

Effekter av kvävegödsling på skogsmark

Kunskapssammanställning utförd av
SLU på begäran av Skogsstyrelsen



Peter Högberg, Stig Larsson, Tomas Lundmark,
Jon Moen, Urban Nilsson, Annika Nordin

© Skogsstyrelsen, Januari 2014

Författare

Peter Högberg
Stig Larsson
Tomas Lundmark
Jon Moen
Urban Nilsson
Annika Nordin

Omslagsbild

Yara AB

Projektledare

Annika Nordin

Upplaga

Finns endast som pdf-fil för egen utskrift

Best nr

1857

Skogsstyrelsens böcker och broschyrer
551 83 Jönköping

Innehåll

Förord Skogsstyrelsen	1
Förord SLU	2
Sammanfattning och slutsatser	3
1. Inledning	6
2. Inverkan på skogens produktion	8
2.1. Sammanfattning	8
2.2. Tillväxteffekter av konventionell skogsmarksgödsling	8
2.3. Tillväxteffekter av behovsanpassad gödsling	11
3. Inverkan av kvävegödsling på miljön	13
3.1. Inverkan på mark, vatten och växthusgaser	13
3.1.1. Sammanfattning	13
3.1.2. Kvävedynamiken i ett växt-mark-perspektiv	14
3.1.3. Vattnets flödesväg som perspektiv	15
3.1.4. Processer i och interaktioner mellan bestånd, atmosfär och vattendrag	15
3.1.5. Effekter av kvävegödsling på växthusgasbalansen	20
3.2. Inverkan på flora och fauna	22
3.2.1. Sammanfattning	22
3.2.2. Markvegetation i trakthyggesbrukad skog	22
3.2.3. Effekter av skogsgödsling på markvegetationen	22
3.2.4. Skadesvampar och skadeinsekter	25
3.2.5. Inverkan på rennäring	26
4. Åtgärder för att undvika, minska eller avhjälpa skadliga verkningar på miljön samt förväntade effekter av dessa åtgärder	28
4.1. Åtgärder knutna till inverkan på mark, vatten och luft	28
4.2. Åtgärder knutna till inverkan på flora och fauna	28
4.3. Åtgärder knutna till inverkan på rennäring	28
5. Konsekvenser för miljön om verksamheten inte kommer till stånd	29
6. Identifierade kunskapsluckor	30
7. Referenser	32

Förord Skogsstyrelsen

Skogsstyrelsen har tidigare utfärdat föreskrifter och allmänna råd för kvävegödsling åren 1977, 1984, 1991 och 2007. Våren 2011 ansåg Skogsstyrelsen att det fanns skäl att ompröva de gällande föreskrifterna och allmänna råden. Omfattningen av skogsgödsling hade ökat kontinuerligt under en 10-års period från ett bottenläge omkring år 2000. Ny kunskap hade tillkommit om olika skogsbruksåtgärders påverkan på skogens vatten. Frågeställningar hade tillkommit kring att använda organiska gödselmedel och mer intensiva gödslingsprogram. Många hade synpunkter, både positiva som negativa, på skogsgödsling som lämplig skogsbruksåtgärd. Den ger stor tillväxteffekt rätt använd, men kan även ha negativa miljökonsekvenser.

På begäran av Skogsstyrelsen har SLU skogsfakultet gjort denna kunskapssammanställning över kvävegödsling. Detta för att Skogsstyrelsen skulle få tillgång till de senaste forskningsrönen om kvävegödsling. För detta arbete vill Skogsstyrelsen framföra sitt stora tack till skogsfakulteten och dess forskare.

Johan Wester
Enhetschef, skogsenheten

Förord SLU

I december 2011 gav Skogsstyrelsen SLU ett uppdrag att förutsättningslöst pröva de allmänna råden från år 2007 angående skogsmarksgödsling, mot senaste forskningsresultat och erfarenhet. Syftet var att bilda underlag för Skogsstyrelsens ställningstagande till att eventuellt omformulera de allmänna råden och inriktning på dessa. Skogsstyrelsen avsåg att SLU skulle ta upp både konventionell skogsmarksgödsling (en eller flera givor per omloppstid), så kallad behovsanpassad gödsling (även benämnd ungskogsgödsling eller balanserad näringstillförsel) och organiska gödselmedel. Man skulle endast behandla gödsling i form av kväve på fastmark.

Eftersom behovsanpassad gödsling ingående behandlats i en tidigare rapport (Miljöanalys av balanserad näringstillförsel, 2010) har vi i denna rapport endast tagit upp effekter av behovsanpassad gödsling som framkommit efter 2010. Effekter av gödsling med slampellet har vi valt att utelämna eftersom detta behandlats i flera tidigare rapporter. Fokus för rapporten är istället konventionell skogsmarksgödsling och de rekommenderade begränsningar (av mängderna kväve och av geografiska områden för gödselspridning) stämmer överens med aktuellt kunskapsläge. Vi redogör för både positiva och negativa effekter av att tillföra kväve till skogsekosystem. Även om den senaste utredningen angående skogsmarksgödsling genomfördes så sent som 2007 av IVL har vi ansett arbetet med denna kunskapsuppsammanställning som angelägen. Kunskapsutvecklingen inom området är snabb och vi hoppas kunna bidra till att förmedla denna kunskap till praktisk användning. Målsättningen har varit att ge en översiktlig bild av det aktuella kunskapsläget där information inhämtats i första hand från forskningslitteraturen, men också från diverse relevanta rapporter och publikationer samt intervjuer med olika forskare.

Umeå 22 december 2012

Peter Högberg, professor vid institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU

Stig Larsson, professor vid institutionen för ekologi, SLU

Tomas Lundmark, professor vid institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU

Jon Moen, professor vid institutionen för ekologi, miljö och geovetenskap, Umeå universitet

Urban Nilsson, professor vid institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU

Annika Nordin, professor vid institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi, SLU

Sammanfattning och slutsatser

Skogsmarksgödsling med 150 kg kväve ha⁻¹ ca 10 år innan föryngringsavverkning är den mest kostnadseffektiva skötselåtgärden för att öka skogstillväxten på kort och medellång sikt. Tillväxtresponserna är markant för både gran och tall på svaga och medelgoda marker, medan kvävegödsling av bestånd med ståndortsindex över 30 normalt inte ger tillräcklig tillväxtökning för att ekonomiskt motivera åtgärden. Den relativa gödslingsresponsen är större i norra än i södra Sverige medan de absoluta skillnaderna är små. Det betyder att även kvävegödsling inom regioner där den idag inte rekommenderas kan ge goda tillväxteffekter, så länge inte bestånd med ståndortsindex över 30 gödslas. Kvävegödsling med doser som överskrider de idag rekommenderade ger också goda tillväxteffekter (detta inbegriper doser upp emot 800 – 1000 kg N ha⁻¹ och omloppstid). Särskilt så kallad behovsanpassad gödsling (även kallad ungskogsgödsling) kan ge betydande tillväxtökning med förkortad omloppstid som följd.

Kvävegödsling påverkar skogens växthusgasbalans positivt genom att trädens upptag av koldioxid ökar och avgivningen av koldioxid från barrförnedbrytningen minskar. Till följd av den långsammare förnedbrytningen ökar markens inlagring av kol efter kvävegödsling. Om den ökade tillväxten används för substitution av fossila bränslen, stål och betong kan klimatnyttan öka ytterligare. Risken för lustgasavgivning till följd av kvävegödsling är mycket liten så länge inte fuktiga marker gödslas.

Liksom all annan odling av intensiv karaktär kommer också kvävegödsling av skog att få effekter på naturmiljön. Risken för kväveläckage till markvattnet ökar efter kvävegödsling, särskilt i samband med skogsskötselåtgärder (t.ex. gallring, slutavverkning, stormfällning) eller andra störningar (t.ex. angrepp av skadegörare) som reducerar trädens kapacitet att ta upp näringsämnen. Trots detta beräknas skogsgödsling endast obetydligt bidra till skogsmarkens totala kväveläckage till omgivande hav. Kvävegödslingsförsök med höga doser har lett till mycket lite läckage och tillväxtresponserna hos träden är väl relaterade till mängden tillsatt mängd kväve. Först vid extremt höga gödselgivor, långt över vad som idag rekommenderas, förväntas betydande kväveläckage. Skogsmarksgödsling påverkar vegetationens artsammansättning och kan minska artrikedomen, då den gynnar kväveälskande arter och leder till att ljusstillgången för markfloran minskar. Effekter i växande skog är ofta övergående, men vid gallring och slutavverkning kommer floraresponserna skilja sig så att gödslade bestånd kommer att få en mer kvävegynnad flora än ogödslade bestånd. Skogsmarksgödsling kan vara mycket besvärande för renskötseln om den utförs på lavrika marker då den missgynnar förekomsten av marklavar.

Det bör också beaktas att kväveretentionen i de flesta nordliga tempererade och boreal skogsmarker är mycket hög. Även om intensiva former av skogsmarksgödsling leder till att skogsekosystemens kapacitet att binda kväve minskar, så har försök visat att ekosystemen återgår till att vara kvävebegränsade efter avslutad kvävegödsling. Detta sker även om mycket stora mängder kväve tillförts under lång tid. Man kan alltså konstatera att en viktig funktion hos ekosystemet återgår,

även om artsammansättningen hos flora och fauna kan visa tecken på att vara fortsatt kvävepåverkad.

Viktiga åtgärder för att minska eventuella negativa effekter av skogsmarksgödsling inbegriper precis som dagens rekommendationer föreskriver att lämna skyddszoner mot vattendrag och våtmarker samt undvika kvävegödsling av lavrika marker och extremt höga boniteter. Man bör också undvika kvävegödsling av bestånd med skyddsvärda flora- och faunaobjekt och i övrigt ta den hänsyn som anges i SVL 30§.

Efter att ha vägt möjligheter och risker med skogsgödsling finner vi ingen anledning att minska de högsta rekommenderade doserna av kväve som beskrivits i Skogsstyrelsens tidigare råd. Med antagandet, att den balans mellan produktions- och miljövärden som uppnås i enlighet med Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd till ledning för hänsyn enligt 30 § skogsvårdslagen (1979:429) vid användning av kvävegödsel på skogsmark, var acceptabel när föreskrifterna utformades 2007, så skulle man snarare kunna rekommendera högre kvävegivor under en omloppstid med tanke på den fortsatt minskade emissionen av kväve, och ny kunskap inte minst vad gäller kväveretention och ungskogsgödsling.

I enligt förordning (2009:1393) med instruktion för Skogsstyrelsen att myndigheten ska se till att dess föreskrifter, allmänna råd och andra vägledande dokument är utformade på ett sådant sätt att de är kostnadseffektiva och enkla att följa och förstå för företag föreslår vi en regelförenkling som innebär att samma föreskrifter och allmänna råd till ledning för hänsyn enligt 30 § skogsvårdslagen (1979:429) vid användning av kvävegödsel på skogsmark tillämpas i hela landet. Att dessa utformas i enlighet med dagens råd och föreskrifter för region 4 (se fig. 1) men med undantaget att rekommendationen, att enbart skog som uppnått gallringsmogen ålder kan gödslas, tas bort. En sådan tillämpning innebär att maximalt 450 tusen hektar skogsmark kan kvävegödslas årligen med antagandet att omloppstiderna i Sverige varierar mellan 70-100 år. Vår bedömning är dock att en sådan förändring inte skulle leda till en drastisk ökning av kvävegödsling av skog utan ytterligare politiska styrmedel eftersom åtgärden idag inte tillämpas på alla marker som anses lämpliga enligt Skogsstyrelsens nuvarande föreskrifter och allmänna råd.

Förslaget innebär minskade restriktioner för kvävegödsling av skog och öppnar för dess tillämpning i hela landet samt inkluderar ungskogsgödsling. I enlighet med uppdragsbeskrivningen ska denna studie kännetecknas av ett försiktighets-tänkande i betydelsen att där det finns kunskapsluckor och osäkerhet kring effekterna av kvävegödsling, ska detta redovisas. Visserligen har vi försökt syntetisera och analysera även de senaste forskningsrönen men det utesluter inte att det även fortsättningsvis finns risk och osäkerhet förknippad med brukande av naturresursen skog. Flera viktiga kunskapsluckor har också identifierats. Vi föreslår därför att ungskogsgödsling där den tillförda mängden kväve överstiger 450 kg ha^{-1} under en omloppstid, s.k. behovsanpassad gödsling, ska ses som en intensifiering av skogens brukande och att åtgärden därför bör utvecklas inom ramen för konceptet adaptiv skogsskötsel. Med adaptiv skogsskötsel avses här en förvaltningsmodell som medger att miljöeffekter och produktionsfaktorer kan följas så att negativa överraskningar vid behov ska kunna undanröjas, eller kompenseras för.

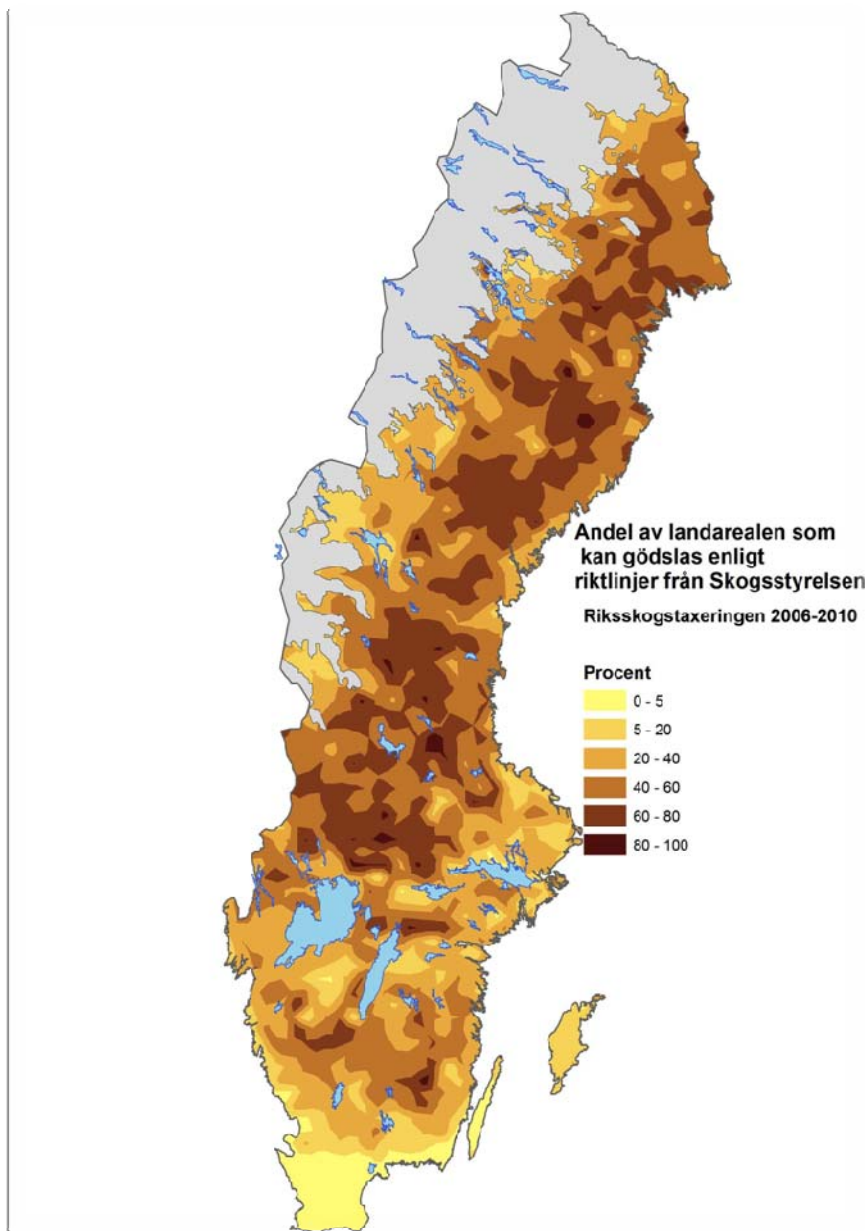
Skogsstyrelsen och Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) bör gemensamt utarbeta en sådan modell.

1. Inledning

Den mest begränsande faktorn för skogsträdens tillväxt i Sverige är tillgången på växtnäring, särskilt kväve (Tamm 1991). Dagens skogspolitik tillåter att skogsmarksgödsling sker i begränsad omfattning. I Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd till ledning för hänsyn enligt 30 § skogsvårdslagen (1979:429) vid användning av kvävegödsel på skogsmark anges hur och var i landet som gödsling kan ske. Landet är indelat i fyra regioner (Fig. 1). De allmänna råden anger att kvävegödsling inte bör ske inom region 1, att inom region 2 bör kvävegödsling endast ske på marker där GROT uttag utförts eller planerats och i så fall med endast 150 kg N ha⁻¹ under en omloppstid, att inom region 3 bör kvävegödsling kunna ske med upp till 300 kg N ha⁻¹ under en omloppstid och inom region 4 med upp till 450 kg N ha⁻¹. Kvävegödsling rekommenderas endast i bestånd som uppnått gallringsmogen ålder. Om man med stöd av data från Riksskogstaxeringen tillämpar anvisningarna för region 4 i hela landet kan man beskriva hur stor andel av skogsmarken eller landarealen som bedöms lämplig eller möjlig för skogsmarksgödsling (Fig. 2). En sådan analys visar att en tillämpning av dagens råd och föreskrifter medger skogsmarksgödsling på relativt små arealer i södra Sverige och att den största arealen lämplig för skogsmarksgödsling återfinns i Norrland. Totalt sett bedöms ca halva den produktiva skogsmarksarealen vara lämplig/möjlig att kvävegödsla. Med antagandet att hela arealen som bedöms lämplig/möjlig att kvävegödsla skulle gödulas tre gånger under en omloppstid, och med antagandet att omloppstiderna i Sverige varierar mellan 70 och 100 år, blir den maximala årliga arealen som gödulas ca 450 000 hektar.



Figur 1. Indelningen av Sverige i olika regioner för Skogsstyrelsens angivna restriktioner för skogsmarksgödsling.



Figur 2. Skogsmark som kan gödulas enligt riktlinjer från Skogsstyrelsen uttryckt som andel av landarealen utan hänsyn tagen till Skogsstyrelsen indelning av Sverige i regioner (Fig. 1). Skogsmark som ej kan gödulas har undantagits enligt 30§ SVL.

Denna rapport redogör för det aktuella kunskapsläget angående tillväxthöjande effekter samt negativa sidoeffekter av skogsmarksgödsling med syfte att pröva de nu gällande allmänna råden. Vi använder oss av två begrepp vad avser skogsmarksgödsling, traditionell kvävegödsling och behovsanpassad gödsling. Med traditionell kvävegödsling avses kvävegödsling med ca 150 kg kväve ha⁻¹ som utförs en eller flera gånger i slutet av ett likåldrigt bestånds omloppstid. Vi upprepade kvävegödslingar är gödslingsintervallet ca 10 år. Behovsanpassad gödsling innebär att gödslingen inleds tidigt under ett likåldrigt bestånds omloppstid, att gödslingsintervallen är täta (varje eller vart annat år) och att den totala mängden kväve som tillförs under en omloppstid (ca 1 000 kg ha⁻¹) är högre än vad som i dag rekommenderas.

2. Inverkan på skogens produktion

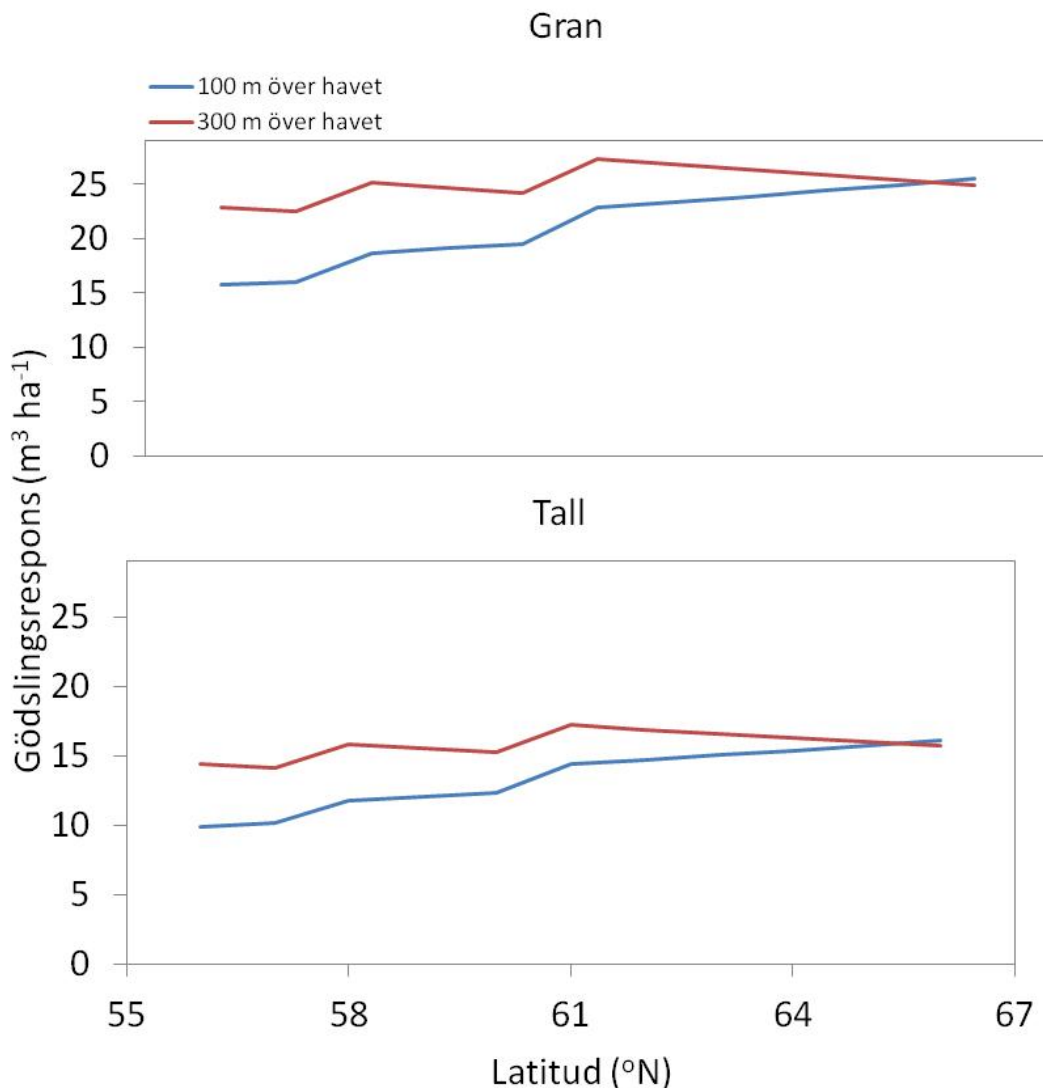
2.1. Sammanfattning

Kvävegödslingsförsök visar tillväxthöjande effekter på både tall och gran av skogsmarksgödsling över hela landet. Den relativa tillväxteffekten är större i norra än i södra Sverige, medan skillnaden i absolut tillväxtökning är liten. Att gödsla höga boniteter ger liten och ibland ingen tillväxteffekt och kvävegödsling av bestånd med SI > 30 bör därför undvikas. Att tillföra doser som överskrider de idag rekommenderade gränsvärdena ger betydande tillväxteffekter, både i unga (< 30 år) och äldre bestånd. Gallring tar bort en del av den positiva tillväxteffekten av kvävegödsling, men så länge inte mer än 30 % av grundytan avlägsnas består den positiva gödslingseffekten.

2.2. Tillväxteffekter av konventionell skogsmarksgödsling

För att öka virkesproduktionen påbörjades kvävegödsling av skogsmark under 1960-talet. Den gödslade arealen ökade snabbt och under mitten till slutet av 1970-talet kvävegödslades mellan 150 000 ha och 200 000 ha år⁻¹. Under samma period anlades ett mycket stort antal fältförsök i Sverige, men även i Finland och Norge, för att fastställa kvävegödslingens tillväxteffekter och för att utforma lönsamma tillämpningar i skogsbruket. Det finns således en stark empirisk bas att vila på vad gäller fastmarksgödsling i medelålders och äldre bestånd. Baserat på dessa fältförsök och på praktiska erfarenheter utvecklades en praxis för skogsmarksgödsling som tillämpas än idag. Vid konventionell skogsgödsling tillförs som regel 150 kg N ha⁻¹ vid högst tre tillfällen under en omloppstid (Nohrstedt 2001). Detta ger en ökad tillväxt på 10-20 m³ ha⁻¹ och gödslingstillfälle (Pettersson 1994).

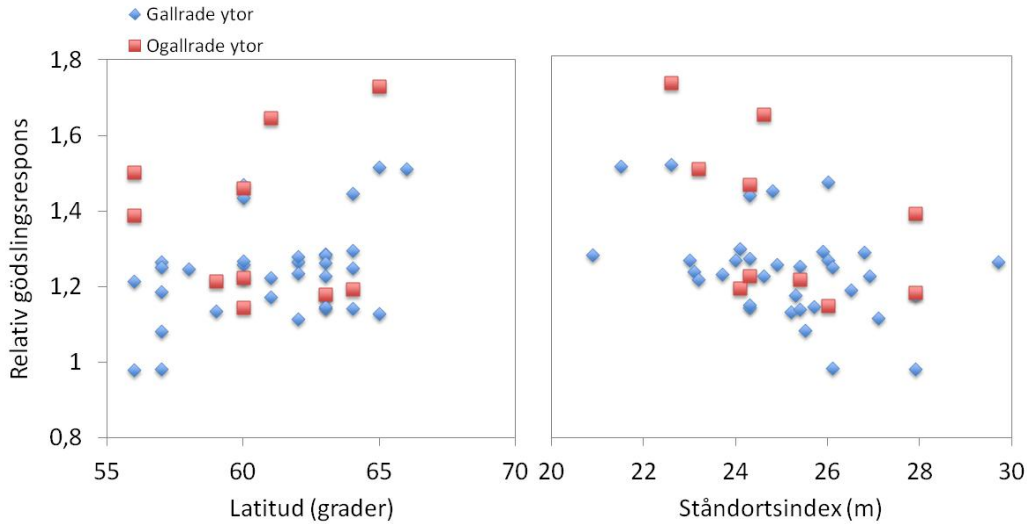
Kvävegödsling ger en markant tillväxtökning på de allra flesta skogsmarker i landet (Tamm 1991). Prognosfunktioner som bygger på resultat från de äldre kvävegödslingsförsöken visar att gödslingsreaktionen vid konventionell gödsling är något högre i norra Sverige än i södra men skillnaden är liten, speciellt för tall (Fig. 3). Höjden över havet påverkar gödslingsreaktionen så att gödsling av bestånd belägna på högre höjd ger en något högre tillväxtreaktion efter gödsling än bestånd belägna på lägre höjd över havet. Det finns också en tydlig trädslags-effekt. Vid jämförbara förhållanden är gödslingsreaktionen högre för gran än för tall (Fig. 3).



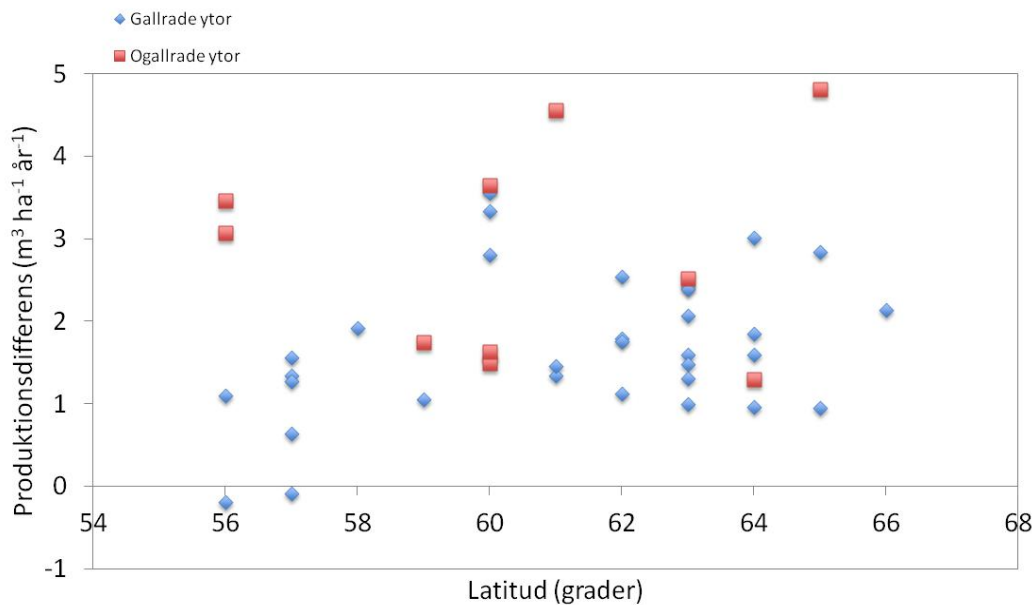
Figur 3. Effekt av latitud och höjd över havet för total kvävegödslingsrespons ($m^3 ha^{-1}$) för tall och granbestånd som gödslats med $150 kg N ha^{-1}$. Data för figurerna har tagits fram med prognosfunktioner för gödslingsreaktion av Pettersson (1994).

Kvävegödslingsresponsen för tall i ett nyligen analyserat landsomfattande gallrings- och gödslingsförsök visar också på en tendens till lägre gödslingsrespons för de sydligt belägna ytorna än för de nordliga (Fig. 4) (Berg et al 2013). Det fanns också en tendens till minskad gödslingsrespons med ökad bördighet (Fig. 4). Det är dock viktigt att påpeka att det är den relativa responsen som visas. Eftersom produktionen är högre på höga ståndortsindex (SI) och därmed på de sydliga ytorna så var den absoluta gödslingsresponsen mindre påverkad av läge i landet (Fig. 5). Både prognosfunktionerna och empiriska data från olika gallrings- och kvävegödslingsförsök med tall visar alltså att det finns en svag tendens till minskad gödslingsreaktion med minskad latitud. Effekten av latitud är dock liten och både prognosfunktionerna och data från fältförsök visar att gödsling med kväve i tallbestånd medför ökad tillväxt även i södra Sverige. Resultaten från detta gallrings- och gödslingsförsök visar också att de ogallrade ytorna hade något högre gödslingsrespons än de gallrade (Fig. 4).

I gallrings- och gödslingsförsöken ingick även kvävegödsling av gran. Samtliga lokaler med gran var belägna på mycket bördig mark (SI>30) och gödslingsresponsen uteblev helt vilket bekräftar och stöder tidigare resultat som har lett till rekommendationen att avstå från gödsling av gran på bördig mark (Pettersson et al 2009).



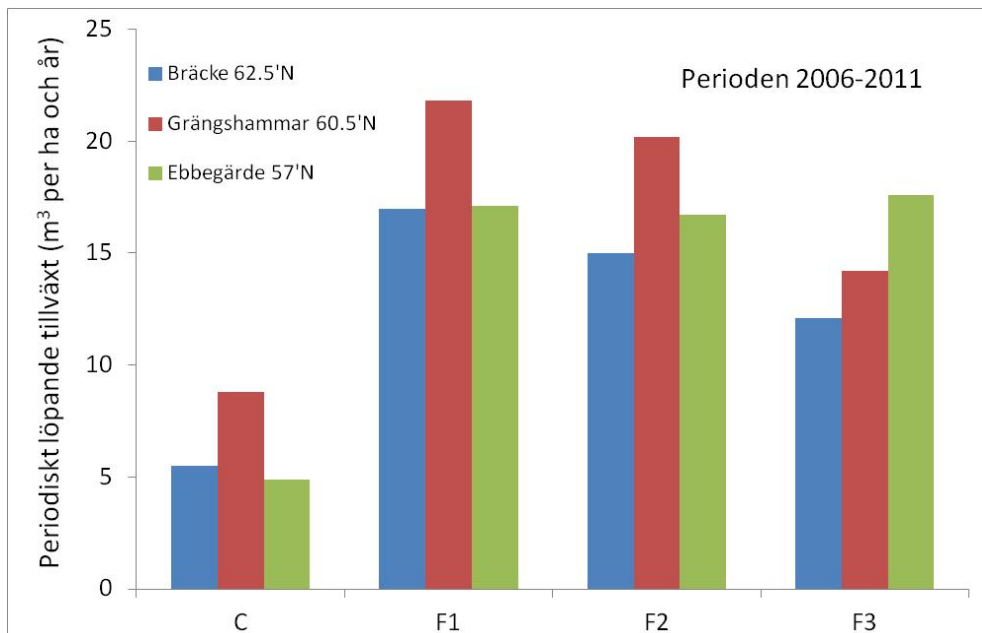
Figur 4. Relativ kvävegödslingsrespons för gallrad och ogallrad tall (total produktion efter gödsling för gödslade ytor i relation till produktionen för ogödslad kontroll). Gödslingsresponsens påverkan av läge landet (latitud) och påverkan av markens bördighet (ståndortsindex) visas. Data kommer från ett landsomfattande gallrings- och gödslingsförsök (Berg et al 2013; Nilsson et al. 2010).



Figur 5. Absolut kvävegödslingsrespons för gallrad och ogallrad tall i relation till läge i landet (latitud). Data kommer från ett landsomfattande gallrings- och gödslingsförsök (Berg et al 2013; Nilsson et al. 2010).

2.3. Tillväxteffekter av behovsanpassad gödsling

Nya resultat från de äldre långliggande gallrings- och gödslingsförsöken visar att den avtagande tillväxteffekten vid upprepad traditionell kvävegödsling som tidigare noterats främst är en effekt av att man gallrat och glesat ut beståndet (Berg et al 2013). Vid upprepad kvävegödsling utan gallring verkar tillväxten öka vid varje upprepad gödsling. På senare tid har flera nya försöksserier med intensivare program av skogsmarksgödsling anlagts i Sverige. Så kallad behovsanpassad gödsling (även kallad ungskogsgödsling) är en metod att ta tillvara på den ökade tillväxtpotentialen efter upprepade gödslingsår med start redan i relativt unga skogar. De totala givorna av kväve under en omloppstid blir mellan 800 och 1500 kg N ha⁻¹. Nya försöksserier med behovsanpassad gödsling av gran (15 försök) har visat att de höga produktionsnivåer i tidigare försök med denna typ av gödslingsprogram (Stråsan, Flakaliden och Asa) inte är en tillfällighet (Fig. 6). Tillväxten efter 10 års gödsling, där produktionsnivåerna sannolikt inte har nått sin kulmen ännu, är lika höga eller högre jämför med tidigare försök. Södra Norrland verkar vara det område i Sverige där mertillväxten blir som störst och stämmer väl överens med uppskattningar som gjordes av Bergh et al. (2005). Försöken med behovsanpassad gödsling visar att gödsling i granungskog kan ske vartannat år och bibehålla samma produktionsnivå som gödsling varje år vilket förstås har stor betydelse för lönsamheten i åtgärden. Gödsling vart tredje år verkar tappa något i produktion jämfört med de andra behandlingarna. Fortsätter produktionsutvecklingen i dessa nya försök på samma sätt som tidigare försök kommer de ha en stående stamvolym på 500 m³ ha⁻¹ i södra Sverige och södra Norrland, 20-25 år efter första gödslingstillfället i ungskogen. Modellberäkningar pekar på att ett gallringsfritt skogsbruk i dessa bestånd med kort omloppstid ger bäst lönsamhet. I södra Sverige och upp till och med södra Norrland skulle man kunna få omloppstider på 35-45 år. I Sveriges norra delar skulle omloppstiden bli 45-55 år.



Figur 6. Intervallsförsöken startade 2001 och gödslades första gången 2002 (alla behandlingar) för försökslokalerna i Bräcke (Jämtland), Grängshammar (Dalarna) och Ebbegärde (östra Småland). Revision utfördes hösten 2011 för gödsling varje år (F1), gödsling vartannat år (F2) och gödsling vart tredje år (F3) och jämfördes med ogödslad kontroll (C). Tillväxten är periodisk löpande tillväxt (m³sk ha⁻¹ och år) för 5-års-perioden 2006-2011.

Beräkningar gjorda inom den s.k. MINT-utredningen pekar på att det finns 5.5 miljoner ha 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 10 % av skogsmarken så att skogsskötselprogrammet under omloppstiden innehåller behovsanpassad gödsling av gran om all lämplig mark tas i anspråk den närmaste tiden.

Tabell 1. Total areal (1000 ha) 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 till tämligen grunt jorddjup, (2) ståndortsindex G18 – G32. 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.

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
Totalt	5 523	2 607

3. Inverkan av kvävegödsling på miljön

3.1. Inverkan på mark, vatten och växthusgaser

3.1.1. Sammanfattning

Mark: Inom bestånd som gödslas med kväve kommer markens förråd av kol i organiskt material att öka. Detta beror på ökad produktion av förna men också långsammare nedbrytning av förnan. Mykorrhiza-symbiosen kommer att påverkas genom att träden minskar sin allokering av kol till rotsystemen. Därmed minskar produktionen av mycel av mykorrhiza-svampar, vilket innebär en minskning av ekosystemets kapacitet att binda kväve. Denna förändring är dock reversibel; om kvävegödslingen upphör efter ett par årtionden återgår ekosystemet till sitt tidigare kvävebegränsade tillstånd och träden ökar återigen sin allokering av kol till mykorrhiza-svamparna. Under en period efter kvävegödsling ändras artsammansättningen hos mykorrhiza-samhället så att vissa svamparter gynnas medan andra svampar minskar. Mängden markdjur som är beroende av svampmycel minskar, men populationen förväntas återhämta sig när trädens kolallokering till rötterna ökar efter kvävegödsling.

Vatten: Kvävegödsling innebär en ökad risk för läckage av kväve från skogsmarken till grund- och ytvatten. Förutsatt att den inte utförs i mycket unga eller mycket gamla skogar med låg tillväxt och på utströmningsområden för grundvattnet, så är risken för kväveläckage dock liten tack vare markens normalt starka retention av kväve. Risken för läckage är något förhöjd efter gallring och slutavverkning eller störningar såsom stormfällning och omfattande angrepp av skadedörare på träden. Kväve som läcker från ett skogsbestånd till markvattnet och når ett utströmningsområde kan transporteras vidare via vattendrag och sjöar till omgivande hav. Studier av föryngringsavverkningens effekter på kväveläckage antyder att effekten av skogsskötselåtgärder som avverkning och kvävegödsling på vattendragen i ett större landskapsperspektiv är mycket lokala. Förhöjda halter av oorganiskt kväve, främst som nitrat, torde därför kunna spåras i bäckvatten högst några hundratal m nedströms gödslade ytor (gäller endast mycket små bäckar och i fall där hela avrinningsområdet uppströms gödslats); grova skattningar antyder att kvävegödslingens bidrag till tillförsel av kväve till haven kan som högst röra sig om enstaka procent av det nuvarande kväveläckaget från skogsmark (eller enstaka promille av den totala utförseln av kväve från Sverige till omgivande hav).

Växthusgaser: Kvävegödsling påverkar utbytet av s.k. växthusgaser mellan skogslandskapet och atmosfären; framför allt ökar upptaget av koldioxid genom växternas fotosyntes, samtidigt som avgången av koldioxid från marken till atmosfären minskar. Avgången av lustgas riskerar att öka, särskilt från skogsmark som klassas som fuktig eller frisk-fuktig och efter slutavverkning. Pågående studier antyder att avgången av lustgas från skog som gödslats med höga doser (doser långt över vad som kan rekommenderas ur tillväxthöjande synpunkt) av kväve är relativt liten. Den totala effekten på den globala växthusgasbalansen (inkl. effekter av fossila driv- och produktionsmedel) blir därför positiv i bemärkelsen att uppvärmning av atmosfären till följd av ökade halter av växthusgaser motverkas genom att skogens tillväxt ökar av kvävetillförsel. Tillförsel av kväve till våra

skogsekosystem är således ett effektivt sätt att binda mer solenergi i organiskt material och att öka möjligheten till substitution av fossil energi.

3.1.2. Kvävedynamiken i ett växt-mark-perspektiv

Tidigare har man inom skogs- såväl som jordbruk fokuserat på markens textur (kornstorleksfördelning) och hydrologi som avgörande för ekosystemets omsättning och retention (kvarhållande) av oorganiska kväveföreningar. Senare tids forskning rörande skogsekosystem pekar emellertid på den stora betydelsen av de inblandade organismernas biomassa och fysiologi, särskilt tillgång på energi. Markens textur har en underordnad betydelse, medan vattnets betydelse som transportör av det kväve som finns i överskott i relation till organismernas behov naturligtvis kvarstår.

Av helt avgörande betydelse för kvävet omsättning är samspel mellan tillgängligheten av kväve i marken, träd och mikroorganismer, speciellt mykorrhizasvampar (t ex Högberg et al. 2010, Högberg et al. 2011). Om tillgängligheten av kväve är låg investerar nämligen träden mycket kol (socker) från fotosyntesen i rot-systemet och i dess mykorrhiza-svampar. Detta rör sig i våra vanligtvis mycket kvävefattiga skogar om hälften eller mer av kolet från nettofotosyntesen. Denna stora kol-investering görs i en mycket effektiv fälla för fria kväveföreningar i marken. Omvänt så investerar träden betydligt mindre kol i rötter och mykorrhizasvampar om tillgången på kväve är god. En 50 procentig minskning av allokeringen av kol till dessa uppmättes efter kvävegödsling med 200 kg N ha⁻¹ (Högberg et al. 2010). Det är viktigt att påpeka att denna reglering är dynamisk. En tid efter kvävegödsling minskar tillgängligheten av kväve och systemet återgår till att vara kvävefattigt, varvid mykorrhizas funktion som kvävefälla restaureras. I ett försök där så mycket som 2 000 kg N ha⁻¹ tillförts en norrländsk tallskog under en period av 20 år skedde en avsevärd återhämtning av mykorrhizasvamparnas funktion under en period 5-15 år efter avslutad kvävebehandling (Högberg et al. 2011).

Skillnader i detta samspel mellan tillgängligheten av kväve i marken, träd och mikroorganismer, förklarar skillnaderna i kvävedynamik mellan olika skogstyper (Högberg et al. 2006, 2007). Således karaktäriseras högörtsrika skogar i områden för utströmning av grundvatten (ofta i närheten av bäckar) av att vegetationen är rik på kväve och att andelen marksvampar relativt -bakterier är låg, till följd av att träden investerar lite kol i rötter och mykorrhizasvampar. Detta får i sin tur som följd att förmågan till kväveretention är lägre, och att kvävecykeln blir öppnare (med mer nitrifikation och risker för förluster genom utlakning av nitrat eller avgång av lustgas genom denitrifikation). Sådana skogar ska naturligtvis inte gödslas, och Skogsstyrelsen avråder tydligt från gödsling av sådana skogar. Deras produktion är därtill redan hög. Det bör påpekas att det finns en korrelation mellan markens kvot kol/kväve och risken för läckage (Ring 2007, Gundersen et al. 2006). Denna korrelation tolkas nog av många som att en hög kvot motsvarar en hög kemisk immobiliseringsförmåga, alternativt en hög förmåga för markmikroorganismer att binda kväve till ett överskott av kol. Den tolkning vi gör här, som är baserad på senare tids forskning, ser en hög kvot C/N som en indikator på låg kvävetillgång och därmed ett tillstånd där träden allokera mycket kol till sina mykorrhizasvampar, vilket i sin tur leder till hög retention av kväve.

3.1.3. Vattnets flödesväg som perspektiv

Kvävegödsling bör endast ske inom de delar av ett avrinningsområde som kan betecknas som inströmningsområden, d.v.s. där markvattnet har en flödeskomponent riktad in i grundvattenzonen. I ett utströmningsområde (utgör ofta ca. 10 % av ett avrinningsområde) har grundvattnet en flödeskomponent riktad ut ur grundvattenzonen. Markprofilen är då ofta någon form av humuspodsol med mäktigt mårager, eller torv. Åtminstone tidvis står grundvattenytan högt, och en del av vattnet avrinner ytligt. Ur näringsläckagesynpunkt är bestånd inom utströmningsområden helt olämpliga som objekt för kvävegödsling, dels p.g.a. att de ofta redan har hög kvävetillgång men också p.g.a. risken för snabb uttransport av tillgängligt kväve.

3.1.4. Processer i och interaktioner mellan bestånd, atmosfär och vattendrag

Avdunstning

En effekt av kvävegödsling är att transpirationen från träden kan komma att öka till följd av ökad barrbiomassa. Större sammanlagd bladyta per ytenhet (LAI) ger även större magasinering av nederbörd i kronskiktet både vid regn och vid snö. Mängden vatten som direkt kan avgå till atmosfären från ett vått kronskikt kommer därmed att öka. I en analys av avdunstning i stora avrinningsområden (263 – 25 030 km²) i Sverige fann man dock ingen trend i avdunstningen från 1931 till 1992 trots en fördubbling av beståndsvolymen i söder och en ökning med 40 % i norr (Brandt 1992). För utförligare information om vattendynamiken i barrskogs-ekosystem se Grip & Hällgren (2005).

Processer i marken

Mår används som beteckning för skiktet av organiskt material (O-horisont) ovanpå mineraljorden i skogsmark och karaktäriseras av att det är föga omblandat, och framför allt inte blandat med mineraljord. Näringsomsättningen i mårslaget domineras av biologiska processer kopplade till växternas näringsupptag och mikrobiell nedbrytning av dött organiskt material. I gödslade bestånd kommer marken (efter det att beståndet slutit sig) att vara mer beskuggad av ett tätare kronskikt. Detta leder till att temperaturen i mårslaget blir lägre i gödslade bestånd, än i motsvarande ogödslade under större delen av året. Till detta bidrar också att marken blir snötäckt senare (eftersom nederbörd i form av snö till stor del fastnar i det täta kronskiktet), att snötäcket blir tunnare och att snösmältningen kommer senare. En senareläggning av snötäckets utveckling samt ett totalt sett tunnare snötäcke leder till djupare tjäle. En djupare tjäle leder till en fördröjning av markens uppvärmning under vår och sommar, varför en djupare tjäle påverkar processerna i mårslaget inte bara under vintern, utan även under tillväxtsäsongen. Den större biomassan i kronskiktet efter kvävegödsling kommer att leda till större mängd fallföna i form av barr och kvistar tillförs mårslaget.

Huvuddelen av det kväve som tillförs vid gödsling kommer att tas upp av markens mikroorganismerna och en stor del av detta kommer även att på olika sätt lagras i marken. Senare tids forskning pekar på att stabila kväveföreningar i marken främst härrör från produkter syntetiserade av mikroorganismer även om direkt

kemisk immobilisering (exempelvis genom att ammoniak och nitrit binds till fenoler) också förekommer. Oavsett vilken process som ansvarar för immobiliseringen kan en del av detta kväve så småningom åter komma att mobiliseras.

Omsättningen av kol i marken sköts av olika markorganismer, och effekten av kvävegödsling skiljer sig mellan organismgrupperna. Eftersom mykorrhizasvampar är beroende av kol från sina värdväxter, och växters kolallokering till rötterna minskar när kvävetillgången ökar, riskerar kvävegödsling att negativt påverka mykorrhizasvampar. Studier har visat graden av mykorrhizainfektion på trädrötter inte påverkas av kvävegödsling, men att artsammansättningen ändras (Kårén och Nylund 1997; Fransson et al. 2000; Jonsson et al. 2000; Taylor et al. 2000). Där emot minskar det s.k. externa myceliet i marken (Nilsson och Wallander 2003; Högberg et al. 2007a, 2007b, 2011) vilket kan leda till minskad kapacitet för upp-tag av andra näringsämnen än kväve (Read 1992; Wallenda et al. 2000), samt till minskad förekomst av arter ur markfaunan som lever på mycel (Lindberg och Persson 2004), men eventuellt ökad förekomst av andra arter av markfaunan (Remén et al. 2008). Hos mykorrhizasvamparna leder gödsling med kväve i höga doser dessutom till att fruktkroppsbildningen minskar, speciellt efter tillförsel av stora doser kväve (ett antal arter, t.ex. *Paxillus involutus* och *Lactarius rufus* kan gynnas) (Laiho 1970; Menge och Grand 1978; Ohenoja 1978; Wiklund et al. 1995). Tillförsel av kväve i lägre doser kan stimulera produktionen av både markmycel och fruktkroppar av ektomykorrhizasvampar (Hasselquist et al. 2012). Kunskapen om hur saprofytiska svampar påverkas av kvävegödsling är i dagsläget mycket mer begränsad än kunskapen om hur mykorrhizasvampar påverkas. Det finns ett fåtal studier som föreslår att dessa svampar påverkas mindre av ökad kvävetillgång än mykorrhizasvampar.

Även bakterierna påverkas av kvävegödsling. På senare tid har många studier ägnats åt att fastställa bidraget av bakterier respektive svampar till olika mark-mikroorganism-samhällen. Kvoten mellan svamparnas biomassa och bakteriernas biomassa har jämförts mellan olika ekosystem och mellan olika experimentella behandlingar inom dessa ekosystem. Kvävegödsling har visat sig leda till att markens s.k. svamp – bakteriekvot minskar (Högberg et al. 2007a). Detaljerade studier visar att både svampars och bakteriers tillväxt och biomassa kan minska av kvävegödsling, men att svamparnas biomassa minskar mer än bakteriernas (Högberg et al. 2007b; Demoling et al. 2008). Studier i ett norrländskt kvävegödslingsförsök (Norrliden) och i en naturlig näringsgradient (Betsle utanför Lycksele) har demonstrerat att minskad svamp – bakteriekvot korrelerar positivt med ökad kvävemineringshastighet (Högberg et al. 2007a).

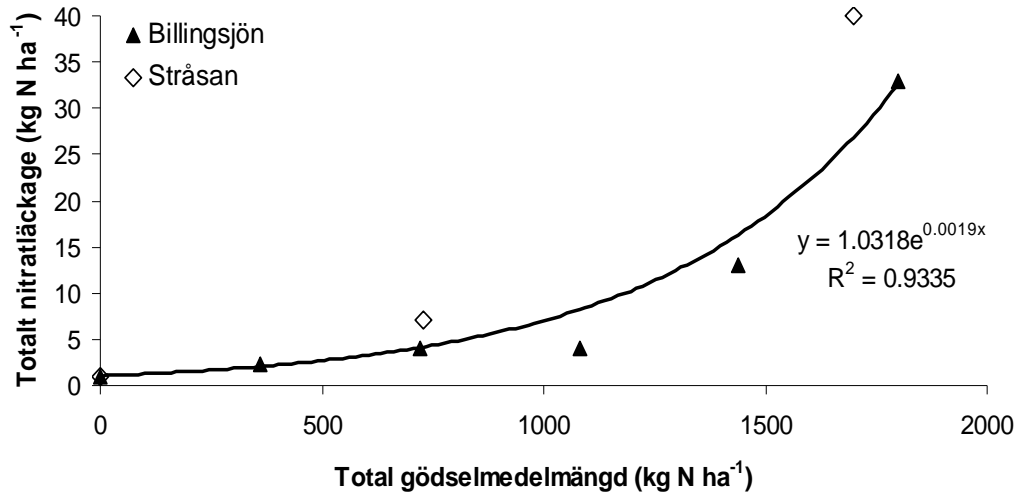
Aktiviteten hos markorganismssamhället i marken leder till nedbrytning av det organiska materialet (förnan). Nedbrytning kan över tiden vanligen beskrivas med en negativt exponentiell funktion eller en negativt asymptotisk funktion. Vid nedbrytning av barr, blad och annan fotosyntetisk vävnad karakteriseras det initiala förloppet (månader till år) av en relativt hög massförlust och den senare delen av förloppet av väldigt långsam nedbrytning. Dessa bägge faser av nedbrytning av organiskt material regleras av olika faktorer. Ett stort antal studier utförda på ligninrik förna (exempelvis barrförna) har visat att hög kvävehalt ger långsammare nedbrytning (Knorr et al. 2005). Man har föreslagit att detta beror på att hög kvävetillgång leder till minskad aktivitet hos de enzymer hos markens mikroorganismer som bryter ner lignin (Carreiro et al. 2000; Sinsabaugh et al. 2002)

eller på att ämnen som bildas när lignin bryts ned bildar andra väldigt svårnedbrytbara föreningar (Berg och Staaf 1981; Fog 1988; Dijkstra et al. 2004). Ökad kvävetillgång i ett barrskogsekosystem resulterar därmed i ökad inlagring av organiskt material i marken (för empiriska data från svenska skogsekosystem se exempelvis Franklin et al. 2004; Hyvönen et al. 2008), dels som en effekt av ökad förnaproduktion, dels som en effekt av långsammare nedbrytning av förnan (Knorr et al. 2005; Hobbie 2008; Zak et al. 2008).

Läckage av kväve

Vid konventionell skogsgödsling räknar man med att 5 – 10 % av det tillsatta kvävet läcker från beståndet i samband med kvävegödslingen (d.v.s. 7.5 – 15 kg N ha⁻¹) och kan dyka upp i de vattendrag som dränerar landskapet (Melin och Nõmmik 1988; Nohrstedt och Westling 1995; Ring 2007). En grov beräkning baserad på en årlig gödslad areal av 50 000 ha (2011 års nivå) av totalt 28 000 000 ha ger då en utlakning av högt räknat 10 kg X 50 000 = 0,5 milj kg. Detta kan jämföras med en bakgrundsutlakning på 2 kg ha⁻¹ år⁻¹ X 28 000 000 = 56 milj kg. Således skulle en grov skattning av kvävegödslingens bidrag till den potentiella exporten av kväve till haven idag kunna utgöra mindre än 1 % av skogsekosystemens bidrag.. Som en annan jämförelse utgör den ökade inbindningen av kväve i stamved p.g.a. ökad tillväxt i de svenska skogarna de senaste femtio åren hela 20 milj kg N år⁻¹. I tabell 5 visas en hög skattning av den ökning i kväveläckage till haven, som skulle bli följderna av om kvävegödslingen ökade från dagens nivå (50 000 ha år⁻¹) till det dubbla. Det bör påpekas att skattningen av det potentiella bidraget till haven med största sannolikhet är en överskattning eftersom studier visar att det även sker kväveretention och denitrifikation i vattendragen, vilket innebär att mindre kväve når haven.

Förutom att skogsmarken alltid kan ha ett ”grundläckage” av mindre mängder kväve, kan ett ökat läckage uppstå vid gallring och slutavverkning samt vid omfattande angrepp av skadegörare (se även avsnitt 3.2.4) och vid stormfällning. Vid konventionellt skogsbruk (med eller utan kvävegödsling), uppstår därför vanligtvis ett visst kväveläckage i och med dessa åtgärder/händelser (se exempelvis Rosén et al. 1996; Ring 2007). I regioner med låg kvävedeposition (norra Skandinavien) är emellertid det ökade kväveläckaget efter avverkning relativt lågt (0, 25 och 0,75 kg N ha⁻¹ år⁻¹ det första respektive andra året efter avverkning, jämfört med 0,09 kg N ha⁻¹ år⁻¹ innan avverkning) (Löfgren et al. 2009). Läckaget åren efter avverkning ökar med ökande kvävedeposition, och i områden med hög kvävedeposition (södra Skandinavien) kan det vara så högt som 35 kg N ha⁻¹ och år⁻¹ (Löfgren och Westling 2002; Akselsson et al. 2004). Ungefär liknande förhållanden gäller troligtvis vid stormfällning. Läckaget av nitratkväve som uppstår i samband med slutavverkning avklingar vanligtvis inom en femårsperiod (Futter et al. 2010). I samband med slutavverkning i gödslingsexperiment där kvävegivorna varierat från obehandlad kontroll till en ackumulerad dos av upp till 1800 kg N ha⁻¹ har nitratläckaget mätts med lysimeterteknik under två till fem år efter slutavverkningen (Ring 1995; Berdén et al. 1997). Resultaten tyder på att läckaget ökar exponentiellt när den ackumulerade dosen ökar. Vid så stor total dos som 1200 kg N ha⁻¹ gav regressionen ett totalt nitratläckage vid avverkning av ca. 10 kg N ha⁻¹ (Fig. 6).



Figur 7. Totalt nitratläckage (kg N ha^{-1} under 2 - 5 år) efter slutavverkning i gödslingsexperiment med olika ackumulerad kvävegiva under en 20-årsperiod. Data från Ring 1995 (Billingsjön) och Berdén et al. 1997 (Stråsan). Notera de mycket höga doserna av kväve i dessa experiment.

Naturvårdsverket gav år 2000 SLU och SMHI i uppdrag att bl.a. beräkna kväve- och fosforbelastningen till Sveriges omgivande havsbassänger som underlag till HELCOM (Helsingforskommissionen) och PLC-4 (Pollution Load Compilation), dels utgående från flodmynningsdata för år 2000, dels som långtidsmedelvärden. Man gjorde även en flödesnormaliserad källfördelning av kväve och fosfor, för vilken man använde medelvärden av avrinningen för perioden 1985 – 1999. Först beräknades belastningen från källorna (bruttobelastningen), därefter förändringen under transporten från källa till hav och slutligen beräknades vad som nådde havet (nettobelastningen). Beräkningarna byggde på ett stort rikstäckande underlagsmaterial; markanvändning, typhalter för olika markanvändningar, avrinningsdata och uppgifter om punktutsläpp. Metodiken innebär att valda typhalter från ett antal markklasser får stort genomslag på den beräknade totala belastningen. Vartefter underlagsmaterialet förbättras kommer därför resultaten att justeras. I dagsläget ger dock detta arbete den bästa skattningen av förlusterna från olika markanvändning till Sveriges omgivande hav (Tabell 2).

Tabell 2. Nettobelastning (efter retention) av kväve (ton år⁻¹ avrundat till närmaste 100-tal) från jordbruksmark och skogsmark med separat redovisning av den antropogena belastningen. Därtill den beräknade nettobelastningen om behovsanpassad gödsling skulle praktiseras på 5 % av skogsmarksarealen. Data på nettobelastning från jordbruksmark och skogsmark, inklusive beräknat antropogent bidrag kommer från Naturvårdsverkets Rapport 5815 – Näringsbelastning på Östersjön och Västerhavet 2006.

<http://www.naturvardsverket.se/sv/Nedre-meny/Webbokhandeln/ISBN/5800/978-91-620-5815-9>

Tillrinningsområde till havsbassäng	Jordbruksmark	Läckage från jordbruk	Skogsmark inkl. hygge och göds-lad mark	Läckage från dagens skogsbruk (hyggen)	Beräknat (högt skattat) läckage som följd av ökad gödsling av skogsmark
Bottenviken	800	400	11 700	500	
Bottenhavet	2 700	1 600	16 800	1 100	
Eg. Östersjön	12 100	8 600	3 700	300	
Öresund	3 700	3 100	0	0	
Kattegatt	13 700	9 700	5 700	600	
Skagerrak	1 500	800	900	100	
Hela Sverige	34 400	24 300	38 700	2 600	500

Vi vill påpeka att siffrorna som rör effekten av hyggesupptagning sannolikt inte är helt relevanta. De baseras på en ofullständig analys där man inte studerar skogs-ekosystemet under en tillräckligt lång tid. Ingenting, allra minst kväveläcket från skog, är statistiskt sett över längre tid. Kontrollskogen kommer således att så småningom att bli en mycket gammal skog, och då ökar risken för stormfällning, som om den blir omfattande, leder till en utlakning av kväve som motsvarar förlusterna efter kalhuggning. Dessutom läcker äldre och mer långsamt växande skogar mer kväve än yngre och snabbare växande skogar (Vitousek och Reiners 1975). Beroende på störningsdynamiken i naturskogen kan således det genomsnittliga läcket av kväve vara såväl högre som lägre än i ett brukat landskap.

Data på emissioner av kväveföreningar till atmosfären visar att dessa minskat i Europa och i Sverige sedan 1990 (www.emep.int). Data från IVLs mätningar av kvävenedfall i Sverige visar dock inte på någon tydlig trend trots de minskade emissionerna (Pihl-Karlsson et al. 2012). Betydande osäkerheter i mätningarna gör att det inte går att statistiskt säkerställa en nedgång av kvävenedfallet med nederbörden över Sverige sedan 1990. IVL driver dock ett pågående forskningsprojekt, finansierat från Naturvårdsverket, för att ytterligare utreda osäkerheten vad gäller skattningar av kvävenedfallet över Sverige. Opublicerade data från ett stort antal vattendrag visar på en kraftig minskning av halten nitrat i avrinningen från skogsmarken (Lucas, Sponseller och Laudon, opubl.). Detta visar att skogarna, under nuvarande förhållanden med ett omfattande trakthyggesbruk och en gödslad areal av ca 50 000 ha år⁻¹, är en effektiv fälla för tillgängligt kväve.

3.1.5. Effekter av kvävegödsling på växthusgasbalansen

Koldioxid

Traditionell kvävegödsling har i likhet med behovsanpassad gödsling en mycket positiv effekt på kolbalansen i skogen. Förenklat kan man säga att en kubikmeter stamved motsvarar en inlagring av koldioxid på 700 kg enbart i stamveden. Vid en tillväxtökning på 15 m³sk ha⁻¹ motsvarar en ökad koldioxidinlagring på 15 x 700 = 10500 kg CO₂ ha⁻¹. Till detta kommer en ökad koldioxidinlagring i grenar, toppar och rötter. Vid tillverkning av kväveprodukter, där man fångar upp luftens kväve (Haber-Bosch), krävs det dock energi vilket också innebär emissionerna av CO₂. För Skog-CAN (produceras i Rostock) är denna siffra 3,0 kg CO₂-ekvivalenter per kg kväve. En kvävegödsling med 150 kg kväve ha⁻¹ motsvarar då utsläpp på 450 kg CO₂-ekvivalenter ha⁻¹. Till detta ska läggas utsläpp som kan hänföras till transport och spridning vilket enligt olika beräkningar brukar uppgå till ca 20 kg CO₂-ekvivalenter ha⁻¹. Det betyder att ca 5 % av det ökade koldioxidupptaget ”förloras” i emissioner kopplade till tillverkning och spridning av gödselmedel.

Metan

En växthusgas som kan påverkas av gödsling med kväve är metan (CH₄). Bildningen av CH₄ sker emellertid i syrefria miljöer med god tillgång på organiskt material och kommer därför inte att påverkas då sådana förhållanden inte kommer att råda i bestånd aktuella för kvävegödsling. Biologisk oxidering av metan kan däremot komma att påverkas. De två mest betydelsefulla processerna som konsumerar atmosfäriskt CH₄ är kemisk oxidering i atmosfären och biologisk oxidering i det översta markskiktet i alla terrestra ekosystem. Tillförsel av kväve till olika ekosystem minskar markens förmåga att oxidera atmosfäriskt CH₄. Den negativa effekten av kväve på oxidationen av metan härrör dels från konkurrens mellan CH₄ och ammonium om enzymerna (Bedard och Knowles 1989), dels från en ren salteffekt (Adamsen och King 1993). Medan några studier rapporterar ingen eller negativ effekt av kväve på oxidationshastighet av metan (Dobbie och Smith 1996; Börjesson och Nohrstedt 1998), rapporterar andra en positiv korrelation mellan kvävetillgång och oxidationshastighet (Castro et al. 1995; Goldman et al. 1995). Vidare fann Börjesson och Nohrstedt (1998) indikationer på att ökad kolinlagring i skogsmark till följd av kvävegödsling kan medföra ökad metanoxidation. Dock är oxidationshastigheten per ytenhet även under ostörda betingelser väldigt låg, varför den negativa effekten av ökad kvävetillförsel inte bör ansättas så stor betydelse. I jämförelse med den ökade inlagringen av kol i marken bör effekten kunna betraktas som negligerbar.

Lustgas

En annan mer påtaglig potentiell risk med kvävegödsling är ökad bildning av N₂O 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 N₂O från marken. Uttryckt som ”Global Warming Potential”, (GWP) är N₂O 298 gånger starkare ”växthusgas” än CO₂.

N₂O bildas både vid denitrifikation och vid nitrifikation. För att denitrifikation skall ske krävs anaerob (syrefri) miljö, samt tillgång på både nitrat och lättnedbrytbart kol. Under ideala omständigheter resulterar denitrifikation i fullständig reduktion av nitrat till inert kvävgas (N₂). Olika störningar av processen leder dock till bildning och avgivning av N₂O, t.ex. leder viss förekomst av syre till ökad andel N₂O. Potentialen för bildning av N₂O är betydligt större vid denitrifikation än vid nitrifikation. Dock påvisas N₂O-avgång i samband med nitrifikation i de flesta miljöer. Förutsättningarna för nitrifikation är tillgång på ammonium och syre. Globalt har N₂O-avgång från tillförd konstgödsel uppskattats till mellan 3 och 7 % av den tillförda mängden kväve, men dessa beräkningar baseras på effekterna i jordbrukssystem (Crutzen et al. 2008). Så kraftig omvandling till N₂O har inte uppmätts i skogsmark där andelen av det tillförda kvävet som avgår som N₂O som mest ligger mellan 0.5 och 1 % (MacDonald et al. 1997; Papen och Butterbach-Bahl 1999; Maljanen et al. 2006). I de gödslingsförsök som undersökts i Sverige och Finland i detta sammanhang har den årliga tillförseln av kväve varierat mellan 33 och 125 kg N ha⁻¹ år⁻¹. Kumulerad mängd tillförd kväve i samma försök varierar mellan 600 och 2800 kg N ha⁻¹. För att balansera en avgivning av N₂O motsvarande 1 % av det tillförda kvävet fordras en fastläggning av mellan 40 och 160 kg C ha⁻¹ år⁻¹, räknat på en avgivning motsvarande 3 % av tillförd mängd kväve fordras mellan 120 och 460 kg C ha⁻¹ år⁻¹. Baserat på sammanställning av data från ett stort antal försök i Sverige och Finland utgör denna nivå på kolinlagring i trädbiomassa mellan 3 % och 20 % av vad som faktiskt fastlagts i de olika försöken. Utöver den ökade mängden kol i trädbiomassa så ökar även inlagringen av kol i marken vid kvävegödsling (se till exempel Franklin et al. 2003; Hyvönen et al. 2008). Med avseende på växthusgasbalansen visar beräkningar att den positiva effekten av ökad kolinlagring i marken vid kvävegödsling, kan kompensera för den negativa effekten av ökad N₂O-avgång, oavsett trädens tillväxt.

Avgången av lustgas är mycket låg från de lokaler som kan tänkas som gödslingsobjekt, dvs välluftade mineraljordar med liten produktion av substratet nitrat genom nitrifikation. Nohrstedt (1988) kunde inte detektera någon emission av lustgas från vare sig ogödslade eller N-gödslade ytor (150 kg N ha⁻¹) när han analyserade med en detektionsgräns av 0,3 g N ha⁻¹ dag⁻¹ (motsvarar ca 0,1 kg N ha⁻¹ år⁻¹). Knappt detekterbart förhöjd avgång av lustgas har uppmätts (med modernare och känsligare utrustning) i försök med årliga och mycket höga sammanlagda givror av kväve (>1000 kg N ha⁻¹); i dessa har de gödslade ytornas emission varit 0-0,5 kg N ha⁻¹ år⁻¹ jämfört med 0-0,3 för kontrollytorna (Leif Klemedtsson, opubl., Mats Öquist, opubl.). Mycket högre värden rapporteras från anaeroba organiska jordar, men dessa är som nämnts tidigare, inte lämpliga objekt för kvävegödsling. Om vi antar att den extra inbindningen av kol i skogsekosystemet efter kvävegödsling motsvarar 300 kg C ha⁻¹ år⁻¹, så motsvarar detta ett upptag av 1100 kg CO₂ ha⁻¹ år⁻¹. Motsvarande effekt av i termer av lustgasemission torde vara lägre än 0,1 kg N ha⁻¹ år⁻¹, eller i termer av växthuseffekt motsvara utsläpp väsentligt lägre än 300 kg CO₂. Även om vi lägger till växthuseffekterna av produktion och spridning av kvävegödselmedel, så framstår effekterna på skogsekosystemens kolbalans som klart positiva.

3.2. Inverkan på flora och fauna

3.2.1. Sammanfattning

Skogsmarksgödsling orsakar både kortvariga och långvariga effekter på markvegetationen. Den omedelbara reaktionen inbegriper oftast ett uppslag av gräs och ibland även kvävegynnande örter. Dessa arter minskar ofta igen (inom en fem-årsperiod) i och med att trädens kronskikt sluter sig. Vid slutavverkning av tidigare gödslade bestånd kommer hyggesfloran vara av mer kvävegynnad karaktär än hyggesfloran efter ett ogödslat bestånd. Hyggesfloran har förstås ett avgörande inflytande på hur markvegetationen kommer att se ut i det bestånd som anläggs efter avverkningen. Det saknas emellertid kunskap om effekter av tidigare kvävegödslingar är synbara i de nya bestånden. Angående skadegörare på skog så finns det inga entydiga resultat angående effekter av kvävegödsling.

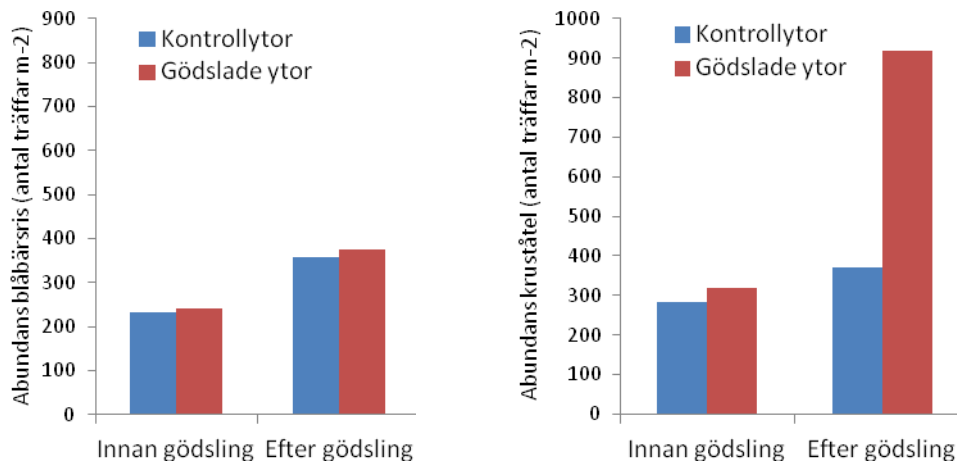
3.2.2. Markvegetation i trakthyggesbrukad skog

Boreala barrskogsdominerade ekosystem är naturligt kvävefattiga (Tamm 1991). Således påverkar skogsgödsling med kväve de flesta växter. Olika växter har olika potential att öka sin tillväxt när kvävetillgången ökar. Resultatet blir att konkurrensen mellan arter förskjuts, så att snabbväxande gräs och örter gynnas på bekostnad av andra mer långsamväxande arter.

Förutom näringstillgången styr ljusstillgången markvegetationens utveckling. I det traditionella trakthyggesbrukets bruket manipuleras tillgången på ljus för markvegetationen genom olika skogsskötselåtgärder. Den plötsliga ökningen av ljus vid förnygringsavverkning förorsakar en stressreaktion hos de skuggtoleranta arter som normalt dominerar markvegetationen i fullvuxen skog. Hyggesvegetationen har ett större inslag av örter och gräs än vegetationen i fullvuxen skog. Örter och gräs som ingår i hyggesfloran är ljuskrävande samtidigt som de har kapacitet att ta tillvara den ökade tillgången på näring som är en följd av att träden avlägsnas (vilket innebär att trädens och ektomykorrhizas näringsupptag upphör). I och med att det nya beståndet växer upp och trädens krontak sluter sig blir ljusstillgången begränsad för dessa örter och gräs samtidigt som näringskonkurrensen med träd och ekotmykorrhizasvampar återuppstår. Detta ger möjlighet för skuggtoleranta näringskonservativa arter (främst dvärgbuskar) att gradvis expandera.

3.2.3. Effekter av skogsgödsling på markvegetationen

Effekterna på växtsamhällens sammansättning och artrikedom av konventionell kvävegödsling har bedömts i flera tidigare rapporter (Nohrstedt och Westling 1995; Westling och Nohrstedt 1995; Högbom och Jacobsson 2002). Slutsatsen från dessa rapporter är att även om kvävegödsling leder till vissa förändringar av markvegetationen så antas förändringarna generellt bli tämligen små och är relativt kortvariga. En vanlig ofta synlig förändring efter tillsats av en engångsgiva på 150 kg N ha⁻¹ är ökad förekomst av gräs (ofta *Deschampsia flexuosa*) medan förekomsten av andra vanliga arter, exempelvis bärris, kan förbli oförändrad (Fig 7).



Figur 8. Förekomst av blåbärsris och kruståtel i ett skogsgödslingsexperiment på Kulbäcksliden i Västerbotten. Experimentet gjordes in en 50-årig tallskog. Förekomsten av olika arter gjordes året före gödsling (2007) och året efter (2009). Opublicerade data A. Nordin.

Nohrstedt och Westling (1995) konstaterar att effekter på markvegetationen efter skogsgödsling kan ses upp till minst 10 år efter ett kvävegödslingstillfälle, men att effekterna för vissa arter kan vara mer långlivade. Vidare konstaterar de att effekterna är större på ståndorter med intermediär bördighet, än på fattiga eller rika ståndorter. Detta motsägs av Olsson och Kellner (2006) som föreslår att de största effekterna av kvävegödsling blir på fattigare marker. Motsägelsen kan till viss del förklaras av att den sistnämnda studien inkluderade magrare, mer lavdominerade marker, och att den tydligaste kvardröjande effekten av gödslingsbehandlingen var minskad lavförekomst. Flera studier visar att effekter på lavar kan vara långvariga. Trots att relativt lång tid (upp till 20 år) passerat sedan kvävegödsling upphört var abundansen av marklavar lägre i gödslade än i motsvarande ogödslade områden (Nohrstedt et al. 1988; Strengbom et al. 2001; Olsson och Kellner 2006; Strengbom och Nordin 2008). Förklaringen till detta är troligtvis att förbättrad trädutväxt till följd av gödsling lett till mer slutna bestånd vilket i sin tur missgynnar marklavarnas tillväxt.

Nyare studier har visat att effekterna på markvegetationen kan vara mer långlivade än de bedömningar som gjorts tidigare. Strengbom och Nordin (2008, 2012) visade att markvegetationens sammansättning skiljde sig i tidigare gödslade och ogödslade bestånd trots att mer än 20 år passerat sedan senaste kvävegödslingstillfället. En förklaring till skillnaden mot de tidigare rapporterna är att effekterna på markvegetationen verkar skilja sig beroende på om effekterna bedöms inom en skogsgeneration eller över två skogsgenerationer separerade av en hyggesfas. Generellt visar de studier som gjorts inom en skogsgeneration på mindre och kortvarigare effekter (Nohrstedt 2001; Saarsalmi och Mätkönen 2001) än de studier som jämfört skillnader mellan ogödslade och tidigare gödslade bestånd 10-15 år efter slutavverkning (Olsson och Kellner 2006; Strengbom och Nordin 2008, 2012). Strengbom och Nordin (2012) visade att i avverkningsmogna bestånd fanns inga eller endast små skillnader i markvegetation mellan ogödslade och gödslade bestånd (ca 20 år efter senaste kvävegödslingen) medan artsammansättning skiljde sig avsevärt mellan unga bestånd (ca 10 år gamla) som uppkommit

efter föryngringsavverkning av tidigare gödslade respektive ogödslade bestånd. I jämförelse med tidigare ogödslade lokaler var förekomsten av de normalt abundanta bärrisen, blåbär och lingon, 40 % respektive 60 % lägre i bestånd som anlagts på tidigare gödslade lokaler (en eller två gånger med 150 kg N ha⁻¹ per tillfälle). På tidigare gödslade lokaler hade risväxterna i ungskogen tappat sin dominerande ställning och markvegetationen dominerades i stället av gräs, framför allt kruståtel. I jämförelse med tidigare ogödslade lokaler var gräsabundansen mer än 200 % högre i ungskogsbestånd som anlagts på tidigare gödslade lokaler (Strengbom och Nordin 2008, 2012).

Hedwall et al. (opublicerat, under revision för *Oecologia*) sammanställde data på vegetationseffekter i plant- och ungskogsfasen två till tio år efter föryngringsavverkning av bestånd som tidigare gödslats. Denna studie skiljer sig från de tidigare (Strengbom och Nordin 2008; 2012) genom att den sammanställer data från olika lokaler längs en kvävedepositionsgradient över landet. Först och främst visade studien att de kvardröjande effekterna av gödsling på markvegetationen var större i regioner med låg än med hög kvävedeposition. Dessutom visade studien att längden på tidsperioden efter avverkning hade betydelse för vissa arter. För kruståtel ökar skillnaden mellan tidigare gödslade och ogödslade lokaler med tid efter avverkning. Förekomsten av kruståtel direkt efter avverkning var ungefär lika på hyggen som uppkommit efter föryngringsavverkning av tidigare gödslade och ogödslade bestånd, men minskade med tiden på ogödslade lokaler medan förekomsten ökade med tiden på tidigare gödslade lokaler. För bottenkiktets mossor var det tvärtom. Skillnaden i förekomst av husmossa mellan tidigare gödslade och ogödslade lokaler blev mindre med tiden efter avverkning. För andra arter, till exempel blåbärris, var skillnaden mellan gödslade och ogödslade lokaler oförändrad med tiden efter föryngringsavverkning, d.v.s. skillnaden mellan tidigare gödslade och ogödslade lokaler kvarstod.

Studierna av markvegetation refererade ovan (Strengbom och Nordin 2008, 2012; Hedwall et al. opublicerat) sträcker sig ca 10 år efter slutavverkning och de uppväxande trädens krontak har ännu inte hunnit sluta sig och påverka ljusstillgången för markvegetationen. Vad som händer med markvegetationen när ljuskonkurrensen med trädskiktet inträffar vet vi därmed inte, även om vi är säkra på att trädskiktet har stor betydelse för markvegetationens utveckling. Förhållandet mellan trädskiktet och markvegetationen är föremål för en annan studie (än den ovan refererade) av Hedwall et al. (2013). I denna studie har vegetationsdata från rikskogstaxeringen analyserats tillsammans med data på variabler som karaktäriserar skogens trädskikt. Studien visar att i den boreala delen av Sverige har under perioden 1994 – 2010 blåbärrisets utbredning minskat med ca 30 % och kruståtels utbredning med ca 25 %. Samtidigt har den stående volymen träd ökat med ca 11 %. I den nemorala delen av Sverige är utbredningen av bägge arterna under samma period oförändrad, likaledes är den stående volymen träd oförändrad. Hedwall et al. föreslår att tätare skog och lägre ålder på skogen leder till att markvegetationens tillväxt och utveckling missgynnas och föreslår att intensivare gallring skulle kunna vara en metod att gynna markvegetationen då man på så vis minskar ljuskonkurrensen från trädskiktet. Man föreslår dessutom att den minskade utbredningen av blåbärris i boreala delen av Sverige inte har med förändrad kvävetillgången att göra. Ökad kvävetillgång (till följd av tidigare gödsling) borde ha gynnat kruståtel på bekostnad av blåbärriset. Istället minskar bägge arterna.

Kvävegödslingsexperiment visar att förskjutningen i artsammansättning och effekten på artrikedomen blir större om höga kvävedoser används (ca 2 000 kg ha⁻¹ under en 20-årsperiod) jämfört med om lägre kvävedoser (600-800 kg ha⁻¹ under en 20-årsperiod) används (van Dobben et al. 1999; Strengbom et al. 2001). Förhållandet mellan dos och respons gäller även då lägre kvävedoser använts. Effekten på artrikedomen och artsammansättning hos markvegetationen har till exempel visat sig vara påtagligt mindre om bestånden endast gödslats vid ett tillfälle (150 kg kväve ha⁻¹) jämfört med två tillfällen (2 x 150 kg kväve ha⁻¹) per omloppstid (Strengbom och Nordin 2008, 2012). Man kan därför anta att fler gödslingstillfällen och större mängd tillsatt kväve per omloppstid kommer att ge större effekter på vegetationen, både i kortare och längre (över skogsgenerationsgränser) tidsperspektiv.

Angående trädskiktets utveckling på tidigare gödslade lokaler finns några studier av barrträdsföryngringens överlevnad och tillväxt på föryngringslokaler som tidigare varit gödslade. Dessa visade inte på några kvardröjande tillväxteffekter av gödslingen på den nya skogen (Högbom et al. 2001; Sikström 2005). I en ännu opublicerad studie (From och Nordin) redovisas emellertid en positiv effekt på de unga trädens (ca 10 år gamla) tillväxt av gödsling utförd under föregående skogs-generation.

3.2.4. Skadesvampar och skadeinsekter

Kvävegödsling av barrträd har ibland visat sig resultera i mindre skada från skadegörare (t.ex. Larsson och Tenow 1984), vilket har tolkats som att gödsling kan öka trädens resistens. Senare forskning har inte kunnat belägga att trädens motståndskraft ökar; det generella mönstret är snarare att koncentrationen av försvarssubstanser i träden minskar – samtidigt som kväveinnehållet ökar – efter kvävetillförsel (Koricheva m.fl. 1998). Man skulle således kunna tro att den ändrade näringsstatusen i träden leder till tydligt ökade problem med skadegörare i gödslade bestånd (Throop och Lerchau 2004; Burdon m.fl. 2006). Få observationer stödjer emellertid detta antagande. Det beror med all säkerhet på att skadegörarnas numerär regleras av flera faktorer än värdträdets näringsstatus. Förbättrade näringsförhållanden efter kvävegödsling, och därmed möjligt för populationer att tillväxa, balanseras i de flesta fall av andra miljöfaktorer såsom väderförhållanden, naturliga fiender och sjukdomar (Björkman m.fl. 1991; Kytö m.fl. 1996). Med andra ord, för att fullt ut förstå ökad risk för skadegörare efter kvävegödsling måste man ta hänsyn till andra omvärldsfaktorer än trädens kvalitet. Få, om ens några, bra data finns från verkliga populationer där man följt skadegörardynamik efter gödsling. I det följande redovisas vad som är känt om skadegörare i granbestånd, och tänkbara effekter av kvävegödsling.

Svampparasiter på gran (ovan jord)

Gran kan drabbas av ett stort antal svampparasiter, men flertalet orsakar inga större tillväxtbortfall. Knopp- och grentorka (*Gremmeniella abietina*) är kanske den sjukdom som har potential att orsaka störtskada. Omfattande angrepp av *G. abietina* på gran är dock främst vanliga i talldominerade skogar. Finska studier indikerar att kvävegödsling av tall kan minska trädens resistens mot *G. abietina* (Kallio et al. 1985; Ylimartimo 1990, 1991; Ylimartimo och Haansuu 1993). Inga rapporter finns dock om huruvida kvävegödsling påverkar resistensen hos gran.

Andra vanliga svampparasiter som angriper unga/medelålders granar och som eventuellt kan orsaka märkbara effekter på trädens tillväxt inkluderar grankotterost (*Thekopsora areolata*), granens gråbarrsjuka (*Lirula macrospora*), granrost (*Chrysomyxa abietis*) och skvattramrost (*Chrysomyxa ledi*) (se <http://www-skogsskada.slu.se/SkSkPub/MiPub/Sida/SkSk/SkogsSkada.jsp>). Gråbarrsjuka angriper främst barr på lågt sittande grenar i täta bestånd och gynnas av fuktig väderlek. Infektioner av hela träd är ovanliga, men om de upprepas årligen kan det medföra negativa effekter på tillväxten. Grankotterost angriper unga granskott och kraftiga årsskott med god tillväxt verkar vara speciellt mottagliga. Angripna skott böjs kraftig och kan bli S-formade. Hårt angripna skott dör. Svampens frukt-kroppsbyggnad sker huvudsakligen på grankottar. Grankotterost kan orsaka smärre tillväxstörningar om toppskott angrips. Svampen finns i två varianter varav den ena värdväxlar med hägg och den andra med pyrola-arter. Sporer sprids till granens honblommor från föregående års döda hägg- eller pyrolablad. Granrost och skvattramrost är relativt harmlösa då epidemier är sällsynta och då angrepp vanligtvis orsakar endast ringa skador på träden. Inom Flakalidens försöksområde uppmättes emellertid förhöjda kväveläckage till markvattnet i samband med ett omfattande angrepp av rost på träden. I möjligaste mån bör alltså kvävegödsling undvikas i samband med omfattande rostangrepp.

Skadeinsekter på gran

Många skadeinsekter på gran angriper främst torkstressade träd och är beroende av död ved för sin föryngring, t.ex. granbarkborre (*Ips typographus*) och sextandad barkborre (*Pityogenes chalcographus*). Jättebastborre (*Dendroctonus micans*) angriper även den främst stressade träd, men till skillnad från de två föregående arterna ynglar den i levande ved (se <http://www-skogsskada.slu.se/SkSkPub/MiPub/Sida/SkSk/SkogsSkada.jsp>). Granar i gödslade bestånd bör inte vara speciellt utsatta för torkstress eftersom utvalda bestånd företrädesvis kommer att finnas på friska marker. Risken för angrepp av denna typ av skadeinsekter bör därför inte vara större än i motsvarande icke gödslade bestånd. Barrätande insekter som skulle kunna tänkas orsaka skada på gran inom gödslade bestånd inkluderar granbarrstekel (*Pristiphora abietina*), nordlig gransågstekel (*Pristiphora subarctica*) och olika arter av granbarrlöss (se <http://www-skogsskada.slu.se/SkSkPub/MiPub/Sida/SkSk/SkogsSkada.jsp>). Mer eller mindre kroniska angrepp av granbarrstekel har observerats i granbestånd på före detta betes- eller slåttermarker. Granbarrstekeln anses gynnas av torra och varma somrar. Långvariga och kraftiga angrepp kan medföra tillväxtförluster. Utbredningen av nordlig gransågstekel är inte helt kartlagd, främst har angrepp observerats på unga granskogar i mellersta Norrland. Långvariga och kraftiga angrepp kan medföra tillväxtförluster. Granbarrlöss angriper främst unga granskogar, men angreppen orsakar i princip aldrig några skador av ekonomisk betydelse.

3.2.5. Inverkan på rennäring

Rennäringen är beroende av skogsmark med lavdominerad markvegetation för renarnas vinterbete, samt vid hård skare även av epifytiska lavar. Marker med lavdominans återfinns främst i talldominerad skog på mark med grov jordartstextur. Inom rennäringen är man skeptisk till alla former av skogsgödsling, eftersom det kan påverka markvegetationen och då främst marklavarna. Man har

också noterat att renar tycks undvika att äta lavar från gödslade områden. Det finns ett stort antal studier gjorda på effekten av kvävegödsling på lavar och det finns starka belägg för att gödsling generellt är negativt för lavar:

- Kvävegödselmedel tycks ha en omedelbar negativ påverkan på lavtillväxt, sannolikt genom att algkomponenten och svampkomponenten i lavar svarar olika på kvävetillskottet och att själva näringsomsättningen mellan algen och svampen därför blir stört (Sundberg 1999; Makkonen et al. 2007; Johansson et al. 2011).
- Skogsgödsling ökar mängden barr i trädkronan och därmed mängden barrförna, vilket påverkar lavtillväxten negativt genom att ljuset minskar på marken.
- Täckningsgraden av lavar minskar ofta i gödslade bestånd och påverkan är störst på lågproduktiv mark (Kellner och Mårshagen 1991; Eriksson och Raunistola 1993; Kellner 1993; Fremstad et al. 2005; Olsson och Kellner 2006).
- Kvävegödsling kan gynna andra växtarter som därigenom konkurrerar ut lavarna (Kellner och Mårshagen 1991, Vagts och Kinder 1999; Strengbom och Nordin 2008; Hedwall et al. 2010).
- I vissa gödslade ytor har man också noterat en minskning av risväxter i fältskiktet (t ex. Strengbom och Nordin 2008). Detta kan leda till en ökad risk för isbildning vid marknivån vid ogynnsamma väderförhållanden. Detta minskar tillgängligheten av marklavarna och därmed minskar beteskvalitén i området (Roturier och Roue 2009).
- När det gäller påverkan på renarnas ätbeteende finns det en studie som visar att renarna var mindre benägna att gräva i ett område som gödslats med ammoniumnitrat fem månader tidigare. Ett år senare grävde dock renarna normalt i samma område (Eriksson 1980).
- Det finns inga belägg för att kvävegödsling skulle göra lavar giftiga för renar, genom att höga halter av nitrat i laven skulle omvandlas till giftigt nitrit (Åhman och Åhman 1984). Däremot verkar kvävegödsling (liksom betning) kunna påverka mängden försvarssubstanser (usninsyra och perlatolsyra) som lavarna producerar (Hyvärinen et al. 2002; Hyvärinen et al. 2003; Nybakken et al. 2009), vilket skulle kunna ha effekt på smakligheten.

Skogsgödsling tycks alltså främst påverka rennäringen genom att mängden marklavar kan minska. Enligt Skogsstyrelsens tidigare råd (2007) ska marker av lavtyp och lavrik typ (marker där lavar täcker >25 % av markytan) inom renskötselområdet inte gödulas. Dessa råd bör även fortsättningsvis gälla. Vidare bör kvävegödsling undvikas på marker med 10-25 % lavtäckning (sk. lavristyp).

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

4.1. Åtgärder knutna till inverkan på mark, vatten och luft

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

Följande åtgärder föreslås;

- **Att lämna skyddszoner mot vattendrag och våtmarker.** På detta sätt minimeras risken för kväveläckage.
- **Att inte gödsla senare än tio år innan slutavverkning.** Detta för att tillvarata hela tillväxteffekten av utförda kvävegödslingar.

4.2. Åtgärder knutna till inverkan på flora och fauna

Förutom att inte välja bestånd med hög artrikedom eller andra höga naturvärden för verksamheten, går det inte att identifiera åtgärder som på ett dramatiskt sätt skulle kunna minska eller avhjälpa negativa effekter av kvävegödsling på flora och fauna.

4.3. Åtgärder knutna till inverkan på rennäring

Kvävegödsling bör ej ske på lavdominerad skogsmark.

5. Konsekvenser för miljön om verksamheten inte kommer till stånd

Det finns idag betydande politiska ambitioner att i större utsträckning än tidigare bygga den framtida konsumtionen på förnybara råvarubaser. I utvecklingen av en biobaserad samhällsekonomi utgör biomassa från skog en viktig bas, och produktionen förväntas behöva öka. Det snabbaste sättet att öka skogens tillväxt är att gödsla. Om skogsmarksgödsling begränsas i framtiden minskar möjligheterna att öka skogens tillväxt framför allt på kort och medellång sikt. Förutom sämre möjligheter att utveckla en biobaserad ekonomi förloras en del av de möjligheter som kvävegödsling innebär vad gäller att motverka klimatförändringen. Kvävegödsling av skogsmark motverkar den pågående klimatförändringen genom att mer kol lagras i skogarnas biomassa, och genom att ökad tillväxt ger mer biomassa som kan vara tillgänglig för ersättning av växthusgasintensiva bränslen och material.

6. Identifierade kunskapsluckor

Följande kunskapsluckor anser vi vara bland de viktigaste att beakta;

- **Heterogena flerskiktade skogar.** Vi saknar helt kunskap om hur flerskiktade skogar reagerar på skogsmarksgödsling. Det är därför svårt att bedöma hur kvävegödsling av bestånd som ingår i skogsskötselsystemet kontinuitetsskogsbruk kommer att reagera.
- **Skalan i landskapet.** Vi besitter för närvarande relativt mycket kunskap om effekter av kvävegödsling på både biotiska och abiotiska ekosystemprocesser inom de behandlade bestånden. Analyser av effekter på landskapsnivån är till stor del en extrapolering utifrån effekterna inom bestånden. Det behövs empiriska studier där kvävegödsling tillämpas på flera bestånd inom ett landskap, och effekterna av verksamheten studeras på landskapsnivån.
- **Kväveläckage till vattendrag, sjöar och hav.** Mycket av dagens kunskap bygger på studier på beståndsnivå och lokala effekter i eller i omedelbar närhet av de gödslade bestånden. Det saknas kunskap om vad som händer med det kväve som läckt från ett skogsbestånd när det når ett utströmningsområde för eventuell vidare transport i vattendrag och sjöar för att slutligen nå omgivande hav. Det behövs ytterligare studier av kväveretention och denitrifikation i skogslandskapets utströmningsområden, vattendrag och sjöar i olika delar av landet.
- **Effekter på nästkommande skogsgeneration.** För närvarande saknas kunskap om de kvardröjande kvävegödslingseffekter som noterats tidigt i nästkommande skogsgeneration är övergående, det vill säga om de minskar eller försvinner då trädsiktet i det uppväxande beståndet sluter sig, eller om förändringarna blir bestående i den nya skogsgenerationen. Studier som belyser långsiktigheten i effekterna är därför önskvärda.
- **Gödselmedlets sammansättning.** Är det verkligen optimalt att gödsla med lika delar NH_4^+ och NO_3^- , med tanke på hur rörligt NO_3^- är och med tanke på risken för N_2O bildning? Studier behövs av andra gödselmedelsammansättningar: mer NH_4^+ än NO_3^- , eller kanske andra former av kväve? Försök pågår med aminosyran arginin som alternativt gödselmedel. Arginingödsling har visat sig effektiv på plantskolor (jämfört med ammoniumnitrat ger arginin inget kväveläckage och bättre planttillväxt) och pågående försök som ska utvärderas under sommaren 2012 kommer att visa på huruvida arginin kan vara ett effektivt gödselmedel i skogsmark.
- **Aspekter av naturresursekonomisk och samhällsekonomisk nytta.** Hur ska kvävegödsling utföras för att maximera nyttan och minimera de negativa effekterna? Vilka strategier för kväveanvändning i skogslandskapet är hållbara på längre sikt om vi vill behålla skogslandskapets biologiska

mångfald och de ekosystemtjänster som finns kopplade till skogslandskapet, samtidigt som vi tillgodoser samhällets behov av förnybara råvaror?

7. 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.
- Bedard C, Knowles R. 1989. Physiology, biochemistry, and specific inhibitors of CH₄, NH₄⁺, 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, sid 163-178.
- Bergh J, Linder S, Bergström J. 2005. Potential production of Norway spruce in Sweden. *Forest, Ecology & Management*, 204: 1-10.
- Bergh J., Nilsson U., Allen H I., Johansson U., Fahlvik N. 2013. Long-term responses of Scots Pine and Norway Spruce Stands to Repeated Fertilization and Thinning. (manuscript)
- 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.
- Björkman C, Larsson S, Gref R. 1991. Effects of nitrogen fertilization on pine needle chemistry and sawfly performance. *Oecologia*, 86: 202-209
- Brandt M. 1992. Skogens inverkan på vattenbalansen. SMHI Hydrologi, Norrköping, Rapport No. 37, 22 sid.
- Burdon JJ, Thrall PH, Ericson L. 2006. The current and future dynamics of disease in plant communities. *Annual Review of Phytopathology*, 44: 19-39.
- Börjesson G, Nohrstedt HO. 1998. Short- and long-term effects of nitrogen fertilization on methane oxidation in three Swedish forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, 27(2): 113-118.
- Carreiro MM, Sinsabaugh RL, Rebert DA, Parkhurst DF. 2000. Microbial enzyme shifts explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition. *Ecology*, 81: 2359-2365.
- Castro MS, Steudler PA, Melillo JM, Aber JD, Bowden RD. 1995. Factors controlling atmospheric methane consumption by temperate forest soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 9(1): 1-10.
- Crutzen PJ, Mosier AR, Smith KA, Winiwarter W. 2008. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry & Physics*, 8: 389-395.
- Demoling F, Nilsson LO, Bååth E. 2008. Bacterial and fungal responses to nitrogen fertilization in three coniferous forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 40: 370-379.

- Dijkstra FA, Hobbie SE, Knops JMH, Reich PB. 2004. Nitrogen deposition and plant species interact to influence soil carbon stabilization. *Ecology Letters*, 7: 1192-1198.
- Dobbie KE, Smith KA. 1996. Comparison of CH₄ oxidation rates in woodland, arable and set aside soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 28(10-11): 1357-1365.
- Eriksson O. 1980. Effects of forest fertilization on the cratering intensity of reindeer. Proceedings of the 2nd international reindeer/caribou symposium, Røros, Norway, 1979 Trondheim: Direktoratet for vilt och ferskvannsfisk, 1980, sid 26-40.
- Eriksson O, Raunistola, T. 1993. Impact of forest fertilizers on winter pastures of semi-domesticated reindeer. *Rangifer*, 13: 203-214.
- Fog K. 1988. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. *Biological Review*, 63: 433-462.
- Franklin O, Högberg P, Ekblad A, Ågren GI. 2003. Pine forest floor carbon accumulation in response to N and PK additions: Bomb C-14 modelling and respiration studies. *Ecosystems*, 6(7): 644-658.
- Fransson PMA, Taylor AFS, Finlay RD. 2000. Effects of continuous optimal fertilization on belowground ectomycorrhizal community structure in a Norway spruce forest. *Tree Physiology*, 20: 599-606.
- Fremstad E, Paal J, Möls T. 2005. Impacts of increased nitrogen supply on Norwegian lichen-rich alpine communities: a 10-year experiment. *Journal of Ecology*, 93: 471-481.
- From F, Nordin A. Residual effects of fertilization on tree growth. Manuskript.
- Futter MN, Högbom L, Entenmann S, Bishop KH. 2010. Consequences of nitrate leaching following stem-only harvesting of Swedish forests are dependent on spatial scale. *Environmental pollution*, 158: 3552-3559.
- Goldman MB, Groffman PM, Pouyat RV, McDonnell MJ, Pickett STA. 1995. CH₄ uptake and N availability in forest soils along an urban to rural gradient. *Soil Biology & Biochemistry*, 27(3): 281-286.
- Grip H, Hällgren JE. 2005. Water cycling in coniferous forest ecosystems. In: F. Andersson (Ed.), *Coniferous Forests, Ecosystems of the World 6*, Elsevier, Amsterdam, London, sid 385-426.
- Gundersen P, Schmidt IK, Raulund-Rasmussen K. 2006. Leaching of nitrate from temperate forests - effects of air pollution and forest management. *Environmental Reviews*, 14: 1-57.
- Hasselquist NJ, Metcalfe DB, Hogberg P. 2012. Contrasting effects of low and high nitrogen additions on soil CO₂ flux components and ectomycorrhizal fungal sporocarp production in a boreal forest. *Global change biology*, 18: 3596-3605.
- Hedwall PO, Nordin A, Brunet J, Bergh J. 2010. Compositional changes of forest-floor vegetation in young stands of Norway spruce as an effect of repeated fertilization. *Forest Ecology and Management*, 259: 2418-2425.

- Hedwall PO, Nordin A, Brunet J, Strengbom J, Olsson B. Does background nitrogen deposition affect the response of boreal vegetation to experimental nitrogen addition? Manuskript reviderat för *Oecologia*.
- Hobbie SE. 2008. Nitrogen effects on decomposition: a five-year experiment in eight temperate sites. *Ecology*, 89: 2633-2644.
- Hyvärinen M, Walter B, Koopmann R. 2002. Secondary metabolites in *Cladina stellaris* in relation to reindeer grazing and thallus nutrient content. *Oikos*, 96: 273-280.
- Hyvärinen M, Walter B, Koopmann R. 2003. Impact of fertilisation on phenol content and growth rate of *Cladina stellaris*: a test of the carbon-nutrient balance hypothesis. *Oecologia*, 134: 176-181.
- Hyvönen R, Persson T, Andersson S, Olsson B, Ågren G, Linder S. 2008. Impact of long-term nitrogen addition on carbon stocks in trees and soils in northern Europe. *Biogeochemistry*, 89: 121-137. DOI 10.1007/s10533-007-9121-3
- Högberg MN, Chen Y, Högberg P. 2007a. Gross nitrogen mineralisation and fungi-to-bacteria ratios are negatively correlated in boreal forests. *Biology & Fertility of Soils*, 44: 363-366.
- Högberg MN, Högberg P, Myrold DD. 2007b. Is microbial community composition in boreal forest soils determined by pH, C-to-N ratio, the trees, or all three? *Oecologia*, 150: 590-601.
- Högberg MN, Briones MJI, Keel SG, Metcalfe DB, Campbell C, Midwood AJ, Thornton B, Hurry V, Linder S, Näsholm T, Högberg P. 2010. Quantification of effects of season and nitrogen supply on tree below-ground carbon transfer to ectomycorrhizal fungi and other soil organisms in a boreal pine forest. *New Phytologist*, 187: 485-493.
- Högberg P, Read DJ. 2006. Towards a more plant physiological perspective on soil ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 21: 548-554.
- Högberg P, Johannisson C, Yarwood S, Callesen I, Näsholm T, Myrold DD, Högberg MN. 2011. Recovery of ectomycorrhiza after 'nitrogen saturation' of a conifer forest. *New Phytologist*, 189: 515-525.
- Högbom L, Jacobsson S. 2002. Kväve 2002 - en konsekvensbeskrivning av skogsgodsling i Sverige. Redogörelse SkogForsk, 42 sid
- Högbom L, Nohrstedt HO, Lundström H, Nordlund S. 2001. Soil conditions and regeneration after clear felling of a *Pinus sylvestris* L. stand in a nitrogen experiment, Central Sweden. *Plant and soil*, 233: 241-250.
- Johansson O, Olofsson J, Giesler R, Palmqvist K. 2011. Lichen responses to nitrogen and phosphorous additions can be explained by the different symbiont responses. *New Phytologist*, 191: 795-805.
- Jonsson L, Dahlberg A, Brandrud TE. 2000. Spatiotemporal distribution of an ectomycorrhizal community in an oligotrophic Swedish *Picea abies* forest subjected to experimental N addition: above- and below-ground views. *Forest Ecology & Management*, 132: 143-156.

- Kallio T, Häkkinen R, Heinonen J. 1985. An outbreak of *Gremmeniella abietina* in central Finland. *European Journal of Forest Pathology*, 15: 216-223.
- Kellner O. 1993. Effects on associated flora of silvicultural nitrogen-fertilization repeated at long intervals. *Journal of applied Ecology*, 30: 563-574.
- Kellner O, Mårshagen M. 1991. Effects of irrigation and fertilization on the ground vegetation in a 130-year-old stand of Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 21: 733-738.
- Knorr M, Frey SD, Curtis PS. 2005. Nitrogen additions and litter decomposition: a meta-analysis. *Ecology*, 86: 3252-3257.
- Koricheva J, Larsson S, Haukioja E, Keinänen M. 1998. Regulation of woody plant secondary metabolism by resource availability: hypothesis testing by means of meta-analysis. *Oikos*, 84: 212-226.
- Kytö M, Niemelä P, Larsson S. 1996. Insects on trees: population and individual response to fertilization. *Oikos*, 75: 148-159.
- Kårén O, Nylund JE. 1997. Effects of ammonium sulphate on the community structure and biomass of ectomycorrhizal fungi in a Norway spruce stand in South West Sweden. *Canadian Journal of Botany*, 75: 1628-1643.
- Laiho O. 1970. *Paxillus involutus* as a mycorrhizal symbiont of forest trees. *Acta Forestalia Fennica*, 106: 1-65.
- Larsson S, Tenow O. 1984. Areal distribution of a *Neodiprion sertifer* (Hym., Diprionidae) outbreak on Scots pine as related to stand condition. *Holarctic Ecology*, 7: 81-90.
- Lindberg N, Persson T. 2004. Effects of long-term nutrient fertilisation and irrigation on the microarthropod community in a boreal Norway spruce stand. *Forest Ecology & Management*, 188: 125-135.
- Löfgren S, Westling O. 2002. Modell för att beräkna kväveförluster från växande skog och hyggen i Sydsverige. *SLU Inst. f. Miljöanalys Rapport 2002: 1*, Uppsala.
- Löfgren S, Ring E, von Brömssen C, Sørensen R, Högbom L. 2009. Short-term effects of clear-cutting on the water chemistry of two boreal streams in northern Sweden - a paired catchment study. *Ambio* 7. I press.
- MacDonald JA, Skiba U, Sheppard LJ, Ball B, Roberts JD, Smith KA, Fowler D. 1995. The effect of nitrogen deposition and seasonal variability on methane oxidation and nitrous oxide emission rates in an upland Spruce plantation and moorland.
- Makkonen S, Hurri RSK, Hyvärinen M. 2007. Differential responses of lichen symbionts to enhanced nitrogen and phosphorus availability: an experiment with *Cladonia stellaris*. *Annals of Botany*, 99: 877-884.
- Maljanen M, Jokinen H, Saari A, Strömmer R, Martikainen PJ. 2006. Methane and nitrous oxide fluxes, and carbon dioxide production in boreal forest soil fertilized with wood ash and nitrogen. *Soil Use & Management*, 22: 151-157.

- Melin J, Nõmmik H. 1988. Fertilizer nitrogen distribution in a *Pinus sylvestris/Picea abies* ecosystem, central Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 3: 3-15.
- Menge JA, Grand LF. 1978. Effect of fertilisation on production of epigeous sporocarps by mycorrhizal fungi in loblolly pine plantations. *Canadian Journal of Botany*, 56: 2357-2362.
- Nilsson LO, Wallander H. 2003. Production of external mycelium by ectomycorrhizal fungi in a norway spruce forest was reduced in response to nitrogen fertilization. *New Phytologist*, 158: 409-416.
- Nilsson, U., Agestam, E., Ekö, P-M., Elfving, B., Fahlvik, N., Johansson, U., Karlsson, K., Lundmark, T., and Wallentin, C. 2010. Thinning of Scots pine and Norway spruce monocultures in Sweden. *Studia forestalia Suecica* ; 219
- Nohrstedt HÖ. 1988. Effect of liming and N-fertilization on denitrification and N₂-fixation in an acid coniferous forest floor. *Forest Ecology & Management* 24:1, 1-13.
- Nohrstedt HÖ. 2001. Responses of coniferous forest ecosystems on mineral soils to nutrient additions: a review of Swedish experiences. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 16: 555-573.
- Nohrstedt HÖ, Westling O. 1995. Miljökonsekvensbeskrivning av STORA SKOGS gödslingsprogram, del 1 faktaunderlag. Rapport B1218, IVL, Aneboda.
- Nybakken L, Johansson O, Palmqvist K. 2009. Defensive compound concentration in boreal lichens in response to simulated nitrogen deposition. *Global Change Biology*, 15: 2247-2260.
- Ohenoja E. 1978. Behaviour of mycorrhizal fungi in N-fertilised forests. *Karstenia*, 28: 27-30.
- Olsson BA, Kellner O. 2006. Long-term effects of nitrogen fertilization on ground vegetation in coniferous forests. *Forest Ecology and Management*, 237: 458-470.
- [Papen H, Butterbach-Bahl K. 1999. A 3-year continuous record of nitrogen trace gas fluxes from untreated and limed soil of a N-saturated spruce and beech forest ecosystem in Germany - 1. N₂O emissions.](#) *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 104: 18487-18503.
- Pihl-Karlsson, G, Hellsten, S., Karlsson, P-E., Akselsson, C. & Ferm, M. 2012. Kvävedepositionen till Sverige - Jämförelse av depositionsdata från Kron-droppsnätet, Luft- och nederbördskemiska nätet samt EMEP. IVL Rapport B 2030.
- Pettersson F. 1994. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years. Skogforsk, Uppsala. Report No. 3, 56 sid.
- Pettersson F, Jacobsson S & Sikström U. 2009. Skogsgödsling i Sverige. I: Skogsskötsel för ökad tillväxt. Editorer: Fahlvik N, Nilsson U. & Johansson U. Faktaunderlag till utredning om Möjligheter till intensivodling av skog. Bilaga 1.

- Read DJ. 1992. The mycorrhizal mycelium. In: Allen MF, eds Mycorrhizal functioning. New York, USA: Chapman & Hall, sid 102-133.
- Remén C, Persson T, Finlay R, Ahlström K. 2008. Responses of oribatid mites to tree girdling and nutrient addition in boreal coniferous forests. *Soil, Biology & Biochemistry*, 40: 2881-2890.
- Ring E. 1995. Nitrogen leaching before and after clear-felling of fertilised experimental plots in a *Pinus sylvestris* stand in central Sweden. *Forest Ecology & Management*, 72: 151-166.
- Ring E. 2007. Estimation of leaching of nitrogen and phosphorus from forestry in northern Sweden. In: How to estimate N and P losses from forestry in northern Sweden. (ed: Löfgren S). Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift, 146: 6-13.
- Rosén K, Aronson JA, Eriksson HM. 1996. Effects of clear-cutting on stream-water quality in forest catchments in central Sweden. *Forest, Ecology & Management*, 83: 237-244.
- Roturier S, Roue M. 2009. Of forest, snow and lichen: Sami reindeer herders' knowledge of winter pastures in northern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 258: 1960-1967.
- Saarsalmi A, Malkonen E. 2001. Forest fertilization research in Finland: A literature review. *Scandinavian journal of forest research*, 16: 514-535.
- Sikström U. 2005. Pre-harvest soil acidification, liming or N fertilization did not significantly affect the survival and growth of young Norway spruce. *Silva Fennica*, 39(3): 341-349
- Sinsabaugh RL, Carreiro MM, Repert DA. 2002. Allocation of extracellular enzymatic activity in relation to litter decomposition, N deposition and mass loss. *Biogeochemistry*, 60: 1-24.
- Strengbom J, Nordin A, Näsholm T, Ericson L. 2001. Slow recovery of boreal forest ecosystem following decreased nitrogen input. *Functional Ecology*, 15: 451-457.
- Blackwell Publishing Ltd
- Strengbom J, Nordin A. 2008. Commercial forest fertilization cause long-term residual effects in ground vegetation of boreal forests. *Forest, Ecology & Management*, 256: 2175-2181.
- Strengbom J, Nordin A. 2012. Physical disturbance determines effects from nitrogen addition on ground vegetation in boreal coniferous forests. *Journal of vegetation Science*, 23: 361-371.
- Sundberg B. 1999. Physiological ecology of lichen growth. Doktorsavhandling, Fysiologisk botanik, Umeå universitet, Umeå.
- Tamm CO. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. Ecological Studies no 81. Springer-Verlag, Berlin.
- Taylor AFS, Martin F, Read DJ. 2000. Fungal diversity in ectomycorrhizal communities of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Beech (*Fagus sylvatica* L.) in forests along north-south transects in Europe. In: Schulze

- ED, ed. Carbon and nitrogen cycling in European forest ecosystems. Berlin, Germany: Springer-Verlag, sid 343-365.
- Throop HL, Lerdau MT. 2004. Effects of nitrogen deposition on insect herbivory: Implications for community and ecosystem processes. *Ecosystems*, 7: 109-133.
- Vagts I, Kinder M. 1999. The response of different *Cladonia* species after treatment with fertilizer or lime in heathland. *Lichenologist*, 31: 75-83.
- van Dobben HF, ter Braak CJF, Dirkse GM. 1999. Undergrowth as a biomonitor for deposition of nitrogen and acidity in pine forest. *Forest ecology and management*, 114: 83-95.
- Westling O., Nohrstedt HÖ, 1995. Miljökonsekvensbeskrivning av STORA SKOGs gödslingsprogram, del 2 bedömning. Rapport B, IVL, Aneboda.
- Vitousek PM, Reiners WA. 1975. Ecosystem succession and nutrient retention - hypothesis. *BioScience*, 25: 376-381.
- Wallenda T, Stober C, Hogbom L, Schinkel H, George E, Hogberg P, Read DJ. 2000. Nitrogen uptake processes in roots and mycorrhizas. Schulze, ed. *Ecological Studies* 142, Berlin, Germany: Springer Verlag, sid 122-143.
- Wiklund K, Nilsson LO, Jacobsson S. 1995. Effect of irrigation, fertilization, and artificial drought on basidioma production in a Norway spruce stand. *Canadian Journal of Botany*, 73: 200-208.
- Ylimartimo A. 1990. The effect of nitrogen and potassium availability on scleroderris canker of Scots pine seedlings. *Water, Air & Soil Pollution*, 54: 307-313.
- Ylimartimo A, Haansuu P. 1993. Growth of *Gremmeniella abietina* on artificial media simulating the effects of mineral nutrient imbalance of Scots pine. *European journal of Forest Pathology*, 23: 372-384.
- Zak DR, Holmes WE, Burton AJ, Pregitzer KS, Talhelm AF. 2008. Simulated atmospheric NO₃⁻ deposition increases soil organic matter by slowing decomposition. *Ecological Applications*, 18: 2016-2027.
- Åhman G, Åhman B. 1984. Effects of forest fertilization on nitrate and crude protein content in some important reindeer forage species. *Rangifer*, 4: 43-53.

På begäran av Skogsstyrelsen har SLU skogsfakultet gjort en kunskapssammanställning över kvävegödsling på skogsmark. I denna redovisas möjliga tillväxteffekter av skogsgödsling, samt den miljöpåverkan skogsgödsling kan orsaka. Vidare identifierar SLU ett antal kunskapsluckor, där det finns behov av fortsatt forskning