

1 **Miljöanalys av behovsanpassad gödsling på skogsmark**

2

1	<b>Innehållsförteckning</b>	
2	Miljöanalys av behovsanpassad gödsling på skogsmark .....	1
3	Innehållsförteckning .....	2
4	Förord.....	3
5	Sammanfattning .....	4
6	1. Inledning .....	5
7	2. Beskrivning av verksamheten .....	6
8	2.1. Behovsanpassad gödsling vs. konventionell skogsgödsling.....	6
9	2.2. Praktiskt genomförande och nuvarande restriktioner .....	6
10	2.3. Planerad omfattning och möjlig utbyggnad .....	10
11	3. Material och metoder för miljöanalysen .....	11
12	4. Inverkan på miljön .....	14
13	<b>4.1. Inverkan på mark, vatten och växthusgaser .....</b>	<b>14</b>
14	4.1.1. Sammanfattning .....	14
15	4.1.2. Vattnets flödesväg som perspektiv .....	15
16	4.1.3. Interaktionen mellan bestånd och atmosfär .....	15
17	4.1.4. Mårlagret.....	16
18	4.1.5. Mineraljorden.....	19
19	4.1.6. Utströmningsområden.....	26
20	4.1.7. Ytvatten.....	27
21	4.1.8. Interaktionen mellan skogslandskap och atmosfär .....	27
22	4.1.9. Effekter av behovsanpassad gödsling på växthusgasbalansen.....	30
23	<b>4.2. Inverkan på flora och fauna .....</b>	<b>31</b>
24	4.2.1. Sammanfattning .....	31
25	4.2.2. Kväve som begränsande faktor för biologiska processer i skogsekosystem ..	31
26	4.2.3. Habitatförlust och fragmentering.....	32
27	4.2.4. Skogsmarksvegetation .....	33
28	4.2.5. Skadesvampar och skadeinsekter.....	36
29	4.2.6. Andra insekter, fåglar och vilt .....	38
30	<b>4.3. Inverkan på sociala värden, rennäring och kulturmiljövärden .....</b>	<b>40</b>
31	4.3.1. Rekreation och friluftsliv .....	40
32	4.3.2. Rennäring.....	40
33	4.3.3. Forn- och kulturlämningar .....	40
34	5. Åtgärder för att undvika, minska eller avhjälpa skadliga verkningar på miljön samt	
35	förväntade effekter av dessa åtgärder .....	41
36	5.1. Åtgärder knutna till inverkan på mark, vatten och luft.....	41
37	5.2. Åtgärder knutna till inverkan på flora och fauna .....	42
38	5.3. Åtgärder knutna till inverkan på sociala värden, rennäring och	
39	kulturmiljövärden.....	42
40	6. Konsekvenser för miljön om verksamheten inte kommer till stånd .....	42
41	7. Identifierade kunskapsluckor .....	46
42	8. Referenser .....	48

## 1 **Förord**

2 Behovsanpassad gödsling innebär precis som andra skogsskötselåtgärder att skogsekosystemets  
3 struktur och funktion påverkas. Skogsstyrelsen har därför beslutat att innan verksamhet med  
4 behovsanpassad gödsling på skogsmark påbörjas i nämnvärd omfattning (> 5000 ha) ska en  
5 miljöanalys av verksamheten genomföras. Skogsstyrelsen har även beslutat vilka komponenter  
6 som ska ingå i miljöanalysen. Miljöanalysen har därefter utförts på uppdrag från följande  
7 intressenter från skogsnäringen: Bergvik skog, Sveaskog, Yara, Airlift Helicopter Sweden,  
8 Skogssällskapet och Södra skogsägarna. Den har finansierats med bidrag från dessa intressenter,  
9 samt med bidrag från Statens Energimyndighet (projektnr 30639) inom ramen för programmet  
10 ”Uthållig tillförsel och förädling av biobränsle”. Miljöanalysen har sammanställts av en grupp  
11 forskare associerade till SLU och till Umeå Universitet. Som utgångspunkt har vi använt tidigare  
12 kunskapssammanställningar (bl. a. Witzell 2008) samt nya delvis opublicerade data från relevanta  
13 försök. Nedan följer en presentation av författarna samt en precisering av deras respektive bidrag.  
14

15 **Annika Nordin**, professor skoglig ekofysiologi SLU Umeå. Projektledare och övergripande  
16 ansvarig för hur miljöanalysen utformats och för hur arbetet genomförts.

17 **Tomas Lundmark**, professor skogsskötsel SLU Vindeln. Projektägare. Ansvarig för  
18 beskrivningen av verksamheten.

19 **Harald Grip**, universitetslektor hydrologi. Analys av inverkan på mark, luft och vatten.

20 **Mats Nilsson**, professor biogeokemi SLU Umeå. Analys av inverkan på mark, luft och vatten.

21 **Lars Ericson**, professor växtekologi Umeå Universitet. Analys av inverkan på flora och fauna.  
22

23 Projektets referensgrupp har varit Cecilia Akselsson, doktor vid institutionen för naturgeografi  
24 och ekosystemanalys vid Lunds Universitet samt Lars Högbom, docent vid SkogForsk Uppsala.  
25 Cecilians och Lars bidrag till arbetet har varit viktiga och konstruktiva.  
26

27 Dessutom har Per Olsson, Gustaf Egnell och Pär Aronsson som medlemmar i  
28 Energimyndighetens beredningsgrupp för skogsbränsle och miljö granskat arbetet och bistått med  
29 hjälpsamma kommentarer.  
30

31 Härmed önskar jag tacka samtliga.  
32  
33

34 Umeå 25 september 2009  
35  
36  
37

38 Annika Nordin  
39

## 1 Sammanfattning

2 Behovsanpassad gödsling är en princip för skogsgödsling som innebär att näring tillsätts  
3 kontinuerligt i doser motsvarande trädens momentana behov för tillväxt. Syftet är att  
4 under hela beståndscykeln med hjälp av frekvent näringstillförsel hålla den löpande  
5 tillväxten på en så hög nivå som möjligt, samtidigt som näringsläckage undviks eller  
6 minimeras. Försök har visat att behovsanpassad gödsling är en effektiv  
7 skogsskötselmetod att öka biomassaproduktionen i boreal granskog. Under rådande  
8 klimatbetingelser kan tillväxten mer än fördubblas i behandlade granbestånd jämfört med  
9 den i obehandlade bestånd. Tillväxtökningen per kg tillsatt kväve är också högre än vid  
10 konventionell gödsling. Som en effekt av den ökade tillväxten beräknas omloppstiden  
11 kunna förkortas med mer än 10 år i södra Sverige, och med upp till 50 år i norra Sverige.

12  
13 Effekter på miljön av behovsanpassad gödsling finns både inom behandlade bestånd och  
14 inom landskap med behandlade bestånd. Följande effekter kommer att vara de som är  
15 mest märkbara på beståndsnivå om behandlade bestånd jämförs med obehandlade:

- 16 • Ökad inlagring av organiskt kol i marken till följd av ett större förfall och  
17 långsammare förnedbrytning,
- 18 • Ökad risk för näringsämnesläckage till markvattnet under själva odlingsfasen (vid  
19 oväntade händelser som stormfällning eller omfattande angrepp av skadegörare på  
20 träden),
- 21 • Ökat näringsämnesläckage till markvattnet vid skogsskötselgrepp som  
22 eliminerar eller reducerar trädens kapacitet att ta upp näringsämnen (gallring,  
23 slutavverkning, stormfällning eller angrepp av skadegörare),
- 24 • Minskad mångfald av arter (växter och djur både ovan och under jord) i och med  
25 att trädsiktet sluter sig och begränsar tillgången på ljus,
- 26 • Ändrad artsammansättning hos vegetationsuppslaget vid gallring och  
27 slutavverkning.

28  
29 Den omfattning på verksamheten som för närvarande diskuteras är att högst 5 % av  
30 skogsmarksarealen skulle skogsodlas med behovsanpassad gödsling. Det skulle ta  
31 åtminstone 20 år att lägga om en sådan stor areal till denna form av skogsskötsel. Även  
32 om miljöeffekterna på beståndsnivå kommer att vara märkbara, bedömer vi att effekterna  
33 på landskapsnivå är acceptabla så länge endast 5 % av skogsmarksarealen tas i anspråk. Vi  
34 har även identifierat ett antal åtgärder som vi anser kan minska de negativa effekterna på  
35 landskapsnivån. Till exempel ska behovsanpassad gödsling endast ta i anspråk skogsmark  
36 som redan nyttjas för konventionellt skogsbruk. Utplaceringen av bestånd i landskapet  
37 måste noggrant planeras, bland annat för att undvika att överbelasta enskilda  
38 utströmningsområden med kväve och andra näringsämnen när skogsbestånd avvecklas.  
39 Dessutom, behovsanpassad gödsling ska inte utföras inom tätortsnära skogar eller på  
40 lavdominerad skogsmark.

41

1

## 2 1. Inledning

3 Den mest begränsande faktorn för skogsträdens tillväxt i Sverige är tillgången på  
4 växtnäring (Tamm 1991). Dagens skogspolitik tillåter att gödsling sker i begränsad  
5 omfattning. I Skogsstyrelsen allmänna råd för skogsgödsling anges hur och var i landet  
6 som gödsling kan ske. Gödsling rekommenderas idag inte i bestånd som ännu inte  
7 uppnått gallringsmogen ålder och det finns restriktioner för hur mycket gödselmedel som  
8 får spridas under en omloppstid samt vilken tid som minst måste förlöpa innan en  
9 omgödsling utförs. Modern växtnäringsforskning har utvecklat en ny princip för gödsling  
10 av skogsmark, s.k. behovsanpassad gödsling (Ingestad 1988, Linder 1995, Linder &  
11 Bergh 1996, Linder et al. 1996, Bergh et al. 1999). Förenklat går principen ut på att  
12 tillföra kväve och andra växtnäringsämnen i den mängd och kombination som träden kan  
13 ta upp utan att näringsläckage till markvattnet uppstår. Bäst resultat i termer av  
14 tillväxthöjning erhålls sannolikt om trädslaget är gran, angående effekter på andra  
15 svenska trädslag finns idag inte någon dokumenterad kunskap.

16 Miljön påverkas av de flesta skogsbruksåtgärder, även så gödsling. Effekterna  
17 verkar på olika skalor, såväl i tiden som i rummet. Ett enskilt skogsbestånd utgör  
18 vanligen den minsta rumsliga skalan på vilken miljöeffekter av en skogsbruksåtgärd  
19 verkar, medan skogslandskapet utgör den större skalan. Det finns skilda uppfattningar  
20 angående definitionen av ett skogslandskap. Vi som författat denna miljöanalys har valt  
21 att definiera ett skogslandskap som ett område med mer än en typ av ekosystem och med  
22 tillräcklig storlek för att omfatta populationer (åtminstone av triviala arter av flora och  
23 fauna) oberoende av varandra. I praktiken innebär detta att ett skogslandskap oftast  
24 omfattar en areal på > 1000 ha och att tätbebyggda områden, stora trafikleder och stora  
25 vattendrag (älvar, sjöar) utgör landskapets naturliga avgränsningar. Miljöeffekternas  
26 omfattning i skogslandskapet av en skogsbruksåtgärd är naturligtvis relaterade till den  
27 areal inom landskapet där skogsbruksåtgärden tillämpas. Dessutom kan påverkan av en  
28 åtgärd ta sig olika uttryck beroende på om man betraktar beståndet eller landskapet.

29 Målet med denna rapport är att beskriva behovsanpassad gödsling och att  
30 analysera miljöeffekterna av en tillämpning på beståndsnivå och på landskapsnivå. Som  
31 referens har vi antagit att dessa arealer annars skogsodlas på för i dagsläget  
32 konventionellt vis, inbegripet gödsling. För närvarande har drygt 10 % av den svenska  
33 skogsmarken någon gång gödslats på konventionellt sätt (d.v.s. med motsvarande 150 kg  
34 N ha<sup>-1</sup> vid 1-3 tillfällen under en omloppstid) (se Nohrstedt 2001).

35 Att analysera miljöeffekter av ett skogsskötselsystem både på beståndsnivå och på  
36 landskapsnivå är naturligtvis inte oproblemiskt. Mycket av den forskning som ligger till  
37 grund för det rådande kunskapsläget vad gäller miljöeffekter av intensiva  
38 skogsgödslingsprogram, har utförts inom försöksområden på ytor som till sin storlek är  
39 betydligt mindre än den genomsnittliga storleken på ett enskilt skogsbestånd. En viktig  
40 målsättning för framtida forskning måste vara att studera hur effekter som konstaterats på  
41 beståndsnivå skalas upp till landskapsnivån.

## 2. Beskrivning av verksamheten

### 2.1. Behovsanpassad gödsling vs. konventionell skogsgödsling

Syftet med behovsanpassad gödsling är att öka tillväxten och därmed tillgången på skogsråvara genom att intensivt bruka en begränsad del av Sveriges skogsmarksareal (se exempelvis Börjesson et al. 1997). Med hjälp av experimentellt utprovade skötselmetoder kan tillväxten i grandominerad skog på många marker mer än fördubblas jämfört med om ingen gödsling sker (Linder & Bergh 1996, Bergh et al. 1999, 2005). Resultaten från svenska skogsskötselexperiment har även bekräftats i kanadensiska studier (se Brockley & Simpson 2004). Hur mycket tillväxten ökar (relativt och absolut) beror på beståndet, ståndortsindex, hur gödslingsprogrammet ser ut, när under omloppstiden som ett gödslingsprogram sätts in och var i landet man befinner sig. Med hjälp av bland annat barranalyser anpassas gödselgivan så att högsta möjliga tillväxt kan erhållas utan att det blir läckage av växtnäring till markvattnet (Linder 1990, Linder & Flower-Ellis 1992, Linder 1995). Det är viktigt att poängtera att andra näringsämnen än kväve också tillförs och att dessa tillförs i proportion till kvävet efter behov. Som en effekt av den ökade tillväxten beräknas omloppstiden kunna förkortas med mer än 10 år i södra Sverige och upp till 50 år i de nordligaste delarna av landet när principen om behovsanpassad gödsling tillämpas (Bergh et al. 1999, 2005).

Vid konventionell skogsgödsling tillförs som regel 150 kg N ha<sup>-1</sup> vid högst tre tillfällen under en omloppstid (Nohrstedt 2001). Detta ger en ökad tillväxt på 10-15 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> och gödslingstillfälle (Pettersson 1994). I dagsläget tillåter Skogsstyrelsen gödsling med maximalt 200 kg N ha<sup>-1</sup> vid ett tillfälle och som mest 450 kg N ha<sup>-1</sup> under en omloppstid (norra Sverige). Gödsling får inte ske innan beståndet nått gallringsmogen ålder. Mertillväxten till följd av behandlingen blir efter tre gödslingar 30-45 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Med antagandet att omloppstiden är 90 år betyder det att den ökning av medeltillväxten som kan erhållas under omloppstiden blir 0.3-0.5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Kvävekostnaden för att öka tillväxten uttryckt som tillförd mängd kväve i förhållande till mertillväxt blir 10-15 kg kväve per extra producerad kubikmeter. Enligt modellen med behovsanpassad gödsling skulle man under en omloppstid tillföra 800-1500 kg N ha<sup>-1</sup> (Bergh et al. 2006). Med stöd av olika modellberäkningar har den ökade medeltillväxten skattats till 2-5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> över hela omloppstiden (Bergh & Oleskog 2006). På samma sätt har mertillväxten till följd av behandlingen skattats till mellan 120 och 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> under en omloppstid på 60 år (Bergh & Oleskog 2006). Om kvävegivan blir 1200 kg N ha<sup>-1</sup> under en omloppstid, blir kvävekostnaden uttryckt som tillförd mängd kväve i förhållande till mertillväxt 4-10 kg kväve per extra producerad kubikmeter. Den tillväxthöjning som varje enhet tillfört kväve leder till är alltså högre för behovsanpassad gödsling, jämfört med konventionell skogsgödsling.

### 2.2. Praktiskt genomförande och nuvarande restriktioner

Det finns idag inget omfattande empiriskt underlag att bygga en strategi för beståndsbehandling på när avsikten är att tillämpa behovsanpassad gödsling (för resultat

1 från befintliga studier se Bergh et al. 1999, 2005, 2008). Det innebär också att det är svårt  
2 att direkt hitta de ekonomiskt mest gynnsamma behandlingsprogrammen. I ett inledande  
3 skede får man bygga skötselrekommendationerna på de erfarenheter som erhållits från  
4 framförallt den skogsproduktionsfysiologiska forskning som bedrivits i landet under de  
5 senaste 60 åren. Kommande resultat från nya fältförsök med främsta syfte att utveckla  
6 praktiskt tillämpbara skötselprogram för behovsanpassad gödsling (exempelvis de nedan  
7 beskrivna intervallförsöken och bolagsförsöken) kommer att kunna användas för att  
8 justera skötselrekommendationerna.

9 Redan i nuläget står det dock klart att näringstillförseln kommer att ske i form av  
10 fastgödsel då näringsbevattnings är för kostsamt att genomföra i någon större skala.  
11 Resultat från norra Sverige (Västerbotten) visar heller inte någon positiv effekt på trädens  
12 tillväxt av bevattnings, medan en positiv effekt finns i sydöstra delen av landet (Småland)  
13 (Bergh et al. 1999). Gödselmedlet kommer att bestå av kväve samt nödvändiga tillsatser  
14 av andra näringsämnen. Under ungskogsfasen, från att plantorna är cirka 2 m till dess att  
15 beståndet sluter sig, bör gödsling helst ske varje år. Ett granbestånd anses slutet när  
16 kronprojektionen är mer än 0.8 (max 1.0), d.v.s. när beståndet är i övre delen av kurvan i  
17 befintliga gallringsmallar. Därefter behövs det troligtvis gödglas endast ytterligare 2-3  
18 gånger. Det finns dock ingen empirik som stödjer ett säkert ställningstagande i frågan om  
19 gödslingsintervall senare under omloppstiden. Den sista gödningen bör inte ske senare än  
20 5-10 år innan beståndet avvecklas.

21 Den metod som tillämpas vid behovsanpassad gödsling av gran bygger på att  
22 endast den mängd näringsämnen tillförs som träden kan nyttja utan att läckage uppstår.  
23 Analyser av barrens näringsinnehåll används för att justera tillförseln av olika  
24 näringsämnen (Linder 1995). En konsekvens av detta resonemang är att det inte går att i  
25 förväg exakt ange hur stor mängd kväve och andra näringsämnen som kan komma att  
26 tillföras ett bestånd under en omloppstid. Mängden kväve som tillförs kommer dessutom  
27 att variera över landet då ungskogsfasen är längre i norr än i söder. Även om det inte går  
28 att ange exakt hur ett gödslingsprogram för behovsanpassad gödsling kommer att se ut  
29 går det att ange ett antal generella riktlinjer utifrån den försöksverksamhet som pågått i  
30 landet sedan 1980-talet. Det är lämpligt att den första gödningen utförs då granarna är  
31 mellan två och fem meter höga. Därefter är det mest lämpligt att gödsla varje år till dess  
32 att beståndet sluter sig. I södra Sverige innebär det ungefär 10 gödningstillfällen, i norra  
33 Sverige upp emot 15. Därefter övergår man till att gödsla vart 10:e år. Gödslingsgivans  
34 storlek vid varje enskilt gödningstillfälle bör vara ca. 75 kg N ha<sup>-1</sup>. Genom att gödsla  
35 med en relativt låg giva årligen försäkras man sig om att man endast tillför den mängd  
36 kväve träden och det övriga ekosystemet har förmåga att binda. Om man vill gödsla mer  
37 sällan bör man inte öka givan i motsvarande utsträckning. Att gödsla vartannat år med  
38 den dubbla givan ökar risken för läckage. Att gödsla vartannat år med den  
39 rekommenderade givan ger låg risk för läckage men en lägre tillväxt än årlig gödsling.

40 Man kommer att använda sig av kvävegödselmedel som Skog-Can som innehåller  
41 N (27 %), Ca (4%), Mg (2%) och B (0.2%) men även fullgödselmedel (NPK), som  
42 exempelvis YaraMila 22-6-6. Det makronäringsämne som brukar kunna behövas, vid

1 sidan om N, är P men i vissa fall även K och Mg. När det gäller mikronäringsämnen är  
2 det främst B som behövs. Vid behovsanpassad gödsling i södra Sverige verkar P ha större  
3 positiv effekt på tillväxten än i norra Sverige. Sannolikt behöver man använda ett  
4 fullgödselmedel varannan gång man gödslar i södra Sverige och i norra Sverige var tredje  
5 gång.

6 Vid konventionell gödsling förekommer både gödsling med traktor och gödsling  
7 med helikopter, där helikopterspridningen står för 2/3 av den totala gödslingsarealen. I  
8 bolagsskogsbruket är andelen spridning med helikopter ännu större. Vid behovsanpassad  
9 gödsling kommer man sannolikt endast använda sig helikopterspridning p.g.a. att det  
10 saknas teknik för markspridning, då beståndet når mellan sex och sju meters höjd. En  
11 annan anledning till helikopterspridning är att man måste röja fram körstråk för traktorn i  
12 ungskogen, vilket är en kostnad och ger tillväxtförluster.

13 Angående gallring av bestånd behandlade med behovsanpassad gödsling kommer  
14 troligtvis gallring att ske bara en gång per omloppstid. Sammantaget innebär  
15 behovsanpassad gödsling mindre körning med traktor i bestånden än vid traditionell  
16 granskogsskötsel. Dels kommer bestånden att helikoptergödslas istället för att gödslas  
17 med traktor, dels kommer de att gallras endast en gång istället för två till fem gånger som  
18 är normalt vid traditionell granskogsskötsel.

19 För närvarande är kunskapen begränsad om metoder för avveckling av bestånd  
20 där man tillämpat behovsanpassad gödsling. Eftersom skötselprogrammet innebär en  
21 kraftig bonitetshöjning bör metoder som används för att avveckla bestånd på väldigt  
22 produktiva ståndorter vara lämpliga att använda även på bestånd med behovsanpassad  
23 gödsling. Detta innebär bland annat att metoden för avveckling ska vara anpassad för att  
24 minimera näringsläckaget. Det finns resultat som tyder på att helträdsuttag (där  
25 barrbiomassan följer med) är lämpligt.

26 Behovsanpassad gödsling ska endast utföras på marker där åtgärden inte medför,  
27 eller riskerar att medföra, negativ påverkan på områden med höga natur- och  
28 kulturvärden. Marken måste sedan tidigare vara nyttjad för konventionellt  
29 produktionsskogsbruk och marktypen ska vara klassificerad som frisk. Jordtexturen ska  
30 vara klassificerad som sandig-moig eller finare och inte genomsläpplig. Som  
31 genomsläppliga räknas jordar av grovsand, sandiga moräner och grövre jordarter. Marken  
32 bör ha en tydlig B-horisont, vilken har god potential att binda eventuellt läckande  
33 näringsämnen. Läget i terrängen bör vara sådant att det kan karakteriseras som ett  
34 inströmningsområde. Utströmningsområden bör undvikas eftersom markvattnets kontakt  
35 med mineraljordsprofilen ofta är begränsad i dessa områden, vilket leder till förhöjd risk  
36 för näringsläckage. Lavdominerade marker ska inte ungskogsgödslas. Detta därför att  
37 marktyp och jordtextur inte är lämplig. Med lavdominerade marker avses skogstypen  
38 lavtyp, d.v.s. mark där lavar täcker mer än 50 % av bottenskiktet. I övrigt ska gälla för  
39 själva gödslingen de begränsningar som anges i Skogsstyrelsens allmänna råd punkterna  
40 3.1-3.4.

41 Behovsanpassad gödsling innebär att Skogsstyrelsens allmänna råd om mängden  
42 kvävegödselmedel som får tillföras ett skogsbestånd under en omloppstid överskrids.



1 Gödsling kommer även att ske tidigare under omloppstiden än vad som nu  
2 rekommenderas. För andra skogsbruksåtgärder än själva gödslingen finns emellertid inga  
3 hinder att följa Skogsstyrelsens allmänna råd om hänsyn till natur- och kulturmiljövärden.  
4 Således ska exempelvis hyggen inte vara för stora, impediment ska lämnas orörda,  
5 lövträdsinslag ska bevaras genom beståndens hela omloppstid, ett antal träd ska lämnas  
6 kvar vid slutavverkning och transporter ska planeras så att körskador på mark och vatten  
7 undviks eller begränsas.  
8

### 2.3. Planerad omfattning och möjlig utbyggnad

Under 2008 fanns tillstånd från Skogsstyrelsen att i försöksskala prova behovsanpassad gödsling av gran på högst 5000 ha skogsmark. Emellertid startade ingen verksamhet under året. Under 2009 anlades en mindre areal i södra Sverige. Om lönsamheten bedöms som god är det möjligt att den areal som omfattas kommer att överstiga 5000 ha. Hur stor areal som i framtiden kommer att omfattas av behovsanpassad gödsling beror förutom av lönsamhet och tillåtlighet av hur stora arealer med lämplig mark som finns idag och i framtiden. Nyligen gjorda beräkningar föreslår att det finns 5.5 miljoner hektar skogsmark som lämpar sig för behovsanpassad gödsling (Tabell 1). Under den kommande 50-årsperioden blir 2.6 miljoner av dessa tillgängliga för omställning till denna skötselmetod (Tabell 1). Det skulle alltså ta 50 år att ställa om ca. 10 % av skogsmarken till odling med metoden.

**Tabell 1.** Total areal (1000 hektar) skogsmark lämplig för behovsanpassad gödsling samt den areal som blir tillgänglig den kommande 50-årsperioden. Beräkningarna har gjorts av Nils Fahlvik vid institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU Alnarp. Följande kriterier har använts för att identifiera lämplig skogsmarksareal: (1) fastmark av frisk typ med jordtextur sandig-moig eller finare med ett mäktigt tillrämligen grunt jorddjup, (2) ståndortsindex G18 – G32.

Region	Total areal	Areal tillgänglig kommande 50-årsperiod
1	199	56
2	416	181
3	1 207	379
4	1 425	661
5	2 028	1 189
6	248	140
<b>Totalt</b>	<b>5 523</b>	<b>2 607</b>

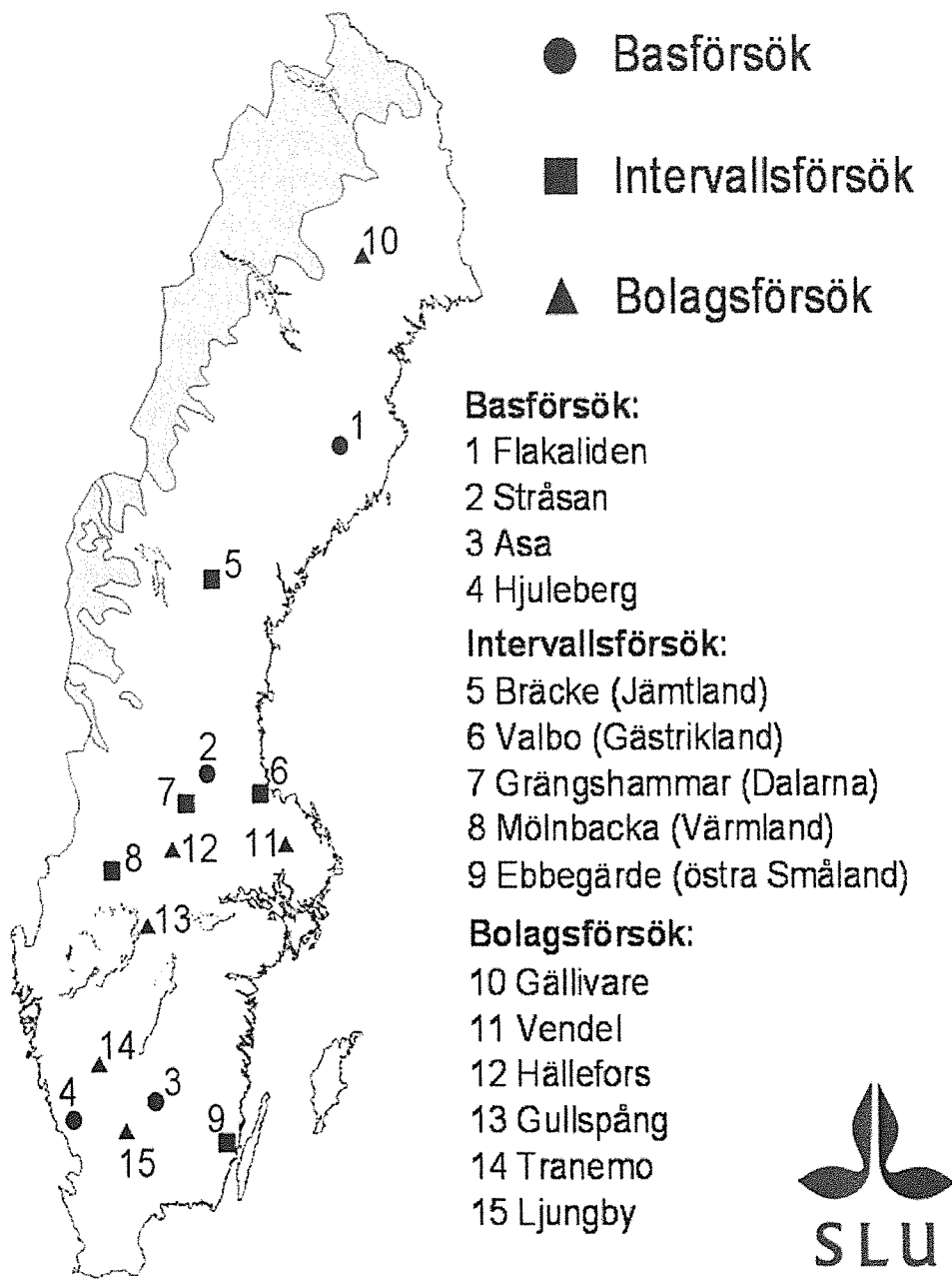
Regionsindelningen är enligt följande: 1 = Norr- och Västerbottens lappmark, 2 = Norr- och Västerbottens kustland, Härjedalens kommun samt Särna och Idre församlingar i Dalarnas län, 3 = Jämtlands län exklusive Härjedalens kommun samt Västernorrlands län, 4 = Gävleborgs, Dalarnas (exkl. Särna-Idre) och Värmlands län, 5 = Stockholms, Södermanlands, Uppsala, Västmanlands, Örebro, Östergötlands, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar samt Västra Götalands län utom Göteborg och Bohuslän, 6 = Gotlands, Blekinge, Skåne och Hallands län samt Göteborg och Bohuslän.

### 3. Material och metoder för miljöanalysen

I Sverige finns ett flertal lång-liggande försök med behovsanpassad gödsling enligt den modell som nu är aktuell för att omsättas i praktiskt skogsbruk (Fig. 1). En sammanställning över gödslingsbehandlingarna för dessa försök finns i Tabell 2. De tre försök som pågått under längst tid är Flakaliden, Stråsan och Asa (Fig. 1). Stråsan startades redan 1967, medan Flakaliden och Asa bägge startades i slutet av 1980-talet. Samtliga har under ungskogsfasen gödslats årligen. Mycket av den kunskap som finns redovisad i denna rapport om miljöeffekter av skötselsystemet, härrör från dessa försök.

I praktiskt skogsbruk kan det vara så att årlig näringstillförsel blir ett alltför arbetsintensivt och kostsamt skötselprogram. Däremot kan näringstillförsel vartannat eller vart tredje år vara tänkbara alternativ. För närvarande finns endast ett begränsat dataunderlag från empiriska studier (se Bergh et al. 2008) om det går att få samma tillväxteffekt med samma risk för näringsläckage om näringstillförsel sker med något, eller några års mellanrum. År 2002 startades en serie fältförsök, de s.k. intervallförsöken, med god geografisk spridning över landet (Fig. 1, Tabell 2), med syfte att studera betydelsen av gödslingsintervallet på träd tillväxt och risk för näringsläckage. År 2003 startades dessutom de s.k. bolagsförsöken (Fig. 1, Tabell 2). Dessa ligger på mark ägd eller förvaltd av Sveaskog, Bergvik, Skogssällskapet och Södra skogsägarna. Inom dessa försök sker näringstillförsel vartannat år på ett operationellt sätt, d.v.s. med traktor i ett GIS-planerat stickvägssystem. Förutom dessa empiriska studier finns nyligt genomförda modellsimuleringar av behovsanpassad gödsling (se Nordin et al. 2009).

I föreliggande miljöanalys presenteras data från markvattenprovtagningar som utförts inom de ovan beskrivna fältförsöken. Dessa data är insamlade av Harald Grip, Institutionen för Skogens Ekologi och Skötsel, SLU Umeå, och en del av dessa är ej tidigare publicerade. Därför följer här en kort redogörelse för hur provtagningarna gått till. För att extrahera markvatten har undertryckslysimetrar använts. Dessa bestod av en keramisk sugkopp installerad på 0.5 m djup i marken och förbunden med en slang till ett uppsamlingskärl vid markytan. Koncentrationen av olika joner i markvattnet varierar avsevärt över en yta, varför förhållandevis många mätpunkter krävs för att få ett representativt medelvärde. Däremot är variationen i tiden ofta mindre än den areella. Man kan därför nöja sig med få provtagningstillfällen. I vårt klimat sker vanligen de största markvattenflödena vår och höst och därmed kommer dessa tidpunkter att dominera den årliga transporten av näringsämnen ut ur markprofilen. I de undersökningar som refereras här har prov tagits på försommaren efter snösmältningen och på hösten, i flera fall kompletterade med provtagning mitt på sommaren. För att beräkna massförlusten från mätta halter i markvattnet måste vattenflödet skattas. Detta har dels gjorts på dygnsbasis med en endimensionell simuleringsmodell (CoupModellen, se Jansson och Moon 2001), dels genom att använda den specifika avrinningen på årsbasis från något närbeläget avrinningsområde.



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9

1 Figur 1. Relevanta försök med behovsanpassad gödsling i Sverige. Basförsöken är de som  
 2 pågått längst (> 20 år). Inom dessa har gödsling under både ungskogsfasen och i den slutna  
 3 skogen skett med årliga intervall. Intervallsförsöken har pågått sedan 2002 och inom dessa sker  
 4 näringstillförsel med tre olika tidsintervall: varje år, vartannat år eller vart tredje år.  
 5 Bolagsförsöken startade 2002 och inom dessa sker näringstillförsel vartannat år med för  
 6 skogsbruket operationella metoder.

1 **Tabell 2.** Beskrivning av gödslingsbehandlingar i befintliga försök med behovsanpassad gödsling.  
 2 Majoriteten av försök har gjorts med fastgödsel, endast Flakaliden och Asa inkluderar även  
 3 gödselbevattnings. Gödsling på samtliga lokaler har skett med fullgödselmedel där kväve varit i  
 4 form av ammoniumnitrat. Förutom kväve har gödselmedlet innehållit fosfor, kalium, kalcium,  
 5 magnesium och mikronäringsämnen.  
 6

Lokal	Gödslings- regim (U=Ungskog, S=Sluten skog)	Gödsling s-period	Gödslings- intervall (1=varje år, 2=vartannat år, 3=vart tredje år)	Årlig N dos (kg N ha <sup>-1</sup> år <sup>-1</sup> )	Kumulativ N dos (kg N ha <sup>-1</sup> )
<i>Basförsök</i>					
Flakaliden	U+S	1987-	1	50-100	1300
Stråsan	U+S	1967-91	1	60-108	1760-2820
Asa	U+S	1988-	1	50-100	1100
Hjuleberg	U+S	1997-	1	50-75	550
<i>Intervallförsök</i>					
Bräcke	U	2002-	1, 2, 3	75-180	450-600
Valbo	U	2002-	1, 2, 3	75-180	400-600
Grängshammar	U	2002-	1, 2, 3	75-180	400-600
Mölnbacka	U	2002-	1, 2, 3	75-180	400-600
Ebbegärde	U	2002-	1, 2, 3	75-180	400-550
<i>Bolagsförsök</i>					
Gällivare	U	2003-	2	150	450
Vendel	U	2004-	2	125-150	375
Hällefors	U	2003-	2	125-150	400
Gullspång	U	2003-	2	125-150	400
Tranemo	U	2003-	2	125-150	400
Ljungby	U	2003-	2	125-150	400

7

8

## 1 4. Inverkan på miljön

### 2 4.1. Inverkan på mark, vatten och växthusgaser

#### 3 4.1.1. Sammanfattning

4 **Mark:** Inom bestånd som odlas med behovsanpassad gödsling kommer markens förråd  
5 av kol i form av organiskt material att öka. Detta genom ökad produktion av barrförna  
6 och långsammare förnedbrytning. Mykorrhizan kommer att påverkas genom att  
7 mängden rotspetsar tillgängliga för infektion minskar, även om infektionsgraden av  
8 mykorrhiza på dessa rotspetsar troligtvis förblir oförändrad. Artsammansättningen hos  
9 mykorrhizasamhället kommer att ändras så att kvävetålga svamparter gynnas medan  
10 kvävekänsliga svampar försvinner. Med stor sannolikhet kommer mängden mycel i  
11 marken utanför själva rotzonen att minska. Likaså mängden svampfruktkroppar ovan  
12 jord. Även mängden markdjur beroende av svampmycel minskar.

13  
14 **Vatten:** Odlingen innebär ökad risk för näringsläckage av kväve från skogsmarken till  
15 grund- och ytvatten. Förutsatt att den sker på inströmningsområden och att  
16 näringstillförseln sker enligt den beskrivna principen (att näringsgivan som tillsätts  
17 anpassas efter trädens upptagsförmåga) kan kväveläckaget från bestånden till det  
18 omgivande skogslandskapet hållas på en låg nivå under själva odlingsfasen. Gödsling bör  
19 helst ske varje år med relativt små doser. Dessutom måste spridningen av gödselmedlet  
20 vara mycket jämn. Gallring, slutavverkning, stormfällning och omfattande angrepp av  
21 skadegörare på träden kommer precis som vid konventionell skogsodling leda till ökade  
22 näringsläckage. Läckagen kommer att vara betydligt högre (i alla fall 5 - 10 gånger  
23 högre) än de som uppstår vid motsvarande ingrepp/händelser i ogödslad skog, och de  
24 kommer antagligen att vara högre i områden med hög kvävedeposition än i områden med  
25 låg sådan. Precis som vid konventionell skogsodling är det högst troligt att det ökade  
26 läckaget som uppstår i och med att trädens kväveupptag uteblir eller minskar kommer att  
27 avklinga i och med att det nya beståndet etableras. Kväve som läcker från ett  
28 skogsbestånd till markvattnet och når ett utströmningsområde kan transporteras vidare via  
29 vattendrag och sjöar till omgivande hav. Hur stor andel av det kväve som eventuellt  
30 läcker från ett skogsbestånd som når omgivande hav är i dagsläget svårt att exakt  
31 bedöma. En grov skattning föreslår att om 5 % av skogsmarksarealen odlades med  
32 behovsanpassad gödsling skulle läckaget till hav orsakad av verksamheten vara 850 ton  
33 kväve  $\text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ , vilket innebär en tvåprocentig ökning av det nuvarande kväveläckaget  
34 från skogsmark. Emellertid behövs mer kunskap om kväveretention och denitrifikation i  
35 utströmningsområden, vattendrag och sjöar för att kunna göra säkrare bedömningar av  
36 vilket kväveläckage skogsodling med behovsanpassad gödsling kan komma att orsaka.

37  
38 **Växthusgaser:** Odling med behovsanpassad gödsling kommer att påverka utbytet av s.k.  
39 växthusgaser mellan skogslandskapet och atmosfären. Upptaget av koldioxid i levande

1 biomassa kommer att öka. Avgången av koldioxid från marken till atmosfären kommer  
2 att minska. Avgången av lustgas riskerar att öka, i alla fall från skogsmark som klassas  
3 som fuktig eller frisk-fuktig. Pågående studier kommer att leda till säkrare bedömningar  
4 av hur stor lustgasavgång behovsanpassad gödsling kan ge upphov till.

#### 5 **4.1.2. Vattnets flödesväg som perspektiv**

6 I ett skogslandskap påverkar skogsskötselmetoden en rad processer i mark – vatten – luft  
7 systemet. Den följande analysen av behovsanpassad gödsling tar utgångspunkt i vattnets  
8 flödesväg och processer längs denna (se även Grip & Rodhe 1991 för mer utförlig  
9 information om vattnets flödesväg i ett landskapsperspektiv). Analysen baseras på  
10 antagandet att behovsanpassad gödsling endast sker inom de delar av ett  
11 avrinningsområde som kan betecknas som inströmningsområden, d.v.s. där markvattnet  
12 har en flödeskomponent riktad in i grundvattenzonen. I ett utströmningsområde (utgör  
13 ofta ca. 10 % av ett avrinningsområde) har grundvattnet en flödeskomponent riktad ut ur  
14 grundvattenzonen. Markprofilen är ofta någon form av humuspodsol med mäktigt  
15 mårager, eller torv. Åtminstone tidvis står grundvattenytan högt, och en del av vattnet  
16 avrinner ytligt, kanske utan kontakt med mineraljorden. Ur näringsläckagesynpunkt är  
17 bestånd inom utströmningsområden helt olämpliga som objekt för gödsling.

#### 18 **4.1.3. Interaktionen mellan bestånd och atmosfär**

19 En viktig avsikt med behovsanpassad gödsling är snabb tillväxt i ungskogfasen. Jämfört  
20 med ogödslad ungskog av samma ålder kommer behandlad ungskog att vara högre och  
21 mer sluten. Mängden barr och således även den totala barrytan (LAI – Leaf Area Index)  
22 kommer att vara avsevärt större. Till exempel var LAI efter 21 år av behovsanpassad  
23 gödsling inom Flakalidens försöksområde (Västerbotten)  $8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  mark, jämfört med  $3.3$   
24  $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$  mark i ogödslade bestånd.

#### 25 *Torr- och våtdeposition*

26 Barrträd är effektiva filter för partiklar i luft. Större beståndshöjd och LAI leder till högre  
27 torrdeposition av sådana partiklar. Torrdepositionen består av havssalter, men också  
28 partiklar från antropogena källor som förbränning (sulfat, sot, etc.) bidrar med i växlande  
29 omfattning. I torrdepositionen ingår också katjoner ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) och deras  
30 anjoner ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) huvudsakligen från havssalt. Torrdeposition kommer att öka något i  
31 bestånd med behovsanpassad gödsling jämfört med motsvarande obehandlade bestånd till  
32 följd av att bestånden blir effektivare filter för luften. Eftersom mängden joner som  
33 frigjorts från havsytan eller från olika antropogena källor inte förändras, kommer  
34 torrdepositionen i bestånd runt de behandlade bestånden att få en något lägre  
35 torrdeposition. Våtdepositionen bör däremot inte ändras eftersom den totala  
36 nederbördsmängden och däri lösta ämnen inte kommer att påverkas.

#### 38 *Avdunstning*

1 En effekt av att bestånd med behovsanpassad gödsling är högre än motsvarande  
2 ogödslade bestånd, är att ytans skrovlighet ökar. Detta ger större turbulens, vilket leder  
3 till att intensiteten i evaporationen från kronskiktet när det är vått blir högre.  
4 Transpirationen från träden kommer även att öka till följd av den högre ytkonduktansen.  
5 Vattenbrist kan dock begränsa denna effekt eftersom stomata då stängs. Större LAI ger  
6 även större magasinering av nederbörd i kronskiktet både vid regn och vid snö. Mängden  
7 vatten som direkt kan avgå till atmosfären från ett vått kronskikt kommer därmed att öka.  
8 Högre bestånd med större LAI får ett lägre albedo, vilket betyder att mängden tillgänglig  
9 energi ökar. Trots att man mäter och beräknar en betydande ökning av avdunstningen  
10 från enskilda bestånd behandlade med behovsanpassad gödsling, jämfört med  
11 närliggande obehandlade bestånd, blir effekten på landskapsnivån troligtvis högst  
12 marginell. I en analys av avdunstning beräknad ur vattenbalanselement i stora  
13 avrinningsområden (263 – 25 030 km<sup>2</sup>) i Sverige, fann man ingen trend i avdunstningen  
14 från 1931 till 1992 trots en fördubbling av beståndsvolymer i söder och en ökning med  
15 40 % i norr (Brandt 1992). Vidare har det varit en ökning av den löpande tillväxten med  
16 40 % i dessa skogar från 1955 till 1985. Andelen skogsmark låg mellan 50 och 70 % i de  
17 studerade avrinningsområdena. Om albedot minskar med 4 % på 5 % av  
18 skogsmarksarealen ökar den tillgängliga energin i landskapet med 2 promille, vilket  
19 sedan fördelas på latent och sensibelt värme. Med fördelningen hälften-hälften skulle  
20 avdunstningen kunna öka med mindre än en halv mm per år i landskapet. För utförligare  
21 information om vattendynamiken i barrskogsekosystem se Grip & Hällgren (2005).

#### 22 4.1.4. Mårlagret

23 Mår används som beteckning för skiktet av organiskt material (O-horisont) ovanpå  
24 mineraljorden i skogsmark och karaktäriseras av att det är föga omblandat och inte  
25 blandat med mineraljord. Mårlagret domineras av biologiska processer som växternas  
26 näringsupptag och mikrobiell nedbrytning av dött organiskt material. I bestånd med  
27 behovsanpassad gödsling kommer marken (efter det att beståndet slutit sig) att vara  
28 ständigt beskuggad av det täta kronskiktet. Detta leder till att temperaturen i mårlagret  
29 blir lägre i gödslade bestånd, än i motsvarande ogödslade. Till detta bidrar också att  
30 marken senare blir snötäckt (eftersom nederbörd i form av snö till stor del fastnar i det  
31 täta kronskiktet), att snötäcket blir tunnare och att snösmältningen kommer senare. En  
32 senareläggning av snötäckets utveckling samt ett totalt sett tunnare snötäcke leder till  
33 djupare tjäle. En djupare tjäle leder till en fördröjning av markens uppvärmning under vår  
34 och sommar, varför en djupare tjäle påverkar processerna i mårlagret inte bara under  
35 vintern, utan även under tillväxtsäsongen. Den större biomassan i kronskiktet vid  
36 behovsanpassad gödsling kommer att leda till större mängd fallförna i form av barr och  
37 kvistar tillförs mårlagret.

#### 38 *Mikrobiell omsättning av kol och kväve*

39 En stor del av de näringsämnen som tillförs vid behovsanpassad gödsling kommer att tas  
40 upp av träden i det växande beståndet. En stor del kommer även att på olika sätt lagras i  
41



1 marken. I mårлагret immobiliseras kväve via flera olika processer; kemisk  
2 immobilisering (genom att nitrit binds till fenoler), direktupptag av gödselmedlet av  
3 markens mikroorganismer, direktupptag av träd och markväxter med återföring till  
4 marken som barr-, blad och rotförna. Oavsett vilken process som ansvarar för  
5 immobiliseringen kommer delar av kvävet så småningom åter att mobiliseras.

6 Vid behovsanpassad gödsling kommer kvävehalten i förnan att vara förhöjd, och  
7 därmed minskar kvoten mellan halten kol och kväve (C/N) i mårлагret. Inom Flakalidens  
8 försöksområde var C/N i mårлагret 26 i bestånd som behandlats med behovsanpassad  
9 gödsling och 33 i obehandlade bestånd år 2004 (efter 16 års gödsling). Inom  
10 försöksområdet i Asa (Småland) var C/N 23 i såväl behandlade som obehandlade bestånd  
11 år 1998 (efter 10 års gödsling). Som väntat har alltså mårлагrets C/N minskat efter  
12 gödslingen i Flakaliden, medan detta inte inträffat i Asa, där kvoten redan tidigare var  
13 låg. Att effekten av kvävegödsling på C/N i mårлагret är olika i olika delar av landet är  
14 rimligt och bestäms till stor del av markens kvävestatus innan gödslingen. I södra Sverige  
15 har depositionen av luftburet kväve under den senaste 60-årsperioden lett till förhöjda  
16 kvävehalter i skogsmark redan utan extra kvävetillförsel via gödsling.

17 Omsättningen av kol i marken sköts av olika markorganismer, d.v.s. markfauna,  
18 mykorrhizasvampar, saprofytiska svampar och markbakterier. De olika grupperna av  
19 organismer är specialiserade på att nyttja olika kolkällor. Mykorrhizasvampar nyttjar kol i  
20 form av socker från sina värdväxter, saprofytiska svampar nyttjar kol bundet i komplexa  
21 föreningar i förnan medan markbakterier (beroende på sort) kan nyttja lättillgängliga  
22 kolföreningar som socker och organiska syror som exuderas från rötter likaväl som mer  
23 svårtillgängliga komplexa kolföreningar. Effekten av kvävegödsling skiljer sig mellan  
24 organismgrupperna. Eftersom mykorrhizasvampar är beroende av kol från sina  
25 värdväxter, och växters kolallokering till rötterna minskar när kvävetillgången ökar,  
26 riskerar kvävegödsling att negativt påverka mykorrhizasvampar. Studier har visat graden  
27 av mykorrhizainfektion på trädrötter inte påverkas av kvävegödsling, men att  
28 artsammansättningen ändras så att kvävetålga svampar gynnas (Kårén & Nylund 1997,  
29 Fransson et al. 2000, Jonsson et al. 2000, Taylor et al. 2000). Däremot minskar det s.k.  
30 externa myceliet i marken (Nilsson & Wallander 2003) vilket kan leda till minskad  
31 kapacitet för upptag av andra näringsämnen än kväve (Read 1992, Wallenda et al. 2000),  
32 samt till minskad förekomst av arter ur markfaunan som lever på mycel (Lindberg &  
33 Persson 2004). Inom Flakalidens försöksområde har man funnit att behovsanpassad  
34 gödsling leder till att förekomsten av kvalster som lever av svampmycel minskar, men att  
35 artrikedomen inom organismgruppen förblir oförändrad eftersom vissa arter även gynnas  
36 av gödslingen (Remén et al. 2008). Hos svamparna leder gödsling dessutom till att  
37 fruktkroppsbildningen minskar (även om den hos ett fåtal kvävetålga arter, i.e. *Paxillus*  
38 *involutus* och *Lactarius rufus* kan gynnas) (Laiho 1970, Menge & Grand 1978, Ohenoja  
39 1978, Wiklund et al. 1995). Kunskapen om hur saprofytiska svampar påverkas av  
40 kvävegödsling är i dagsläget mycket mer begränsad än kunskapen om hur  
41 mykorrhizasvampar påverkas. Det finns ett fåtal studier som föreslår att dessa svampar  
42 påverkas mindre av ökad kvävetillgång än mykorrhizasvampar.

1 Även markbakterier påverkas av gödsling. På senare tid har många studier ägnats  
2 åt att fastställa bidraget av bakterier respektive svampar till olika  
3 markmikroorganismssamhällen. Kvoten mellan svamparnas biomassa och bakteriernas  
4 biomassa har jämförts mellan olika ekosystem och mellan olika experimentella  
5 behandlingar inom dessa ekosystem. Gödsling har visat sig leda till att markens s.k.  
6 svamp – bakteriekvot minskar (Högberg et al. 2007a). Detaljerade studier föreslår att  
7 både svampars och bakteriers tillväxt och biomassa kan minska av kvävegödsling, men  
8 att svamparnas biomassa minskar mer än bakteriernas (Högberg et al. 2007b, Demoling  
9 et al. 2008). Man vet för närvarande mycket lite om vilken betydelse detta har på  
10 ekosystemets funktion. Studier i ett norrländskt kvävegödslingsförsök (Norrliden) och i  
11 en naturlig näringsgradient (Betsele utanför Lycksele) har demonstrerat att minskad  
12 svamp – bakteriekvot korrelerar positivt med ökad kvävemineralsningshastighet  
13 (Högberg et al. 2007a).

14

#### 15 *Nedbrytning av förnan*

16 Aktiviteten hos markorganismssamhället i marken leder till nedbrytning av det organiska  
17 materialet (förnan). Nedbrytning kan över tiden vanligen beskrivas med en negativt  
18 exponentiell funktion eller en negativt asymptotisk funktion. Vid nedbrytning av barr,  
19 blad och annan fotosyntetisk vävnad karakteriseras det initiala förloppet (månader till år)  
20 av en relativt hög massförlust och den senare delen av förloppet av väldigt långsam  
21 nedbrytning. Dessa bägge faser av nedbrytning av organiskt material regleras av olika  
22 faktorer. Ett stort antal studier utförda på ligninrik förna (exempelvis barrförna) har visat  
23 att hög kvävehalt ger långsammare nedbrytning (Knorr et al. 2005). Man har föreslagit att  
24 detta beror på att hög kvävetillgång leder till minskad aktivitet hos de enzymer hos  
25 markens mikroorganismer som bryter ner lignin (Carreiro et al. 2000, Sinsabaugh et al.  
26 2002) eller på att ämnen som bildas när lignin bryts ned bildar andra väldigt  
27 svårnedbrytbara föreningar (Berg & Staaf 1981, Fog 1988, Dijkstra et al. 2004). Ökad  
28 kvävetillgång i ett barrskogsekosystem resulterar därmed i ökad inlagring av organiskt  
29 material i marken (för empiriska data från svenska skogsekosystem se exempelvis  
30 Hyvönen et al. 2008), dels som en effekt av ökad förnaproduktion, dels som en effekt av  
31 långsammare nedbrytning av förnan (Knorr et al. 2005, Hobbie 2008, Zak et al. 2008).

32

#### 33 *Läckage av kväve*

34 Markvatten som perkolerar genom mårлагret kan föra med sig näringsämnen, först och  
35 främst till den underliggande mineraljorden, men även vidare till grundvattnet. Vad gäller  
36 kväve är det främst som nitrat eller i lösta organiska former (s.k. DON – Dissolved  
37 Organic Nitrogen), som det finns risk för att de ska föras bort från mårлагret med  
38 markvattnet. Bildningen av nitrat i mårлагret styrs av mineralisering och nitrifikation,  
39 d.v.s. omvandling av organiskt kväve till oorganiskt ammonium med påföljande  
40 omvandling till nitrat. Mängden organiskt material med hög kvävehalt ökar i mårлагret  
41 vid behovsanpassad gödsling. En del av detta är tillgängligt för mineralisering och  
42 nitrifikation, med påföljande risk för kväveläckage till mineraljorden eller lustgasavgång.

#### 4.1.5. Mineraljorden

Mineraljorden i skogsmark inkluderar E-, B- och C-horisonterna. B-horisonten används som beteckning på den del av marken där ämnen som lakas ut från mårslagret och E-horisonten anrikas. B-horisonten övergår successivt i C-horisonten, vilken anses vara mer eller mindre opåverkad av de jordmånsbildande processerna. Markvatten från mårslagret som perkolerar ner i den underliggande markhorisonten innehåller både löst organiskt kol (s.k. DOC – Dissolved Organic Carbon) och DON. Vid utflödet från mårslagret är C/N i det lösta organiska materialet relativt hög och sjunker sedan successivt vid passagen ner genom markprofilen till följd av selektiv mineralisering och fastläggning. Inom Flakalidens försöksområde var C/N i mårslagret 26 respektive 33 inom bestånd med behovsanpassad gödsling och inom obehandlade bestånd. Det lösta organiska materialet i markvattnet från mårslagret hade C/N på ungefär 70, i båda behandlingarna. I B-horisonten var C/N 22 i båda behandlingarna, men på 50 cm djup, d.v.s. under B-horisonten, hade C/N i markvattnet sjunkit till 8 inom bestånd med behovsanpassad gödsling och till 13 inom obehandlade bestånd. I Flakaliden var alltså läckaget av löst organiskt material från mårslagret kvävefattigare än mårslagret, medan läckaget från B-horisonten var kväverikare än B-horisonten. Detta visar dels att i B-horisonten fastläggs eller mineraliseras organiskt bundet kol i högre utsträckning än vad organiskt bundet kväve fastläggs, dels att kolbristen för mikroorganismerna i B-horisonten är större under behovsanpassad gödsling än under obehandlade bestånd.

#### Läckage av kväve

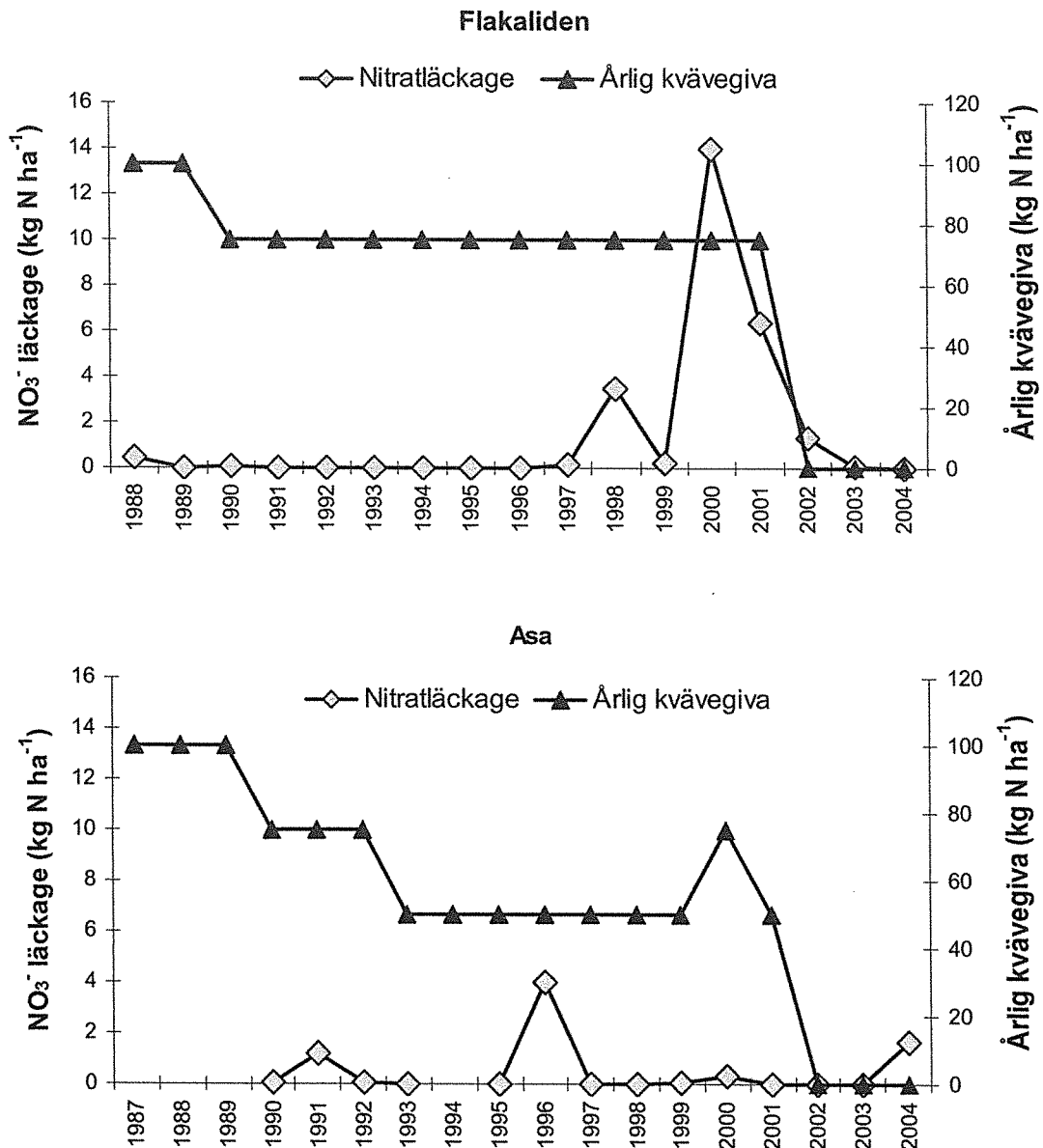
Behovsanpassad gödsling påverkar markvattnet som dräneras från B-horisonten. Under ungskogsfasen (1987 – 1998) tillfördes totalt 975 kg N ha<sup>-1</sup> till bestånd med behovsanpassad gödsling på Flakaliden och 825 kg N ha<sup>-1</sup> i Asa. Detta ledde till att läckaget av nitrat ökade på bägge lokalerna, medan DON läckaget ökade i Asa men minskade i Flakaliden (Tabell 3). Det lägre läckaget av DON från B-horisonten inom gödslade än inom ogödslade bestånd på Flakaliden (Tabell 3) beror på att markvattenflödet var mindre i de gödslade bestånden.

**Tabell 3.** Medelläckage (kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>) från B-horisonten över perioden 1991 – 1997 av DON-N och NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N från ungskogbestånd behandlade med behovsanpassad gödsling inom Flakaliden och Asa försöksområden. Data är medelvärden ± medelfelet. Opublicerade data från H. Grip.

	Flakaliden		Asa	
	DON	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	DON	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Kontroll	1,06±0,23	0,00±0,00	0,86±0,13	0,06±0,04
Behovsanpassad gödsling	0,66±0,23	0,03±0,02	1,35±0,23	0,76±0,57

Mätningarna från Flakaliden och Asa under ungskogsfasen indikerar att kväveläckaget från markens B-horizont vid behovsanpassad gödsling går att hålla på en låg nivå (Tabell 3). Vid konventionell skogsgödsling räknar man med att 5 – 10 % av det tillsatta kvävet

1 läcker från beståndet i samband med gödslingen (d.v.s. 7.5 – 15 kg N ha<sup>-1</sup>) (Melin &  
2 Nõmmik 1988, Nohrstedt & Westling 1995, Ring 2007). Kväveförlusterna vid  
3 behovsanpassad gödsling är således inte högre än de vid konventionell gödsling.  
4 Mätningarna från Flakaliden och Asa från den period då bestånden började sluta sig,  
5 visade emellertid att det är viktigt att anpassa gödselgivan till trädens minskade behov av  
6 kväve som uppstår i och med detta. Under perioden 1996 – 2004 uppmättes markanta  
7 nivåer av kväveläckage från bestånd med behovsanpassad gödsling inom både Flakaliden  
8 och Asa försöksområden (Fig. 2). Det episodiskt höga läckaget på Flakaliden 2000 –  
9 2001 (14 respektive 6 kg N ha<sup>-1</sup>, Fig. 2) sammanföll dels med att bestånden med  
10 behovsanpassad gödsling slöt sig, dels med ett större angrepp av granrost (*Chrysomyxa*  
11 *abietis*) på träden, vilket medförde ett onormalt stort barravfall.  
12



Figur 2. Nitratläckage ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) från markens B-horisont och årlig kvävegiva ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) inom bestånd som behandlats med behovsanpassad gödsling på Flakaliden och i Asa åren 1987 – 2004. Opublicerade data från H. Grip.

Inom intervallförsöken som startade 2002 och finns på fem olika platser i landet (se Fig. 2) har man uppmätt högre nivåer av nitratläckage under den första femårsperioden (tidig ungskogsfas) än vad man mätte på Flakaliden och Asa under motsvarande period. Årlig gödsling (F1) med  $75 - 100 \text{ kg N ha}^{-1}$  gav ett medelläckage på  $0.5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ , gödsling vartannat år (F2) med  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  gav  $1.5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ , medan gödsling vart tredje år (F3) med  $150 - 180 \text{ kg N ha}^{-1}$  gav  $2.2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  (Tabell 4) (Bergh et al. 2008).

1 **Tabell 4.** Medelläckage av nitrat ( $\text{kg N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ ) till markvattnet i intervallförsöken 2002 - 2006  
 2 och bolagsförsöken de två åren 2003 och 2005. Försökens lokalisering i landet syns i Fig. 2. Data  
 3 är medelvärden ( $n=2-5$ )  $\pm$  medelfelet. Data från intervallförsöken från Bergh et al. 2008. Data för  
 4 bolagsförsöken är från H. Grip (opublicerade).  
 5

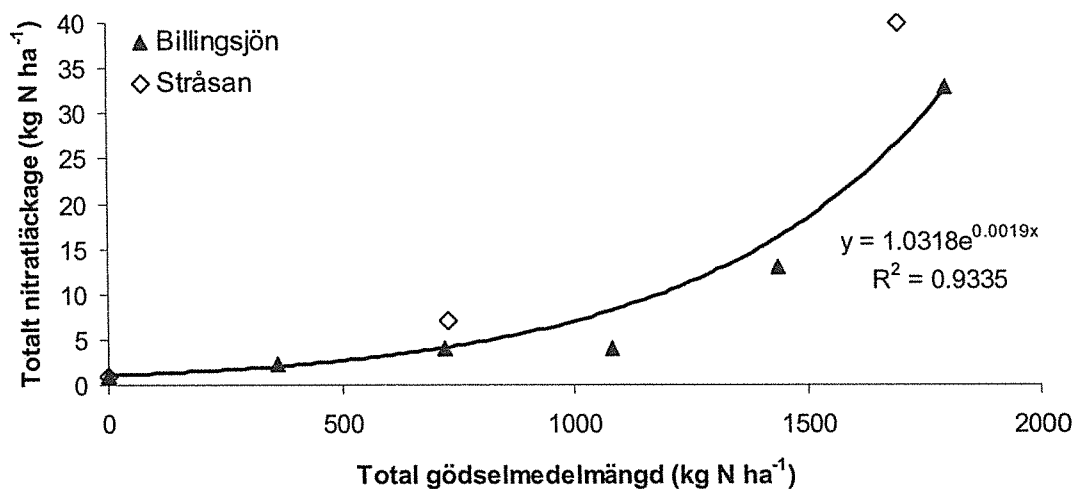
<b>Intervallförsök</b>						
	<i>Bräcke</i>	<i>Valbo</i>	<i>Grängshammar</i>	<i>Mölnbacka</i>	<i>Ebbegärde</i>	
C	0,01 $\pm$ 0,01	0,14 $\pm$ 0,14	0,07 $\pm$ 0,02	0,03 $\pm$ 0,02	0,01 $\pm$ 0,01	
F1	0,04 $\pm$ 0,02	1,37 $\pm$ 0,83	0,02 $\pm$ 0,02	0,60 $\pm$ 0,50	0,53 $\pm$ 0,24	
F2	1,67 $\pm$ 1,11	0,27 $\pm$ 0,23	0,99 $\pm$ 0,83	1,59 $\pm$ 0,80	3,08 $\pm$ 2,16	
F3	5,01 $\pm$ 4,99	2,53 $\pm$ 1,24	2,24 $\pm$ 1,86	0,63 $\pm$ 0,62	0,81 $\pm$ 0,80	
<b>Bolagsförsök</b>						
	<i>Gällivare</i>	<i>Vendel</i>	<i>Hällefors</i>	<i>Gullspång</i>	<i>Tranemo</i>	<i>Ljungby</i>
C	ej mätt	ej mätt	0,00 $\pm$ 0,01	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,01
F	ej mätt	ej mätt	14,7 $\pm$ 14,5	2,2 $\pm$ 2,2	92,9 $\pm$ 36,8	32,8 $\pm$ 20,6

6  
 7 I bolagsförsöken där gödselmedlet sprids med traktor från stickvägar har kväveläckaget  
 8 visat sig vara mycket variabelt (2-90  $\text{kg nitratkväve ha}^{-1} \text{år}^{-1}$ ) (Tabell 4).  
 9 Försöksmaterialet är ännu väldigt begränsat och orsakerna till variationen är inte  
 10 analyserade. Det finns en misstanke att spridningen av gödselmedlet varit väldigt ojämn  
 11 vilket orsakat oproportionerligt stort läckage till enskilda lysimetrar. Försöket visar att  
 12 metoden för maskinell spridning måste justeras, för att försäkra helt jämn spridning.  
 13 Dessutom visar både intervallförsöken och bolagsförsöken att gödselgivorna under den  
 14 tidiga ungskogsfasen bör vara lägre än de som nu använts (se Tabell 2). Resultaten från  
 15 en nyligt genomförd modellsimulering av behovsanpassad gödsling visar på ett komplext  
 16 samband mellan träd tillväxt och läckage till markvattnet (Nordin et al. 2009). Gödsling  
 17 med  $1400 \text{ kg N ha}^{-1}$  under en 100-årsperiod kan exempelvis ge en fördubblad skörd av  
 18 stambiomassa jämfört med om ingen gödsling sker. Samtidigt ökar läckaget av  
 19 oorganiskt kväve till markvattnet med 16 %. Om gödselgivan under 100-årsperioden  
 20 fördubblas ökar skörden av stambiomassa ytterligare 20 % medan läckaget av oorganiskt  
 21 kväve ökar ytterligare 67 % (jämfört med stambiomassa respektive läckage vid gödsling  
 22 med den lägre gödselgivan).  
 23

24 Förutom att mindre mängder kväve kan läcka från marken under odlingsfasen, kommer  
 25 det att läcka vid gallring och slutavverkning samt vid omfattande angrepp av skadegörare  
 26 (se även avsnitt 5.2.5) och vid stormfällning. Även vid konventionellt skogsbruk (med  
 27 eller utan gödsling), uppstår vanligtvis ett visst kväveläckage i och med dessa  
 28 åtgärder/händelser (se exempelvis Rosén et al. 1996, Ring 2007). I regioner med låg  
 29 kvävedeposition (norra Skandinavien) är emellertid det ökade kväveläckaget efter  
 30 avverkning relativt lågt (0, 25 och  $0,75 \text{ kg N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$  det första respektive andra året efter  
 31 avverkning, jämfört med  $0,09 \text{ kg N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$  innan avverkning) (Löfgren et al. 2009)  
 32 medan det ökar med kvävedepositionen, och i områden med hög kvävedeposition (södra  
 33 Skandinavien) kan det vara så högt som  $35 \text{ kg N ha}^{-1} \text{år}^{-1}$  (Löfgren & Westling 2002,

1 Akselsson et al. 2004). Ungefär liknande förhållanden gäller troligtvis vid stormfällning.  
2 Ring (2007) föreslår att kväveläckaget vid slutavverkning kan beräknas utifrån markens  
3 C/N (ju lägre C/N desto högre läckage) och/eller skogsmarkens bonitet (ju högre bonitet  
4 desto högre läckage). Kväveläckage som uppstår i samband med slutavverkning  
5 avklingar vanligtvis inom ungefär en femårsperiod (Ring 2007).

6 Angående kväveläckage vid avverkning av bestånd som behandlats med  
7 behovsanpassad gödsling finns i dagsläget inga användbara empiriska data. I samband  
8 med slutavverkning i andra gödslingsexperiment där kvävegivorna varierat från  
9 obehandlad kontroll till en ackumulerad dos av upp till 1800 kg N ha<sup>-1</sup> har nitratläckaget  
10 mätts med lysimeterteknik under två till fem år efter slutavverkningen (Ring 1995,  
11 Berdén et al. 1997). Resultaten tyder på att läckaget ökar exponentiellt när den  
12 ackumulerade dosen ökar. Vid så stor total dos som 1200 kg N ha<sup>-1</sup> gav regressionen ett  
13 totalt nitratläckage vid avverkning av ca. 10 kg N ha<sup>-1</sup> (Fig. 3). I dessa försök användes  
14 inte fullgödselmedel, vilket skiljer dem från försöken med behovsanpassad gödsling.  
15



16  
17 Figur 3. Totalt nitratläckage (kg N ha<sup>-1</sup> under 2 – 5 år) efter slutavverkning i gödslingsexperiment  
18 med olika ackumulerad kvävegiva under en 20-årsperiod. Data från Ring 1995 (Billingsjön) och  
19 Berdén m. fl. 1997 (Stråsan).  
20

21 Naturvårdsverket gav år 2000 SLU och SMHI i uppdrag att bl.a. beräkna kväve- och  
22 fosforbelastningen till Sveriges omgivande havsbassänger som underlag till HELCOM  
23 (Helsingforskommissionen) och PLC-4 (Pollution Load Compilation) dels utgående från  
24 flodmynningsdata för år 2000, dels som långtidsmedelvärden. Man gjorde även en  
25 flödesnormaliserad källfördelning av kväve och fosfor, för vilken man använde  
26 medelvärden av avrinningen för perioden 1985 – 1999. Först beräknades belastningen  
27 från källorna (bruttobelastningen), därefter förändringen under transporten från källa till  
28 hav och slutligen beräknades vad som nådde havet (nettobelastningen). Beräkningarna  
29 byggde på ett stort rikstäckande underlagsmaterial; markanvändning, typhalter för olika  
30 markanvändningar, avrinningsdata och uppgifter om punktutsläpp. Metodiken innebär att

1 valda typhalter från ett antal markklasser får stort genomslag på den beräknade totala  
 2 belastningen. Vartefter underlagsmaterialet förbättras kommer därför resultaten att  
 3 justeras. I dagsläget ger dock detta arbete den bästa skattningen av förlusterna från olika  
 4 markanvändning till Sveriges omgivande hav (Tabell 5). Utifrån denna kan vi jämföra  
 5 kväveförluster från skogsodling med behovsanpassad gödsling, från åkermark och från  
 6 konventionellt skogsbruk med nuvarande gödslingsintensitet. Vid beräkningen antogs  
 7 omloppstiden för behovsanpassad gödsling vara 75 år i norra och 45 år i södra Sverige.  
 8 Nettoläckaget beräknades som produkten av en retentionsfaktor och bruttoläckaget.  
 9 Bruttoläckaget antogs vara lika stort under hela omloppstiden som under ungskogsfasen i  
 10 Flakaliden och Asa (Tabell 3), med tillägg av läckage som antas uppstå vid tre gallringar  
 11 och en slutavverkning enligt vad som uppmätts i Billingsjön och Stråsan (Fig. 3).  
 12 Resultatet av denna grova beräkning visar att om behovsanpassad gödsling skulle ersätta  
 13 konventionellt skogsbruk (med nuvarande gödslingsintensitet) på 5 % av  
 14 skogsmarksarealen, skulle den ökade kvävebelastningen på haven motsvara 2 % av  
 15 nuvarande belastning från jordbruksmark eller skogsmark (Tabell 5).

16 **Tabell 5.** Nettobelastning (efter retention) av kväve (ton år<sup>-1</sup> avrundat till närmaste 100-tal) från  
 17 jordbruksmark och skogsmark med separat redovisning av den antropogena belastningen. Därtill  
 18 den beräknade nettobelastningen om behovsanpassad gödsling skulle praktiseras på 5 % av  
 19 skogsmarksarealen. Data på nettobelastning från jordbruksmark och skogsmark, inklusive  
 20 beräknat antropogent bidrag kommer från Naturvårdsverkets Rapport 5815 – Näringsbelastning  
 21 på Östersjön och Västerhavet 2006. [http://www.naturvardsverket.se/sv/Nedre-](http://www.naturvardsverket.se/sv/Nedre-meny/Webbokhandeln/ISBN/5800/978-91-620-5815-9)  
 22 [meny/Webbokhandeln/ISBN/5800/978-91-620-5815-9](http://www.naturvardsverket.se/sv/Nedre-meny/Webbokhandeln/ISBN/5800/978-91-620-5815-9)

23

Tillrinningsområde till havsbassäng	Jordbruksmark	Läckage från jordbruk	Skogsmark inkl. hygge	Läckage från dagens skogsbruk (hyggen)	Tillkommande läckage om BAG tillämpas på 5 % av skogsmarksarealen
Bottenviken	800	400	11 700	500	150
Bottenhavet	2 700	1 600	16 800	1 100	350
Eg. Östersjön	12 100	8 600	3 700	300	100
Öresund	3 700	3 100	0	0	0
Kattegatt	13 700	9 700	5 700	600	200
Skagerrak	1 500	800	900	100	50
<b>Hela Sverige</b>	<b>34 400</b>	<b>24 300</b>	<b>38 700</b>	<b>2 600</b>	<b>850</b>

24

#### 25 *Läckage av fosfor*

26 Även fosfor kan följa med perkolerande markvatten ut ur mårлагret ned i mineraljorden.  
 27 Emellertid fungerar järn- och aluminiumoxiderna i B-horisonten som en kraftfull sänka  
 28 för fosfatfosfor och man kan knappast förvänta ökat läckage efter gödsling med fosfor (se  
 29 exempelvis Piirainen et al. 2004, Ring et al. 2006). I Flakaliden var medelhalten av  
 30 fosfatfosfor i vattnet som lämnade mårлагret under 2003 betydligt högre inom bestånd  
 31 behandlade med behovsanpassad gödsling (1,45 mg P L<sup>-1</sup>) än i obehandlade bestånd (0,02  
 32 mg P L<sup>-1</sup>). Däremot fanns ingen skillnad mellan behandlingarna i läckaget från B-



1 horisonten (i medeltal 0,03 mg P L<sup>-1</sup> för bägge behandlingarna under åren 1998 – 2003).  
 2 Detta indikerar att fosfor binds mycket effektivt i markens B-horisont.

3  
 4 *Läckage av löst organiskt kol*

5 Organiskt kol som går i lösning i mårлагret följer som DOC det perkolerande markvattnet  
 6 ned i mineraljorden. I mineraljorden fastläggs eller mineraliseras DOC. Eftersom  
 7 produktionen av barr- och kvistförna är mycket större i bestånd med behovsanpassad  
 8 gödsling än i obehandlade bestånd, kommer också utflödet av DOC från mårлагret att  
 9 vara större. På Flakaliden var utflödet av DOC från mårлагret efter 15 års behandling  
 10 med behovsanpassad gödsling ungefär dubbelt så stort från behandlade bestånd som från  
 11 obehandlade (Tabell 6). DOC från mårлагret fastläggs eller mineraliseras i E-horisonten,  
 12 eller följer med det perkolerande markvattnet ned i B-horisonten, där det mesta fastläggs.  
 13 Både på Flakaliden och i Asa var utflödet av DOC under B-horisonten på 50 cm djup i  
 14 markprofilen endast en väldigt liten del av den mängd som samma år lämnade mårлагret  
 15 (Tabell 6). På Flakaliden var läckaget av DOC från B-horisonten större inom  
 16 obehandlade bestånd än inom behandlade (Tabell 6), till största delen beroende på att  
 17 vattenflödet inom obehandlade bestånd är högre. I Asa var läckaget av DOC större från  
 18 behandlade än från obehandlade bestånd (Tabell 6). Den ökande halten organiskt kol i  
 19 markprofilen ökar dess vattenhållande förmåga och jonbyteskapacitet, två faktorer som  
 20 båda bidrar till att höja ståndortens produktionsförmåga.

21  
 22 **Tabell 6.** Läckage av löst organiskt kol (DOC) (kg C ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>) från mårлагret och från  
 23 mineraljordens B-horisont från bestånd behandlade med behovsanpassad gödsling under 15 års  
 24 tid inom Flakaliden och Asa försöksområden. Opublicerade data från H. Grip.

	Flakaliden		Asa	
	DOC från mårлагret*	DOC från B-horisonten	DOC från mårлагret	DOC från B-horisonten
Kontroll	340±110	10±2	ej mätt	10±1
Behovsanpassad gödsling	600±100	5±1	ej mätt	14±2

26 \* Mätningar endast 2003.

27  
 28 *Vittring*

29 Vittring är en process som främst associeras med mineraljorden, men som även sker i  
 30 nedre delen av mårлагret där det finns mineralpartiklar, delvis ditförda av grävande  
 31 organismer. Både i mårлагret och i mineraljorden styrs vittringen av partialtrycket av CO<sub>2</sub>  
 32 (som bestämmer kolsyrhalten i markvattnet) samt av tillförseln av organiska syror och  
 33 vätejoner (H<sup>+</sup>) från rötter och mykorrhiza. Partialtrycket av CO<sub>2</sub> i marken beror bland  
 34 annat på den luftfyllda porvolymen som till stor del bestäms av vattenhalten. Högre  
 35 vattenhalt ger högre partialtryck CO<sub>2</sub> (högre kolsyrhalt i markvattnet) eftersom utbytet  
 36 av markgas med atmosfären försvåras. I bestånd med behovsanpassad gödsling kommer

1 marken att vara torrare än i obehandlade bestånd eftersom den höga träd tillväxten kräver  
2 ett större vattenupptag. Dessutom kommer en större andel av nederbörden fastna i det täta  
3 kronskiktet och avdunsta därifrån utan att först ha nått marken. Lägre vattenhalt i marken  
4 leder till att partialtrycket av CO<sub>2</sub> kommer att vara lägre, och därmed kommer  
5 kolsyrahalten i markvattnet att bli lägre i bestånd med behovsanpassad gödsling än i  
6 obehandlade bestånd. En annan process som kan bidra till minskad vittring i bestånd med  
7 behovsanpassad gödsling är att träd och andra växter minskar sin allokering av kol till  
8 rötterna, och därmed minskar utsöndringen av organiska syror från rötter och mykorrhiza.  
9 Däremot ökar mängden DOC från förnan i mårslagret, men huvuddelen av detta DOC har  
10 lägre syrastyrka än rot- och mykorrhizaexuderade organiska syror. Även själva tillväxten  
11 hos träd (och andra växter) som innebär ett nettoupptag av kationer (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>) i  
12 utbyte mot vätejoner (H<sup>+</sup>) bidrar till vittringen. De vätejoner som frigörs från rötterna  
13 förbrukas vid vittring av mineralpartiklar i rotzonen, varvid ytterligare kationer  
14 frigörs. Nettoupptaget av kationer innebär att rotzonen försuras (om  
15 vittringshastigheten + mineraliseringen av förna som frigör kationer + depositionen av  
16 kationer med nederbörden < växtupptaget), mer ju större ackumuleringen av  
17 kationer i biomassan är. Man skulle därför vänta sig en dramatisk markförsurning i  
18 samband med den enorma tillväxtökningen i samband med behovsanpassad gödsling.  
19 Eftersom gödselmedlet är balanserat, d.v.s. innehåller alla element som träden behöver  
20 och i rätt proportioner är det dock troligt att effekten uteblir. Efter 12 års behandling med  
21 behovsanpassad gödsling i Flakaliden och Asa fanns ingen pH-skillnad i mårslagret  
22 mellan behandlade och obehandlade bestånd. Eventuellt läckage av NO<sub>3</sub><sup>-</sup> har även en  
23 försurande effekt då NO<sub>3</sub><sup>-</sup> tar med sig kationer från markhorisonten. Då det ingår i  
24 principen för behovsanpassad gödsling att inget läckage ska ske är risken för detta  
25 emellertid liten, vilket de ovan refererade mätningarna av pH i mårslagen i Flakaliden och  
26 Asa även pekar på. Det finns däremot indicier för minskad vittring till följd av  
27 behovsanpassad gödsling. Kisel- och bikarbonatläckaget med markvattnet från B-  
28 horisonten har minskat både på Flakaliden och i Asa (dock signifikant endast på  
29 Flakaliden). Sammanfattningsvis indikerar resultaten att vittringshastigheten både i  
30 mårslagrets nedre skikt och i mineraljorden kommer att minska vid behovsanpassad  
31 gödsling, men att markvattnets pH inte kommer att ändras nämnvärt.

#### 32 4.1.6. Utströmningsområden

33 Utströmningsområden i ett skogslandskap har i flera fall visats fungera som  
34 retentionszoner för både kväve och fosfor som transporterats med markvatten och/eller  
35 grundvatten. Grundvattentransporterat kväve i form av nitrat som når rotzonen i ett  
36 utströmningsområde kan tas upp av markens mikroorganismer och växter, eller  
37 denitrifieras. Eftersom markmiljön i utströmningsområden kan vara anaeroba, finns goda  
38 förutsättningar för denitrifikation. Om förutsättningarna för denitrifikation är optimala  
39 kommer allt nitrat att omvandlas till inert kvävgas (N<sub>2</sub>). Om däremot förhållandena inte  
40 är fullständigt anaeroba, så ökar andelen av kvävet som avges som lustgas (N<sub>2</sub>O) i stället

1 för N<sub>2</sub>. Grundvattentransporterat DON kan i utströmningsområdet mineraliseras till  
2 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, vilket i sin tur kan nitrifieras till NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

3 Utströmningsområden utgör normalt en mindre del av ett avrinningsområde,  
4 kanske 10 %. Den ökade belastningen på ett enskilt utströmningsområde från  
5 behovsanpassad gödsling beror på hur stor andel av dess avrinningsområde som nyttjas  
6 för odlingen. Under själva odlingsfasen kan läckaget från bestånd med behovsanpassad  
7 gödsling hållas lågt. Om det vid behovsanpassad gödsling skulle läcka 1 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>  
8 utöver det som normalt läcker från skogsmark, skulle utströmningsområdet få ta emot 0.1  
9 kg extra kväve per ha och år vid odling av 1 % av skogsmarksarealen inom  
10 avrinningsområdet. Om behovsanpassad gödsling skulle tillämpas på 20 % av  
11 avrinningsområdet skulle utströmningsområdet få ta emot 2 kg extra kväve ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>.  
12 Enskilda år (till exempel vid avverkning) skulle kväveläckaget kunna bli större (upp emot  
13 30 kg N ha<sup>-1</sup>) och utströmningsområdet skulle sådana år få ta emot mellan 3 och 60 kg  
14 extra kväve ha<sup>-1</sup>, beroende på hur stor andel av den behandlade skogen inom  
15 avrinningsområdet som avverkats. Det kan vara olämpligt att ordna bestånd med  
16 behovsanpassad gödsling på ett sätt så att ett begränsat utströmningsområde får ta emot  
17 vatten från ett stort område med bestånd i samma produktionsfas, på samma sätt som det  
18 är olämpligt att i konventionellt skogsbruk slutavverka ett stort område med avrinning till  
19 ett begränsat utströmningsområde.

#### 20 4.1.7. Ytvatten

21 Kväve i form av nitrat och DON som inte fångats upp i utströmningsområden kommer ut  
22 i vattendragen. I vattendrag kommer en del av näringstillskottet att tas upp av antingen  
23 alger och makrofyter eller av bakterier och därmed omvandlas till organiskt bundet  
24 kväve. När denna biomassa senare dör och delvis bryts ned av bl.a. bakterier bildas löst  
25 organiskt material eller organiska sediment i lugnvattenstråk och sjöar. Vid fullständig  
26 nedbrytning av den bildade biomassan frigörs igen oorganiskt kväve och koldioxid. Man  
27 har beräknat att retentionen av kväve från skogsmark i vattendrag och sjöar är 3700 ton  
28 år<sup>-1</sup> i norra Sverige och 4600 ton år<sup>-1</sup> i södra Sverige, vilket motsvarar 11 respektive 31 %  
29 av bruttobelastningen (Brandt och Ejehed 2003). I Tabell 5 har hänsyn tagits till denna  
30 retention, när vi beräknat belastningen på hav från behovsanpassad gödsling.

#### 31 4.1.8. Interaktionen mellan skogslandskap och atmosfär

32 Behovsanpassad gödsling har potential att interferera med den storskaliga interaktionen  
33 mellan skogslandskapet och atmosfären. Detta genom att påverka flödet av olika  
34 ”växthusgaser” som koldioxid (CO<sub>2</sub>), lustgas (N<sub>2</sub>O) och metan (CH<sub>4</sub>).

##### 35 *Koldioxid*

36 En process i mårлагret som tydligt påverkas av ökad kvävetillförsel är avgivningen av  
37 CO<sub>2</sub> från marken (den s.k. markrespirationen). Bildningen av CO<sub>2</sub> i marken kommer dels  
38 från växtrötter och associerad mykorrhiza (och benämns då autotrof respiration), dels från  
39 nedbrytning av organiskt material (och benämns då heterotrof respiration) (se exempelvis  
40

1 Högberg & Read 2006). Mängden CO<sub>2</sub> från den autotrofa respirationen (rötterna) styrs i  
 2 första hand av mängden rötter och dessas aktivitetsnivå. Vid ökad kvävetillgång ändrar  
 3 träd (och andra växter) allokeringmönster så att en mindre andel av det kol som binds av  
 4 fotosyntesen i trädens barr/blad biomassa allokeras till rötterna. Detta leder till att både  
 5 rotbiomassan och rotaktiviteten minskar. Bildningen av CO<sub>2</sub> från den heterotrofa  
 6 respirationen (nedbrytningen av dött organiskt material i marken) bestäms av mängden  
 7 förna samt av dess kvalitet. Behovsanpassad gödsling leder till att den totala mängden  
 8 fallförna i ett granbestånd troligtvis mer än fördubblas, dock minskar tillförslen av  
 9 rotförna. Samtidigt förändras den kemiska sammansättningen av både fallförna och  
 10 rotförna.

11 Tillgängliga empiriska data från Flakaliden visar att efter 20 års gödsling var  
 12 CO<sub>2</sub>-produktionen från marken i bestånd med behovsanpassad gödsling hälften så stor  
 13 som i obehandlade bestånd (Tabell 7) (Olsson et al. 2005). Genom att göra ett storskaligt  
 14 ringbarkningsförsök kunde den autotrofa CO<sub>2</sub>-produktionen från marken separeras från  
 15 den heterotrofa delen (eftersom ringbarkning effektivt stänger av kolflödet till rötterna  
 16 och således stryker kolkällan för den autotrofa respirationen) (för en beskrivning av  
 17 denna teknik se Högberg et al. 2001). Det visade sig att den autotrofa delen av  
 18 markrespirationen minskade med 75 % av gödslingen, medan den heterotrofa delen  
 19 minskade med 20 % (Tabell 7) (Olsson et al. 2005). Att behovsanpassad gödsling leder  
 20 till mycket lägre autotrof respiration kan tolkas som att träden allokerar mycket mindre  
 21 energi i form av kolhydrater från fotosyntesen till att extrahera näring från marken när  
 22 näringstillgången är god, jämfört med när den är mindre god. Den minskade allokeringen  
 23 av kol till rötterna utnyttjas i stället till fotosyntetisk och strukturell växtvävnad, som  
 24 barr, stam och grovrötter. Den lägre heterotrofa respirationen efter behovsanpassad  
 25 gödsling kan förklaras av att förnan är mer svårnedbrytbar, att förnabildningen från  
 26 finrötter och mykorrhiza minskar och på att marktemperaturen är lägre i behandlade  
 27 bestånd än i obehandlade.

28  
 29  
 30  
 31  
 32

**Tabell 7.** Markrespiration (ton kol ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>) i bestånd behandlade med behovsanpassad gödsling och i obehandlade bestånd inom Flakalidens försöksområde i Västerbotten. Vid mätningen hade behandling med behovsanpassad gödsling pågått i 20 år. Data från Olsson et al. (2005).

	Sammanlagd (autotrof och heterotrof) markrespiration	Autotrof markrespiration	Heterotrof markrespiration
Kontroll	6,8	3,5	3,3
Behovsanpassad gödsling	3,4	0,8	2,6

33  
 34  
 35  
 36  
 37

#### *Lustgas*

En potentiell risk med kvävegödsling är ökad bildning av N<sub>2</sub>O och påföljande emission till atmosfären. Ökad tillförsel av kväve till ett ekosystem som leder till ökad mängd nitrat i marklösningen ger under de flesta omständigheter en ökad avgivning av N<sub>2</sub>O från

1   marken. Uttryckt som "Global Warming Potential", (GWP) är N<sub>2</sub>O 298 gånger starkare  
2   "växthusgas" än CO<sub>2</sub>.

3         N<sub>2</sub>O bildas både vid denitrifikation och vid nitrifikation. För att denitrifikation  
4   skall ske krävs anaerob (syrefri) miljö, samt tillgång på både nitrat och lättnedbrytbart  
5   kol. Under ideala omständigheter resulterar denitrifikation i fullständig reduktion av  
6   nitrat till inert kvävgas (N<sub>2</sub>). Olika störningar av processen leder dock till bildning och  
7   avgivning av N<sub>2</sub>O, t.ex. leder viss förekomst av syre till ökad andel N<sub>2</sub>O. Potentialen för  
8   bildning av N<sub>2</sub>O är betydligt större vid denitrifikation än vid nitrifikation. Dock påvisas  
9   N<sub>2</sub>O-avgång i samband med nitrifikation i de flesta miljöer. Förutsättningarna för  
10  nitrifikation är tillgång på ammonium och syre. Globalt har N<sub>2</sub>O-avgång från tillförd  
11  konstgödsel uppskattats till mellan 3 och 7 % av den tillförda mängden kväve (Crutzen et  
12  al. 2008). Så kraftig omvandling till N<sub>2</sub>O har dock inte uppmätts i skogsmark där andelen  
13  av det tillförda kvävet som avgår som N<sub>2</sub>O som mest ligger mellan 0.5 och 1%  
14  (Macdonald et al. 1997, Papen & Butterbach-Bahl 1999, Maljanen et al. 2006). I  
15  undersökta gödslingsförsök i Sverige och Finland har den årliga tillförseln av kväve  
16  varierat mellan 33 och 125 kg N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Kumulerad mängd tillförd kväve i samma  
17  försök varierar mellan 600 och 2800 kg N ha<sup>-1</sup>. För att balansera en avgivning av N<sub>2</sub>O  
18  motsvarande 1% av det tillförda kvävet fordras en fastläggning av mellan 40 och 160 kg  
19  C ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>, räknat på en avgivning motsvarande 3% av tillförd mängd kväve fordras  
20  mellan 120 och 460 kg C ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>. Baserat på sammanställning av data från ett stort antal  
21  försök i Sverige och Finland utgör denna nivå på kolinlagring i trädbiomassa mellan 3  
22  och 20% av vad som faktiskt fastlagts i de olika försöken. Utöver den ökade mängden kol  
23  i trädbiomassa så ökar även inlagringen av kol i marken vid gödsling (se till exempel  
24  Franklin et al. 2003, Hyvönen et al. 2008). Med avseende på växthusgasbalansen visar  
25  beräkningar att den positiva effekten av ökad kolinlagring i marken vid behovsanpassad  
26  gödsling, kan kompensera för den negativa effekten av ökad N<sub>2</sub>O-avgång, oavsett trädens  
27  tillväxt (Tabell 9).

### 28 29   *Metan*

30  Ytterligare en växthusgas som kan påverkas av intensivodling av skog är metan (CH<sub>4</sub>).  
31  Bildningen av CH<sub>4</sub> sker emellertid i syrefria miljöer med god tillgång på organiskt  
32  material och kommer därför inte att påverkas då sådana förhållanden inte kommer att  
33  råda i bestånd aktuella för behovsanpassad gödsling. Biologisk oxidering kan däremot  
34  komma att påverkas. De två mest betydelsefulla processerna som konsumerar  
35  atmosfäriskt CH<sub>4</sub> är kemisk oxidering i atmosfären och biologisk oxidering i det översta  
36  markskiktet i alla terrestra ekosystem. Tillförsel av kväve till olika ekosystem minskar  
37  markens förmåga att oxidera atmosfäriskt CH<sub>4</sub>. Den negativa effekten av kväve på  
38  oxidationen av metan härrör dels från konkurrens mellan CH<sub>4</sub> och ammonium om  
39  enzymerna (Bedard & Knowles 1989), dels från en ren salteffekt (Adamsen & King  
40  1993). Medan några studier rapporterar ingen eller negativ effekt av kväve på  
41  oxidationshastighet av metan (Dobbie & Smith 1996, Börjesson & Nohrstedt 1998),  
42  rapporterar andra en positiv korrelation mellan kvävetillgång och oxidationshastighet

1 (Castro et al. 1995, Goldman et al. 1995). Vidare fann Börjesson & Norstedt (1998)  
2 indikationer på att ökad kolinlagring i skogsmark till följd av kvävegödsling kan medföra  
3 ökad metanoxidation. Dock är oxidationshastigheten per ytenhet även under ostörda  
4 betingelser väldigt låg, varför den negativa effekten av ökad kvävetillförsel inte bör  
5 ansättas så stor betydelse. I jämförelse med den ökade inlagringen av kol i marken bör  
6 effekten kunna betraktas som negligerbar.

#### 7 **4.1.9. Effekter av behovsanpassad gödsling på växthusgasbalansen**

8 Ett nyligt genomförd modellsimulering visar att om behovsanpassad gödsling tillämpas  
9 på 5% av den svenska skogsmarksarealen så kan skogens nettoupptag av växthusgaser  
10 öka med 3,5 – 6,2 miljoner ton koldioxid per år jämfört med om ingen gödsling sker  
11 (Nordin et al. 2009). Denna beräkning är ett medeltal över en 100-årsperiod som beaktar  
12 gallringar, slutavverkningar och nyskogsetableringar. Siffrorna anger det genomsnittliga  
13 flödet av kol in i skogsekosystemet via fotosyntesen. För att förstå vilka effekter  
14 skogsodling med behovsanpassad gödsling får på växthusgasbalansen måste även räknas  
15 in effekter som uppstår vid tillverkning och spridning av gödselmedlet samt effekter som  
16 uppstår när skogsråvaran som producerats ersätter användningen av fossila råvaror i  
17 samhället. Ett exempel på en sådan beräkning finns redovisad i kapitel 7.

18

## 4.2. Inverkan på flora och fauna

### 4.2.1. Sammanfattning

**Artrikedom:** Bestånd lämpliga för behovsanpassad gödsling är likåldriga planteringar av gran på medelhöga till höga boniteter. Potentialen för bestånden att utveckla en hög strukturell diversitet (i alla fall under en normal omloppstid) är således begränsad även utan behovsanpassad gödsling. Effekterna av behandlingen på flora och fauna i de enskilda åtgärdade bestånden kommer ändå att vara signifikanta. Behandlingen kommer att leda till så hög slutenhet av trädskiktet att markvegetationen blir väldigt sparsam eller helt försvinner (främst i södra Sverige). Inslag av lövträd och förekomsten av död ved kommer att vara begränsad. De förkortade omloppstiderna jämfört med konventionellt skogsbruk kommer att missgynna organismer som behöver lång tid för sin etablering (exempelvis epifytiska lavar).

**Habitatförlust och fragmentering:** För många organismer (främst triviala sådana med tanke på urvalet av lämpliga bestånd) kommer verksamheten att orsaka habitatförluster i skogslandskapet. För de allra flesta organismer som i dagsläget klassas som ovanliga eller hotade är det emellertid troligt att dessa förluster inte kommer att vara avsevärt större om behovsanpassad gödsling bedrivs i begränsad omfattning än de förluster som redan orsakas av dagens konventionella skogsbruk. Verksamheten kan även bidra till ökad fragmentering av skogslandskapet, särskilt om gödslade bestånd fungerar som spridningsbarriärer. Det går idag inte att bedöma vilka organismer detta skulle kunna beröra.

**Förekomsten av skadegörare:** Angående skadegörare (svampparasiter och insekter) på växter finns för närvarande inget empiriskt stöd för att behovsanpassad gödsling av gran skulle innebära en ökad risk för angrepp på träden. Det finns heller inget stöd för att behandlade bestånd i skogslandskapet skulle kunna fungera som källpopulationer för skadegörare. Även om gödslingen i sig inte orsakar ökade angrepp, kan angrepp som ändå förekommer, och har en tillfälligt tillväxtnedsättande effekt på träden, orsaka att trädens behov av kväve tillfälligtvis minskar, vilket i sin tur ökar risken för kväveläckage till markvattnet.

### 4.2.2. Kväve som begränsande faktor för biologiska processer i skogsekosystem

Boreala barrskogsdominerade ekosystem är naturligt kvävefattiga (Tamm 1991). Således påverkar skogsgödsling med kväve de flesta arter av både växter och djur. Vad gäller växter kan effekten av kväve delas in i direkta och indirekta effekter. En direkt effekt är att ökad kvävetillgång leder till ökad tillväxt. Olika växter har emellertid olika potential att öka sin tillväxt när kvävetillgången ökar. Resultatet blir att konkurrensen mellan arter

1 förskjuts, så att gräs och örter gynnas på bekostnad av kryptogamer (mossor och lavar)  
2 och bärris (Strengbom et al. 2001, Nordin et al. 2005, Strengbom & Nordin 2008). En  
3 indirekt effekt består i att arter på högre trofinivåer i ekosystemet, t.ex. olika insekter  
4 knutna till växter som minskar eller ökar, också kommer att minska eller öka i  
5 motsvarande utsträckning.

6 En annan viktig indirekt effekt av kvävegödsling består i att många växter när de  
7 gödslas kan utsättas för fler och större angrepp av patogener och herbivorer (Throop &  
8 Lerda 2004, Burdon et al. 2006). Detta beror på att kvävegödsling förbättrar växternas  
9 kvalitet som föda för dessa organismer. Även om många insektsherbivorer gynnas av  
10 ökad kvävetillgång på individnivån, är det långt ifrån säkert att det leder till ökade  
11 populationsstorlekar (Kytö et al. 1996, Strengbom et al. 2005). Hos många insekter  
12 begränsas populationsstorleken av predation från exempelvis fåglar, smågnagare, andra  
13 insekter, samt inte minst av parasitoider. Då även predatorerna gynnas av ökad  
14 kvävetillgång (genom förbättrad tillgång på föda) kan resultatet bli oförändrade, eller till  
15 och med minskade tätheter av insektsherbivorer (man säger att populationsstorleken hos  
16 insektsherbivorena kontrolleras via s.k. "top-down control"). Hos många  
17 insektsherbivorer fluktuerar populationsstorlekarna kraftigt över tiden, och större  
18 insektsutbrott kan förekomma. Även om olika väderfaktorer samt plötsligt minskad s.k.  
19 top-down control anses vara viktiga faktorer som styr insektsutbrott, bör det noteras att  
20 det finns studier som indikerar att utbrottsfrekvensen tättnar i kväveberikade ekosystem  
21 (Bobbink et al. 1998).

22 Från jordbrukssystem är det känt att monokulturer, speciellt i kombination med  
23 gödsling, kan leda till ökade angrepp från både herbivorer och parasitsvampar (Root  
24 1973, Burdon & Chilvers 1982). Speciellt känsliga blir monokulturer med begränsad  
25 genetisk variation (Gilligan & van den Bosch 2008). Som exempel kan nämnas att  
26 odlingssystem där man använt sig av blandade arter eller blandningar innehållande olika  
27 genetiska varianter påtagligt kan minska skadeproblem och spridning av  
28 svampsjukdomar (Finckh et al. 2000, Garrett & Mundt 2000, Mundt 2002). Även om det  
29 för närvarande saknas empiriska data för att samma skulle gälla för barrskogssystem, så  
30 finns det åtminstone en teoretisk grund för att bestånd med behovsanpassad gödsling i  
31 kombination med begränsad eller ingen genetisk variation hos de odlade träden, kan vara  
32 mer sårbara för skadeangrepp.

### 33 **4.2.3. Habitatförlust och fragmentering**

34 Det konventionella skogsbruk som bedrivits i Sverige sedan 1900-talets inledning  
35 har haft som uttalad målsättning att vidmakthålla en jämn och uthållig avverkningsnivå.  
36 För detta krävs en så jämn ålderklassfördelning som möjligt, och således har tillgången  
37 av lämpliga habitat för många skogslevande arter under perioden minskat, samtidigt som  
38 skogslandskapet har fragmenterats. Fragmentering innebär att en tidigare  
39 sammanhängande habitatarea delas upp i flera mindre ytor som kan vara mer eller mindre  
40 isolerade från varandra (D'Eon 2002). Ökad distans likaväl som ökad ogästvänlighet  
41 mellan habitat kan bidra till isolering. Fragmenteringseffekten är dessutom beroende av



1 hur stora de enskilda fragmenten är. I ett landskap där tillgången av lämpliga habitat  
2 minskat, samtidigt som de kvarvarande habitaterna är fragmenterade, innebär att  
3 kolonisation av nya habitat och/eller återkolonisation av gamla habitat kan försvåras eller  
4 förhindras, vilket bidrar till ökad utdöenderisk (Andrén 1994, Hanski 1999).

5 Även om det i norra Sverige finns granskogar av hög bonitet som utseendemässigt  
6 skulle kunna likna bestånd med behovsanpassad gödsling, ligger de naturligt bördiga  
7 bestånden normalt på utströmningsområdena i landskapet medan bestånd med  
8 behovsanpassad gödsling kommer att ligga på inströmningsområdena, och omloppstiden  
9 för bestånden är betydligt längre än de 70 – 80 år man tänker sig för bestånd med  
10 behovsanpassad gödsling. Detta innebär att de bestånd med behovsanpassad gödsling  
11 kommer att avvika från den omgivande skogen och medföra att en habitatstyp som  
12 tidigare inte funnits representerat i skogslandskapet i norra Sverige kommer att skapas. I  
13 södra Sverige beräknas omloppstiden för bestånd med behovsanpassad gödsling bli ca. 45  
14 år. Även om detta är kortare än omloppstiden för konventionellt odlade granbestånd så  
15 kommer skillnaden mot omgivande skog bli mindre än i norra Sverige.

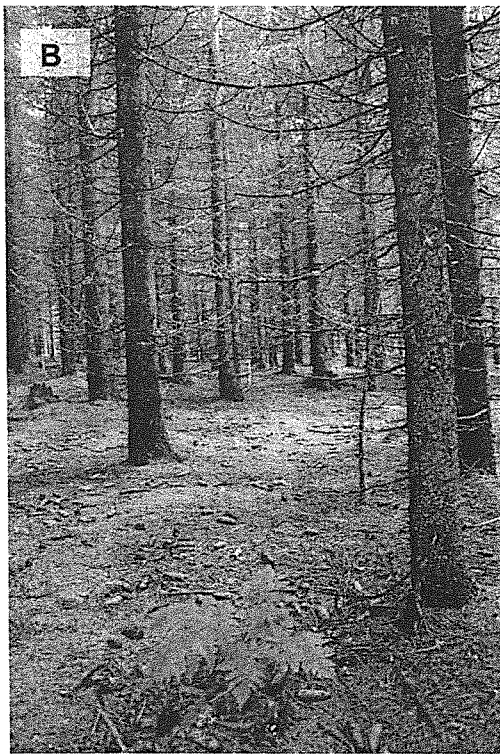
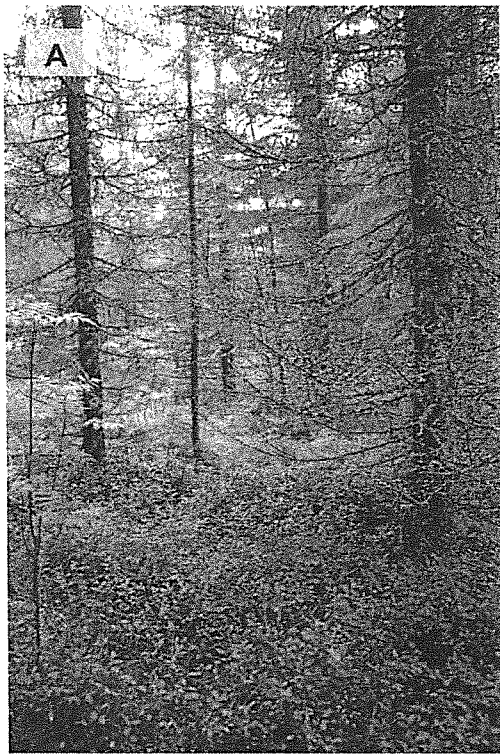
16 Bestånd med behovsanpassad gödsling kommer att anläggas inom arealer av  
17 skogsmark som redan tidigare nyttjats för konventionellt skogsbruk. Det anses att dagens  
18 konventionella skogsbruk redan i nuläget utgör ett problem för många av  
19 skogslandskapets röd-listade arter (se exempelvis Hjältén et al. 2007) och det går inte att  
20 bedöma om läget i någon större utsträckning skulle försämrats om behovsanpassad  
21 gödsling på en begränsad areal blir en del av framtidens skogsbruk. Detta eftersom det i  
22 nuläget är svårt att peka ut exakt vilka organismer som skulle kunna påverkas av  
23 verksamheten då förekomsten av en rad organismer (speciellt svampparasiter, insekter,  
24 smågnagare, fåglar och småvilt) är dåligt studerade i bestånd med behovsanpassad  
25 gödsling (Witzell 2008). Effekter av behovsanpassad gödsling på olika organismers  
26 förekomst på landskapsnivå är i princip inte alls studerat.

#### 27 **4.2.4. Skogsmarksvegetation**

28 Skogsbestånd lämpliga för behovsanpassad gödsling är sådana som redan i nuläget  
29 nyttjas för konventionellt skogsbruk, är grandominerade och med mark av frisk karaktär.  
30 Normalt har sådana bestånd av produktionsskog (när de passerat ungskogsfasen) i norra  
31 Sverige en fältskiktsvegetation dominerad av dvärgrisväxter (främst blåbärris, men även  
32 lingonris och kråkbärris). Vanligtvis finns även inslag av det vanliga gräset kruståtel  
33 samt enstaka örter (som linnéa, skogstjärna, ekorrbar, gullris och midsommarblomster).  
34 Bottenskiiktsvegetationen är dominerad av vanliga skogsmossor som husmossa,  
35 väggmossa, kammossa och olika kvastmossor. Befintliga lavar är mestadels trädlevande,  
36 två vanligt förekommande arter i granskog är blåslav och näverlav. I landets mer sydliga  
37 delar är depositionsnivåerna av luftburna kväveföroreningar betydligt högre än i norra  
38 Sverige och klimatet gynnsammare för trädillväxten. Unga granskogar karakteriseras  
39 därför av högre slutenhet än i norra Sverige. Markvegetationen består av en mer  
40 kvävegynnad flora, d.v.s. så länge ljuset inte är starkt begränsande finns ett större inslag  
41 av gräs och örter än vad som är vanligt i nordligare områden med lägre nivåer av

1 kvävedeposition. I och med att skogen sluter sig blir markvegetationen dominerad av  
2 mossor. Förutom de vanliga skogsmossorna är olika arter av stjärnmossor (*Mnium* spp.)  
3 och gräsmossor (*Brachytecium* spp.) vanliga.

4 För markvegetationen inom ett avgränsat skogsbestånd innebär behovsanpassad  
5 gödsling att tillgången på kväve och andra näringsämnen kraftigt ökar samtidigt som  
6 ljusinsläppet genom trädskiktet minimeras. Väldigt få arter som normalt lever i  
7 granskogsdominerad skogsmark kommer att återfinnas i någon större omfattning inom  
8 åtgärdade bestånd. De två pågående intensivgödslingsförsöken på Flakaliden och i Asa  
9 visar att markvegetationens respons emellertid skiljer sig mellan södra och norra Sverige.  
10 På Flakaliden finns både fält- och bottenskiktsvegetation på gödslade ytor, men  
11 fältskiktsvegetationen på ytorna är endast 10 % av den på ogödslade ytor och  
12 förekommer fläckvis (Fig. 4, Tabell 8). Även bottenskiktsvegetationen har minskat och är  
13 på gödslade ytor ungefär en tredjedel av den på ogödslade ytor (Tabell 8). På ogödslade  
14 ytor dominerar väggmossa, medan gödslade ytor domineras av nordgräsmossa (Tabell 9).  
15 I Asa har gödslingen resulterat i att den mossdominerade markvegetationen kraftigt  
16 minskat och i princip finns ingen markvegetation på gödslade ytor (Fig. 4, Tabell 8).  
17 Förekomsten av epifytiska lavar missgynnas av behovsanpassad gödsling. Förekomsten  
18 är emellertid låg även i konventionellt odlade ungsskogar. Troligtvis är lavars långsamma  
19 spridning den huvudsakliga orsaken till den låga förekomsten, då transplantationsförsök  
20 demonstrerat att miljöförhållandena i ungskogar inte är ogynnsamma för de arter av lavar  
21 som normalt återfinns i äldre skogar (Hilmo 2002). I bestånd med behovsanpassad  
22 gödsling är ljusstillgången i kronskiktets nedre del mycket låg vilket begränsar lavars  
23 tillväxt och kan bidra till den låga förekomsten av lavar i sådana bestånd.



1

2  
3  
4  
5  
6

Figur 4. Markvegetationens utseende inom Flakaliden och Asa försöksområden efter 20 år av behovsanpassad gödslning. Obehandlad (A) respektive behandlad (B) yta på Flakaliden, obehandlad (C) respektive behandlad (D) yta i Asa. Foto Joachim Strengbom.

1 **Tabell 8.** Abundans (träffar yta<sup>-1</sup>) av de vanligast förekommande fält- och bottenskipts arter inom  
 2 bestånd med behovsanpassad gödsling på Flakaliden och i Asa. Arterna har inventerats längs 60  
 3 m långa transekter med punkt-frekvens metoden. Data anger medel (n=3-4) ± medelfelet.  
 4 Opublicerade data från A. Nordin och J. Strengbom.  
 5

	Kontroll	Behovsanpassad gödsling
<b>Flakaliden</b>		
Totalt fältskikt	1082 ± 64	120 ± 37
<i>Vaccinium myrtillus</i>	605 ± 11	21 ± 11
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	123 ± 30	4 ± 3
<i>Melampyrum sylvaticum</i>	19 ± 3	0 ± 0
<i>Solidago virgaurea</i>	10 ± 4	2 ± 0
<i>Deschampsia flexuosa</i>	302 ± 44	60 ± 17
<i>Gymnocarpium</i>	3 ± 2	19 ± 2
<i>Dryopteris</i>	0 ± 0	1 ± 0
Totalt bottenskikt	312 ± 37	101 ± 20
<i>Hylocomium splendens</i>	44 ± 7	0 ± 0
<i>Pleurozium schreberi</i>	150 ± 16	23 ± 5
<i>Dicranum scorparium</i>	33 ± 6	6 ± 3
<i>Brachytecium starkei</i>	5 ± 3	61 ± 12
<b>Asa</b>		
Totalt fältskikt	27 ± 26	2 ± 2
<i>Deschampsia flexuosa</i>	27 ± 27	2 ± 2
Totalt bottenskikt	222 ± 62	28 ± 16
<i>Hylocomium splendens</i>	35 ± 12	0 ± 0
<i>Pleurozium schreberi</i>	85 ± 35	2 ± 2
<i>Brachytecium starkei</i>	31 ± 7	12 ± 9
<i>Plagiotecium</i> spp.	3 ± 1	5 ± 3
<i>Mnium</i> spp.	25 ± 9	7 ± 7

6

#### 7 4.2.5. Skadesvampar och skadeinsekter

8 Tidigare framfördes ibland att kvävegödsling av naturligt mycket kvävefattiga miljöer  
 9 kunde öka växternas förmåga att skydda sig mot växtparasiter och skadeinsekter. För  
 10 närvarande finns i litteraturen inte något större stöd för denna teori, utan snarare råder  
 11 enighet kring att gödsling i de flesta fall gynnar både de svampparasiter och  
 12 skadeinsekter som angriper växter, då gödslingen förbättrar växternas kvalitet som  
 13 substrat för angriparna (Throop & Lerdau 2004, Burdon et al. 2006). Förekomsten av  
 14 svampparasiter och skadeinsekter styrs dock även av andra miljöfaktorer, och  
 15 klimatfaktorer har normalt sett väldigt stor betydelse (Ritchie 2000). Studier har visat att  
 16 klimatvariabler kan förstärka den positiva effekten av kväve på skadegörarna, likaväl som  
 17 helt motverka den. Tillväxt av växtparasitsvampar gynnas exempelvis normalt sett av  
 18 fuktiga förhållanden. Ökad kvävetillgång i kombination med fuktig väderlek gynnar  
 19 därmed ofta tillväxt av parasitsvampar (se exempelvis Strengbom et al. 2006,  
 20 Wiedermann et al. 2007). Torr och varm väderlek har ofta motsatt effekt, och kan därmed  
 21 effektivt motverka parasitsvampangrepp (Strengbom et al. 2006, Wiedermann et al.  
 22 2007).

1

## 2 *Svampparasiter på gran (ovan jord)*

3 Gran kan drabbas av ett stort antal svampparasiter, men flertalet orsakar inga större  
4 tillväxtbortfall. Knopp- och grentorka (*Gremmeniella abietina*) är kanske den sjukdom  
5 som har potential att orsaka störts skada. Omfattande angrepp av *G. abietina* på gran är  
6 dock främst vanliga i talldominerade skogar. Finska studier indikerar att gödsling av tall  
7 kan minska trädens resistens mot *G. abietina* (Kallio et al. 1985, Ylimartimo 1990, 1991,  
8 Ylimartimo & Haansuu 1993). Inga rapporter finns dock om huruvida gödsling påverkar  
9 resistensen hos gran. Andra vanliga svampparasiter som angriper unga/medelålders  
10 granar och som eventuellt kan orsaka märkbara effekter på trädens tillväxt inkluderar  
11 grankotterost (*Thekopsora areolata*), granens gråbarrsjuka (*Lirula macrospora*),  
12 granrost (*Chrysomyxa abietis*) och skvattramrost (*Chrysomyxa ledi*) (se [http://www-  
13 skogsskada.slu.se/SkSkPub/MiPub/Sida/SkSk/SkogsSkada.jsp](http://www-skogsskada.slu.se/SkSkPub/MiPub/Sida/SkSk/SkogsSkada.jsp)). Gråbarrsjuka angriper  
14 främst barr på lågt sittande grenar i täta bestånd och gynnas av fuktig väderlek.  
15 Infektioner av hela träd är ovanliga, men om de upprepas årligen kan det medföra  
16 negativa effekter på tillväxten. Grankotterost angriper unga granskott och kraftiga  
17 årsskott med god tillväxt verkar vara speciellt mottagliga. Angripna skott böjs kraftig och  
18 kan bli S-formade. Hårt angripna skott dör. Svampens fruktkropps bildning sker  
19 huvudsakligen på grankottar. Grankotterost kan orsaka smärre tillväxtstörningar om  
20 toppskott angrips. Svampen finns i två varianter varav den ena värdväxlar med hägg och  
21 den andra med pyrola-arter. Sporer sprids till granens honblommor från föregående års  
22 döda hägg- eller pyrolablad. Granrost och skvattramrost är relativt harmlösa då epidemier  
23 är sällsynta och då angrepp vanligtvis orsakar endast ringa skador på träden. Inom  
24 Flakalidens försöksområde uppmättes emellertid förhöjda kväveläckage till markvattnet i  
25 samband med ett omfattande angrepp av rost på träden (Fig. 2). I möjligaste mån bör  
26 alltså gödsling undvikas i samband med omfattande rostangrepp.

27

## 28 *Svampparasiter på markvegetation*

29 Även andra skogsväxter än träd kan angripas av svampparasiter. Studier har visat att ökad  
30 kvävetillgång kan öka förekomsten av svampinfektioner på flera vanliga  
31 skogsmarksväxter (t.ex. på blåbärs- och lingonris, kruståtel, linnéa och skogsstjärna)  
32 (Nordin et al. 1998, 2006, Strengbom et al. 2002, 2006). På blåbärsris ökar exempelvis  
33 förekomsten av bladparasitsvampar (som förorsakar bladavfall), medan på lingonris ökar  
34 angreppen av snöskyttesvamp (som dödar riset). Eftersom förekomsten av  
35 fältskiktsvegetation kommer att vara sparsam inom bestånd som nyttjas för  
36 behovsanpassad gödsling, kommer dessa effekter inte vara särskilt betydelsefulla.

37

## 38 *Skadeinsekter på gran*

39 Många skadeinsekter på gran angriper främst torkstressade träd och är beroende av död  
40 ved för sin föryngring, i.e. granbarkborre (*Ips typographus*) och sextandad barkborre  
41 (*Pityogenes chalcographus*). Jättebastborre (*Dendroctonus micans*) angriper även den  
42 främst stressade träd, men till skillnad från de två föregående arterna ynglar den i levande

1 ved (se <http://www-skogsskada.slu.se/SkSkPub/MiPub/Sida/SkSk/SkogsSkada.jsp>).  
2 Granar i bestånd med behovsanpassad gödsling bör inte vara speciellt utsatta för  
3 torkstress eftersom utvalda bestånd företrädesvis kommer att finnas på friska marker och  
4 risken för angrepp av dessa bark/ved borrarande skadeinsekter bör därför inte vara större än  
5 i omgivande icke behandlade bestånd. Skadeinsekter som konsumerar barr bör gynnas av  
6 att barren vid behovsanpassad gödsling får en något högre kvävekoncentration än vad  
7 som är vanligt. Insekter som skulle kunna tänkas orsaka skada på gran inom behandlade  
8 bestånd inkluderar granbarrstekel (*Pristiphora abietina*), nordlig gransågstekel  
9 (*Pristiphora subarctica*) och olika arter av granbarrlöss (se [http://www-](http://www-skogsskada.slu.se/SkSkPub/MiPub/Sida/SkSk/SkogsSkada.jsp)  
10 [skogsskada.slu.se/SkSkPub/MiPub/Sida/SkSk/SkogsSkada.jsp](http://www-skogsskada.slu.se/SkSkPub/MiPub/Sida/SkSk/SkogsSkada.jsp)). Mer eller mindre  
11 kroniska angrepp av granbarrstekel har observerats i granbestånd på före detta betes- eller  
12 slåttermarker. Granbarrstekeln anses gynnas av torra och varma somrar. Långvariga och  
13 kraftiga angrepp kan medföra tillväxtförluster. Utbredningen av nordlig gransågstekel är  
14 inte helt kartlagd, främst har angrepp observerats på unga granskogar i mellersta  
15 Norrland. Långvariga och kraftiga angrepp kan medföra tillväxtförluster. Granbarrlöss  
16 angriper främst unga granskogar, men angreppen orsakar i princip aldrig några skador av  
17 ekonomisk betydelse.

#### 18 **4.2.6. Andra insekter, fåglar och vilt**

##### 19 *Andra insekter (än skadegörare)*

20 Boreala skogsekosystem utgör livsmiljö för en artrik insektsfauna. Konventionellt  
21 skogsbruk missgynnar många av dessa arter, särskilt de som är beroende av död ved och  
22 av brand. Av 1876 rödlistade invertebrater i Sverige är inte mindre än 542 beroende av  
23 död ved (Jonsell et al. 1998, Gärdenfors 2000). I konventionellt brukad skog beräknas  
24 tillgången på död ved till ca.  $6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  medan tillgången i naturskog beräknas ligga  
25 mellan 10 och  $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (Fridman & Walheim 2000). Ett annat substrat viktigt för  
26 insektsfaunan är epifytiska lavar då många arter av spindlar är beroende av dessa och  
27 lavrika skogar har större artrikedom och täthet av spindlar än lavfattig skogar (Pettersson  
28 1996). Bestånd som ungskogsgödslas kommer sannolikt att ha lägre tillgång på död ved  
29 och mindre mängd epifytiska lavar jämfört med konventionellt brukad skog. Dels beror  
30 detta på att det sker ett urval av bestånd som redan i utgångsläget är relativt ensartade,  
31 dels kan man förvänta sig att den generella naturvårdshänsynen blir mindre verksam i den  
32 typen av bestånd. Bestånd där tillväxtoptimerad näringstillförsel praktiseras kommer  
33 därför troligen att hysa en artfattigare insektsfauna. Hur tätheten av insekter kommer att  
34 påverkas är däremot svårare att uttala sig om. I teorin skulle de enstaka arter som  
35 eventuellt kan använda bestånden som habitat kunna bilda stora populationer. I dagsläget  
36 saknas emellertid studier av vilka insektsarter som kan använda bestånd med  
37 behovsanpassad gödsling som habitat.

38  
39

## 1 *Fåglar*

2 Förekomsten av olika fåglar i ett skogslandskap påverkas av förändringar i habitat och  
3 födoresurser, interaktionen mellan olika fågelarter samt väderleken (Virkkala 2004). De  
4 studier som finns angående effekter av skogsskötsel på artrikedomen av fåglar i  
5 skogslandskapet förmedlar en komplex bild (Villard et al. 1999). Generellt kan man säga  
6 att artrikedomen av fåglar gynnas av hög strukturell diversitet på landskapsnivån, främst  
7 av stor växtartrikedom, samt tillgång på död ved (som födoresurs åt många insektsätare  
8 men även som boplats för hålhäckande arter). Stor växtartrikedom eller tillgång på död  
9 ved kommer inte att finnas inom bestånd som nyttjas för behovsanpassad gödsling  
10 (åtminstone inte efter att bestånden slutit sig). Dock har studier i USA visat att i  
11 skogslandskap med heterogen åldersfördelning kan unga välvuxna skogsbestånd ha större  
12 artrikedom av fåglar än äldre bestånd (Lohele et al. 2005). Man har även funnit att  
13 beståndens skogsförråd inte korrelerar vare sig positivt eller negativt med  
14 fågelartrikedomen (Lohele et al. 2005). Vad gäller skogsgödslingens effekter på  
15 artrikedom och täthet av fåglar finns endast ett fåtal studier. En studie utförd i boreala  
16 Alaska visar att tätheten av fåglar ökar utan att artsammansättningen ändras efter  
17 gödsling (Folkard & Smith 1995). Man föreslår att detta beror på s.k. "bottom-up"  
18 effekter i ekosystemets näringsväv. Genom att gödslingen leder till att växternas kvalitet  
19 som föda för betande insekter förbättras, ökar antalet insekter tillgängliga som föda för  
20 fåglar. Studier i svensk skogsmark stödjer till viss del denna observation då gödsling har  
21 visat sig leda till ökade tätheter av frostfjärilslarver på blåbärsris och man dessutom  
22 konstaterat att larvpredationen från fåglar är högre i gödslade jämfört med ogödslade  
23 provtytor (Strengbom et al. 2005).

24 För närvarande finns inga publicerade studier på artrikedom och tätheter av fåglar  
25 i bestånd med behovsanpassad gödsling. Eftersom dessa bestånd kommer ha mycket  
26 sparsam markvegetation efter det att bestånden slutit sig, kommer tillgången på insekter  
27 som använder dessa växter som födoresurs vara låg inom bestånden. För många tättingar,  
28 t.ex. mesar utgör spindlar och andra små insekter som lever i lavar stapelföda under  
29 vintern. Då lavförekomsten kommer att minska i bestånd där tillväxtoptimerad gödsling  
30 sker kommer sannolikt även födoresursen för sådana fåglar också att minska. För fåglar  
31 som använder kottar eller granskott som föda kan bestånden utgöra ett gott födohabitat.  
32

## 33 *Vilt*

34 För betande djur (hare, rådjur, älg, hjort) kan bestånd med behovsanpassad gödsling  
35 (beroende på om det finns fältskiktsvegetation eller inte) bidra med föda av högre kvalitet  
36 än vad som finns i den omgivande skogen. Studier har också bekräftat att betande djur i  
37 högre grad nyttjar gödslade än ogödslade områden (Ball et al. 2000, Sullivan et al. 2005).  
38 Beståndens täta karaktär kan även fungera som visuellt skydd mot predatorer.



## 1 **4.3. Inverkan på sociala värden, rennäring och kulturmiljövärden**

### 2 **4.3.1. Rekreation och friluftsliv**

3 Gustafsson et al. (2009) redovisar effekter av behovsanpassad gödsling på rekreation och  
4 friluftsliv. Rapporten föreslår att rekreativvärde av att vistas i nyplanterad granskog  
5 eller tät granungskog är lågt oavsett gödsling, för att stiga så snart beståndet genomgått  
6 gallring, särskilt om grenar och toppar tas bort. Skillnaden mellan gödslade och  
7 ogödslade bestånd kommer att vara större i norra än i södra Sverige, eftersom ogödslade  
8 bestånd i norra Sverige aldrig blir så täta som de i södra Sverige. Gustafsson et al. (2009)  
9 drar slutsatsen att behovsanpassad gödsling även på landskapsnivå kommer försämra  
10 möjligheterna till rekreation och friluftsliv eftersom en större andel skog kommer att  
11 upplevas som ogästvänlig. Dock är tätortsnära skogar (< 2 km från tätbebyggda områden)  
12 de som är viktigast ur rekreationssynpunkt. Om endast 5 - 10 % av skogsmarksarealen tas  
13 i anspråk, och denna areal finns utanför tätortsnära områden, borde effekten av  
14 behovsanpassad gödsling på rekreation och friluftsliv kunna vara acceptabla.

15  
16 Bär- och svampplockning är en viktig form av rekreation för många människor. I  
17 konventionellt odlade granskogar finns normalt tillgång på blåbär och ätliga matsvampar  
18 under i alla fall vissa delar av beståndscykeln. Speciellt efter gallring kan tillgången på  
19 blåbär vara god. Tillgången på ätliga matsvampar brukar normalt öka i och med att  
20 beståndet åldras. I bestånd som behandlas med behovsanpassad gödsling kommer det inte  
21 finnas vare sig blåbär eller ätliga matsvampar. Däremot blir det troligtvis stora uppslag av  
22 hallon i och med gallring och slutavverkning.

### 23 **4.3.2. Rennäring**

24 Rennäringen är beroende av skogsmark med lavdominerad markvegetation för renarnas  
25 vinterbete samt vid hård skare även av epifytiska lavar. Marker med lavdominans  
26 återfinns främst i talldominerad skog på mark med grov jordartstextur. Då sådan mark  
27 inte är aktuell för behovsanpassad gödsling bedömer vi att skogsbruksåtgärden inte  
28 kommer att inverka på rennäringen.

### 29 **4.3.3. Forn- och kulturlämningar**

30 Skogsstyrelsen har föreskrifter, råd och rekommendationer till syfte att skydda forn- och  
31 kulturlämningar från skador till följd av skogsbruk. Dessa ska gälla vid behovsanpassad  
32 gödsling. I så fall kommer inte behovsanpassad gödsling utgöra ett större hot mot forn-  
33 och kulturlämningar, eller områden av forn- och kulturlämningar, än konventionellt  
34 skogsbruk. Denna slutsats baseras på att behovsanpassad gödsling inte kommer innebära  
35 att någon annan mark än den som redan används för granskogsskötsel tas i anspråk, att  
36 antalet körningar i ett skogsbestånd inte kommer att öka av behovsanpassad gödsling  
37 samt på att Skogsstyrelsens föreskrifter och rekommendationer med avseende på skydd  
38 av forn- och kulturlämningar, samt områden av forn- och kulturlämningar, ska gälla på  
39 samma sätt vid odling med behovsanpassad gödsling som vid all annan skogsodling.



## 5. Åtgärder för att undvika, minska eller avhjälpa skadliga verkningar på miljön samt förväntade effekter av dessa åtgärder

Precis som vid annat skogsbruk ska skyddszoner lämnas mot bebyggelse, vattendrag och våtmarker, s.k. nyckelbiotoper, forn- och kulturlämningar och impediment. Förutom för själva gödslingen ska skötsel med behovsanpassad gödsling följa Skogsstyrelsens allmänna råd om hänsyn till natur- och kulturmiljövärden. Således ska exempelvis hyggen inte vara för stora, impediment ska lämnas orörda, lövträdslag ska bevaras genom beståndens hela omloppstid, ett antal träd ska lämnas kvar vid slutavverkning och transporter ska planeras så att körskador på mark och vatten undviks eller begränsas.

### 5.1. Åtgärder knutna till inverkan på mark, vatten och luft

Åtgärder knutna till mark, vatten och luft syftar till att minimera risken för kväveläckage till grund- och ytvatten samt lustgasavgång till atmosfären.

Följande åtgärder föreslås;

- **Att tillse mycket jämn spridning av gödselmedlet i terrängen och att vid varje enskilt gödslingstillfälle inte sprida mer gödsel än träden och marken kan ta upp.** På detta sätt minimeras risken för kväveläckage vid varje enskilt gödslingstillfälle. Analyser av barrens kväveinnehåll ska användas för att bedöma behovet av gödsling. Om barrens kvävehalt understiger 1,5 % ska gödsling ske medan en kvävehalt som överstiger 1,5 % indikerar att trädens för tillfället inte behöver mer kväve. Analys av andra näringsämnen i barren ger på samma sätt en indikation om trädens behov av andra näringsämnen än kväve.
- **Att avverka och föryngra med metoder anpassade för höga boniteter.** Detta för att minimera kväveläckaget vid dessa ingrepp. Det är viktigt är att snabbt åstadkomma en föryngning, samtidigt som störningen av marken blir så liten som möjligt. I och med att träden i det nya beståndet tar fart och börjar växa kommer kväveläckaget efter avverkningen successivt att minska.
- **Att inte gödsla tio år innan slutavverkning.** Även detta för att minimera kväveläckaget vid avverkning.
- **Att lämna skyddszoner mot vattendrag och våtmarker precis på samma sätt som vid konventionellt skogsbruk.**
- **Att fördela behandlade bestånd inom ett avrinningsområde med tanke på vilken maximal kvävebelastning utströmningsområdet bedöms klara när gallring och slutavverkning sker.** Intensivare skogsbruk kräver bättre planering av skogsbruket. Baserat på dagens kunskapsläge går det inte att ange hur stor andel av skogen (behandlad med behovsanpassad gödsling) inom ett avrinningsområde som skulle kunna avverkas samtidigt utan att kapaciteten i utströmningsområdet att binda kväve överskreds.

## 1 **5.2. Åtgärder knutna till inverkan på flora och fauna**

2 Förutom att inte välja bestånd med hög artrikedom eller andra höga naturvärden för  
3 verksamheten, går det inte att identifiera åtgärder som på ett dramatiskt sätt skulle kunna  
4 minska eller avhjälpa negativa effekter av behovsanpassad gödsling på flora och fauna  
5 inom nyttjade skogsbestånd. Hänsyn till s.k. nyckelbiotoper inom skogslandskapet ska tas  
6 på samma sätt som vid annat skogsbruk (enligt Skogsstyrelsens föreskrifter, råd och  
7 rekommendationer). Därvidlag angett att sådan hänsyn ska anläggas redan vid  
8 inventering av lämpliga bestånd för verksamheten. Dessutom, hur omgivande  
9 skogsarealer brukas kommer att ha avgörande betydelse för skogslandskapets karaktär  
10 och förmåga att härbärgera livskraftiga populationer av olika organismer.  
11 Sammanfattningsvis kan man säga att ett mer intensivt brukande leder till ett ökat behov  
12 av landskapsplanering, på lokal, regional och nationell nivå.

## 13 **5.3. Åtgärder knutna till inverkan på sociala värden, rennärning och** 14 **kulturmiljövärden**

15 Behovsanpassad gödsling bör ej ske i tätortsnära områden, vilka är viktiga för  
16 vardagsrekreation och friluftsliv. Inte heller lavdominerad skogsmark kommer att  
17 användas. Hänsyn till forn- och kulturlämningar ska tas på samma sätt som vid annat  
18 skogsbruk (enligt Skogsstyrelsens föreskrifter, råd och rekommendationer). Därvidlag  
19 angett att sådan hänsyn ska tas redan vid inventering av lämpliga bestånd för  
20 verksamheten.

## 21 **6. Konsekvenser för miljön om verksamheten inte** 22 **kommer till stånd**

23 Gödsling av skogsmark kan bidra till att motverka den pågående klimatförändringen om  
24 mer kol lagras i skogarnas biomassa, och/eller om mer hållbart producerad biomassa är  
25 tillgänglig för ersättning av växthusgasintensiva bränslen och material. Konsekvenserna  
26 för växthusgasbalansen vid gödsling av 1 %, 5 % eller 10 % av Sveriges skogsmark har  
27 studerats av Sathre et al. 2009. Studien beräknade:

- 29 1. utsläpp av växthusgaser från skogsbruk, inklusive produktion och användning av  
30 gödsel,
- 31 2. nettofordelar för växthusgaser med en ökad produktion av biomassa för att ersätta  
32 icke träbaserade material och fossila bränslen,
- 33 3. förändringar av mängden lagrat kol i träbaserade byggnadsmaterial, trädbiomassa  
34 och skogsmark.

35  
36 Användningen av sågtimmer för produktion av byggnadsmaterial för att ersätta armerad  
37 betong, och användningen av massaved, rester från gallring och skörd, och stubbar till  
38 biobränsle för att ersätta antingen kol eller fossil gas har analyserats. Uppskattningar har  
39 gjorts av medelvärden av årliga flöden av växthusgaser över skogens hela omloppstid,  
40 och av engångsförändringen av kolbalansen i samband med övergången från skogsbruk

1 utan gödsling till skogsbruk med gödsling. Flödet av växthusgaser som följer av  
2 gödslingen jämfört med skogsbruk utan gödsling visas i Tabell 9. Den största enskilda  
3 effekten kommer från användning av trä som material i stället för betong. Ersättning av  
4 fossila bränslen med träavfall ger också stora växthusgasfördelar. Utsläppen i samband  
5 med skogsåtgärder, såsom produktion och användning av gödsel, är små i förhållande till  
6 de utsläpp som undviks till följd av att material och bränsle ersätts. Ökningen av kol i  
7 marken till följd av gödslingen balanseras ungefär av minskningen som orsakas av uttaget  
8 av biomassa från skogen.

9  
10 **Tabell 9.** Växthusgasflödet (tusentals ton  $C_{ekv}$  år<sup>-1</sup>) till följd av gödsling av 1 %, 5 % eller 10 % av  
11 Sveriges skogsmark. Utsläpp av växthusgaser har positiva siffror, och utsläpp som undviks har  
12 negativa tal. Fossila referensbränslen är kol (till vänster) och fossil gas (till höger).  
13

Aktivitet	Kol referensbränsle			Fossil gas referensbränsle		
	1 %	5 %	10 %	1 %	5 %	10 %
<b>Skogsbruk</b>						
Etablering, gallring, skörd	2,1	10,5	20,9	2,0	10,1	20,2
<b>Gödsling</b>						
Produktion, spridning	12,7	63,6	127,1	12,7	63,6	127,1
N <sub>2</sub> O-utsläpp från skogsmark	6,2	31,1	62,2	6,2	31,1	62,2
Förändring av kolbalansen i marken	-18,3	-91,6	-183,2	-18,3	-91,6	-183,2
<i>Delsumma</i>	0,6	3,0	6,1	0,6	3,0	6,1
<b>Sågtimmer</b>						
Transport	1,7	8,5	16,9	1,5	7,7	15,4
Materials substitution (fossila bränslen)	-85,2	-426,0	-851,9	-65,5	-327,5	-655,0
Materials substitution (cementprocesser)	-87,2	-436,0	-871,9	-87,2	-436,0	-871,9
Bränslesubstitution (träprocessrester)	-73,7	-368,4	-736,7	-42,2	-210,9	-421,8
Bränslesubstitution (konstruktionsrester)	-7,6	-38,2	-76,4	-4,4	-21,9	-43,8
Bränslesubstitution (rivningsrester)	-68,3	-341,4	-682,7	-39,1	-195,6	-391,1
<i>Delsumma</i>	320,3	1601,4	3202,8	236,8	1184,0	2368,1
<b>Massaved</b>						
Transport	1,1	5,6	11,3	1,0	5,1	10,3
Bränslesubstitution	-93,4	-467,1	-934,1	-53,8	-269,0	-538,1
<i>Delsumma</i>	-92,3	-461,4	-922,8	-52,8	-263,9	-527,8
<b>Restprodukter från gallring (grenar, blad)</b>						
Återvinning/transport	0,9	4,4	8,8	0,9	4,4	8,8
Förändring av kolbalansen i marken	2,8	13,9	27,7	2,8	13,9	27,7
Bränslesubstitution	-23,9	-119,3	-238,7	-13,7	-68,7	-137,5
<i>Delsumma</i>	-20,2	-101,1	-202,2	-10,1	-50,5	-101,0
<b>Skörderester (grenar, blad)</b>						
Återvinning/transport	1,6	7,8	15,5	1,6	7,8	15,5
Förändring av kolbalansen i marken	4,9	24,6	49,2	4,9	24,6	49,2
Bränslesubstitution	-42,4	-211,8	-423,7	-24,4	-122,0	-244,0
<i>Delsumma</i>	-35,9	-179,4	-358,9	-17,9	-89,6	-179,2
<b>Stubbar</b>						
Återvinning/transport	6,0	30,1	60,2	6,0	30,1	60,2
Förändring av kolbalansen i marken	11,3	56,7	113,4	11,3	56,7	113,4
Bränsle substitution	-82,1	-410,7	-821,4	-47,3	-236,6	-473,1
<i>Delsumma</i>	-64,8	-323,9	-647,8	-30,0	-149,8	-299,5

1  
2

<b>Totalt</b>	<b>-531</b>	<b>-2654</b>	<b>-5307</b>	<b>-345</b>	<b>-1725</b>	<b>-3449</b>
---------------	-------------	--------------	--------------	-------------	--------------	--------------

1 Kolbalansen i träprodukter och trädbiomassa ökar under gödslingsprogrammet, vilket  
 2 visas i Tabell 10. En engångsökning av kolbalansen med 41 och 54 miljoner ton C sker i  
 3 träprodukter respektive i träd i skogen, om 10 % av den svenska skogsmarken gödglas.

4  
 5 **Tabell 10.** Förändringar av kolbalansen (tusentals ton kol) på grund av gödning av 1 %, 5 % eller  
 6 10 % av Sveriges skogsmark.  
 7

	1 %	5 %	10 %
Temporär ökning av kolinnehåll i träprodukter (per år)	81	407	813
Engångsökning av kolinnehåll i träprodukter <sup>a</sup>	4 050	20 350	40 650
Engångsökning av kolinnehåll i trädbiomassa <sup>b</sup>	5 400	26 900	53 900

8 <sup>a</sup> 50-års livslängd för träprodukter, och fortsatt ersättning av rivna byggnader med motsvarande nya  
 9 byggnader av trä förutsätts.

10 <sup>b</sup> Förutsätts fortsatt skogsbruk med gödning och hållbar avkastning.  
 11

12 Effekterna på växthusgaserna av att gödsla 10 % av de svenska skogarna är en årlig  
 13 nettoutsläppsminskning på 3,4 miljoner ton C eller 5,3 miljoner ton C<sub>ekv</sub> beroende på  
 14 om fossilt referensbränsle är fossil gas respektive kol. Denna årliga utsläppsminskning  
 15 motsvarar 19 % respektive 30 % av de totala svenska utsläppen av växthusgaser år 2006.  
 16 Dessutom sker en engångsökning av genomsnittliga kolbalansen i träprodukter respektive  
 17 skogsträd, motsvarande 2,3 till 3,0 gånger de totala svenska utsläppen av växthusgaser år  
 18 2006 om 10 % av den svenska skogsmarken är gödslad. Resultaten från Sathre et al.  
 19 (2009) tyder således på att behovsanpassad gödning är ett möjligt alternativ för att  
 20 minska nettoutsläppen av växthusgaser.

21 Är behovsanpassad gödning en bättre metod än dagens konventionella  
 22 skogsgödning för att öka Sveriges skogsproduktion? För att med hjälp av gödning uppnå  
 23 ett fastställt produktionsmål, kan man välja att antingen gödsla stora arealer enligt  
 24 nuvarande praxis för skogsgödning (och uppnå en produktionsökning på ca. 15 %), eller  
 25 gödsla mindre arealer med behovsanpassad gödning (med minst en fördubbling av  
 26 produktionen). Till exempel, om effekterna på den biologiska mångfalden av  
 27 konventionellt utförd gödning är signifikanta och mer eller mindre irreversibla finns  
 28 anledning att överväga en liberalisering av lagstiftningen som öppnar upp för mer  
 29 intensiva gödningstrategier på begränsade arealer som ett alternativ/komplement till  
 30 dagens konventionella gödning. Då kan betydande tillväxtökningar erhållas utan att all  
 31 mark tas i anspråk för gödning. Alternativt skulle den nuvarande tillväxten kunna  
 32 upprätthållas på en mindre areal än vad som idag tas i anspråk för skogsbruk, vilket  
 33 skulle ge möjlighet att avsätta större arealer än idag för naturvårdsändamål och/eller för  
 34 rekreation och friluftsliv.

35 Speciellt för landets norra delar (där depositionen av luftburet kväve ur ett  
 36 europeiskt perspektiv är jämförelsevis mycket låg) finns det goda anledningar att noga  
 37 tänka igenom strategin för hur användningen av kvävegödselmedel inom skogsbruket ska  
 38 regleras. Detta för att minimera negativa effekter av kvävetillförsel på ekosystemens

1 struktur och funktion, samtidigt som skogsmarkens produktionskapacitet tas i anspråk på  
2 bästa möjliga vis.

### 3 **7. Identifierade kunskapsluckor**

4 Under arbetet med miljöanalysen har vi identifierat en rad kunskapsluckor. I detta  
5 sammanhang är det viktigt att komma ihåg att utbyggnaden av verksamheten, om den  
6 kommer till stånd, kommer att gå relativt långsamt då den begränsas av tillgången på  
7 lämpliga marker. Vi har beräknat att det totalt finns 5,5 miljoner hektar svensk  
8 skogsmark som skulle kunna nyttjas för verksamheten, och att 2,6 miljoner hektar av  
9 dessa blir tillgängliga den kommande 50-årsperioden. Det finns alltså goda möjligheter  
10 att anpassa skötselkonceptet allteftersom ny kunskap blir tillgänglig.

11

12 Följande kunskapsluckor anser vi vara bland de viktigaste att beakta;

13

- 14 • **Skalan i landskapet.** Vi besitter för närvarande relativt mycket kunskap om  
15 effekter av behovsanpassad gödsling på både biotiska och abiotiska  
16 ekosystemprocesser inom de behandlade bestånden. Analyser av effekter på  
17 landskapsnivån är till stor del en extrapolering utifrån effekterna inom bestånden.  
18 Det behövs empiriska studier där behovsanpassad gödsling tillämpas på flera  
19 bestånd inom ett landskap, och effekterna av verksamheten studeras på  
20 landskapsnivån.
- 21 • **Kväveläckage till vattendrag, sjöar och hav.** För närvarande finns viss kunskap  
22 om kväveläckage från behandlade bestånd till markvattnet. Det saknas emellertid  
23 mycket kunskap om vad som händer med kväve som läckt från ett skogsbestånd  
24 när det når ett utströmningsområde för eventuell vidare transport i vattendrag och  
25 sjöar för att slutligen nå omgivande hav. Det behövs ytterligare studier av  
26 kväveretention och denitrifikation i skogslandskapets utströmningsområden,  
27 vattendrag och sjöar i olika delar av landet.
- 28 • **Metoder för operationell spridning.** Hur kan de utvecklas för att garantera helt  
29 jämn spridning av gödselmedel?
- 30 • **Behovsanpassad gödsling och N<sub>2</sub>O avgång.** För närvarande finns bara  
31 preliminära studier av hur behovsanpassad gödsling påverkar N<sub>2</sub>O avgång inom  
32 behandlade bestånd (L. Klemedtsson opublicerade data från Flakaliden), och inga  
33 studier på landskapsnivån.
- 34 • **Bestånden som habitat för insekter, fåglar och vilt.** Det behövs studier om  
35 vilka arter som använder/inte använder bestånd med behovsanpassad gödsling  
36 som habitat.
- 37 • **Skogslandskapets sociala värde.** Det behövs studier av hur människor upplever  
38 och kan tänka sig använda bestånd behandlade med skötselmetoden.
- 39 • **Gödselmedlets sammansättning.** Är det verkligen optimalt att gödsla med lika  
40 delar NH<sub>4</sub><sup>+</sup> och NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, med tanke på hur rörligt NO<sub>3</sub><sup>-</sup> är och med tanke på risken

- 1 för N<sub>2</sub>O bildning? Studier behövs av andra gödselmedelssammansättningar: mer  
2 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> än NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, eller kanske andra former av kväve?
- 3 • **Aspekter av naturresursekonomisk och samhällsekonomisk nytta.** Hur ska  
4 kvävegödsling utföras för att maximera nyttan och minimera de negativa  
5 effekterna? Vilka strategier för kväveanvändning i skogslandskapet är hållbara på  
6 längre sikt om vi vill behålla skogslandskapets biologiska mångfald och de  
7 ekosystemtjänster som finns kopplade till skogslandskapet, samtidigt som vi  
8 tillgodoser samhällets behov av förnybara råvaror?
- 9

## 8. Referenser

- Adamsen APS, King GM. 1993. METHANE CONSUMPTION IN TEMPERATE AND SUB-ARCTIC FOREST SOILS - RATES, VERTICAL ZONATION, AND RESPONSES TO WATER AND NITROGEN. *Applied and Environmental Microbiology* 59(2): 485-490.
- Akselsson A, Westling O, Örlander G. 2004. Regional mapping of nitrogen leaching from clearcuts in southern Sweden. *Forest, Ecology & Management* 202: 235-243.
- Andrén H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat – a review. *Oikos* 71: 355-366.
- Ball JP, Danell K, Sunesson P. 2000. Response of a herbivore community to increased food quality and quantity: an experiment with nitrogen fertilizer in a boreal forest. *Journal of Applied Ecology* 37: 247-255.
- Bedard C, Knowles R. 1989. PHYSIOLOGY, BIOCHEMISTRY, AND SPECIFIC INHIBITORS OF CH<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, AND CO OXIDATION BY METHANOTROPHS AND NITRIFIERS. *Microbiological Reviews* 53(1): 68-84.
- Berg B, Staaf H. 1981. Leaching, accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter. In: Clark FE, Rosswall T (eds) *Terrestrial nitrogen cycles*. Ecological Bulletins, Stockholm, Sweden. Pp 163-178.
- Bergh J, Linder S, Lundmark T, Elfving B. 1999. The effect of water and nutrient availability on the productivity of Norway spruce in northern and southern Sweden. *Forest Ecology & Management* 119: 51-62.
- Bergh J, Linder S, Bergström J. 2005. Potential production of Norway spruce in Sweden. *Forest, Ecology & Management* 204: 1-10.
- Bergh J, Oleskog G (eds.). 2006. Slutrapport för Fiberskogsprogrammet. Institutionsrapport nr 27 vid Institutionen för Sydsvensk Skogsvetenskap. ISBN 91-576-7161-3.
- Bergh J et al. 2006. Syntesrapport vid intensivodling av gran. Institutionsrapport nr 28 vid Institutionen för Sydsvensk Skogsvetenskap. ISBN 91-576-7161-6.
- Bergh J, Nilsson U, Grip H, Hedwall P-O, Lundmark T. 2008. Effects of frequency of fertilisation on production, foliar chemistry and nutrient leaching in young Norway spruce stands in Sweden. *Silva Fennica* 42: 721-733.
- Berdén M, Nilsson SI, Nyman P. 1997. Ion leaching before and after clear-cutting in a Norway spruce stand – effects of long-term application of ammonium nitrate and superphosphate. *Water Air & Soil Pollution* 93: 1-26.
- Bobbink R, Hornung M, Roelofs JGM. 1998. The effects of airborne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology* 86: 717-38.
- Brandt M. 1992. Skogens inverkan på vattenbalansen. SMHI Hydrologi, Norrköping, Rapport No. 37, 22 sid.
- Brandt, M, Ejhed, H. 2003. TRK – Transport – Retention – Källfördelning, Belastning på havet. Naturvårdsverkets rapport 5247, 117 sid.



- 1 Brockley RP, Simpson DG. 2004. Effects of intensive fertilization on the foliar nutrition  
2 and growth of young lodgepole pine and spruce forests in the interior of British  
3 Columbia (E.P. 886.13): establishment and progress report. B.C. Min. For., Res.  
4 Br., Victoria, B.C. Tech. Rep. 018.  
5 <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Tr/Tr018.htm>
- 6 Burdon JJ, Chilvers GA. 1982. Host density as a factor in disease ecology. Annual  
7 Review of Plant Pathology 20: 143-166.
- 8 Burdon JJ, Thrall PH, Ericson L. 2006. The current and future dynamics of disease in  
9 plant communities. Annual Review of Phytopathology 44: 19-39.
- 10 Börjesson G, Nohrstedt HO. 1998. Short- and long-term effects of nitrogen fertilization  
11 on methane oxidation in three Swedish forest soils. Biology and Fertility of Soils  
12 27(2): 113-118.
- 13 Börjesson P, Gustavsson L, Christersson L, Linder S. 1997. Future production and  
14 utilization of biomass in Sweden: potentials and CO<sub>2</sub> mitigation. Biomass &  
15 Bioenergy 13: 399-412.
- 16 Carreiro MM, Sinsabaugh RL, Repert DA, Parkhurst DF. 2000. Microbial enzyme shifts  
17 explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition. Ecology 81: 2359-  
18 2365.
- 19 Castro MS, Steudler PA, Melillo JM, Aber JD, Bowden RD. 1995. FACTORS  
20 CONTROLLING ATMOSPHERIC METHANE CONSUMPTION BY  
21 TEMPERATE FOREST SOILS. Global Biogeochemical Cycles 9(1): 1-10.
- 22 Crutzen PJ, Mosier AR, Smith KA, Winiwarter W. 2008. N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel  
23 production negates global warming reduction by replacing fossil fuels.  
24 Atmospheric Chemistry & Physics. 8: 389-395.
- 25 Demoling F, Nilsson L-O, Bååth E. 2008. Bacterial and fungal responses to nitrogen  
26 fertilization in three coniferous forest soils. Soil Biology & Biochemistry 40: 370-  
27 379.
- 28 D'Eon RG. 2002. Forest fragmentation and forest management: a plea for empirical data.  
29 For. Chron. 78: 686-689.
- 30 Dijkstra FA, Hobbie SE, Knops JMH, Reich PB. 2004. Nitrogen deposition and plant  
31 species interact to influence soil carbon stabilization. Ecology Letters 7: 1192-  
32 1198.
- 33 Dobbie KE, Smith KA. 1996. Comparison of CH<sub>4</sub> oxidation rates in woodland, arable  
34 and set aside soils. Soil Biology & Biochemistry 28(10-11): 1357-1365.
- 35 Finckh MR, Gacek ES, Goyeau H, Lannou C, Merz U, Mundt CC, Munk L, Nadziak J,  
36 Newton AC, de Vallavieille-Pope C, Wolfe MS. 2000. Cereal variety and species  
37 mixtures in practice, with emphasis on disease resistance. Agronomie 20: 813-  
38 837.
- 39 Folkard NFG, Smith JNM. 1995. Evidence for bottom-up effects in the boreal forest: Do  
40 passerine birds respond to large-scale experimental fertilization? Canadian  
41 Journal of Zoology 73: 2231-2237.
- 42 Fog K. 1988. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter.  
43 Biological Review 63: 433-462.
- 44 Franklin O, Höglberg P, Ekblad A, Ågren GI. 2003. Pine forest floor carbon accumulation  
45 in response to N and PK additions: Bomb C-14 modelling and respiration studies.  
46 Ecosystems 6(7): 644-658.

- 1 Fransson PMA, Taylor AFS, Finlay RD. 2000. Effects of continuous optimal fertilization  
2 on belowground ectomycorrhizal community structure in a Norway spruce forest.  
3 *Tree Physiology* 20: 599-606.
- 4 Fridman J, Walheim M. 2000. Amount, structure and dynamics of dead wood on  
5 managed forestland in Sweden. *Forest, Ecology & Management* 131: 23-26.
- 6 Garrett KA, Mundt CC. 2000. Effects of planting density and the composition of wheat  
7 cultivar mixtures on stripe rust: an analysis taking into account limits to the  
8 replication of controls. *Phytopathology* 90:1313-21.
- 9 Gilligan CA, van den Bosch F. 2008. Epidemiological models for invasion and  
10 persistence of pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 46: 385-418.
- 11 Goldman MB, Groffman PM, Pouyat RV, McDonnell MJ, Pickett STA. 1995. CH<sub>4</sub>  
12 UPTAKE AND N AVAILABILITY IN FOREST SOILS ALONG AN URBAN  
13 TO RURAL GRADIENT. *Soil Biology & Biochemistry* 27(3): 281-286.
- 14 Grip H, Hällgren JE. 2005. Water cycling in coniferous forest ecosystems. In: F.  
15 Andersson (Ed.), *Coniferous Forests, Ecosystems of the World 6*, Elsevier,  
16 Amsterdam, London, 385-426.
- 17 Grip H, Rodhe A. 1991. Vattnets väg från regn till bäck. Hallgren & Fallgren, Uppsala, 2:  
18 a uppl., 2: a tryckningen, 156 sid.
- 19 Gustafsson L, Dahlberg A, Green M, Henningsson S, Hägerhäll C, Larsson A, Lindelöw  
20 Å, Lindhagen A, Lundh G, Ode Å, Strengbom J, Ranius T, Sandström J,  
21 Svensson R, Widenfalk O. 2009. Konsekvenser för kulturarv, friluftsliv,  
22 landskapsbild och biologisk mångfald. Faktaunderlag till MINT-utredningen.  
23 SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-45-2.
- 24 Gärdenfors U. 2000. Rödlistade arter i Sverige. Artdatabanken, Uppsala.
- 25 Hanski I. 1999. Metapopulation ecology. Oxford University Press, Oxford.
- 26 Hilmo O. 2002. Growth and morphological response of old-forest lichens transplanted  
27 into a young and an old *Picea abies* forest. *Ecography* 25: 329-335.
- 28 Hjältén J, Johansson T, Alvin O, Danell K, Ball JP, Pettersson R, Gibb H, Hilszczanski  
29 J. 2007. The importance of substrate type, shading and scorching for the  
30 attractiveness of dead wood to saproxylic beetles. *Basic Applied Ecology* 8:  
31 364-376.
- 32 Hobbie SE. 2008. Nitrogen effects on decomposition: a five-year experiment in eight  
33 temperate sites. *Ecology* 89: 2633-2644.
- 34 Hyvönen R, Persson T, Andersson S, Olsson B, Ågren G, Linder S. 2008 Impact of long-  
35 term nitrogen addition on carbon stocks in trees and soils in northern Europe.  
36 *Biogeochemistry* 89:121-137. DOI 10.1007/s10533-007-9121-3
- 37 Högberg MN, Chen Y, Högberg P. 2007a. Gross nitrogen mineralisation and fungi-to-  
38 bacteria ratios are negatively correlated in boreal forests. *Biology & Fertility of*  
39 *Soils* 44: 363-366.
- 40 Högberg MN, Högberg P, Myrold DD. 2007b. Is microbial community composition in  
41 boreal forest soils determined by pH, C-to-N ratio, the trees, or all three?  
42 *Oecologia* 150: 590-601.
- 43 Högberg P, Nordgren A, Buchmann N, Taylor AFS, Ekblad A et al. 2001. Large scale  
44 forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature*  
45 411: 789-792.

- 1 Högberg P, Read DJ. 2006. Towards a more plant physiological perspective on soil  
2 ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 21: 548-554.
- 3 Ingestad T. 1988. A fertilization model based on the concepts of nutrient flux density and  
4 nutrient productivity. *Scandinavian Journal of Forest Research* 3: 157-173.
- 5 Jansson P-E, Moon D. 2001. A coupled model of water, heat and mass transfer using  
6 object orientation to improve flexibility and functionality. *Environmental*  
7 *Modelling Software* 16: 37-46.
- 8 Jonsell M, Weslien J, Ehnström B 1998. Substrate requirements of red-listed saproxylic  
9 invertebrates in Sweden. *Biodiversity & Conservation* 7: 749-764.
- 10 Jonsson L, Dahlberg A, Brandrud TE. 2000. Spatiotemporal distribution of an  
11 ectomycorrhizal community in an oligotrophic Swedish *Picea abies* forest  
12 subjected to experimental N addition: above- and below-ground views. *Forest*  
13 *Ecology & Management* 132: 143-156.
- 14 Kallio T, Häkkinen R, Heinonen J. 1985. An outbreak of *Gremmeniella abietina* in  
15 central Finland. *European Journal of Forest Pathology* 15: 216-223.
- 16 Knorr, M, Frey SD, Curtis PS. 2005. Nitrogen additions and litter decomposition: a meta-  
17 analysis. *Ecology* 86: 3252-3257.
- 18 Kytö M, Niemelä P, Larsson S. 1996. Insects on trees: population and individual  
19 response to fertilization. *Oikos* 75:148-159.
- 20 Kårén O, Nylund JE. 1997. Effects of ammonium sulphate on the community structure  
21 and biomass of ectomycorrhizal fungi in a Norway spruce stand in South West  
22 Sweden. *Canadian Journal of Botany* 75: 1628-1643.
- 23 Laiho O. 1970. *Paxillus involutus* as a mycorrhizal symbiont of forest trees. *Acta*  
24 *Forestalia Fennica* 106: 1-65.
- 25 Lindberg N, Persson T, 2004. Effects of long-term nutrient fertilisation and irrigation on  
26 the microarthropod community in a boreal Norway spruce stand. *Forest Ecology*  
27 *& Management* 188: 125-135.
- 28 Linder, S., 1990. Nutritional control of forest yield. In: *Nutrition in trees*, The Marcus  
29 Wallenberg Foundation Symposia Proc. vol. 6, pp. 62-87.
- 30 Linder S, Flower-Ellis JGK. 1992. Responses of forest ecosystems to environmental  
31 changes. In: Teller A, Mathy P, Jeffers JNR (Eds.), *Environmental and*  
32 *Physiological Constraints to Forest Yield*. Elsevier, Amsterdam, pp. 149-164.
- 33 Linder S. 1995. Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances of forest  
34 stands. *Ecological Bulletins* 44: 178-190.
- 35 Linder S, Bergh J. 1996. Näringsoptimering – granen växer ur produktionstabellerna.  
36 Fakta Skog nr 4/96.
- 37 Loehle C, Wigley TB, Rutzmoser S, Gerwin JA, Keyser PD et al. 2005. Managed forest  
38 landscape structure and avian species richness in the southern US. *Forest,*  
39 *Ecology & Management* 214: 279-293.
- 40 Löfgren S, Westling O. 2002. Modell för att beräkna kväveförluster från växande skog  
41 och hyggen i Sydsverige. *SLU Inst. f. Miljöanalys Rapport* 2002:1, Uppsala.
- 42 Löfgren S, Ring E, von Brömssen C, Sørensen R, Högbom L. 2009. Short-term effects of  
43 clear-cutting on the water chemistry of two boreal streams in northern Sweden – a  
44 paired catchment study. *Ambio* 7. I press.

- 1 MacDonald JA, Skiba U, Sheppard LJ, Ball B, Roberts JD, Smith KA, Fowler D. 1995.  
2 The effect of nitrogen deposition and seasonal variability on methane oxidation  
3 and nitrous oxide emission rates in an upland Spruce plantation and moorland.
- 4 Maljanen M, Jokinen H, Saari A, Strömmer R, Martikainen PJ. 2006 Methane and nitrous  
5 oxide fluxes, and carbon dioxide production in boreal forest soil fertilized with  
6 wood ash and nitrogen. *Soil Use & Management* 22: 151–157.
- 7 Melin J, Nõmmik H. 1988. Fertilizer nitrogen distribution in a *Pinus sylvestris/Picea*  
8 *abies* ecosystem, central Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 3: 3-  
9 15.
- 10 Menge JA, Grand LF. 1978. Effect of fertilisation on production of epigeous sporocarps  
11 by mycorrhizal fungi in loblolly pine plantations. *Canadian Journal of Botany* 56:  
12 2357–2362.
- 13 Mundt CC. 2002. Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease  
14 management. *Annual Reviews in Phytopathology* 40:381–410.
- 15 Nilsson L-O, Wallander H. 2003. Production of external mycelium by ectomycorrhizal  
16 fungi in a norway spruce forest was reduced in response to nitrogen fertilization.  
17 *New Phytologist* 158: 409-416.
- 18 Nohrstedt H-Ö. 2001. Responses of coniferous forest ecosystems on mineral soils to  
19 nutrient additions: a review of Swedish experiences. *Scandinavian Journal of*  
20 *Forest Research* 16: 555-573.
- 21 Nohrstedt H-Ö, Westling O. 1995. Miljökonsekvensbeskrivning av STORA SKOGS  
22 gödslingsprogram, del 1 faktaunderlag. Rapport B1218, IVL, Aneboda.
- 23 Nordin A, Näsholm T, Ericson L. 1998. Effects of simulated N deposition on understory  
24 vegetation of boreal coniferous forest. *Functional Ecology* 12: 691-699.
- 25 Nordin A, Strengbom J, Witzell J, Näsholm T, Ericson L. 2005. Nitrogen deposition and  
26 the biodiversity of boreal forests – implications for the nitrogen critical load.  
27 *Ambio* 34: 20-24.
- 28 Nordin A, Strengbom J, Ericson L. 2006. Responses to ammonium and nitrate by boreal  
29 plants and their natural enemies. *Environmental Pollution* 141: 167-174.
- 30 Nordin A, Bergström A-K, Granberg G, Grip H, Gustafsson D, Gärdenäs A, Hyvönen-  
31 Olsson R, Jansson P-E, Laudon H, Nilsson MB, Svensson M, Öquist M. 2009.  
32 Effekter av ett intensivare skogsbruk på skogslandskapets mark, vatten och  
33 växthusgaser. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-  
34 91-86197-46-9.
- 35 Ohenoja E. 1978. Behaviour of mycorrhizal fungi in N-fertilised forests. *Karstenia* 28:  
36 27–30.
- 37 Olsson P, Linder S, Giesler R, Högberg P. 2005. Fertilization of boreal forest reduces  
38 both autotrophic and heterotrophic soil respiration. *Global Change Biology* 11:  
39 1745-1753.
- 40 Papen H, Butterbach-Bahl K. 1999. A 3-year continuous record of nitrogen trace gas  
41 fluxes from untreated and limed soil of a N-saturated spruce and beech forest  
42 ecosystem in Germany - 1. N<sub>2</sub>O emissions. *Journal of Geophysical Research-*  
43 *Atmospheres* 104: 18487-18503.
- 44 Pettersson F. 1994. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth  
45 over five years. Skogforsk, Uppsala. Report No. 3, 56 pp.

- 1 Pettersson RB. 1996. Effect of forestry on the abundance and diversity of arboreal spiders  
2 in the boreal spruce forest. *Ecography* 19: 221-228.
- 3 Piirainen S, Finér L, Mannerkoski H, Starr M. 2004. Effects of forest clear-cutting on the  
4 sulphur, phosphorus and base cations fluxes through podzolic soil horizons.  
5 *Biogeochemistry* 69: 405-424.
- 6 Read DJ. 1992. The mycorrhizal mycelium. In: Allen MF, eds *Mycorrhizal functioning*.  
7 New York, USA: Chapman & Hall, 102–133.
- 8 Remén C, Persson T, Finlay R, Ahlström K. 2008. Responses of oribatid mites to tree  
9 girdling and nutrient addition in boreal coniferous forests. *Soil, Biology &*  
10 *Biochemistry* 40: 2881-2890.
- 11 Ring E. 1995. Nitrogen leaching before and after clear-felling of fertilised experimental  
12 plots in a *Pinus sylvestris* stand in central Sweden. *Forest Ecology &*  
13 *Management* 72: 151-166.
- 14 Ring E. 2007. Estimation of leaching of nitrogen and phosphorus from forestry in  
15 northern Sweden. In: How to estimate N and P losses from forestry in northern  
16 Sweden. (ed: Löfgren S). *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 146:  
17 6 – 13.
- 18 Ritchie ME. 2000. Nitrogen limitation and trophic vs. abiotic influences on insect  
19 herbivores in a temperate grassland. *Ecology* 8: 1601-1612.
- 20 Root RB. 1973. Organization of a plant–arthropod association in simple and diverse  
21 habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* 43:  
22 95–124.
- 23 Rosén K, Aronson J-A, Eriksson HM. 1996. Effects of clear-cutting on stream-water  
24 quality in forest catchments in central Sweden. *Forest, Ecology & Management*  
25 83: 237-244.
- 26 Sathre R, Gustavson L, Bergh J. 2009. Greenhouse gas implications of increased biomass  
27 production from optimised forest fertilization. (submitted to *Biomass and*  
28 *Bioenergy*)
- 29 Sinsabaugh RL, Carreiro MM, Repert DA. 2002. Allocation of extracellular enzymatic  
30 activity in relation to litter decomposition, N deposition and mass loss.  
31 *Biogeochemistry* 60: 1-24.
- 32 Strengbom J, Nordin A, Näsholm T, Ericson L. 2001. Slow recovery of boreal forest  
33 ecosystem following decreased nitrogen input. *Functional Ecology* 15: 451-457.
- 34 Strengbom J, Nordin A, Näsholm T, Ericson L. 2002. Parasitic fungus mediates  
35 vegetation change in nitrogen exposed boreal forest. *J. Ecol.* 90:61-67.
- 36 Strengbom J, Witzell J, Nordin A, Ericson L. 2005. Do multitrophic interactions override  
37 nitrogen fertilization effects on *Operophtera* larvae? *Oecologia* 143: 241-250.
- 38 Strengbom J, Englund G, Ericson L. 2006. Experimental scale and precipitation modify  
39 effects of nitrogen addition on a plant pathogen. *Journal of Ecology* 94: 227-233.
- 40 Strengbom J, Nordin A. 2008. Commercial forest fertilization cause long-term residual  
41 effects in ground vegetation of boreal forests. *Forest, Ecology & Management*  
42 256: 2175 – 2181.
- 43 Sullivan TP, Sullivan DS, Lindgren PMF, Ransome DB. 2005. Influence of repeated  
44 fertilization on forest ecosystems: relative habitat use by snowshoe hare (*Lepus*  
45 *americanus*). *Canadian Journal of Forest Research* 36: 2080-2089.
- 46

- 1 Tamm C-O. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. Ecological Studies no 81. Springer-  
2 Verlag, Berlin.
- 3 Taylor AFS, Martin F, Read DJ. 2000. Fungal diversity in ectomycorrhizal communities  
4 of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Beech (*Fagus sylvatica* L.) in  
5 forests along north-south transects in Europe. In: Schulze ED, ed. Carbon and  
6 nitrogen cycling in European forest ecosystems. Berlin, Germany: Springer-  
7 Verlag, 343-365.
- 8 Throop HL, Lerdau MT. 2004. Effects of nitrogen deposition on insect herbivory:  
9 Implications for community and ecosystem processes. *Ecosystems* 7: 109-133.
- 10 Villard MA, Trzcinski MK, Merriam G. 1999. Fragmentation effects on forest birds:  
11 relative influence of woodland cover and configuration on landscape occupancy.  
12 *Conservation Biology* 13: 774-783.
- 13 Virkkala R. 2004. Bird species dynamics in a managed southern boreal forest in Finland.  
14 *Forest, Ecology & Management* 195: 151-163.
- 15 Väänänen R. 2008. Phosphorus retention in forest soils and the functioning of buffer  
16 zones used in forestry. *Dissertationes Forestales* 60. 42 pp. Available at  
17 <http://www.metla.fi/dissertationes/df60.htm>
- 18 Wallenda T, Stober C, Hogbom L, Schinkel H, George E, Hogberg P, Read DJ. 2000.  
19 Nitrogen uptake processes in roots and mycorrhizas. Schulze, ed. *Ecological*  
20 *Studies* 142, Berlin, Germany: Springer Verlag, 122-143.
- 21 Wiedermann MM, Nordin A, Gunnarsson U, Nilsson MB, Ericson L. 2007. Global  
22 change shifts vegetation and plant-parasite interactions in a boreal mire. *Ecology*  
23 88: 454 - 464.
- 24 Wiklund K, Nilsson L-O, Jacobsson S. 1995. Effect of irrigation, fertilization, and  
25 artificial drought on basidioma production in a Norway spruce stand. *Canadian*  
26 *Journal of Botany* 73: 200-208.
- 27 Witzell J. 2008. Behovsanpassad gödning i ungskogar - ekologiska interaktioner i ett  
28 bestånds- och landskapsperspektiv. Arbetsrapport nr 38. Institutionen för  
29 sydsvensk skogsvetenskap, SLU, Alnarp.
- 30 Ylimartimo A. 1990. The effect of nitrogen and potassium availability on scleroderris  
31 canker of Scots pine seedlings. *Water, Air & Soil Pollution* 54: 307-313.
- 32 Ylimartimo A. 1991. Effects of foliar nitrogen, potassium and magnesium concentrations  
33 on the resistance of Scots pine seedlings to scleroderris canker infection.  
34 *European Journal of Forest Pathology* 21: 414-423.
- 35 Ylimartimo A, Haansuu P. 1993. Growth of *Gremmeniella abietina* on artificial media  
36 simulating the effects of mineral nutrient imbalance of Scots pine. *European*  
37 *Journal of Forest Pathology* 23: 372-384.
- 38 Zak DR, Holmes WE, Burton AJ, Pregitzer KS, Talhelm AF. 2008. Simulated  
39 atmospheric NO<sub>3</sub><sup>-</sup> deposition increases soil organic matter by slowing  
40 decomposition. *Ecological Applications* 18: 2016-2027.