-värde eller näringspool (Kokko & Nurmi 2001). Om skördning av hyggesrester sänker på trädbeståndets tillväxt, minskar också mängden kol som binds under följande trädgenerationer. Bortförningen av hyggesrester betyder även mindre organisk material vilket påverkar förutom markens C -förråd, även dess temperatur, ventilation och förmåga att kvarhålla näring och vatten (Sustainable use of...2008).

Skogsmarken försuras småningom då baskationer (K, Ca, Mg) försvinner från marken genom urlakning eller skörd av hyggesrester. Enligt Helmisaari m.fl. (2007) begränsar ett lågt pH mineraliseringen av kväve, vilket på sikt kan minska på mängden för träden tillgängligt N. Både traditionellt skogsbruk där man skördar endast gagnvirke, och skördning av hyggesrester har en försurande effekt på skogsmarken (Helmisaari m.fl. 2007).

2.3. Effekterna av skördningen av hyggesrester på trädbeståndens tillväxt

Trädbeståndets näringsbehov är som störst vid cirka 30 - 50 års ålder, men trädarterna skiljer sig i näringsbehoven (Mälkönen 1974). Granen behöver mera näringsämnen än tallen för att producera samma mängd biomassa (Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja... 2001). Enligt Palviainen (2001) kommer tillväxtförlusterna orsakade av skördning av hyggesrester fram med 10 års fördröjning på

grund av att kvävet mineralisering från barren når maximal hastighet först 3 - 6 år efter avverkningen, och från grenarna först om 10 år efter avverkningen.

Enligt Hakkila (2004) påverkar avverkningar alltid på skogars tillväxt och näringstillstånd. Hynynen och Ahtikoski (2004) har räknat ut, att då man skördar hyggesrester vid gallring och förnyelseavverkning, orsakar näringsförlusten under skogens kretslopp en värdeminskning på 0,4 % i tallskogar och 3,5 - 3,8 % i granskogar från det diskonterade nettonuvärdet. Enligt Wall (2008) är hyggesrester de facto en mycket dålig gödsel på grund av den låga mängden kväve som frigörs. Enligt Hakkila (2004), Hynynen och Ahtikoski (2004) och Wall (2008) känner man ännu tämligen dåligt till påverkan av hyggesrestskördning på skogens produktionsförmåga.

Enligt en studie gjord i Sverige påverkar helträdsuttag (HTU) vid slutavverkning granars höjdtillväxt negativt, medan tallars höjdtillväxt inte påverkas i ett kort perspektiv på 5 – 30 år (Miljökonsekvensbeskrivning... 1998). Påbörjade tillväxtmätningar i ett hyggesåldersförsök, där försöksled med och utan hyggesavfall sammanställts med högläggning och icke markberett indikerar att man med markberedning, vilken ökar näringstillgängligheten, delvis kan kompensera näringsförlusten som uppstår vid HTU. En del undersökningar tyder även på att tallar klarar av näringsförluster och begränsningar i humuslagret bättre än granar. En medverkande orsak till att tallar kan klara kväveförsörjningen även på mycket kvävefattiga marker kan vara förmågan att utnyttja organiskt kväve som kvävekälla (Northup m.fl. 1995).

Enligt Helmisaari m.fl. (2002) sänkte skörden av hyggesrester tillväxten i de flesta granförsöken och i hälften av tallförsöken. Hyggesresternas gödslings effekt är långsammare än kompensationsgödselns, men hastigheten med vilken näringsämnen frigörs varierar med växtplatstyp och klimat. Enligt Helmisaari m.fl. (2002) kompenserar inte kvävedofallet det kväve som förs från skogen med hyggesresterna, och gödsling ersätter inte de långvariga ekosystempåverkningar som bortföring av biomassa i form av hyggesrester har. I Mellersta Finland reducerade skördning av hyggesrester mineraliseringen av humusskiktets kol- och kväveförråd i OMT-granbestånd (Smolander m.fl. 2008).

Den aska som uppstår vid förbränning av skogsflis, kan returneras till skogen, varpå en del av den näring som utförts med biomassauttaget kan hämtas tillbaka till växtplatsen. Ren träaska innehåller förutom svavel och kväve näringsämnen i samma förhållande som i träbiomassan (<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.htm>). Med träaskan finns förutom näringsämnen, även tungmetaller. Träaskans tungmetaller är i en mer löslig form vilket innebär en ökad risk för utlakning samt en åtminstone temporär risk för ökat tungmetallupptag i växter och djur. (Sustainable use of...2008).

På momarker sänker träaska humuslagrets aciditet, men den basiska askan kan starta nitratbildning i marken som kan leda till kväveutlakning och markförsurning (Miljökonsekvensbeskrivning...1998). Risken för nitratbildning är störst på bördiga marker, i områden med högt N -nedfall samt på slutavverkningsytor. Ett ökat pH-värde kan öka nedbrytningen av det organiska materialet i en skogsmark och därmed frigöra mera N.

2.4 Tungmetaller

En metall klassas som tungmetall då dess täthet är större än 5 g/cm^3 . Tungmetallerna är bl.a. arsenik, bly, kvicksilver, kadmium, krom, koppar, nickel, zink samt vanadin.

Finland har kraftigt minskat utsläppen av tungmetaller jämfört med utsläppen under 1970 -talet. Detta beror till största del på att den finska industrins åtgärder för att minska emissioner och på att bensinen inte längre innehåller bly. Den största delen av dagens tungmetalldepositioner kommer från Europa och Ryssland. Nära industrier eller smältverk kan lokala källor vara mera betydande. Tungmetallutsläpp sammanhänger med industriprocesser som utvecklar höga temperaturer, såsom metallindustrin eller förbränning av kol och avfall. Många metaller sprids även genom naturliga processer såsom erosion eller via biogena partiklar (Nedfall av tungmetaller...2003).

De flesta tungmetaller förekommer mest i oxiderade former vilka är adsorberade på eller direkt bundna till partiklar. Tungmetaller deponeras till vegetation och mark via både våta och torra processer. Våtdeposition betyder att partiklarna tvättas från luften genom nederbörd. Hur effektivt partiklarna tvättas ut, beror på bland annat deras storlek och vattenlöslighet. Torrdeposition innebär att partiklar avsätts direkt på marken. Torrdepositionshastigheten är beroende av partikelns storlek och av markens form. För stora partiklar är gravitationen en viktig transportprocess, medan

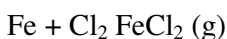
diffusion och vindrörelser är av större vikt för de mindre partiklarna (Nedfall av tungmetaller...2003).

Nedfallet av luftföroreningar skiljer sig markant från nedfallet på öppen mark. Träden i skogen skapar turbulens, som ökar massaöverföringen av komponenter i luft till ytor. Luftföroreningarna, såsom tungmetaller, fastnar på de ytor som trädens stammar, grenar och blad utgör (http://www.serva.se/Miljo/Dokumentation/iv1_bilaga2.pdf). Barrträd fångar upp en större del av depositionen än lövträd, och granen är det effektivaste av barrträden (Amezaga m.fl. 1997).

Den klor som deponeras över land i Norden kommer så gott som uteslutande från havet (Gustafsson & Hallgren Larsson, 2000). Transporten av klor från hav sker huvudsakligen genom tre olika mekanismer: a) våtdeposition, alltså tillförseln av lösta joner direkt med nederbörd, b) torrdeposition; direkt avsättning av partiklar eller gaser på vegetation, vatten eller mark, c) molndeponation, tillförsel genom små vattendroppar i moln eller dimma (Barnes m.fl. 1997). Havssaltaerosoler produceras till havs, och små droppar av havsvatten fångas upp av vinden, och kan deponeras på land. Större droppar deponeras ett par hundra meter från kustlinjen, medan mindre droppar kan färdas betydligt längre distanser innan de deponeras (Gustafsson, 1997).

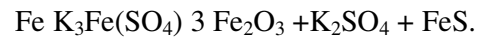
Enligt en studie i Norge av Aamlid & Horntvedt (2002) var klorhalten i tall- och granbarr högre ju närmare trädbestånden befann sig kusten.

Hyggesrester kan innehålla höga halter av klor och alkalimetaller såsom natrium och kalium, och det är främst alkaliklorider, som NaCl och KCl, vilka lätt fastnar på pannans övre delar, som verkar vara orsaken till korrosionsproblemen (Samförbränning av torv och biobränslen...2006). Korrosion på grund av klor startar med ett slags skyddande lager på tubytan vilket sedan genomträngs av Cl₂ som leder till i en korrosionsmekanism:



FeCl₂ diffunderar ut genom oxidskalet och övergår på vägen ut till Fe₃O₄ och Fe₂O₃, vilket återigen frigör Cl₂. Processen är alltså cyklisk. Reducerande förhållanden är initialt viktiga för att frigöra Cl₂, medan oxiderande förhållanden krävs för att korrosionen skall framskrida (Samförbränning av torv och biobränslen... 2006).

Svavlets betydelse för högtemperaturkorrosion är komplicerat. Svavel har visat sig minska korrosionen genom att bildningen av alkaliklorider minskar till förmån för bildning av alkalisulfat. Svavel kan även medverka till högtemperaturkorrosion genom formning av alkalijärnpyrosulfat enligt formeln (Samförbränning av torv och biobränslen... 2006):



3. Material och metoder

3.1 Forskningens uppläggnig

I detta arbete skall undersökas halterna av kol, växtnäringssämnen, tungmetaller och andra förbränningsprocessen negativa ämnen i skogsflis av tall och gran och uppskatta effekten av skördning av hyggesrester på växtplatsens kolbalans och näringshushållning i ett kustnära område. För att uppnå målsättningarna skulle flis från gran- och tallavverkningar på olika avstånd från kusten samplas, och dessutom skulle undersökas lagringens effekt på flisets kvalitet. För att uppnå statistisk validitet skulle representativa prov tas enligt schemat i Tabell 2, och meningen var att det skulle tas fem representativa sampel i varje cell. Totalt skulle 40 stycken representativa sampel tas. Samplingen skulle göras enligt denna plan av Raseborgs Träs personal.

Samplen skulle tas av flispartiet så att de representerade det hela partiet så väl som möjligt (Tabell 2). Med ett 10 liters ämbar skulle det tas 5 - 10 sampel från partiet som skulle flisas. Dessa sampel skulle sedan förenas till ett generalsampel i en 200 liters papperssäck som representerar partiet i sin helhet. Efter samplingen skulle generalsamplet blandas om ordentligt så att flisen skulle vara homogent. Ur dessa fältprov skulle sedan tas 5 - 10 liter representativt flis för laboratorieanalyser. Enligt planerna skulle fältarbetet ske under sommaren och hösten 2007 och säckarna med den färska flisen uppbevaras mörkt och svalt.

Tabell 2. Samplingselschema, antal lokaler att sampla uppsjälkt på olika led

Totala sampelmängd, st.	40							
Trädart	Tall (20)				Gran (20)			
Kust/inland	Kust (10)		Inland (10)		Kust (10)		Inland (10)	
Lagring	Färsk (5)	Lagrad (5)	Färsk (5)	Lagrad (5)	Färsk (5)	Lagrad (5)	Färsk (5)	Lagrad (5)

3.2 Materialet

De samplade bestånden var barrträdsdominerade med inslag av lövträd (Tabeller 3 och 4.). Andelen lövträd i samtliga sampel (9,9 %) var så liten att jag valde jag att räkna lövträdsfliset som tallflis. Av sampellokalerna var 10 st av skogstypen VT, 15 av skogstypen MT samt 4 av typen OMT. Den genomsnittliga storleken för tallgagnvirkes-volymen var $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ och den procentuella andelen tallgagnvirke var i medeltal 37,6 % (Tabell 3). Medeltalet för grangagnvirkes-volymen var $124 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ och den procentuella andelen tallgagnvirke var i medeltal 52,4 %. Medeltalet för lövgagnvirkes-volymen var $18,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ och den procentuella andelen tallgagnvirke var i medeltal 10 %. Den sammanlagda (alla trädslag tillsammans) flisvolymen per lokal uppgick till $443,7 \text{ l m}^3$ i medeltal, och den hektarvisa flisvolymen var 143 l m^3 i medeltal (Tabell 4.).

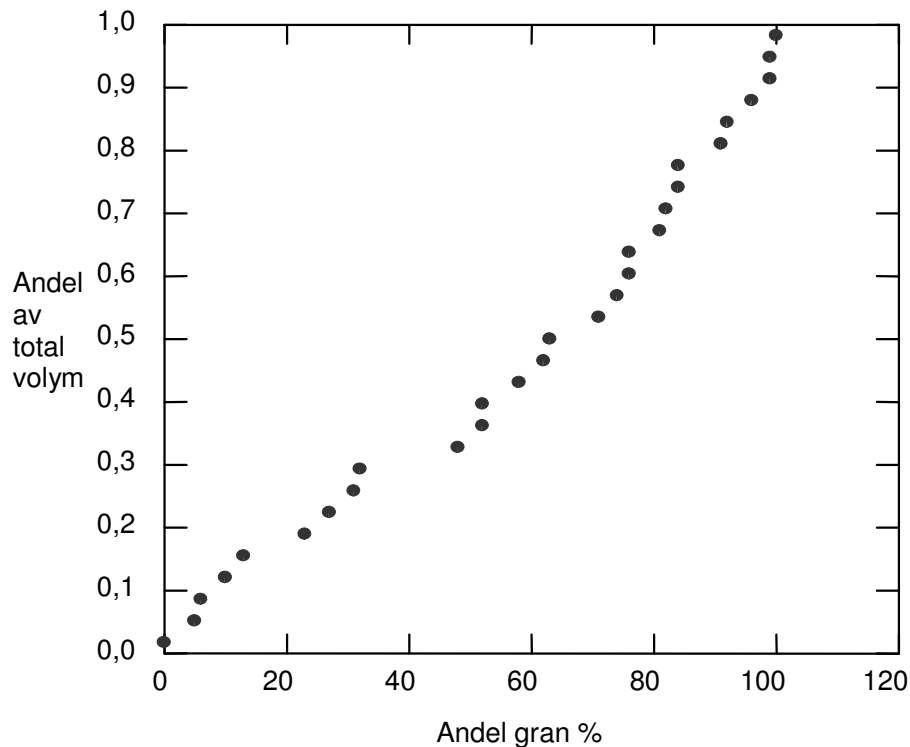
Tabell 3. Medelvärde, median, standardavvikelse, minimi- och maximivärden för samplingsarealerna, den totala gagnvirkes- och flisvolymen och för den procentuella fördelningen av tall-, gran-, samt lövgagnvirket.

	Areal, ha	Total gagnvirkes- volym $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	tallgagnvirke %	grangagnvirke %	lövgagnvirke %	Tall-, gran- och lövflisvolym, $\text{l- m}^3 \text{ ha}^{-1}$
Medelvärde	3,18	212,6	37,6	52,4	10	143,1
Median	2,4	212,6	33,3	59,4	8,7	130
Standardavvikelse	2,54	75	30,2	30,2	7,3	46,2
MIN	0,3	64,4	0	0	0	61,8
MAX	11	388,5	100	96,3	25	300

Tabell 4. Medelvärde, median, standardavvikelse, minimi- och maximivärden för flisvolymen per löskubikmeter trädslagsvis, för tall-, gran- och lövflismassorna samt den totala gagnvirkesvolymen för samtliga trädslag.

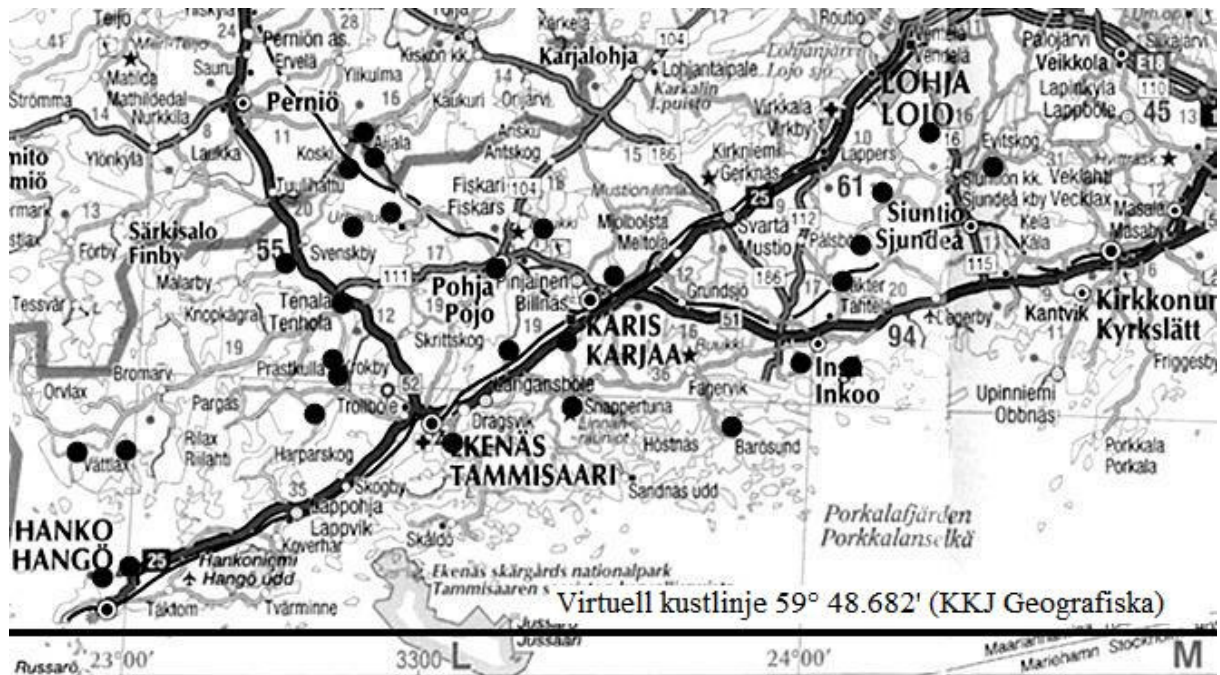
	Tall-, gran- och lövflisvolym $\text{l- m}^3 \text{ ha}^{-1}$	Tallflis kg ha^{-1}	Granflis kg ha^{-1}	Lövflis kg ha^{-1}	Total gagnvirkesvoly $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$
Medelvärde	143,1	5 751,1	20 385,0	1 297,2	212,6
Median	130,0	3 694,5	21 372,0	1 039,6	212,6
Standardavvikelse	46,2	4 623,3	14 943,0	979,7	75,0
MIN	61,8	0,0	0,0	0,0	64,4
MAX	300,0	18 062,0	52 608,0	4 515,0	388,5

Som det framgår från figur 3 misslyckades provtagningen vad gäller indelning i trädslag. Materialet uppvisar en fullkomlig kontinuitet från rent tallbestånd till rent granbestånd, vilket gjorde det omöjligt att analysera materialet trädslagsvis, såsom meningen var. Materialet delades därför upp i 4 klasser, beroende på sampellokalens andel gran av totalvolymen: 0 - 25 % gran, 26 - 50 % gran, 51 - 75 % gran samt 76 - 100 % gran.



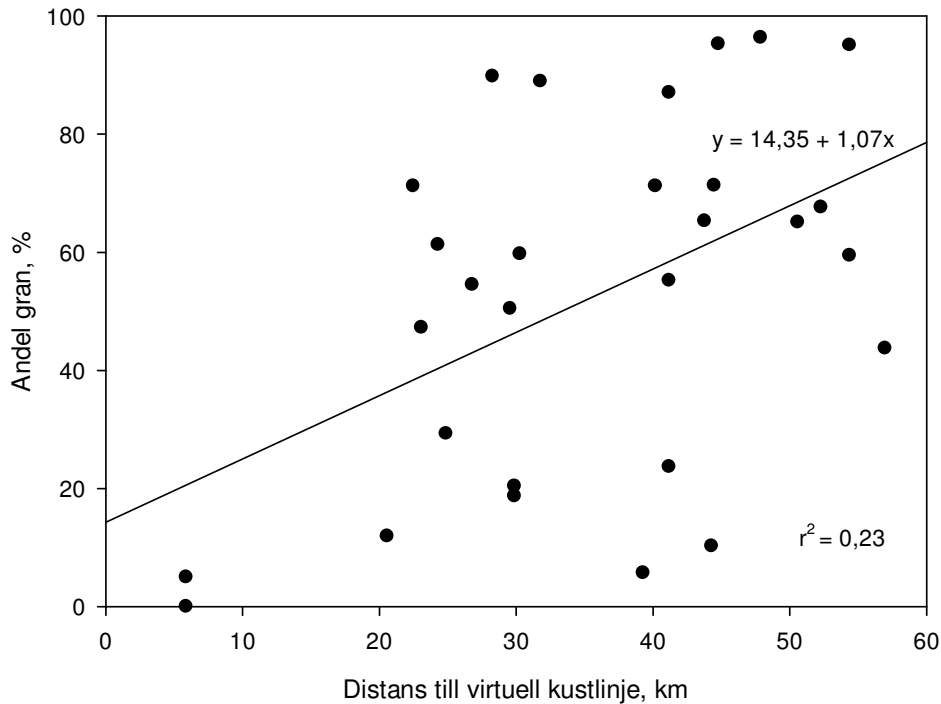
Figur 3. Andel gran % (stamvolym) jämfört med beståndets totala stamvolym

Lokalerna där samplen slutligen togs är belägna enligt kartan i figur 4. Någon klar uppdelning på lokaler nära kusten och lokaler längre från kusten kunde inte ses. Medeldistansen till kusten (den virtuella kustlinjen) från lokalerna var 35,5 km, minimiavståndet 5,9 km och maximiavståndet 57 km. Hyggesresterna lagrades i terräng mellan 1 - 6 månader (efter slutavverkningen) före de flisades och placerades i plantsäckar.



Figur 4. Karta över sampingslokalerna (29 st, utmärkta med svart punkt), samt den virtuella kustlinjen.

Karta: AT2008 Autoilijan tiekartta 1:800 000, taitettu



Figur 5. Andelen gran % (stamvolym) jämfört med samplingslokalens avstånd till den virtuella kustlinjen

Från figur 5 framkommer att granens andel av kubikmängden är tydligt korrelerad till beståndets läge jämfört med kusten: ju längre från kusten beståndet är, desto högre andel gran. Skillnaden var

signifikant, $p = 0,009$, $r^2 = 0,23$. Detta påverkar skogsflisets elementhalter och även flisets kvalitet generellt eftersom granen innehåller högre elementhalter än tallen. Granens andel i avverkningsbeståndet är alltså den starkaste påverkande faktorn gällande elementhalterna i skogsfliset.

3.3 Undersökningsmetoder

Fliset levererades den 25.2.2008 då jag fick i allt 29 prov av varierande volym. Nio av proven vägde mindre än 5 kg, vilket motsvarar i stort sett 30 liter flis (VTT 2001), 4 vägde mellan 1,1 - 2,74 kg, vilket motsvarar 6,7 - 16,6 liter (lös) flis. 13 av samplen uppfyllde eller översteg minimivolymen (50 liter) för det partivisa generalsamplet, medan 16 sampel inte gjorde det. Fyra av samplen hade en stark lukt av källare, och en fukthalt på ungefär 60 % (bilaga 8).

Flisen blandades sedan om i säcken från vilken det togs ca 10 liter flis som lades i en 35 liters fyrkantig plastlåda. Fliset blandades åter om i plastlådan, varpå 2 liter flis togs slumpmässigt ur plastlådan och uppmättes i ett 2 liters plastämbar. Fliset lades därpå i en aluminiumform, numrerades samt lades i ugn i 105°C för att torka ett dygn. Efter att flissamplen torkats i ugnen, vägdes de och fukthalten uträknades. Sedan lades de torkade flissamplen i numrerade påsar och grovmaldes. De grovmalda samplen maldes sedan ner till en partikelstorlek på 2 mm för att få det homogeniserade nermalda provet för laboratorieanalyserna.

3.3.1. Laboratorieanalyser

Samplen blandades varpå de hettades upp i en Ethos 1600 Milestone mikrovågsugn. I denna metod uppvärms samplet i en mikrovågsugn i koncentrerad kvävesyra. Det nedkylda samplet filtrerades, extraktet späddes ut och grundämneshalten mättes med en massaspektrometer-ICP (ICP-MS).

Provrören tvättades med salpetersyra (1 dygn i 10 % HNO_3), sköljdes noggrant med MQ-vatten och torkades i ugn. Till 9 kärl uppvägdes 1 g mineraljord, (det tionde kärlet var reserverat för blindprovet) 1 ml H_2O_2 och koncentrerat HNO_3 , varpå kärlen stängdes. Kärnen lades sedan i särskilda segment vilka placerades i mikrovågsugnen för uppvärmning. Samplen uppvärmdes med program 13 i 10 minuter. Samplens temperatur steg till 175 C på 5,5 minuter och hölls vid 170 -

180 C under den resterande tiden. Då programmet var avslutat, kylde kärnen 15 min i dragskåpet varpå uppslutningen filtrerades genom 595 Schleicher&Schuell papper till en 50 ml mätflaska och späddes till 50 ml med MQ-vatten.

Provets näringshalter analyserades därpå med en ICP (Thermo scientific iCAP6000 Series ICP Spectrometer) spektrometer -analysator.

ICP:n gav ut näringshalterna som mg l^{-1} , vilka omräknades till mg element per g med formeln:

Element i provet, $\text{mg g}^{-1} = (\text{elementkoncentration i uppslutningen, mg L}^{-1} \times 0,1) / \text{mängd invägt prov, g}$.

3.3.2. Bestämning av klorhalt

Provet förbrändes i en kalorimeter (IKA C5000), varefter förbränningsresterna tvättades ur med MQ-vatten och sköljvattnet flyttades till en 50 ml mätflaska. Till varje mätserie togs med ett nollsample, vilket behandlades som ett vanligt sample. I varje mätserie utfördes ett kontrollprov och ett parallellprov, vilket får avvika från originalprovet med högst 50 mg kg^{-1} .

Provets klorhalt kalkyleras med formeln:

$$\text{Cl mg kg}^{-1} = \frac{\text{Cl}(\text{mg l}) * \text{sköljlösningens volym}(\text{ml}) * 100}{\text{samplets massa}(\text{g}) * (100 - \text{fukt}\%)}$$

3.4. Bestämning av kalorimetriskt värmevärde

Ett (1) gram lufttorrt sample mäts upp och förbrändes i vätskeomsluten kaloribomb, varpå den frigjorda värmen uppmättes. Samtidigt bestämdes samplets fukthalt, med vilken det lufttorra samplets värmevärde förvandlades till att motsvara värmevärdet hos ett absolut torrt sample. Som resultat anges det kalorimetriska värmevärdet för ett absolut torrt sample. Det effektiva värmevärdet, i.e. det lägre värmevärdet, kalkylerades ur det kalorimetriska värmevärdet genom att beakta den värmemängd som behövs för att bränna vätet samt avdunsta fukten i samplet. Värmevärdet anges i megajoul per bränslekilogram, MJ kg^{-1} .

3.5 Räkneoperationer

Hakkilas koefficienter användes för att räkna ut hyggesresternas andel av gagnvirket. Enligt Hakkila (1991) är andelen GROT för tall 81,1 kg per kubikmeter gagnvirke, samt för gran 164,4 kg per kubikmeter gagnvirke. Andelen lövträd var så liten (9,9 %) i samtliga sampel att den inte beaktades. För att räkna ut kg ha^{-1} torrsubstans, multiplicerades grotmängderna per trädslag per ha med grundämneshalterna som fåtts från ICP-analysen. Efter detta beaktades skogsflisets fukthalt och som svar erhöles kg ha^{-1} i torrsubstans.

För uträkningen av den möjliga korrelationen mellan avstånd till kusten och skogsflisets Cl -halt, bestämdes en godtycklig virtuell kustlinje (Figur 1), till vilken drogs linjer i SW/NO -riktning från sampelplatserna. Tanken var att merparten av nederbörden kommer med lågtryck från sydväst och upptar Cl -aerosoler från Östersjön. Distansen bestämdes med en Internet-baserad tjänst vid namn "Karttapaikka" (<http://kansalaisen.karttapaikka.fi/kartanhaku/osoitehaku.html?lang=FI>) från sampelplatserna till den virtuella kustlinjen. Kustlinjen gick längs breddgraden $59^{\circ} 48. 682'$ (KKJ Geografiska) och passerade Jussarö utanför Hangö udd.

Medelvärden, medianer, standardavvikelser, minimi- och maximivärden beräknades med statistikprogrammet SPSS 16.0. Vidare användes Pearsons korrelationskoefficient (SPSS 16.0) för att undersöka om det existerade signifikanta skillnader mellan andel gran och distans till virtuell kustlinje, mellan andel gran och svavel-, klor-, kväve- och fosforhalten i skogsfliset, samt för att undersöka sambandet mellan samplingslokalens avstånd till kusten och skogsflisets klorhalt.

4. Resultat

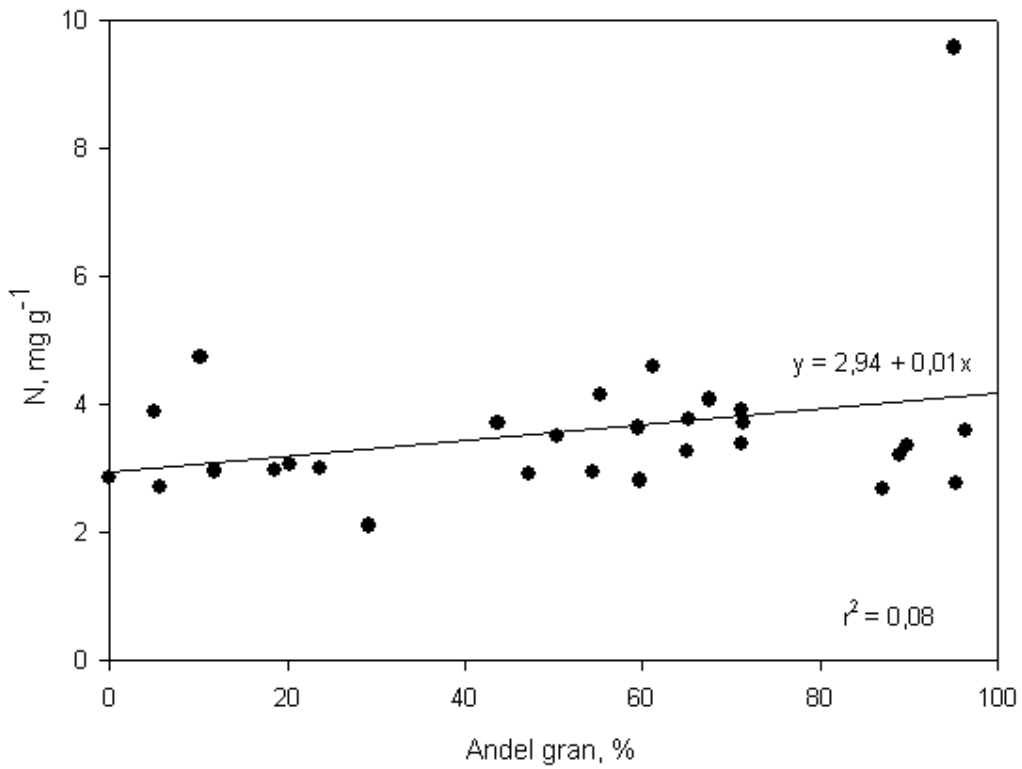
4.1 Flisets näringsämneshalter och med hyggesrester förlorade näringsmängder

Näringshalterna i skogsfliset ökade generellt sett med ökande andel granflis, förutom i klassen 26 - 50 % gran (Tabell 5).

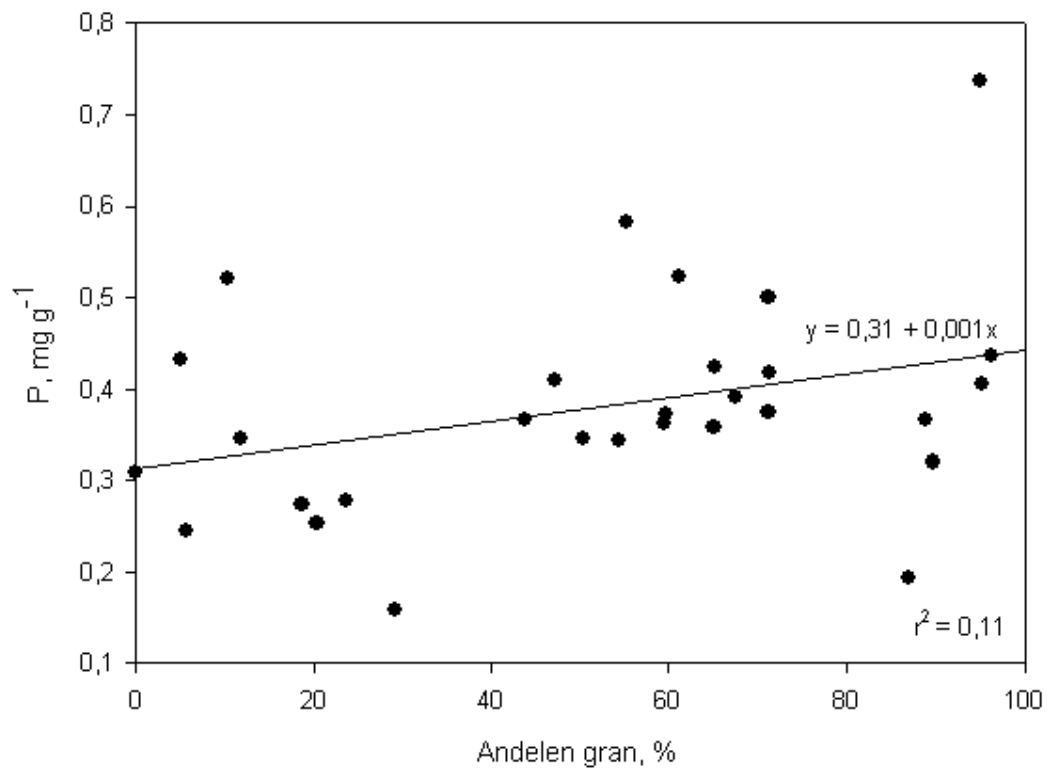
Tabell 5. Medelvärde, median och standardavvikelse för Ca, N, K, Mg, P och S, för 0 - 100 % andel gran, mg g⁻¹

Andel gran, %	N	P	K	Ca	Mg	S
0 - 25						
Medelvärde	3,432	0,371	1,311	2,918	0,494	0,373
Median	2,965	0,347	1,335	3,272	0,536	0,370
Standardavvikelse	0,862	0,108	0,287	0,789	0,089	0,131
26 - 50						
Medelvärde	2,786	0,241	1,008	2,659	0,461	0,272
Median	2,988	0,264	1,007	2,523	0,448	0,285
Standardavvikelse	0,452	0,056	0,120	0,413	0,068	0,042
51 - 75						
Medelvärde	3,395	0,405	1,479	4,316	0,583	0,419
Median	3,521	0,373	1,459	4,391	0,547	0,399
Standardavvikelse	0,510	0,083	0,175	0,741	0,080	0,069
76 - 100						
Medelvärde	3,994	0,415	1,596	4,928	0,633	0,455
Median	3,608	0,391	1,625	4,691	0,607	0,429
Standardavvikelse	1,756	0,126	0,373	1,204	0,222	0,141

Skogsflisets kväve- och fosforhalter steg då granens andel steg. Då materialet är relativt litet och spridningen ganska stor, förklarade granens andel av beståndets totalvolym bara 8 % av variationen i flisets kvävehalt (Figur 6.), samt 11 % av variationen i flisets fosforhalt (Figur 7.), och regressionsmodellerna var inte statistiskt signifikanta ($p > 0,05$).



Figur 6. Kvävehalten i skogsfliset jämfört med andelen gran på samplingslokalerna (%)



Figur 7. Fosforhalten i skogsfliset jämfört med andelen gran på samplingslokalerna (%)

Mängderna makronäringsämnen som förlorades genom skörd av hyggesrester ökade förutom med ökat uttag, även då andelen gran steg (Tabell 6.). Bestånden med 26 - 50 % gran hade en lägre totalvolym än de övriga klasserna, vilket reflekterades i mängderna förlorade makronäringsämnen.

Tabell 6. Medelvärde, median och standardavvikelse samt mängden makronäringsämnen som förlorades från växtplatsen genom skörd av hyggesrester per granandelsklass.

Andel gran	Totala gagnvirkesvolymen, m ³ ha ⁻¹	N, kg ha ⁻¹	P, kg ha ⁻¹	K, kg ha ⁻¹	Ca, kg ha ⁻¹	Mg, kg ha ⁻¹	S, kg ha ⁻¹
0 - 25 %							
Medelvärde	176,1	31,3	3,4	12,1	26,7	4,5	3,4
Median	155,3	21,3	2,5	9,6	24,1	3,9	2,7
Standardavvikelse	40,7	19,3	2,2	7,8	16,3	2,7	2,2
26 - 50 %							
Medelvärde	98,3	12,0	1,0	4,5	12,2	2,3	1,2
Median	69,7	10,2	0,9	3,8	9,7	1,5	1,0
Standardavvikelse	57,9	5,1	0,3	2,4	7,2	1,9	0,5
51 - 75 %							
Medelvärde	258,3	63,8	7,7	27,8	80,2	10,8	8,0
Median	238,0	47,6	5,2	20,5	74,9	8,8	5,6
Standardavvikelse	22,9	32,1	4,0	13,4	36,6	4,6	4,3
76 - 100 %							
Medelvärde	237,1	73,8	7,7	30,0	91,8	11,6	8,3
Median	258,0	69,5	6,2	25,0	93,8	10,5	8,1
Standardavvikelse	63,0	31,0	3,1	11,9	29,8	3,9	2,6

4.2. Kolhalten

Trädslagsförhållandena hade endast en liten påverkan på skogsflisets kolhalt (Tabell 7.). Desto mera gran skogen innehåller, ju mera kol förloras från växtplatsen i samband med skörd av hyggesrester eftersom granens kronmassa är större än tallens kronmassa.

Tabell 7. Medelvärde, median och standardavvikelse för beståndets volym, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ per klass, kolhalten (%), samt mängden kol som förlorades från växtplatsen genom skörd av hyggesrester, Mg ha^{-1} .

Andel gran	Beståndets volym, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$	C %	C Mg ha^{-1}
0 - 25 %			
Medelvärde	176,1	49,14	4,3
Median	155,3	49,01	3,5
Standardavvikelse	40,7	0,63	2,1
26 - 50 %			
Medelvärde	98,3	48,45	2,3
Median	69,7	48,65	1,7
Standardavvikelse	57,9	0,67	1,4
51 - 75 %			
Medelvärde	258,3	49,00	9,0
Median	238,0	49,07	7,2
Standardavvikelse	22,9	0,58	3,7
76 - 100 %			
Medelvärde	237,1	48,27	9,3
Median	258,0	48,63	9,5
Standardavvikelse	63,0	1,58	3,6

Gagnvirkesvolymen (TGL) som skördades från avverkningsytorna var i medeltal 212,5 m³ ha⁻¹, och C -mängden 41,4 Mg ha⁻¹ (Tabell 8.). Variationen smpellokaler mellan var tämligen stor, 64,3 - 388,0 m³ ha⁻¹ virkesvolym, samt 12,6 - 76,7 Mg ha⁻¹ C torrsbstans.

Tabell 8. Medelvärde, median och standardavvikelse för kolbalansen för gagnvirke (1 m³ = 400 kg) (TGL = Tall, Gran, Löv)

n = 29	TGL gagnvirkesvolym m ³ ha ⁻¹	C Mg ha ⁻¹ torrsbstans
Medelvärde	212,5	41,4
Median	212,6	41,9
Standardavvikelse	75,0	14,7
MIN	64,3	12,6
MAX	388,5	76,7

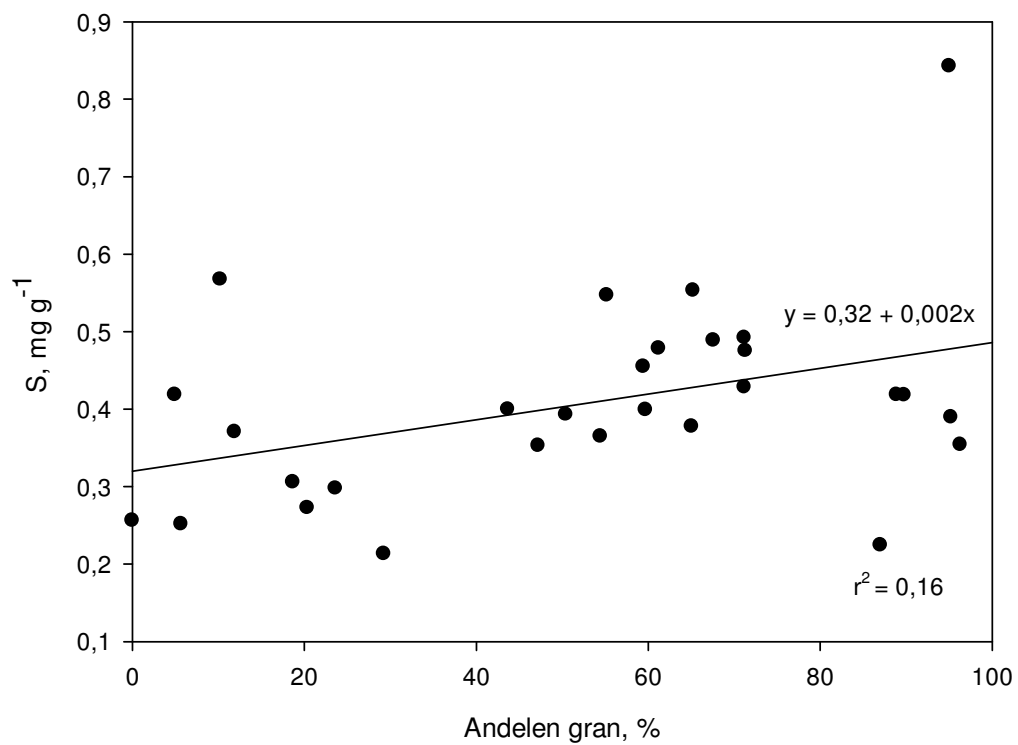
4.3 Flisens klor-, svavel- och natriumhalter

Svavel- och klorhalten i skogsfliset steg med ökande mängd gran, förutom i klass 26 - 50 % (Tabell 9).

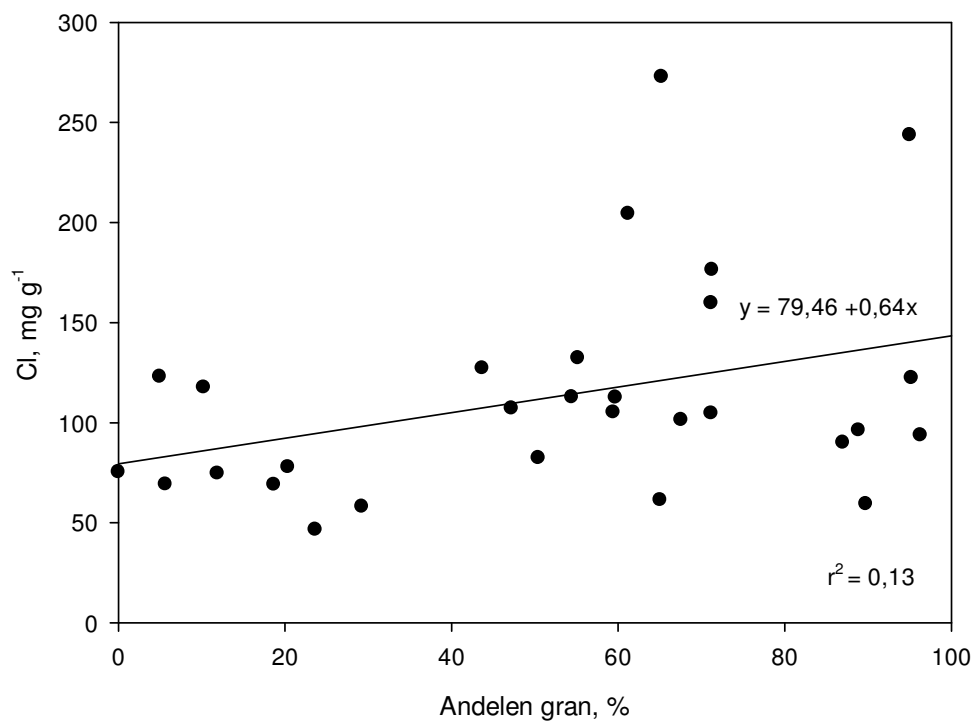
Tabell 9. Medelvärdet, medianen och standardavvikelsen för svavel- och klorhalten i skogsfliset i olika mängder gran.

Andel gran	S, mg g ⁻¹	Cl, mg g ⁻¹
0 - 25 %		
Medelvärde	0,373	91,90
Median	0,370	75,27
Standardavvikelse	0,131	26,06
26 - 50 %		
Medelvärde	0,272	62,80
Median	0,285	63,48
Standardavvikelse	0,042	13,60
51 - 75 %		
Medelvärde	0,419	121,46
Median	0,399	112,68
Standardavvikelse	0,069	29,05
76 - 100 %		
Medelvärde	0,455	131,85
Median	0,429	104,65
Standardavvikelse	0,141	68,07

Skogsflisets klor- och svavelhalter steg med ökande andel gran (Figurer 8 och 9). Granens andel av beståndets totalvolym förklarade 16 % av den observerade variationen i flisets svavelhalt, och regressionsmodellen var statistiskt signifikant ($p = 0,03$, $r^2 = 0,16$) (Figur 8). Granens andel av beståndets totalvolym förklarade 13 % av den observerade variationen i flisets klorhalt, men regressionsmodellen var inte statistiskt signifikant ($p = 0,06$, $r^2 = 0,13$) (Figur 9).



Figur 8. Andelen gran (stamvolym) jämfört med svavelhalten i skogsfliset



Figur 9. Andelen gran (stamvolym) jämfört med klorhalten i skogsfliset

Ingen signifikant korrelation hittades mellan skogsflisets klorhalt och sampellokalens avstånd till kusten ($p > 0,05$, $r^2 = 0,05$).

Hyggesresternas lagringstid (Figur 10.) påverkade inte natriumhalten tillräckligt för att skillnaden skulle ha varit signifikant ($p > 0,05$, $r^2 = 0,03$), inte heller klorhalten påverkades signifikant av lagringstiden ($p > 0,05$).

4.4 Tungmetallhalten i skogsfliset

Tungmetallhalten i skogsfliset varierade beroende på metall (Tabell 10.). Cu och Zn -halterna i skogsfliset var väldigt höga, men en förklaring till de höga värdena hittades ej. Andelen gran i skogsfliset påverkade bara lite flisets tungmetallhalter och en tydlig trend kunde inte skönjas.

Tabell 10. Medelvärdet, median och standardavvikelse i skogsfliset för beståndets volym, m³ ha⁻¹, samt halterna av kobolt, koppar, mangan, nickel, bly, sink samt kadmium i olika andelar gran.

Andel gran	Beståndets volym, m ³ ha ⁻¹	Co ppm	Cu mg g ⁻¹	Mn mg g ⁻¹	Ni mg g ⁻¹	Pb mg g ⁻¹	Zn mg g ⁻¹	Cd ppm
0 - 25 %								
Medelvärde	176,1	0,60	6,699	0,148	0,029	0,372	4,642	0,46
Median	155,3	0,60	6,805	0,155	0,029	0,374	4,657	0,46
Standardavvikelse	40,7	0,10	0,290	0,048	0,001	0,046	0,221	0,07
26 - 50 %								
Medelvärde	98,3	0,60	6,391	0,120	0,028	0,346	4,403	0,46
Median	69,7	0,55	6,397	0,120	0,028	0,342	4,430	0,48
Standardavvikelse	57,9	0,14	0,383	0,027	0,002	0,034	0,267	0,04
51 - 75 %								
Medelvärde	258,3	0,67	6,337	0,326	0,028	0,342	4,409	0,48
Median	238,0	0,70	6,501	0,355	0,029	0,342	4,509	0,43
Standardavvikelse	22,9	0,14	0,710	0,114	0,003	0,043	0,504	0,09
76 - 100 %								
Medelvärde	237,1	0,78	5,989	0,300	0,027	0,327	4,181	0,42
Median	258,0	0,70	6,171	0,294	0,027	0,337	4,277	0,44
Standardavvikelse	63,0	0,33	0,585	0,112	0,003	0,04	0,397	0,10

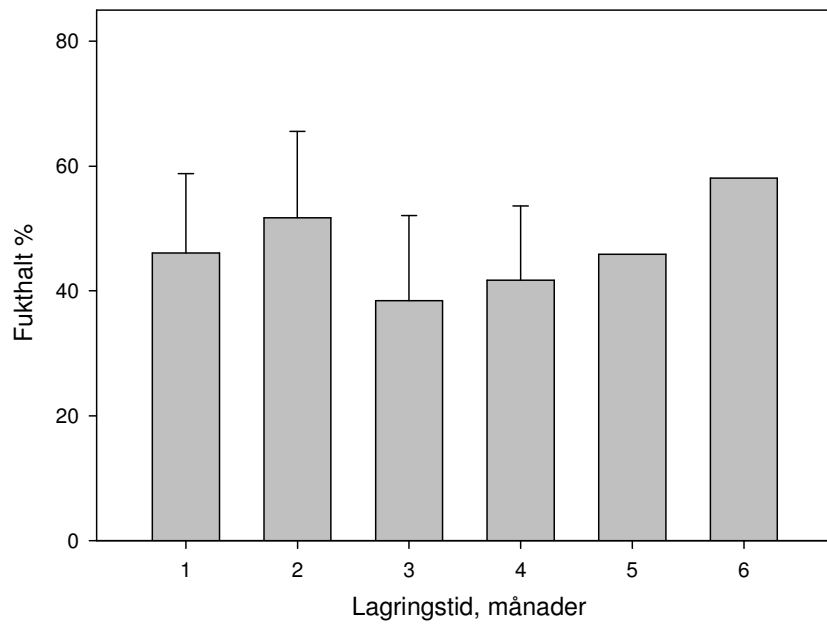
4.5 Energiinnehållet i skogsfliset

Skogsflisets både kalorimetriska och effektiva värmevärde sjönk i medeltal med ökande andel gran i fliset (Tabell 11.), också variationen var större i samplen med högre andel gran. Askhalten ökade däremot med stigande andel gran.

Tabell 11. Medelvärde, median och standardavvikelse för skogsflisets askhalt (%) samt värmevärde per torrsvikt per andel gran (0 - 100 %)

Andel gran	Ask %	Kalorim. vv., MJ/kg torrsvikt	Effektivt vv., MJ/kg torrsvikt
0 - 25 %			
Medelvärde	1,49	20,63	19,26
Median	1,35	20,58	19,21
Standardavvikelse	0,68	0,51	0,51
26 - 50 %			
Medelvärde	1,74	20,11	18,73
Median	0,93	20,17	18,79
Standardavvikelse	1,73	0,37	0,37
51 - 75 %			
Medelvärde	1,91	20,39	19,02
Median	2,01	20,45	19,08
Standardavvikelse	0,41	0,37	0,37
76 - 100 %			
Medelvärde	2,69	20,36	18,98
Median	1,84	20,49	19,12
Standardavvikelse	2,11	0,40	0,40

Fukthalten i hyggesresterna uppvisade ingen korrelation till lagringstidens längd. Dock lagrades en stor del av hyggesresterna under hösten, vilket kan ge en annan fukthalt än om de skulle ha lagrats under sommaren (Figur 10). De hyggesrestsampler vilka lagrats i 5 respektive 6 månader i skogen var endast 2 till antalet, vilket gör att dessa sampler antagligen inte är representativa vad gäller hyggesresternas fukthalt.



Figur 10. Medeltal + standardavvikelse för hyggesresternas fukthalt (%) i förhållande till lagringstiden i terräng

5. Diskussion

5.1 Balanser

Växtplatserna i denna undersökning representerar typiska platser där skörd av hyggesrester görs. Det innebär att det samplade fliset kan ses som representativt och att man kan göra generaliseringar baserade på resultaten. Dock måste osäkerheten stämmande från de potentiella felkällorna beaktas i tolkningen och tillämpningen av slutsatserna.

Makronäringsämnenhalten i hyggesresterna i denna studie av samma storleksklass som i tidigare studier (Nurmi 1999, Bjurström 2004, Obernberger m.fl. 2006). I denna undersökning var hyggesresternas N -halter något lägre än i tidigare undersökningar (Mälkönen 1975, Palviainen 2005). Denna undersökningens näringshalter var av samma storleksklass som halterna i Jacobson & Kukkolas (1999) undersökning, förutom N -halterna, vilka i denna undersökning var något lägre.

Svavel, kalium samt natrium -halterna i skogsfliset i denna studie steg med ökande mängd gran. Även klorhalten i skogsfliset steg med ökande mängd gran, vilket förklaras med att granen är en effektiv uppsamlare av aerosoler (Amezaga m.fl. 1997).

Trädslag och det avvertrade beståndets volym påverkar på mängden näringsämnen som förloras genom skördning av hyggesrester. Vid skördning av hyggesrester förloras större mängder näring från granbestånd än från tallbestånd, eftersom hyggesresternas mängd och näringsinnehåll är större i granbestånd (Hakkila 1991, Palviainen 2005). I avverkningsmogna granbestånd (beståndets volym 260 - 320 m³ ha⁻¹) förloras med skördning av hyggesrester i allmänhet 200 - 250 kg ha⁻¹ (Mälkönen 1975, Palviainen 2005), men i tallbestånd (beståndets volym 210 m³ ha⁻¹) endast cirka 80 kg ha⁻¹ (Mälkönen 1975). Även i denna undersökning observerades det att skogsflisets näringsmängder steg betydligt, då granens andel av beståndets totala virkesvolym steg.

Via luften kommer en hel del nedfall som delvis kompenserar markens näringsförlust som skett genom skogsbruk eller urlakning. Det totala nedfallet av N (i jonform) i Södra Finland är 4 - 6 kg ha⁻¹ a⁻¹ (<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=56024>). P nederbörden till skogsekosystem i Södra Finland räknas till ca 0,17 kg ha⁻¹ a⁻¹ (Someron vesienhoitosuunnitelma...) och K till 0,5 - 2,4 kg ha⁻¹ a⁻¹ (Järvinen 1986).

I finska skogsmarker, uppskattar man att vittring frigör ca 0,02, 1,0 och 3,0 kg ha⁻¹ a⁻¹ av P, K och Ca (Starr m.fl. 1998). I Södra Finland beräknas nedfallet under en period av 100 år vara (kg ha⁻¹) 500 N, 17 P och 180 K (<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=56024>). Vittringsmängderna under samma tidsperiod uppgår till 2 kg P ha⁻¹, 100 kg K ha⁻¹, 300 kg Ca ha⁻¹. På basis av dessa siffror, kommer det till skogen under följande omloppstid (100 år) mera näringsämnen genom atmosfäriskt nedfall samt vittring, jämfört med ett engångsuttag av hyggesrester efter en slutavverkning. Vid fosfor (P) samt kalium (K) är redan nedfallet ensamt större än de P och K - mängder som hyggesresterna innehåller. Dock förs det bort en hel del näring redan i traditionellt skogsbruk då endast stamvirket skördas.

I avverkningsmogna tallskogar tillförs marken genom förnadfall (a⁻¹) ca 10 kg N ha⁻¹, 0,6 kg P ha⁻¹, 1,5 kg K ha⁻¹, 6,1 kg Ca ha⁻¹ och 1,05 kg Mg ha⁻¹ (Helmisaari 1998). I avverkningsmogna granblandskogar tillförs marken genom förnadfall årligen 12 kg N ha⁻¹, 1,7 kg P ha⁻¹, 4 kg K ha⁻¹, 14 kg Ca ha⁻¹ och 2 kg Mg ha⁻¹ (Piirainen 2002). De näringsmängderna som förloras med skördning av hyggesrester, motsvarar alltså den näringsmängd som återförs med fallförna under en 4 - 6 års period.

I denna undersökning bortfördes i medeltal 41 400 kg ha⁻¹ kol genom skörd av gagnvirke (slutavverkning, 212,6 m³ ha⁻¹ gagnvirke) samt 7 422 kg C ha⁻¹ (15,2 % av trädets sammanlagda C - halt) genom skörd av hyggesrester (143,1 m³ ha⁻¹). Enligt Starr m.fl. (2005) är skogsmarkens kolförråd mellan 31 000 - 55 000 kg ha⁻¹ och enligt Piirainen (2002) 52 800 kg ha⁻¹ (0 horisont + 0 - 60 cm mineraljord). Markens kolförråd är således lite mindre eller lite större än kolförrådet i trädbeståndet ovan marken, beroende på den exakta kolmängden i marken i fråga. Enligt Liski & Westman (1997) igen, estimeras 68 % av markens kol vara i mineraljordens första meter, och endast 28 % i markens organiska lager. Liski & Westman (1997) anser att det i nuvarande förhållanden inte sker en ökning av kol i skogsmarken och att kolflödet i skogsekosystemet befinner sig i ett stabilt jämviktsläge.

Skogsmarken tillförs kol även genom förnadfall, vilket tillför skogsmarken en substantiell mängd kol under ett kretslopp (100 år). Enligt Piirainen (2002) är den årliga kolmängden i förnadfallet (avverkningsmoget granblandbestånd) ca 958 kg ha⁻¹, vilket kan jämföras med kolmängden i hyggesresterna som var i medeltal 7421,9 kg ha⁻¹. Med hyggesresterna förs således ut en kolmängd motsvarande ca 8 års förnadfall.

Genom skördande av gagnvirke genom slutavverkning försvinner en stor mängd kol som potentiellt kunde lagras i markens kolförråd. Dock är det endast en relativt liten del av kolet som lagras i marken även i obrukade skogar, då största delen går förlorad till atmosfären i form av CO₂ då träet bryts ned (Pirainen 2002). Skörd av hyggesrester innebär alltså en relativt blygsam ökning (15,2 % enligt denna undersökning) av kolmängden som förs bort ur skogen i samband med slutavverkningar och skördning av gagnvirke.

Det finns relativt lite undersökningar om klorhalten i hyggesrester. I denna undersökning var klorhalten i hyggesresterna hög, vilket sannolikt beror på ytornas närhet till kusten samt att mina sampel inte nödvändigtvis var representativa på grund av ett lågt antal sampel. En statistisk signifikant korrelation mellan distans till kust och mängden klor i skogsfliset hittades inte i denna undersökning, vilket antagligen beror på att mängden gran ökar ju längre från kusten man kom och att den geografiska spridningen av sampellokalerna var för liten. Då materialet inte indelades enligt den ursprungliga sampelplanen i separata tall- och gransampel, var det inte möjligt att urskilja vilken effekt lokalens distans till kusten hade på flisets klorhalt, då även mängden gran ökade ju längre bort från kusten lokalen fanns. Klorhalten (Cl) i hyggesresterna var högre i denna undersökning än i Lehtikangas (2001) undersökning i södra Sverige, men svavelhalten (S) var av samma storleksklass.

Samplens klorhalter översteg den rekommenderade halten (0,1 % av torrsubstansen, Obernberger m.fl. 2006) för hyggesrester, vilket betyder att denna undersökning bekräftar att nära kusten är klornedfallen höga och att klorhalten i kustskogarnas hyggesrester sannolikt kan orsaka korrosion i värmeverkens pannor. Detta gäller speciellt för grandominerade bestånd, då klorhalten i skogsfliset steg då andelen gran ökade. Även den relativa andelen barr, grenar och bark påverkar hurdana klorhalter som erhållas, då halterna varierar betydligt mellan olika delar av trädet (Obernberger m.fl. 2006, Taipale 1996). Då sampelstorlekarna var volymmässigt små, kan det av en slump ha kommit mycket barr i dem, vilket kunde förklara den stora spridningen av klorhalten i materialet.

Skogsflisets Cu och Zn -halter var i de kustnära områdena betydligt högre än vad tidigare studier har rapporterat (Hakkila & Kalaja 1983, Nurmi 1999, Obernberger m.fl. 2006). De höga halterna kan möjligtvis bero på eftersläpande effekter från gammal fjärtransport från Mellan-Europa eller Ryssland, eller på oljeskifferförbränning i Estland. Även de andra tungmetallernas halter var något högre än i tidigare studier, men Cd och Mn -halterna var av samma storleksklass som i tidigare studier (Hakkila & Kalaja 1983, Taipale 1996, Nurmi 1999, Obernberger m.fl. 2006).

Energiinnehållet i hyggesresterna i denna undersökning var i linje med värdena i Nurmis (1997) undersökning. Fukthaltens inverkan på energiinnehållet mättes ej, då mätningarna gjordes på absolut torra prov. Askhalten i hyggesresterna var i denna undersökning av samma storleksklass som i Lehtikangas (2001) undersökning.

5.2 Potentiella felkällor i undersökningen

Tillförlitligheten med resultatet i denna undersökning kan delvis ifrågasättas då den ursprungliga forskningsplanen inte följdes på flera punkter. Den till beställaren av arbetet givna samplingsplanen (se sida 16) fastställde att 40 sampel skulle insamlas, 20 gran samt 20 tall, vidare fördelade till 10 gransampel från kusten och 10 längre ifrån kusten, 10 tallsampel från kusten och 10 längre ifrån kusten. Föröver denna indelning skulle ännu både tall- och gransamplerna indelas i 5 färskas sampel samt 5 lagrade sampel. Tall- och granfliset skulle alltså hållas separat så att potentiella skillnader i trädslagen gällande diverse variabler såsom näringsinnehåll, klorhalt, energiinnehåll samt tungmetallhalt kunde skönjas ifrån analyserna. Flismängden per sampel skulle uppgå till 10 liter, vilket inte alltid uppnåddes.

Samplerna skulle tas av hyggespartiet så att de representerade det hela partiet så väl som möjligt. Med ett 10 liters ämbar skulle det tas 5 - 10 sampel från partiet som skulle flisas. Dessa sampel skulle sedan förenas till ett generalsampel i en 200 liters papperssäck som representerar partiet i sin helhet. Efter samlingen skulle generalsamplet blandas om ordentligt så att fliset skulle vara homogent. Av alla 40 st generalsampel skulle på måfå tas 5 - 10 liter flis från olika delar av påsen vilket sedan skulle blandas om i ett 25 liters fat för att samplet säkert skulle vara representativt. Tyvärr uppnådde ett relativt stort antal av samplerna inte dessa förutnämnda kriterier. Nio av generalsamplerna vägde under 5 kg, vilket motsvarar i stort sett 30 liter flis (VTT 2001), 4 vägde mellan 1,1 - 2,74 kg, vilket motsvarar 6,7 - 16,6 liter (lös) flis. 13 av generalsamplerna uppfyllde eller översteg minimivolymen (50 liter) för det partivisa generalsamplet, medan 16 inte gjorde det. Detta är en tänkbar felkälla, då alla partier potentiellt inte är väl representerade i flissamplerna.

Flissamplerna var blandade, så exakta egenskaps- samt ämnesinnehållsskillnader mellan trädslagen var inom ramen av denna undersökning inte möjligt att fastställa, och därför skapade jag istället 4 klasser enligt mängden gran av beståndets totalvolym (0 - 100 %). Jag använde mig av Hakkilas

(1991) GROT -koefficienter för att räkna ut den trädslagsvis fördelade mängden GROT på basen av de trädslagsvisa gagnvirkesvolymerna, men på grund av de blandade flissamplen analyserades materialet inte trädslagsvis utan enligt andel gran av totalvolymen. Hakkilas koefficienter är ungefärliga och ger endast estimat av den verkliga mängden GROT, så det är en potentiell felkälla. Dock kunde detta inte undvikas på grund av att uppdragsgivarens leverantör inte höll sig till samplingsplanen.

Fliset förvarades utomhus, inte i rätt sorts påsar och torkades inte, vilket kan ha lett till urlakning av K. Således kan mängderna K i fliset vara i underkant.

Flispartierna delades inte heller kategoriskt upp i lagrad/färsk, vilket gjorde det svårt att utreda de möjliga egenskapsskillnaderna mellan lagrad/färsk flis.

5.3 Slutsatser

Trots alla de ovannämnda svårigheterna gör jag följande slutsatser. Skogsmarken får betydligt mera näringsämnen från atmosfärisk deposition, förnedfall samt vittring, än vad som förloras genom skördning av hyggesrester efter en slutavverkning.

Skördning av hyggesrester innebär en relativt blygsam ökning av C -mängden som förs bort ur skogen i samband med slutavverkningar. En betydligt större mängd C försvinner ur skogsekosystemet genom skördning av gagnvirke. Skördning av hyggesrester har sannolikt inte en avgörande negativ effekt för skogsmarkens kolförråd jämfört med traditionellt skogsbruk där endast stamvirket skördas.

Då hyggesresterna i min undersökning uppvisade höga klorhalter, är sannolikheten för korrosion i samband med förbränningen på kraftverk tämligen hög, speciellt då det som bränsle används hyggesrester från grandominerade bestånd. En lösning på detta kunde vara sameldning av torv och biobränslen, vilket redan tillämpas vid vissa kraftvärmeverk i Finland. En torvblandning med 20 % torv och 25 % GROT har givit positiva resultat för förhindring av överhettarkorrosion (Samförbränning av torv och biobränslen...2006). Svavelhalten i hyggesresterna i denna undersökning var relativt låg och motsvarade halter i tidigare undersökningar, vilket innebär att sannolikheten för svavelframkallad korrosion är tämligen liten.

Om tungmetallhalterna i denna undersökning är representativa för hyggesrester i kustens skogsområden allmänt, kan det finnas skäl att vara försiktig med användning av askan från det förbrända skogsfliset för skogsgödslingsändamål. Ytterligare undersökningar i denna fråga är att rekommendera. Tungmetallhalten varierar dock betydligt mellan barken, grenarna och barren, som även mellan träarter. Detta innebär att förhållandena mellan dessa fraktioner i samplen i denna undersökning, kan påverka tungmetallhalterna och orsaka spridning i halterna. Även i tidigare undersökningar (Obernberger m.fl. 2006, Taipale 1996) har det konstaterats att tungmetallhalterna i de olika fraktionerna i skogsflis varierar i hög grad.

6. Slutord

Jag vill speciellt tacka professor Carl Johan Westman och forskningsdoktor Marjo Palviainen för all hjälp och stöd med min Pro Gradu de gett, jag vill även tacka doktor Antti Wall och laboratoriemästare Reetta Kolppanen på Kannus forskningsstation, laboratoriemästare Marjut Wallner på Helsingfors Universitet för hjälp med laboratoriearbetet, laboratoriemästare Sirkka Lietsala och forskningstekniker Silja Pirttijärvi för all deras hjälp på Hyytiälä skogsstation. Stort tack även till min uppdragsgivare VD Johan Engström på Raseborgs Trä Ab, samt revirinstruktör Lennart Biström från Södra Skogsreviret rf. som levererade materialet för undersökningen.

Källor

Aamlid D., Horntvedt R. 2002: Sea salt impact on forests in western Norway. *Forestry* 75, p. 171-178.

Alakangas E., Vainikka P., Veijonen K. 2003: Biomassa CO-firing - An efficient way to reduce greenhouse gas emissions.

http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/cofiring_eu_bionet.pdf

Alakangas E. 2005: Properties of wood fuels used in Finland - BIOSOUTH -project. European Commission Intelligent Energy Europe programme.

Amezaga, I., Gonzales Arias, A., Domingo, M., Echeandia, A. & Onaindia, M. 1997: Atmospheric deposition and canopy interactions for conifer and deciduous forests in northern Spain. *Water, Air, and Soil Pollution* 97, p. 303-313.

Asikainen A., Flyktman M., Helynen S. Laitila J. 2007: Metsätalouteen ja metsäteollisuuteen perustuvan energialiiketoiminnan mahdollisuudet. VTT Tiedottaa 2397

Asikainen, A., Raulund-Rasmussen, K., Röser, D., Stupak, I. (editors). 2008: Sustainable use of forest biomass for energy; A synthesis with focus on the Baltic and Nordic region. Springer ISBN 978-1420-5053-4

AT2008 Autoilijan tiekartta 1:800 000, taitettu

Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R. & Spurr, S.H. 1997: *Forest Ecology*. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. ISBN 0-471-30822-6.

Berg, B., Staaf, H. 1980: Decomposition rate and chemical changes of Scots pine needle litter, 2: Influence of chemical composition [Pinus sylvestris, cellulose, lignin, litter-bag, mineralization, plant nutrient, central Sweden]. *Ecological Bulletins (Sweden)*

Nurmi J., Kokko A. (toim.) 2001: Biomassan tehostetun talteenoton vaikutukset metsässä, Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816. 80 s. ISBN 951-40-1793-5

Bjurström, H. 2005: De minerogena ämnenas flöde genom pannorna. Rapport 500743, ÅF Miljö & Energi AB

Burvall, J. & Öhman, M. 2006: Statens Samförbränning av torv och biobränslen - askrelaterade systemfördelar. ISSN 1403-1892 Tillgänglig:

[http://www.swedishenergyagency.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/ER2006_33W.pdf/\\$FILE/ER2006_33W.pdf?OpenElement](http://www.swedishenergyagency.se/web/biblshop.nsf/FilAtkomst/ER2006_33W.pdf/$FILE/ER2006_33W.pdf?OpenElement)

Eckhard G., Sabine K., Petra S., Angela T., Bettina S. 1998: Effect of varied soil nitrogen supply on growth and nutrient uptake of young Norway spruce plants grown in a shaded environment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. Volume 162 Issue 3, p. 301 - 307

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

Egnell G., Valinger E. 2003: Survival, growth, and growth allocation of planted Scots pine trees after different levels of biomass removal in clear-felling. *Forest Ecology and Management*, Volume 177, Issues 1-3, p. 65-74

Egnell ; Nohrstedt H.; Weslien J; Westling O; Örlander G. 1998: Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen Jönköping.

Energiakatsaus. 2006. Energy Review. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Katsaus 1/2006. 51 s.

Energiakatsaus. 2005. Energy Review. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Katsaus 1/2005.

Gustafsson, M.E.R. 1997: Raised levels of marine aerosol deposition owing to increased storm frequency; a cause of forest decline in southern Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology* 84, 169-177.

Gustafsson, M.E.R. & Hallgren Larsson, E. 2000. Spatial and temporal patterns of chloride deposition in southern Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution* 124, p. 345-369.

Hakkila P., & Kalaja H. 1983. Puu- ja kuorituhkan palauttaminen -tekniikka. Helsinki, *Folia Forestalia* 552. 37 p. I publikationen: Alakangas E. 2005: Properties of wood fuels used in Finland - Biosouth -projekt.

Hakkila, P. 2001: Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001 - puuenergian korjuun vaikutukset. Valtion teknillinen tutkimuskeskus - Espoo 2001

Hakkila P. 2004: Puuenergian teknologiaohjelma 1999–2003 Metsähakkeen tuotantoteknologia Loppuraportti VTT Prosessit Teknologiaohjelmaraaportti 5/2004 Helsinki

Harstela P., Hetemäki L., Hynynen J., Ilvesniemi H., Uusivuori J. (toim.) 2006: Suomen metsiin perustuva hyvinvointi 2015 - Katsaus Suomen metsäalan kehitykseen ja tulevaisuuden vaihtoehtoihin. Metlan työraportteja 26
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2006/mwp026.htm>

Helmisaari, H-S. 1998: Metsäekosysteemin toiminta ympäristömuustosten ilmentäjänä. I publikationen: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691, p. 170-174.

Helmisaari H-S., Kukkola M., Luiro, J., Saarsalmi A., Smolander A., & Tamminen P. 2007: Energiapuun korjuu ja ravinnetase Metla / Vantaa Tutkimushanke: Kangasmetsien ravinnedynamiikka ja ravinteisuuden hoito. Esitelmä Energianpuun korjuun ympäristövaikutukset-seminaarissa 20.11.2007

Helmisaari H-S., Makkonen K., Kellomäki S., Valtonen E., Mälkönen E. 2002: Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland *Forest Ecology and Management* 165, p. 317-326

Helynen S., Nousiainen I. 1996: Biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöpotentiaalit Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja (vuodesta 1993-3/2004) ISBN 951-739-221-4

Hynynen J, Ahtikoski A., & Eskelinen T. 2004: Viljelyhaavikon tuotos ja kasvatuksen kannattavuus Metsätieteen aikakauskirja 1/2004. p. 113-116

Håkansson, M. (red.) 2000: Skogencyklopedin, Sveriges skogsvårdsförbund, Stockholm ISBN 91-7646-041-X

Jacobson S. ; Kukkola M.; Mälkönen E., Tveite B. 2000: Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands Forest ecology and management 2000, vol. 129, no 1-3, p. 41-51 (37 ref.)

Kalka 206; Menetelmäohje; Metsäntutkimuslaitos Laboratorio/Kannuksen toimintayksikkö

Kalka 207; Kloridin määrittäminen biopolttoaineista potentiometrisellä titrausmenetelmällä. Metsäntutkimuslaitos, Laboratorio/Kannuksen toimintayksikkö

Kohlmaier G. H., Lydeke M., Schlamadinger B. & Spitzer J. 1995: Carbon balance of bioenergy from logging residues. Biomass and Bioenergy, Vol 8, No. 4, p. 221-234.

Kubin, E. 1977: The effect of clear-cutting upon the nutrient status of a spruce forest in northern Finland (64 28 N). Acta For. Fenn. 155, p. 1-40

Lauhanen, R. & Laurila J. 2007: Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet. Metlan työraportteja 42 2007 ISBN 978-951-40-2028-5
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.htm>

Lehtikangas, P. 2001: Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. Biomass and Bioenergy 20, p. 350-360.

Lindholm, P. 2000: Tampereen yliopisto, Aluetieteen ja ympäristöpolitiikan laitoksen verkkojulkaisu, Selvitys puupolttoaineista

Lindroos, A.-J., Starr, M., Tarvainen, T., Tanskanen H. 1998: Weathering rates in the Hietajärvi Integrated Monitoring catchment, Boreal environment research, vol. 3, no3, p. 275-285

Liski, J., Westman, C-J 1997: Carbon storage in forest soil of Finland. 1. Effect of thermoclimate. Biochemistry 36, p. 239-260

Liski, J., Westman, C-J. 1997: Carbon storage in forest soil of Finland. 2. Size and regional pattern Biochemistry 36, p. 261-274

Malcolm, D., Titus, B. 1999: The long-term decomposition of Sitka spruce needles in brush, Forestry, Volume 72, Number 3, p. 207-221(15)

Metlan työraportteja 42. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.htm>

Metla Hanke 3291. Hakkuutähteen talteenotto osana metsätaloutta
<http://www.metla.eu/hanke/3291/index.htm>

Metsäenergiavarat. Altener-tiedote 1. Puuenergia ry. 8 s.

Metsätalostatiedote 770, 2005: Puupolttoaineiden käyttö energiatuotannossa 2004

Metsätilastotiedote 820, 2006: Puupolttoaineiden käyttö energiantuotannossa 2005. Toim. Esa Ylitalo

Mälkönen, E. 1976: Effect of whole-tree harvesting on soil fertility, *Silvia Fennica* vol. 10, N:o 3, p. 157-164

Nedfall av tungmetaller och kvicksilver, 2003: Resultat från mätningarna vid Mjölsta i Stockholms län åren 1993-2001, Miljö- och planeringsavdelningen: Rapport 2003/11

Northup, R., Zhenzou, Yu, Dahlgren, R., Vogt, K. 1995: Polyphenol control of nitrogen release from pine litter. (pdf) *Letters to Nature*, , s. 227 - 229.
https://vista.nau.edu/webct/RelativeResourceManager/844689244021/Public%20Files/files/NorthupEtAl_1995_Polyphenol_Nature.pdf

Nurmi, J. 1997: Heating values of mature trees. Tampere, *Acta Forestalia Fennica* 256, 28 p.

Nykvist, N. 1971: The effect of clear felling on the distribution of biomass and nutrients. *Ecology Bull* 14, p. 166-178

Obernberger, I., Brunner, T., Barnthaler, G. 2006: Chemical properties of solid biofuels—significance and impact. *Biomass and Bioenergy* 30, p. 973-982.

Olsson, M., Melkerud, P-A. 2000: Weathering in three podzolized pedons on glacial deposits in northern Sweden and central Finland. *Geoderma* 94, p. 149-161.

Olsson B.A., Staaf H., Lundkvist H., Bengtson J. ja Rosen K. 1996b. Carbon and nitrogen in coniferous soils after clear-felling and harvests of different intensity. *Forest Ecology and Management* 82, p. 19-32.

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

Palviainen, M. 2007: Puuenergian korjuun vaikutukset maapohjan tuotoskykyyn 82243 AGTEK370 *Bioenergiaketjut, luentosarja*

Persson, T. & Wiren A. 1995: Nitrogen mineralization and potential nitrification at different depths in acid forest soils. Dept of Ecology and Environmental Research, Swedish University of Agricultural Sciences, P.O. Box 7072, S-75007 Uppsala, Sweden Volume 168-169, Number 1

Piirainen, S., 2002: Nutrient fluxes through a boreal coniferous forest and the effects of clear-cutting. Academic dissertation, Faculty of forestry, University of Joensuu.

Rosen, K., Lundmark-Thelin, A. 1987: Increased nitrogen leaching under piles of slash. A consequence of modern forest harvesting techniques. *Scandinavian Journal of Forest Research*. Vol. 2, no. 1, p. 21-29.

Saarsalmi, A., Tamminen, P. 2004: Viljavien maiden nuorten kuusikoiden neulasten booripitoisuus Etelä-Suomessa Helsinki, Metsäntutkimuslaitos, *Metsätieteen aikakauskirja* 2004:3

Smolander, A., Levula, T. & Kitunen, V. 2008: Response of litter decomposition and soil C and N transformations in a Norway spruce thinning stand to removal of logging residue. *Forest Ecology and Management* 256, p. 1080-1086.

Someron vesienhoitosuunnitelma 2005: Osaraportti XVI SALKOLANJÄRVEN HOITOSUUNNITELMA 2005 <http://www.somero.fi/attachements/2006-03-01T22-32-5538.pdf>

Starr, M., Vanhala, P. & Forsius, M. 2005: Progress report on calculation of carbon and nitrogen budgets for Finnish ICP IM catchments. In: Kleemola, S. and Forsius, M. (eds), 14th Annual Report 2005. UN ECE ICP Integrated Monitoring. Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland. *The Finnish Environment* 788, p. 44-49.

Taipale, R. 1996: Kiinteiden polttoaineiden ominaisuudet. Jyväskylä, University of Jyväskylä, Master's thesis. 138 p. I publikationen: Alakangas, E. 2005: Properties of wood fuels used in Finland - Biosouth -projekt.

Tamminen, P. 1998: Maaperätekijät. I publikationen: Mälkönen, E. 1998: Ympäristömuutos ja metsien kunto. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 691

Tamminen, P. 1998: Typpi- ja tuhkalannoitus punalatkan vaivaamassa männikössä. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 3/1998, p. 411-420.

Vainikka P. 2004: Maximum biomass use and efficiency in large-scale co-firing PUUT31. VTT Prosessit/Jyväskylä

VTT Tiedottaa. 2000: Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia Espoo Otamedia Oy. ISBN 951 - 38 - 5699

Wall, A. 2008: Effect of removal of logging residue on nutrient leaching and nutrient pools in the soil after clear cutting in a Norway spruce stand. *Forest ecology and management* 256, p. 1372-1383

http://www.skogforsk.se/templates/sf_NewsPage3023.aspx?sm=1&cpi=2176&ci=55

http://www.skogforsk.se/templates/sf_NewsPage____2950.aspx?sm=1&cpi=2172&ci=32

<http://sv.wikipedia.org/wiki/F%C3%B6rbr%C3%A4nningsv%C3%A4rme>

<http://kansalaisen.karttapaikka.fi/kartanhaku/osoitehaku.html?lang=FI>

http://ec.europa.eu/environment/climat/campaign/actions/euinitiatives_sv.htm

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=133623&lan=sv>

Bilaga 1 - Grundämneshalterna i skogsfliset per samplingslokal, mg g⁻¹

Provnr (n = 29)	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	S	Si	Cl
1007	0,42	2,47	0,77	0,87	0,55	0,40	0,16	0,21	0,30	57,98
8181	0,33	4,69	0,60	1,63	0,64	0,37	0,39	0,49	0,26	101,32
1008	0,09	3,26	0,10	1,05	0,40	0,29	0,28	0,30	0,25	46,43
5003	0,14	1,95	0,11	1,03	0,38	0,35	0,25	0,25	0,13	69,17
1094	0,29	4,07	0,50	1,48	0,55	0,25	0,41	0,35	0,36	107,03
1009	0,32	3,79	0,29	1,62	0,57	0,37	0,52	0,57	0,25	117,56
8201	0,21	4,39	0,36	1,56	0,55	0,24	0,42	0,48	0,36	176,37
1010	0,33	3,63	0,53	1,59	0,50	0,34	0,41	0,39	0,55	122,27
8008	0,13	4,46	0,36	1,45	0,56	0,40	0,37	0,40	0,36	127,12
6033	0,03	2,33	0,06	0,97	0,43	0,39	0,25	0,27	0,15	77,81
6030	0,16	4,81	0,19	1,77	0,65	0,45	0,50	0,49	0,39	159,77
9001	0,20	5,34	0,29	1,46	0,63	0,48	0,37	0,40	0,40	112,49
1011	1,67	7,99	2,11	2,38	1,30	0,36	0,74	0,84	0,29	243,62
8278	0,32	5,86	0,62	1,67	0,76	0,40	0,42	0,55	0,31	272,75
7083	0,07	3,78	0,13	1,73	0,51	0,35	0,44	0,35	0,24	93,65
3018	0,06	2,23	0,09	1,01	0,41	0,28	0,31	0,26	0,08	75,27
3014	0,14	4,70	0,23	1,18	0,52	0,34	0,32	0,42	0,36	59,31
1068	0,12	3,05	0,33	1,28	0,53	0,34	0,35	0,39	0,23	82,30
8193	0,03	3,44	0,07	0,92	0,39	0,39	0,19	0,22	0,15	89,95
9002	0,16	3,35	0,19	1,34	0,54	0,37	0,35	0,37	0,24	74,56
1012	0,10	4,67	0,15	1,40	0,53	0,42	0,37	0,43	0,36	104,65
8010	0,13	4,94	0,15	1,93	0,63	0,52	0,36	0,45	0,35	105,09
1013	0,16	3,27	0,20	1,56	0,56	0,47	0,43	0,42	0,20	122,95
9133	0,08	3,94	0,13	1,32	0,52	0,42	0,34	0,36	0,26	112,68
8204	0,19	4,97	0,27	1,81	0,75	0,51	0,58	0,55	0,36	132,23
3022	0,15	6,21	0,23	1,84	0,65	0,28	0,52	0,48	0,40	204,33
5160	0,38	4,65	0,52	1,49	0,61	0,36	0,37	0,42	0,40	96,13
6280	0,10	2,57	0,09	1,15	0,47	0,29	0,27	0,31	0,18	68,98
7082	0,15	4,69	0,16	1,22	0,54	0,35	0,36	0,38	0,28	61,23
Medelvärde	0,23	4,12	0,34	1,44	0,57	0,37	0,38	0,41	0,29	112,93
Median	0,15	4,07	0,23	1,46	0,55	0,37	0,37	0,40	0,29	104,65
Standardavvikelse	0,30	1,31	0,39	0,35	0,17	0,07	0,12	0,13	0,10	53,90
MIN	0,03	1,95	0,06	0,87	0,38	0,24	0,16	0,21	0,08	46,43
MAX	1,67	7,99	2,11	2,38	1,30	0,52	0,74	0,84	0,55	272,75

Bilaga 2 - Fukt %, ask- och energi-innehåll

Sampl nr	Fukt %	Ask %	Kalorim. vv., MJ kg ⁻¹ torrsvikt	Effektivt vv., MJ kg ⁻¹ torrsvikt
1007	4,02	4,33	19,61	18,23
8181	4,34	3,00	20,06	18,68
1008	4,44	1,02	20,27	18,89
5003	4,18	1,18	20,31	18,93
1094	4,34	2,20	20,45	19,08
1009	4,45	2,46	21,39	20,01
8201	4,27	1,89	20,84	19,47
1010	4,34	2,67	20,27	18,89
8008	4,31	2,01	20,76	19,39
6033	4,22	0,83	20,07	18,69
6030	4,11	1,82	20,78	19,41
9001	4,09	2,42	20,07	18,69
1011	5,05	9,23	19,65	18,27
8278	4,32	3,71	20,12	18,74
7083	4,10	1,34	19,95	18,58
3018	3,74	0,67	20,07	18,70
3014	4,53	1,84	20,50	19,12
1068	4,00	1,49	19,95	18,58
8193	4,28	0,87	20,58	19,20
9002	4,17	1,81	20,58	19,21
1012	4,21	1,67	20,61	19,23
8010	4,38	1,80	20,94	19,57
1013	4,23	1,35	20,80	19,43
9133	4,56	1,23	20,04	18,67
8204	4,16	2,10	20,63	19,26
3022	4,23	2,95	20,49	19,12
5160	4,30	2,47	19,87	18,49
6280	4,15	0,77	20,48	19,10
7082	4,33	1,62	20,81	19,43
Medelvärde	4,27	2,16	20,38	19,00
Median	4,27	1,82	20,45	19,08
Standardavvikelse	0,23	1,61	0,42	0,42
MIN	3,74	0,67	19,61	18,23
MAX	5,05	9,23	21,39	20,01

Bilaga 3 - Kväve och kol

Sampel nr	Vikt, mg	Kol %	C/N proportion	N mg g ⁻¹
1007	162,90	47,5	225	2,11
8181	143,80	48,4	119	4,08
1008	123,00	48,9	163	3,01
5003	131,30	48,9	180	2,71
1094	164,30	48,5	166	2,92
1009	185,10	50,1	106	4,74
8201	153,30	49,4	133	3,72
1010	178,80	44,1	159	2,77
8008	159,90	49,2	133	3,71
6033	134,60	48,3	158	3,06
6030	186,30	49,5	126	3,92
9001	194,60	49,1	174	2,82
1011	180,30	46,2	48	9,58
8278	166,90	47,9	127	3,79
7083	153,50	48,1	133	3,61
3018	151,00	48,4	169	2,86
3014	172,50	49,0	145	3,37
1068	186,50	48,0	136	3,52
8193	143,90	48,9	183	2,68
9002	186,30	49,0	165	2,97
1012	187,60	49,4	145	3,40
8010	144,70	49,8	137	3,64
1013	148,40	49,3	127	3,88
9133	143,30	49,8	169	2,94
8204	158,30	49,0	118	4,15
3022	155,70	48,6	106	4,60
5160	190,00	48,1	150	3,21
6280	123,60	49,0	165	2,97
7082	139,50	49,4	151	3,27
Medelvärde	160,34	48,6	145	3,59
Median	158,30	48,9	145	3,37
Standardavvikelse	21,14	1,2	32	1,30
MIN	123,00	44,1	48	2,11
MAX	194,60	50,1	225	9,58

Bilaga 4 - Avverkningsytornas arealer, växtplatstyper samt avverkningsdata för tall

Sampel nr	Areal ha	Bonitet	Gagnvirkesvolymen per yta, (tall) m ³	Stamvolymen i medeltal (tall) m ³	Gagnvirkesvolymen per ha, (tall) m ³	Procentuella andelen gagnvirke (tall)
1007	2	MT	230	0,179	115,00	61,2
8181	1,9	MT	63	0,380	33,16	15,6
1008	2,3	VT	78	0,110	33,91	52,7
5003	1,7	VT	230	0,278	135,29	87,1
1094	1,5	MT	182	0,297	121,33	44,1
1009	7	VT	950	0,410	135,71	88,5
8201	1,3	MT	145	0,372	111,54	28,7
1010	3,2	MT	0	0,000	0,00	0,0
8008	3,4	VT	322	0,320	94,71	47,2
6033	3,1	VT	120	0,095	38,71	55,6
6030	1,6	MT	40	0,280	25,00	13,6
9001	2,7	MT	225	0,120	83,33	34,9
1011	3,4	OMT	5	0,510	1,47	0,6
8278	11	MT	430	0,380	39,09	20,8
7083	5,4	OMT	13,7	0,370	2,54	0,9
3018	5	VT	940	0,180	188,00	100,0
3014	0,3	MT	3	0,220	10,00	3,4
1068	0,5	MT	55	0,230	110,00	46,2
8193	1,4	OMT	24	0,499	17,14	8,0
9002	10,1	VT	1110	0,361	109,90	77,6
1012	1,1	MT	40	0,289	36,36	13,6
8010	3	VT	120	0,229	40,00	21,4
1013	5	VT	1100	0,310	220,00	90,9
9133	2,4	MT	200	0,234	83,33	39,6
8204	2,4	MT	205	0,266	85,42	33,3
3022	2	MT	71	0,350	35,50	13,8
5160	1	OMT	30	0,110	30,00	8,3
6280	3	VT	135	0,345	45,00	63,1
7082	3,5	MT +	175	0,227	50,00	21,1
Medelvärde	3,2		250	0,274	70,05	37,6
Median	2,4		135	0,280	45,00	33,3
Standardavvikelse	2,5		333	0,120	56,31	30,2
MIN	0,3		0	0,000	0,00	0,0
MAX	11,0		1110	0,510	220,00	100,0

Bilaga 5 - Avverkningsdata för gran och löv

Sampl nr	Gagnvirkes -volymen per yta, (gran) m ³	Stam -volymen i medeltal (gran) m ³	Gagnvirkes -volymen per ha, (gran) m ³	Procentuella andelen gagnvirke (gran)	Gagnvirkes -volymen per yta, (löv) m ³	Stam -volymen i medeltal (löv) m ³	Gagnvirkes volymen per ha, (löv) m ³	Procentuella andelen gagn virke (gran)
1007	110	0,155	55,00	29,3	36	0,149	18,00	9,6
8181	273	0,410	143,68	67,6	68	0,28	35,79	16,8
1008	35	0,105	15,22	23,6	35	0,108	15,22	23,6
5003	15	0,330	8,82	5,7	19	0,24	11,18	7,2
1094	195	0,330	130,00	47,2	36	0,266	24,00	8,7
1009	110	0,388	15,71	10,2	14	0,288	2,00	1,3
8201	360	0,427	276,92	71,3	0	0,000	0,00	0,0
1010	500	0,300	156,25	95,2	25	0,285	7,81	4,8
8008	298	0,410	87,65	43,7	62	0,291	18,24	9,1
6033	44	0,090	14,19	20,4	52	0,089	16,77	24,1
6030	210	0,337	131,25	71,2	45	0,31	28,13	15,3
9001	385	0,115	142,59	59,7	35	0,119	12,96	5,4
1011	783	0,420	230,29	95,0	36	0,337	10,59	4,4
8278	1349	0,355	122,64	65,2	289	0,31	26,27	14,0
7083	1420	0,424	262,96	96,3	40,7	0,299	7,54	2,8
3018	0	0,000	0,00	0,0	0	0,000	0,00	0,0
3014	79	0,310	263,33	89,8	6	0,288	20,00	6,8
1068	60	0,380	120,00	50,4	4	0,188	8,00	3,4
8193	261	0,352	186,43	87,0	15	0,400	10,71	5,0
9002	170	0,337	16,83	11,9	150	0,227	14,85	10,5
1012	210	0,303	190,91	71,2	45	0,288	40,91	15,3
8010	334	0,187	111,33	59,4	108	0,176	36,00	19,2
1013	60	0,328	12,00	5,0	50	0,279	10,00	4,1
9133	275	0,344	114,58	54,5	30	0,310	12,50	5,9
8204	340	0,274	141,67	55,2	71	0,248	29,58	11,5
3022	316	0,366	158,00	61,2	129	0,322	64,50	25,0
5160	320	0,099	320,00	88,9	10	0,122	10,00	2,8
6280	40	0,377	13,33	18,7	39	0,331	13,00	18,2
7082	540	0,349	154,29	65,1	115	0,332	32,86	13,9
Medelvärde	314	0,297	123,99	52,4	54	0,237	18,53	10,0
Median	261	0,337	130,00	59,4	36	0,280	14,85	8,7
Standardavv.	346	0,118	90,89	30,2	59	0,102	13,99	7,3
MIN	0	0,000	0,00	0,0	0	0,000	0,00	0,0
MAX	1420	0,430	320,00	96,3	289	0,400	64,50	25,0

Bilaga 6 - flisvolym (TGL = Tall, Gran, Löv) uträknade enligt Hakkilas GROT -koefficienter

Sampel nr	TGL flisvolym l- m ³ per yta	TGL flisvolym l- m ³ ha ⁻¹	Tallflis kg ha ⁻¹	Granflis kg ha ⁻¹	Lövflis kg ha ⁻¹	Total gagnvirkesvolym m ³ ha ⁻¹
1007	180	90	9442	9042	1260	188
8181	270	142,1	2722	23622	2505	212,6
1008	360	156,5	2784	2502	1065	64,3
5003	105	61,8	11108	1451	782	155,3
1094	285	190	9961	21372	1680	275,3
1009	665	95	11142	2583	140	153,4
8201	215	165,4	9157	45526	0	388,5
1010	413	129,1	0	25688	547	164,1
8008	420	123,5	7775	14409	1276	200,6
6033	510	164,5	3178	2333	1174	69,7
6030	265	165,6	2053	21578	1969	184,4
9001	507	187,8	6842	23442	907	238,9
1011	610	179,4	121	37860	741	242,4
8278	2100	190,9	3209	20161	1839	188,0
7083	695	128,7	208	43231	528	273,0
3018	630	126	15435	0	0	188,0
3014	45	150	821	43292	1400	293,3
1068	65	130	9031	19728	560	238,0
8193	180	128,6	1407	30649	750	214,3
9002	1027	101,7	9023	2767	1040	141,6
1012	165	150	2985	31385	2864	268,2
8010	380	126,7	3284	18303	2520	187,3
1013	850	170	18062	1973	700	242,0
9133	265	110,4	6842	18838	875	210,4
8204	150	62,5	7013	23290	2071	256,7
3022	245	122,5	2915	25975	4515	258,0
5160	300	300	2463	52608	700	360,0
6280	535	178,3	3695	2192	910	71,3
7082	430	122,9	4105	25365	2300	237,1
Medelvärde	443,7	143,1	5751	20385	1297,2	212,6
Median	360	130	3694	21372	1039,6	212,6
Standardavvikelse	396,6	46,2	4623	14943	979,7	75,0
MIN	45,0	61,8	0	0	0,0	64,3
MAX	2100,0	300,0	18062	52608	4515,0	388,5

Bilaga 7 - Slutavverkningsdatum, lagringstider samt flisningsdatum

Sampel nr	Slutavv.datum	Grotets lagringstid i terrängen, mån	Flisningsdatum
1007	08/2007	1	
8181	08/2007	2	7.2.2008
1008	08/2007	1	21.11.2007
5003	02/2007	3	21.1.2008
1094	08/2007	1	18.12.2007
1009	10/2006	4	13.11.2007
8201	6/2007	3	-
1010	12/2006	2	31.1.2008
8008	01/2007	3	7.2.2008
6033	03/2007	2	9.11 och 12.11.2007
6030	10/2007	2	14.2.2008
9001	06/2007	1	25.1.2008
1011	08/2007	2	21.2.2008
8278	01/2006	6	15.2.2008
7083	03/2007	4	-
3018	04/2007	1	30.1.2008
3014	01/2007	4	18.12.2007
1068	09/2007	2	18.12.2007
8193	10/2006	3	-
9002	03/2007	4	30.1.2008
1012	08/2006	3	19.2.2008
8010	05/2007	1	-
1013	10/2007	2	-
9133	09/2006	4	-
8204	10/2007	1	-
3022	03/2007	4	18.12.2007
5160	05/2007	1	4.2.2008
6280	01/2007	3	23.1.2008
7082	11/2006	5	21.2.2008
Medeltal		2,3	
Median		2	
Standardavvikelse		1,4	
MIN		1	
MAX		6	

Bilaga 8 - Övrig information

Sampelnr	Provtagnings- datum - = uppgifter saknas	Ämbar nr - = uppgifter saknas	Vikt, fuktig, kg Hela påsen	Vikt, fuktig, g (utan AI form)	Vikt torr, g (utan AI form)	Skillnad, g (utan AI form)	Fukthalt, %	Kommentarer	Liter per påse
1007	-	18,12	3,4	614,0	285,0	329,0	53,58	Lite flis	20,6
8181	7.2.2008	13,14,17	9,6	616,0	261,0	355,0	57,63		58,2
1008	21.11.2007	16,19,20	11,4	598,0	269,0	329,0	55,02		69,1
5003	21.1.2008	1,2,3	47,3	624,8	269,0	355,8	56,95	Fliset fuktigt	286,6
1094	18.12.2007	-	2,7	412,0	233,0	179,0	43,45	Väldigt lite flis	16,6
1009	13.11.2007	5,7,8	5,7	433,6	236,0	197,6	45,57		34,6
8201	-	-	11,1	577,0	357,0	220,0	38,13		67,3
1010	31.1.2008	-	18,0	581,0	276,0	305,0	52,50		109,1
8008	7.2.2008	16	14,4	487,3	264,0	223,3	45,82		87,0
6033	9.11 och 12.11.2007	3-5, 7-9, 12, 14, 16-20	42,7	742,0	310,0	432,0	58,22		258,8
6030	14.2.2008	-	11,2	557,0	252,0	305,0	54,76		68,1
9001	25.1.2008	-	22,0	620,0	279,0	341,0	55,00		133,3
1011	21.2.2008	-	23,1	827,0	301,0	526,0	63,60	Fliset "mullaktigt"	140,0
8278	15.2.2008	-	38,3	777,6	326,0	451,6	58,08	Stark lukt av källare	232,1
7083	-	1,2,3,5,6,8,12,14,15	4,9	279,9	219,0	60,9	21,76	Väldigt torrt	29,7
3018	30.1.2008	-	33,2	659,1	311,0	348,1	52,81		201,2
3014	18.12.2007	6,5	1,9	790,6	336,0	454,6	57,50	ca 4 l flis	11,5
1068	18.12.2007	20,18	1,5	727,3	335,0	392,3	53,94	Väldigt lite flis	8,9
8193	-	7,14,16,20	4,0	529,7	440,0	89,7	16,93	Lite flis	24,1
9002	30.1.2008	-	6,3	493,6	277,0	216,6	43,88	Lite flis	37,9
1012	19.2.2008	-	17,8	536,0	370,0	166,0	30,97		107,9
8010	-	3,5,6,7,8,9,13,19	9,1	336,0	266,0	70,0	20,83	Torrt	55,2
1013	-	8,9,10,13,15-20	9,5	353,9	277,5	76,4	21,59		57,4
9133	-	-	7,5	562,5	308,0	254,5	45,24		45,5
8204	-	17	1,1	454,4	302,0	152,4	33,54	Väldigt lite flis	6,7
3022	18.12.2007	3,4,15,19	3,5	443,3	282,0	161,3	36,39	Väldigt lite flis	21,4
5160	4.2.2008	-	4,2	863,0	394,0	469,0	54,35	Lite flis	25,2
6280	23.1.2008	1,2,3	6,0	496,0	288,0	208,0	41,94	Lite flis	36,6
7082	21.2.2008	-	5,7	687,4	372,0	315,4	45,88	Lite flis	34,6
Medelvärde			13,0	575,2	299,8	275,3	45,37		78,8
Median			9,1	577,0	285,0	305,0	45,88		55,2
Standardavvikelse			12,7	147,5	50,5	128,9	12,99		77,1
MIN			1,1	279,9	219,0	60,9	16,93		6,7
MAX			47,3	863,0	440,0	526,0	63,60		286,6

Bilaga 9 - Tungmetaller mg g⁻¹, 0 - 100 % gran av totalvolymen

Sampelnr och klass	Co	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd
0 - 25 %							
5003	0,0005	6,805	0,1547	0,0287	0,444	4,657	0,00046
1009	0,0007	6,258	0,1965	0,0271	0,324	4,304	0,00057
3018	0,0005	6,561	0,0694	0,0276	0,344	4,576	0,00040
9002	0,0007	6,956	0,1493	0,0299	0,375	4,856	0,00048
1013	0,0006	6,914	0,1700	0,0298	0,374	4,819	0,00040
26 - 50 %							
1007	0,0008	6,219	0,0954	0,0295	0,335	4,264	0,00050
1008	0,0005	5,951	0,1419	0,0250	0,310	4,098	0,00048
6033	0,0006	6,575	0,0988	0,0274	0,349	4,596	0,00047
6280	0,0005	6,818	0,1440	0,0283	0,391	4,655	0,00040
51 - 75 %							
1094	0,0006	4,877	0,3548	0,0217	0,262	3,354	0,00042
8201	0,0008	6,313	0,3590	0,0276	0,333	4,463	0,00043
8008	0,0008	6,916	0,3694	0,0294	0,359	4,795	0,00063
9001	0,0007	6,501	0,2904	0,0291	0,338	4,509	0,00051
1068	0,0005	6,794	0,1261	0,0293	0,355	4,584	0,00037
9133	0,0005	6,104	0,2789	0,0267	0,342	4,296	0,00042
8204	0,0008	6,854	0,5016	0,0300	0,405	4,865	0,00057
76 - 100 %							
8181	0,0007	5,038	0,2983	0,0237	0,261	3,477	0,00049
1010	0,0007	6,526	0,2572	0,0307	0,337	4,502	0,00034
6030	0,0006	6,242	0,2070	0,0265	0,327	4,367	0,00049
1011	0,0018	6,136	0,5136	0,0321	0,360	4,277	0,00048
8278	0,0009	4,657	0,3915	0,0223	0,247	3,307	0,00046
7083	0,0006	5,493	0,2781	0,0252	0,289	3,858	0,00040
3014	0,0006	5,965	0,4412	0,0263	0,318	4,195	0,00044
8193	0,0006	5,947	0,0792	0,0256	0,331	4,192	0,00011
1012	0,0008	6,274	0,2944	0,0273	0,342	4,437	0,00040
8010	0,0006	6,491	0,3251	0,0279	0,348	4,539	0,00048
3022	0,0007	6,414	0,3628	0,0281	0,370	4,439	0,00050
5160	0,0009	6,496	0,2065	0,0306	0,375	4,525	0,00043
7082	0,0006	6,171	0,2413	0,0268	0,350	4,231	0,00043
Medelvärde	0,0007	6,251	0,2550	0,0276	0,341	4,346	0,00045
Median	0,0006	6,313	0,2572	0,0276	0,342	4,439	0,00046
Standardavvikelse	0,0002	0,596	0,1240	0,0025	0,042	0,408	0,00009
MIN	0,0005	4,657	0,0694	0,0217	0,247	3,307	0,00011
MAX	0,0018	6,956	0,5136	0,0321	0,444	4,865	0,00063

Bilaga 10 - Kol samt makronäringsämnen mg g⁻¹, 0 - 100 % gran av totalvolymen

Sampelnr och klass	C	N	P	K	Ca	Mg	S
0 - 25 %							
5003	489,181	2,714	0,2452	1,025	1,949	0,3844	0,2514
1009	501,216	4,737	0,5210	1,620	3,789	0,5730	0,5673
3018	483,994	2,858	0,3088	1,013	2,228	0,4135	0,2560
9002	490,115	2,965	0,3465	1,335	3,352	0,5360	0,3703
1013	492,599	3,884	0,4323	1,560	3,272	0,5637	0,4184
26 - 50 %							
1007	475,323	2,110	0,1581	0,867	2,472	0,5530	0,2130
1008	489,518	3,005	0,2780	1,046	3,260	0,3953	0,2974
6033	483,461	3,057	0,2537	0,968	2,329	0,4303	0,2723
6280	489,512	2,972	0,2733	1,151	2,573	0,4651	0,3056
51 - 75 %							
1094	484,820	2,917	0,4095	1,481	4,072	0,5467	0,3527
8201	493,532	3,721	0,4174	1,556	4,391	0,5473	0,4752
8008	492,173	3,706	0,3662	1,445	4,456	0,5627	0,3996
9001	490,664	2,815	0,3728	1,459	5,336	0,6267	0,3990
1068	480,401	3,521	0,3461	1,279	3,051	0,5250	0,3930
9133	497,992	2,938	0,3434	1,321	3,937	0,5249	0,3645
8204	490,346	4,149	0,5830	1,814	4,966	0,7459	0,5468
76 - 100 %							
8181	484,328	4,083	0,3905	1,625	4,690	0,6406	0,4885
1010	440,451	2,767	0,4062	1,585	3,631	0,5043	0,3896
6030	494,616	3,921	0,4998	1,774	4,808	0,6543	0,4921
1011	461,742	9,581	0,7370	2,381	7,986	1,3030	0,8428
8278	479,689	3,787	0,4242	1,672	5,857	0,7599	0,5530
7083	481,300	3,608	0,4355	1,727	3,776	0,5076	0,3539
3014	490,106	3,369	0,3198	1,184	4,704	0,5195	0,4179
8193	489,467	2,679	0,1932	0,919	3,443	0,3862	0,2244
1012	494,281	3,401	0,3749	1,401	4,671	0,5288	0,4285
8010	497,888	3,642	0,3618	1,933	4,944	0,6336	0,4546
3022	486,344	4,595	0,5225	1,842	6,208	0,6475	0,4780
5160	481,268	3,212	0,3661	1,490	4,649	0,6070	0,4183
7082	493,612	3,274	0,3577	1,219	4,691	0,5393	0,3777
Medelvärde	486,205	3,586	0,381	1,438	4,120	0,573	0,407
Median	489,512	3,369	0,366	1,459	4,072	0,547	0,399
Standardavvikelse	11,777	1,299	0,118	0,347	1,312	0,170	0,127
MIN	440,451	2,110	0,158	0,867	1,949	0,384	0,213
MAX	501,216	9,581	0,737	2,381	7,986	1,303	0,843

Bilaga 11 - Ask %, Kalorimängder, 0 - 100 % gran av totalvolymen

Sampelnr och klass (n = 29)	Ask %	Kalorim. vv., MJ/kg torrvikt	Effektivt vv., MJ/kg torrvikt
0 - 25 %			
5003	1,18	20,31	18,93
1009	2,46	21,39	20,01
3018	0,67	20,07	18,70
9002	1,81	20,58	19,21
1013	1,35	20,80	19,43
26 - 50 %			
1007	4,33	19,61	18,23
1008	1,02	20,27	18,89
6033	0,83	20,07	18,69
6280	0,77	20,48	19,10
51 - 75 %			
1094	2,20	20,45	19,08
8201	1,89	20,84	19,47
8008	2,01	20,76	19,39
9001	2,42	20,07	18,69
1068	1,49	19,95	18,58
9133	1,23	20,04	18,67
8204	2,10	20,63	19,26
76 - 100 %			
8181	3,00	20,06	18,68
1010	2,67	20,27	18,89
6030	1,82	20,78	19,41
1011	9,23	19,65	18,27
8278	3,71	20,12	18,74
7083	1,34	19,95	18,58
3014	1,84	20,50	19,12
8193	0,87	20,58	19,20
1012	1,67	20,61	19,23
8010	1,80	20,94	19,57
3022	2,95	20,49	19,12
5160	2,47	19,87	18,49
7082	1,62	20,81	19,43
Medelvärde	2,164	20,377	19,002
Median	1,823	20,455	19,080
Standardavvikelse	1,610	0,415	0,415
MIN	0,668	19,605	18,230
MAX	9,233	21,386	20,011

Bilaga 12 - Skadliga ämnen för förbränningen, mg g⁻¹, 0 - 100 % gran av totalvolymen

Sampelnr och klass (n = 29)	K	S	Cl	Na
0 - 25 %				
5003	1,025	0,251	69,170	0,345
1009	1,620	0,567	117,555	0,371
3018	1,013	0,256	75,265	0,276
9002	1,335	0,370	74,557	0,374
1013	1,560	0,418	122,946	0,465
26 - 50 %				
1007	0,867	0,213	57,978	0,404
1008	1,046	0,297	46,434	0,288
6033	0,968	0,272	77,807	0,386
6280	1,151	0,306	68,985	0,287
51 - 75 %				
1094	1,481	0,353	107,030	0,246
8201	1,556	0,475	176,370	0,245
8008	1,445	0,400	127,123	0,399
9001	1,459	0,399	112,489	0,477
1068	1,279	0,393	82,297	0,338
9133	1,321	0,365	112,680	0,423
8204	1,814	0,547	132,225	0,514
76 - 100 %				
8181	1,625	0,489	101,319	0,374
1010	1,585	0,390	122,270	0,344
6030	1,774	0,492	159,769	0,446
1011	2,381	0,843	243,616	0,359
8278	1,672	0,553	272,751	0,396
7083	1,727	0,354	93,654	0,349
3014	1,184	0,418	59,309	0,338
8193	0,919	0,224	89,953	0,387
1012	1,401	0,429	104,648	0,424
8010	1,933	0,455	105,088	0,523
3022	1,842	0,478	204,330	0,281
5160	1,490	0,418	96,126	0,358
7082	1,219	0,378	61,230	0,352
Medelvärde	1,438	0,407	112,930	0,371
Median	1,459	0,399	104,648	0,371
Standardavvikelse	0,347	0,127	53,904	0,072
MIN	0,867	0,213	46,434	0,245
MAX	2,381	0,843	272,751	0,523

