



SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET



✓
21

Arealförluster av näringsämnen efter ristäkt och markberedning på sydsvenska hyggen

Göran Örlander
Ola Langvall
Per Petersson
Olle Westling

✓ Arbetsrapport nr 15
Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap
✓ Alnarp juni 1997



SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET

Arealförluster av näringsämnen efter ristäkt och markberedning på sydsvenska hyggen

Göran Örlander
Ola Langvall
Per Petersson
Olle Westling

Arbetsrapport nr 15
Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap
Box 49
S-230 53 Alnarp

Asa försökspark
S-360 30 Lammhult
Tel: 0472-63000
Fax: 0472-63063
E-mail: Goran.Orlander@afp.slu.se Ola.Langvall@afp.slu.se Per.Petersson@afp.slu.se

IVL Aneboda
S-360 30 Lammhult
Tel: 0472-62075
Fax: 0472-62004
E-mail: Olle.Westling@ivl.se

Innehåll

Sammanfattning	1
Introduktion	2
Material och metoder	4
Hyggesåldersförsöket.....	4
Markvatten	5
Avrinning.....	6
Arealförluster.....	7
Statistiska beräkningar	7
Resultat och diskussion	8
Vegetation	8
Arealförluster - mellanårsvariation.....	8
Arealförluster - effekt av lokal och hyggesålder.....	9
Arealförluster - effekt av riståkt	11
Arealförluster - effekt av markberedning	12
Referenser	14

Sammanfattning

Arealförlusterna av 13 olika näringsämnen bestämdes i ett föryngringsförsök på hyggen i södra Sverige. De markbehandlingar som studerades var ristäkt (ca 80 % av grenar och toppar avlägsnades), och mekanisk markberedning (högläggning). I studien ingick totalt tio hyggen varav fem var belägna i Småland och fem i Halland. Studien pågick under 3 år, och hyggens ålder var 0-4 år vid försökets start.

Arealförlusten bestämdes med hjälp av kemiska analyser av markvatten som provtogs med hjälp av undertryckslysimetrar. Avrinningen simulerades med hjälp av SOIL modellen.

Ristäkt minskade arealförlusten av kalium både i Småland och Halland, och det fanns en tendens till minskad arealförlust av kväve efter ristäkt. Även arealförlusten av aluminium, klor och kol (TOC) påverkades av ristäkt men effekten var olika på de studerade lokalerna.

Markberedning medförde inga signifikant förhöjda arealförluster av kväve, medan vi för flera av de andra studerade ämnena uppmätte förhöjda arealförluster. Detta gäller H, Cl, Na, Al och TOC på hyggerna i Halland och Mg och Mn på hyggerna i Småland.

För de flesta av ämnena var arealförlusterna betydligt större på hyggerna i Halland jämfört med Småland. Tidsförloppet i arealförlusterna efter hyggesupptagningen varierade såväl mellan ämnena och lokalerna. Dessutom var mellanårsvariationen stor.

Den generella slutsats som kan dras från studien är att effekten av slutavverkning var tydlig för flera av de studerade ämnena, men att effekten av ristäkt och markberedning var liten jämfört med hyggeseffekten.

Introduktion

Uttag av biobränslen från skogen har redan idag en relativt stor omfattning inte minst i södra Sverige. En betydande del av detta energiuttag sker genom risttåkt. Trots att risttåkt är en utbredd (och kände) åtgärd i skogsbruket finns förvånansvärt få studier av hur risttåkt påverkar läckaget av näringsämnen. De studier som finns är utförda under rishögar (Rosén och Lundmark-Thelin 1987), eller i "ostörda" delar inom i övrigt behandlade parceller (Staaf och Olsson 1994). Undersökningarna är sällan eller aldrig upprepade på olika lokaler. Man kan dessutom förmoda att årsmånen, t.ex. nederbörds mängden påverkar näringsläckaget. När det gäller kvantifiering av näringsläckaget i $\text{kg ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ finns inga tillförlitliga uppgifter för sydsvenska hyggen. Sådan kunskap har betydelse för avvägningen av de åtgärder som bör göras för att minska exempelvis kväveläckagen inte minst inom områden med högt nedfall av luftföroreningar i södra Sverige (t.ex. Fleischer et al 1991).

I flera studier har man funnit att nitratläckaget minskat som en följd av risttåkt (Rosén och Lundmark-Thelin 1987, Fahey et al 1991, Emmet et al 1991, Staaf och Olsson 1994). Även andra element än kväve påverkas av risttåkt. Staaf och Olsson (1994) visar exempelvis att läckaget av kalium var större då riset fick ligga kvar på hygget. När det gäller andra element, som till exempel aluminium verkar detta inte alls vara studerat i relation till risttåkt. En viktig faktor för näringsläckaget är hur snabbt ny vegetation etableras på hyggerna. I Sverige finns märkligt nog sparsamt med studier över hyggesvegetationens invandring på hyggen, speciellt för hyggen i södra Sverige där man ofta avverkar sluten barrskog med liten eller ingen markvegetation i det gamla beståndet.

Risttåkt påverkar möjligheterna att flytta ett hygge. För att effektivt kunna markbereda krävs ofta att riset avlägsnas från hygget. Hyggesavfallet kan påverka etableringen av såväl vegetation (gräs) som det nya beståndet. Skogsplantornas överlevnad och tillväxt påverkas av hyggesavfallet. Leijon (1985) visade för sydsvenska förhållanden att överlevnaden för gran knappast påverkas av risttåkt. Vid ca 15-20 års ålder var dock tillväxten något sämre om riset tagits bort. Det är troligt att risttåkt kan ha en svagt positiv effekt på plantornas etablering (Örlander et al. 1995, Egnell och Leijon 1996), medan den långsiktiga effekten är något mer ovisst och beror bl.a. trädslaget (Leijon och Egnell 1996). Då näringsinnehållet i riset är stort kan man befara att tillgången på näringsämnen på lång sikt kan begränsa beståndets tillväxt som en följd av risttåkt.

Genom markberedning kan näringsläckaget från ett hygge påverkas. I många studier har man funnit att omsättningen av det organiska materialet ökat efter markberedning och att detta kan leda till ökade näringsförluster främst av kväve (Lundmark, 1988, Vitousek et al 1992, Johansson 1994, Staaf och Olsson 1994), men resultaten är ej samstämmiga. Således fann Ring (1996) inget ökat näringsläckage som en följd av markberedning. Det är dessutom möjligt att markberedning kan ha olika effekt beroende på om risttåkt utförts eller ej.

Hyggets ålder har stor betydelse för förnyingsresultatet. Kort hyggesvila är produktionsmässigt fördelaktigt (p.g.a. förkortad omloppstid). Vegetationskonkurrensen minskar dessutom om hyggesvilan görs kort. En stor nackdel är dock att snytbaggeangreppen blir svåra. För att studera snytbagge- och vegetationsproblematiken vid plantering av gran i södra Sverige anlades med början 1989 projekt "hyggesålder" inom ramen för det sydsvenska forskningsprogrammet. Resultat från projektet tidigare bl.a. redovisats av Nilsson et al (1994), Nilsson & Örlander (1995), Örlander et al (1996). Hyggesåldersprojektet drivs på två lokaler i

Småland (Asa) och två lokaler i Halland (Tönnersjöheden). Totalt ingår 20 hyggen och fyra orörda referensområden i försöket. Försöksmarkerna representerar högproduktiv barrskog - såväl gran- som blandskog gran/tall. Försöket har etablerats under en 5-årsperiod för att möjliggöra studier av årsmånseffekter. Varje hygge \cong r delat i två delar där halva hygget risrensats (energiflis). På andra halvan lämnades hyggesavfallet kvar (utspritt). Som en av behandlingarna ingår markberedning.

Denna studie utfördes helt inom ramen för hyggesåldersprojektet. Syftet med studien var att fastställa arealförlusten av näringsämnen under hyggesfasen beroende på ristäkt och markberedning. Vidare var syftet att studera variation beroende på hyggets ålder och årsmån.

Material och metoder

Markvattenstudierna utfördes under perioden 1993 till 1996 inom ramen för ett större förnygringsförsök som etablerats i södra Sverige, det sk ”hyggesåldersförsöket”. Två av fyra lokaler inom försöket valdes för markvattenstudierna. Lokalen Bråtarna, Asa representerar ”typisk skogsmark” och lokalen Strömma, Tönnersjöheden valdes då den ligger i ett område med hög belastning av luftföroreningar. Nedan beskrivs först hyggesåldersförsöket och därefter de speciella mätningar och kalkyler som utförts för att beräkna arealförluster av näringsämnen.

Hyggesåldersförsöket

Försöket är utlagt på fyra lokaler. Två av lokalerna ligger i Småland på Asa försökspark (57°10'N, 14°47'E, 180-250 m.ö.h.) och två av lokalerna ligger i Halland på och i närheten av Tönnersjöhedens försökspark (56°40'N, 13°10'E, 55-85 m.ö.h.). Försökslokalerna representerar relativt bördig mark och domineras i huvudsak av granskog (Tabell 1).

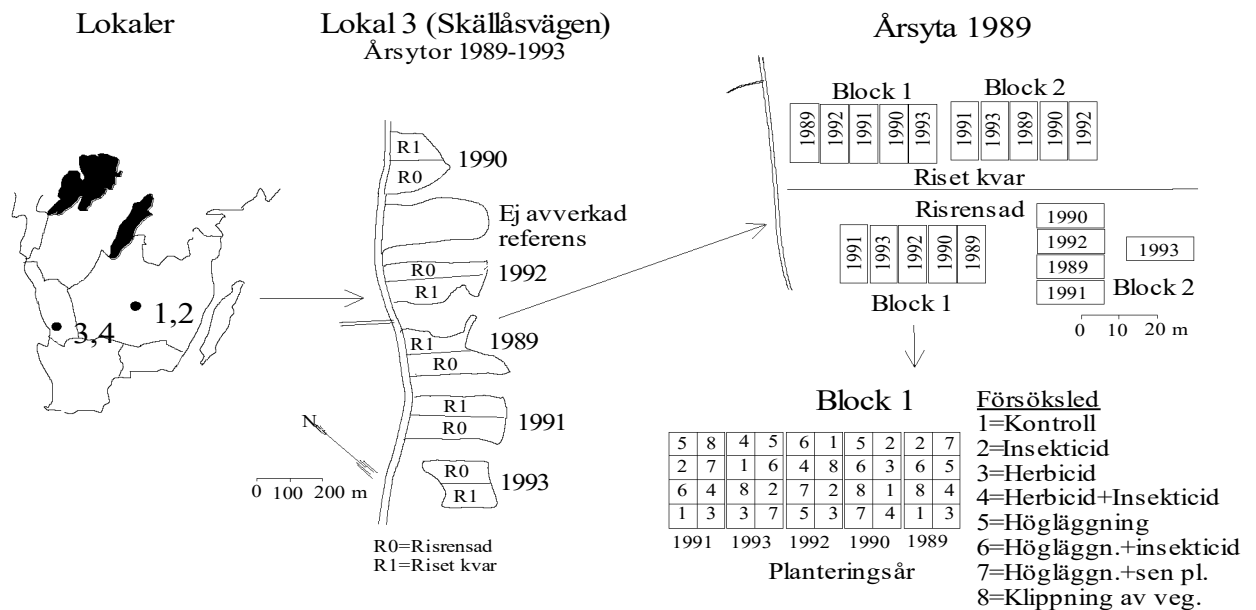
Tabell 1. Beskrivning av försökslokalerna där markvattenstudier utförts.

	Bråtarna	Strömma
Höjd över havet, m	245	60
Markfuktighetsklass	Frisk	Torr
Jordart	Sandig-moig morän	Sand
Vegetationstyp	Blåbär	Ingen
Ståndortsindex	G 28	G 31
Trädslagsblandning, tall : gran	43 : 57	1 : 99
Beståndets ålder vid avverkning	85	75
Volym m ³ ha ⁻¹	300	350
Stammar ha ⁻¹	590	380

Den experimentella designen var split-plot med fem undernivåer (Figur 1). På varje lokal valdes fem blivande hyggen ut. Varje år från och med 1989 till och med 1993 avverkades en årsyta per lokal, vars läge utlottades före försökets start (Figur 1). Varje årsyta, som var ca 1-4 ha stor, delades i två hälfter. På ena hälften fick avverkningsavfallet ligga kvar medan den andra risrensades. Risrensningen medförde att ca 80 procent av riset fördes bort från hygget. Respektive risbehandling delades upp i två block inom vilka en delyta planterades varje år. Således planterades ytor varje år från 1989 t.o.m. 1993. Inom ett block bestod årsplanteringsytan av åtta behandlingar med 16 granplantor, proveniens Maglehem, i varje. Totalt har 31 744 plantor planterats i hela försöket. På samtliga nivåer inom split-plot försöket lottades behandlingarna ut.

Inom ett block bestod varje delyta av åtta behandlingar (Figur 1), varav två undersöktes i denna studie. De undersökta behandlingarna var dels högläggning (Försöksled 6) och dels plantering utan markberedning (Försöksled 2), i fortsättningen kallad kontroll.

Högläggingen utfördes i april samma år som planteringen skulle göras. Högläggingen utfördes med en liten grävmaskin och alla högar packades för att undvika luftfickor mm. Högarna bestod av ca 10-20 dm³ mineraljord och var ca 10-20 cm höga vid planteringsstillfällena. På de undersökta lokalerna utfördes högläggning genom att placera högar på blottad mineraljord. En skattning utfördes 1995 av ”störd areal” (blottlagd



Figur 1. Hvggesåldersförsöket. *principskiss visande försöksutläggningen.*

mineraljord + övrig påverkad mark) i samband med markberedningen. Denna skattning visade att den störda arealen på markberedda parceller i genomsnitt för alla hyggen uppgick till $45 \pm 4\%$.

Vegetationsinväxning skattades på speciella skördeytor (0.5 m^2 stora, 10 stycken per hygge och provtagningstillfälle) där all vegetation klipptes och vägdes. Till varje skördeyta hörde en fast yta där vegetationstäckningen och vegetationens medelhöjd uppskattades visuellt. Vegetationsytorna skördades i början på september respektive säsong. Placeringen av vegetationsytor lottades ut före planteringen det första året. Vid varje skördetillfälle var fem av vegetationsytorna placerade på den risensade delytan och fem var placerade på delytan som inte risensades.

Markfuktigheten mättes med gipsblock på minst 18 punkter per hygge. Gipsblocken avlästes en gång per vecka. Tio gipsblock placerades i obehandlad mark (fem på den risensade delen och fem på den del där riset var kvar). Övriga gipsblock placerades i herbucidbehandlade, klippta samt i markberedda parceller.

Grundvattenytans läge registrerades på samtliga hyggen i Asa. Provtagning gjordes en gång per vecka på fyra punkter per årsyta, två punkter på vardera delytan. På hyggena i Tönnersjöheden erhöles inget vatten trots att grundvattenrören borrades till ca 4 m djup. Därför utfördes inga registreringar av grundvattenytans läge.

På årsytor huggna 1989, 1991 och 1993 placerades dataloggrar vilka registrerade lufttemperaturer, marktemperaturer och instrålning. Nederbörd mättes intill dataloggern på hygget som avverkades 1989. Lufttemperaturmätningar skedde i närheten av dataloggern och mätningar gjordes på 0.3 och 1.7 m höjd. Marktemperaturen mättes på 10 och 20 cm djup. I denna studie användes data från 10 cm djup i obehandlade parceller (5 givare per hyggesdel).

Markvatten

För att skatta arealförluster av näringsämnen användes undertryckslysimetrar försedda med ett keramikfilter (P80). Totalt sattes 76 lysimetrar ut på varje lokal, vilket innebar att totalt 152 punkter provtogs.

Lysimetrarna placerades så att hälften kom på risrensad, resp. icke risrensad hyggesdel. För de lysimetrar som placerades på orörd mark skedde detta dels inom parceller som planterats 1993, dels i parceller som planterats när hygget var färskt (Tabell 2). Lysimetrar på markberedda parceller placerades på ytor som planterats 1993. Lysimetrarna placerades i parcellernas mitt och aldrig närmare än 1 m från kanten. Huvuddelen av lysimetrarna sattes på 50 cm djup, men för ej markberedda parceller sattes också lysimetrar 20 cm under markytan (Tabell 2). Lysimetrarna i markberedda parceller placerades i gränsen mellan grop, hög och orörd mark.

Tabell 2. Schema för utplacering av lysimetrar. Totalt sattes 76 lysimetrar ut på vardera lokalerna Bråtarna och Strömma.

Antal per lokal	Nivå cm under markytan	Avverkningsår	Planteringsår	Försöksled
20	20	1989-93	1993	Kontroll
20	50	1989-93	1993	Kontroll
20	50	1989-93	1993	Markberett
4	50	1989	1989	Kontroll
4	50	1990	1990	Kontroll
4	50	1991	1991	Kontroll
4	50	1992	1992	Kontroll

Utplaceringen av lysimetrar utfördes våren 1993 och provtagningen påbörjades 27 maj 1993 och avslutades 1 juli 1996. Provtagningen utfördes varannan månad, med undantag för perioder då marken var frusen. Totalt togs prover vid 15 tillfällen under mätperioden.

Vid provtagningen slogs proven från block 1 och 2 ihop före den kemiska analysen. Det totala antalet analyser uppgick under hela mätperioden till 1 151 st.

Vattnet skickades till IVL, Aneboda inom ett dygn från provtagningstillfället. Provet analyseras med avseende på pH, nitatkväve (NO₃-N) och ammoniumkväve (NH₄-N), svavel (SO₄-S), klor (Cl), kalcium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), kalium (K), järn (Fe), mangan (Mn), aluminium (Al) och totalt organiskt kol (TOC).

Avrinning

SOIL-modellen (Jansson 1991) användes för att simulera det vertikala flödet av vatten genom markprofilen. Som drivvariabler i modellen användes meteorologiska data som erhållits från forskningsstationen i Asa (Bråtarna) och i Skogaby (Strömma). Viss komplettering av data fick göras från SMHI:s station i Växjö, samt från forskningsstationen i Tönnersjöheden. De drivvariabler som användes var dygnsmedelvärden för lufttemperatur, ångtryck och vindstyrka, samt summa nederbörd och instrålning.

Data om markens kornstorleksfördelning erhöles från hygget avverkat 1989, Bråtarna. På detta hygge har en intensiv markprovtagning skett av Inst. f. marklära i Uppsala (P-A Melkerud pers komm). pF-kurvor konstruerades med ledning av erhållna uppgifter. Inledningsvis testades en modell där marken delades i 15 skikt ned till 185 cm djup. Modellen förenklades senare till att omfatta 6 skikt ned till 100 cm. Humuslagrets tjocklek sattes till 7 cm. Blockförekomsten i marken skattades till ca 50 %, därför gjordes i modellen en korrektion genom att sänka markens porositet. För lokalen i Strömman fanns inga detaljerade mätningar av markförhållandena. pF-kurvor gjorda i mineraljord på 10 cm djup visade emellertid endast små skillnader mellan lokalerna. Därför användes data från samma jordprofil för alla hyggen.

För lokalen Bråtarna sattes bladyteindex till 2.0 från dag 170 till 240 på 2-åriga och äldre hyggen. För färsk och ettåriga hyggen sattes bladyteindex till 0.1. Under perioden från dag 140 till 170 antogs att bladyteindex ökade från 0.1 till 2.0, medan motsvarande minskning antogs ske mellan dag 240 och 280. Beräkningen för Strömman gjordes likadant med undantag för att bladyteindex skattades till 3.0 för de äldre hyggena. Anledningen till detta var att större vegetationsmängder uppmätts på Strömman (Tabell 3). I övrigt användes parametrar enligt standardvärden för modellen.

Modellen testades mot uppmätta marktemperaturer och markfuktigheter på hyggena. För lokalen Bråtarna testades modellen mot data om grundvattenytans läge samt mot avrinningen från två mindre bäckar i anslutning till försökslokalen (data erhöles från P-E Larsson, IVL, Aneboda). Dessa tester visade en rimlig överensstämmelse mellan simulerade och uppmätta värden. Med hjälp av modellen genererades daglig avrinning från 50 cm djup.

Arealföruster

Först skapades en databas där koncentrationen av varje ämne beräknades varje dag för varje provpunkt. För att erhålla dessa värden gjordes en interpolering av koncentrationen mellan de olika mättidpunkterna. Därefter multiplicerades dessa koncentrationer med den avrinning som beräknats med SOIL-modellen. Dessa värden omräknades för att gälla arealföruster i $\text{kg ha}^{-1} \text{ dag}^{-1}$.

Statistiska beräkningar

Som ett första steg beräknades den årliga arealförusten i varje mätpunkt. Denna beräknades för perioden 1 maj-30 april nästa år. Anledningen till att denna mätperiod valdes berodde på att avverkningen skedde på vintern och ristäkt och markbehandling utfördes i slutet av april respektive år. För varje hygge fanns efter denna beräkning data från tre olika år. Eftersom hyggets ålder ökade kom de vid försöksutläggningen färsk hyggena att vara 0, 1 och 2 år under mätperioden. De vid försöksutläggningen 1-åriga hyggena var på motsvarande sätt 1, 2 och 3 år, etc. För exempelvis 2-åriga hyggen skedde således registrering på tre olika hyggen per lokal under mätperioden. Vid de statistiska testen användes variansanalys. Dessa modeller tog hänsyn till att försöket var utlagt som split-plot. I modellen ingick hyggesålder, risbehandling och markbehandling. För beräkningarna användes SAS GLM-modell för split-plot design.

Beräkning av den totala arealförusten under 7 år gjordes genom att summera arealförusten som uträknats för resp. hyggesålder. Eftersom lokalerna visade mycket olika arealföruster utfördes alla jämförelser mellan behandlingarna inom en lokal (Strömman resp. Bråtarna).

Resultat och diskussion

Vegetation

Före avverkningen fanns nästan ingen markvegetation i de slutna bestånden på lokalerna i Halland, medan det i Småland förekom sparsamt med bärris och smalbladiga gräs. Första sommaren efter avverkningen etablerades endast obetydligt med hyggesvegetation (Tabell 3). Mängden hyggesvegetation ökade med ökande hyggesålder. Denna trend var speciellt tydlig för hyggena i Strömme, medan mängden vegetation i fältskiktet endast ökade i 3-4 år på Bråtarna. Vikten av hyggesvegetationen på äldre hyggen var nära dubbelt så stor på Strömme jämfört med Bråtarna.

Risrensningen hade inte någon tydlig effekt på mängden hyggesvegetation (Tabell 3). Ett medelvärde av alla hyggesåldrar och lokaler visar att torrsubstansproduktionen har varit något högre på de hyggesdelar där riset lämnats kvar jämfört med risrensade hyggesdelar men skillnaden var inte statistiskt signifikant pga den stora variationen mellan lokaler, hyggesåldrar och inventeringsår. Detta resultat stämmer med studier utförda av Mann et al. (1988) och Olsson och Staaf (1995), men står i motsats till resultat uppnådda i försök i norra Wales, där man fick dubbelt så stor torrsubstansproduktion av hyggesvegetation efter helträdsavverkning som efter konventionell avverkning (Fahey et al 1991). Där förklaras tillväxtskillnaden med att riset skuggar marken och därmed förhindrar inväxningen av vegetation. Även Kardell (1992) rapporterar att ristäkt leder till att biomassan i fältvegetationen ökar relativt kontrolltytor med ris kvarlämnat. Skillnaden i effekt av ristäkt kan bero på att mängden hyggesavfall, vegetationens artsammansättning samt hastigheten i nykoloniseringen av vegetation efter hyggesupptagningen skilde sig mellan undersökningarna.

Tabell 3. Mängd (TS) hyggesvegetation i fältskiktet, kg ha⁻¹. Medelvärde för mätningar utförda i slutet av somrarna 1989-1995. A= färskt hygge, A+1= 1-årigt hygge etc.

Hyggesålder	Strömme		Bråtarna	
	Ristäkt	Ris kvar	Ristäkt	Ris kvar
A	3	49	110	263
A+1	377	302	765	747
A+2	821	981	1810	1613
A+3	2433	2509	1278	1649
A+4	3482	3651	1891	2370
A+5	4584	4361	2570	1797
A+6	6110	6705	2004	2983
Medelvärde	2545	2651	1490	1632

Arealförluster - mellanårsvariation

Variationen mellan de undersökta åren var betydande vad gäller nederbörd och avrinning. Den högsta nederbördsmängden uppmättes för Strömme 1994/95, då den beräknades till 1580 mm (korrigerat värde). Under 1995/96 var nederbörden ungefär hälften så stor, 769 mm. Då den beräknade evapotranspirationen varierade betydligt mindre (361-402 mm) blev variationen i avrinning mycket stor (Tabell 4). För Bråtarna var nederbörden betydligt lägre än för Strömme. Den genomsnittliga nederbörden var något högre än den normala som ett

genomsnitt för de undersökta åren. I genomsnitt beräknades avrinningen till 892 mm per år för Strömma och 496 mm för Bråtarna (Tabell 4).

Vid beräkningen av mellanårsvariationen i arealförluster utnyttjades de hyggesåldrar där mätvärden fanns samtliga år, dvs de hyggen som var 2-, 3- eller 4-åriga. Dessa hyggen uppvisade för många näringsämnen de högsta årliga arealförlusterna och är således inte representativa för hela hyggesfasen. Som väntat medförde skillnaden i avrinning en betydande skillnad i arealförlust vid jämförelse mellan de olika mätåren (Tabell 4). De största arealförlusterna uppmättes säsongerna 1993/94 resp. 1994/95, medan den för de flesta ämnen var betydligt lägre under 1995/96. Koncentrationerna var dock i allmänhet högre under år 1995/96 så skillnaden i arealförluster blev mindre än skillnaden i avrinning. Vid tolkningen av de data som i fortsättningen presenteras måste man dock beakta att arealförlusterna kan vara större än om nederbörden varit normal under mätperioden. Hur stor denna förhöjning kan vara är det dock omöjligt att säkert fastställa.

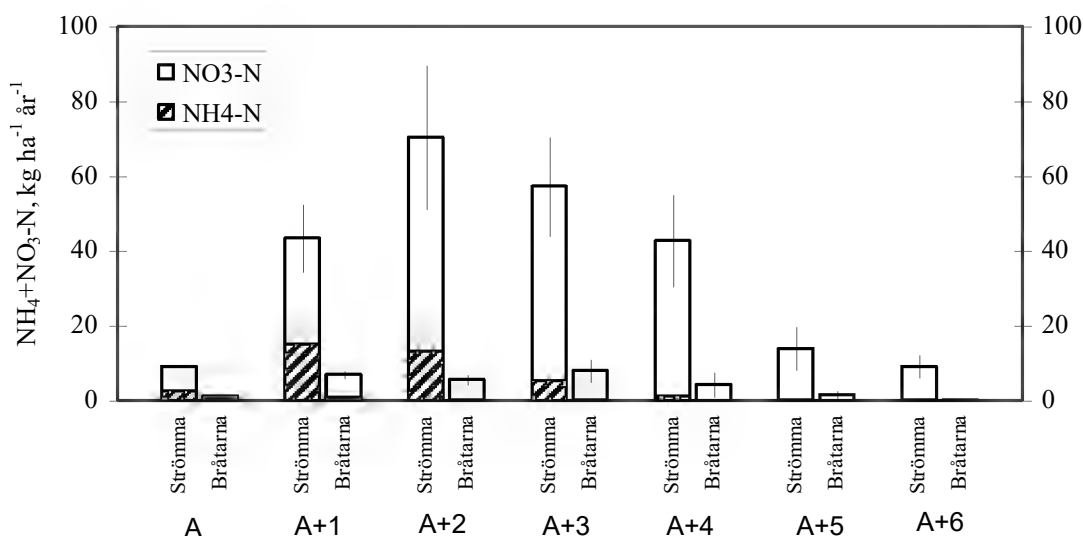
Tabell 4. Nederbörd och avrinning i mm år⁻¹, samt arealförlust (kg ha⁻¹ år⁻¹) av näringsämnen under 1993/94-1995/96 för 2-4 åriga hyggen. Genomsnitt för alla planteringsår och risbehandlingar och provtagningsdjup.

	Strömma				Bråtarna			
	93/94	94/95	95/96	Medel	93/94	94/95	95/96	Medel
Nederbörd	1478	1580	769	1276	911	930	631	824
Avrinning	1089	1219	367	892	539	622	326	496
NH ₄ +NO ₃ -N	86.9	58.6	36.9	60.8	5.3	6.3	3.6	5.1
NH ₄ -N	16.0	8.8	9.2	11.3	0.0	0.2	0.4	0.2
NO ₃ -N	70.9	49.9	27.6	49.5	5.3	6.0	3.3	4.9
H	0.55	0.56	0.35	0.49	0.12	0.16	0.13	0.14
SO ₄ -S	21.0	21.1	16.1	19.4	14.1	23.3	20.3	19.2
Cl	37.3	58.2	34.2	43.3	14.4	14.6	12.3	13.8
Ca	7.5	5.6	3.8	5.6	5.6	6.8	6.5	6.3
Mg	4.9	4.4	2.7	4.0	2.3	2.6	2.3	2.4
Na	29.6	34.8	20.6	28.3	8.9	10.4	8.3	9.2
K	32.3	30.3	19.7	27.4	6.8	7.9	7.5	7.4
Fe	1.6	0.9	0.5	1.0	0.1	1.8	1.3	1.1
Mn	0.3	0.2	0.1	0.2	0.7	2.5	2.2	1.8
Al	48.6	42.8	25.4	38.9	6.7	10.4	8.3	8.4
TOC	267.9	207.5	133.0	202.8	41.1	44.4	40.3	41.9

Arealförluster - effekt av lokal och hyggesålder

Påverkan av hyggesupptagningen varierade betydligt mellan de undersökta näringsämnena. Skillnaden mellan lokalerna var också betydande för flesta studerade ämnena.

Kvävekoncentrationen i markvattnet var mycket låg (<0.01 mg l⁻¹) på de färska hyggerna när försöket började. På hösten ökade emellertid koncentrationen, speciellt av nitrat. På lokalen Strömma uppgick den genomsnittliga årliga koncentrationen av ammonium + nitrat till ca 9 mg l⁻¹ som mest för de 3-åriga hyggerna. Liknande halter av nitrat i markvatten på Halländska hyggen har även uppmätts av Staaf och Olsson (1994). Arealförlusterna var som högst på 2- och 3-åriga hyggen (Figur 2), och uppgick som mest till ca 70 kg ha⁻¹ år⁻¹ på Strömma.



Figur 2. Arealförluster i $\text{kg ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ ($\pm\text{SE}$) av kväve på 50 cm djup. Hyggen av olika ålder från lokalerna Strömme och Bråtarna. Genomsnitt för risbehandlingarna på ej markberedda områden.

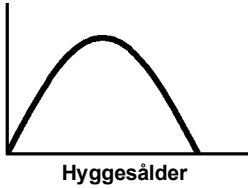
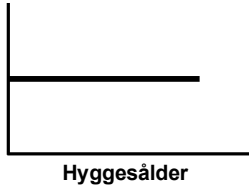
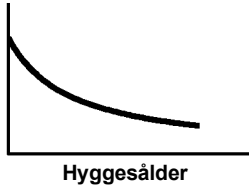
Fördelningen av arealförlusterna varierade både beroende på ämnet men också mellan lokalerna. Det gick att urskilja tre principiellt olika typer av respons av hyggesupptagningen (Tabell 5).

Respons typ 1 definierades som en uppgång från ett lågt värde till ett högt värde efter ca 3 år och därefter en återgång till ett lågt värde (jmf Figur 2). Denna respons hittades för NO_3 på Bråtarna och för NO_3 , NH_4 , K, H, Al och Fe på Strömme. Det är uppenbart att den kraftiga nitrifikationen på Strömme påverkat arealförlusterna av många ämnen. Vid nitratbildningen frigörs stora mängder vätejoner och nitratläckaget har på Strömme ”dragit med sig” K, Al och Fe.

Respons typ 2 definierades som ingen tydlig reaktion av hyggesupptagningen. Denna respons återfanns för H, Ca, Mg, Al, Fe, Mn på Bråtarna och Ca, Mg, Mn på Strömme.

Respons typ 3 definierades som en hög arealförlust direkt efter hyggesupptagningen som sedan minskade speciellt under de första åren efter hyggesupptagningen. Denna respons återfanns för SO_4 , K, Na, Cl, TOC på Bråtarna och för SO_4 , Na, Cl, TOC på Strömme. För ämnen som tillförs skogen med luften både som torr- och våtdeposition (SO_4 , Na, Cl) var effekten väntad. Dessa ämnen passerar oftast mer eller mindre opåverkat ekosystemet. När skogen huggs bort försvinner torrdepositionen och därmed är det rimligt att koncentrationen av dessa ämnen minskar i markvattnet. Kalium visade samma typ av respons på Bråtarna. Detta tyder på att kali-läckaget till stor del kom från barr och fina kvistar.

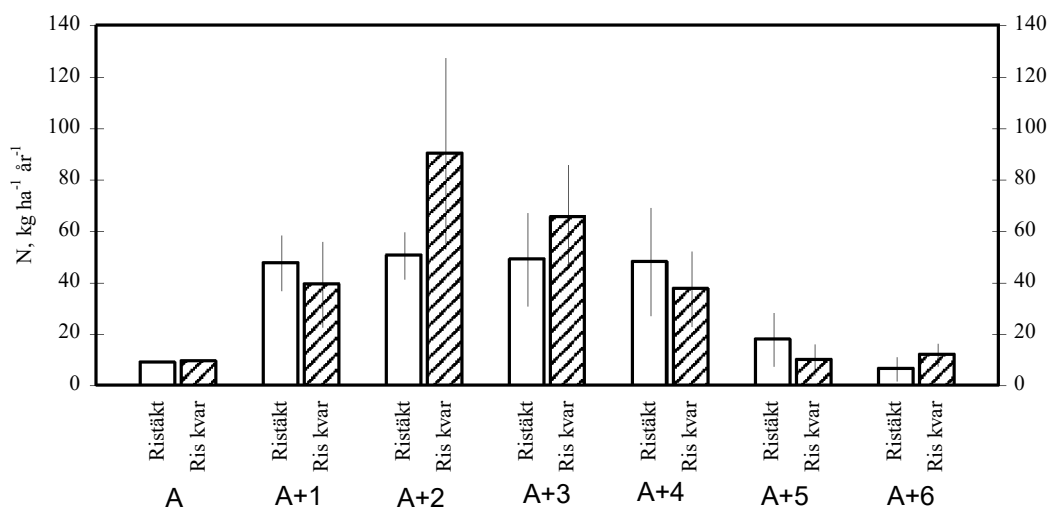
Tabell 5. Arealförluster efter kalavverkning. Figurerna visar tre principiellt olika typer av respons av arealförlusten ($\text{kg ha}^{-1}\text{år}^{-1}$) av olika näringsämnen efter hyggesupptagning för de två studerade lokalerna.

	Respons typ 1	Respons typ 2	Respons typ 3
Principiell responskurva			
Bråtarna, "normal" skogsmark	NO_3	NH_4 , H, Ca, Mg, Al, Fe, Mn	SO_4 , K, Na, Cl, TOC
Strömman, "kvävemättad" skogsmark	NO_3 , NH_4 , K, H, Al, Fe	Ca, Mg, Mn	SO_4 , Na, Cl, TOC

Arealförluster - effekt av ristäkt

Ristäkt medförde signifikanta förändringar för några av de studerade ämnena, medan de flesta effekterna av ristäkt var små och inte signifikanta (Figur 3, Tabell 6).

För lokalen Strömman uppgick den totala arealförlusten av kväve under de 7 första åren efter hyggesupptagningen till 228 kg ha^{-1} för risrensade hyggesdelar, medan den var 264 kg ha^{-1} där riset lämnats. Motsvarande siffror för lokalen Bråtarna var 21 kg ha^{-1} resp. 35 kg ha^{-1} . I en modellstudie fann Emmet et al (1991) att riset förändrade mikroklimatet i humuslagret så att mineraliseringen av kväve ökade. Det är troligt att detta främst är förbättrade fuktighetsförhållanden i humuslaget som givit upphov till den ökade nitratbildningen (jmf.



Figur 3. Arealförluster i $\text{kg ha}^{-1}\text{år}^{-1}$ ($\pm\text{SE}$) av kväve. Hyggen av olika ålder där ristäkt utförts resp. kvarlämnats. Lokal: Strömman.

Tabell 6. Effekt av ristäkt på arealförlusten (kg ha^{-1}) av näringsämnen under 7 år efter kalavverkning. Mätningen skedde på 50 cm djup i marken. Genomsnitt för alla studerade planteringsår för parceller som ej markberetts. p-värdet avser signifikanstest mellan risbehandlingar inom respektive lokal.

	Strömma			Bråtarna		
	Ristäkt	Ris kvar	p-värde	Ristäkt	Ris kvar	p-värde
NH ₄ +NO ₃ -N	228	264	0.48	20.1	34.9	0.15
NH ₄ -N	25.7	49.0	0.28	1.56	1.71	0.80
NO ₃ -N	202	215	0.83	18.6	33.2	0.15
H	2.88	3.01	0.69	0.99	1.12	0.01
SO ₄ -S	182	174	0.66	169	163	0.17
Cl	307	367	0.11	139	145	0.62
Ca	33.3	39.4	0.24	54.3	51.1	0.14
Mg	26.3	37.3	0.13	21.9	21.7	0.91
Na	227	246	0.10	96.1	80.4	0.06
K	79.8	192	0.02	38.3	52.9	0.14
Fe	1.53	4.19	0.07	6.43	0.29	0.13
Mn	1.47	1.58	0.80	11.8	8.56	0.12
Al	201	212	0.75	57.7	70.9	0.04
TOC	889	1347	0.04	291	328	0.59

Rosén och Lundmark-Thelin 1987, Jansson 1987 Smethurst och Nambiar 1990). I de studier som gjordes av Fahey et al (1991) förklarades lägre kvävehalter efter ristäkt som en effekt av att kväveuppgaget var större i den mer rikligt förekommande hyggesvegetationen då ristäkt utförts. Denna förklaring stämmer inte med vår studie då vi inte fann någon skillnad i vegetationsmängd mellan risbehandlingarna.

pH-värdet i markvattnet på 50 cm djup ökade som en följd av ristäkt. Effekten var dock enbart signifikant på Bråtarna, där arealförlusten av H under 7 år uppgick till 0.99 kg ha^{-1} där riset tagits bort jämfört med 1.12 kg ha^{-1} för kontrollen. Arealförlusten av kalium påverkades kraftigt av ristäkt speciellt på Strömman. Arealförlusten av K uppgick där till ca 80 kg ha^{-1} där riset tagits bort jämfört med 192 kg/ha för kontrollen. Motsvarande siffror för Bråtarna var 38 resp. 53 kg ha^{-1} (Tabell 6).

Den sammanlagda arealförlusten av aluminium under 7 år var på Bråtarna signifikant lägre på parceller där ristäkt utförts (58 kg ha^{-1}) än där riset lämnats (71 kg ha^{-1}), medan skillnaden mellan risbehandlingarna beträffande aluminium var liten på Strömman. På Strömman minskade arealförlusten av kol (TOC) som en följd av ristäkt (Tabell 6).

Arealförluster - effekt av markberedning

Eftersom lysimetrar i markberedda parceller endast placerades ut på planteringar utförda 1993, är inte arealförlusterna helt jämförbara med de jämförelser som gjorts för risbehandlingarna (Tabell 6 och 7). Markberedning påverkade arealförlusterna signifikant för några av ämnena men för de flesta ämnen var markberedningseffekten liten och varierade mellan lokalerna.

För kväve fanns en tendens till ökade arealförluster efter markberedning på Strömman, medan effekten var den motsatta på Bråtarna (Tabell 7). Dessa resultat är således samstämmiga med data redovisade av Ring (1996), men inte med det som redovisats av Lundmark (1988) och

Johansson (1994). Orsaken till dessa skillnader är oklar, men skulle kunna förklaras med att man där mineraljorden blottlagts endast får ett obetydligt kväveläckage (Ring 1996) och därigenom blir läckaget på hela arealen betydligt mindre än summan av vad som händer under omörd/nedbäddad humus och i orörd mark. Dessutom är det troligt att arealförlusterna påverkas då avrinningen genom tilor och högar (där näringsmineraliseringen är snabb) förmodligen är mindre än i omgivande mark. Vid provtagningen är det svårt att placera lysimetrarna på ett sådant sätt att de representerar hela arealen. I denna studie placerades lysimetrarna i gränsen mellan grop, hög och orörd mark.

Tabell 7. Effekt av markberedning (markb.) på arealförlusten (kg ha^{-1}) av näringsämnen under 7 år efter kalavverkning. Mätningen skedde på 50 cm djup i marken. Genomsnitt för planteringsår 1993 och risbehandlingar. p-värdet avser signifikanstest mellan markbehandlingar inom resp. lokal.

	Strömma			Bråtarna		
	Ej markb.	Markb.	p-värde	Ej markb.	Markb.	p-värde
NH ₄ +NO ₃ -N	289	353	0.21	29.3	25.1	0.61
NH ₄ -N	41.3	58.1	0.27	1.87	1.14	0.09
NO ₃ -N	247	295	0.40	27.5	23.9	0.68
H	2.98	3.60	0.02	1.03	0.97	0.18
SO ₄ -S	177	271	0.18	159	169	0.21
Cl	330	429	0.01	124	183	0.06
Ca	35.5	44.4	0.11	51	56	0.06
Mg	28.3	39.7	0.05	19.6	29.0	0.01
Na	231	307	0.01	82.2	110	0.08
K	122	175	0.07	42.8	48.6	0.27
Fe	1.93	5.70	0.04	3.23	0.68	0.38
Mn	1.66	1.53	0.71	9.11	14.3	0.03
Al	212	284	0.02	60.7	57.7	0.59
TOC	927	1316	0.02	300	270	0.33

På Strömma uppmättes signifikanta höjda arealförluster efter markberedning för H, Cl, Na, Al och TOC. För Bråtarna gav markberedning signifikant höjda arealförluster av Mg och Mn (Tabell 7). För dessa ämnen finns få studier utförda som visar på effekter av markberedning och oss veterligen ingen där man försökt kvantifiera arealförlusterna. Vi kunde inte hitta några signifikanta samspelseffekter markberedning rist \neq kt vad gäller arealförluster av kväve.

Den generella slutsats man dra från föreliggande studie är att effekten av slutavverkning var tydlig för många av de studerade ämnena, och att effekten av rist \neq kt och markberedning var liten jämfört med hyggeseffekten. Denna slutsats stöds vad gäller kväve av resultat erhållna av Olsson et al. (1996).

Referenser

- Egnell, G. & Leijon, B. 1996. Kortsiktiga effekter på skogsproduktionen av helträdsuttag i gallring och slutavverkning. *K. Skogs- o. Lantbr. akad. Tidskr.* 135(13):73-82.
- Emmett, B.A.; Anderson, J.M. & Hornung, M. 1991. The control on dissolved nitrogen losses following two intensities of harvesting in a Sitka spruce forest (N. Wales). *For. Ecol. Manage.* 41: 65-80.
- Fahey, T J.; Hill, M. O.; Stevens, P. A.; Hornung, M. & Rowland, P. 1991. Nutrient accumulation in vegetation following conventional and whole-tree harvest of Sitka spruce plantations in North Wales. *Forestry* 64: 271-288.
- Fleischer, S.; Andréasson, I-M.; Holmgren, G.; Joelsson, A.; Kindt, T.; Rydberg, L. & Stibe, L. 1991. Markanvändning - vattenkvalitet. En studie i Laholmsbuktens tillrinningsområde. *Länsstyrelsen i Hallands län, Meddelande* 1989:10. 236pp.
- Jansson, P-E. 1991. Simulation model for soil water and heat conditions. Description of the SOIL model. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences, Division of Agricultural Hydrotechnics, Rep. 165. 72 pp.
- Johansson, M-B. 1994. The influence of soil scarification on the turn-over rate of slash, needles and nutrient release. *Scand. J. For. Res.* 9: 170-179.
- Kardell, L. 1992. Vegetationsförändring, plantetablering samt bärproduktion efter stubb- och riståkt. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för skoglig landskapsvård. Rapport 50.
- Leijon, B. 1985. Skogens tillväxt efter helträdnutnyttjande. *Skogsfakta konferens*, 7: 122-125.
- Leijon, B. & Egnell, G. 1996. Långsiktiga effekter på skogsproduktionen av stora uttag av avverkningsrester. *K. Skogs- o. Lantbr. akad. Tidskr.* 135(13): 83-89.
- Lundmark, J-E. 1988. Skogsmarkens ekologi - ståndortsanpassat skogsbruk, del 2 - Tillämpning. *Skogsstyrelsen, Jönköping*. 305 pp.
- Mann, L. K., Johnson, D.W., West, D. C., Cole, D. W., Hornbeck, J. W., Martin, C. W., Riekerk, H., Smith, C. T., Swank, W. T., Tritton, L. M. and Van Lear, D. H. 1988. Effects of whole-tree and stem-only clearcutting on postharvest hydrologic losses, nutrient capital, and regrowth. *For. Sci.* 34: 412-428.
- Nilsson, U., Ölander, G., Erixon, M. & Petersson, M. 1994. HyggesÅldersförsök, Redovisning av resultat från Åren 1989-1993. Sveriges Lantbruksuniversitet, Enh. f. sydsvensk skogsforskning, Arbetsrapport 6, 1-29.
- Nilsson, U. & Ölander, G. 1995. Effects of some regeneration methods on drought damage of newly planted Norway spruce seedlings. *Can. J. For. Res.* 25: 790-802.
- Olsson, B. A. and Staaf, H. 1995. Influence of harvesting intensity of logging residues on ground vegetation in coniferous forests. *J. Appl. For.* 32: 640-654.
- Ölander, G.; Nilsson, U. & Holmgren, J-E. 1996. Competition for water and nutrients between

- ground vegetation and planted Norway spruce. *New Z. J. of For. Sci.* 26: 000-000 (in press).
- Olsson, B.A.; Staaf, H.; Lundkvist, H.; Bengtsson, J. & Rosén, K. 1996. Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *For. Ecol. Manage.* 82: 19-32.
- Ring, E. 1996. Effects of previous N fertilizations on soil-water pH and N concentrations after clear-felling and soil scarification at a *Pinus sylvestris* site. *Scand. J. For. Res.* 11: 7-16.
- Rosén, K. & Lundmark-Thelin A. 1987. Increased nitrogen leaching under piles of slash- a consequence of modern harvesting techniques. *Scand. J. For. Res.* 2: 21-29.
- Smethurst, P.J. & Nambiar, E.K.S. 1990. Effects of slash and litter management on fluxes of nitrogen and tree growth in a young *Pinus radiata* plantation. *Can. J. For. Res.* 20: 1498-1507.
- Staaf, H. & Olsson, B.A. 1994. Effects of slash removal and stump harvesting on soil water chemistry in a clearcutting in SW Sweden. *Scand. J. For. Res.* 9: 305-310.
- Vitousek, P.M.; Andariese, S.W.; Matson, P.A.; Morris, L.; Sanford, R.L. 1992. Effects of harvest intensity, site preparation, and herbicide use on soil nitrogen transformations in a young loblolly pine plantation. *For. Ecol. Manage.* 49: 277-292.

Innehåll

Sammanfattning	1
Introduktion.....	2
Material och metoder.....	4
Hyggesåldersförsöket	4
Markvatten	6
Avrinning	6
Arealförluster	7
Statistiska beräkningar	7
Resultat och diskussion.....	8
Vegetation	8
Arealförluster - mellanårsvariation	8
Arealförluster - effekt av lokal och hyggesålder	9
Arealförluster - effekt av ristäkt	11
Arealförluster - effekt av markberedning	12
Referenser	14

Tidigare utgivna arbetsrapporter:

1. Halvtid för sydsvensk skogsforskning. En beskrivning av verksamheten inom det Sydsvenska skogsforskningsprogrammet 1988-1990. *Agestam E. et al 1991.*
2. Ett gallringsförsök i ek i Skarhults försökspark. *Agestam E., Ekö P.M. och Johansson U. 1993.*
3. Hyggesåldersförsöket. Preliminär redovisning av resultat från åren 1989-1992. *Nilsson U. & Örlander G. 1993.*
4. Ett försök med stormskade- och rotröteförebyggande skogsskötsel i Dalby. *Gemmel P., Vollbrecht G. och Elfving B. 1993.*
5. Två viltskyddstest av repellenter mot rådjursbetning på skogsplantor. *Bergquist J. 1994.*
6. Hyggesåldersförsöket. Redovisning av resultat från åren 1989-1993. *Nilsson U. et al. 1994.*
7. Fälttest av mekaniska snytbaggesskydd på skogsplantor. Avgång och skador efter en vegetationsperiod. *Örlander G. & Petersson M. 1994.*
8. Fälttest av plantskydd mot snytbagge. Avgång och skador efter tre vegetationsperioder. *Örlander G. & Vollbrecht G. 1995.*
9. Kalkning vid naturlig föryngring av bok. Beskrivning av ett fältförsök. *Gemmel P. & Övergaard R. 1995.*
10. Sju år med Sydsvensk Skogsforskning. *1995.*
11. Fälttest av mekaniska snytbaggesskydd på skogsplantor. Avgång och skador efter två vegetationsperioder. *Örlander G. & Petersson M. 1995.*
12. Hybridlärk (*Larix laricina* Koch). I Erfarenheter och attityder. II Produktion. *Larsson-Stern M., Albrektson A. och Ekö P.M. 1996.*
13. Kartläggning av använt plantmaterial på f.d. AB Klippans Finpappersbruks marker inom Kronobergs län. *Stefan Bergkvist 1996.*
14. Fälttest av mekaniska snytbaggesskydd på skogsplantor. Slutrapport, avgång och skador efter tre vegetationsperioder. *Örlander Ö. & Petersson M. 1997.*

Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap

SLU

Box 49

S-230 53 Alnarp

Tel 040- 41 50 00

Telefax 040- 46 23 35

Tidigare utgivna arbetsrapporter:

1. Halvtid för sydsvensk skogsforskning. En beskrivning av verksamheten inom det Sydsvenska skogsforskningsprogrammet 1988-1990. *Agestam E. et al 1991.*
2. Ett gallringsförsök i ek i Skarhults försökspark. *Agestam E., Ekö P.M. och Johansson U. 1993.*
3. Hyggesåldersförsöket. Preliminär redovisning av resultat från åren 1989-1992. *Nilsson U. & Örlander G. 1993.*
4. Ett försök med stormskade- och rotröteförebyggande skogsskötsel i Dalby. *Gemmel P., Vollbrecht G. och Elfving B. 1993.*
5. Två viltskyddstest av repellenter mot rådjursbetning på skogsplantor. *Bergquist J. 1994.*
6. Hyggesåldersförsöket. Redovisning av resultat från åren 1989-1993. *Nilsson U. et al. 1994.*
7. Fälttest av mekaniska snytbaggesskydd på skogsplantor. Avgång och skador efter en vegetationsperiod. *Örlander G. & Petersson M. 1994.*
8. Fälttest av plantskydd mot snytbagge. Avgång och skador efter tre vegetationsperioder. *Örlander G. & Vollbrecht G. 1995.*
9. Kalkning vid naturlig föryngring av bok. Beskrivning av ett fältförsök. *Gemmel P. & Övergaard R. 1995.*
10. Sju år med Sydsvensk Skogsforskning. *1995.*
11. Fälttest av mekaniska snytbaggesskydd på skogsplantor. Avgång och skador efter två vegetationsperioder. *Örlander G. & Petersson M. 1995.*
12. Hybridlärk (Larik X eurolepis Henry). I Erfarenheter och attityder. II Produktion. *Larsson-Stern M., Albrektson A. och Ekö P.M. 1996.*
13. Kartläggning av använt plantmaterial på f.d. AB Klippans Finpappersbruks marker inom Kronobergs län. *Stefan Bergkvist 1996.*
14. Fälttest av mekaniska snytbaggesskydd på skogsplantor. Slutrapport, avgång och skador efter tre vegetationsperioder. *Örlander Ö. & Petersson M. 1997.*

Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap

SLU

Box 49

S-230 53 Alnarp

Tel 040- 41 50 00

Telefax 040- 46 23 35