Inledning

Den 24 mars 1993 antog styrelsen för dåvarande Stora Skog en ny skogsskötselstrategi inklusive en ny naturvårdsstrategi. Strategin var resultatet av ett omfattande utrednings- och utvecklingsarbete. Viktiga inslag i strategin blev bl.a. vikten av att även fortsättningsvis kunna öka produktionen, en poängtering av granens roll som råvara för fiberproduktion, att artbevarandemålet sattes på landskapsnivå (5 000–25 000 ha) och att de olika målen bäst nåddes genom en differentiering av skogsbruket och dess intensitet.

Detta skedde parallellt med en diskussion i Sverige om en ny skogspolitik, vilket ledde till en ny skogsvårdslag med tillhörande författningar, som började gälla den 1 januari 1994. Den nya skogspolitiken kännetecknades främst av de två målen – miljömålet och produktionsmålet, samt minskad detaljreglering av skogsbruket. Även i den nationella diskussionen framhölls att en differentiering av skogsbruket var den lämpligaste vägen att nå de båda målen.

För dåvarande Stora Skog, nu Stora Enso Skog, sattes målet för den totala avverkningen på egen skog, att den genomsnittligt skulle kunna öka med 0,5–1 % per år under de närmaste 50 åren inom ramen för ett långsiktigt, uthålligt skogsbruk. Avsikten var att kunna möta det framtida ökande behovet av skogsråvara och bibehålla företagets konkurrenskraft.

Granens långsiktigt viktigaste produktnisch bedömdes vara högklassiga fiberprodukter. Kraven på råvaran blev då: Billig, frisk, rak, låg kvistandel och långa slanka fibrer.

Differentieringen av skogsbruket skulle baseras på såväl förutsättningarna för biologisk och ekonomisk produktion som betydelsen för bevarande av biologisk mångfald. Den införda ekologiska landskapsplaneringen hade som syfte att identifiera de viktigaste naturvårdsinsatserna, men också att avväga användningen av mer produktionsintensiva metoder.

Efter skogsskötselstrategin framtogs även en utvecklingsplan. Den fokuserade på de viktigaste utvecklingsområdena

för att nå de uppsatta målen. För granskogsodling konstaterades snabbt att ett FoU-program för intensivproduktion var mycket intressant. Det kom att kallas ”Fiberskog”. Kontakter togs därför med Sveriges Lanbruksuniversitets Skogsvetenskapliga Fakultet vilket resulterade i en gemensamt tillsatt utredning: Fiberskog – förutsättningar samt forsknings- och utvecklingsbehov. Utredningen genomfördes mycket förtjänstfullt av Skog Dr Gudmund Vollbrecht och publicerades 1996; Rapport 16 från Skogsvetenskapliga Fakulteten.

Det föreslagna forskningsprogrammet blev föremål för fortsatt diskussion, samtidigt som fler intressenter söktes. SLU avsatte medel under en fyraårsperiod för ett temaforskningsprojekt. Intressenterna från näringen blev förutom Stora Enso Skog, Södra, Mellanskog, Skogssällskapet, AssiDomän och Hydro Agri. Ett forskningsprogram fastställdes med det uttalade syftet att vid fyraårsperiodens slut konkret ange hur fiberskogsbruk skall bedrivas, om man vill satsa på det. Det är dagsläget i detta arbete, som här redovisas och som vi nu med spänning tar del av.

FALUN DEN 16 AUGUSTI 2000

Ragnar Friberg

SKOGSVÅRDSCHEF STORA ENSO SKOG

1. Fiberskog i ett differentierat skogsbruk

Sammanfattning

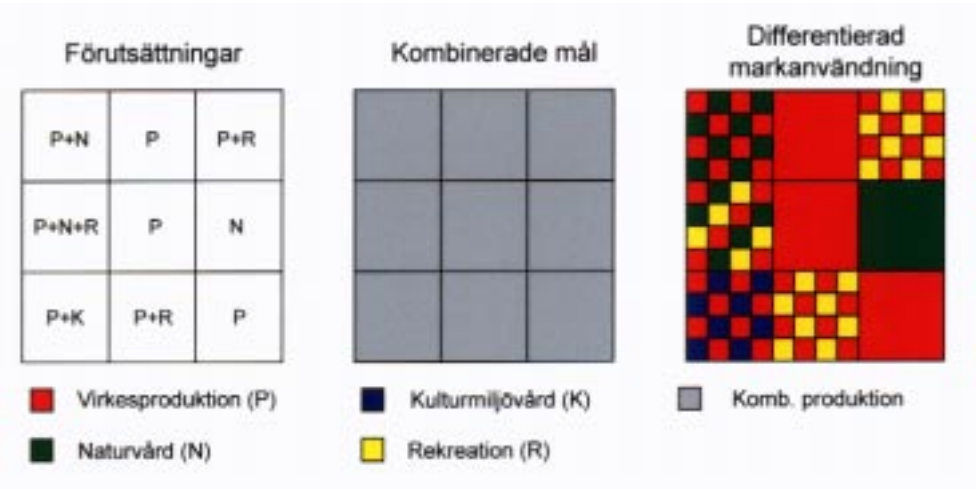
En förutsättning för fiberskog är att differentierad markanvändning tillämpas inom skogsbruket. Med differentierad markanvändning menar vi ett skogsbruk där olika delar av skogsmarken sköts med olika målsättningar, t.ex. intensivt brukade produktionsbestånd å ena sidan och områden avsatta för naturvård utan krav på virkesproduktion å den andra. Fiberskog är emellertid inte en förutsättning för differentierad markanvändning, utan differentiering kan tillämpas även utan fiberskog. Exempel på detta är t.ex. Södras ”Grön skogsbruksplan”.

Syftet med differentierad markanvändning är att utnyttja de olika förutsättningar för bl.a. virkesproduktion, naturvård och rekreation som finns i olika delar av ett område för att på ett mer effektivt sätt uppnå skogsbrukets mål. Möjligheterna till differentierad markanvändning skiljer sig mellan olika områden beroende på att förutsättningarna varierar.

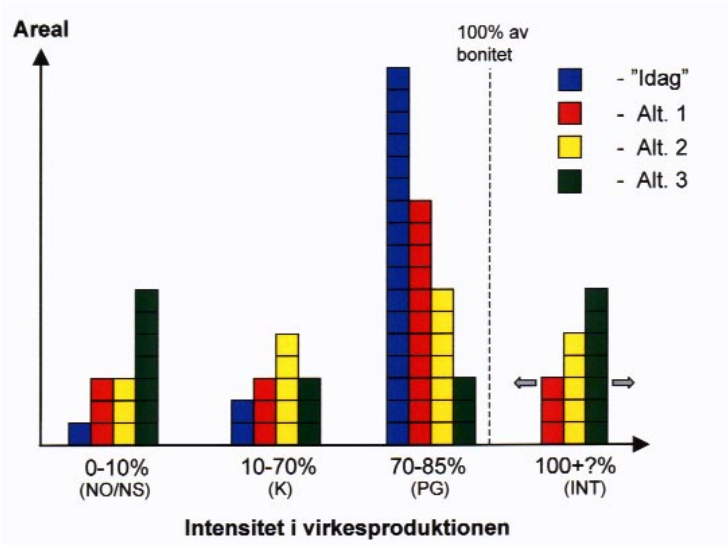
Ett antal tekniska, lagliga, miljömässiga och ekonomiska hänsyn begränsar utbudet av mark som kan utnyttjas för fiberskog inom ett differentierat skogsbruk. De ekonomiska begränsningarna är starkt kopplade till den tillväxtökning som kan förväntas, eftersom det är den ökade produktionen som ska bära kostnaden för gödslingen. Det är främst i norra Sverige vi hittar stora arealer som uppfyller tekniska, lagliga och miljömässiga krav och där samtidigt gödsling ger god effekt. I södra delen av landet finns de största arealerna i Hallands, Jönköpings och före detta Älvsborgs län.

Differentierad markanvändning, vad är det?

Med differentierad markanvändning i skogsbruket menas här ett skogsbruk där olika delar av skogsmarken sköts med olika mål, t.ex. delar med intensivt brukade produktionsbestånd å ena sidan och områden avsatta för naturvård utan krav på virkesproduktion å den andra. Ett exempel på differentierad markanvändning i skogsbruket är den målklassificering som används för bestånd i dagens skogsbruksplaner t.ex. Södras



Figur 1. Principskiss över differentierad markanvändning som visar hur man kan utnyttja olika bestånds förutsättningar att producera vissa nyttigheter istället för att försöka producera alla nyttigheter på hela arealen.



Figur 2. Tänkbar omfördelning av arealer mellan olika intensiteter i virkesproduktion vid en förändring av dagens skogsbruk till tre alternativ av differentierad markanvändning, intensitet i procent av bonitet. Förkortningar inom parentes är målsättningsklasser (NO/NS) naturvård orörd/skötsel, (K) kombinerade mål, (PG) produktion med generell hänsyn och (INT) fiberskog.

”Grön skogsbruksplan” eller Sydveds ”Aktiv SkogsPlan”. Här utgår klassificeringen av bestånd från vilken hänsyn som ska tas till naturvården, men man skulle också kunna tillgodose andra intressen vid klassificering av bestånd, t.ex. kulturmiljövård och rekreation.

Varför?

Alternativet till differentierad markanvändning är att på *alla* arealer försöka nå skogsbrukets olika mål (figur 1). Frågan är om detta är effektivt eftersom målen ofta står i konflikt med varandra. Idén med differentierad markanvändning är istället att utnyttja de olika förutsättningar vad gäller virkesproduktion, naturvård, rekreation m.m. som finns i olika delar av ett område för att på ett mer effektivt sätt uppnå skogsbrukets mål. I ett differentierat skogsbruk kan man bl.a. tänka sig att de olika målsättningsklasserna representerar olika nivåer på virkesproduktionens intensitet. I dagens skogsbruk är intensiteten ganska hög på större delen av arealen, dvs. ståndortens naturliga produktionspotential utnyttjas relativt väl, och endast på en liten areal är intensiteten riktigt låg, t.ex. i områden avsatta för naturvård.

Om man i ett traditionellt skogsbruk har målet att öka andelen mark med låg intensitet för att t.ex. gynna den biologiska mångfalden, innebär det att virkesproduktionen totalt sett kommer att sjunka. I ett differentierat skogsbruk kan vissa marker utnyttjas utöver den naturliga produktionspotentialen, med hjälp av exempelvis fiberskog. Totalt sett behöver produktionen då inte minska, även om vissa områden undantas från virkesproduktion eller brukas extensivt (figur 2).

Att differentiera markanvändningen och bruka varje del för att enbart tillgodose ett av skogsbrukets mål på varje del är dock inte någon universallösning för att lösa konflikter mellan olika mål i skogsbruket. Eftersom områden har varierande förutsättningar och markägare kan ha olika målsättningar för brukandet, kommer differentieringen inte att se likadan ut i alla områden.

Analys av förutsättningarna för differentierad markanvändning på landskapsnivå

Analysmodellen

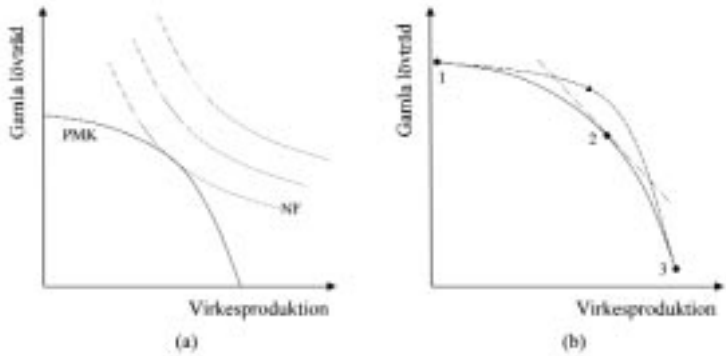
Tanken bakom differentierad markanvändning är alltså att specialisera produktionen och tillgodose olika mål i olika bestånd. Detta för att lättare kunna lösa konflikten mellan skogsbrukets mål. Vi har utvecklat en analysmodell som gör det möjligt att analysera förutsättningarna för specialiserad produktion på landskapsnivå. Modellen har testats i en fallstudie, där konflikten mellan förekomsten av gamla lövträd (b) och virkesproduktionen (t) studerades. Bestånd med gamla lövträd är den miljö i fallstudieområdet där de rödlistade arterna finns idag.

Den grundläggande frågeställningen är hur mycket av de två olika nyttighe-

terna b och t vi ska producera och var vi ska producera dem. Vi förutsätter att våra resurser, i det här fallet skogsmarken, utnyttjas helt vid produktionen av b och t. I extremfallen kan vi välja att antingen producera bara b eller bara t. Vi kan också välja att producera en kombination av b och t. De tänkbara kombinationerna av b och t som kan produceras, om vi utnyttjar alla tillgängliga resurser, beskriver den så kallade produktionsmöjlighetskurvan (PMK) (figur 3a). Frågan är då vilken av de kombinationer PMK beskriver vi ska välja att producera. Svaret är att vi ska välja den kombination som ger oss den största nyttan. Den nytta vi erhåller av olika kombinationer av b och t kan också beskrivas med en funktion, den så kallade nyttofunktionen (NF). Funktionen kan ses som ett antal parallella kurvor där varje kurva utgör en nivå av nytta och alla punkter på kurvan alltså ger samma nytta. Ju längre ut från origo i diagrammet kurvan ligger desto högre är nyttonivån (figur 3a). I teorin bestäms den kombination som ger störst nytta genom att vi tar reda på i vilken punkt nyttofunktionen tangerar produktionsmöjlighetskurvan och i vår modell är det just förhållandet mellan de två funktionerna vi utnyttjar (figur 3a). I modellen skattar vi hur PMK ser ut på landskapsnivå under förutsättning att alla bestånd i landskapet ska skötas med samma skötselstrategi. Utseendet på PMK skattas utifrån de produktionskombinationer vi erhåller om vi tillämpar tre olika skötselstrategier: 1) produktion av gamla lövträd, 2) produktion av gamla lövträd kombinerat med virkesproduktion, och 3) virkesproduktion (figur 3b). Därefter skattar vi hur nyttofunktionen ser ut i punkten på PMK som representerar skötselstrategi 2. Med hjälp av nyttofunktionen väljs sedan på *beståndsnivå* den skötselstrategi som ger den högsta nyttan. Om den produktionskombination som erhålls när strategier väljs på beståndsnivå ligger utanför vår skattade PMK innebär det att produktionen av gamla lövträd och barrvirke kan ökas i landskapet om specialiserad produktion av b och t tillämpas i vissa bestånd (figur 3b). Vi kan även skatta utseendet på PMK om vi tillåter specialiserad produktion genom att variera utseendet på nyttofunktionen och på nytt välja den strategi som bidrar med högsta nyttan (figur 3b). En mer detaljerad och teoretisk beskrivning av modellen och de antaganden som gjorts ges i nästa avsnitt.

Analysmodellen mer i detalj

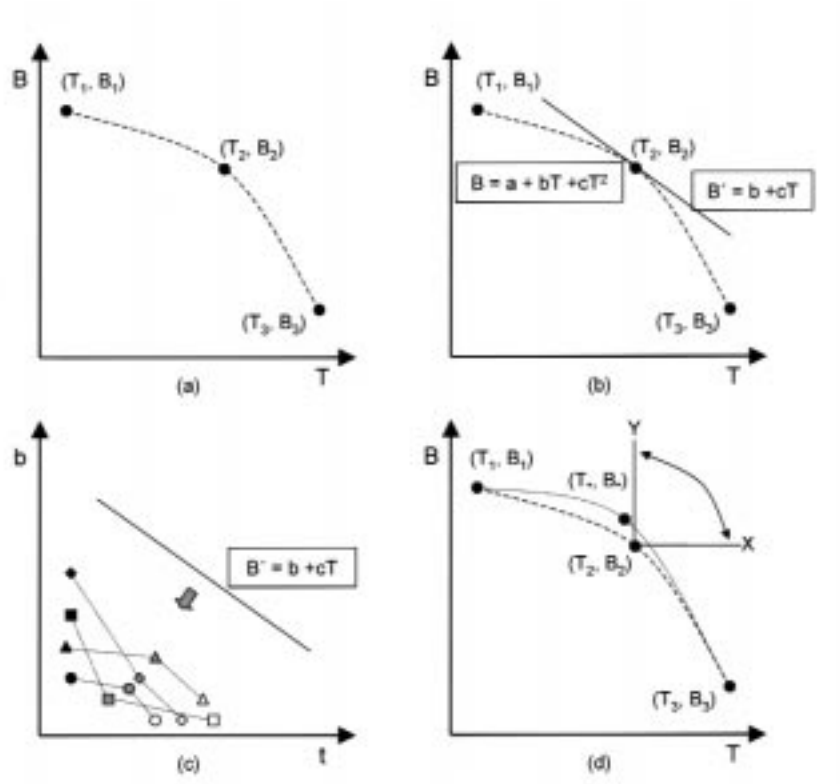
Våran modell bygger på följande resonemang: Vi tänker oss ett landskap med N stycken bestånd (i = 1,…, N) där vi ska producera nyttigheterna b och t. De kan antingen produceras samtidigt i ett bestånd (kombinerad produktion) eller var för sig i olika bestånd (specialiserad produktion). För bestånden kan vi välja mellan tre olika skötselstrategier, s (s=1, 2, 3), där strategi 1 är produktion av b, 2



Figur 3. a) Produktionsmöjlighetskurvan (PMK) som beskriver alla möjliga kombinationer av b och t som kan produceras om alla resurser utnyttjas fullt ut samt ett antal parallella kurvor som beskriver nyttofunktionens (NF) olika nivåer., b) Produktionskombinationer av b och t vid tillämpning av de tre olika strategierna i hela landskapet (punkter) och den utifrån dessa skattade PMK:n (heldragen linje), den skattade nyttofunktionen i punkten som representerar strategi 2 (prickad linje), produktionskombinationen vid val av strategi utifrån nyttofunktion (triangel) samt den skattade PMK:n om specialiserad produktion tillåts (streckad linje).

produktion av b och t samtidigt och 3 produktion av t. Tillämpar vi en av de tre olika strategierna för hela landskapet får vi en total produktion av gamla lövträd Bs och en total virkesproduktion Ts, som är summan av det som produceras i de enskilda beståndden (B_s = _i b_{is} och T_s = _i t_{is}). Den produktion vi får då de tre olika strategierna tillämpas i hela landskapet kan sägas representera tre punkter på produktionsmöjlighetskurvan (PMK) och punkterna (T_1, B_1) och (T_3, B_3) kan sägas representera extrempunkterna på kurvan (figur 4a). PMK skattas i analysmodellen som ett andragradspolynom utifrån de tre punkterna (figur 4b). Vilken kombination av B och T som ska väljas beror som ovan nämnts på vilken kombination som ger högst nytta. Vi vet emellertid inte hur nyttofunktionen ser ut ser för landskapet. Punkten (T_2, B_2) med kombinerad produktion av b och t i alla bestånd kan dock sägas representera samhällets värdering av nyttan eftersom tillämpningen av skogsvårdslagen säger att generell hänsyn ska tas överallt. Utifrån detta antagande kan nyttofunktion i punkten (T_2, B_2) skattas som andragradspolynomets, dvs PMK:s lutning i punkten (T_2, B_2) eftersom PMK och NF ska tangera varandra i punkten med högst nytta. PMK:s lutning i punkten beräknar vi som första derivatan av andragradspolynomet (figur 4b). Frågan är nu om det går att öka nyttan med hjälp av specialisering genom att fördela vissa

bestånd till produktion av gamla lövträd och vissa till virkesproduktion. Genom att utnyttja den för landskapet skattade nyttofunktionen på beståndsnivå och för varje bestånd välja den strategi som ger störst nytta, dvs. den av ett bestånds tre punkter som först träffas av nyttofunktionen när den parallellförflyttas in mot origo (figur 4c), och därefter över alla bestånd summera b och t för vald strategi i respektive bestånd, kan en ny möjlig produktionskombination beräknas, nämligen punkten (T_*, B_*). Denna punkt kan sägas representera samhällets syn på bästa produktionskombination om specialiserad produktion är tillåten (figur 4d). Om denna punkt ligger utanför den tidigare skattade produktionsmöjlighetskurvan innebär det att produktionen kan ökas med hjälp av att spe-



Figur 4. a) Produktionsmöjlighetskurvan – PMK, b) skattning av PMK som andragradspolynom och nyttofunktionen som dess första derivata, c) val av skötselstrategi på beståndsnivå m.h.a. nyttofunktionen; svart = strategi 1; grå = strategi 2; vit = strategi 3 och d) skattning av PMK vid tillämpning av specialiserad produktion.

cialiserad produktion i vissa bestånd. Genom att variera lutningen på nyttofunktion och upprepa beräkningen av (T_*, B_*) kan en ny PMK för specialiserad produktion skattas (figur 4d). Punkten (T_*, B_*) är dock inte otvetydigt bättre om den inte ligger inom sektorn X, Y som representerar det område där både produktionen av B och T skulle öka om specialiserad produktion kunde tillämpas (figur 4d).

Tillämpning av analysmodellen

Analysmodellen testades på området Äspered i Västergötland. Området är 2 900 ha stort och består till 62% av skogsmark och till 20% av inägomark. Skogen domineras av planterade likåldriga granbestånd i de höglänta områdena och naturligt föryngrad blandlövskog med inslag av björk, asp, al, bok, ek, lind, ask och lönn i områdena runt inägomarken. Barrträden utgör 85% av virkesförrådet och lövträden 15%. Medelboniteten i området är hög, omkring 8 m^3sk/ha och år (figur 6a).

De tre skötselstrategier som användes var:

1) Lövstrategi där bestånd sköttes så att lövandelen ökas. I blandbestånd av barr och löv gynnades löv i gallring. Vid föryngring konverterades barrdominerade bestånd till lövbestånd. Lövdominerade bestånd sköttes genom plockhuggning upp till hundra års ålder då de sedan lämnades för fri utveckling;

2) Kombinerad strategi där målet med skötseln var att lövinblandningen skulle vara 15%;

3) Barrstrategi där alla åtgärder gick ut på att skapa rena barrbestånd för produktion av virke.

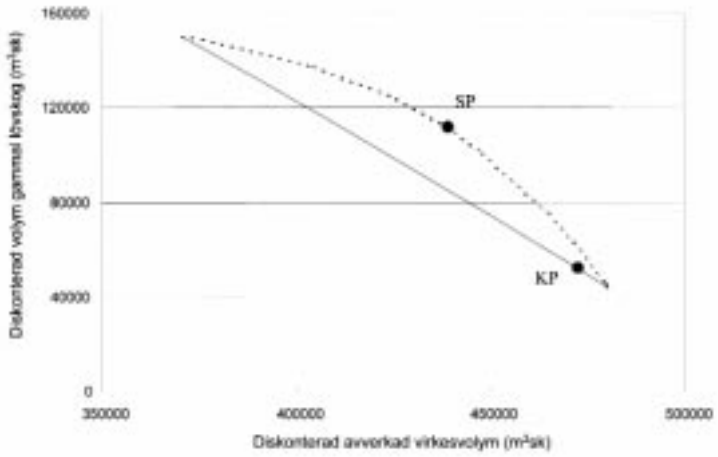
Om problemet betraktas över ett antal tidsperioder, p (10-års period), så finns det på beståndsnivå för varje strategi och tidsperiod två produktionsutfall b_{isp} och t_{isp}, där b_{isp} är mängden gamla lövträd, i detta fall uttryckt som volym, och t_{isp} är volymen avverkat virke. Därefter definierar vi

$b_{is} = {}_{p} b_{isp} * (1+r_b)^{-p*10}$ och

$t_{is} = Sp\ t_{isp}\ (1+r_t)^{-p*10}$ så att b_{is} är den diskonterade mängden gamla lövträd i bestånd i, tis är den diskonterade mängden avverkat virke, och r_b och r_t är ”räntesatser”. De årliga räntesatserna sattes till r_b = 4% och r_t = 2%. Genom att justera räntorna kan användaren uttrycka sin preferens för produktionsutfallet över tiden genom att sätta en högre ”ränta” för det man vill ska produceras i den nära framtiden. Gamla lövträd definierades som ädellöv äldre än 90 år och övriga lövträd äldre än 70 år. För att beräkna bis och tis användes en framskrivningsmodell som skriver fram åtgärder, uttag och tillstånd för varje enskilt bestånd. Modellen kördes i 20 perioder, dvs 200 år.

Resultat

Resultaten av våra analyser visar att det är möjligt att öka produktionen av gamla lövträd och virkesproduktionen om kom-

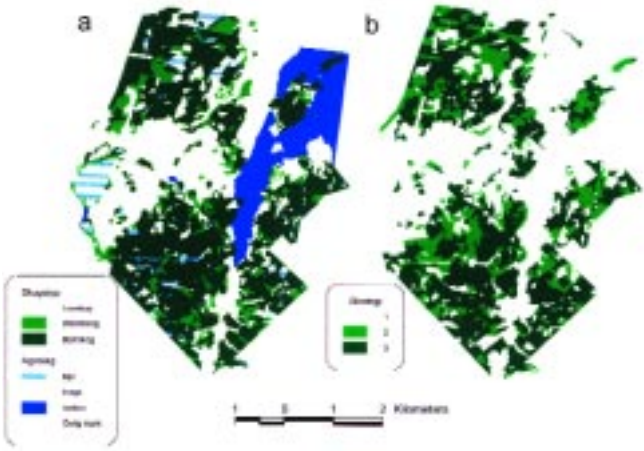


Figur 5. Diskonterad volym gammal lövskog och diskonterad avverkad volym för två fall: KP, produktionskombinationen vid tillämpning av strategin kombinerad produktion i alla bestånd i landskapet, och SP, produktionskombinationen när val av strategi görs utifrån den skattade nyttofunktionen, samt PMK:s utseende när samma strategi tillämpas i alla bestånd (heldragen linje) och när val av strategi görs utifrån nyttofunktionen (streckad linje).b

binerad produktion inte tillämpas i alla bestånd (figur 5). Resultatet är inte känsligt för ändringar av räntan (0–4%) eller definitionen av gamla lövträd (70–90 år för ädellöv och 50–70 år för övrigt löv). Punkten på PMK för specialiserad produktion i figur 5 visar den produktionsmix man får om nyttofunktionen skattas enligt ovan (se teoriavsnittet) och sedan används för val av skötselstrategi. Modellen föreslår specialiserad produktion på 70% av arealen, 20% med strategi 1 och 50% med strategi 3 (figur 6b). Det som styr vilken strategi som valts för ett bestånd är beståndets ålder, lövandel och bonitet, och tre extremfall kan urskiljas:

1) Bestånd med hög ålder, hög lövandel samt låg bonitet tenderar att väljas för specialiserad produktion av gammal lövskog.
2) Bestånd med låg ålder och lövandel samt hög bonitet väljs för specialiserad virkesprodukton.
3) Bestånd med låg ålder, hög lövandel och låg bonitet väljs för kombinerad produktion.

Om figur 6a och 6b jämförs kan man se att de nuvarande lövbestånden har valts för specialiserad produktion av gammal lövskog. Resultatet i figur 4b ska inte ses som ett slutligt förslag på hur produktionsresurserna bör fördelas i landskapet, utan mer som en rumslig beskrivning av förutsättningarna för specialiserad produktion. Den rumsliga fördelningen av de olika strategierna måste t.ex. utvärde-



Figur 6 a) Skogstyper och ägoslag i Äsperedsområdet.
b) Valda strategier för bestånden: 1 – produktion av gamla lövträd, 2 – produktion av gamla lövträd kombinerat med virkesproduktion, 3 – virkesproduktion.

ras med hänsyn till naturvård och ekonomi.

Var kan fiberskog bedrivas?

Fiberskog kan ingå som ett skötselalternativ vid differentierad markanvändning. Tanken är att intensiv virkesproduktion på vissa marker kan kompensera för produktionsförluster på marker som i första hand används för att producera andra nyttigheter än virke. Förutsättningarna för att bedriva fiberskog varierar dock mellan olika delar av landet eftersom alla områden inte är lämpliga för fiberskog.

Det finns ett antal olika faktorer som begränsar urvalet av lämplig mark. De är i grova drag av teknisk, miljömässig eller ekonomisk natur och i de flesta fall är det möjligt att definiera och tillämpa begränsningarna på beståndsnivå. De tekniska begränsningarna utgörs av exempelvis tekniska impediment i vanlig bemärkelse, men också av praktiska hinder för fiberskog, t.ex. svårigheter att utföra markberedning med gott resultat på bördiga marker eller svårigheter att sprida gödselmedel. Lagar som kan vara begränsande är t.ex. skogsvårdslagens regler om ädellövskog och skogsstyrelsens råd om skogsgödsling. Även regler i naturresurs-, naturvårds- och kulturminneslagarna sätter gränser för fiberskogsodling. De miljömässiga begränsningarna regleras till stor del av lagar, men olika former av avtal, t.ex. naturvårdsavtal är också begränsande. Ett miljömässigt hinder är också risken för läckage av näringsämnen till grund- och ytvatten på vissa marker. Bevarandet av biologisk mångfald kan knappast ses som ett hinder för att bedriva fiberskog på beståndsnivå, eftersom tanken är att behovet av biologisk mångfald ska tillgodoses på andra marker än de som används för fiberskogsodling. Om tillväxtökningen vid gödsling inte är

tillräckligt hög för att kompensera för de ökade kostnaderna kan detta betraktas som en ekonomisk begränsning.

De tekniska, lagliga och miljömässiga begränsningarna är de som är enklast att hantera vid val av lämpliga marker för fiberskog, eftersom de i princip direkt utesluter områden. De ekonomiska begränsningarna är däremot svårare att kvantifiera. Detta då vi dels inte vet hur vi bäst sköter bestånden och vilken kostnad som är förknippad med optimal skötsel, dels inte vet vilken virkeskvalitet vi kommer att erhålla och hur olika virkeskvaliteter kommer att värderas.

Ekonomi

Frågan om vilka marker som ur ekonomisk synpunkt är lämpliga för fiberskog varierar från fastighet till fastighet beroende på förutsättningarna och markägarens mål för sitt skogsbruk. Om vi bortser från detta och betraktar frågan på beståndsnivå kan vi säga att marker är lämpliga för fiberskogsodling om den ökade virkesintäkten som erhålls genom gödsling överstiger kostnaden för gödsling. Om vi i beräkningarna bortser från räntan och antar att virkesutbyte och virkespriser inte påverkas av gödsling, kan brytpunkten för lönsamheten av gödsling bestämmas som den punkt där ökningen av medelproduktionen per år multiplicerat med virkespriset är lika med den årliga gödslingskostnaden. Ska däremot hänsyn tas till ränta och förändringar av utbyte och virkespriser måste nuvärdeskalkyler användas.

Kostnaden för gödsling kan delas upp i tre poster: barranalys, gödselmedel samt spridning och transport. Kostnaden för en barranalys är ca 600 kr (varav 450 kr är analyskostnad och 150 kr är kostnad för provtagning). Det krävs ca 1 prov per 4 hektar, vilket ger en kostnad på 150 kr per hektar och tillfälle. Transport- och spridningskostnaden varierar mellan 250 och 1000 kr/ha beroende på objektsstorlek och mängden gödselmedel som ska spridas. Gödselmedelskostnaden uppgår till ca 200 kr för en årlig giva vid gödsling varje år. Vid gödsling med längre intervall minskar kostnaden per år eftersom inte lika stora gödselmängder kan tillföras.

Resultat

Tabell 1 nedan visar nuvärdet av kostnaderna för gödsling vid olika produktionspotentialklasser (produktionspotential = medelproduktion som förväntas vid gödsling varje år) Förutsättningarna för beräkningarna har varit att gödslingen startar vid en beståndshöjd av 2 m, sker vartannat år tills dess den löpande tillväxten kulminerar och därefter vart femte år fram till slutavverkning, att barranalys görs vart tredje år och att kostnaderna för olika åtgärder ser ut enligt nedan. (År noll i nuvärdesberäkningarna sätts till första gödslingstillfället.) Värdet av den högre virkesproduktionen exemplifieras nedan genom en jämförelse av ett traditionellt skötselprogram

Kostnader:

Transport- och spridningskostnad:	800 kr/ha och tillfälle
Gödselmedelskostnad:	360 kr/ha och tillfälle
Barranalyskostnad:	150 kr/ha och tillfälle

Tabell 1. Nuvärdet av gödslingskostnaden vid olika produktionspotentialklasser samt 0,3 och 4% ränta

Produktions-potential m^3sk/ha och år	Antal år kvar tills löpande tillväxten kulminerar	Antal år till slutavverkning	Nuvärde kr/ha 0-% ränta	Nuvärde kr/ha 3 % ränta	Nuvärde kr/ha 4 % ränta
10	34	61	26320	14567	12489
12	29	54	23950	13980	12107
14	25	48	20520	12769	11226
16	23	42	17900	11887	10599
18	20	37	16840	11410	10226
20	18	34	15530	10815	9760
22	17	31	13160	9750	8933
24	15	28	12100	9154	8436

utan gödsling som producerar ca 8 m^3sk/ha och år, och skötselprogram för ett antal olika produktionspotentialklasser som gödslas vartannat år (tabell 2). Exemplet visar att vid 3 eller 4% ränta måste produktionspotentialen vara över 12 m^3sk/ha och år för att intäkterna från den ökade virkesproduktionen ska kompensera för gödslingskostnaderna.

Hur mycket mark finns det att tillgå för fiberskog?

Vi har med hjälp av data från Riksskogstaxeringen samt med hänsyn till tekniska, lagliga och miljömässiga begränsningar försökt uppskatta hur stora arealer mark som lämpar sig för fiberskogsodling i varje län. De kriterier vi använt vid beräkningen speglar emellertid inte fullständigt de begränsningar för fiberskog som skulle finnas i praktiken, eftersom vi har definierat kriterierna utifrån de variabler som finns tillgängliga i Riksskogstaxeringen (tabell 3).

Vid beräkningen av de länsvisa arealerna inledde vi med att dela in all lämplig mark i bonitetsklasser. Utifrån denna klassning, produktionspotentialkartan för näringsoptimerad gödsling (se kapitel 2, sida 27) och antagandet att bonitetsklasserna är rumsligt jämt fördelade över länens arealer, beräknades sedan hur stor areal som kan förväntas uppfylla fyra olika krav på produktionsökning vid gödsling varje år. Produktionsökningen har beräknats som differensen mellan produktionspotentialen vid näringsoptimerad gödsling och boniteten.

Tabell 2. I övre delen av tabellen framgår uttag respektive uttagets medeldiameter i samband med gallring vid olika tidpunkter i ett traditionellt skötselprogram samt vid fiberskogsodling i olika produktionspotentialklasser. Därefter redovisas de virkespriser och drivningskostnader som ligger till grund för beräkningarna av nuvärde och virkesintäkter. Nuvärde och virkesintäkter i sin tur redovisas i tabellens nedre del.

Produktionspotentialklasser

	Trad. 8 m^3sk/ha och år	10 m^3sk/ha och år	12 m^3sk/ha och år	14 m^3sk/ha och år	16 m^3sk/ha och år	18 m^3sk/ha och år
Tidpunkt, år / Uttag, m^3fub / Diameter, cm						
1:a gallring	25 / 40 / 11,6	21 / 40 / 12,8	22 / 46 / 12,3	21 / 42 / 11,5	20 / 28 / 11,3	18 / 52 / 11,5
2:a gallring	35 /64 / 16,1	31 / 67 / 18,6	32 / 76 / 16,6	31 / 74 / 17,2	25 / 37 / 13,3	23 / 67 / 15,6
3:a gallring	45 / 77 / 22,1	41 / 82 / 22,5	42 / 92 / 20,9	36 / 76 / 19,2	30 / 45 / 15,4	28 / 76 / 18,3
4:a gallring					35 / 52 / 17,5	
Slut-avverkning	65 / 318 / 29,0	61 / 387 / 29,2	52 / 338 / 27,4	46 / 379 / 26,5	45 / 480 / 24,2	38 / 428 / 25,4
Virkespriser, kr/m^3fub / Drivningskostnad, kr/ m^3fub						
1:a gallring	250 / 177	250 / 177	250 / 177	250 / 177	250 / 177	250 / 177
2:a gallring	274 / 124	302 / 117	271 / 124	279 / 107	250 / 136	259 / 127
3:a gallring	337 / 100	337 / 100	331 / 106	314 / 106	259 / 122	304 / 111
4:a gallring					287 / 111	
Slut-avverkning	382 / 64	382 / 60	368 / 61	367 / 61	353 / 62	355 / 62
*Nuvärde, kr/ha / Prod. pot. minus Trad. 8**						
3 %	24410	32869 / 8459	34424 / 10014	41742 / 17332	45927 / 21517	53937 / 29527
4%	14535	20256 / 5721	22111 / 7577	27886 / 13351	30695 / 16160	38630 / 24095

** Prod. pot. minus Trad. 8 – Nuvärdet för produktionspotentialklassen minus nuvärdet för traditionell skötsel med en produktion av 8 m^3sk/ha och år.*

Tabell 3. Variabler vi utgått ifrån i Riksskogstaxeringens material och krav vi ställt på arealer lämpliga för fiberskog vid beräkning av mängden lämplig mark.

Variabel	Krav
Ägoslaget:	Skogsmark
Naturskyddat område:	Ej skyddat
Läge i landskap:	Ej närmare än 100 m från sjöar och större vattendrag eller närmare än 25 m från mindre vattendrag
Torv- eller fastmark:	Fastmark
Markfuktighetsklass:	Frisk eller fuktig.
Jordartens textur:	Sandig-moig morän eller finare
Jorddjup:	Mäktigt (> 70 cm)
Lutning och lutningsriktning:	Ej lutning mot norr som överstiger 20%
Ytstruktur:	Något ojämn eller bättre

De olika kraven på produktionsökning var i de fyra olika fallen 2, 4, 6 respektive 8 m^3sk/ha och år.

Resultaten visar att andelen lämplig skogsmark för fiberskogsodling varierar mellan 30% och 77%. Lägst är andelen i Göteborgs och Bohus län och högst i före detta Malmöhus län. Om vi sedan kräver en produktionsökning minskar arealerna, men det är stor skillnad mellan länen; för Malmöhus är det t.ex. bara ca 7% av skogsmarksarealen som klarar

Tabell 4. Länsvisa arealer som är lämpliga för fiberskog och som klarar kraven på en produktionsökning på 2, 4, 6 eller 8 m3sk/ha och år

Produktionspotentialklasser

	Skogs-marks-areal	*Lämplig areal*		*Areal som producerar +2 m^3sk/ha och år*		*Areal som producerar +4 m^3sk/ha och år*		*Areal som producerar +6 m^3sk/ha och år*		*Areal som producerar +8 m^3sk/ha och år*	
Län	100-tals ha	100-tals ha	%	100-tals ha	%	100-tals ha	%	100-tals ha	%	100-tals ha	%
Norrbottens	36220	22987	63,5	22146	61,1	15067	41,6	1751	4,8	0	0,0
Västerbottens	30240	20679	68,4	20379	67,4	17016	56,3	6564	21,7	0	0,0
Jämtlands	25290	16830	66,5	16827	66,5	15433	61,0	11026	43,6	1011	4,0
Västernorrlands	17190	10417	60,6	10377	60,4	9924	57,7	6152	35,8	67	0,4
Gävleborgs	14900	9829	66,0	9742	65,4	9419	63,2	4567	30,7	431	2,9
Kopparbergs	19200	12085	62,9	12059	62,8	11874	61,8	8711	45,4	4292	22,4
Värmlands	12940	7628	58,9	7406	57,2	6738	52,1	3278	25,3	967	7,5
Örebro	5990	3764	62,8	3558	59,4	2872	47,9	581	9,7	64	1,1
Västmanlands	3940	2265	57,5	2023	51,4	1302	33,0	152	3,8	9	0,2
Uppsala	3980	2532	63,6	1925	48,4	800	20,1	91	2,3	0	0,0
Stockholms	3180	1346	42,3	1084	34,1	447	14,1	14	0,4	4	0,1
Södermanlands	3220	2014	62,5	912	28,3	276	8,6	8	0,2	0	0,0
Östergötlands	6000	3081	51,4	438	7,3	61	1,0	3	0,1	0	0,0
Skaraborgs	4260	2662	62,5	1117	26,2	370	8,7	24	0,6	0	0,0
Älvsborgs	7180	3252	45,3	2865	39,9	1932	26,9	168	2,3	10	0,1
Jönköpings	7150	4034	56,4	2419	33,8	1349	18,9	139	1,9	6	0,1
Kronobergs	6480	3968	61,2	1027	15,9	463	7,1	59	0,9	6	0,1
Kalmar	7320	3711	50,7	255	3,5	9	0,1	0	0,0	0	0,0
Gotlands	1200	673	56,1	348	29,0	17	1,4	0	0,0	0	0,0
Göteborgs och Bohus	1860	571	30,7	467	25,1	246	13,2	38	2,0	2	0,1
Hallands	2860	1440	50,3	1170	40,9	717	25,1	36	1,3	0	0,0
Blekinge	1940	929	47,9	5	0,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Kristianstads	3000	1999	66,6	612	20,4	175	5,8	5	0,2	0	0,0
Malmöhus	820	638	77,8	55	6,7	2	0,3	0	0,0	0	0,0
Total areal	226360	139334	61,6	119216	52,7	96510	42,6	43366	19,2	6869	3,0

kravet på en ökning med 2 m^3sk/ha och år medan i Kopparberg i princip all lämplig areal klarar detta (tabell 4). Generellt sett är det större andelar av arealen som klarar krav på produktionsökning i norra delen av landet. De län i södra Sverige som har högst andelar är Hallands, Jönköpings och före detta Älvsborgs län. Arealer som klarar ett krav på ökning med 8 m^3sk/ha och år finns i princip bara i Jämtlands, Kopparbergs och Värmlands län.

De i tabell 4 redovisade arealerna bör emellertid kommenteras med avseende på två saker. Det första är att arealerna skulle kunna vara större om vi vid beräkning av produktionsökningen istället för boniteten använt den i förhållande till boniteten något lägre produktionen som uppnås i det praktiska skogbruket. Det andra är den osäkerhet som finns i produktionspotentialkartan med avseende på vattentillgångens produktionsbegränsande effekt (se kapitel 2/sida 26). Osäkerheten innebär att arealerna i de sydligaste och sydöstra delarna av Sverige troligen är underskattade.

Ett praktiskt exempel på differentierad markanvändning och fiberskog

Fallstudieområdet Fulltofta

Den fallstudie från Fulltoftaområdet som redovisas här ger ett exempel på hur differentierat skogsbruk kan bedrivas och vilka konsekvenser det kan få för skogsbruket. Området ligger i mellersta Skåne och omfattar 2 050 ha varav 90% utgörs av skogsmark. Den senare utgörs till 60% av barrskog, främst gran och till drygt 20% av lövskog med bok och ek, men även en del ask (figur 7). Området ägs av Malmöhus läns landsting som har den uttalade målsättningen att området ska skötas med långtgående hänsyn till natur-, miljö- och friluftsintressen.

I fallstudien fokuserades på tre intressen: rekreation, naturvård och virkesproduktion. För att belysa konsekvenserna av differentierad markanvändning jämfördes tre alternativ av differentiering med traditionell skötsel. De tre differentieringsalternativen var; *fiberskog, landstingets policy* och *rekreation*, och i dessa alternativ kombinerades fyra olika skötselstrategier på olika sätt. Traditionell skötsel kallas här för alternativ *skogsvårdslagen (SVL)*.

Vid differentieringen valdes marker för de fyra alternativa skötselstrategierna ut i följande ordning:

1. Marker som ska avsättas för naturvård.
2. Marker som ska konverteras från barr till löv.
3. Marker som ska skötas med speciell hänsyn till rekreationsintresset.
4. Marker som ska intensivodlas med gran dvs. fiberskog.

Av tabell 5 framgår hur stora arealer som avsattes för respektive skötselstrategi (1–4) i de olika differentieringsalternativen.

Målet vid avsättningen av marker till naturvård, var att avsätta 90 ha, vilket motsvarar 5% av arealen. Först valdes de

40 ha som utgjorde nyckelbiotoper ut och därefter bestånd med liknande ålder och trädslagssammansättning i närheten av nyckelbiotoperna. För konvertering av barr till löv var målet att 50% av arealen skulle bestå av lövskog, vilket innebar att 290 ha skulle byta trädslag från barr till löv. De marker som valdes ut för konvertering var områden längs bäckar, runt myrar och sjöar samt bestånd nära nyckelbiotoper. För att skapa en hög andel gammal skog i området, vilket gynnar rekreationsintresset, valdes ca 1/3 av arealen ut för att skötas med en omloppstid som förlängts med ca 50%. Vid val av bestånd togs hänsyn till dagens befintliga stig- och ledsystem i området. Kravet som ställdes på marker som valdes för intensivodling av gran var, förutom att de skulle vara lämpliga för denna typ av skötsel, att de inte tidigare valts för något av de ovan nämnda skötselstrategierna (1–3) och att de var bevuxna med gran. Totalt valdes i fiberskogsalternativet 327 ha eller knappt 20% av arealen ut för intensivodling. Intensivodlade bestånd gödslades varje år och hade en 40-årig omloppstid. Tillväxtökningen antogs vara 8 m^3sk/ha och år.

Konsekvensanalys

Med hjälp av ett framskrivningsprogram analyserades konsekvenserna av de fyra differentieringsalternativen och deras olika kombinationer av skötselstrategier. Framskrivningsprogrammet tar ett bestånd i taget, åsätter det ett skötselprogram och skriver fram åtgärder, tillväxt,

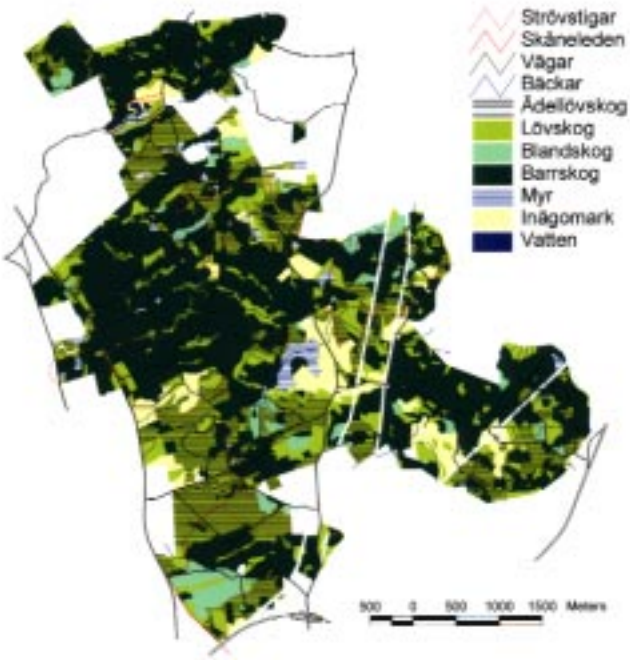
Tabell 5. Förutsättningar för och resultat från framskrivningarna av de fyra beräkningsalternativen

	Beräkningsalternativ			
	Fiberskog	Landstingets Policy	Rekreation	SVL
Avsättning naturvård (ha)	90	90	90	40
Konvertering barr till löv (ha)	290	290	290	0
Rekreationskogsskötsel (ha)	639	0	639	0
Intensivodling (ha)	327	0	0	0
Nuvärde (milj. kr)	96	99	89	111
Årlig tillväxt (m^3sk/ha)	7,8	6,6	6,4	7,1
Skog >= 130 år areal-% (min-max)[1]	31 (27–34)	21 (21–28)	33 (28–34)	14 (13–29)
Skogstyp areal-% (barr-löv-bok-ädel)[2]	49-15-20-16	49-15-20-16	49-15-20-16	65-14-14-7
Andel lämplig rekr.skogsareal-% [2,3]	41,2	35,5	44,3	26,4

[1] Arealandel vid 100-års periodens slut (min. resp max. andel under perioden).

[2] Arealandel vid 100-års periodens slut.

[3] Med lämplig rekreationsskog menas äldre skogar som här definieras som: ädellövskog äldre än 90 år, barr- eller blandskog äldre än 60 år och övrig lövskog äldre än 50 år.



Figur 7. Karta över skogstyper, ägoslag samt markerade leder och stigar i Fulltofta-området.

Figur 8. Skötselalternativens rumsliga fördelning i beräkningsalternativet fiberskog samt skogstyper vid 100-års periodens slut

uttag m.m. för en 10-årsperiod. Detta upprepas tio gånger tills man når 100 år.

Konsekvenser av differentiering

Resultaten från framskrivningarna av de fyra differentieringsalternativen kan värderas ur olika synvinklar (tabell 5). Jämförelse av det ekonomiska utfallet, vilket beräknades som nuvärdet av kostnader och intäkter under 100-årsperioden med 2,5% ränta, visar att alternativet *skogsvårdslagen* ger det högsta nuvärdet; ca 20 % högre än för alternativet *rekreation* som får det lägsta nuvärdet. Det högre nuvärdet måste dock vägas mot de övriga värden vi kan erhålla från skogen, och alternativet *skogsvårdslagen* ger en lägre andel av både äldre skog, lövskog och lämplig rekreationsskog än övriga alternativ. I alternativen *fiberskog* och *landstingets policy*, som har ungefär samma nuvärde, ser vi att det första alternativet har en högre andel äldre skog och lämplig rekreationsskog. Den rumsliga fördelningen av de olika skötselalternativen i beräkningsalternativet fiberskog visas i figur 8.

Slutsats

Att differentiera markanvändningen i skogsbruket för att tillgodose produktionen av olika nyttigheter är fullt möjlig. För att kunna göra avvägningar mellan olika intressen och hitta lämpliga lösningar är det viktigt att inte studera problemen på beståndsnivå utan på landskapsnivå, eftersom den rumsliga fördelningen av olika företeelser är viktig. Att som i Fulltofta differentiera markanvändningen enligt något av de tre första beräkningsalternativen leder till ett lägre nuvärde än alternativet skogsvårdslagen. Å andra sidan tillgodoses natur-, miljö-, och friluftsintressena på ett bättre sätt. Ett sätt att kompensera det lägre nuvärdet och den lägre tillväxten som uppkommer vid anpassning av skötseln till rekreation och naturvård kan vara att på vissa delar av området bedriva fiberskog.

Referenser

Andersson, M., Carlsson, M. & Sallnäs, O. 1998. The potential for specialized production in landscape management for timber and nature conservation. I: On forestry planning for timber and biodiversity av Carlsson, M.

Andersson; M. 1998. Differentiering ger mångbruk i skogen. Fakta Skog 4. ISSN 1400-7789.

Andersson, M., Bergh, J., Börjesson, P., Dahlin, B. & Sallnäs, O. 2000. Biobränsleproduktion genom näringsoptimerat skogsbruk. Rapprort till energimyndigheten.

Ask, P., Dahlin, B. & Sallnäs, O. 1997. Differentierad markanvändning – hur kan det se ut i praktiken. Kungliga Skogs- och Lantbruksakadmiens Tidskr. 136 nr 14:9 – 22.

2. Produktionspotentialen på intensivodlade marker

JOHAN BERGH OCH SUNE LINDER

Sammanfattning

Det finns stora möjligheter att öka granens volymproduktion på intensivodlade marker med hjälp av balanserad näringstillförsel. I pågående försök i Västerbotten är den löpande tillväxten för ytor som erhållit en balanserad näringsgiva ca 17 m^3 per hektar och år. I Småland ligger den löpande tillväxten på motsvarande behandling på 25–26 m^3 per hektar och år. Försöksverksamheten i Fiberskogs försöksområde i Hjuleberg (Halland) är fortfarande i startskedet och näringsbehandlingen har ännu inte gett full effekt, men även där är produktionen 65% högre jämfört med ogödslade ytor. En uppskattning av produktionspotentialen för gran i Sverige visar att medelvolymproduktionen under en omloppstid skulle kunna fördubblas i södra Sverige och tredubblas i mellersta och norra Sverige. Det är därmed fullt möjligt att få en medelproduktion på 18–20 m^3 per ha i stora delar av södra och mellersta Sverige och ca 12–16 m^3 i norra. Den ökade volymproduktionen leder dessutom till att omloppstiderna förkortas avsevärt; i södra Sverige med 20–30 år jämfört med idag, och i mellersta och norra Sverige med 40–60 år.

Metoder för praktisk tillämpning av balanserad näringstillförsel är under utveckling. Tanken är att man utifrån näringsanalyser av barr och med hjälp av en dator kontinuerligt ska kunna anpassa näringsgivans storlek.

Näringstillången styr tillväxten i våra skogar

Vid sidan om den korta tillväxtsäsongen är det nästan utan undantag tillgången på växtnäring (främst kväve) som begränsar produktionen i naturliga skogsekosystem i Sverige. Det är dock inte bara tillgången på näringsämnen som avgör växters tillväxt och funktion. Också balansen mellan olika näringsämnen kan ha stor betydelse. Därför kan gödsling med en balanserad näringsgiva markant öka produktionen i de flesta av våra barrskogar. Orsaken till att träd reagerar så kraftigt på gödsling beror på att förbättrad näringstillgång ger upphov till en kraftigt utbyggd barrmassa och därmed ökad fo-

tosyntesproduktion. Ökad fotosyntes förklarar dock endast till en del den ökade stamvedsproduktionen. En del av ökningen beror också på att fördelningen av resurserna mellan rötter och ovanjordisk biomassa förändras. Förbättrad näringstillgång i marken innebär att träden relativt sett satsar mindre på tillväxt av rötter och mer på att bygga upp de ovanjordiska delarna av trädet.

Vad är balanserad näringstillförsel?

Balanserad näringstillförsel är det mest effektiva sättet att öka produktionen i granbestånd. För att avgöra gödselgivans storlek analyseras varje år näringstillståndet i barren. Med utgångspunkt från kvävehalten i barren avgörs först hur stor kvävegivan skall bli. Därefter anpassas givan av övriga växtnäringsämnen så att förhållandena mellan kväve och övriga näringsämnen blir korrekt. Ett minimum- eller ”börvärde” för dessa förhållanden har fastställts för samtliga växtnäringsämnen (tabell 1) under tidigare näringsexperiment i fält- och laboratoriemiljö. Om ett ämne ligger under sitt börvärde lider trädet näringsbrist, vilket begränsar den potentiella tillväxten.

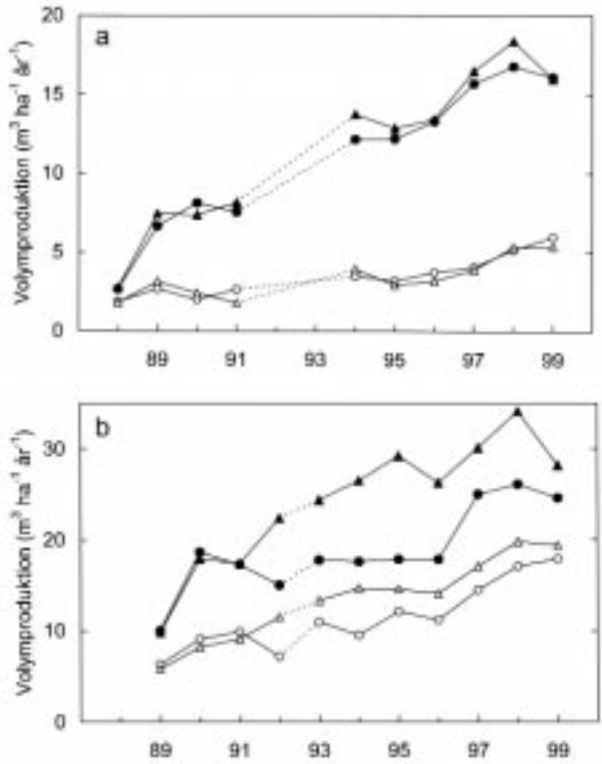
Om halten av ett växtnäringsämne ligger under börvärdet höjs mängden i förhållande till kvävemängden vid nästa gödslingstillfälle. Ytterligare kontroll av gödselgivans anpassning sker genom insamling och analys av markvatten. Om ett näringsämne återfinns i grundvattnet innebär det att tillförseln har varit för hög och givan minskas. På så sätt kan näringstillförseln ge optimal tillväxt utan läckage till grundvattnet. Vid balanserad näringstillförsel inleder man näringstillförseln redan i trädens ungdomsfas, vid ca 2–4 meters höjd, och fortsätter under hela omloppstiden.

Fältförsöken med balanserad näringstillförsel i Flakaliden och Asa

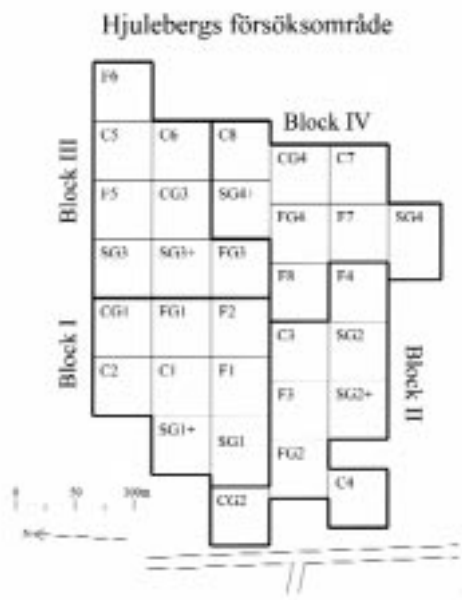
I unga granbestånd i Västerbotten (Flakaliden) och Småland (Asa) anlade man i mitten av 80-talet fältexperiment med bevattning och balanserad näringstillförsel. Huvudsyftet med dessa experiment är att eliminera vatten och näring som tillväxtbegränsande faktorer. För att undvika läckage till grundvattnet ges näringen i små givor varje år. Eftersom varken näring eller vatten begränsar tillväxten kan den potentiella produktionsför-

Tabell 1. ”Börvärden” för de olika makro- (N, P, K, Ca, Mg, Mn, S) och mikronäringsämnena (Fe, Zn, B, Cu) anges i viktsprocent av kväveinnehållet. Om halten av ett näringsämne ligger under börvärdet bör man tillföra extra mycket av detta näringsämne vid nästa gödslingstillfälle.

P	K	Ca	Mg	Mn	S	Fe	Zn	B	Cu
10%	35%	2,5%	4%	0,05%	5%	0,2%	0,05%	0,05%	0,02%



Figur 1a och b. (a) Årlig stamvolymproduktion i unga granbestånd i ett vatten- och näringsoptimeringsexperiment i Västerbotten (Flakaliden). De olika leden i försöket är obehandlade ytor (öppna cirklar), bevattnade (öppna trianglar), årlig fastgödselgiva (fyllda cirklar) och daglig gödsling i kombination med bevattning (fyllda trianglar). (b) Årlig stamvolymproduktion i unga granbestånd i ett vatten- och näringsoptimeringsexperiment i Småland (Asa). Behandlingar och symboler som i figur 1a.



Figur 2. Hjulebergs försöksområde. Huvudexperimentet består av ogödslade ytor med gräsbekämpning (C) och utan (CG), årlig komplett fastgödselgiva med gräsbekämpning (F) och utan (FG), pelleterat slam (SG) och pelleterat slam kompletterat med andra näringsämnen (SG+).

mågan fastställas under rådande klimatbetingelser, samtidigt som läckage till grundvattnet undviks. Experimenten har visat att man årligen kan tillföra mer än 75 kg kväve per hektar utan läckage till grundvattnet.

Efter 14 års behandling har de granbestånd i Flakaliden som erhållit en komplett näringsgiva fyrdubblat sin stamvolymtillväxt (figur 1a, fyllda cirklar och trianglar) jämfört med de bestånd som är obehandlade (öppna cirklar) eller bara bevattnade (öppna trianglar). Den årliga löpande stamvolymtillväxten ligger i genomsnitt på över 16 m^3 per hektar för de gödslade bestånden, där enstaka ytor i vissa fall har en produktion på ca 20 m^3 per hektar. Bevattning verkar dock inte påverka produktionen nämnvärt eftersom det inte föreligger någon signifikant skillnad varken mellan obehandlade och bevattnade bestånd eller fastgödslade (fyllda cirklar) och näringsbevattnade bestånd (fyllda trianglar). Under 1995 var produktionen av grankottar mycket stor hos de gödslade bestånden i Flakaliden. Produktionen av kottar uppgick till flera ton per hektar, vilket minskade stamvolymproduktionen det året.

På Asa försökspark var stamvolymproduktionen för de obehandlade och bevattnade bestånden lika de första åren (figur 1b). Däremot ökade produktionen betydligt efter tillförsel av en komplett näringsgiva, såväl då näringen tillfördes i form av en årlig fastgödselgiva som vid daglig tillförsel i kombination med bevattning. Efter 1992 gav även bevattningen en effekt på stamvedsproduktionen. Det berodde på att den ökande barrmassan gav stigande efterfrågan på vatten. Idag är den årliga produktionen för obehandlade ytor 16 m^3 per hektar, bevattnade 18 m^3, fastgödslade 26 m^3 och för gödsling i kombination med bevattning ca. 30 m^3 per hektar. Vissa näringsbevattnade ytor växer med 35 m^3 per hektar och år.

Försök med balanserad näringstillförsel i Hjuleberg

Bakgrundsinformation om försöksområdet

Fiberskogsprojektet har ett eget försöksområde, Hjuleberg, 10 km öster om Falkenberg i sydvästra Sverige (56°58'N, 12°43'E, 40–45 m ö.h.). Hjuleberg (figur 2) skall fungera som ett försöksområde för Fiberskogs olika delprojekt. I försöket vill man även ta reda på om det går att öka produktionen hos gran med balanserad näringstillförsel även på de mest produktiva markerna i Sverige, dvs. nedlagd åkermark i sydvästra Sverige.

Försöksområdet planterades 1991 med treåriga barrotsplantor (proveniens från Minsk) efter plöjning och kemisk markbehandling. Marken har en finkornig jordartstextur och områdets produktionsförmåga skattades med hjälp av ståndortsegenskaperna i försöksstarten 1997 till G36 (övre höjd vid 100 år). I början av experimentet var medelhöjden 1,80 m, diametern i brösthöjd 21,9 mm,

grundytan per ha 1,72 m^2, volymen per hektar 4,78 m^3 och antalet stammar per hektar ca 3 730.

Behandlingarna på Hjuleberg

Tre olika gödslingsbehandlingar är inkluderade i försöket. I ett av försöksleden erhåller granbestånden årligen en balanserad fastgödselgiva där alla växtnäringsämnen ingår. Fastgödslingen sker dels i herbicidbehandlade bestånd (F), dels i bestånd som inte har behandlats med herbicider (FG). En av de övriga behandlingarna innebär att man sprider ut pelleterat slam med hög torrsubstanshalt (SG) som har berikats med kalk. I den tredje behandlingen sprider man pelleterat slam kompletterat med andra näringsämnen (SG+). För SG-behandlingen eftersträvar man att kvävegivan ska vara densamma som för F-behandlingen. För SG+ avser man att tillförseln av både kvävet och de andra näringsämnena ska efterlikna F-behandlingarna, genom komplettering med handelsgödselmedel. Ogödslade bestånd är naturligtvis inkluderade i försöket som referens. Dessa har lagts ut i både herbicidbehandlade (C) och icke herbicidbehandlade (CG) bestånd.

Behandlingled i Hjuleberg:
CG = Kontroll
C = Herbicidbehandling
F = Fastgödsling
FG = Fastgödsling och herbicidbehandling
SG = Pelleterat slam
SG+ = Pelleterat slam med komplettering

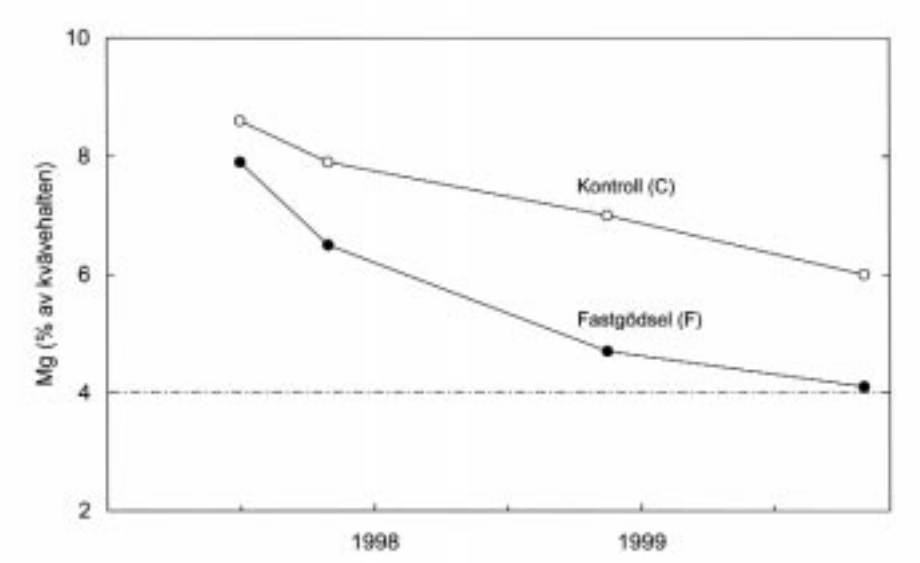
På Hjuleberg används samma grundläggande kunskaper och principer som i näringsoptimeringsförsöken på Flakaliden och Asa, dvs. näringsgivans mängd och sammansättning baseras på årliga näringsanalyser av barr och markvatten. Vissa behandlingar är upprepade åtta gånger (C och F) och andra fyra (CG, FG, SG, SG+). Varje behandlingsyta är 50 x 50 m och försöksområdet är 8 hektar stort (figur 2).

Resultat

Första året (1997) fick F- och FG-leden en kvävegiva motsvarande 75 kg per hektar. Under de två följande åren sänktes

Tabell 2. Tillförd mängd i kg per hektar för de olika makro- och mikronäringsämnena under perioden 1997–2000.

År	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**Mn**	**S**	**Fe**	**Zn**	**B**	**Cu**
1997	75	11	19		13		15		0,02	0,8	
1998	50	8	17		6	0,08	4	0,13	0,03	0,35	0,006
1999	50	9	18	8,5	6		1,6			0,4	0,025
2000	75	11,5	19		13		15			0,8	
Totalt	250	39,5	73	8,5	38	0,08	35,6	0,13	0,05	2,35	0,031

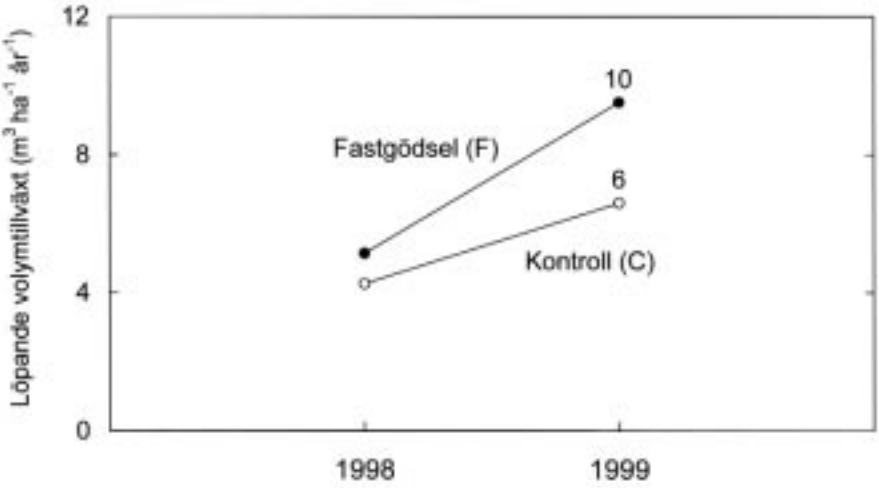


Figur 3. Magnesiumhalten (viktsprocent) i barr i förhållande till kvävehalten för fastgödslade ytor (fyllda cirklar) och ogödslade ytor (öppna cirklar) under perioden 1997–1999. Minimum- eller börvärdet för magnesium (4% av kvävehalten) är markerad med streckad linje.

kvävegivan till 50 kg per hektar, eftersom läckagerisken bedömdes var stor pga. att försöksområdet ligger på nedlagd åkermark och nedfallet av antropogent kväve är stort i sydvästra Sverige. Det visade sig emellertid att kväveläckaget på de gödslade ytorna inte skilde sig från de ogödslade och att träden hade tagit upp mer kväve än vad som tillförts. Därför har kvävegivan för i år (2000) höjts till 75 kg. Man har också tillfört andra makro- och mikronäringsämnen under tiden (se tabell 2).

Barranalyserna har visat att kvävehalten i barren sedan starten ökat från ca 1,5% till 1,95%, vilket får anses vara en kraftig ökning. De andra makro- och mikronäringsämnena har hela tiden legat över sina börvärden. Det ämne som ligger närmast sitt börvärde är magnesium (figur 3), och därför innehåller årets (2000) näringsgiva extra magnesium.

I likhet med tidigare försök ser man ingen tillväxteffekt första året efter påbörjad näringstillförsel (1998), eftersom trädet till en början använder kvävet för att öka kvävekoncentrationen i befintliga barr och bygga ut sin barrmassa. Det förklarar varför tillväxteffekten blir tydlig först under 1999 då höjdtillväxten, men framför allt diametertillväxten har ökat i de fastgödslade behandlingarna. I stamvolym räknat var produktionen ca 6 m^3 för ogödslade ytor och ca 10 m^3 för



Figur 4. Löpande tillväxt av stamvolymen (m^3/ha) för två av behandlingsleden på Hjuleberg; obehandlade ytor (öppna cirklar) och tillförsel av årlig fastgödselgiva (fyllda cirklar). Skillnaden mellan gödslade och ogödslade ytor var under 1999 signifikant ($P < 0,01$).

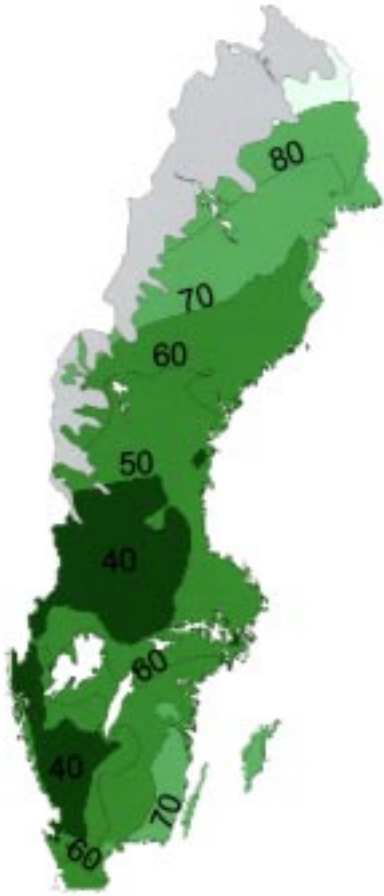
de gödslade (figur 4). Försöket är ännu i sin linda. Det är därför ännu för tidigt att säga vilken produktion man kan uppnå vid gödsling på nedlagd åkermark samt hur stor skillnaden blir mellan gödslade och ogödslade ytor.

Produktionspotentialen för gran

Resultat från nya och gamla gödslingsförsök samt vissa samband mellan klimatet och produktionen har givit oss möjlighet att ta fram en produktionspotentialkarta för gran i Sverige, då tillgången av näring är optimal. För att uppskatta i vilken utsträckning vattentillgången är en begränsande faktor för produktionen i södra Sverige, har vi tagit hänsyn till nederbörds- och avdunstningsdata för olika delar av Sverige. Siffrorna på kartan avser den realiserbara medelvolymproduktionen för stamved under en omloppstid som ligger långt över vad det växer idag. I södra Sverige skulle volymproduktionen kunna fördubblas och i mellersta och norra Sverige tredubblas (figur 5a). En medelproduktion på 18–20 m^3 per ha är därmed möjlig i stora delar av södra och mellersta Sverige, medan den i norra Sverige skulle kunna bli ca 12–16 m^3. De senaste årens produktionsdata från gödslingsförsöken indikerar att vattnets begränsande effekt i södra Sverige är något överskattad. Produktionspotentialen i södra och särskilt i sydöstra Sverige är därför något högre än vad figur 5a anger.

En bonus i sammanhanget är att den

5a. Den realiserbara stamvolymproduktionen (m^3/ha, år) i granbestånd som erhållit balanserad näringstillförsel, uttryckt som medelproduktionen under en omloppstid.

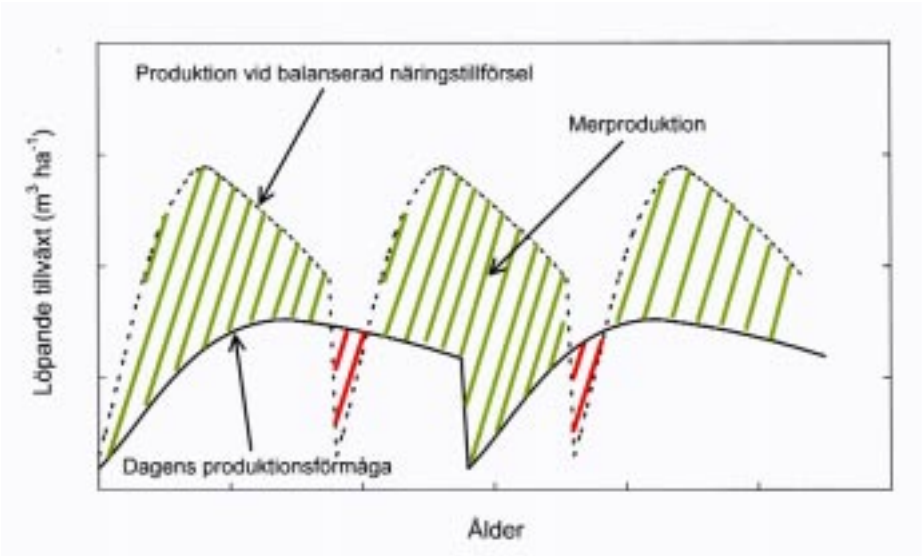


5b. Omloppstidens längd i år för bestånd som erhållit balanserad näringstillförsel.

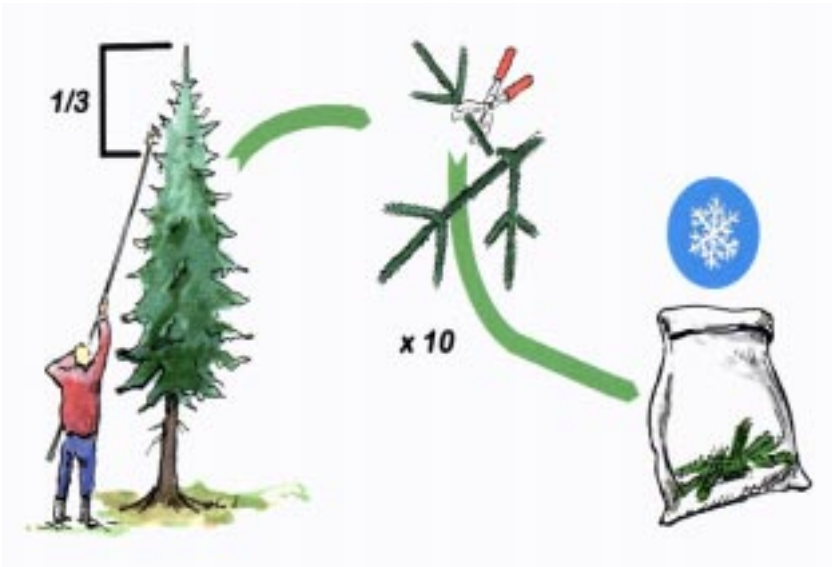
ökade volymproduktionen leder till avsevärt förkortade omloppstider (figur 5b); i södra Sverige med 20–30 år jämfört med idag, och i mellersta med 40–60 år. Omloppstiderna som kartan visar bygger på ett relativt intensivt gallringsprogram, men med bara någon enstaka gallring blir omloppstiderna förkortade med ytterligare 10–15 år.

Produktionsutvecklingen vid balanserad näringstillförsel

För att kunna jämföra balanserad näringstillförsel med traditionell skogsskötsel behöver vi känna till löpande tillväxten och den merproduktion näringstillförseln ger upphov till. Vid nuvärdesberäkningar diskonteras kostnader och intäkter till en bestämd tidpunkt (se även



Figur 6. Den heldragna linjen motsvarar stamvolymtillväxten i ogödslade granbestånd och den streckade linjen stamvolymtillväxten i bestånd som intensivodlas med näringsoptimering. Det grönstreckade området motsvarar därmed merproduktionen vid näringsoptimering. Det rödstreckade området motsvar förluster i samband med att föryngringsfaserna inte sammanfaller.



Figur 7. Barrprovtagning sker i övre delen av trädkronan och det är fjolårsskottet på sidogrenen som används då barrens näringsinnehåll analyseras.

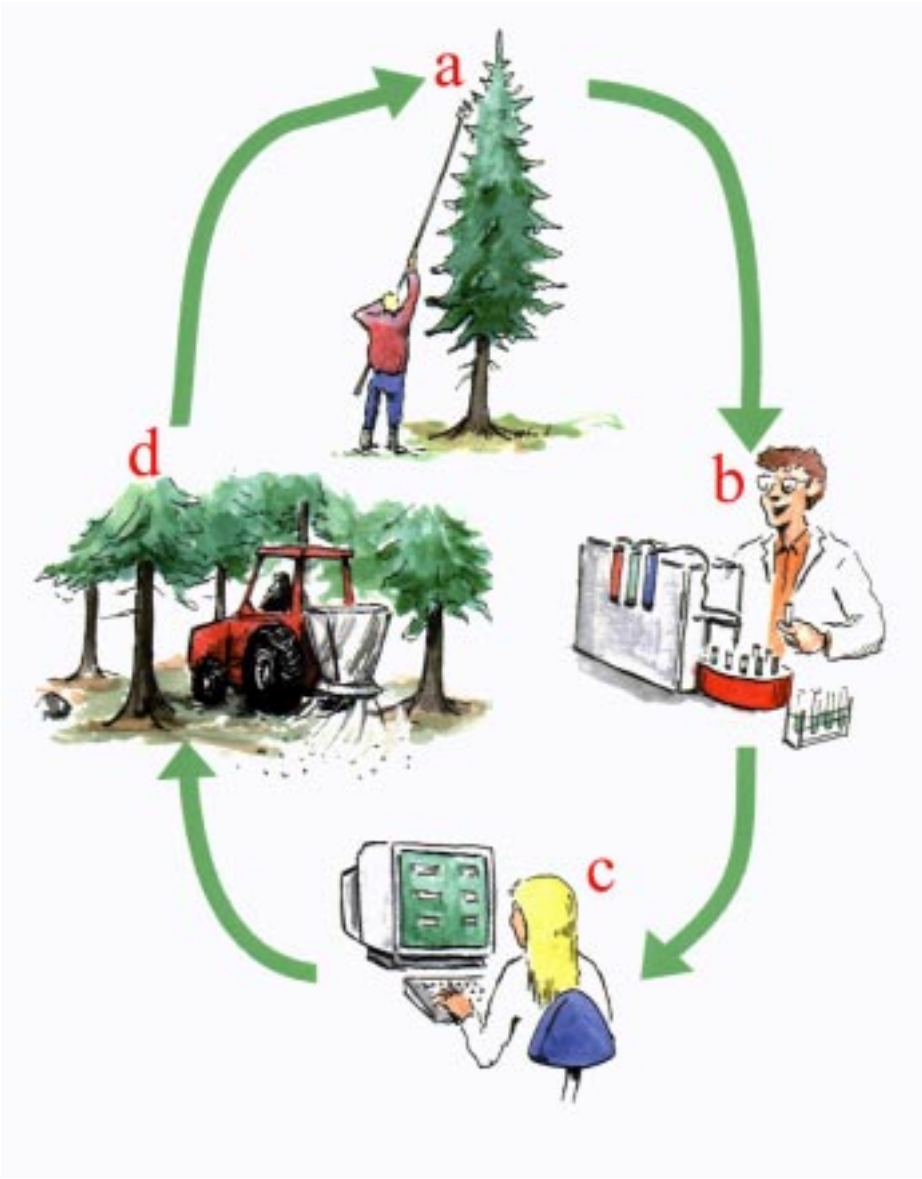
ekonomiavsnittet i kapitel 1, sid 12) och det är därför viktigt att veta när gallringar kan göras och hur stora volymer som kan tas ut vid gallringar och slutavverkning. Produktionsdata från tidigare och pågående försök med balanserad näringstillförsel ger en god uppfattning om produktionsutvecklingen för unga granbestånd till dess de når full slutenhet. Man kan därför med ganska stor säkerhet fastställa den högsta löpande tillväxten. För att framskriva produktionen under en omloppstid har vi antagit att den följer samma tillväxtmönster som ogödslade bestånd med en naturligt hög tillväxt. I norra Sverige kan man jämföra tillväxten vid balanserad näringstillförsel med produktionsutvecklingen för en G34–G36. I södra Sverige ger den balanserade näringstillförseln så hög produktion att det inte finns några produktionstabeller att jämföra med. Därför har vi varit tvungna att använda oss av produktionstabeller för Sitkagran i Storbritannien.

I figur 6 finns en principskiss över tillväxtförloppet och merproduktionen vid balanserad näringstillförsel i södra Sverige. Den heldragna linjen motsvarar volymtillväxten vid traditionell skogsskötsel och vid jämförelse med den streckade, som motsvarar balanserad näringstillförsel, får vi en uppfattning om merproduktionens storlek (grönstreckade området) och fördelningen över tiden. Det skulle med andra ord vara möjligt att fördubbla produktionen av gran i södra Sverige och hinna med tre omloppstider på kortare tid än två omloppstider tar vid traditionell skogsskötsel. I norra Sverige är den naturliga produktionen lägre på grund av kärvare klimat och näringsfattigare marker. Därför är den relativa ökningen vid behovsanpassad gödsling större där än i södra Sverige. I absoluta tal är dock merproduktionen lika stor som i södra Sverige. Omloppstiden skulle vid intensivodling nästan kunna halveras i norra Sverige.

Praktisk tillämpning av balanserad näringstillförsel

Balanserad näringstillförsel bygger i den experimentella verksamheten på barr- och markvattenanalyser. I praktisk skala måste man förenkla förfarandet jämfört med i näringsoptimeringsexperimenten samtidigt som man ska bibehålla produktionspotentialen utan näringsläckage till grundvattnet. Resultat från tidigare och pågående fältförsök med balanserad näringstillförsel ligger till grund för de förenklingar och antaganden man måste göra vid praktisk tillämpning.

Vid praktisk tillämpning av balanserad näringstillförsel tas barranalyser på hösten före varje gödslingstillfälle. Tidpunkten för barrprovtagning varierar dock beroende på var i Sverige man befinner sig, pga. att barrens innehåll av kolhydrater är som lägst (ca 10%) någon månad efter avslutad tillväxtsäsong. I södra Sverige (< 59°N) bör provtagning ske 1 november, i mellersta Sverige



Figur 8. Tänkt modell för hur balanserad näringstillförsel skall tillämpas i praktisk skala. (a) Barrprover tas på hösten i beståndet som ska gödslas för att sedan slås ihop till ett prov och frysas. (b) Näringsanalysen på laboratoriet ligger till grund för (c) anpassningen av gödselgivans storlek och sammansättning. (d) Gödsling av beståndet sker på våren därefter.

(59–63°'N) 15 oktober och i norra Sverige (> 63°'N) 1 oktober. Vid barrprovtagningen används fjolårsskott på sidogrenar (se figur 7) och proverna tas i den övre tredjedelen av trädkronan med hjälp av en stångsekatör eller hagelbössa. Det räcker med 10 skott från det bestånd som ska gödslas. Skotten skall läggas ihop till ett enda, frysas så fort som möjligt och sedan torkas. Därefter skickas provet till laboratoriet för näringsanalys.

Det finns idag flera laboratorier som kan utföra näringsanalyser av barr och kostnaden är några hundralappar per prov. Vid näringsanalysen bestäms nivåerna för alla makro- och mikronäringsämnen och provsvaren anger näringsämnets halt i förhållandet till torrvikten. Det är främst barrens kvävehalt som avgör hur stor kvävegivan ska bli. Tillförseln av de övriga näringsämnena anpassas i förhållandet till kvävegivan. Om det råder brist på vissa näringsämnen tillförs extra mycket av just dessa. Av erfarenhet från tidigare och pågående fältförsök (med avseende på produktion och läckagerisk) bör gödselgivan vara ca 100 kg N/år om kvävehalten är lägre än 1,1%, 75 kg N/år vid en kvävehalt mellan 1,1 och 1,7% och 50 kg N/år ifall kvävehalten är större än 1,7%. Det är relativt enkelt att anpassa gödselgivan med utgångspunkt från barranalyser, men det krävs viss utbildning. Ett program i Windowsmiljö, som är under utveckling inom ramen för Fiberskog, kommer att underlätta anpassningen av gödselgivan vid praktiskt bruk. Programmet utnyttjar provsvaret från näringsanalysen och enkla beståndsdata.

Gödslingen bör ske på våren ett par veckor före skottskjutningen. I kapitel 5 framgår hur ett gödslingsprogram kan se ut under en omloppstid samt vilka marker som lämpar sig för intensivodling.

Referenser

Bergh, J., Linder, S. och Bergström, J. 1999. Produktionspotentialen för gran i Sverige – en outnyttjad möjlighet. FaktaSkog, nr 2. ISSN 1400–7789.

Bergh, J., Linder, S., Lundmark, T. and Elfving, B. 1998. The effect of water and nutrient availability on the productivity of Norway spruce in northern and southern Sweden. Forest Ecology and Management, 119:51–62.

Cannell, M.G.R. 1989. Physiological basis of wood production: A review. Scand. J. For. Res., 4:459–490.

Chalupka, W., Giertych, M. and Krolikowski, Z. 1975. The effect of cone crops on growth in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Arboretum Kornickie, 20:201–212.

Eriksson, H. 1976. Yield of Norway spruce in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of forest yield research, Research notes no. 41.

Hägglund, B. and Lundmark, J-E. 1977. Site index estimation by means of site properties of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Studia Forestalia Suecia., 138:1–33.

Linder, S. 1987. Responses to water and nutrition in coniferous ecosystems. In: Schultze, E.D. and Zwölfer, H. (Editors). Potentials and Limitations of Ecosystem Analysis. Ecol. Stud., 61:180–202. Springer Verlag.

Linder, S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. Ecol. Bull. (Copenhagen), 44:178–190.

Linder, S. 1997. Virkesproduktionens gränser. KSLAs tidskrift, Årg.136, nr 10: 21–27. Skogsbruk på väg – vart, hur och för vem?

Linder, S. och Bergh, J. 1996. Näringsoptimering – granen växer ur produktionstabellerna. Fakta Skog, nr 4, ISSN 1400–7789.

Linder, S., Benson, M.L., Myers, B.J. and Raison, R.J. 1987. Canopy dynamics and growth of Pinus radiata. I. Effects of irrigation and fertilisation during a drought. Can. J. For. Res., 10:1157–1165.

McMurtrie, R.E., Gholz, H.L., Linder, S. and Gower, S.T. 1994. Climatic factors controlling the productivity of pine stands: a model–based analysis. Ecol. Bull. (Copenhagen), 43:173–188.

Näslund, M. 1947. Functions and tables for computing the cubic volume of standing trees. Medd. Stat. Skogsförsöksanst., 36 (3):1–81. (In Swedish, English summary).

Nilsson, L-O. 1997. Manipulation of conventional forest management practices to increase growth – results from the Skogaby project. For. Ecol. Manage., 91:53–60.

Pereira, J.S., Madeira, M.V., Linder, S., Ericsson, T., Tomé, M. and Araújo, M.C. 1994. Biomass production with optimised nutrition in *Eucalyptus globulus plantations*. – In: Periera, J.S. and Pereira, H. (Editors). Eucalyptus for Biomass Production, pp. 13–30. Published by Commission of the European Communities, Brussells.

Vollbrecht, G. 1996. Fiberskog – förutsättningar samt forsknings– och utvecklingsbehov. Sveriges lantbruksuniversitet, Skogsvetenskapliga fakulteten, Rapport 16.

3. Miljöeffekter vid näringsoptimering med koventionella gödselmedel och pelleterat slam

DEL 1. REINER GIESLER, HARALD GRIP
DEL 2. TORD NAGNUSSON OCH BJÖRN HÅNELL

Sammanfattning

Hittills har kväveläckaget vid näringsoptimering från såväl fastgödslade som näringsbevattnade försöksled i Flakaliden och Asa varit små; ca 95% av det tillförda kvävet har fastlagts i växtbiomassa och mark. Ökat kvävetillskott leder till att markens höga kvot mellan förråden av kol och kväve (C/N-kvoten) sjunker. Detta har skett i Flakaliden där C/N-kvoten i mårlagret minskat från 31 till 28. Flera studier visar, att då C/N-kvoten sjunker till värden under 25 samtidigt som kvävebelastningen är hög, ökar risken för att kväveläckaget ska bli större. Kvävegödslingen i Asa har hittills inte lett till större kväveläckage trots att C/N-kvoten i mårlagret är låg (ca 23) i alla försöksled. I Flakaliden har läckagen av andra näringsämnen än kväve också varit relativt små. I Asa har däremot läckaget varit större, men förlusterna behöver inte bero på gödslingen. Andra faktorer som deposition av havssalter och luftföroreningar påverkar också läckaget. Ökad nitratbildning till följd av den höga kvävebelastningen i gödselleden skulle kunna leda till pH-sänkningar i marken och ett ökat aluminiumutflöde. Inga sådana förändringar har dock hittills kunnat påvisas.

Vid försöken med näringsoptimering i Asa och Flakaliden har konventionella gödselmedel använts, men det är fullt möjligt att använda samhällets restprodukter, såsom slam och aska. Dessa måste då kompletteras med bland annat kväve. De resultat som hittills framkommit när det gäller pelletterat avloppsslam är uppmuntrande. Man har funnit att gödslingen är praktiskt genomförbar och att näringsfrigörelsen i marken tycks öka liksom vegetationens upptag av näringsämnen. Däremot har man inte funnit tecken på några oroväckande negativa miljökonsekvenser. Tillväxteffekten på trädbeståndet har ännu inte bestämts.

Del 1. Miljöeffekter vid näringsoptimering med konventionella gödselmedel

Skogsproduktionen i de flesta av våra skogsekosystem begränsas av tillgången på kväve. Skogen svarar därför med ökad tillväxt på ett kvävetillskott. Vanligen

Figur 1. "Kväveutlakning och förrådsuppbyggnad av kväve i gödslingsledet i Flakaliden. Näringsutlakningen beräknas genom modellering utav vattenflöden och analys av markvattnets kemiska sammansättning i undertryckslysimetrar på 0.5 m djup. Markens näringsförråd har beräknats genom provtagning av humus och mineraljord i alla försöksled."

blir då något annat ämne än kväve tillväxtbegränsande. För att utnyttja hela produktionspotentialen hos en kvävegiva kan gödslingen balanseras med övriga näringsämnen så att trädens hela näringsbehov tillgodoses. Därigenom skulle framför allt risken för kväveläckage kunna minskas. Vi har undersökt hur balanserad gödsling i form av näringsbevattning och fastgödsling har påverkat läckaget av kväve och andra näringsämnen. Vi har också studerat om gödslingen påverkar markens förråd av de tillförda näringsämnena och om beståndens vattenbalans förändras.

Kvävet tas upp av träden eller fastläggs i marken

Gödslingsleden i Flakaliden och Asa har tillförts ca 1 ton kväve per hektar under de 14 respektive 13 år som försöken pågått. Trots detta har mindre än 5% av det tillförda kvävet utlakats under samma tidsperiod. Av den totala kväveförlusten är mer än 50% organiska kväveföreningar och resten nitrat. Den årliga kväveutlakningen är mindre än 2,6 kg kväve per hektar och år, vilket kan jämföras med utlakningen från ett avrinningsområde i Svartberget (Vindelns försökspark, ca 55 km NV Umeå) där läckaget är 2,4 kg kväve per hektar och år.

Den intensiva kvävetillförseln har gett produktionsökningar som bundit upp en del av det tillförda kvävet i trädens biomassa. Barrbiomassan har byggs ut och barrens kvävehalt har blivit högre. En del av barrbiomassan kommer

att återföras till marken som förnafall, inkorporeras i mårlagret och bidra till att kväveinnehållet i mårlagret ökar. Ett ökat kväveinnehåll i rotförnan kan också bidra till att öka markens kväveinnehåll.

Kvävemängden i mårlagret på Flakalidens gödslingsytor har ökat med ca 230 kg kväve per hektar jämfört med kontrollytorna. Det betyder att ca 23% av det tillförda kvävet antingen har återförts till humuslagret via förnan eller byggts in direkt i mårlagret med hjälp av mikroorganismer eller genom abiotisk fixering till organiskt material. I Asa är det endast i fastgödselledet som mårlagrets kvävehalt tenderar att öka. Förändringen är dock inte statistiskt säker. Förändringar av kväveförrådet i mineraljorden är fortfarande mindre än felet i förrådsuppskattningen. Eftersom det totala kväveförrådet i mineraljorden är mer än 6 gånger större än i mårlagret (ca 2 000 respektive 350 kg N/ha i Flakaliden då kväveförrådet beräknats för mineraljordens översta 50 cm) och kvävehaltens naturliga variation är stor, skulle det krävas ett mycket stort antal prov för att fastställa eventuella förändringar till följd av gödsling.

Förhållandet mellan kol och kväve kan långsiktigt förändras i mårlagret

Genom att en ökad mängd kväve byggs in i mårlagret i gödslingsleden kommer kvoten mellan mårlagrets förråd av kol och kväve (C/N-kvoten) att minska. I Flakaliden har C/N-kvoten sjunkit från ca 31 till 28 i gödslingsleden på 13 år. I Asa är C/N-kvoten betydligt lägre, ca 23, oberoende av behandling.

C/N-kvoten i humuslagret används som indikator på skogsmarkens benägenhet till kväveläckage. Detta är möjligt tack vare studier av sambandet mellan mårlagrets C/N-kvot och kväveläckaget i skogsbestånd i Europa vid olika grad av kvävedeposition. Studierna visar att skogsekosystemets möjlighet att binda kväve minskar och att risken för kväveläckage ökar vid låga C/N-kvoter (<25). Om C/N-kvoten i Flakaliden fortsätter att minska i samma takt till följd av kvävegödslingen, kommer det att ta mindre än 30 år att nå en C/N-kvot på 25, en gräns där ytterligare minskningar skulle kunna leda till ökat kväveläckage.

Vi vet idag inte i vilken takt C/N-kvoten verkligen kommer att förändras i Flakaliden och om eventuella förändringar på sikt kommer att leda till ökat kväveläckage. Resultaten från Asa indikerar dock att det så här långt går att genomföra balanserad näringstillförsel utan stora kväveläckage, även i skogsekosystem med låg C/N-kvot.

Utlakningen av andra näringsämnen – stora skillnader mellan ämnen och försöksområden

Utlakningen av kalium, magnesium och fosfor har varit låg i de gödslade försöksleden i Flakaliden. Läckaget av kalium har varit mindre än 4%, av magnesium

mindre än 10% medan för fosfor inga uppmätbara förluster har kunnat påvisas. Att fosfor inte utlakas är inte så förvånande. Fosfor, antingen i form av negativt laddade fosfatjoner eller organiska fosforföreningar, binds starkt till järn- och aluminiumföreningar som förekommer rikligt i rostjorden. Det innebär att ett eventuellt fosforläckage från mårlagret kommer att fastläggas i mineraljordens rostjordshorisont och därmed förhindra vidare utlakning.

Bilden i Asa är annorlunda; ca 16% av tillfört kalium och mer än den tillförda mängden magnesium (110%) återfinns som läckage. Läckaget av ämnen som natrium och klorid är också betydligt större i de bevattnade och gödslade ytorna (näringsbevattning och fastgödsel) trots att dessa ämnen inte tillförs med gödselmedlen. Skillnaderna mellan Asa och Flakaliden kan förklaras av skillnader i deposition av bl.a. havssalter och luftföroreningar. Depositionen av marina havssalter är ca 10 gånger större i Asa än i Flakaliden. Även nedfallet av luftföroreningar är betydligt större i Asa. Havssalterna för med sig bl.a. magnesium och sulfat, men även en del av den deponerade luftföroreningssulfaten balanseras av katjoner som magnesium och kalcium. Skillnaderna i läckage mellan de olika behandlingsleden i Asa kan förmodligen förklaras av skillnader i barrbiomassa och trädhöjd. De större träden i bevattnings- och gödselleden fungerar förmodligen som effektivare filter för luftdeponerade ämnen, vilket skulle kunna förklara de högre läckagevärdena från dessa ytor jämfört med kontrollytorna.

Förråden av näringsämnen kan förändras

Såväl förrådet av kalium som magnesium har ökat i gödslingsbehandlingarna jämfört med kontrollytorna i Flakaliden. Även i Asa har förändringar skett. Kalium och magnesium förekommer huvudsakligen som positivt laddade katjoner i marken och binds till markens negativt laddade ytor. Det är detta fenomen som brukar kallas markens katjonbyteskapacitet. I våra podsoljordar är det markens organiska material som står för merparten av katjonbyteskapaciteten i såväl humus som mineraljord. I och med att mårlagrets mäktighet har ökat i Flakaliden har också dess totala katjonbyteskapacitet ökat. Förändringen beror endast på att mårlagret har tillväxt, medan mängden negativt laddade ytor per viktsenhet organiskt material inte har förändrats. Eftersom fördelningen mellan kalium, magnesium och andra katjoner inte förändrats påtagligt kan förrådsökningen i Flakaliden framför allt förklaras av den ökade mängden katjonbytesplatser som mårlagrets tillväxt resulterat i.

Inga förändringar i markens pH-värde

I Flakaliden har inga pH-skillnader kunnat upptäckas mellan olika behandlingar. I Asa är pH-värdet i mårlagret något högre i näringsbevattningsledet jämfört

med kontrollytorna (3,61 respektive 3,18). Däremot är det inga skillnader i mineraljorden mellan de olika behandlingarna. Skillnaderna i pH-värde i läckagevattnet är små i såväl Asa som Flakaliden. Däremot är skillnaden mellan de två lokalerna påtaglig. Markvattnets pH-värde i Asa är ca 4,5, medan motsvarande pH-värde i Flakaliden är 5,7. Skillnaderna kan förmodligen förklaras av varierande beståndshistorik och luftföroreningsbelastning. Det lägre pH-värdet i Asa leder också till ett större läckage av aluminium jämfört med i Flakaliden.

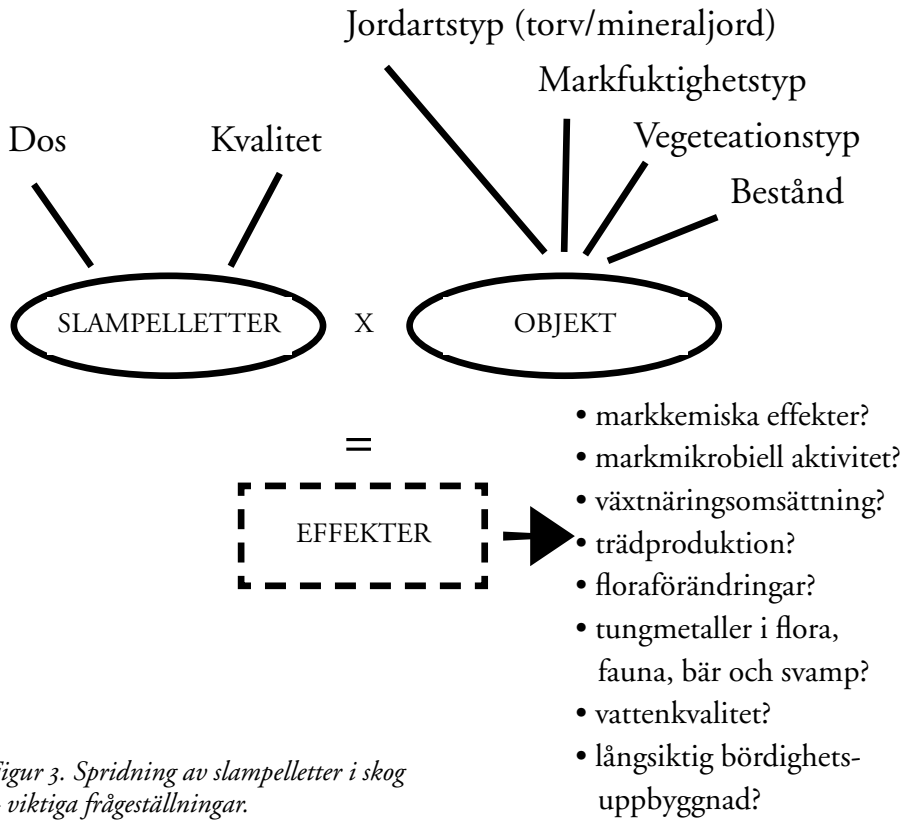
Vattenbalanser

Den ökade beståndshöjden och den ökade slutenheten i de gödslade bestånden har lett till att barrytan blivit större. Detta ökar i sin tur avdunstningen. I Flakaliden var den totala avdunstningen 100 mm större från fastgödselledet än från kontrolledet under 1997. Omvänt var avrinningen 100 mm mindre från fastgödselledet än från kontrolledet. Försöksytorna är dock relativt små och man kan inte bortse från energitransport mellan ytorna. Relativt sval och fuktig luft från gödslingsytorna förs in över kontrollytorna och minskar avdunstningen där, medan relativt varm och torr luft från kontrollytorna förs in över gödslingsytorna och ökar avdunstningen där. Skillnaderna mellan behandlingarna är därför större än de skulle vara om gödslingssystemet infördes i stor skala.

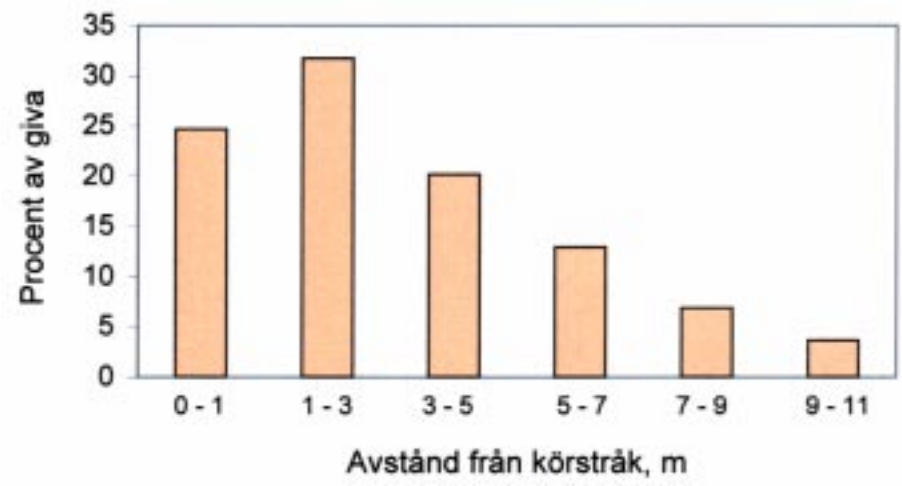
Del 2. Pelleterat avloppsslam för skogsproduktion

Under de senaste 20–30 åren har avloppsslam i viss utsträckning använts som gödningsmedel på jordbruksmark. Avloppsslam är ett organiskt gödningsmedel som bl.a. innehåller de viktiga växtnäringsämnena kväve och fosfor, och dessutom är ett bra energisubstrat för markens mikroorganismer. Slammet har dock ännu inte blivit allmänt accepterat, trots en kontinuerlig förbättring av kvaliteten, t.ex. med avseende på föroreningar av tungmetaller. Orsakerna till detta är problem med praktisk hantering av fuktigt och illaluktande slam, oro för tungmetaller och sjukdomsalstrande organismer samt i viss mån mänskliga psykologiska barriärer.

Ny teknik för framställning av torra och smittfria pelletter har i viktiga avseenden förbättrat möjligheterna att hantera avloppsslammet. Tekniken går ut på att spruta ett torrt pulver (exempelvis kalkstensmjöl) på fuktiga slampelletter, vilket hindrar pelletterna från att omedelbart klibba ihop och samtidigt möjliggör torkning. Under torkningen upphettas pelletterna så att mikrorganismer avdödas. De torra pelletterna kan lagras och transporteras i säckar. Metoden eliminerar flera svåra problem som tidigare gjort slammet svåranvänt – den höga vattenhalten och kladdiga konsistensen, sjukdomsalstrande organismer och dålig lukt. Dessa förbättringar har gjort slamanvändning till ett fullt realistiskt alternativ inom skogsbruket.



Figur 3. Spridning av slampelletter i skog – viktiga frågeställningar.



Figur 4. Enkel spridningsprofil utmed körstråk.

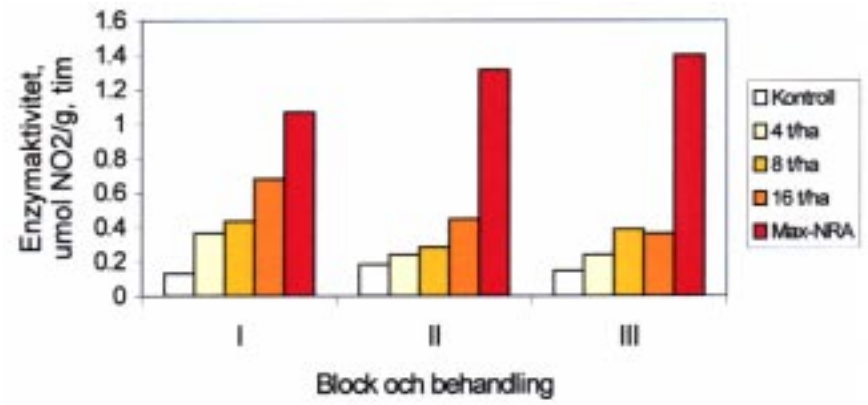
Visionen är att spridning av slampelletter kan bli en länk i framtida kretsloppsinriktade produktionssystem som innefattar både slam och aska, och såväl jordbruk som skogsbruk. Om bedömningen görs att skogsbruk även fortsättningsvis kommer att vara en viktig näring i Sveriges skogstrakter, finns starka skäl att försöka optimera detta marknyttjande. Ett viktigt led borde i så fall vara att omskapa det enkelriktade näringsflödet som under många hundra år gått från skog till kulturbyggd, till ett kretslopp.

Syftet med forskningsprogrammet ”Slampelletter till skog” är att ta fram kunskap om såväl produktionseffekter som miljöeffekter vid användning av pelleterat slam inom praktiskt skogsbruk. De huvudfrågeställningar detta inrymmer framgår av figur 3.

Vad vet vi om slamtillförsel i skog?

Slam som gödningsmedel i skog har i viss utsträckning prövats, framför allt i Nordamerika, från 70-talet och framåt. Dessa erfarenheter gäller löst slam, vanligen i höga doser (3 till >100 ton ts/ha), och oftast slam med betydligt högre tungmetallhalter än ett typiskt nutida svenskt kommunalt avloppsslam. Det finns alltså tveksamheter beträffande hur tillämpbara en del av resultaten är på spridning av slampelletter i svensk skogsmark.

- Engångsgödslingar med slam har gett positiva effekter på trädtillväxt – i regel jämförbara med motsvarande mängd handelsgödsel, räknat som kväve-ekvivalenter (dvs. gödslingen höjer tillväxten med 30–50%). Bland dessa försök finns såväl barrträds- som lövträdsbestånd representerade. Tillväxteffekterna i skog har i första hand sin grund i den ökade kvävemineralisering som sker vid slammets nedbrytning.
- Slammet har också effekter på vegetationssamhällets artsammansättning. Förmodligen gäller detsamma för svampfloran och den marklevande faunan. Sådana effekter är egentligen förväntade följder av åtgärden – syftet är ju att höja bördigheten! Förbättrad näringstillgång förändrar helt naturligt ”spelreglerna” i den ständiga konkurrensen mellan arter och mellan organismgrupper med olika funktionella roller. Tidigare studier pekar mot att man ofta får en kraftig förändring av markvegetationen vid högre engångsgivor än ca 10 ton ts/ha. Framför allt ökar kvävegynnade arter.
- Kväveutlakning efter slamtillförsel är en viktig aspekt som studerats i ganska många undersökningar. Naturligt nog har effekterna varit starkt relaterade till slamgiva och ståndort. I den stora variation av bestånds- och markförhållanden som finns representerade bland tidigare undersökningar, kan man dock urskilja en “kritisk nivå” för slamgivan på omkring 15–20 ton ts/ha (motsvarande kväve-givor på ca 500–1000



Figur 5. Nitratreduktas-aktivitet (NRA) i kruståtelblad (Deschampsia flexuosa) 6–8 veckor efter tillförsel av slampelletter.

kg/ha) – vid högre engångsgivor uppträder ofta "oacceptabla" nitrathalter i avrinnande vatten (>10 mg NO_3-N/L).

- Slam innehåller också vissa tungmetaller. Halterna i slam är högre än i skogsmarkens naturliga organiska material. Likaså kan slammet innehålla organiska gifter. En del av tungmetallerna är nödvändiga mikronäringsämnen för växter och djur, men ger giftverkan vid högre koncentrationer. Andra tungmetaller är enbart giftiga och därmed helt oönskade. Användning av slam på odlingsjord i Sverige regleras av Naturvårdsverkets gränsvärden. Underlaget för bedömningen huruvida dagens svenska avloppsslam kan ha negativa effekter i skogsmark är bristfälligt.

Resultat från fältförsöken

Spridningstekniska studier har visat att jordbrukstraktor med den vanligaste typen av konstgödselspridare, centrifugalspridare, troligen kan användas i de flesta bestånd. I medelålders talldominerad skog spreds pelletterna jämnt över ytan vid ett avstånd på 10–12 m mellan körvägarna (figur 4).

Upplösning av pelletter i fält har detaljstuderats i Hjulebergsförsöket. Efter ett år hade drygt hälften av pelletternas massa försvunnit, dels genom rent sönderfall och nedspolning i jorden, dels genom mikrobiell nedbrytning av det näringsrika organiska materialet. Halterna av vissa ämnen, såsom t.ex. fosfor och några tungmetaller, ökade i pellettresterna under nedbrytningens gång, medan halterna av andra ämnen, t.ex. kväve och mikronäringsämnet bor, försvann i proportion till torrviktsförlusterna eller minskade ännu snabbare. Pelletternas synlighet för ögat avtar tämligen snabbt efter spridning, men varierar beroende

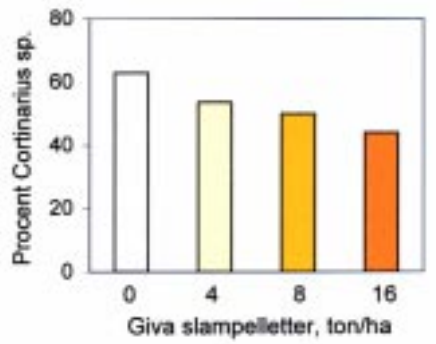
Tabell 1. Tungmetallhalter (mg/kg ts) i växt-/svampbiomassa två år efter tillförsel av fyra ton slampelletter per hektar. (C = Kontroll; SP = Slampelletter)

	Cd		Cu		Ni		Pb		Zn	
	C	SP	C	SP	C	SP	C	SP	C	SP
Blåbär/Lingon										
(n = 12)	0,04	0,05	6	6	2	2	0,2	0,2	32	43
Blåbärsblad (n = 6)	0,07	0,06	11	7	7	3	0,6	0,5	62	30
Cortinarius leucophanes										
(n = 3)	5,00	5,67	18	19	1	1	0,3	0,6	136	121
Övr. mykorrhizasvampar										
(n = 16)	1,94	1,87	18	18	1	1	0,4	0,5	90	89

på exempelvis. markvegetation och fuktighetsförhållanden under sommarhalvåret. Under torra mark- och klimatförhållanden har enstaka pelletter kunnat återfinnas i skyddade lägen invid stambaser ännu efter två år. I andra fall, t.ex. vid mossrik markvegetation och regnrik sommar, har pelletterna såvitt man kunnat se försvunnit redan efter 1–2 månader.

Gödslingens effekter på kväveomsättningen studeras på flera sätt, bl.a. genom kvävemineraliserings-studier i fält, samt genom mätning av växtenzymet nitratreduktas aktivitet i indikatorarter. I båda studierna påvisades ökad kvävemineralisering och nitrifikation. Nitratreduktasaktiviteten (NRA) i kruståtel var förhöjd 6–8 veckor efter spridning av 4–16 ton pelletter per hektar i medelålders talldominerad skog (figur 5). Likaså uppmättes i en annan försöksserie något förhöjd NR-aktivitet ca två år efter spridning av 4 ton/ha i såväl tall- som grandominerade bestånd (Vindeln, Västerbotten). En förhöjd NR-aktivitet visar att mer nitrat finns tillgängligt i marken. Detta betyder att nitrifikationsprocessen var intensivare i behandlade ytor och indirekt pekar det mot att kvävemineraliseringen, dvs. omvandlingen av organiskt bundet kväve till ammoniumkväve, var högre. Ökad kvävemineralisering, inklusive ökad nitrifikation (omvandling av ammonium till nitrat), är positivt och eftersträvansvärt eftersom det är kvävetillgången som avgör trädens tillväxt. Alltför hög kvävemineralisering, och i synnerhet alltför hög nitrifikation, ökar dock risken för kväveutlakning. De uppmätta NR-aktiviteterna tyder dock inte på att sådan oro är befogad. Aktivitetsnivåerna var inte i något fall högre än de värden man normalt finner inom årsvariationen i barrskogsekosystem på fastmark, och inte heller högre än typiska värden efter kalhuggning av sådana bestånd.

Tungmetallhalter i växtmaterial och svampfruktkroppar har analyserats för undersökning av tendenser till biologisk anrikning. Två år efter tillförsel av fyra



*Figur 6. Andel spindelskivlingar (*Cortinarius sp.*) av samtliga svampfruktkroppar, i relation till tillförd slampellettgiva. Inventering utförd i september, ca 3 månader efter spridning.*

ton pelletter per hektar till tall- och granståndorter, kunde inte ökat upptag av tungmetaller påvisas i blad och bär av lingon och blåbär, eller i fruktkroppar av olika arter mykorrhizasvampar (tabell 1). Avsaknanden av signifikanta behandlingseffekter gällde också för sådana svamparter som, liksom gräddspindelskivling, kunde konstateras vara speciellt effektiva anrikare.

Inventeringar av svampfruktkroppar i försöksserien som gödslats med fyra ton pelletter per hektar har skett varje höst (Hånell, Kårén och Magnusson, opubl.). Varken första eller andra året kunde signifikanta förändringar av artantal eller artgrupper observeras. I dosförsöket med 4–16 ton pelletter/ha förändrades inte heller artantalet under första hösten, men däremot skedde signifikanta artförskjutningar. Den viktiga och talrika gruppen spindelskivligar (Cortinarius sp.) minskade i proportion till resterande arter (figur 6). Vi är osäkra på vilken betydelse denna artförskjutning har. Dels vet vi ännu inte om effekten bara berör fruktkroppsbildningen eller om rötternas mykorrhizabildningar också påverkats, dels är effektens varaktighet okänd.

Referenser

Bergh, J., Linder, S., Lundmark, T. and Elfving, B. 1998. The effect of water and nutrient availability on the productivity of Norway spruce in northern and southern Sweden. Forest Ecology and Management, 119:51–62.

Cole, S.D.W., Henry, C.L., Nutter, W.L. (Eds). 1986. The Forest Land Application Symposium; The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastes. Proceedings from symposium held at University of Washington, 25–28 June 1985. University of Washington Press.

Grip, H. 1998. Miljökonsekvenser av intensiva skogsproduktionssystem, Anslag NUTEK P8418-1, Slutrapport för 1997, 8 s.

Grip, H. & Lövdahl, L. 1994. Näringsutlakning vid intensivgödsling. Slutrapport till SNV, 16 s.

Hånell, B., Magnusson, T. och Modig, T. 1996. Pelletering av slam – världsnyhet stärker skogens roll i kretsloppet. Sveriges Lantbruksuniversitet, Fakta Skog nr 11, 1996.

Johannesson, A. 1999. The effects of

Pelleted Sewage Sludge on Norway spruce Establishment Nitrogen Dynamics. n, stencilserie nr 52.

Larsson, M. 2000. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för skogsekologi. Examensarbete, in prep.

Linder, S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. Ecological Bulletins (Copenhagen), 44:178–190.

Sjölin, J. 2000. Nitrate Reductase Activity in Forest Soils Fertilized with Pelleted Municipal Sludge. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för skogsekologi. Examensarbete, in prep.

Sopper, W.E., Seaker, E.M., Bastian, R.K. (Eds.). 1982. Land reclamation and biomass production with municipal wastewater and sludge. Pennsylvania State University, USA.

Wattiez, A-L. 2000. Nitrification potential in pellets made from municipal sludge. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för skogsekologi. Examensarbete, in prep.

4. Ved- och fiberegenskaper vid intensivodling

CHRISTINA LUNDGREN

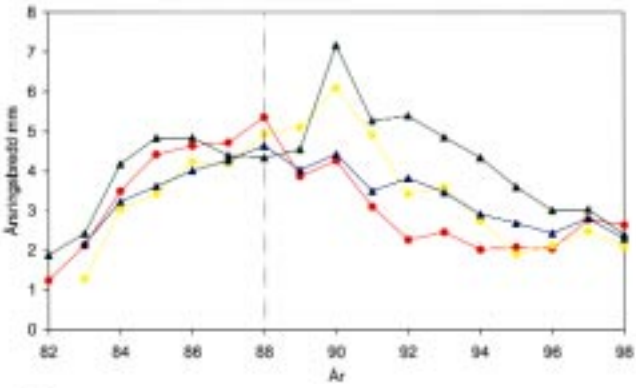
Sammanfattning

Vi har analyserat vedprover från näringsoptimeringsförsöken i Asa och Flakaliden för att kunna beskriva hur veden och fibrerna påverkas av mycket hög tillväxt orsakad av näringstillförsel. Resultaten från mätningarna bör ge oss en övre gräns, dvs. en extrem, för hur stora förändringar i veden vi kan förvänta oss av fiberskogsodling. De hittills utförda analyserna visar att veddensiteten är 15–20 % lägre på de näringsbevattnade ytorna jämfört med de obehandlade kontrollerna. För fastgödslingen är densitetsminskningen något mindre. Densitetsminskningen kan främst härledas till minskad fiberväggstjocklek. För Flakalidenförsöken har även fiberdiametern ökat, vilket också bidrar till lägre densitet. Mikrofibrillvinkeln ökar efter näringsbevattning och fastgödsling, och detta leder i kombination med densitetsminskningen till svagare ved. På årsringsnivå är trenden att maximi- och minimidensiteten sjunker på de behandlade ytorna och att övergången från vårved till sommarved sker mer gradvis. Det senare gör att veden blir något mer homogen på årsringsnivå.

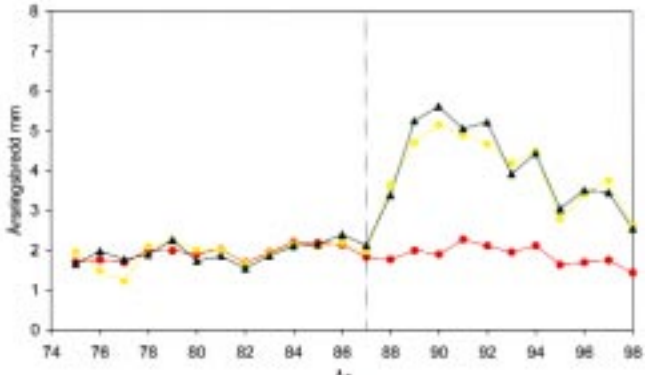
Ytterligare analyser av fiberegenskapernas spridningar planeras. Dessutom ska material från gödslade förbandsförsök samlas in.

Introduktion

Den ökade tillväxten som fiberskogsodling innebär medför också att det virke som bildas får delvis annorlunda egenskaper jämfört med virke från konventionellt odlade träd på skogsmark. Ökad volymproduktion medför i regel lägre densitet. Densiteten minskar dock inte i samma utsträckning som volymen ökar, varför torrsubstansproduktionen trots densitetsminskningen kommer att bli större vid fiberskogsodling än vid konventionell odling. Det finns också studier som visar att tillväxtökning orsakad av gödsling kan minska densiten mer än tillväxtökning till följd av t.ex. gallring. Eftersom fiberegenskaperna har stor betydelse för kvaliteten på massa och papper är det viktigt att veta hur denna densitetsminskning tar sig uttryck i förän-



Figur 1. Årsringsbreddens utveckling från märg till bark, Asa. Vertikal linje markerar första behandlingsåret, 1988, Röd=kontroll, gul=fastgödsling, blå=bevattning, grön=näringsbevattning.

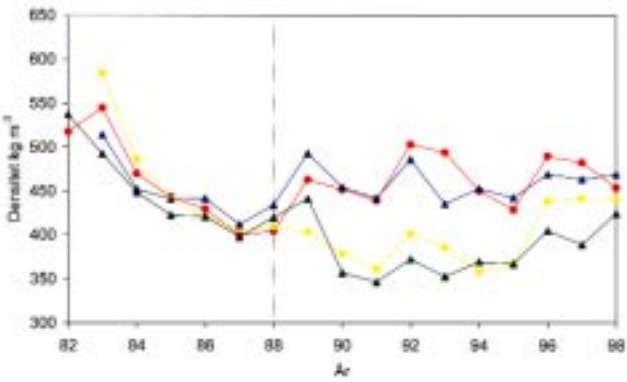


Figur 2. Årsringsbreddens utveckling från märg till bark, Flakaliden. Vertikal linje markerar första behandlingsåret, 1987, Röd=kontroll, gul=fastgödsling, grön=näringsbevattning.

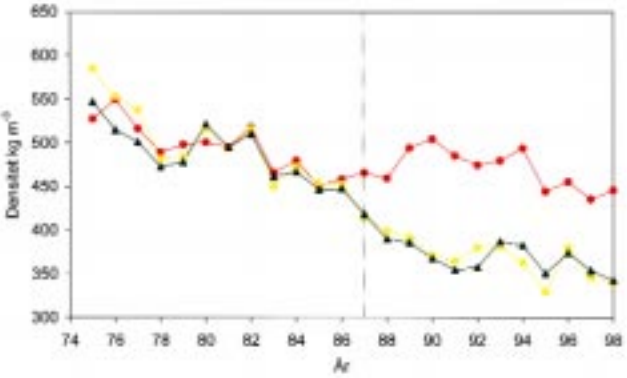
drade fiberegenskaper. Densiteten är ett mått på mängden fibervägg i veden och beror på fiberväggstjocklek och lumendiameter (dvs. cellhålighetens diameter).

Vilka fiberegenskaper som är önskvärda beror på vilken pappersprodukt man tillverkar. Långa, inte alltför breda fibrer med tjock fibervägg medför goda styrkeegenskaper. Fibrer med tunnare fibervägg ”kollapsar” och ger bra ytjämnhet hos pappret. Generellt underlättas tillverkningsprocessen om råvaran är homogen och dess egenskaper kända. Det är därför den juvenila veden, dvs. den heterogena ungdomsved som bildas närmast märgen, utgör ett problem.

I Fiberskogs delprojekt 6 som behandlar ved och fibrer är syftet att kvantifiera de fiberegenskaper som har betydelse för massa- och papperstillverkning. Hittills i projektet har ved från näringsoptimeringsförsöken i Asa och Flakaliden mätts och dessa data är nu under analys. I nästa steg kommer undersökningarna att inriktas mot försök där man undersöker effekterna av näringstillförsel i kombination med skötselåtgärder; i första hand förbandsförsök.



Figur 3. Densitetens utveckling från märg till bark, Asa. Densiteten för näringsbevattning och fastgödsling har närmat sig kontrollen eftersom årsringstillväxten har minskat. Vertikal linje markerar första behandlingsåret, 1988, Röd=kontroll, gul=fastgödsling, blå=bevattning, grön=näringsbevattning.



Figur 4. Densitetens utveckling från märg till bark, Flakaliden. Vertikal linje markerar första behandlingsåret, 1987, Röd=kontroll, gul=fastgödsling, grön=näringsbevattning.

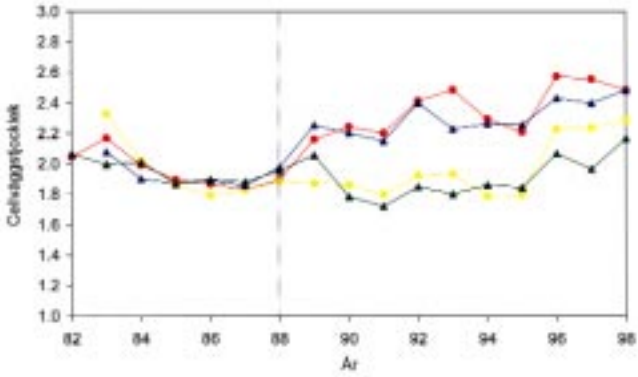
Analys av ved och fibrer från näringsoptimeringsförsöken i Asa och Flakaliden

Vi har analyserat vedprover från näringsoptimeringsförsöken i Asa och Flakaliden för att kunna beskriva hur veden och fibrerna påverkas av mycket hög tillväxt orsakad av näringstillförsel. Resultaten från mätningarna bör ge oss en övre gräns, dvs. en extrem, för hur stora förändringar i veden vi kan förvänta oss av fiberskogsodling.

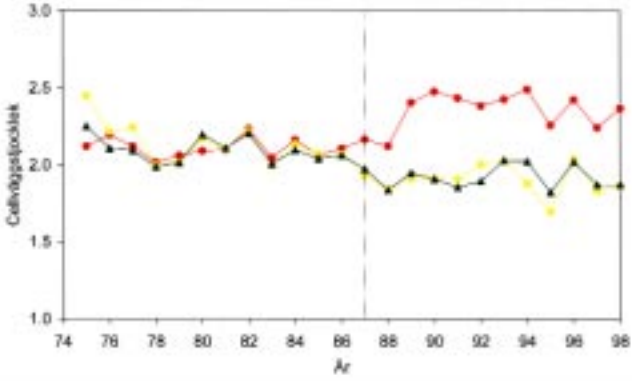
Insamling av prover och mätningar med SilviScan

I näringsoptimeringsförsöken förekommer fyra behandlingsled; näringsbevattning, årlig tillförsel av fastgödsel, bevattning och kontroll. Träden på näringsbevattnade ytor har fått växa med obegränsad tillgång på vatten och näring. De fastgödslade ytorna har givits samma mängd näringsämnen som de näringsbevattnade. Figur 1 och 2 visar hur de olika behandlingarna skiljer sig åt beträffande tillväxt, här illustrerat med hjälp av årsringsbredden. Figurerna visar att tillförseln av näring har haft en enorm effekt på tillväxten, speciellt i Flakaliden, men även i Asa är ökningen markant.

Ca 20 slumpvis utvalda träd per behandling borrades i brösthöjd.



Figur 5. Fiberväggens tjocklek, Asa. Denna kurva är nästan identisk med densitetskurvan. Vertikal linje markerar första behandlingsåret, 1988, Röd=kontroll, gul=fastgödsling, blå=bevattning, grön=näringsbevattning.



Figur 6. Fiberväggens tjocklek, Flakaliden. Vertikal linje markerar första behandlingsåret, 1987, Röd=kontroll, gul=fastgödsling, grön=näringsbevattning.

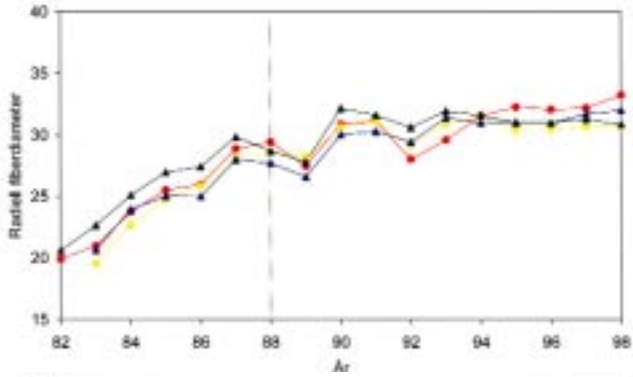
Borrkärnorna sågades upp i rektanglar, 2 mm vida och 6 mm höga, och analyserades på CSIRO i Melbourne, Australien i en maskin som heter SilviScan. SilviScan är ett mätinstrument baserat på bildanalys och röntgendiffraktion och har utvecklats för snabb mätning av fibrers tvärsnittdimensioner, densitet och mikrofibrillvinkel, allt på en och samma provbit. Sådana mätningar resulterar i detaljerade profiler av bl.a. fiberdiameter, fiberväggstjocklek, densitet och mikrofibrillvinkel.

Densitet och torrsubstansproduktion

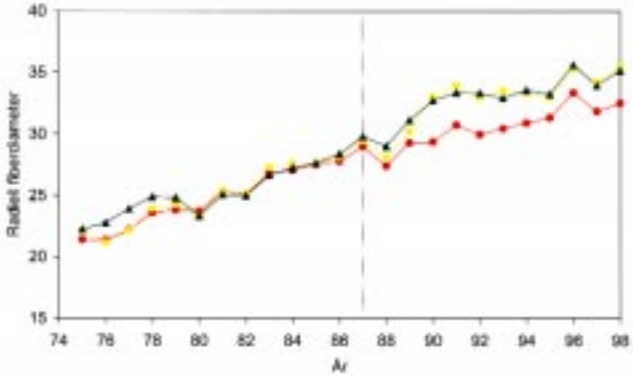
Figurerna 3–4 nedan visar hur densiteten har påverkats av de olika behandlingarna. Densiteten är i stort sett en motsatt spegelbild av utvecklingen för årsringsbredden (tillväxten), men densiteten minskar inte lika mycket som tillväxten ökar. Omsatt till volym motsvaras den fyrdubbla volymökningen i Flakaliden av en tredublad torrsubstansproduktion. Det här betyder att vi får mer ved vid intensivodling. Frågan är hur dessa fibrer ser ut jämfört med ”normala” fibrer?

Fiberstorlek och cellväggstjocklek

Eftersom densitet är ett komplext mått måste man gå vidare och undersöka enskilda fiberegenskaper för att kunna uttala



Figur 7. Radiell fiberdiameter, Asa. Inga skillnader mellan behandlingar kan egentligen utläsas. Vertikal linje markerar första behandlingsåret, 1988, Röd=kontroll, gul=fastgödsling, blå=bevattning, grön=näringsbevattning.



Figur 8. Radiell fiberdiameter, Flakaliden. Till skillnad från i Asa har behandlingarna haft en tydlig effekt på fiberdiametern. Vertikal linje markerar första behandlingsåret, 1987, Röd=kontroll, gul=fastgödsling, grön=näringsbevattning.

sig om hur fibrerna har förändrats. I figur 5–8 visas radiell fiberdiameter och cellväggstjocklek för försöken i Asa och Flakaliden. Fiberväggens tjocklek följer i stort sett densitetskurvan för både Flakaliden- och Asaförsöken. Förändringen i densitet verkar därför kunna härledas till en tunnare fibervägg. För Asa-försöket ger ingen av behandlingarna effekt på fiberdiametern, medan en viss effekt kan utläsas för försöken i Flakaliden (figur 7 och 8). Detta innebär att densitetsminskningen på Flakaliden kan förklaras av både större fibrer och tunnare cellväggar, medan densitetsminskningen i Asa bara har med fiberväggens tjocklek att göra; fibrerna i sig blir inte större.

Hög mikrofibrillvinkel ger svagare ved

Mikrofibrillvinkeln, den vinkel som cellulosabuntarna bildar i förhållande till fiberns längdaxel, har stor betydelse för fiberns och vedens styrke- och krympningsegenskaper. Figurerna 9 och 10 visar mikrofibrillvinkelns utveckling. Den ökade årsringsbredden, efter det att behandlingen inletts, följs av en något fördröjd ökning av mikrofibrillvinkeln i Flakaliden. Detta innebär att årsringarna mellan 1992 och 1994 utgörs av ganska svag ved. För Asa är effekten mindre

dramatisk, men även här är det tydliga skillnader under ett antal år, mellan de behandlade ytorna och kontrollen.

Effekter av gödsling på årsringsnivå

I figurerna 1–9 är de olika fiberegenskaperna redovisade på årsringsnivå, dvs. som medelvärden per årsring. Dessa medelvärden ger en bra bild av de huvudsakliga trenderna men säger inte allt vi vill veta om råvaran. Det är också intressant att studera hur egenskaperna varierar inom årsringen. Beror t.ex. den minskade densiteten i ett gödslat bestånd på att densiteten generellt sett minskat eller på att andelen sommarved med smala fibrer och tjockare väggar har minskat? Figurerna 10–11, som visar detaljerade densitetskurvor för ett gödslat och ett ogödslat träd, indikerar att den gödslade veden blir mer homogen. Både maximi- och minimidensiteten är högre i det ogödslade trädet, och övergången från vårved till sommarved sker mer gradvis i det gödslade.

Juvenilved

Flertalet vedegenskaper varierar med avståndet från märgen. Behandlingarna i Asa och Flakaliden har satts in mot slutfasen i juvenilvedsbildningen och har förlängt den juvenila fasen. Andelen juvenilved i veden är därmed större än normalt, fiberväggarna tunnare, densiteten lägre och mikrofibrillvinkeln större. Veden är också något mer homogen. Förhållandet gäller dels inom årsringen, dvs. skillnaderna mellan maximi- och minimidensitet inom årsringen är mindre, dels för hela tvärsnittet. Det senare innebär att skillnaderna i egenskaper mellan märgnära ved och ved längre ut är mindre än normalt.

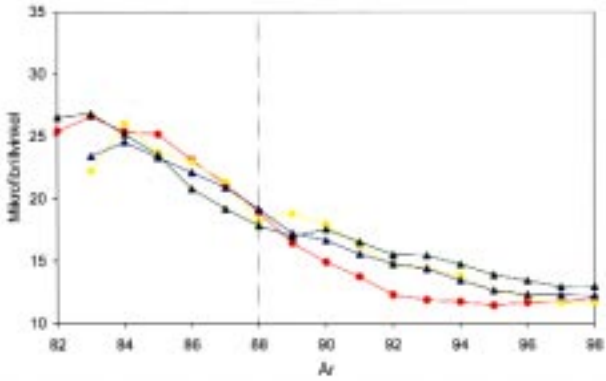
Jämförelse med annan råvara – vad tror vi förändras vid intensivodling?

För gran i Sverige är medelfiberlängden ungefär 2,9 mm och fiberdiametern varierar mellan 21 och 30 µm för vårved. Cellväggstjockleken är ungefär 2,1 µm för vårved och 4,3 µm för sommarved. I tabell 1 visas ytvägda medelvärden för radiell fiberdiameter och fiberväggstjocklek för Asa- och Flakaliden-försöken. Som en jämförelse visas i tabell 2 några typvärden för fiberdimensioner hos några olika träslag.

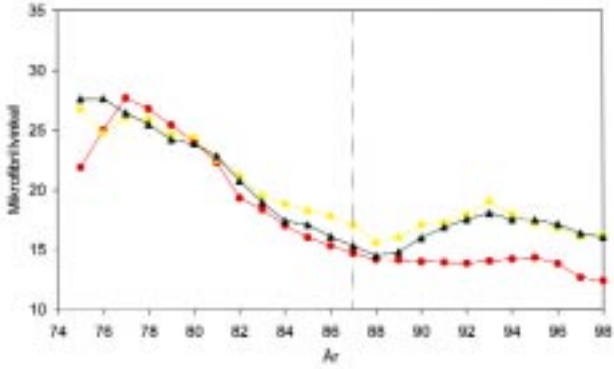
Granfibern är en slank, relativt lång och tunnväggig fiber. Förhållandet mellan bredd och längd ligger i storleksordningen 1:100. Eventuella förändringar i fiberlängd då den radiella tillväxten ökar torde inte vara av någon större praktisk betydelse. Däremot kommer man vid fiberskogsodling att få tunnare fiberväggar och i några fall även mer uppblåsta fibrer. Jämfört med andra träslag kommer fibern dock fortfarande att betraktas som slank.

Planerade analyser

Nästa steg i analysen av materialet från Asa och Flakaliden är studier av de olika egenskapernas fördelningen för att vi ska få reda på hur mycket av varje fibertyp vi kommer att få vid intensivodling. Vi kan förvänta oss att det inte bara är



Figur 9. Mikrofibrillvinkeln, Asa. Den påbörjade minskningen av mirkofibrillvinkeln dämpas för de behandlade ytorna. Vertikal linje markerar första behandlingsåret, 1988, Röd=kontroll, gul=fastgödsling, blå=bevattning, grön=näringsbevattning.



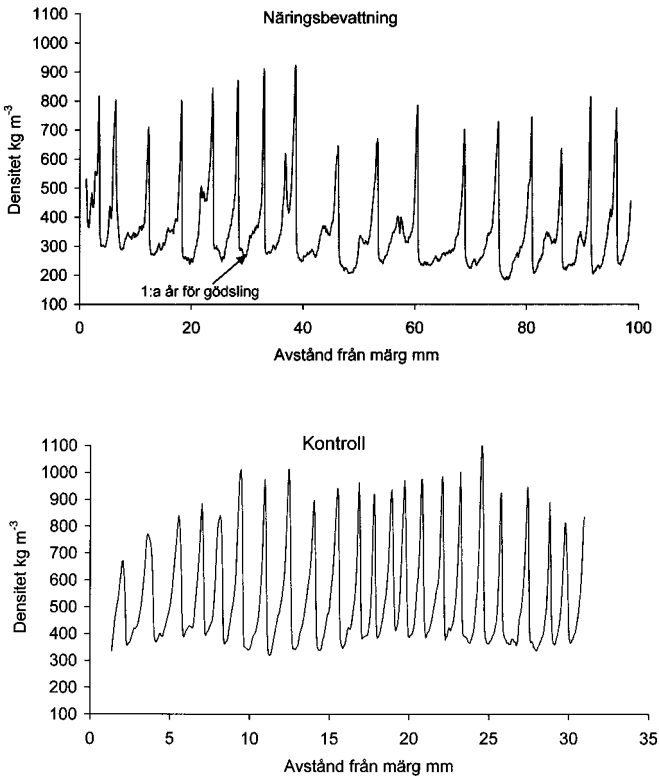
Figur 10. Mikrofibrillvinkeln, Flakaliden. Behandlingarna har resulterat i en ökning av mikrofibrillvinkeln. Vertikal linje markerar första behandlingsåret, 1987, Röd=kontroll, gul=fastgödsling, grön=näringsbevattning.

Tabell 1. Tvärsnittsmedelvärden för Asa och Flakaliden

Område	Behandling	Radiell diameter, µm	Fibervägg, µm
Asa	Kontroll	30,4	2,2
	Fastgödsel	30,2	2,2
	Näringsbevattning	31,1	1,9
Flakaliden	Kontroll	29,1	2,2
	Fastgödsel	31,2	1,9

Tabell 2. Typiska fiberdimensioner för ett urval av träslag i världen

Fiberkälla	Diameter, µm	Fibervägg, µm	Längd, mm
Pinus radiata	44	3–5 µm	3,0
Douglasgran (*Pseudotsuga menziesii*)	35–45	-3,9	
Sitkagran (*Picea sitchensis*)	35–45	-	5,6
Picea glauca	25–30	-	3,5
Western Hemlock (*Tsuga heterophylla*)	30–40	-4,2	
Björk (*Betula pendula*)	25	-	1,3
Eucalyptus viminalis	10–20	3–6	0,6



Figur 11. Densitetskurvor för ett näringsbevattnat träd och ett kontrollträd. Observera att skalan på den horisontella axeln skiljer sig åt mellan de båda figurerna och att kontrollen, om skalan vore densamma som i första fallet, egentligen skulle vara ännu mer ihoptryckt.

medelvärdena redovisade i den här rapporten som förändras, utan i högsta grad även spridningarna. Jämförelser mellan de olika behandlingarna med hänsyn tagen till årsringsbredd ska göras för vi ska få reda på om gödslingen i sig ger effekt på vedegenskaperna eller om förändringarna enbart är en effekt av ökad årsringsbredd. Inom projektet planeras också en utvärdering av gödslade förbandsförsök som skall ge mer kunskap om den kombinerade effekten av glesa respektive täta förband och näringstillförsel

Referenser

Bergh, J. 1997. Climatic and Nutritional Constraints to Productivity in Norway Spruce, Silvestria 37, Sveriges

Lantbruksuniversitet, Avhandling ISSN 1401-6230.

Evans R., Gartside, G. & Downes, G. 1995. Present and Prospective Uses of Silviscan for Wood Microstructure Analysis. Appita, 91–96.

Evans R. 1994. Rapid Measurement of the Transverse Dimensions of Tracheids in Radial Wood Sections from *Pinus radiata*. Holzforschung 48, 168–172.

Ilvessalo-Pfäffli, M-S. 1995. Fiber Atlas - Identification of Papermaking Fibers. Springer-Verlag, Berlin. ISBN 3-540-55392-4.

Lindström H., Evans J. W. & Verill S. P. 1998. Influence of Cambial Age and Growth Conditions on Microfibril Angle in Young Norway spruce (Picea abies [L.] Karst.). Holzforschung 52, 573–581.

Zobel B. J. & van Buijtenen J. P. 1989. Wood Variation Its Causes and Control. 1–363. ISBN 3-540-50298-X.

5. Skogsskötsel för intensivodlade marker

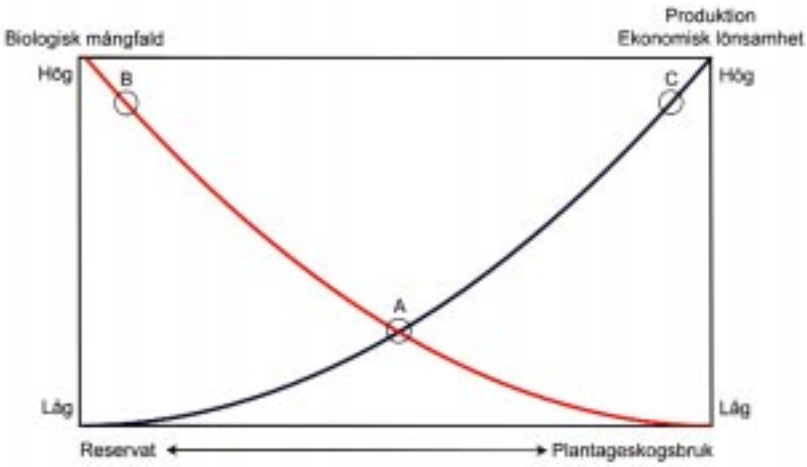
FREDRIK NORDBORG, JOHAN BERGH, ULF JOHANSSON OCH URBAN NILSSON

Sammanfattning

Skosskötsel i intensivodlad skog skall inriktas mot metoder som ger hög produktion och god lönsamhet samtidigt som negativa miljöeffekter undvikes.
Intensivodling bör utföras på friska och fuktiga välarronderade marker med ringa miljövärden. Snabb och säker etablering med hög överlevnad är en nyckel till framgång. Markbehandling i form av djupplöjning eller inversmarkberedning är effektiva metoder som minskar konkurrensen från fältvegetation och förebygger skador av sork och frost. Väl etablerad ungskog bör vårdas med röjning av främst självsådda plantor. Gallringar i unga bestånd bör vara starka och ofta återkommande, medan äldre bestånd bör gallras svagt eller inte alls.
Behovsanpassad näringstillförsel startar i ungskogsfasen med låga givor vartannat år för att senare övergå till femåriga spridningsintervall. Omloppstiden bör vara så kort som möjligt. Vid beståndsavveckling måste skärmställningar eller andra metoder som minskar risken för näringsläckage tillämpas. Skadeförebyggande åtgärder mot främst vind/snö och rotröta bör ges hög prioritet vid intensivodling.

Syftet med och vikten av skogsskötsel vid intensivodling

I och med 1993 års skogsvårdslag är miljömålet jämställt med produktionsmålet på i stort sett all skogsmark. Jämställda miljö- och produktionsmål på beståndsnivå hamnar i punkt A i figur 1. I mer skyddsvärda skogsbestånd med höga naturvärden eller värden av betydelse för kulturminnesvård, rekreation och friluftsliv, är det mer effektivt att odla extensivt eller att avsätta sådana skogsområden som reservat. På dessa marker är miljömålet överordnat produktionsmålet och man närmar sig punkt B i figur 1. Samtidigt kan produktionen ökas kraftigt på marker med ringa miljövärden (punkt C i figur 1), som exempelvis befintliga monokulturer av gran på skogsmark och/eller nedlagd åkermark. Om man tog denna typ av mark i anspråk för intensivodling behöver inte heller några miljövärden äventyras.



Figur 1. Röd linje motsvarar naturvårdshänsyn och biologisk mångfald, medan blå linje motsvarar produktion och lönsamhet. Vid jämställda miljö- och produktionsmål skär linjerna varandra i punkt A. Vissa skogstyper med höga naturvärden och stor biologisk mångfald kräver dock särskild hänsyn och kraven på produktion och lönsamhet minskar då (mot punkt B i diagrammet). Skogstyper med ringa naturvärden, som exempelvis monokulturer av gran, är möjliga att avsätta för intensiv produktion (mot punkt C i diagrammet).

Det är den intensivodlade marken (punkt C i figur 1) som står i fokus i Fiberskogsprogrammet. Men hur skall de intensivodlade bestånden skötas på bästa sätt med avseende på produktion, lönsamhet, fiberkvalitet och miljö? Säker och snabb etablering med hög överlevnad är nyckeln till framgång. Misslyckas föryngringen kan flera år gå förlorade, vilket inte är en lika stor katastrof vid traditionellt skogsbruk. Vid intensivodling med kort omloppstid och hög tillväxt betyder förlorade år dock mycket för medeltillväxten, omloppstidens längd och lönsamheten. När väl etableringen är säkerställd gäller det att förkorta den relativt improduktiva ungdomsfasen så mycket som möjligt. Det görs bäst med hjälp av balanserad näringstillförsel. De intensivodlade bestånden måste även skötas med avseende på fiberkvalitet, så att den ved som produceras får fiberegenskaper som är önskvärda i pappers- och massaindustrin. Naturligtvis ska skötseln vid intensivodling bedrivas så att negativa miljöeffekter minimeras.

Det krävs alltså precision i skötselarbetet för att tillgodose kraven på produktion, lönsamhet, fiberkvalitet och miljöhänsyn på de intensivodlade markerna. Med rätt skötselåtgärder vid rätt tidpunkt nås önskat produktionsresultat,

samtidigt som riskerna för exempelvis rotröta, storm- och snöskador minskar. I detta kapitel försöker vi sammanfatta resultat från Fiberskogs olika delprojekt för att ge ett mer detaljerat förslag på praktisk skötsel av intensivodlade marker. Vi behandlar frågor om hur intensivodlad skog skall etableras mera ingående än övriga skötselfrågor.

Val av mark för intensivodling

Ur produktionsfysiologisk synvinkel bör man undvika sandmarker pga. dess dåliga vattenhållande förmåga som försämrar vattentillgången och kan begränsa trädens tillväxt; ofta klassas sandmarkerna som torra marker. Dessutom är risken för näringsläckage större på dessa marker. Man bör också undvika blöta och i vissa fall fuktiga marker, där risken är stor att rötternas funktion och upptag av näringsämnen hämmas av den syrebrist som kan uppstå. Vidare bör beståndet inte ligga på en nordsluttning, eftersom solinstrålningen där är låg. Detta har direkt inverkan på fotosyntesproduktionen och därmed tillväxten, men kan också påverka produktionen genom att snösmältningen fördröjs och tjälen går ur marken senare på våren. Problemen med snö och tjäle är störst i kuperad terräng i norra Sverige. Av miljö- och naturvårdshänsyn ska bestånd med stor biodiversitet också uteslutas. Spridning av gödselmedel ska ej heller ske i anslutning till sjöar och vattendrag.

God etablering nyckeln till framgång

Det finns ännu inga bestånd som blivit föremål för balanserad näringstillförsel och uppnått sådan ålder att de avvecklats. Det finns dock ett fåtal kväve- eller vitaliseringsgödslade bestånd som avvecklats och som kan ge oss en uppfattning om framtida föryngringsproblem i näringsoptimerade system. Vi vet idag inte hur hyggesvegetationen påverkas av balanserad näringstillförsel, vare sig beträffande artsammansättning eller kvantitet. Vår hypotes har därför varit att hyggen som uppstår efter avverkning av skog som gödslats upprepade gånger kommer att bli bördiga och vegetationsrika. Skulle så ej vara fallet finns en stor mängd dokumenterad kunskap om plantetablering på vanliga hyggen att tillgå.

Vegetationskonkurrens

Flera av våra försök har visat att granplantornas etablering gynnas av att konkurrensen från omgivande vegetation elimineras helt genom herbicidbehandling eller radikal markberedning. I de allra flesta fallen har dock effekten av upprepad herbicidbehandling endast varat något enstaka år. När granplantan väl är etablerad verkar den klara av konkurrens från hyggesvegetation mycket bra. Vi har dock huvudsakligen studerat hyggen som dominerats av kruståtel och vet därför inte säkert om etablerade granplantor påverkas mer negativt av riklig ört- och buskvegetation. De få försök vi

utför på bördig mark indikerar emellertid att så inte är fallet.

På Skarhults försökspark har vi genomfört ett försök där klippning av fältvegetationen och herbicidbehandling jämfördes med en obehandlad kontroll. De behandlade parcellerna övergick efter ett par år till att domineras av gräsvegetation, medan de obehandlade kontrollerna dominerades av högvuxen ört- och buskvegetation. Trots den stora skillnaden i vegetationssammansättning och vegetationsmängd mellan behandlade och obehandlade parceller, var granplantornas tillväxt relativt likvärdig.

I ett försök med gödsling och bevattning av planterade granplantor på Asa försökspark var hyggesvegetationens biomassa mer än dubbelt så stor i de gödslade försöksleden som i den obehandlade kontrollen. Inte heller i detta försök påverkades granplantornas tillväxt nämnvärt av den stora skillnaden beträffande mängden konkurrerande vegetation. Detta indikerar att granplantors etablering och tidiga tillväxt var relativt lite påverkad av den konkurrerande vegetationens mängd och artsammansättning.

Ytterligare en studie som indikerar att etablerade granplantor klarar av konkurrens från tätvuxen vegetation är ett herbicidförsök som vi genomfört på Hjulebergs försöksområde. I en femårig granplantering jämförs herbicidbehandlade parceller med obehandlade kontroller. Plantorna i de herbicidbehandlade försöksleden har ännu så länge inte visat någon positiv tillväxtreaktion som kan hänföras till den minskade konkurrensen från omgivande vegetation. Vi behöver dock följa plantornas tillväxt under längre tid för att säkert kunna verifiera hypotesen att inte heller riklig ört- och buskvegetation påverkar etablerade granplantors tillväxt annat än marginellt. Utöver direkt vegetationskonkurrens kan vissa typer av skador vara relaterade till riklig vegetation (se nedan), vilket i så fall kan medföra rejäla tillväxtnedsättningar.

Skador

Vid föryngring på vegetationsrika marker är åkersork ofta en svår skadegörare. Sorken ringbarkar plantorna, men även gröndelar äts upp. Riklig vegetation ger sorkarna skydd för predatorer under vegetationsperioden, men skapar också en luftspalt mellan marken och snön under vintern. Luftspalten underlättar åkersorkens skadegörelse och det är också under vintern de största skadorna på föryngringen sker. I etableringsförsöket på Hjuleberg drabbades kontrollen mycket hårt av sorkskador vintern 1998/1999 och endast de vegetationsfria djupplöjda parcellerna klarade sig undan skador (figur 2A och B).

Frost förekommer på många ståndorter en bra bit in på vegetationssäsongen. Trots att frostskador sällan dödar plantor ger upprepade frostangrepp nedsatt tillväxt, vilket är särskilt olyckligt i ett intensivt skötselprogram med kort om-

loppstid. Snytbaggeskadornas omfattning påverkas troligen inte av balanserad näringstillförsel och eftersom det redan pågår forskning på området ingår inga specifika studier av snytbaggeskador i vårt forskningsprogram.

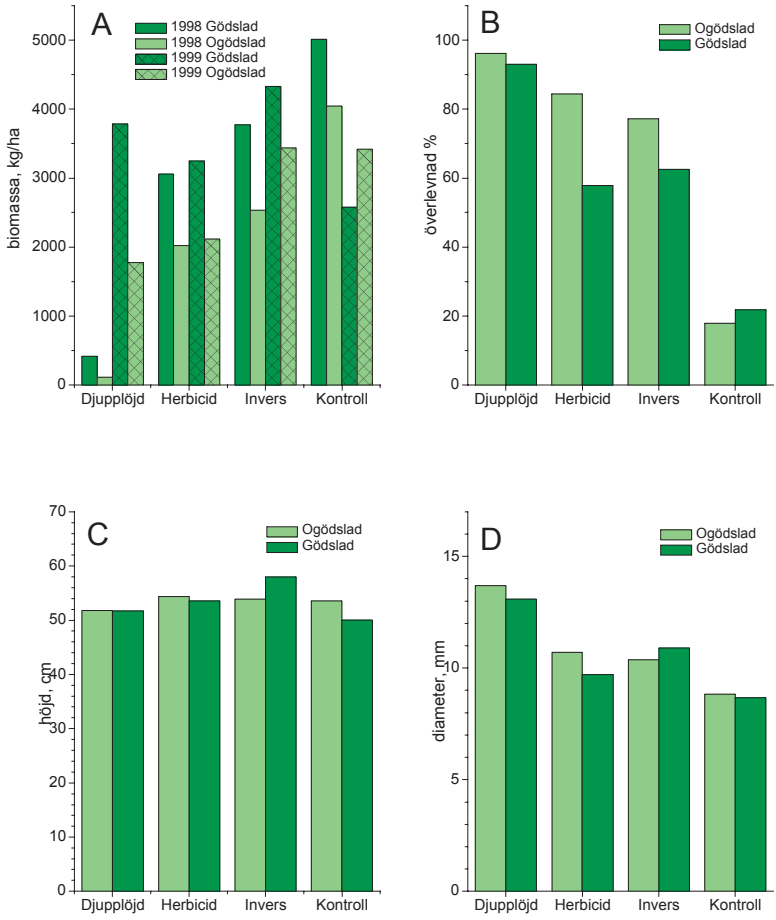
Metoder för skadefri och säker plantetablering på vegetationsrika hyggen

För att göra plantetablering möjlig på vegetationsrika hyggen måste någon form av markbehandling ske. Internationellt sett är kemisk vegetationsbekämpning den gängse markbehandlingen vid intensivodling, men i Sverige är restriktionerna för bruket av herbicider inom skogsbruket stora. För att uppnå likvärdiga eller till och med bättre resultat än vid herbicidbehandling kan ett stort antal olika mekaniska metoder för markbearbetning användas. Metoderna är dock olika effektiva på olika ståndorter och kostnadsskillnaderna är stora. Generellt bör det vara fördelaktigt att använda en så skonsam metod som möjligt, både med hänsyn till miljö och ekonomi.

Blottad mineraljord minskar risken för nattfrost och är ett ogästvänligt substrat för både sork och snytbagge. För att göra fröbanken inaktiv men ändå behålla markens näringskapital kan humusskiktet, eller matjorden om det handlar om åkermark, begravas under 10–20 cm mineraljord. På mineraljord utan organiskt material växer dessutom fältvegetationen in långsammare. Markberedningsmetoder som är anpassade till dessa faktorer är djupplöjning och inversmarkberedning.

I etableringsförsöket på Hjuleberg har inversmarkberedning, djupplöjning, herbicidbehandling och en obearbetad kontroll jämförts. I varje markbehandlingsled har halva ytan gödslas två gånger årligen med 40 kg kväve samt fosfor, kalium och mikronäringsämnen. I försöket finns också plantor som fått en extra stor gödselgiva i plantskolan, detta eftersom försök i Kanada har visat att ”näringsladdade” plantor klarar vegetationskonkurrensen bättre än konventionella plantor. Vegetationen har hållits tillbaka av markbehandlingarna (figur 2A), men herbicidbehandlingen har inte varit så effektiv som förväntat, och rikligt med fröogräs, t.ex. pipdån, har växt in. Som förväntat har gödslingen lett till mer vegetation och till att inväxningen på djupplöjda ytor går snabbare.

Plantorna i Hjulebergsförsöket var mellan 50 och 60 cm höga efter två säsonger (figur 2C) och det fanns inga skillnader i planthöjd mellan markbehandlingsmetoderna eller gödslingsregimerna. Det var heller ingen skillnad mellan oladdade och laddade plantor. Diametertillväxten var störst i de djupplöjda parcellerna och minst i kontrollparcellerna, medan herbicidbehandlingen och inversmarkberedningen intog en mellanposition (figur 2D). Gödslingen och näringsladdningen av plantorna hade ingen effekt på diametertillväxten. Försöket visar att markberedningsmetoden främst påverkar över-



Figur 2. Resultat efter två växtsäsonger i etableringsförsöket i Hjuleberg. I försöket finns tre olika markbehandlingar samt en kontrollyta. Varje markbehandling är dessutom delad i en gödslad och en ogödslad yta. Gödslingen utförs två gånger årligen med 40 kg kväve per ha samt fosfor, kalium och mikronäringsämnen. A : Fältvegetationens biomassa, B : Plantornas överlevnad, C : Planthöjden och D : Rothalsdiametern 1 cm ovan markytan.

levnaden, men en viss förbättring av tillväxten har också skett.

Föryngringsmetodens effekter på kväveläckaget

Ett flertal studier har visat att kalavverkning leder till förhöjt läckage av kväve till grundvattnet. Vid studier av kväveläckage vid kalavverkning, då man gödslat i föregående generation, var det endast i försöksled där man gödslat med över 1440 kg N/ha som förhöjt kväveläckage kunde påvisas. Kväveläckaget skedde i nitratform. Vid undersökning

av hur stor mängd kväve som försvann ner under rotzonen de fem första åren efter kalavverkning, visade sig detta uppgå till 2 kg/ha för det ogödslade beståndet och 37 kg/ha för det bestånd som gödslats med totalt 1800 kg N/ha i föregående generation.

Man fann inget ökat kväveläckage när man störde 50% av marken för att simulera en harvning. I pågående försök i Götaland har man kunnat understryka dessa resultat och även kunnat visa positiva effekter av skärmställningar när det gäller att minska kväveläckaget vid avverkning. I etableringsförsöket på Hjuleberg visar preliminära resultat på förhöjda koncentrationer av kväve i markvattnet i de djupplöjda parcellerna under höst och vinter. Dock är kvävekoncentrationerna högre i markvattnet i kontroll-, invers- och herbicidbehandlingarna på våren/försommaren. Nitrat är den kväveform som dominerar i markvattnet, men här är även organiskt kväve en stor post. Vi har inte kvantifierat kväveläckaget i denna studie. Studier av kväveläckage på hyggen visar dock att läckaget minskar när hyggesvegetationen ökar i omfattning. Om inte skärmar kan användas så bör därför en stor del av marken vara bevuxen med fältvegetation för att näringsläckaget ska minska. Man skulle också kunna så in en fångstgröda direkt efter avverkning, men då måste risken för konkurrens mellan fångstgrödan och granplantorna beaktas.

Anläggningsförband

Valet av anläggningsförband har stor betydelse för volymproduktion, virkeskvalitet och ekonomi i såväl näringsoptimerad skog som i vanlig skog. Allmänt gäller att ett tätare anläggningsförband ger högre volymproduktion och bättre virkeskvalitet. Ju större stamantal i utgångsläget, desto större total volymproduktion. Högre stamantal i utgångsläget ger dock en större produktion av klent virke. Vidare påverkar anläggningsförbandet såväl virkets fiberegenskaper (densitet, årsringsbredd, andel ungdomsved m.m.) som de yttre kvalitetsbestämmande egenskaperna (t.ex. grengrovlek, stamrakhet och avsmalning). Generellt gäller att ett högre utgångsstamantal ger en förbättring av både inre och yttre kvalitetspåverkande egenskaper.

Samtidigt som ett tätare anläggningsförband ger högre volymproduktion och bättre virkeskvalitet ger det också högre kostnader för beståndsanläggningen. De ökade kostnaderna måste ställas i relation till förväntade intäkter av en högre volymproduktion och förbättrad virkeskvalitet. Kalkyler baserade på dagens pris- och kostnadsrelationer visar oftast på svag lönsamhet för täta anläggningsförband. Anledningen är bl.a. att prisskillnaderna idag är små mellan granvirke av högre respektive lägre kvalitet. I fiberskogsbruk kommer valet av anläggningsförband bl.a. att påverkas av den betalningsförmåga man bedömer att industrin kommer att ha för olika fiberk-

valiteter. Dessa frågor måste närmare belysas i ekonomiska kalkyler. För sådana studier måste produktions- och kalkylmodeller utvecklas för intensivodlad skog.

Beståndsvård

Ungskogsvård

När den intensivodlade föryngringen växer in i ungskogsfasen bör man inledningsvis ta ställning till om planerna på intensivodling skall fortsätta. Om en jämn och välsluten ungskog etablerats finns goda förutsättningar för ett lyckat resultat. Om föryngringen drabbats av mera omfattande skador bör man däremot snarast avbryta planerna på intensivodling. Många studier visar nämligen att ett bestånds framtida produktion är starkt beroende av ungskogens täthet. Vilken lägsta täthet hos ungskogen som erfordras för ett lönsamt fiberskogsbruk bör göras till föremål för närmare studier och kalkyler.

Med en välsluten och jämn ungskog torde röjningsprogrammet främst inriktas mot sanering av självsådda plantor. Bortröjning av planterade stammar är inte aktuellt annat än där dessa har svårare skador eller starkt kvalitetsnedsättande fel. I normalfallet röjs alla självsådda barr- och lövplantor bort. Endast i undantagsfall lämnas självsådda plantor för att fylla ut mindre luckor där planterade plantor saknas. Vidare lämnas löv endast i den lägsta omfattning som erfordras för att uppfylla skogsvårdslagens minimikrav. Om beståndsanläggningen lyckats och röjning sätts in vid rätt tidpunkt torde endast ett röjningsingrepp vara nödvändigt på flertalet ståndorter.

Vid intensivodling är det viktigt att röjning utförs omsorgsfullt och att den sker vid rätt tidpunkt. Beräkningar visar nämligen att produktion och ekonomi påverkas negativt av utebliven röjning, såväl på kort sikt (första gallring) som lång. Motormanuella röjningsmetoder bör idag ligga närmast till hands. För framtiden torde det emellertid vara angeläget att maskinella röjningsmetoder utvecklas för fiberskogsbruk. Förutsättningarna för detta bör vara goda då de flacka och blockfattiga ståndorter som kommer i fråga för fiberskogsbruk troligen är bland de som lättast kan röjas med maskinella metoder. Dessutom kan det finnas möjligheter till teknisk samordning mellan maskinell röjning och spridningen av gödselmedel.

Stamkvistning i ungskog är ofta en åtgärd med hög lönsamhet. Internationellt tillämpas också stamkvistning vid intensivodling. Trots att svenska rekommendationer om stamkvistning av gran förekommer, bör man tills vidare avstå från stamkvistning vid fiberskogsodling. Såväl praktiska erfarenheter som forskningsresultat från stamkvistning av gran bedöms vara alltför begränsade. Framgent är stamkvistning av gran ett angeläget forskningsområde.

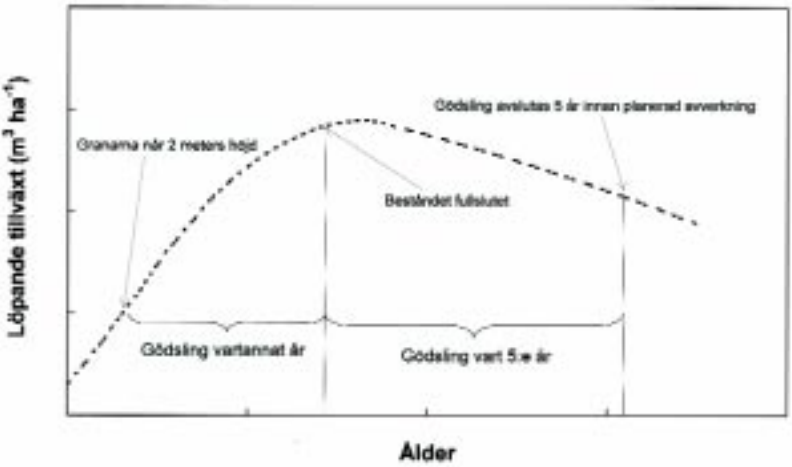
Gallring

Kunskaperna om gallringseffekter i skog med balanserad näringstillförsel är dåliga. I Sverige har hittills endast ett fåtal näringsoptimerade bestånd blivit föremål för gallring. Internationellt finns större kunskaper, men det rör sig här oftast om andra ståndortstyper och trädslag, och om förutsättningar som även i övrigt avviker från svenska förhållanden. I Sverige föreligger främst resultat från försök med gallring i samband med traditionell kvävegödsling. När det gäller gallring av fiberskog med gran i Sverige tvingas vi därför generalisera utifrån allmänna kunskaper rörande gallringseffekter i granskog. Av speciellt intresse är effekter av gallring på bördigare marker, då balanserad näringstillförsel per definition förväntas leda till en permanent bonitetsförbättring.

I ett intensivodlat bestånd som uppnått gallringsmogen ålder måste man först ta ställning till om beståndet skall gallras eller ej. I det absoluta flertalet fall gäller att gallring bör utföras. Kalkyler visar nämligen på stark lönsamhet för gallring. Det kan dock finnas fall där gallringsfritt fiberskogbruk kan bli aktuellt. Ett sådant exempel är bestånd (eller delar av bestånd) på mycket starkt vindexponerade ståndorter där risken för stormskador bedöms vara så hög att man bör avstå från gallring.

Intensivodlad skog förväntas växa in i gallringsfasen vid lägre ålder än vanlig skog. För att så tidigt som möjligt stabilisera bestånden mot vind- och snöskador är det viktigt att den första gallringen utförs i tid. Då fiberskogen kan förväntas ha en väsentligt högre tillväxt än vanlig skog kommer detta att påverka hela gallringsprogrammets uppläggning. Allmänt gäller att gallringsintervallen bör vara kortare och gallringsstyrkan högre än i vanlig skog. Då yngre gallringsbestånd av gran kan gallras hårt utan att volymtillväxten påverkas i någon högre grad, bör tidiga gallringar i intensivodlad skog vara hårda. Härigenom påskyndas dimensionsutvecklingen, vilket skapar möjlighet att förkorta omloppstiden. Hårda ingrepp i början av gallringsfasen ger även en snabb stamantalsreduktion, vilket lämnar möjlighet för svagare ingrepp under senare delen av gallringsfasen. Fri gallring bör tillämpas, men låggallringsmomentet bör var så stort som möjligt för att gynna dimensionsutvecklingen. För att höja beståndens genomsnittskvalitet bör emellertid alltid grova träd med dålig kvalitet tas ut. Grundytan efter gallring bör vara högre vid intensivodling än i vanlig skog.

Ett komplett stickvägssystem bör läggas upp i samband med det första gallringsingreppet. Stickvägar bör tas upp till full bredd, vilket med dagens teknik i regel innebär ca 4 m. Breda stickvägar minskar risken för att drivningsmaskiner ger skador på stammar och rotsystem. Stickvägar som tas upp i unga bestånd leder endast till smärre tillväxtförluster, eftersom kantträd snabbt utnyttjar de



Figur 3. Den streckade linjen avser den löpande stamvolymtillväxten under en omloppstid. Första gödslingen sker då granarna är 2 meter höga. Därefter sker gödsling vartannat år tills dess att beståndet sluter sig ordentligt och den löpande tillväxten kulminerar. I fullslutna bestånd uppstår en näringscirkulation genom att en del av barren börjar trilla av. Därefter kan det räcka med näringstillförsel vart femte år. Gödslingsprogrammet avslutas 5 år före slutavverkning.

fria ytorna i stickvägarna. Beroende på vilken teknik som används för spridning av gödselmedel kan det bli aktuellt att ta upp stickvägar redan före första gallring.

Gödslingsprogram

Det är sannolikt mer lönsamt att genomföra behovsanpassad näringstillförsel vartannat år än att göra det varje år, även om vi antar att volymtillväxten i praktiken blir 40% mindre än i fältförsöken (Flakaliden och Asa). Idag vet man inte hur mycket produktionen skulle minska om gödsling skedde vartannat istället för varje år i ungdomsfasen, men gissningsvis är minskningen ca 10%. I en framtida praktisk tillämpning skulle näringstillförseln ske i form av fastgödsel. Första gödslingen sker redan då granarna är 2 meter höga. Den bör utföras på våren ett par veckor innan granens skottskjutning startar. Detta intensiva gödslingsprogram skulle fortsätta tills dess att ungskogen sluter sig ordentlig och näringscirkulation uppstår genom att en del av barren börjar trilla av. Därefter kan det räcka med näringstillförsel vart femte år (figur 3). Gödslingsprogrammet avslutas fem år före slutavverkning, så att näringsämnen i så stor utsträckning som möjligt kan tas upp och byggas in i granarnas biomassa. Detta kan minska risken för näringsläckage i samband med slutavverkning.

Sammantaget skulle antalet gödslingar under en omloppstid bli mellan 8 och 15 och mängden tillfört kväve mellan 600 och 1600 kg (+ de övriga näringsämnena). Skillnaderna i omfattning beror på att gödselgivan ska anpassas till det antropogena nedfallet av kväve i Sveriges olika delar. Klimatförhållanden bestämmer produktionspotentialen och därmed omloppstidens längd, vilket i sin tur styr antalet gödslingar. Gödslingen föregås av barranalys för att undvika överdosering och risk för näringsläckage.

Omloppstid och beståndsavveckling

Intensivodling erbjuder möjligheter till kraftigt förkortad omloppstid jämfört med vanligt skogsbruk. Kort växttid är viktig för att lönsamheten ska bli stor. Ledstjärnan bör därför vara att planera skötseln av fiberskog med sikte på kortast möjliga växttid. Några generella riktlinjer för växttidens längd kan emellertid inte anges då denna slutligen bestäms av vilka ekonomiska överväganden markägaren gör i det enskilda beståndet. Att utveckla prognosinstrument och kalkylmodeller till stöd för sådana överväganden är en angelägen framtida utvecklingsfråga för fiberskogsbruket.

Om intensivodling skall fortsätta i nästa generation bör man vid avveckling endast ta så stor naturvårdshänsyn att skogsvårdslagens minimikrav uppfylls. Detta eftersom hög virkesproduktion är det övergripande målet vid fiberskogsbruk och andra mål därför måste ges avsevärt lägre prioritet på just dessa arealer. Det bör också i allmänhet kunna finnas motiv för att fortsätta med intensivodling i upprepade generationer på samma mark. Intensivodling av gran förväntas leda till låg biodiversitet på de aktuella ståndorterna. Genom fortsatt intensivskogsbruk på arealer som redan är påverkade, begränsas de områden där den biologiska mångfalden är liten.

Vid tidpunkten för generationsväxling skiljer sig den intensivodlade skogen från vanlig skog bl.a. genom att stora mängder växtnäringsämnen finns lagrade i bestånd och mark. Dessa näringsförråd skulle kunna omsättas i alltför snabb takt vid beståndsavveckling. Följden kan bli oönskat läckage av näringsämnen till yt- och grundvatten. Att begränsa sådant läckage är en fråga med hög prioritet för fiberskogsbruk.

Valet av metod för beståndsavveckling måste således ske med beaktande av risken för näringsläckage. Den viktigaste principen är då att undvika att marken blir kal. Detta kan ske genom att det nya beståndet planteras in under en skärm av det gamla. När den nya planteringen etablerats kan skärmen sedan avvecklas. Med hänsyn till äldre granskogs dåliga vindstabilitet, kräver skärmställning emellertid omsorgsfull planering av såväl det aktuella objektet som av angränsande bestånd. På starkt vindexponerade ståndorter bör man undvika att ställa skärm vid beståndsavveckling. Här bör

istället föryngringsåtgärder sättas in omedelbart efter avverkning utan hyggesvila. Det höga näringsutbudet på kalavverkad mark efter intensivodling förväntas ge snabb etablering av frodig hyggesvegetation, vilket också bidrar till att reducera läckaget av växtnäring.

Naturliga ridåbestånd av i synnerhet lövskog kan fungera som vegetationsfilter om de ligger på och vid nedströms liggande våtmarker och vattendrag,. Ett sådant kan kan bidra till att fånga upp läckande näring från kal mark efter avveckling av fiberskog. I fall där naturliga ridåbestånd saknas kan det bli aktuellt att anlägga sådana. Om hyggesutläggningen planeras med hänsyn till terrängens topografi är det också möjligt att minska näringsläckaget. Genom att dela upp avverkning av större bestånd så att den gamla skogen lämnas kvar på utströmningsområden i lägre terrängavsnitt, kan näring som läcker från högre belägen mark till viss del fångas upp.

Vid slutavverkning av intensivodlad skog bör hela träd tas ut. Helträdsuttag bidrar till att minska risken för läckage av växtnäring under hyggesfasen. Ristäkt bör ske omedelbart i samband med slutavverkning. De näringsmängder som förs bort från ståndorten vid ristäkt kommer genom framtida gödsling att återföras i den takt som den nya skogen kan tillgodogöra sig näringen.

Generellt gäller att avvecklingsmetoder för näringsoptimerad skog är oprövade och dåligt kända. Inom detta fält finns ett stort behov av kunskapsuppbyggnad.

Skador på intensivodlad skog

Skador kommer att påverka intensivskogsodlingens lönsamhet kraftigt, eftersom kostnaderna för etablering och beståndsvård är högre än vid normal granskogsskötsel. Därför är det vid fiberskogsodling extra viktigt att vidta åtgärder som minskar risken för skador, eller om skador uppstår, begränsar verkningarna av dem. Om skador drabbar en fiberskogsodling kan detta i allvarligare fall få till följd att odlingen måste avbrytas pga. att lönsamheten äventyras. De allvarligaste skador som måste förebyggas vid fiberskogsbruk med gran är vind-/snöskador och rotröta. Skötsel med hänsyn till risken för dessa skador måste bygga på kunskaper och erfarenheter från vanligt skogsbruk. Här följer några viktiga riktlinjer:

- Gallringsprogrammet måste innebära hårda ingrepp vid tidiga gallringar, att gallringsstyrkan avtar med ökande beståndsålder och att gallring undviks under den senare delen av omloppstiden.
- Skötselingrepp i fiberskog måste alltid planeras med hänsyn till omgivande skog. Omvänt måste också hänsyn tas till en intensivodling vid gallring och hyggesupptagning i bestånd som angränsar till en sådan.
- Gallring bör främst utföras under vinterhalvåret och på tjälbunden mark.

Om det av planeringsskäl inte är möjligt att gallra på vintern, måste stubbytor skyddsbehandlas mot infektion av luftburna rötsvampssporer efter gallring.

- Drivningsarbete vid gallring i fiberskog måste planeras och genomföras skonsamt så att skador på träd och mark undviks eller minimeras. Val av maskinsystem bör bl.a. anpassas till terräng- och markförhållanden. Ståndorter med dålig markbärighet bör endast drivas på tjälbunden mark. Stickvägar bör risas väl – speciellt gäller detta sådana vägavsnitt där maskiner kör många gånger.

Även om man vidtar åtgärder för att förebygga skador, är det sannolikt inte möjligt att helt undvika skador. Resurser måste därför avsättas för observation och inventering av skadornas förekomst och utveckling. Det kan t.ex. gälla inventering av rötförekomst i stubbytor efter gallringsingrepp. Resultaten från sådana inventeringar bör utnyttjas vid anpassning av skötselprogrammet i ett enskilt bestånd. Det kan exempelvis bli aktuellt att begränsa antalet gallringar eller helt avstå från vidare gallringsingrepp i stormskadade eller starkt rötinfekterade bestånd.

Referenser

Bergh, J., Linder, S. och Bergström, J. 1999. Produktionspotentialen för gran i Sverige – en outnyttjad möjlighet. Fakta Skog, nr 2. ISSN 1400-7789.

Bergh, J., Linder, S., Lundmark, T. and Elfving, B. 1998. The effect of water and nutrient availability on the productivity of Norway spruce in northern and southern Sweden. Forest Ecology and Management, 119:51–62.

Ekö, P. M. 1985. En produktionsmodell för skog i Sverige, baserad på bestånd från riksskogstaxeringens provytor. SLU, Inst. för skogsskötsel, rapporter nr 16, 224 sid.

Eriksson, H. 1976. Granens produktion i Sverige. Skogshögskolan, Inst. för skogsproduktion, rapporter och uppsatser nr. 41, 291 sid.

Erikson, H., Johansson, U. & Karlsson, K. 1994. Effekter av stickvägsbredd och gallringsform på beståndsutvecklingen i ett försök i granskog. SLU, Inst. för skogsproduktion, rapport 38, 23 sid.

Eriksson, H. & Karlsson, K. 1997. Olika gallrings- och gödslingsregimers effekter på beståndsutvecklingen baserat på långliggande experiment i tall- och granbestånd i Sverige. SLU, Inst. för skogsproduktion, rapport 42, 135 sid.

Hånell, B. 1998. Kvalitetsgran. Granskogsskötsel med sikte på kvalitet. Norrskog, 56 sid.

Johansson, K. 1997. Effect of early competition on wood properties of Norway spruce. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 19, Doctoral thesis, 35 sid.

Linder, S., 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. Ecol. Bull. (Copenhagen), 44:178–190.

Linder, S. 1997. Virkesproduktionens gränser. KSLAs tidskrift, Årg.136, nr 10. Skogsbruk på väg – vart, hur och för vem?

Linder, S. och Bergh, J. 1996. Näringsoptimering – granen växer ur produktionstabellerna. Fakta Skog, nr 4, ISSN 1400-7789.

Pape, R. 1999. Effects of thinning on wood properties of Norway spruce on highly productive sites. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 88, Doctoral thesis, 38 sid.

Persson, P. 1975. Stormskador på skog. Skogshögskolan, Inst. för skogsproduktion, rapporter och uppsatser, nr 36, 294 sid.

Pettersson, N. 1992. The effect on stand development of different spacing after planting and precommercial thinning in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. SLU, Inst. för skogsproduktion, rapport 34, 17 sid.

Vollbrecht, G. 1994. Effects of silvicultural practices on the incidence of root and butt rot in Norway spruce with special emphasis on *Heterobasidion annosum*. SLU, Enh. för sydsvensk skogsforskning, avhandling, 37 sid.