

# Regionala förutsättningar och miljörisker till följd av skogsmarksgödsling vid olika scenarier för skogsskötsel och kvävedeposition

– modellerade effekter på kväveupplagring, biomassa, markkemi och artsammansättning

Therese Zetterberg Sofie Hellsten  
Salim Belyazid Per Erik Karlsson Cecilia Akselsson  
B1691  
November 2006  
Reviderad Februari 2008

<b>Organisation</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB	<b>Rapportsammanfattning</b>
<b>Adress</b> Box 5302 400 14 Göteborg	<b>Projekttitel</b> Åtgärder mot försurning av skogsmark
<b>Telefonnr</b> 031-725 62 00	<b>Anslagsgivare för projektet</b> IVL:s samfinansierade forskningsprogram med Skogsstyrelsen som huvudsaklig finansiär
<b>Rapportförfattare</b> Therese Zetterberg, Sofie Hellsten, Salim Belyazid, Per Erik Karlsson och Cecilia Akselsson	
<b>Rapporttitel och undertitel</b> Regionala förutsättningar och miljörisker till följd av kväveupplagring i skogsmarken vid olika scenarier för skogsskötsel och kvävedeposition – resultat från regionala och dynamiska modellberäkningar	
<b>Sammanfattning</b> Denna rapport beskriver regionala förutsättningar och miljörisker av ett förändrat kvävegödslingsprogram, inom en rotationsperiod, på regional nivå. Möjligheterna och miljöriskerna beskrivs med utgångspunkt från regionala scenarierberäkningar av kvävebalanser i skogsmark samt dynamiska modellberäkningar av framtida förändringar i biomassa, markkemi och vegetation. Kväveupplagring har i denna rapport använts som en indikator på risken för en förhöjd kväveutlakning tillsammans med nuvarande och historisk kvävedeposition samt C/N-kvoten i skogsmark. Massbalansberäkningarna visade att balansen mellan till- och bortförseln av kväve i skogsmark varierar starkt, inte bara i olika regioner utan även mellan olika skötselmetoder och trädslag. För närvarande sker en kväveupplagring i marken i hela Sverige enligt nuvarande deposition, men ett ökat uttag av biomassa och/eller en minskad kvävedeposition kan leda till negativa kvävebalanser, särskilt i granbestånd. Vidare indikerar modellberäkningarna att kvävegödsling leder till en ökad kväveupplagring vid normalt stamvedsuttag, trots att upplagringen delvis motverkas av den ökade tillväxten. Kväveupplagringen ökar med ökad gödselgiva. Vid ett ökat uttag av biomassa uppstår negativa eller svagt positiva kvävebalanser i stora delar av Sverige, oavsett om beståndet gödslas eller ej. Detta gäller framför allt granbestånden. Vidare leder kvävegödsling till kraftiga vegetationsförändringar jämfört med dagens vegetationsammansättning i norra Sverige men inte i södra eller mellersta Sverige, där betydande förändringar troligtvis redan har ägt rum till följd av ett högt kvävenedfall. Under den första rotationsperioden är effekterna av gödslingen relativt kortlivade, men under den andra rotationsperioden orsakar gödslingen sannolikt kroniska förändringar av vegetationsammansättningen i näringsfattiga bestånd.	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren</b> Allmänna råd, C/N-kvot, deposition, ForSAFE-Veg, gödsling, kväve, kväveupplagring, kväveutlakning, mark, modellering, nitrat, vatten, vegetation	
<b>Bibliografiska uppgifter</b> IVL Rapport B1691	
<b>Rapporten beställs via</b> Hemsida: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> , e-post: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a> , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

Reviderad rapport  
godkänd:  
2008-02-21

  
Peringe Grennfelt  
Forskningschef

## Förord

Användningen av kvävegödslingsmedel på skogsmark regleras av Skogsstyrelsens allmänna råd för kvävegödsling (SKSFS 1991:2). I korthet anger råden var i Sverige och i vilka doser kvävegödsling kan ske utan risk för negativa miljöeffekter. Exempel på oönskade miljöeffekter är försurning av mark och vatten, kväveupplagring i skogsmark, risk för eutrofiering samt en förändrad flora och fauna.

Under de 15 år som har gått sedan de allmänna råden skrevs har den bild som råden grundade sig på delvis förändrats samtidigt som det har skett en intensifiering av det svenska skogsbruket (framför allt har tillvaratagandet av avverkningsrester ökat i omfattning). Avverkningsnivåerna börjar även nå den gräns för vad som är långsiktigt hållbart ur produktionssynpunkt. Oron för en eventuell framtida virkesbrist har ökat intresset för kvävegödsling på tidigare undantagen mark varvid kritik mot de nuvarande allmänna råden har förts fram. Detta gäller framför allt den nuvarande gränsdragningen mellan södra och mellersta Sverige. Samtidigt har ny forskning inom lågbelastade områden visat på allvarliga vegetationsförändringar till följd av ökad kvävetillgång. Mot denna bakgrund har Skogsstyrelsen beslutat sig för att se över de allmänna råden, och som ett led i detta arbete har IVL Svenska Miljöinstitutet AB ombetts att ta fram beslutsunderlag.

Denna rapport beskriver förutsättningar och miljörisker på regional nivå till följd av ett förändrat kvävegödslingsprogram. Möjligheterna och miljöriskerna beskrivs med utgångspunkt från regionala scenarioräkningar av kvävebalanser i skogsmark samt dynamiska modellberäkningar av framtida förändringar i biomassa, markkemi och vegetation. Kväveupplagring har i denna rapport använts som en indikator på risken för en förhöjd kväveutlakning tillsammans med nuvarande och historisk kvävedeposition och C/N-kvoten i skogsmark. Framtida klimatförändringar har inte beaktats i modellerna. Med stöd utifrån resultaten diskuteras förslag på utformningen av de allmänna råden, liksom eventuella restriktioner. För att belysa situationen ytterligare har en översiktlig litteraturstudie över det nuvarande kunskapsläget sammanställts där bland annat klimatförändringarnas effekt på gödslade bestånd berörs. Intensivskogsbruk, det vill säga plantageskogsbruk med intensivgödsling har inte behandlats i rapporten. Inte heller har vi utfört någon riskanalys över produktionsvinster i relation till eventuella miljörisker.

Rapporten är gemensamt utarbetad av Therese Zetterberg (projektledare), Sofie Hellsten (scenarioräkningar för kväveupplagring i skogsmark), Salim Belyazid (dynamisk modellering biomassa, markkemi och vegetationsförändringar) Per-Erik Karlsson (litteraturstudie) samt Cecilia Akselsson (scenarioräkningar för kväveupplagring i skogsmark), samtliga vid IVL Svenska Miljöinstitutet i Göteborg.

Ett stort tack till er alla!

Therese Zetterberg  
IVL Svenska Miljöinstitutet AB

## Sammanfattning

Denna rapport beskriver förutsättningar och miljörisker på regional nivå till följd av ett förändrat kvävegödslingsprogram. Möjligheterna och miljöriskerna beskrivs med utgångspunkt från regionala scenarioräkningar av kvävebalanser i skogsmark samt dynamiska modellberäkningar av framtida förändringar i biomassa, markkemi och vegetation. Kväveförluster i gasform, via denitrifikation, har inte beaktats i modellberäkningarna dels på grund av svårigheter att kvantifiera omfattningen och dels för att den antas utgöra en försumbar del i väl-dränerad, frisk mark. Kväveupplagring har i denna rapport använts som en indikator på risken för en förhöjd kväveutlakning tillsammans med nuvarande och historisk kvävedeposition samt C/N-kvoten i skogsmark.

Massbalansberäkningarna visar att kvävegödsling ökar risken för kväveutlakning genom en ökad kväveupplagring. Risken är störst i områden som har haft ett historiskt högt nedfall av kväve och låga C/N-kvoter i marken. Storleken och varaktigheten på en eventuell kväveutlakning beror på systemets ursprungliga kvävestatus samt antalet gödselgivor. Risken för kväveutlakning, framför allt under föryngringsfasen, kan minimeras genom skötsel Anpassningar såsom skärmställningar och kantzoner samt genom ökat biomassauttag. Ett ökat biomassauttag via helträd (stamved, grenar och toppar) eller totalträdssuttag (stamved, grenar, toppar och stubbar) från skogen leder dock till ökade näringsförluster (kväve, fosfor och baskatjoner) och därmed en risk för tillväxtminskningar i kommande rotationsperiod, framför allt i granbestånd. Samtidigt kan ett ökat biomassauttag vara en metod för att minska kväveupplagringen i områden med hög risk för kväveutlakning. Risken för tillväxtminskningar, och en sänkt motståndskraft mot försurning, kan motverkas genom kompensande åtgärder såsom askåterföring och genom kvarlämnande av barr i samband med föryngringsavverkning i granbestånd. I askan återfinns i stort sett all den näring som ursprungligen fanns i bränslet, med undantag av kväve.

Modellsimuleringarna i ForSAFE-VEG tyder på att effekterna av kvävegödsling blir större i norra Sverige jämfört med södra Sverige. Detta gäller för alla undersökta parametrar (biomassa, koncentrationen av kol och kväve i humuslagret, basmättnaden och artsammansättningen). Till stor del kan förändringarna i vegetationsammansättning i Norrland förklaras av att växterna är naturligt anpassade till en låg kvävetillgång. En ökad tillförsel av kväve kommer således att öka etableringen av kvävegynnande arter och därmed riskerar artsammansättningen att förändras. I södra Sverige, där det historiska och nuvarande nedfallet av kväve är stort, har de stora förändringarna troligtvis redan inträffat varför ytterligare tillförsel via gödsling, i allmänhet endast får en marginell effekt.

## Innehållsförteckning

1	Bakgrund.....	1
2	Användning av kvävegödselmedel.....	2
3	Tidigare studier .....	3
3.1	Viktiga slutsatser från Kväve 2002.....	3
3.2	Ny forskning sedan 2002 .....	4
3.2.1	Deposition av kväve.....	4
3.2.2	Kvävebalans i skogsmark .....	6
3.2.3	Kväveutlakning från växande skog och hyggen .....	6
3.2.4	Hur påverkas trädens vitalitet vid ökad kvävetillgång?.....	9
3.2.5	Hur påverkas markvegetationen vid ökad kvävetillgång?.....	10
3.2.6	Hur påverkas risken för kväveutlakning vid olika skogsskötselåtgärder?.....	12
4	Regionala massbalansberäkningar för kväveupplagring i skogsmark.....	15
4.1	Metod - Massbalansberäkning.....	15
4.1.1	Modellens uppbyggnad.....	15
4.1.2	Definiering av gödslingsbar mark .....	18
4.1.3	Beräkning av gödslingseffekten.....	19
4.1.4	Områdesindelning .....	20
4.1.5	Scenarier.....	21
4.2	Resultat och diskussion .....	22
4.2.1	Kväveupplagring på nationell nivå .....	22
4.2.2	Effekter av kvävegödsling i område 1.....	27
4.2.3	Effekter av kvävegödsling i område 2.....	28
4.2.4	Effekter av kvävegödsling i område 3.....	28
4.3	Slutsatser.....	29
5	Modellerade effekter av kvävegödsling på biomassa, markkemi och artsammansättning i tre granbestånd.....	31
5.1	En kort beskrivning av modellen ForSAFE-VEG .....	31
5.2	Simulering av effekterna av kvävegödsling i tre granbestånd .....	32
5.3	Resultat och diskussion .....	34
5.3.1	Effekter av kvävegödsling på det nordliga beståndet (Högbränna) .....	34
5.3.2	Effekter av kvävegödsling på det mellersta beståndet (Blåbärskullen) .....	37
5.3.3	Effekter av kvävegödsling på det sydligaste beståndet (Torup).....	40
5.4	Slutsatser.....	43
6	Sammanfattande diskussion.....	46
6.1	Påverkan på kväveupplagringen och risken för utlakning.....	46
6.2	Påverkan på markvegetationen .....	47
7	Huvudslutsatser och rekommendationer.....	52
8	Tack .....	53
9	Referenser .....	54
	Bilaga 1 Kväveupplagring.....	60
	Bilaga 2 Artförteckning.....	64

## 1 Bakgrund

Av Sveriges totala landyta på 41 miljoner hektar består mer än hälften (23 miljoner hektar) av skogsmark, vilket gör skogsindustrin till en av Sveriges viktigaste näringsgrenar. Sedan början av 1900-talet har virkesförrådet i skogen mer än fördubblats och den största tillväxten har skett i Götaland. Till stor del kan denna ökning förklaras av en effektivare skogsskötsel men även av det kvävedefall som har skett inom vissa regioner, framför allt de sydvästra delarna.

På senare år har det svenska skogsbruket intensifierats. Bland annat har biobränsleanvändningen ökat kraftigt samtidigt som virkesförbrukningen idag är i nivå med den bedömda högsta möjliga ut-hålliga avverkningsnivån enligt SKA 99 (Skogsstyrelsen, 2001). Virkesförbrukningen förväntas även att fortsätta stiga. I Oljekommissionens rapport från juni 2006 (Regeringskansliet, 2006) anges dessutom att skogens tillväxt bör öka långsiktigt med 15-20 % genom effektivare skogsskötsel, inklusive gödsling och intensivskogbruk på en del av arealen (1.1 miljoner ha, ca 5 % av totala skogsarealen). Man beräknar även att användandet av brännved, GROT och stubbar som bio-bränsle, räknat som TWh, skall fördubblas mellan åren 2005 och 2020. Vidare finns det önskemål om att maximera inbindningen av koldioxid i skogsmarken under kort och medellång sikt, för att minska växthuseffekten (LUSTRA, 2005).

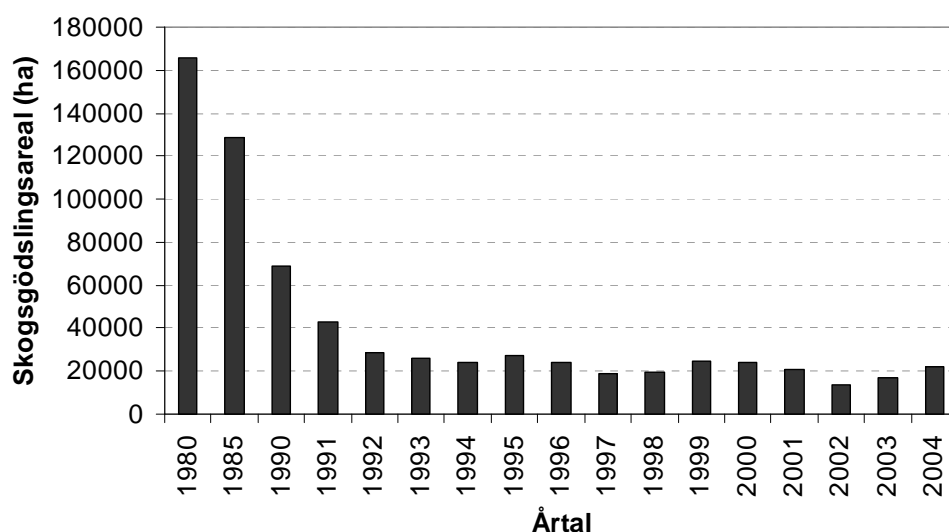
Farhågan för en eventuell framtida virkesbrist har ökat intresset för kvävegödsling på tidigare undantagen mark varvid kritik mot de nuvarande allmänna råden (SKSFS 1991:2) har förts fram. Detta gäller framför allt den nuvarande gränsdragningen mellan södra och mellersta Sverige. Samtidigt har ny forskning visat på betydande vegetationsförändringar till följd av kvävetillförsel i låg-belastade områden. Mot denna bakgrund har Skogsstyrelsen beslutat sig för att se över de allmänna råden.

På uppdrag av Skogsstyrelsen, och inom ramen för IVL:s samfinansierade forskningsprogram, har IVL Svenska Miljöinstitutet AB belyst förutsättningar och risker vid nyttjande av kvävegödslingsmedel, bland annat på tidigare undantagen mark, vid olika scenarier för skogsskötsel (stamved och helträdsuttag), kvävedeposition (nuvarande och 20 % reduktion) och kvävegiva (0, 150, 300, 450, 600 och 750 kg N per ha och år). Effekter på artsammansättning, biomassa och markkemi i tre olika granbestånd har även studerats med hjälp av dynamisk modellering (ForSAFEVEG). Studien har inriktats på barrskog och tidsperspektivet har varit en rotationsperiod. Effekten av framtida klimatförändringar har inte beaktats i modellerna. Kväveupplagring har i denna rapport använts som en indikator på risken för en förhöjd kväveutlakning tillsammans med nuvarande och historisk kvävedeposition samt C/N-kvoten i skogsmark.

Rapporten är ett resultat av flera författares medverkan och har därför delats in i olika avsnitt. I det första avsnittet (kapitel 3) ges en tillbakablick över tidigare konsekvensbedömningar, den senaste från 2002 (Högbom & Jacobson, 2002) och ny kunskap som har tillkommit sedan dess. Avsikten med den nuvarande sammanställningen har inte varit en heltäckande redovisning utan tyngdpunkten har legat på risken för kväveupplagring i skogsmark, utlakning samt vegetationseffekter. Även valet av skogsskötselåtgärd diskuteras. I det andra (kapitel 4) och tredje avsnittet (kapitel 5) redovisas resultaten från två olika modellberäkningar, en för kväveupplagring i skogsmark och en för vegetationseffekter, biomassa och markkemi. I slutet av rapporten sammanställs resultaten i en avslutande diskussion (kapitel 6) samt synpunkter på utformning av nya allmänna råd i slutsatser (kapitel 7)

## 2 Användning av kvävegödselmedel

I Sverige har kvävegödsling bedrivits sedan mitten av 1960-talet, framför allt av skogsbolagen, och gett upphov till en mertillväxt på cirka 40 miljoner m<sup>3</sup>sk (Thuresson, 2002). Gödslingen var som mest omfattande under 1980-talet och uppgick till cirka 200 000 ha per år (Figur 1). Den gödslade arealen har därefter minskat successivt till cirka 20 000 hektar per år, dels på grund av att kunskapen om vilka objekt som lämpar sig för gödsling har ökat och dels på grund av en oro för att negativa miljöeffekter kan uppstå.



Figur 1. Användningen av kvävegödselmedel på fastmark under 1900-talet. Källa; Skogsstatistiska årsboken 2006.

Användningen av kvävegödslingsmedel på skogsmark regleras av Skogsstyrelsens allmänna råd för kvävegödsling (SKSFS 1991:2) utfärdade 1991. I korthet anger råden var i Sverige och i vilka doser kvävegödsling kan bedrivas utan risk för negativa miljöeffekter. Råden, som inte är av bindande karaktär, syftar till att undvika såväl kort- som långsiktiga effekter i skog, mark och vatten. De miljörisker som befaras uppstå om inte de allmänna råden efterlevs är 1) en försurning av mark och vatten, 2) kväveutlakning (med risk för övergödningseffekter i ytvatten och hav), 3) kväveupplagring i skogsmark samt 4) en förändring i artsammansättning och utbredning av flora och fauna.

Enligt nuvarande råd bör kvävegödsling ej förekomma i södra Sverige. I mellersta och norra Sverige kan en totalgiva på 300 respektive 600 kg kväve per hektar spridas under en rotationsperiod. Standardgivan är 150 kg kväve per hektar vilket i genomsnitt ger en tillväxteffekt på 13-20 m<sup>3</sup>sk per hektar i 7-11 år, varefter tillväxten återgår till samma nivå som innan gödsling (Jacobson m. fl., 2005). Den faktiska tillväxtökningen skiljer sig åt bland annat beroende på trädslag, ålder, läge i landet, beståndets slutenhet med mera. Exempelvis kan gödsling av ett 60-årigt granbestånd med ett ståndortsindex på G28 i Norrland leda till en total tillväxtökning på 20 m<sup>3</sup>sk per hektar vid en engångsgiva på 150 kg per hektar. I södra Sverige, med ett högre kvävenedfall, skulle motsvarande gödsling och bestånd leda till en något lägre tillväxteffekt (18 m<sup>3</sup>sk per hektar).

Valet av gödselmedel har varierat men nu för tiden används uteslutande gödselmedlet Skog-CAN. Skog-CAN innehåller en blandning av kväve (nitrat och ammonium) tillsammans med magnesium,

kalcium och bor. Tillsatsen av basiska ämnen (magnesium och kalcium) är till för att undvika en tillfällig försurningseffekt (nitrifikation) som kan uppstå i samband med spridning medan bor används för att förhindra skador på tallträd. Tillförseln av magnesium och kalcium kompenserar även en eventuell förlust av baskatjoner via det avrinnande vattnet.

Alla skogsbestånd är inte lönsamma att gödsla. För att en skog ska betraktas som gödslingsvärd bör sju så kallade baskrav vara uppfyllda (Jacobson m. fl., 2005). Baskraven är en god vägledning vid valet av gödslingsbestånd och anger exempelvis lämplig marktyp, trädslag, ålder, bördighet och tidpunkt. Skogsstyrelsens nuvarande råd tillsammans med de sju baskraven har utgjort en viktig grund i modellberäkningarna. För en mer detaljerad beskrivning av baskraven och på vilket sätt de har tillämpats i arbetet hänvisar vi till avsnitt 4.1.2

## 3 Tidigare studier

### 3.1 Viktiga slutsatser från Kväve 2002

Det finns sedan tidigare ett antal omfattande litteratursammanställningar om effekterna av kväve och kvävegödslning i Sverige (exempelvis Nohrstedt, 1993; Nohrstedt & Westling, 1995; Westling & Nohrstedt, 1995 och Högbom & Jacobson, 2002). I denna rapport har de viktigaste slutsatserna från den senaste rapporten (Högbom & Jacobson, 2002) sammanställts tillsammans med ny kunskap som har framkommit efter 2002. Vissa områden har utelämnats helt och hållet eftersom ambitionen inte har varit att göra en heltäckande konsekvensbeskrivning.

Huvudslutsatsen i tidigare rapporter var att gödslning i konventionell omfattning *"inte påtagligt försvårar ansträngningarna att nå väsentliga miljömål med anknytning till skogsmark"*. Vidare kom Högbom och Jacobson (2002) fram till slutsatsen att *"någon större revidering av de rekommendationer och lagkrav som rör kvävegödslning inte är aktuell"* eftersom kvävegödslning, utförd enligt gällande bestämmelse, inte hotar markens naturliga processer och långsiktiga produktionsförmåga, inte skadar andra ekosystem och inte hotar den biologiska mångfalden. Övriga slutsatser från rapporten var att kvävegödslning:

- Ökar humustäckets mäktighet på grund av den ökade tillväxten, framför allt på magrare marker
- Leder till ett ökat förråd av kol och kväve på näringsfattiga lokaler. Gödslning på bördigare marker ledde inte till några påtagliga effekter på kolförrådet i marken.
- Inte påverkar nettomineraliseringen av kväve
- Ofta leder till en ökad kväveutlakning i området närmast det gödslade beståndet. Längre nedströms vattendraget försvinner effekten.
- Kan leda till kväveutlakning under hyggesfasen till följd av ökad kväveupplagring i marken och lägre C/N-kvoter. Utlakningen är lägre på rikare marker vilket delvis kan bero på ett kraftigt uppslag av hyggesvegetation som tar upp det frigjorda kvävet.
- Ofta leder till vegetationsförändringar i slutna skog, men inte på ett avgörande sätt.
- Leder till tydligare vegetationsförändringarna på marker av medelbonitet än näringsrika och näringsfattiga marker.



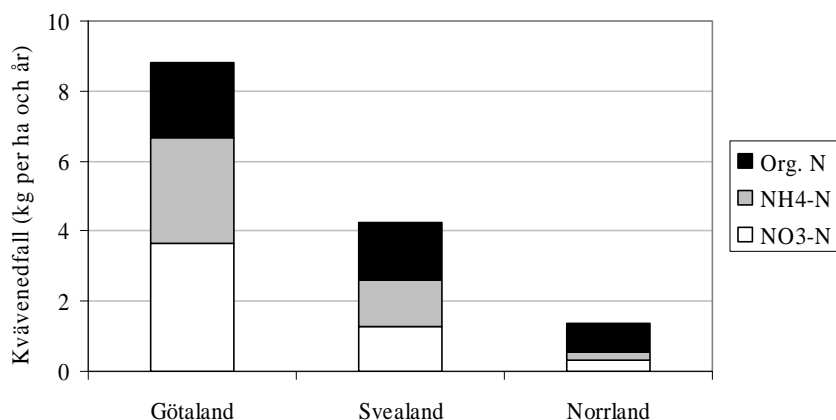
- ❑ Ökar förekomsten av gräs på bekostnad av bärris. På magrare marker som domineras av blåbär och lingon gynnas blåbär.
- ❑ Leder till att de arter som missgynnats av kvävegödsling i slutet skog även missgynnas under hyggesfasen. Någon radikal förändring i artsammansättning under hyggesfasen sker däremot inte, förutom att lavvegetationen minskar.
- ❑ Inte leder till ökad gräsförekomst under hyggesfasen.
- ❑ Inte leder till en förändrad vegetationssammansättning (mot nitrofila arter) under hyggesfasen.
- ❑ Inte leder till en kraftigare hyggesvegetation.
- ❑ Förskjuter trädets tyngdpunkt uppåt vilket kan innebära en ökad risk för torkstress eller stormskador.
- ❑ Kan påverka trädens mottaglighet för insekter, svampar och frost.

Det bör poängteras att ett flertal av de försök som ligger till grund för ovanstående slutsatser har etablerats på marker som inte lämpar sig för kvävegödsling. Vidare har högre doser och tätare gödslingsintervall använts än vad som normalt rekommenderas. Detta gör att det kan vara svårt att översätta resultaten till praktisk gödsling.

## 3.2 Ny forskning sedan 2002

### 3.2.1 Deposition av kväve

Nedfallet av oorganiskt kväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$  och  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) varierar över tiden och är starkt knutet till nederbördsmängderna. Någon tydlig nedåtgående tidstrend finns inte, vilket beror på att kväveutsläppen har varit svåra att begränsa (Nettelblatt m. fl., 2006). Däremot visar nedfallet en tydlig nordsydlig gradient. Depositionen av kväve via krondropp är högre i södra Sverige och minskar norrut, framför allt av oorganiskt kväve (Figur 2). Depositionen av organiskt och oorganiskt kväve via krondropp i Götaland uppgick till 8.8 kg per ha och år 2004/05 jämfört med Svealand och Norrland där motsvarande siffra var 4.2 respektive 1.4 kg per ha och år.

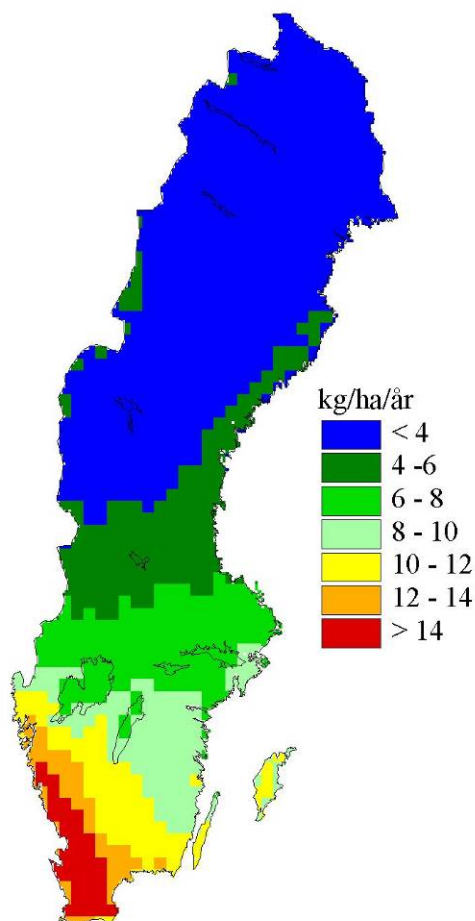


Figur 2. Genomsnittlig deposition av oorganiskt kväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$  och  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) och organiskt kväve (org. N) via krondropp i skogliga provytor i Götaland, Svealand och Norrland under 2004/2005 (kg N per ha och år). Från Nettelblatt m. fl., 2006.

Nedfallet av kväve via krondropp är inte samma sak som den totala depositionen till skogen. Kron-droppet, som insamlas under träden, är ett samlat mått på våt- och torrdepositionen (inklusive dim- och molndeposition) samt trädkronans läckage och upptag (främst oorganiskt kväve). Kron-droppsmätningar används framför allt för att beskriva trender i tiden.

För att erhålla ett mått på den totala kvävedepositionen till skog görs modellberäkningar med hjälp av SMHI:s Sverigemodell (Persson m. fl., 2004; Persson & Kahnert, 2006). Kvävenedfallet (över barrskog) är uttryckt som ett treårsmedelvärde för perioden 2002-2004 (Figur 3). Anledningen till att ett medelvärde tillämpas beror på att variationer i nederbördsmängden (och nedfallet) därmed utjämnas.

### Kvävenedfall i barrskog Treårsmedelvärde 2002-2004



Figur 3. Den totala depositionen av kväve ( $\text{NO}_3\text{-N}$  och  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) i barrskog enligt SMHI:s Sverigemodell ( $20 \times 20 \text{ km}^2$ ), uttryckt som ett medelvärde under perioden 2002-2004. Observera att den totala depositionen inte är densamma som uppmäts i krondropp.

Den totala depositionen av kväve varierar över landet på samma sätt som krondroppet men halterna är något högre. Förutom en nordsydlig gradient varierar halterna även i en östvästlig riktning i de södra delarna av Sverige (Figur 3).

### 3.2.2 Kvävebalans i skogsmark

Kvävebalansen i skogsmark är ett samlat mått på tillförseln och bortförseln av kväve via olika processer och är ett användbart mått för att visa om systemet förlorar eller ackumulerar kväve. Samtliga utförda balansstudier fram till början av 1990-talet visade att svensk skog hade en positiv kvävebudget, det vill säga att kväveförråden i marken ökade, förutsatt att helträdsutnyttjande inte brukades (Nohrstedt, 1993).

I en nyligen gjord studie av Akselsson och Westling (2005) beräknades regionala kvävebalanser över hela Sverige med en geografisk upplösning på 5x5 km. Beräkningarna bygger på olika scenarier för kvävedeposition (dagens deposition med beräknade värden för 1998 från MATCH-modellen samt en minskning av dagens deposition med 30 % motsvarande en prognos för år 2010 baserat på beslutade emissionsminskande åtgärder i det Europeiska luftvårdsarbetet) och olika scenarier för skogsskötsel (konventionellt stamvedsuttag och helträdsuttag). Beräkningarna grundade sig på massbalanser för både barr-, löv- och blandskog.

Enligt basscenariot (1998 års deposition, stamvedsuttag) ökar kväveupplagringen för närvarande i hela landet jämfört med ett helträdsuttag (och 1998 års deposition) där kväveuttaget balanserar tillförseln i både Svealand och Norrland (Tabell 1). Framtida minskningar i kvävedeposition leder fortfarande till positiva kvävebalanser vid ett stamvedsuttag, men kan i vid helträdsuttag leda till en negativ kvävebalans i större delen av landet, utom i västra Götaland. Resultaten från Akselsson och Westling (2005) visar att en kväveupplagring i marken kan begränsas genom ett helträdsutnyttjande.

Tabell 1. Kväveupplagring (medel) i skogsmark, från Akselsson och Westling (2005).

kg N per ha och år	Götaland	Svealand	Norrland
Stamvedsuttag, 1998 års deposition	6.9	3.1	1.5
Helträdsuttag, 1998 års deposition	3.1	0.6	-0.2
Stamvedsuttag, minskad deposition	3.6	1.1	0.4
Helträdsuttag, minskad deposition	-0.2	-1.4	-1.3

### 3.2.3 Kväveutlakning från växande skog och hyggen

Den svenska skogen är i allmänhet kvävebegränsad, vilket innebär att kväveutlakning (organiskt och oorganiskt) från växande ostörd skog generellt är låg, vanligtvis mellan 0.5 till 2 kg per hektar och år. Denna låga bakgrundsutlakning är inte påverkad av kvävenedfall och betraktas som naturligt. En nettoupplagring av kväve i skogsmark via deposition riskerar i det långa loppet att leda till kvävemättnad, ett tillstånd där utlakningen av kväve under rotzonen ökar (Aber m. fl., 1989). Generellt sett är nitratkvävehalter i växande skog låg och uppgår sällan till mer än 0.1 mg per liter, men det finns en tendens till ökade halter. I södra Sverige, där kvävenedfallet är som högst, finns exempel på skogsbestånd med förhöjd kväveutlakning som inte kan förklaras av skogsskador eller andra störningar (Hallgren Larsson m. fl., 1995; Nohrstedt m. fl., 1996; Nilsson m. fl., 1998; Andersson m. fl., 2002; Nettelbladt m. fl., 2006). Exempelvis noterades nitratkvävehalter i markvattnet (på 50 cm djup) på upp till 4.5 mg per liter i ett granbestånd i Vallåsen, Halland (Nettelbladt m. fl., 2006). Detta kan vara ett tecken på att skogsmarken i södra Sverige är nära kvävemättnad. Vallåsen är en av drygt hundra lokaler i Sverige som ingår i det så kallade krondroppsnätet och få lokaler uppvisar så höga halter som de som har uppmätts i Vallåsen. Jämfört med den nitratutlakning som sker i samband med föryngringsavverkning är de halter som uppmätts i växande skog mycket låg (se avsnitt 3.2.6). På vissa håll i Europa, har halter i samma storleksordning som de som uppmätts under föryngringsfasen i Sverige noterats i växande skog (Bredemeier m. fl., 1998). Till exempel uppmättes nitratkvävekoncentrationer på 30 mg per liter i markvattnet på 90 cm djup i Speuld och 22 mg per liter i Ysselsteyn, båda belägna i Nederländerna.

Risken för kväveutlakning beror på storleken av nuvarande och historisk kvävedeposition, nitrifikation, denitrifikation samt virkesuttag, men även på hastigheten varmed lätttrörligt kväve omsätts inom skogsekosystemet, den så kallade ”soil flux density of mineral N” (Andersson 2002). En förhöjd utlakning orsakad av en förändring av markens kvävebalans är en långsam process (Moldan m. fl., 2006) med de depositionsnivåer som har förekommit och som förväntas i framtiden i Sverige. Skadad skog eller reducerad tillväxt kan dock snabbt leda till förhöjd utlakning av kväve (Hellsten m. fl., 2006).

Generellt finns det ett tröskelvärde för kvävedeposition till skogsmark under vilken kväveutlakning mycket sällan inträffar. Detta tröskelvärde har föreslagits till 10 kg N per ha och år (för Europa, Dise m. fl., 1998) respektive 12 kg N per ha och år (för Sverige, Andersson m. fl., 2002). Vid högre nivåer beror risken för kväveutlakning i stor utsträckning på ekosystemets egenskaper, såsom nettomineraliseringshastigheten för kväve, snarare än storleken på kvävedepositionen (Andersson m. fl., 2002).

Ett alternativt mått som förts fram för att bedöma risken för kväveutlakning från skogsmark, och som bygger på empiriska samband, är kvoten mellan kol och kväve (C/N-kvot) i det organiska markskiktet. Generellt minskar risken för kväveutlakning vid högre C/N-kvoter, men det finns inget linjärt samband mellan kväveutlakning och C/N-kvot. Exempelvis visade Gundersen m. fl. (1998) i en Europeisk studie att det inte förekom någon kväveutlakning vid C/N-kvoter över 30 i barrskog men vid lägre kvoter skedde en betydande kväveutlakning. Gundersen m. fl., (1998) konstaterade att risken för kväveutlakning är hög vid C/N-kvoter mindre än 25, vilket bekräftas av bland annat Yoh (2001) och Tietema (1998). En nödvändig faktor för att kväveutlakning ska äga rum, trots låga C/N-kvoter, är en hög tillförsel av kväve via deposition eller gödsling. Dise m. fl., (1998) föreslår därför en kombination av kvävedeposition (i krondropp) och C/N-kvot för att bedöma risken för kväveutlakning uppdelat i fyra olika kategorier (Tabell 2). Enligt Dise m. fl. (1998) är risken för kväveutlakning låg vid en kvävedeposition lägre än 10 kg N per ha och år, mellan vid 10-20 kg N per ha och år och hög vid en kvävedeposition på över 20 kg N per ha och år (Tabell 2). För de värden för kväveutlakning som presenteras för områden med en kvävedeposition på över 30 kg N per ha och år anses osäkerheterna blir mycket stora beroende på att ytterligare processer får betydelse.

Tabell 2. En uppdelning i Europeiska, skogliga lokaler i fyra olika kategorier baserat på kvävedeposition (i krondropp) och den kväveutlakning (kg N per ha och år) som kan uppstå vid olika kol/kväve kvoter i det organiska markskiktet. Enligt Dise m fl. (1998).

Kol/ kväve kvot	Kategori, kvävedeposition mätt som krondropp (kg N per ha och år)			
	Låg (<10)	Mellan (10-20)	Hög (20-30)	Mycket hög (>30)
35	0-5	0-7	0-1	0-32
30	0-5	0-9	1-9	0-38
25	0-5	0-12	11-18	0-46
20	0-5	2-15	20-28	6-57
15	0-5	4-18	28-37	12-70

Vid en jämförelse mellan de principer som föreslagits av Dise m fl. (1998) och Andersson m fl. (2002) finns en relativt god överensstämmelse. De sydligaste lokalerna Tunby och Klintaskogen erhåller en kvävedeposition på 22 kg N per ha och år och har en C/N-kvot på 24 och 25 g per g och år (Tabell 3). Enligt Tabell 2 är risken för kväveutlakning hög i dessa lokaler och uppskattas till mellan 11 och 18 kg per ha och år, vilket överensstämmer ganska bra med den faktiskt uppmätta på 25 kg N per ha och år för Tunby och 9 kg N per ha och år för Klintaskogen. Uddevalla har i gengäld en betydligt lägre deposition (12 kg per ha och år) och en lägre C/N-kvot (18) (Tabell 3). I detta skogsbestånd är risken för kväveutlakning mindre och uppskattas till mellan 4 och 18 kg N per ha och år. Den faktiska utlakningen är 2 kg per ha och år vilket är i samma storleksordning som den

naturliga bakgrundsutlakningen och stämmer dessutom väl överens med det föreslagna tröskelvärdet på 12 kg N per ha och år, se ovan. Den fjärde lokalen, Skogaby, skiljer sig från övriga lokaler eftersom kvävedeposition är hög medan kväveutlakningen är låg (Tabell 3). Den låga utlakningen förklaras i viss mån av den låga mineraliseringshastigheten, i enlighet med vad Andersson (2002) föreslog, det vill säga att kväveutlakningen kan relateras till summan av kvävedepositionen och nettomineraliseringshastigheten.

Tabell 3. Variationer i deposition, utlakning, nettomineralisering och C/N-kvot i fyra olika skogsbestånd, samtliga belägna i södra Sverige. Från Andersson (2002).

		Tunby	Klinta- skogen	Skogaby	Udevalla
Kvävedeposition	kg N per ha och år	22	22	24	12
Kväveutlakning	kg N per ha och år	25	9	<1	2
Nettomineralisering av N	kg N per ha och år	104	65	37	86
Totalt alla lager					
C/N kvot, F+H/Ah	g/g	24	25	29	18

Risken för kväveutlakning efter långvarig tillförsel av kväve i ett högbelastat (15 kg N per ha och år) område har bland annat studerats av Moldan m. fl. (2006). Under en period motsvarande 13 år spreds 40 kg N per ha och år i form av ammoniumnitrat i ett kvävebegränsat barrskogsbestånd i Gårdsjön, Västra Götaland. Dosen är betydligt lägre jämfört med den engångsgiva (150 kg N per ha) som används i skogsgödslings samband, vilket innebär att resultaten inte är direkt jämförbara. I början av försöksperioden (1991) var C/N-kvoten i markens organiska skikt (LFH) cirka 36, en nivå där kväveutlakning ej skall äga rum enligt Gundersen m. fl. (1998). Trots den höga C/N-kvoten ökade kväveutlakningen (främsta nitrat) omedelbart efter försökets start och har ökat stadigt under de 13 år som försöket har pågått. Detta tyder på att kvävetillförseln till beståndet är så pass hög, och snabb, att systemet inte hinner tillgodogöra sig allt det tillförda kvävet, varför en del oundvikligen försvinner via utlakning, *oavsett* beståndets kvävestatus (C/N-kvot). Efter 13 år utgör kväveutlakningen dock inte mer än cirka 10 % av den totala tillförda kvävemängden, vilket innebär att beståndets förmåga att tillgodogöra sig kväve fortfarande är hög. Storleken på ”kvävepulsen” och hur länge den varar beror på områdets ursprungliga kvävestatus och om gödslingen upprepas.

Försöket i Gårdsjön visar på en förhöjd kväveutlakning från i det närmaste obefintliga halter (< 1 µekv per l eller <0.014 mg per liter) innan gödsling till låga halter (70 µekv per l eller 0.98 mg per liter) efter gödsling (Moldan m. fl. 2006). Detta kan jämföras med gödslingsförsök på kväverika lokaler i Europa där huvuddelen av det tillförda kvävet förloras via utlakning (Emmet m. fl., 1998). Risken för kväveutlakning, och storleken, behöver därmed ställas mot områdets ursprungliga kvävestatus och kvävegiva. Enligt Abers m. fl. (1989) definition på kvävemättnad skulle resultaten från Gårdsjön tyda på ett tillstånd där kväveutlakningen från rotzonen ökar, men resultaten visar samtidigt att 90 % av det tillförda kvävet fortfarande finns kvar i systemet. Att beskriva situationen i Gårdsjön som ett tillstånd där kvävmättnad har uppstått är något missvisande. Alternativa sätt att beskriva kvävemättnad på är den nivå vid vilken primärproducenterna inte längre svarar på ökad tillförsel med ökad tillväxt (Nilsson, 1986), att skogsekosystemet släpper ifrån sig lika mycket eller mer kväve än den tar emot (Ågren & Bosatta, 1988) eller att någon annan faktor blivit begränsande för tillväxten (Nohrstedt, 1993). Ingen av dessa definitioner anses tillämpbara på Gårdsjön.

Gårdenäs m. fl. (2002) har modellerat skogsmarkens kvävebalans under olika gödslings- och depositions nivåer med modellen SOILN. Simuleringarna genomfördes för två olika lokaler, Billingsjön i Härjedalen och Jädraås i Gästrikland under en rotationsperiod. Gödsling i kombination med stamvedsuttag simulerades enligt Skogsstyrelsens rekommendationer (SKSFS 1991:2) med en totalgiva på 300 kg per ha i Jädraås och 600 kg per ha i Billingsjön. Resultaten visade att kväveutlakningen var låg för alla kombinationer av kvävedeposition och gödslingsgivor. För Billingsjön blev kväve-

balansen negativ om gödslingen understeg 300 kg/ha. För Jädraås erhöles en negativ kvävebalans om depositionen minskade 50 % och om ingen gödsling utfördes.

Trots att det sker en kväveupplagring i den svenska skogsmarken och att det finns vissa indikationer på en ökad kväveutlakning från vissa lokaler är bidraget från skogsmark till övergödning av haven litet jämfört med bidraget från jordbruksmark och reningsverk, även om den förhöjda utlakningen i hyggesfasen inkluderas, se avsnitt 3.2.6. Eftersom Sverige till stor del är täckt av skog kan dock en mindre förhöjning av kväveutlakningen, till följd av högt kvävenedfall, leda till att den totala kvävetillförseln till haven ökar.

### 3.2.4 Hur påverkas trädens vitalitet vid ökad kvävetillgång?

En ökad tillgång på kväve, exempelvis via deposition och/eller gödsling, har stor betydelse för skogens tillväxt men kan samtidigt medföra en ökad risk för nedsatt vitalitet. Skog med nedsatt vitalitet drabbas lättare av skador. Med vitalitet avses det allmänna hälsotillståndet hos träden, exempelvis mätt som kronutglesning, kådflöde eller missfärgning. Vitaliteten kan också vara trädens förmåga att motstå stormfällningar, torka, frost eller svamp- och parasitangrepp. Vitaliteten hos träden är ett resultat av en rad komplexa samband. En störning av dessa genom olika stressfaktorer kan leda till nedsatt vitalitet eller till och med skogsdöd.

Kvävegödsling kan förändra trädens morfologi genom att träden allokerar mer energi för tillväxt till ovanjordiska delar jämfört med underjordiska delar (Nohrstedt & Westling, 1995). Bland annat ökar tillväxten av skottaxlar och barr vilket teoretiskt sett ökar trädens vindfång och därmed risk för stormskador. Sverige har drabbats av ett flertal allvarliga stormar under 1900-talet (Nilsson & Samuelsson, 2005). Den värsta stormen (Gudrun) inträffade natten mellan den 8 och 9 januari 2005 och drabbade stora delar av södra Sverige. Som mest uppmättes vindstyrkor på 42 m/s och den totala skadade virkesvolymen har uppmätts till på 66 m<sup>3</sup>sk (Valinger m. fl., 2006). Efter stormen Gudrun fick Skogsstyrelsen i regeringsuppdrag att analysera konsekvenserna för skogsbruket. I analysen ingick bland annat en bedömning av olika riskfaktorer (Valinger m. fl., 2006). En av frågeställningarna var på vilket sätt tidigare skogsskötsel såsom kvävegödsling påverkar skaderisken eftersom vindskador är vanligast i äldre bestånd. I analysen ingick bland annat långsiktiga gallrings- och gödslingsförsök (Eriksson & Karlsson, 1997) samt gödslings- och kalkningsförsök (Staafl m. fl., 1996; Persson & Nilsson, 2001). I analysen visade det sig svårt att urskilja den rena gödslings- och kalkeffekten, men det som utmärkte stormskadade träd och som kan ha koppling till gödsling är:

- Barrträd, särskilt gran, skadas i högre grad än lövträd, vilket beror på av lövträd ofta är avlövlade under stormtillfällen.
- Risken för stormskador ökar med ökande trädhöjd, med stigande ålder samt med ökande grovlek.
- Träd med liten avsmalning av stammen bryts lättare än träd med stor avsmalning, vilket leder till att kronbrott är vanligare för medhärskande jämfört med härskande träd.
- Miljön där träden växer och hur de sköts är viktigare än trädens ursprung.
- De största skadorna uppstår i sent gallrade, täta bestånd.
- Risken för vindskadorna ökar med ökat ståndortsindex.

Det är troligt att effekten av gödsling på kronans biomassa, relativt underjordisk biomassa, är av övergående natur under en period av motsvarande cirka 5 år (Valinger, personlig kommunikation) och att den ökade biomassan hos ovanjordiska delar på sikt får till följd att även rottillväxten ökar. Kombinationen av gallring och gödsling har en synergistisk effekt på den ökande ovanjordiska tillväxten, relativt underjordisk tillväxt (Valinger, 1990). Detta kan medföra att träden är mer känsliga för stormskador under en längre tidsperiod (Valinger & Lundqvist, 1992), särskilt för bestånd av tall på ståndorter belägna över 200 meter över havet.

Förutom en ökad känslighet för stormskador kan trädens känslighet för torka öka om tillväxten av de ovanjordiska delarna ökar mer än de underjordiska (Lindroth, 1987, citerad i Nohrstedt & Westling, 1995). Detta skulle kunna visa sig i form av ökad kronutglesning. För östra Götaland accentueras risken för torkskador av att prognoserna för framtida klimatförändringar enligt SWECLIM visar att nederbörden, framför allt under sommaren, kommer att minska kraftigt i östra Sverige på 50-100 års sikt.

Utöver risken för storm- och torkskador kan frostkänsligheten öka om kvävetillgången blir för hög (Nohrstedt & Westling, 1995) bland annat genom tidigare knoppsprickning och senare invintring. I Finland framhålls att kvävegödsling skulle kunna öka spridningen av rottröta (Nohrstedt & Westling, 1995) och att gödsling ej bör ske i infekterade bestånd. Däremot bedöms risken för andra svampangrepp som liten jämfört med andra faktorer såsom klimatpåverkan. Bland annat visade Rosvall (2002) att de storskaliga angreppen av *Gremmeniella* som skedde under 2001 inte uppträdde i större utsträckning hos kvävegödslade träd jämfört med icke-gödslade. *Gremmeniella* är en svamp som kan skada både tall och gran.

### 3.2.5 Hur påverkas markvegetationen vid ökad kvävetillgång?

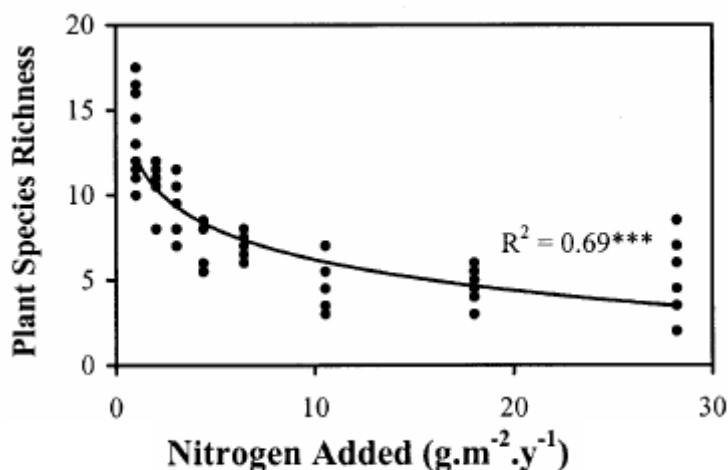
En ökad tillgång på kväve via gödsling kan innebära förändringar i markvegetationens mångfald och utbredning. Hur stor förändringen blir beror dels på i vilken omfattning kvävegödslingen bedrivs (giva, intervall, medel) och dels på lokalens historiska markanvändning och deposition av luftföroreningar. Avgörande för förändringarna är områdets nuvarande kvävestatus men det ekologiska samspelet mellan olika arter är också betydelsefullt.

Vid diskussion om eventuella förändringar i artsammansättning och utbredning bör frågan belysas utifrån vad det är som ska bevaras. Ett övergripande mål i naturvårdsarbetet är bevarandet av den biologiska mångfalden. Inom detta arbete utpekas både enskilda arter som endast förekommer i en ringa omfattning (rödlistade arter som löper risk att försvinna helt och hållet vid en störning) och restbiotoper som inte existerar inom ett konventionellt skogsbruk. I detta sammanhang innebär en förändring i växtsamhället hos trivialarter såsom blåbär (*Vaccinium myrtillus*) och lingon (*Vaccinium vitis-idaea*) inget hot, så länge störningen är på lokal nivå. Om störningen däremot sker på regional eller till och med på nationell nivå, riskerar skadan att bli omfattande, särskilt som många arter är beroende av bärris, såsom gråsidemusen (*Clethrionomys rufocanus*) (Strengbom m. fl., 2003a). En minskad utbredning av bärris kommer att påverka dessa negativt. Dessutom har plockning av blåbär och lingon höga rekreativvärden samtidigt som bären utgör en viktig del i den svenska bärindustrin.

Vidare måste även ett resonemang föras huruvida förändringar i växtsamhället redan har inträffat eller inte. I Sverige är vegetationen naturligt anpassad till en situation med begränsad kvävetillgång. Det senaste århundradets nedfall av kväveföreningar har redan inneburit stora förändringar i växtsamhället. I en storskalig inventering i Sverige noterades en minskad förekomst av blåbärs- och lingonris i områden där kvävenedfallet översteg 6 kg N per ha och år (Strengbom m. fl., 2003b).

Skogar i norra Sverige är förhållandevis opåverkade av depositionen av kväve och depositionen överskrider för närvarande inte mer än 2 kg N per ha och år. Detta indikerar att ytterligare kvävetillskott, exempelvis via gödsling, får en mindre effekt på markvegetationen i de södra delarna av Sverige, jämfört med de norra delarna, där motsvarande nedfall inte har skett. Bedömningen av var kvävegödsling lämpar sig behöver inte nödvändigtvis syfta till att återskapa det ursprungliga tillståndet i redan störda ekosystem, utan bör snarare inriktas på att minimera ytterligare förändringar.

Förhållandet mellan antalet arter och kvävetillförsel har bland annat beskrivits av Haddard m. fl., (2000) och Emmett (2006, *under tryckning*). Förhållandet visar att antalet arter tydligt minskar vid ökad kvävetillförsel (Figur 4). Förlusten av arter inträffar dessutom snabbare vid en lägre kvävetillförsel jämfört med en högre. Detta indikerar att områden med en hög kvävebelastning är mindre känsliga för ytterligare kvävetillförsel jämfört med relativt opåverkade områden (Emmett, 2006, *under tryckning*). Motsvarande förändringar har dokumenterats från den nationella brittiska inventeringen ”Countryside Survey” där de största förlusterna inträffade redan vid en kvävetillförsel på mellan 10 och 15 kg N per ha och år (Stevens m. fl., 2004). Förlusterna vid högre kvävehalter var låg. Resultaten bekräftas även av andra experimentella studier som inte har påvisat någon förlust av arter vid förhållanden med höga kvävedoser (Emmett m. fl., 2004; Carroll m. fl., 1999). Detta är i överensstämmelse med de svenska studierna (Nordin m. fl., 2005; Strengbom m. fl., 2003b).



Figur 4. Förändringar i artantal som en funktion av kvävetillförsel. Försöket utfördes på ett övergivet fält i England. Från Haddard m. fl. (2000).

Ett vanligt händelseförlopp vid en ökad tillgång på kväve är en högre förekomst av gräs samt att bärriset i större utsträckning blir skadeangripet (Nordin m. fl., 2005). Det finns flera orsaker till detta. Vid ökad tillgång på kväve gynnas vanliga skadegörare som bladparasitsvamparna *Valdensia heterodoxa* (angriper blåbär) och *Eupropolella vaccini* (angriper lingon) (Strengbom m. fl., 2002; Nordin m. fl., 1998). Skadeangreppen innebär samtidigt att utbredningen av gräs såsom krustätel (*Deschampsia flexuosa*) kan öka, eftersom angrepp av *Valdensia heterodoxa* leder till att blåbärsbladen fälls i förtid, vilket i sin tur minskar beskuggningen av unga krustätelplantor. I och med det ökade ljusinsläppet kan plantorna växa till sig tidigt under vegetationsperioden och slå ut blåbärriset (Strengbom m. fl., 2004). De noterade effekterna uppträdde efter årliga doser på 12.5 kg N per ha och år under en femårsperiod (Nordin m. fl., 2005).



I en rikstäckande inventering konstaterades även en tydlig tillbakagång av bärris redan vid en kvävedeposition på 6 kg N per ha och år (Nordin m. fl., 2005). Resultat från gödslingsförsök visade att effekten dessutom är långvarig vilket yttrade sig som en låg andel mossor (väggmossa, *Pleurozium schreberi* och husmossa, *Hylocomium splendens*) 9 respektive 49 år efter kvävetillförsel (Strengbom m. fl., 2001).

Ytterligare en faktor som har visat sig vara betydelsefull för effekterna på biotan är kväveformen (Nordin m. fl., 2006). Normalt sett är växterna anpassade till att nyttja organiska kvävekällor (såsom aminosyror). Deposition av kväve, eller gödsling, tillför systemet kväve i oorganisk form (nitrat och ammonium) vilket rubbar den naturliga balansen. Detta är till fördel för exempelvis krustätel som har en bättre kapacitet att ta upp det oorganiska kvävet jämfört med bärris.

### 3.2.6 Hur påverkas risken för kväveutlakning vid olika skogsskötselåtgärder?

Skogsbruket ger i flera avseenden positiva miljöeffekter, bland annat genom att kväve ackumuleras i biomassan vilket innebär att kväveutlakning, och därmed övergödning, motverkas. Skogsbruksingrepp såsom föryngringsavverkning, markberedning, riståkt, kalkning och askåterföring kan emellertid innebära att skogsmarkens förmåga att binda näringsämnen minskar vilket i sin tur kan leda till förhöjda halter i avrinningsvattnet. Gödslade skogsbestånd löper ännu högre risk att läcka kväve vid en slutavverkning eftersom kväveförrådet i marken byggs upp (Högbom & Jacobson, 2002). Valet av skogsbruksmetoder har därför stor betydelse för avrinningsvattnets kvalitet. Den största risken för att skogsbruk ska ge upphov till störningar av biogeokemiska processer uppkommer i föryngringsfasen (Akselsson m. fl., 2004). Samtidigt finns möjligheter att anpassa föryngringen för att minska riskerna samt förbättra möjligheterna att föryngras på ett miljöanpassat sätt i framtiden.

När ett bestånd slutavverkas avbryts näringsupptaget samtidigt som de nya markförhållandena (varmare och fuktigare) stimulerar nedbrytningen av organiskt material. Detta leder ofta till förhöjd kväveutlakning (Adamson & Hornung, 1990; Wiklander m. fl., 1991; Rosen m. fl., 1996; Ahtiainen & Huttunen, 1999; Hermann m. fl., 2001). Den förändrade hydrologin (högre grundvattenyta) förstärker dessutom utlakningen. Utlakningen är störst i områden med hög kvävebelastning från atmosfären (Akselsson m. fl., 2004) eftersom mineraliseringen av kväve ökar vid ökad kvävetillgång (Andersson m. fl., 2002). I sydvästra Sverige, med förhållandevis hög kvävedeposition kan kväveutlakningen från hyggesfasen vara upp till 40 % av den totala utlakningen under en omloppstid (Akselsson m. fl., 2004). Exempelvis noterades nitratkvävehalter på upp till 25 mg per liter i markvattnet på 50 cm djup i Kallgårdsmåla, Blekinge ett år efter föryngringsavverkning (Nettelblatt m. fl., 2006). Kväveutlakningen från hyggen är delvis en effekt av hyggesåldern (Örlander m. fl., 1997) men även av fältvegetationens etablering och tillväxt under hyggesfasen. Kväveutlakningen från hyggen startar normalt ett år efter föryngringsavverkning och är som störst efter två till tre år. I takt med att ny vegetation etablerar sig minskar utlakningen (Örlander m. fl., 1996; Nilsson & Örlander, 1999). Efter fem år är utlakningen från hyggen i nivå med den från slutna skog samtidigt som kväveinnehållet i fältvegetationen är som störst.

Markberedning har framförts som en möjlig orsak till ökad utlakning av kväve och andra näringsämnen, men antalet studier är relativt få. Antagandet om ökad kväveutlakning baseras på att markberedningen avlägsnar markvegetationen samt blandar in organiska skikt i mineraljorden, vilket kan leda till ökad nedbrytning och minskat upptag av kväve. Akselsson m. fl. (under tryckning) konstaterade att markberedning ledde till något högre halter av kväve i markvattnet på hyggen under en kort period, men att markberedningens effekter på kväveutlakningen är begränsad och bidraget till

den totala kväveutlakningen på lång sikt är försumbar. Vidare ökade inte risken för förhöjd kväveutlakning i områden med hög kvävebelastning.

Slutavverkning kombinerat med riståkt kan i områden med högt kvävenedfall motverka en önskad kväveupplagring i skogsmark. Om avverkningsrester däremot lämnas kvar finns det en risk att kväve kan lakas ut eftersom förhållandena under en rishög stimulerar mineraliseringen (komposteringseffekt). I en tidig studie av Rosén och Lundmark-Thelin (1987) undersöktes kväveutlakningen i och mellan hyggeshögar. Koncentrationen av nitrat i markvattnet var lägre mellan hyggeshögarna jämfört med halterna under avverkningsresterna, vilket överensstämmer med resultat från senare tids studier (Staafl & Olsson, 1994; Örlander m. fl., 1997). Jämfört med hyggeseffekten kan effekten av riståkt vara svår att urskilja, men i en studie av Westling m. fl., (2004) visade hyggen med riståkt på en tendens till minskad kväveutlakning, vilket kvarstod när hyggeseffekten hade avtagit. Kväveförluster via utlakning kan därmed reduceras vid ett helträdsuttag.

De senaste 10-15 åren har skogsmarkskalkning bedrivits på försöksbasis i Skogsstyrelsens regi för att motverka utlakningen av surt- och aluminiumrikt vatten till omgivande vattendrag. Parallellt med skogsmarkskalkningen har askåterföring till skogsmark ökat. Tillförseln av ett basiskt ämne, såsom kalk och aska, höjer pH-värdet i marken vilket i sin tur har en positiv inverkan på mineraliseringen. I skogsmarker med en mycket begränsad tillgång på kväve (C/N-kvoter högre än 30) kan kalk- eller asktillförsel leda till minskad eller oförändrad kvävetillgång (Nohrstedt, 1993; Jacobson, 2001; Sikström, U, 2001; Sikström m. fl., 2001). På kväverika marker (C/N-kvoter lägre än 25) kan tillförseln istället leda till en ökad tillgång på kväve och därmed risk för utlakning. Vattenkemiska mätningar från långliggande kalkningsförsök i växande skog i södra Sverige visar att kalkning inte leder till en ökad nitratutlakning med undantag av en svag tillfällig ökning (från mindre än 0.1 mg per liter till strax över 0.2 mg per liter) omedelbart efter behandling (Zetterberg & Westling, 2005). Kalktillförsel i kombination med aska har dock visat sig ge upphov till en ökad utlakning i avrinningsvattnet (cirka 0.75 mg per liter) under de första fyra åren efter behandling, men bidraget är litet jämfört med den utlakning som skedde i samband med föryngringsavverkning (>2.5 mg per liter) (Westling & Zetterberg, *under tryckning*). Vidare har asktillförsel på färsk hyggen visat sig leda till en kortvarig utlakning av kväve under det första året efter behandling, en effekt som inte uppkommit på 3-7 år gamla hyggen (Westling m. fl., 2004).

Kvävegödsling kan innebära en sänkning av C/N-kvoten i marken till följd av en ökad kväveupplagring. En sänkning av C/N-kvoten kan leda till ökad kväveutlakning, framför allt i föryngringsfasen. Endast ett fåtal försök (Billingsjön i Härjedalen, Stråsan i Dalarna, Mangskog i Värmland samt Farabol i Blekinge) om kvävegödslingens effekter på kväveutlakningen i samband med slutavverkning har utförts i Sverige. Flera av dessa är orealistiska med avseende på gödselmedel, behandlingsdoser, val av mark, gödslingsintervall samt tidpunkt för avverkning (Högbom & Jacobson, 2002). Exempelvis är försöken i Mangskog och Farabol utlagda i bestånd som ej uppfyller kraven på gödslingsvärds skog (för bördiga). Vidare inträffade slutavverkning innan gödslingseffekten hade hunnit klinga av i både Billingsjön, Stråsan och Farabol. I Farabol och Mangskog har dessutom urea använts som gödslingsmedel istället för ammoniumnitrat, och i många fall har gödsling skett på årsbasis och i allt för höga doser (exempelvis Billingsjön, där totaldoser på upp till 1800 kg N per ha har spridits). Resultat från dessa slutavverkade gödslingsförsök visar på förhöjda markvattenhalter (under rotzonen) under hyggesfasen, men förhöjningen berodde även på områdets ursprungliga kvävestatus. Magra marker, såsom Stråsan och Billingsjön, uppvisade tydliga effekter på nitralterna i markvattnet, framför allt vid högre gödslingsgivor (Billingsjön, totalgivor på över 1080 kg N per ha och år), medan effekterna uteblev i bördigare områden såsom Farabol och Mangskog (Högbom & Jacobson, 2002). Den uteblivna effekten förklaras delvis av fältvegetationens utveckling som gynnades av gödslingen samt ett redan stort kväveförråd i marken.

Sedan den senaste konsekvensbeskrivningen av skogsgödslingen (Högbom & Jacobson, 2002) skrevs har endast ett nytt gödslingsförsök tillkommit som beskriver de markvattenkemiska effekterna vid slutavverkning (Ring, personlig kommunikation). Försöken, som är etablerade i Hagfors i Värmland samt Nissafors i Småland, har till skillnad från tidigare försök, gödslats med realistiska givor och medel samt uppfyller de så kallade baskraven på gödslingsvärda bestånd. Bestånden slutavverkades vintern 2005/06 och mätningarna påbörjades i juni 2006 varför det ännu är för tidigt att dra några slutsatser från försöket.

Den förhöjda kväveutlakningen i föryngringsfasen kan reduceras kraftigt med hjälp av skärmträd. Skärmträd är träd som lämnas kvar vid föryngringsavverkningen för att bland annat utnyttjas som fröträd (naturlig föryngring). Normalt sett lämnas mellan 100-200 träd per hektar, jämnt fördelat över hygget. Genom att på hygget lämna kvar träd med ett aktivt rotsystem med i det närmaste orört fältskikt minskar näringsläckaget avsevärt, samtidigt som beskuggningen av trädkronorna sänker mineraliseringstakten. Skillnaden i näringsutlakning från hyggen med och utan skärmställning (samt med och utan markberedning) har studerats av Akselsson m. fl.(under tryckning). Markvattenkemiska mätningar på 50 cm djup startades våren 1996 på tre lokaler i södra och mellersta Sverige. Resultaten visade att kvävehalten i markvattnet kan minskas avsevärt med hjälp av en skärmställning. Både i referensytorna och i ytorna med skärmställningar ökade halterna efter avverkning. Ökningen var dock mindre i de ytor som hade skärmställning (mellan 121 och 156 träd per ha) där halten som högst uppgick till 0.25 mg per liter jämfört med referensytorna där halter på upp till 4 mg per liter uppmättes två år efter slutavverkning. Ingen förhöjning av kvävehalterna skedde efter skärmavvecklingen. Även markberedda hyggen med skärmställning uppvisade en viss förhöjning av kvävehalterna efter markberedning men nivåerna var generellt mycket låga. Halterna var vid alla tidpunkter lägre än 0.3 mg per liter (medel från fem lysimetrar). Föryngringsavverkning med eller utan markberedning i kombination med skärmställning kan därför ses som en metod att minska utlakningen av oorganiskt kväve och andra näringsämnen.

## 4 Regionala massbalansberäkningar för kväveupplagring i skogsmark

En statisk massbalansmodell, där nettotillskottet till skogsmarken vid olika kvävegödslingsscenarier, jämförs med nettoförlusterna, har tillämpats med hög geografisk upplösning i Sverige för att beräkna effekten av kvävegödsling på kväveupplagringen. Detta kan i sin tur användas som ett underlag vid bedömning av risken för förhöjd kväveutlakning.

Med hjälp av statistiska massbalansmodeller kan man modellera hur ekosystemet reagerar på miljöförändringar. De data som inkluderas i modellen antas vara konstanta över tiden och modellen tar därför inte hänsyn till återkopplingar mellan olika delar av ekosystemet. Detta innebär en stark förenkling men ger ändå användbara och robusta resultat som är lätta att tolka så länge man är medveten om begränsningarna. Resultatet av en massbalansberäkning visar hur mycket som lagras upp eller förloras från skogsmarken, vilket ger indikationer om uthålligheten. Stora förändringar åt något håll indikerar att om förhållandena inte ändras kommer något att hända i framtiden som rubbar balansen. Hög kväveupplagring medför risk för utlakning medan en negativ kvävebalans pekar på att det finns en risk att trädutväxten kommer att minska. Det är dock viktigt att komma ihåg att resultatet enbart visar på förändringen och inte säger något om den faktiska mängden kväve i marken. Bristen på dynamik i modellen gör att möjligheterna till att göra mer detaljerade prognoser för framtiden är begränsade.

### 4.1 Metod - Massbalansberäkning

#### 4.1.1 Modellens uppbyggnad

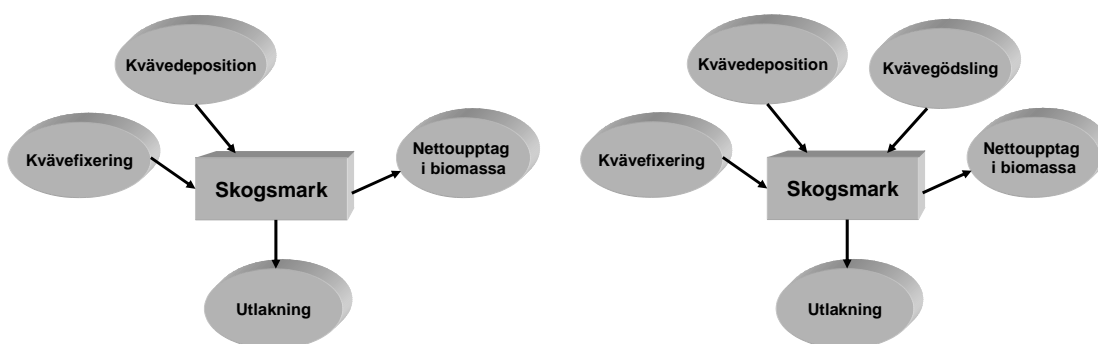
Kvävemassbalansen i skogsmark omfattar tillförsel i form av kvävefixering och deposition samt bortförsel i form av utlakning och nettoupptag i biomassa (tillväxt av träddeklar som senare skördas), se Figur 5 (vänstra bilden). Massbalansberäkningen bygger på metodik från Akselsson & Westling (2005) men har tillämpats på Riksskogstaxeringens provpunkter istället för rutor på 5x5 km (där de skogliga parametrarna istället var uttryckta som fördelningar i varje ruta). Denna utveckling förväntas öka precisionen i beräkningarna väsentligt, eftersom detaljerad beståndsdata för varje riksskogstaxeringspunkt finns tillgänglig. Samtidigt finns det möjligheter att uttrycka förändringar i olika skogs- och marktyper (ex. tallskog på fattig mark eller granskog på bördig mark). Observera att gasformiga förluster via denitrifikation inte ha beaktats i modellen men kan, under vissa förutsättningar, vara en viktig faktor. I vilken omfattning denitrifikation sker i nordiska marker är dåligt utredd, men antas vara negligerbar i friska och väl-dränerade marker. Exempelvis fann Nohrstedt m. fl. (1994) att denitrifikationen var försumbar på förnygringsavverkade ytor, även i bestånd som hade gödslats kraftigt. I tempererade skogar uppgår denitrifikationen oftast till < 1 kg N per ha och år, och i några fall till 4 kg N per ha och år (Davidson m. fl., 1990).

Rikstaxdatabasen omfattar 20 492 punkter. Av dessa punkter utgörs 33 % av tallbestånd och 28 % av granbestånd (se Tabell 4). I modellberäkningen faller 13 % av tallpunkterna och 10 % av granpunkterna bort på grund av att data saknas för en eller flera parametrar. Av de återstående punkterna uppfyller endast 8 % av tallbeståndspunkterna och 9 % av granbeståndspunkterna baskraven för gödsling (se avsnitt 4.1.2).

Tabell 4. Fördelningen av Riksskogstaxeringspunkterna som användes i modellberäkningen.

	Tall		Gran	
	antal	andel	antal	andel
Totalt	6 749	33 %	5 641	28 %
Modellerade	5 870	87 %	5 103	90 %
Gödslingsbara	487	8.3 %	441	8.6 %

Massbalansmodellen har kompletterats med en gödslingsfunktion som gör det möjligt att beräkna massbalansen vid olika gödslings-scenarier. I den nya modellen kompletterades således massbalansberäkningen med ytterligare en ”in-parameter” (kvävegödsling), samtidigt som nettoupptaget av kväve i biomassa modifierades med hänsyn till den ökade tillväxten på grund av gödslingseffekten (Figur 5, högra bilden).



Figur 5. Uppbyggnad av modellen för massbalansberäkning av kväveupplagring i skogsmark. Den vänstra bilden visar modellen såsom den tillämpas på icke-gödslad skogsmark medan den högra visar den modifierade modellen för att även hantera kvävegödsling av skogsmark.

I modellen antogs kvävefixering vara konstant (1.5 kg per ha och år) i hela Sverige baserat på resultat från DeLuca m. fl. (2002). Detta värde bygger på experiment i norra Sverige, vilket innebär att värdet i södra och mellersta Sverige kan vara överskattat eftersom studier har visat en positiv korrelation mellan kvävefixering av cyanobakterier och C/N-kvoter (Akselsson & Westling, 2005).

SMHI:s senaste modellberäkning av kvävedepositionen över barrskog (ett medelvärde för 2002-2004) användes som indata för att beskriva kvävedepositionen (se avsnitt 3.2.1). Kvävedepositionen utgör den största indataparametern till massbalansberäkningen och är förenad med viss osäkerhet, framförallt med avseende på torrdepositionen.

Upptaget av kväve i de träddelar som senare skördas (stammar, grenar, barr, stubbar) beräknades genom att multiplicera den totala träd-tillväxten av dessa träddelar med kväveinnehållet i dem (Tabell 5). Tillväxten baserades på boniteten på varje lokal. Boniteten reducerades med 20 % för barrskog för att få en uppskattning av medeltillväxten under en rotationsperiod. För löv- och blandskog reducerades boniteten med 30 % i norra Sverige och 50 % i södra Sverige. Kväveupptaget i biomassa representerar den största bortförselparametern av kväve från skogsmarken. Det finns stora osäkerheter i de värden som representerar kvävehalten i olika träddelar. Kväveinnehållet kan variera kraftigt mellan beståndstyper, områdeskaraktäristik och mängden biomassa och de bakomliggande sambanden som styr kväveinnehållet är inte helt klarlagda.

Kväveutlakningen (organiskt och oorganiskt) beräknades genom att multiplicera avrinningen med kvävehalten i avrinningen. De halter (mg per liter) som användes togs fram på olika sätt i södra och norra Sverige enligt följande:

- Södra Sverige (växande skog): 0.47 mg per liter (Akselsson & Westling, 2005)
- Södra Sverige (hygge):  $0.4 + (0.39 \times N_{\text{dep}} - 3.04)$ . Som lägst antogs den oorganiska andelen vara 0.95 mg per liter (Akselsson m. fl., 2004; Akselsson & Westling, 2005)
- Norra Sverige:  $1.265 - 0.362 \log_{10}(\text{altitud}[\text{m}])$  (Löfgren & Brandt, 2005)

Kväveutlakningen är generellt sett liten och i modellen beräknas utlakningen från hyggen i södra Sverige med en funktion som är baserad på en empirisk korrelation mellan kvävedepositionen och kvävekoncentrationen i markvattnet från hyggen (det vill säga en högre deposition resulterar i en ökad utlakning). Mot bakgrund av detta resonemang är det troligt att utlakningskoefficienten påverkas av gödsling så att utlakningen från gödslade hyggen är högre än från skogsmark där gödsling inte har förekommit, något som inte har beaktats i modellen. För närvarande saknas det dock studier som styrker detta antagande. Vidare är det troligt att ett ökat biomassauttag (helträdsuttag) kan komma att motverka denna ökning, något som heller inte har beaktats i modellen. Beräkning av kvävegödslingseffekten beskrivs närmare i avsnitt 4.1.3.

Tabell 5. Kväveinnehållet för olika träddelar i mg per gram (Jacobson & Mattson, 1998; Egnell m. fl. 1998).

	Tall	Gran
Stam (inklusive bark)	0.89	1.1
Grenar	3.39	5.31
Barr	12.4	11.3

Massbalansberäkningen är statisk, och därför beräknas den genomsnittliga kvävebudgeten över en hel rotationsperiod. Modellberäkningarna för kväveupplagringen i skogsmark sker i Access-miljö och massbalansberäkningen genomförs för varje rikstaxdatapunkt. För skogstyper som lämpar sig för kvävegödsling (se Tabell 7) beräknas massbalansen enligt Figur 5 (högre bilden) och för övriga skogstyper enligt Figur 5 (vänstra bilden). Resultaten presenteras i kartbilder, där den beräknade kväveupplagringen i marken (kväveupplagring, kg per ha och år) redovisas för varje rikstaxpunkt uppdelat på gran och tall. Vidare beräknades den genomsnittliga kväveupplagringen för de riksskogstaxeringspunkter som gödslas inom varje område (1a, 1b, 1c, 1d, 2 och 3) för att få ett kvantitativt mått på förändringen i kväveupplagringen i marken vid olika scenarieberäkningar.

Osäkerheterna i modellberäkningen sammanfattas i Tabell 6. Den parameter som har störst betydelse i massbalansen är depositionen, vars andel är cirka 50 % (förutsatt att ingen gödsling sker). Således kommer osäkerheterna i depositionen att ha en större betydelse för resultaten än andra parametrar. Även biomassauttagets osäkerhetsfaktorer har stor betydelse jämfört med övriga parametrar (kvävefixering och utlakning). För de gödslade punkterna har osäkerheterna i depositionen fortfarande störst betydelse (cirka 40 %), men gödslingseffektens bidrag kan vara av samma storleksordning (10-39 %), beroende på gödselgivans storlek. Genom att minimera osäkerhetsfaktorerna i framför allt depositionen förbättras modellresultaten avsevärt.

Tabell 6. Sammanfattning av de osäkerhetsfaktorer som förekommer i modellen, samt deras betydelse uppdelat på a) Ingen gödsling (storleken på bidraget till massbalansen för alla punkter vid olika biomassa-uttag) b) Gödsling (storleken på bidraget till massbalansen för de gödslingsbara punkterna vid olika gödselgivor.

Parameter	Osäkerhetsfaktorer	Storleken på bidraget till massbalansen (%)			
		a) Ingen gödsling <sup>1</sup>		b) Gödsling <sup>2</sup>	
		Tall	Gran	Tall	Gran
Deposition	Osäkerheter i meteorologisk data, modellutformning, emissionsdata och data om atmosfärskemi. Organisk kvävedeposition har inte inkluderats.	49-56	41-55	32-46	32-45
Kvävefixering	Baseras endast på en studie och är troligtvis något överskattad i södra Sverige eftersom studier har visat att kvävefixeringen minskar med ökad tillgång på N.	13-15	8-11	8-12	7-10
Stam-, GROT- och stubb-uttag	Koncentrationen av kväve i stammar, grenar, barr och stubbar varierar kraftigt, men ett konstant koncentrationvärde (för varje trädslag) användes. Det förekommer även osäkerheter i parametern "tillväxt", samt i den beräknade andelen grenar, barr och stubbar på träd.	15-23	21-42	13-19	16-23
Utlakning	Gödslingens påverkan på utlakningskoefficienten har inte beaktats. Avrinningsdata representerar alla mark-användningsklasser och kan således vara något överskattad för skogsmark.	13-15	10-13	8-12	9-12
Gödslings-effekt	Osäkerheter i prognosfunktionerna och de parametrar (bl.a. den löpande tillväxten) som används vid beräkningen.	-	-	11-39	10-36

1) Variationerna beror på vilket biomassa-uttag man har (stamved, helträd eller totalträd)

2) Baserat på stamvedsuttag. Variationerna beror på gödselgivan (150 – 750 kg N per ha)

#### 4.1.2 Definiering av gödslingsbar mark

I modellen antas endast de riksskogstaxeringspunkter som uppfyller de så kallade baskraven (sju stycken) för gödslingsvärd skog (Jacobson m. fl., 2005) vara aktuella för gödsling. Baskraven, samt de antaganden som tillämpats i modellen, presenteras i Tabell 7.

Tabell 7. De sju baskrav som bör vara uppfyllda för att ett bestånd anses vara gödslingsvärt (Jacobson m. fl., 2005), samt de antaganden som har tillämpats i modellen för att bedöma om den aktuella riksskogstaxeringspunkten uppfyller baskraven eller ej.

Baskrav	Antagande
Fastmark	Humuslagrets tjocklek <30 cm
Podsoljordmån	Järnpodsol, järnhumuspodsol och humuspodsol inkluderades
Ståndortsindex 16 – 30 m	Ståndortsindex 16 – 30 m inkluderades
>80 % av grundytan ska vara barrträd	Tall + contorta + gran ≥80 %
Lägst förstagallringsskog	Denna parameter beaktades inte eftersom detta baskrav uppfylls någon gång under en rotationsperiod
Ingen avverkning inom 10 år	Denna parameter beaktades inte eftersom detta baskrav uppfylls någon gång under en rotationsperiod
Frisk och välsluten skog	Skogen anses vara frisk om skadegraden i Riksskogstaxeringens databas definierats som "oskadat". Massaslutenheten anges som mått för att bedöma om skogen är välsluten.

För varje riksskogstaxeringspunkt finns data om humuslagrets tjocklek, jordmån, ståndortsindex, trädslagsfördelning och skadegrad representerat. För att kunna definiera "välsluten skog" tillämpades begreppet "massaslutenhet". Massaslutenheten anger hur stor volym ett bestånd håller i förhållande till ett tabellvärde, se Tabell 8. De riksskogstaxeringspunkter som har en massaslutenhet >0.8 (i södra Sverige) och >0.7 (i norra Sverige) ansågs uppfylla baskravet för tätsluten skog. Det mest begränsande villkoret är kravet på "tätsluten skog" som i modellen definieras med hjälp av massaslutenhet. Endast 23 % av punkterna för gran och 11 % av tallpunkterna uppfyller detta baskrav. Detta är också det baskrav som bedöms vara svårast att definiera. Således finns det vissa osäkerheter i modellberäkningen (överskattning eller underskattning) med avseende på vilka punkter som är gödslingsbara.

Tabell 8. Massaslutenhet (enligt Jonson). Volym i m<sup>3</sup>sk vid massaslutenhet 1.0

	Beståndsmedelhöjd (m)													
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
<b>Tall</b>	38	65	96	129	165	202	241	283	325	370	415	462	510	559
<b>Gran</b>	34	62	95	133	175	220	269	321	376	434	494	557	622	690

### 4.1.3 Beräkning av gödslingseffekten

Gödslingseffekten (den förväntade ökade tillväxten efter gödsling) beräknades med hjälp av prognosfunktioner som framtagits av SkogForsk (Pettersson, 1994a; 1994b). I dessa prognosfunktioner tar man bland annat hänsyn till den geografiska lokaliseringen (norra eller södra Sverige), ståndortsindex, löpande tillväxt och kvävegiva. Den löpande tillväxten är en viktig parameter att beakta vid beräkning av gödslingseffekten. Den löpande tillväxten finns redovisad i Riksskogstaxeringens databas men kunde inte nyttjas i denna modellberäkning eftersom man i prognosfunktionen vill beräkna den löpande tillväxten "vid gödslingstillfället", snarare än den "nuvarande" löpande tillväxten (som finns redovisad). Följaktligen beräknades en representativ löpande tillväxt (baserad på medianvärdet) fram för varje ståndortsindex (Tabell 9) baserat på de punkter i Riksskogstaxeringens databas som a) uppfyller baskraven och b) har uppnått en "gödslingsvärd" ålder (den 50-års period som infaller före den förväntade tidpunkten för avverkning). Tidpunkten för avverkning (beståndets rotationsperiod) antogs vara samma som den totalålder vid slutavverkning som redovisas i gallringsmallar för respektive ståndortsindex i södra och norra Sverige (Skogsstyrelsen, 1985a; 1985b).



Tabell 9. Den löpande tillväxten som användes i modellen. Funktionerna är baserade på medianvärdet för löpande tillväxt för varje ståndortsindex för alla de rikstaxpunkter som a) uppfyller baskraven och b) har uppnått en "gödslingsvärd ålder".

Trädslag	Löpande tillväxt
Tall	$0.6281 * \text{StåndortsIndex\_tall} - 7.3358$
Gran	$0.3601 * \text{StåndortsIndex\_gran} - 1.3168$

En förutsättning för att prognosfunktionerna ska vara tillämpbara, är att gödningseffekten har hunnit klinga av före nästa gödning. I modellberäkningen antas det att det gått tillräcklig tid (cirka 10 år) mellan varje gödningstillfälle om skogen gödglas mer än en gång. Användandet av prognosfunktionerna bygger på att gödning alltid leder till ökad tillväxt, vilket inte nödvändigtvis behöver vara fallet. I områden som har ett nuvarande och historiskt högt nedfall av kväve kan andra näringsämnen såsom fosfor vara begränsande för tillväxten.

#### 4.1.4 Områdesindelning

Enligt nuvarande gödslingsrekommendationer (SKSFS 1991:2) har Sverige delats in i olika regioner med särskilda begränsningar i olika delar av landet. I södra Sverige (Område 1) bör skogsgödning ej ske medan inte mer än 300 respektive 600 kg per hektar bör sprida under en rotationsperiod i mellersta Sverige (Område 2) och i norra Sverige (Område 3) (Figur 6, vänstra bilden). Mot bakgrund av att kvävedepositionen i södra Sverige är så varierande har behovet av att tillåta gödning i vissa delar diskuterats. För att belysa och utvärdera effekten av gödning i södra Sverige har Område 1 delats upp i fyra delområden (1a, 1b, 1c och 1d) (Figur 6, högra bilden). Denna områdesindelning är i hög grad baserad på nuvarande kvävedeposition (Figur 3). Indelningen grundar sig även på befintliga kommungränser för att göra det möjligt att definiera de olika delområdena med befintliga administrativa enheter. Modellberäkningarna för mellersta och norra Sverige utfördes enligt samma områdesindelning som de nuvarande gödslingsrekommendationerna grundar sig på.



Figur 6. Områdesindelning enligt nuvarande rekommendationer (vänstra bilden) och den områdesindelning i södra Sverige som har använts i modellberäkningen (högra bilden). Modellberäkningarna för mellersta och norra Sverige utfördes enligt samma områdesindelning som de nuvarande gödslingsrekommendationerna grundar sig på. Gotland och södra delen av Öland räknas in i område 1c.

#### 4.1.5 Scenarier

I modellen beräknades scenarier för att utvärdera effekten av olika biomassavtag, olika kvävedepositionsscenarier och varierande gödselgivor enligt Tabell 10 och Tabell 11. Depositionsscenarioet bygger på en reduktion av kväveutsläppen med 20 % enligt internationella avtal (Göteborgsprotokollet och takt direktivet) samt avtalade direktiv för luftutsläpp och avgasgrav.

Tabell 10. De parametrar som varierades i de olika scenarieberäkningarna.

Parameter	Scenario
A) Biomassavtag	1) stamved
	2) helträd (75 % GROT-uttag <sup>1)</sup> )
	3) totalträd (75 % stubb- och 75 % GROT-uttag <sup>1)</sup> )
B) Kvävedeposition	0) nuvarande kvävedeposition <sup>2)</sup>
	1) en minskning av nuvarande depositionen med 20 %
C) Gödselgiva	0) ingen gödsling
	1) 150 kg N (1 giva på 150 kg N)
	2) 300 (2 givor på 150 kg N)
	3) 450 kg N (3 givor på 150 kg N)
	4) 600 kg N (4 givor på 150 kg N)
	5) 750 kg N (5 givor på 150 kg N)

1) GROT = Grenar, toppar och barr

2) Med nuvarande deposition avses genomsnittsdpositionen för perioden 2002-2004, se Figur 3.

Tabell 11. Den regionala kväveupplagringen beräknades utifrån följande scenarier för gran- respektive tallbestånd.

Scenario	Biomassavtag	Kvävedeposition	Gödselgiva
A1B0C0	Stamved	Nuvarande	Ingen gödsling
A2B0C0	Helträd	Nuvarande	Ingen gödsling
A3B0C0	Totalträd	Nuvarande	Ingen gödsling
A1B1C0	Stamved	20 % minskning	Ingen gödsling
A2B1C0	Helträd	20 % minskning	Ingen gödsling
A3B1C0	Totalträd	20 % minskning	Ingen gödsling
A1B0C1	Stamved	Nuvarande	150 kg N
A2B0C1	Helträd	Nuvarande	150 kg N
A1B0C2	Stamved	Nuvarande	300 kg N
A2B0C2	Helträd	Nuvarande	300 kg N
A1B0C3	Stamved	Nuvarande	450 kg N
A2B0C3	Helträd	Nuvarande	450 kg N
A1B0C4	Stamved	Nuvarande	600 kg N
A2B0C4	Helträd	Nuvarande	600 kg N
A1B0C5	Stamved	Nuvarande	750 kg N
A2B0C5	Helträd	Nuvarande	750 kg N

## 4.2 Resultat och diskussion

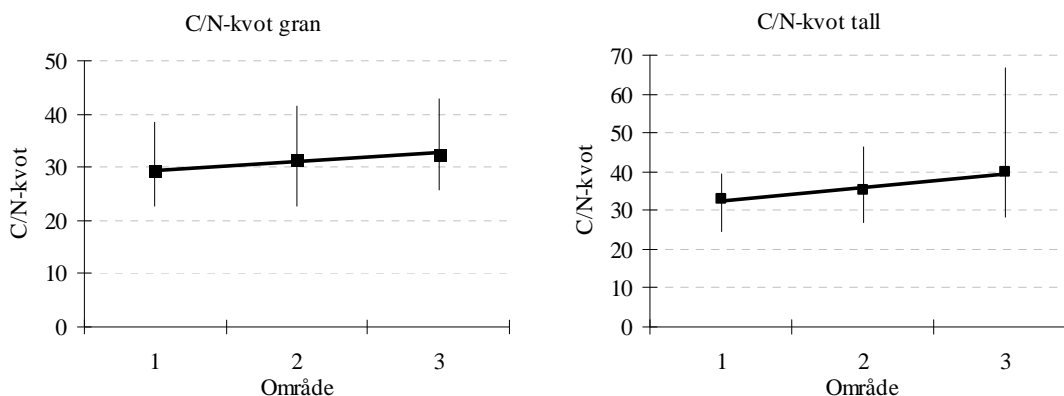
### 4.2.1 Kväveupplagring på nationell nivå

Stamvedsuttag i gran- och tallbestånd leder till en kväveupplagring i skogsmarken i hela Sverige enligt nuvarande deposition (Figur 8 och Figur 9). Den största ökningen sker i södra Sverige och överstiger 8 kg per ha och år. I norra Sverige är kväveupplagringen lägre och varierar mellan 0 och 4 kg per ha och år. En minskning i kvävedepositionen med 20 % leder till en lägre kväveackumulering, men fortfarande positiva balanser (med några få undantag).

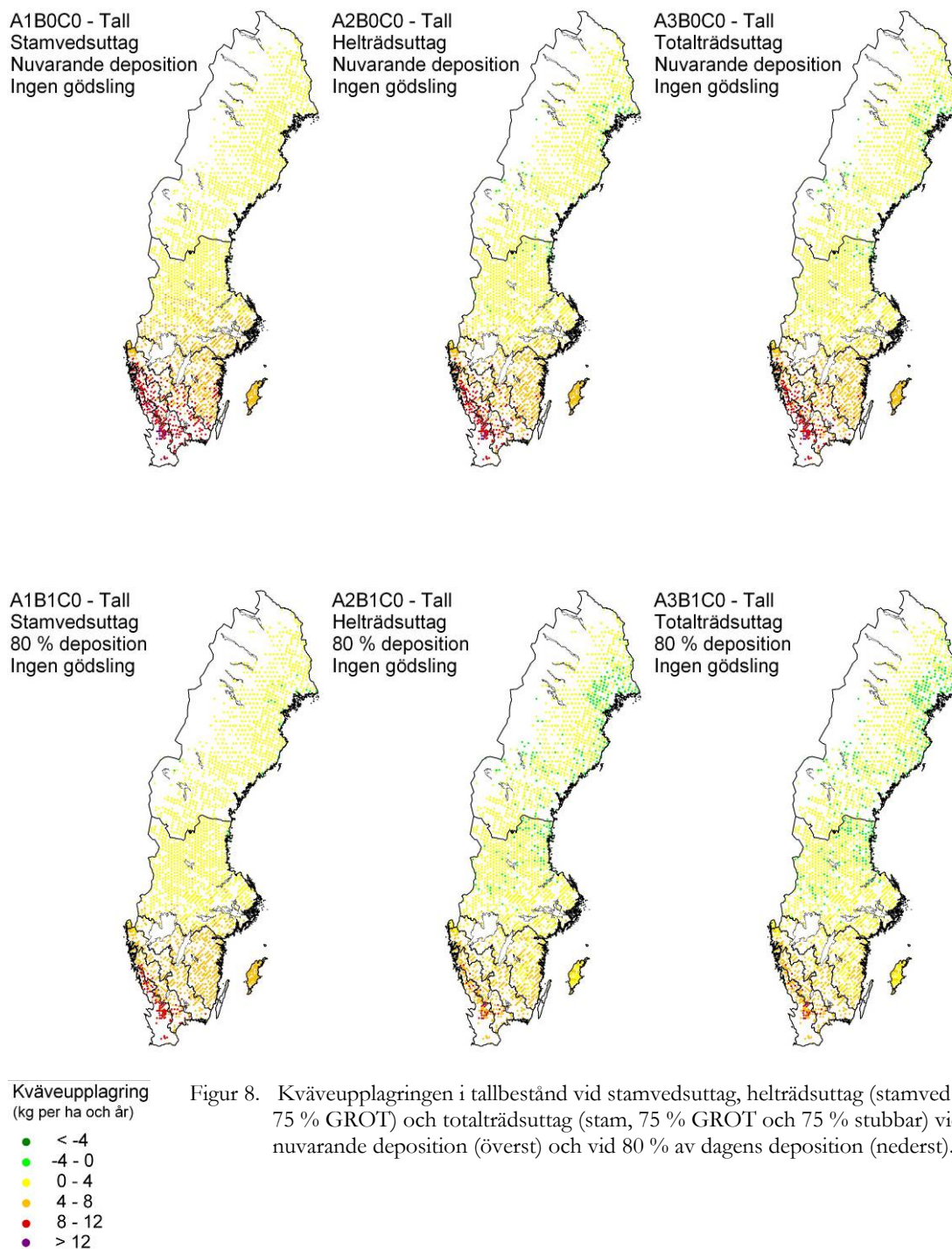
Ett ökat uttag av biomassa i form av helträd (stam, 75 % GROT) eller totalträd (stam, 75 % GROT och 75 % stubbar) har en tydlig effekt på kvävebalansen - ju större biomassauttag desto större näringsförluster. Effekten är tydligast i granbestånden där kväveupplagringen blir negativa, utom i de sydvästra delarna av Götaland samt delar av Norrland. De negativa balanserna förstärks ytterligare vid en minskad kvävedeposition.

Vid kvävegödning ökar kväveupplagringen i marken med ökad gödselgiva enligt nuvarande deposition och med konventionellt stamvedsuttag (Figur 10 och Figur 11). Kväveupplagringen är störst i södra Sverige och minskar norrut. Ett helträdsuttag i gödslade tallbestånd leder till en kväveupplagring i hela Sverige (Figur 12). Även i granbestånd leder helträdsuttag till kväveupplagring i hela Sverige vid höga gödselgivor (Figur 13).

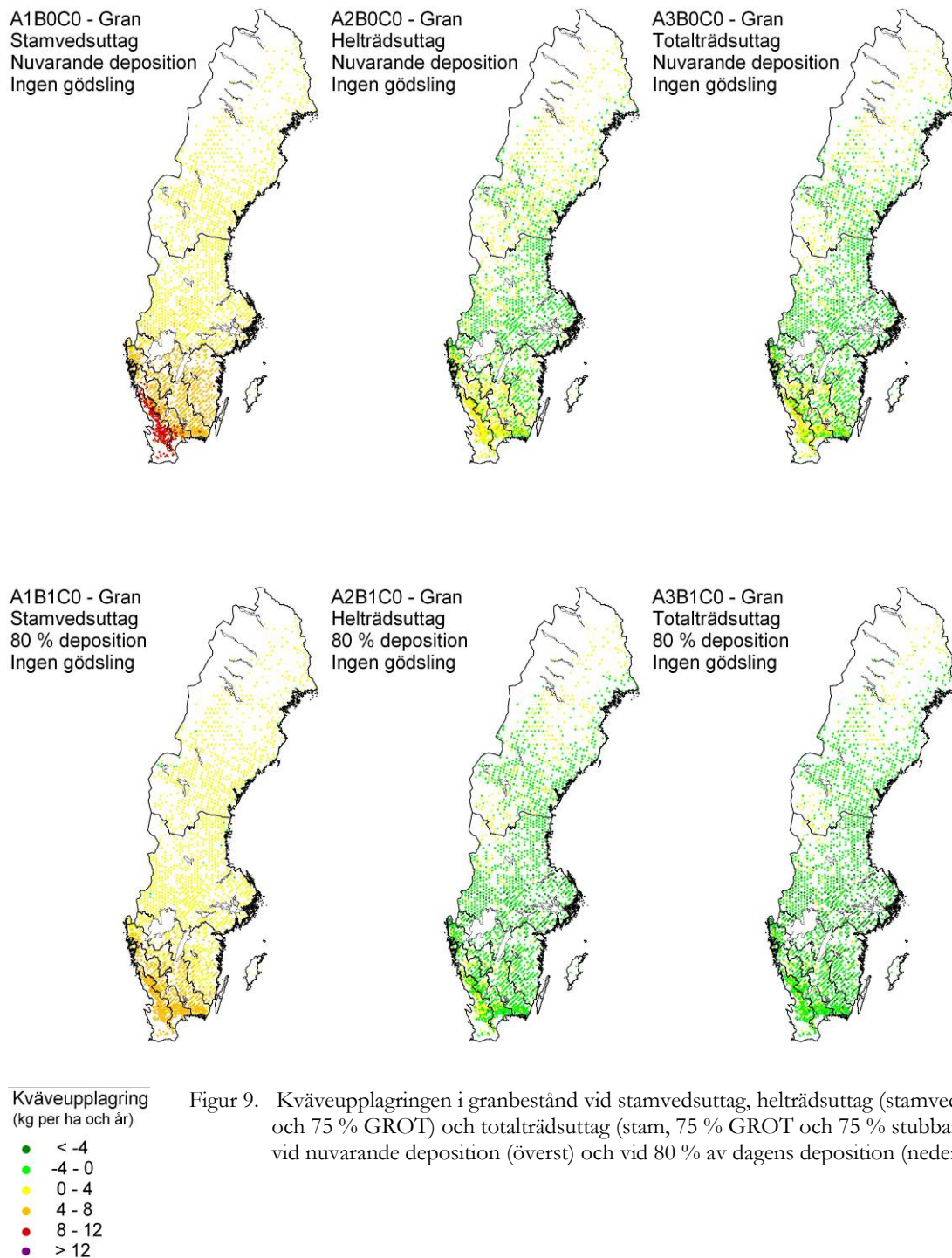
I slutet av detta kapitel presenteras resultaten från modellberäkningarna för respektive område (1a-d, 2 och 3) separat. Kväveupplagring, och risken för kväveutlakning, diskuteras utifrån C/N-kvoten för de riksskogstaxeringspunkter som ingår i modellberäkningen. I område 1 är den genomsnittliga C/N-kvoten 29 i granskog och 33 i tallskog (Figur 7). C/N-kvoter i närheten av 25, som brukar användas som en gräns för ökad risk för förhöjd kväveutlakning (Gundersen m. fl., 1998), är vanligt förekommande speciellt på granskogslokalerna. I område 2 och 3 ökar C/N-kvoten med latituden: från 31 till 33 för gran och 35 till 40 för tall (Figur 7). Det går dock inte att se någon skillnad i C/N-kvot mellan 1a, 1b, 1c och 1d eftersom antalet lokaler (och därmed data om C/N-kvoten) är begränsat, varför vi endast har valt att redovisa de olika delområdena som en enhet.



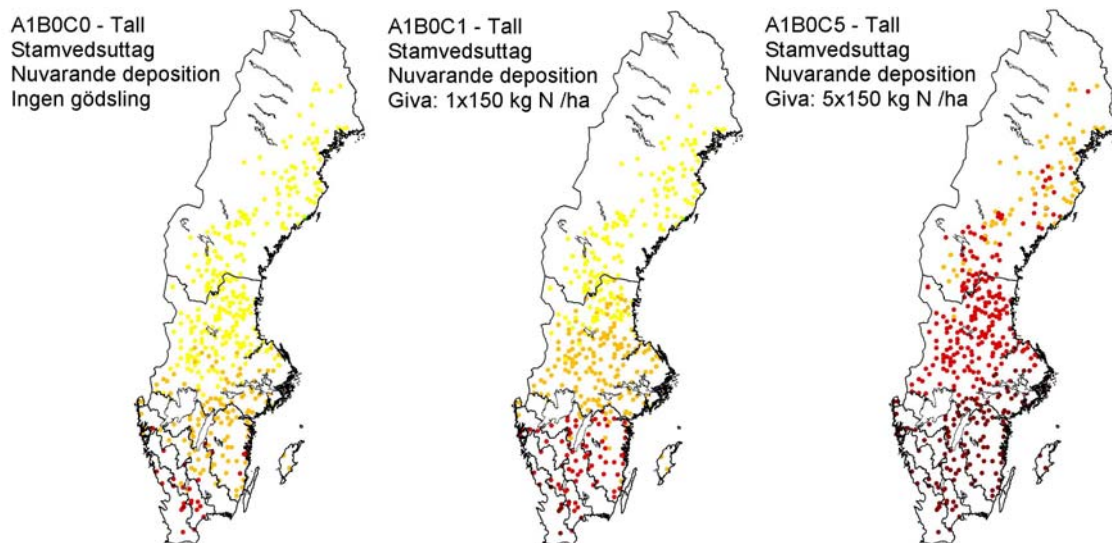
Figur 7. C/N-kvoten (uttryckt som medianvärde) i det organiska lagret i de gran- och tallbestånd som har ingått i modellberäkningen. C/N-kvoten i delområdena 1a-d har i denna figur slagits ihop och behandlats som en enda lokal eftersom C/N-kvoten endast fanns registrerad i ett begränsat antal punkter.



Figur 8. Kväveupplagringen i tallbestånd vid stamvedsuttag, helträdsutttag (stamved och 75 % GROT) och totalträdsutttag (stam, 75 % GROT och 75 % stubbar) vid nuvarande deposition (överst) och vid 80 % av dagens deposition (nederst).



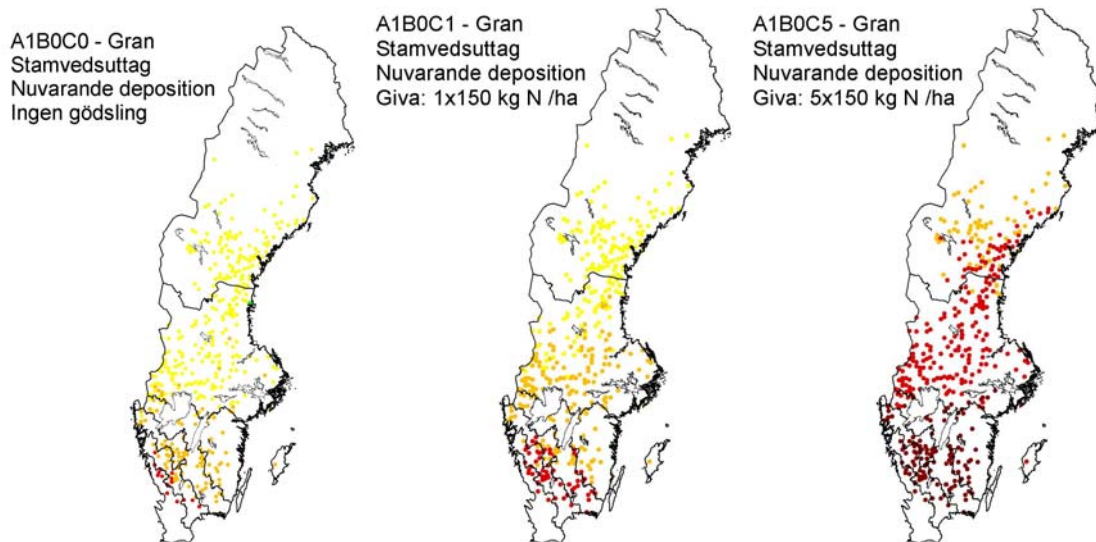
Figur 9. Kväveupplagringen i granbestånd vid stamvedsuttag, helträdsutttag (stamved och 75 % GROT) och totalträdsutttag (stam, 75 % GROT och 75 % stubbar) vid nuvarande deposition (överst) och vid 80 % av dagens deposition (nederst).



Kväveupplagring  
 (kg per ha och år)

- < -4
- -4 - 0
- 0 - 4
- 4 - 8
- 8 - 12
- > 12

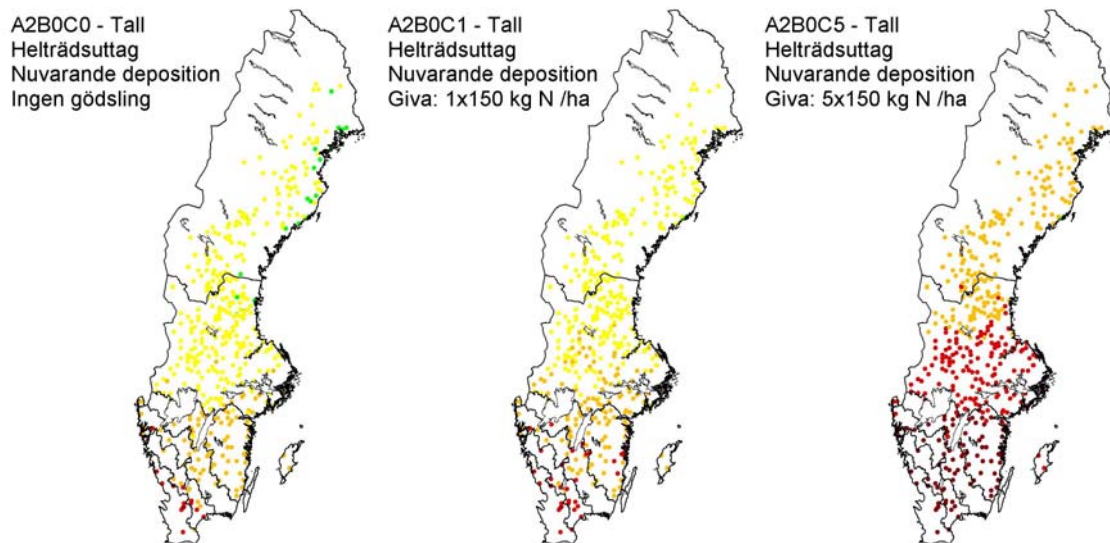
Figur 10. Tallbestånd (stamvedsuttag) vid olika gödslingsscenarier (endast gödslingsbara punkter).



Kväveupplagring  
 (kg per ha och år)

- < -4
- -4 - 0
- 0 - 4
- 4 - 8
- 8 - 12
- > 12

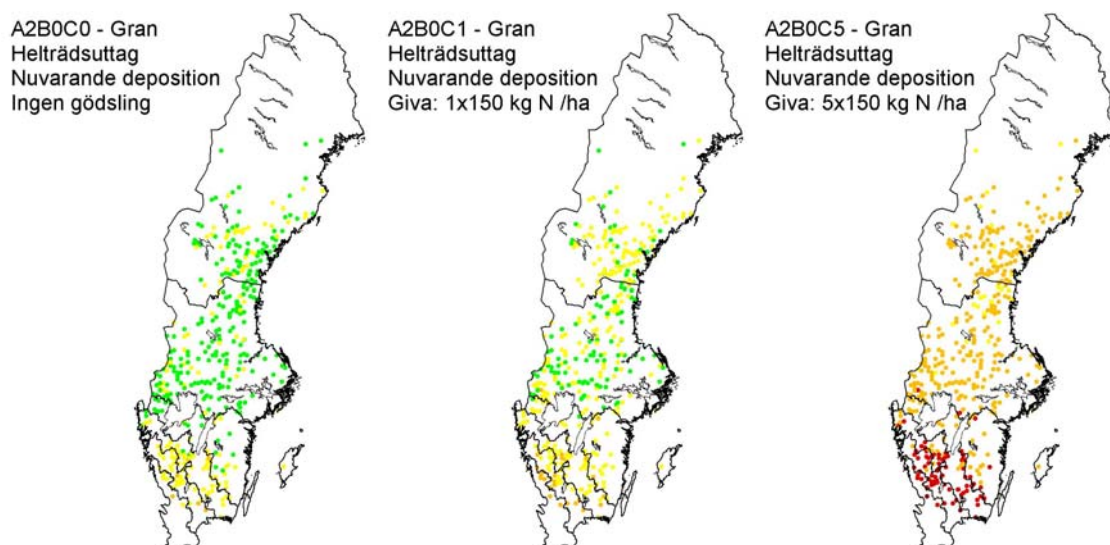
Figur 11. Granbestånd (stamvedsuttag) vid olika gödslingsscenarier (endast gödslingsbara punkter).



Kväveupplagring  
 (kg per ha och år)

- < -4
- -4 - 0
- 0 - 4
- 4 - 8
- 8 - 12
- > 12

Figur 12. Tallbestånd (helträdsuttag) vid olika gödslingsscenarier (endast gödslingsbara punkter).



Kväveupplagring  
 (kg per ha och år)

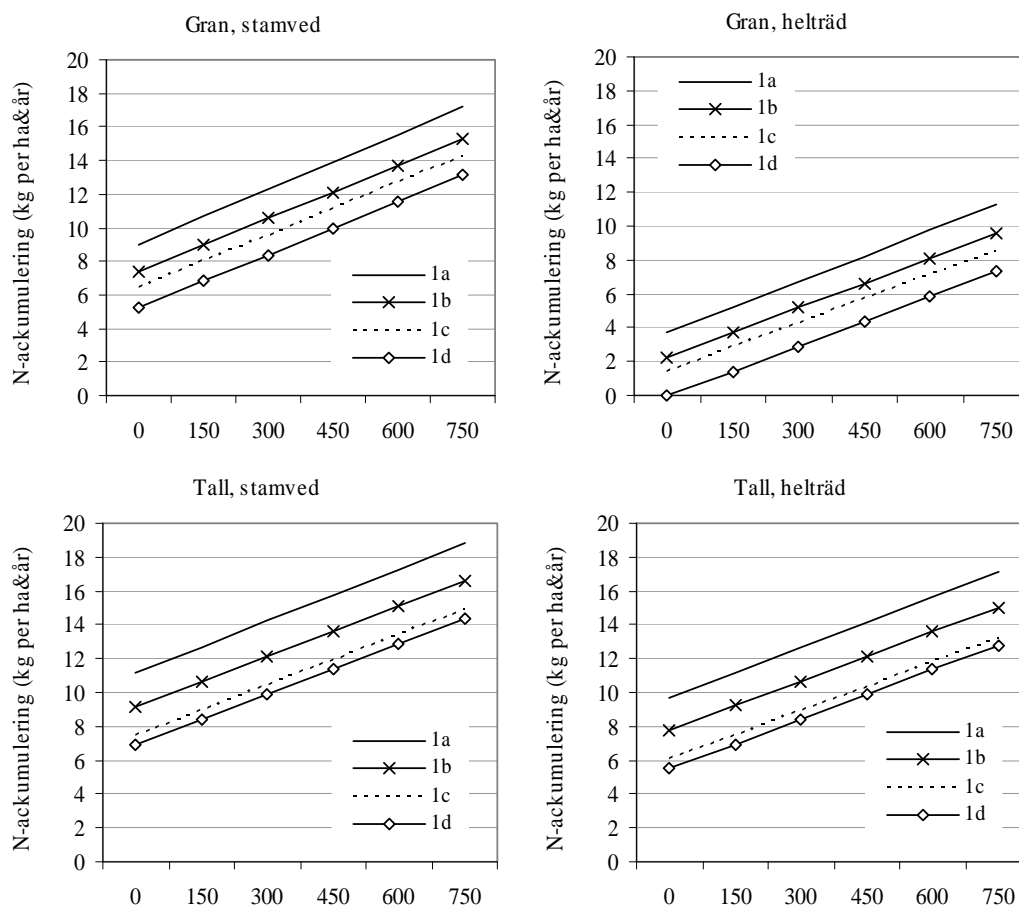
- < -4
- -4 - 0
- 0 - 4
- 4 - 8
- 8 - 12
- > 12

Figur 13. Granbestånd (helträdsuttag) vid olika gödslingsscenarier (endast gödslingsbara punkter).

## 4.2.2 Effekter av kvävegödsling i område 1

Kväveackumuleringen i *granskog* vid konventionellt stamvedsuttag ökar med ökad gödselgiva, oavsett delområde (Figur 14). Den största kväveupplagringen sker i delområde 1a och varierar mellan 9 och 17 kg per hektar och år vid de olika gödslingsscenarierna (0 och 750 kg per hektar). Motsvarande intervall för delområdena 1b, 1c och 1d är 7 och 15, 6 och 14 samt 5 och 13 kg per hektar och år. Med tanke på det nuvarande och historiskt höga nedfall av kväve som har skett i dessa områden och de relativt låga C/N-kvoterna (se Figur 7), bedöms gödsling innebära en risk för förhöjd kväveutlakning till följd av en ökad kväveupplagring. Risken för utlakning minskar från delområde 1a till delområde 1d. I delområde 1d motsvarar en engångsgiva på 150 kg N per ha en kväveupplagring på 6.8 kg per ha och år, vilket kan jämföras med den kväveupplagring på 9 kg per ha och år som för närvarande sker i delområde 1a utan kvävegödsling. Spridningen är dock stor (se Bilaga 1). Beräkningarna visar att kväveupplagringen blir positiv ( $> 0$ ). (Figur 14).

Kväveackumuleringen i *tallskog* vid konventionellt stamvedsuttag ökar med ökad gödselgiva (Figur 14). Jämfört med granskog är kväveupplagringen något högre. Helträdsuttag i tallskog balanserar inte kvävetillförsel vid gödsling varför risken för kväveutlakning bedöms som stor, oavsett biomassauttag.



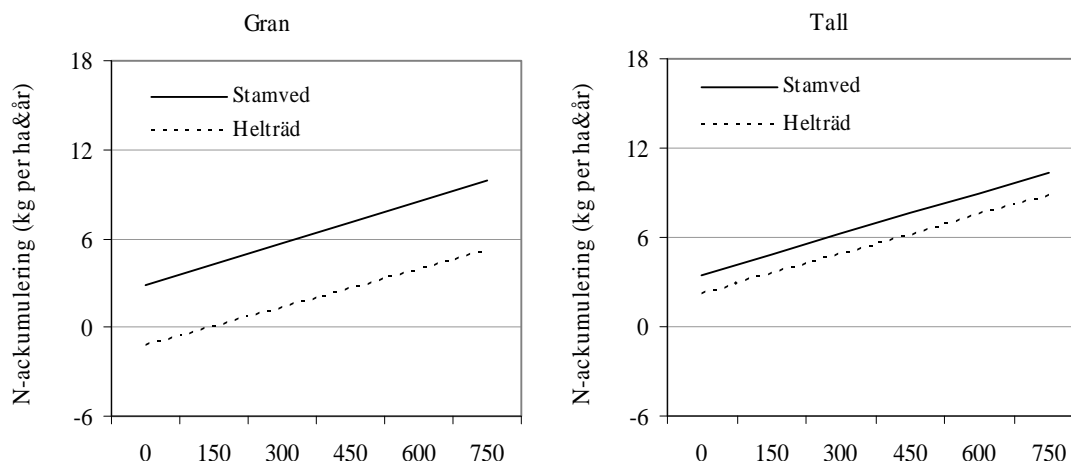
Figur 14. Kväveupplagring i gran- och tallbestånd vid konventionellt stamvedsuttag respektive helträdsuttag, vid olika gödselgivor i område 1a-d, uttryckt som ett medelvärde. En giva motsvarar 150 kg N per ha (vid givan 0 avses ingen gödsling).



### 4.2.3 Effekter av kvävegödsling i område 2

Kvävegödsling i område 2 leder till en kväveackumulering i skogsmark både i gran- och tallbestånd både vid konventionellt stamvedsuttag och vid helträdsuttag. Kväveupplagringen ökar med ökad gödselgiva. I *granbestånd* varierar kväveupplagringen vid gödsling mellan 4 och 10 kg per ha och år (stamvedsuttag), och mellan 0 och 5 kg per ha och år (helträdsuttag) beroende på gödselgivans storlek (Figur 15). Gödsling i *tallbestånd* leder till en något högre kväveupplagring vid helträdsuttag jämfört med granbestånd. Kväveupplagringen vid gödsling varierar mellan 4 och 10 kg per ha och år (stamvedsuttag), och mellan 3 och 9 kg per ha och år (helträdsuttag) beroende på gödselgivans storlek.

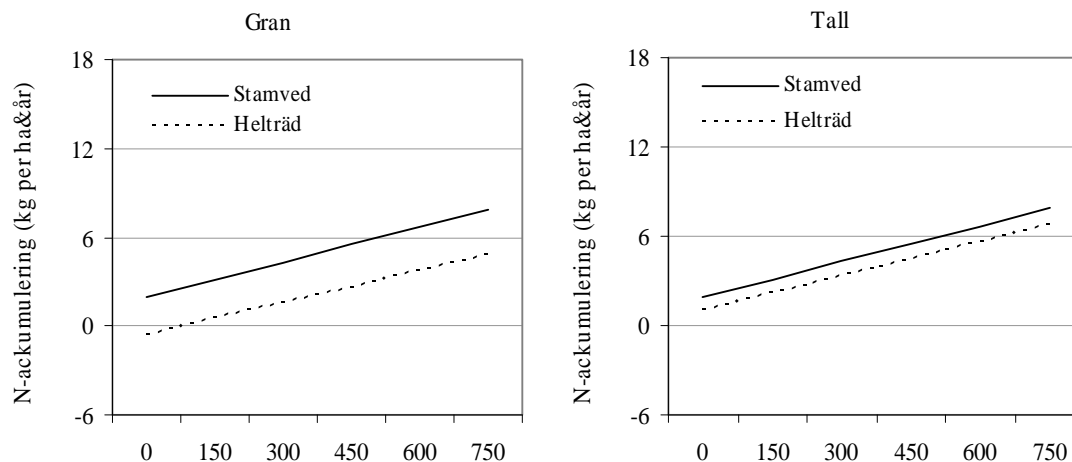
Kvävenedfallet i område 2 är betydligt lägre än i område 1a-d vilket bland annat avspeglar sig i C/N-kvoten (31 i granbestånd och 35 i tallbestånd) (Figur 7). Kvävegödsling i kombination med stamvedsuttag bedöms innebära en liten risk för förhöjd kväveutlakning vid gödselgivor på upp till 300 kg N per ha. Detta gäller även vid helträdsuttag i tallbestånd. En giva på 300 kg N per ha ger en kväveupplagring på cirka 6 kg N per ha och år i både gran- och tallbeståndet, vilket motsvarar kväveupplagringen i område 1d utan gödsling. Vid högre givor bedöms risken öka.



Figur 15. Kväveupplagring i gran- och tallbestånd vid konventionellt stamvedsuttag respektive helträdsuttag, vid olika gödselgivor i område 2, uttryckt som ett medelvärde. En giva motsvarar 150 kg N per ha (vid givan 0 avses ingen gödsling).

### 4.2.4 Effekter av kvävegödsling i område 3

I område 3 är kvävedepositionen förhållandevis låg, och har varit så även historiskt sett. C/N-kvoterna i humuslagret är generellt höga, i genomsnitt 33 i granskog och 40 i tallskog (Figur 7). Kväveackumuleringen beräknades till omkring 2 kg kväve per hektar och år både i gran- och tallskog vid konventionellt stamvedsuttag (Figur 16). Vid kvävegödsling ökar ackumuleringen med ökad kvävegiva, och vid den högsta givan (750 kg per hektar) är kväveackumuleringen ca 8 kg per hektar och år. En gödselgiva på 450 kg per hektar motsvarar ackumuleringstakten i område 1d utan kvävegödsling. Helträdsuttag leder till något lägre ackumuleringstakt. Kvävegödsling i område 3 bedöms inte innebära någon stor risk för ökad kväveutlakning.



Figur 16. Kväveupplagring i gran- och tallbestånd vid konventionellt stamvedsuttag respektive helträdsuttag, vid olika gödselgivor i område 3, uttryckt som ett medelvärde. En giva motsvarar 150 kg N per ha (vid givan 0 avses ingen gödsling).

### 4.3 Slutsatser

Resultaten från modellen bygger på en balansberäkning mellan tillförsel (kvävefixering, deposition och gödsling) och bortförsel (utlakning och växtupptag) av kväve utfört på de Riksskogspunkter som uppfyller kraven på gödslingsvärd skog. Kväveförluster via denitrifikation har inte beaktats i modellen dels på grund av svårigheter att kvantifiera omfattningen och dels för att den antas vara negligierbar i väl-dränerad mark (Nohrstedt m. fl., 1994). Massbalansberäkningarna visade att balansen mellan till- och bortförseln av kväve i skogsmark varierar starkt, inte bara i olika regioner utan även mellan olika skötselmetoder och trädslag. För närvarande visar modellen att det sker en kväveupplagring i marken i hela Sverige (vilket är en överdrift eftersom nuvarande biobränsleuttag inte har beaktats) men ett ökat uttag av biomassa och/eller en minskad kvävedeposition kan leda till kväveförluster, särskilt i granbestånd. Vidare indikerar modellberäkningarna att kvävegödsling leder till en ökad kväveupplagring både vid normalt stamvedsuttag och vid helträdsuttag, trots att upplagringen delvis motverkas av den ökade tillväxten. Kväveupplagringen ökar med ökad gödselgiva.

Gödsling i södra Sverige (område 1) innebär en ökad risk för kväveutlakning särskilt som det historiska nedfallet av kväve har varit stort, vilket delvis har lett till låga C/N-kvoter. Risken minskar österut, det vill säga från delområde 1a till 1d. I delområde 1d är ackumuleringstakten vid gödsling med två gödselgivor mindre än i område 1a utan kvävegödsling. Risken för en ökad kväveupplagring kan motverkas genom helträdsutnyttjande i granbestånd men inte i tallbestånd. I område 2 bedöms risken för kväveutlakning som liten vid gödsling i både gran- och tallbestånd. Risken är särskilt liten vid ett helträdsutnyttjande i granskog, eftersom kväveupplagringen är mindre än 6 kg per ha även vid den maximala gödselgivan. Även i område 3 bedöms risken för en ökad kväveutlakning som liten vid kvävegödsling, både vid stamvedsuttag och helträdsuttag.

Vid diskussion om näringsförluster till följd av ett ökat biomassauttag uttrycks det ofta en oro för att det ska åtföljas av ett visst produktionsbortfall. I en miljökonsekvensbeskrivning om skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation av Egnell m. fl. (1998) konstaterades det att ett helträdsutnyttjande kan ge ett litet men tillfälligt produktionsbortfall i granbestånd, både i gallring och efter slutavverkning. I tallbestånd uppstår också ett tillfälligt produktionsbortfall i samband med gallring, men inte efter slutavverkning. Dessa resultat bekräftas bland annat av Egnell och Leijon (1999). Genom att lämna kvar barr jämnt spritt över granhygget och/eller tillföra skogsbränsleaska kan näringsförlusterna motverkas. På näringsfattiga marker (C/N-kvot >30) där konkurrensen om kväve är hög kan asktillförsel leda till ett produktionsbortfall varför askan behöver innehålla kväve (Egnell m. fl., 1998).

Betydelsen av deposition, trädslag, biomassauttag och gödselgiva sammanfattas nedan:

- ❑ **Depositionens betydelse:** En minskad kvävedeposition har en tydlig effekt på kvävebalansen i skogsmark, eftersom mindre kväve tillförs systemet (Figur 8 och Figur 9). Kväveupplagringen i marken är därför starkt beroende av framtida utsläpps begränsningar.
- ❑ **Trädslagets betydelse:** Modellberäkningarna visar att kväveupplagringen i skogsmark är större i talldominerade bestånd än i granbestånd (Figur 14, Figur 15 och Figur 16). Detta beror på att nettoupptaget av kväve i biomassen är högre för gran än för tall.
- ❑ **Biomassauttagets betydelse:** Ett större biomassauttag leder till att mer kväve förs bort från systemet än vad som skulle ha skett vid ett traditionellt stamvedsuttag (Figur 14, Figur 15 och Figur 16). Ett större tillvaratagande av avverkningsrester kan vara en metod för att motverka kväveupplagring i skogsmark där risken för kväveutlakning bedöms som hög. Samtidigt kan ett ökat uttag leda till näringsförluster i vissa delar av landet, oavsett om bestånden gödslas.
- ❑ **Gödselgivans betydelse:** Modellresultaten indikerar att det förväntade ökade upptaget av kväve i biomassen vid gödsling inte kompenserar för det kväve som tillförs systemet vid gödsling. Således ökar kväveackumuleringen i marken vid upprepad gödsling (Figur 14, Figur 15 och Figur 16).

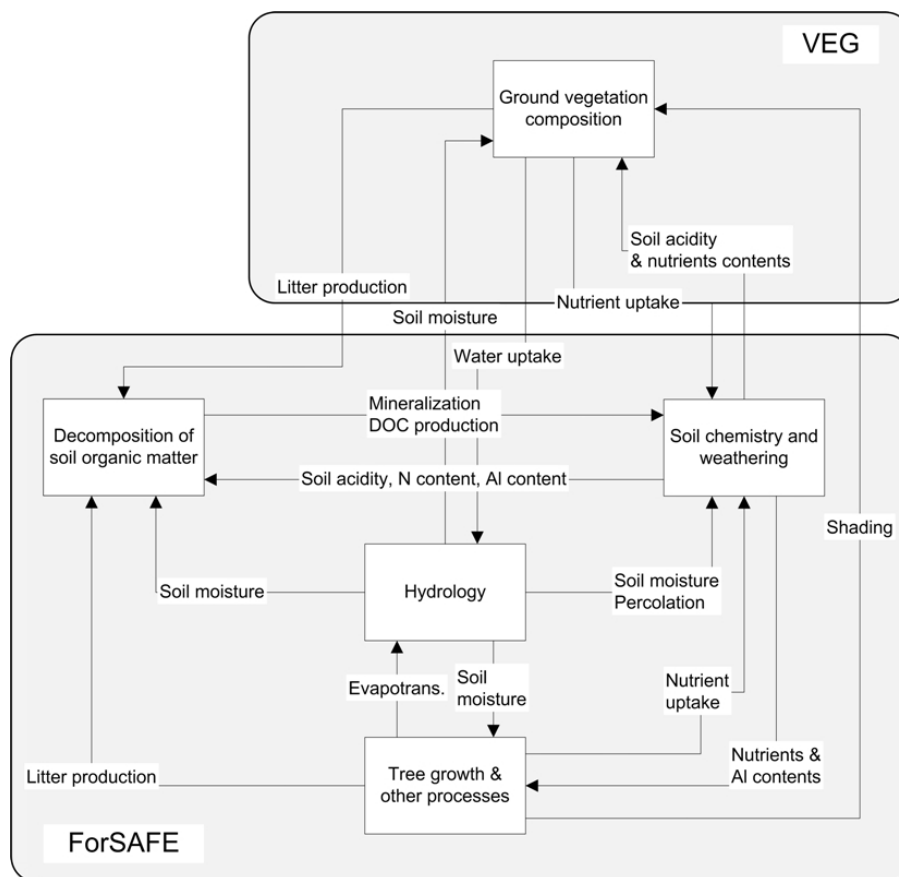
## 5 Modellerade effekter av kvävegödsling på biomassa, markkemi och artsammansättning i tre granbestånd

Den dynamiska modellen ForSAFE-VEG har använts för att modellera förändringar över tiden i biomassa, markkemi och artsammansättning efter kvävegödsling i tre granbestånd som representerar olika delar av Sverige med avseende på kvävedeposition. I dynamiska modeller inkluderas tidsaspekten vilket innebär att återkopplingar av olika slag finns med något som inte är möjligt i statiska modeller. Dynamiska modeller kräver därför mycket mer data för att kunna användas, vilket begränsar möjligheterna att modellera med hög rumslig upplösning. Statiska modeller med hög rumslig upplösning men låg temporal upplösning och dynamiska modeller med låg rumslig upplösning men hög temporal upplösning är därför ett bra komplement till varandra bra vid bedömningar av miljökonsekvenser av exempelvis kvävegödsling.

### 5.1 En kort beskrivning av modellen ForSAFE-VEG

ForSAFE är en dynamisk modell som simulerar de biogeokemiska cyklerna av kol, kväve, baskatjoner och vatten i skogsekosystem. ForSAFE kan därigenom beräkna trädens tillväxt, markens kemi och hur poolerna av organiskt material i marken förändras med tiden (Belyazid m. fl., 2006; Wallman, 2005). Genom att kombinera ForSAFE med en modul som kallas VEG (Figur 17), kan också markvegetationens sammansättning modelleras. Detta sker genom att ForSAFE vidarebefordrar information om markkemi, markfuktighet och skuggförhållanden till VEG-modulen, som använder denna information för att beräkna förekomsten av olika indikatorarter i markvegetationen (Belyazid, 2006).

ForSAFE är uppbyggd av fyra moduler: 1) träd tillväxt, 2) markkemi och vittring, 3) nedbrytning av organiskt material och 4) hydrologi. Modulen som beräknar träd tillväxt använder information om trädens fotosyntes, näringsupptag, allokering av näring och kol samt evapotranspiration. Modulen bygger på modellen PnET som använder kväveinnehållet i blad eller barr och solinstrålning för att uppskatta en potentiell fotosynteshastighet (Aber m. fl., 1992). Fotosynteshastigheten korrigeras sedan baserat på information om näringsinnehållet i marken (data från markkemimodulen) och tillgången på vatten (data från hydrologimodulen). Markkemimodulen baseras på modellen SAFE som simulerar vittringsprocesser och markkemiska processer (Alveteg, 1995; Sverdrup m. fl., 1995). Denna modul uppskattar innehållet av olika kemiska ämnen (kväve, baskatjoner, aluminium, väte, klorid, natrium) i markvattnet genom att jämföra hur mycket av varje ämne som försvinner genom upptag i träden (beräknas i tillväxtmodulen) eller via utlakning (beräknas i hydrologimodulen), hur mycket som tillkommer via tillskott från mineralisering (beräknas i nedbrytningsmodulen), vittring eller nederbörd, samt hur mycket som frigörs eller binds via katjonutbytesprocesser i marken. Nedbrytningsmodulen baseras på DECOMP-modellen (Walse m. fl., 1998; Wallman m. fl., 2006) och simulerar ackumulering och nedbrytning av organiskt material och förna. Den inkommande förnan, som beräknas i tillväxtmodulen, sorteras i fyra olika pooler där materialen har olika benägenhet för att brytas ned. Nedbrytningshastigheterna i varje pool beräknas sedan med hänsyn tagen till marktemperatur och markfuktighet (från hydrologimodulen), samt surhetsgrad och kväveinnehåll i marken (från markkemimodulen). Den sista modulen, hydrologimodulen, baseras på PULSE modellen (Lindström & Gardelin, 1992). Genom att använda markens vattenhållande kapacitet och vissningsgräns i olika markskikt kan denna modul beräkna vattnets vertikala perkolationshastighet och evapotranspiration.



Figur 17. ForSAFE är uppbyggd av fyra huvudmoduler till vilka VEG-modulen är kopplad. De fem modulerna kommunicerar kontinuerligt med varandra på månadsbasis.

ForSAFE kan genom dessa fyra moduler simulera hur trädbiomassa, markkemi, organiskt material och hydrologi förändras vid förändringar i klimat, deposition och skötselåtgärder såsom gallring, förnyrningsavverkning och gödsling. Den information som ForSAFE genererar används sedan i VEG-modulen för att uppskatta markens vegetationssammansättning. Vegetationssammansättningen baseras på förekomsten av 42 representativa arter av växter som finns i svenska skogsekosystem (se Bilaga 2). Varje art antas ha en artspecifik respons på variationer i markens fuktighet, temperatur, kväveinnehåll, koncentration av baskatjoner och skuggningsgrad. Baserat på denna specifika respons beräknar VEG-modulen den relativa förekomsten av varje art och hur stor andel av den tillgängliga markarealen varje art ockuperar.

## 5.2 Simulering av effekterna av kvävegödsling i tre granbestånd

Tre olika skogsbestånd valdes ut för att simulera effekterna av kvävegödsling på biomassaproduktion, markkemi och artsammansättning i fältskiktet. De tre bestånden representerar de tre huvudsakliga depositionszonerna i Sverige och uppfyller kraven på gödslingsvärd skog (Figur 3). Bestånden är planterade med gran och har gallrats regelbundet. Det södra beståndet har utsatts för omfattande deposition av kväve under de senaste decennierna och modellsimuleringarna visar att det

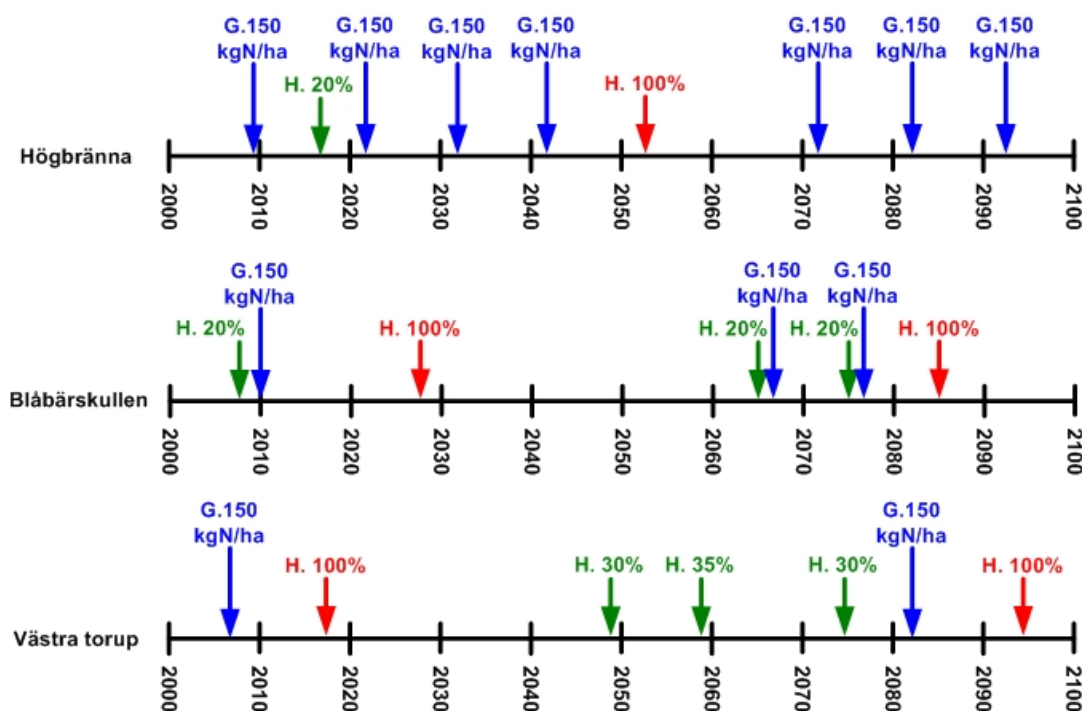
redan idag utlakas betydande mängder nitrat från detta bestånd. Detta indikerar att beståndet med stor sannolikhet redan är kvävemättat, vilket inte har bekräftats med empiriska studier.

Tabell 12. Några egenskaper hos de tre skogsbestånd som används i modelleringen.

Namn	Region	Lat. (°N)	Long. (°E)	Medelårs-temperatur (°C)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> deposition* (kg per ha och år)	Vegetation
Högbränna	Norra delen	65.6	18.4	0.6	1.5	92 gran 5 tall 3 löv
Blåbärskullen	Mellersta delen	59.8	12.5	5.9	7.6	100 gran
Västra Torup	Södra delen	55.9	13.8	8.7	22.5	100 gran

\* årligt medelvärde för åren 1950 till 2000

I modellen simulerades effekten av olika biomassauttag (stamved och helträdsuttag) samt olika gödslingsscenarioer (enligt nuvarande allmänna råd). Framtida minskningar av kvävedepositionen har inte beaktats. I scenario 1 gödslas bestånden inte alls vilket innebär att effekten mellan stamved och helträdsuttag belyses. I scenario 2 gödslas det nordligaste beståndet fyra gånger, det mellersta beståndet två gånger och det sydligaste beståndet en gång i kombination med stamved och helträdsuttag (Figur 18). Gödselgivan är 150 kg N per ha. I de markkemiska resultaten anges C/N-kvoten för humusskiktet medan den basmättnad som anges avser mineraljorden. Alla jämförelser som beskrivs i resultaten härrör till hur det ser ut i det ogödslade beståndet jämfört med hur det ser ut när beståndet har gödslats, vid stamveds- respektive helträdsuttag.



Figur 18. Tidpunkter för förnygringsavverkning och gödsling i de tre bestånden som undersöks i denna studie. "G." anger gödsling och "H." anger biomassauttag. Informationen som anges härrör till scenario 2. Scenario 1 har samma biomassauttag men ingen gödsling. Både i scenario 1 och 2 simuleras stamvedsuttag och helträdsuttag i samband med förnygringsavverkning.

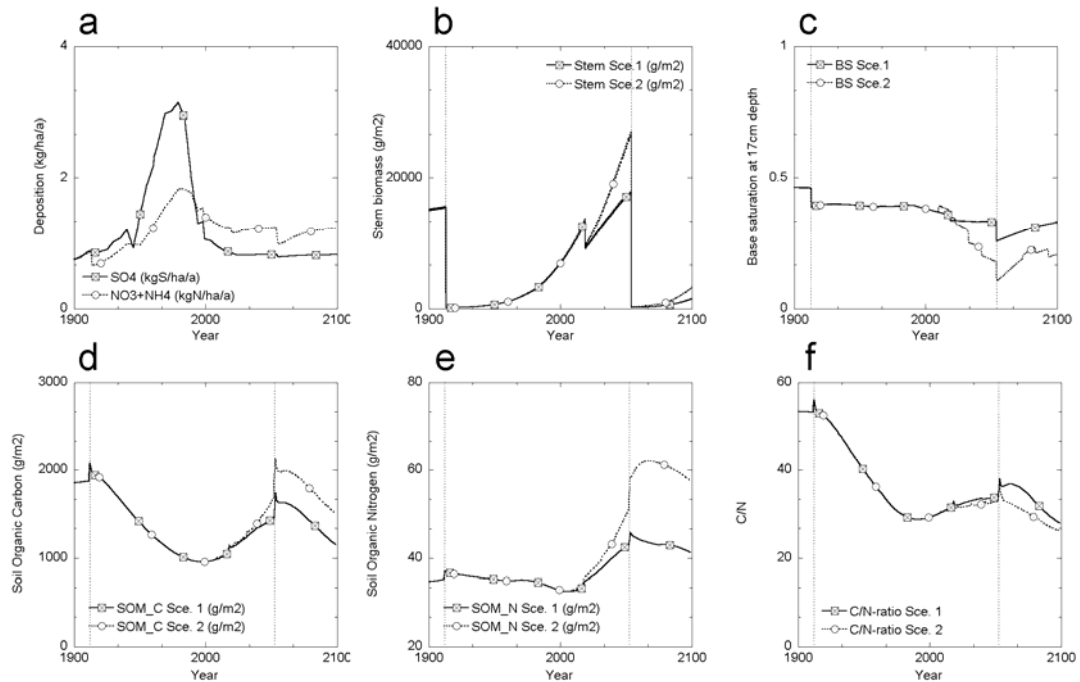
## 5.3 Resultat och diskussion

De resultat som diskuteras här baseras enbart på modellsimuleringar och kan därför avvika från vad som skulle hända i verkligheten. Modellen har dock testats och validerats och detta finns presenterat i Belyazid (2006). Resultaten från modellsimuleringarna bör, istället för att ses som en absolut sanning, användas för att diskutera de trender som kan uppkomma under de angivna förhållandena och ses som indikationer på vad som skulle kunna hända i de tre undersökta ekosystemen. Först diskuteras förändringar i varje enskilt bestånd och sedan dras några gemensamma slutsatser för alla tre bestånden.

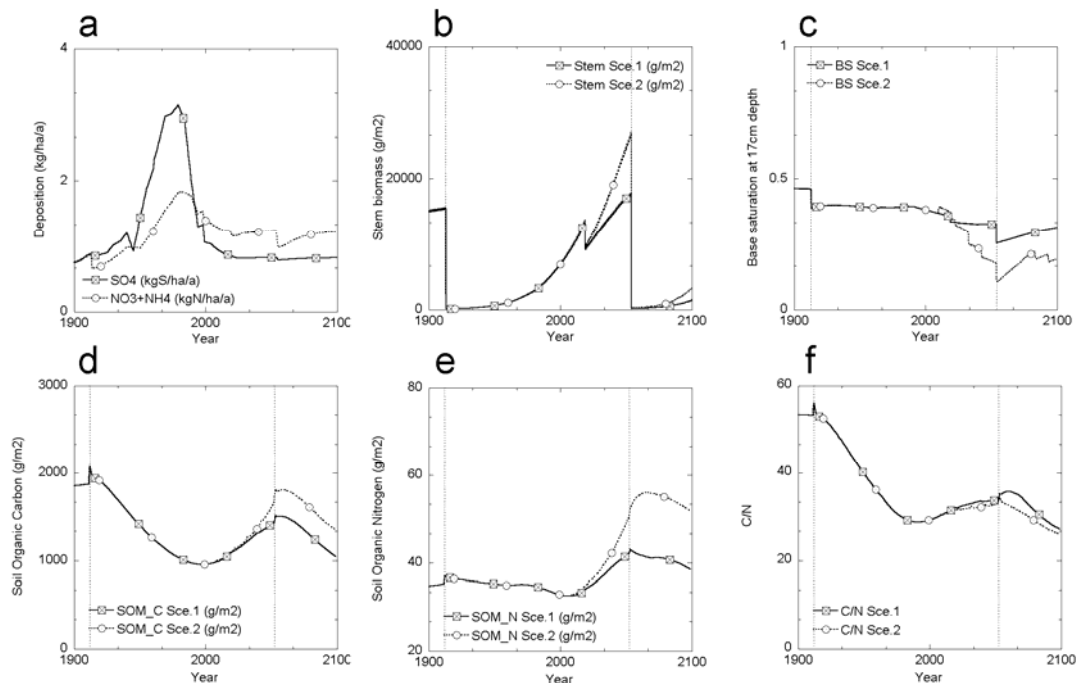
### 5.3.1 Effekter av kvävegödsling på det nordliga beståndet (Högbränna)

Effekterna av kvävegödsling måste ses i ljuset av den historiska belastningen av kväve i ett bestånd. I beståndet i norra Sverige, i enlighet med de flesta bestånd i de norra delarna av landet, har depositionen av kväve och svavel historiskt sett varit låg (Figur 19a). De högsta depositionsnivåerna i det norra beståndet, från 1960-talet fram till 1990-talet, har hela tiden varit lägre än de lägsta depositionsnivåerna i det mellersta och södra beståndet (Figur 23a & Figur 27a). Detta har lett till en låg kvävetillgång och trädens tillväxt är därmed starkt kvävebegränsade. Kvävegödsling i detta bestånd kommer därför, enligt modellsimuleringarna, att leda till att biomassaproduktionen ökar kraftigt. Vid den sista föryngringsavverkningen, som planeras till år 2053, kommer biomassaökningen till följd av gödsling att uppgå till 51 % (stamved) och 52 % (helträd) jämfört med om ingen gödsling sker. Vid slutet av simuleringsperioden (år 2100) kommer ökningen att uppgå till 118 % (stamved) och 120 % (helträd) (Figur 19b & Figur 20b). Den kraftiga tillväxtökningen med påföljande bortförsel av biomassa och näringsämnen kommer att leda till en stor förlust av utbytbara baskatjoner i mineraljorden (-37 % vid stamvedsuttag och -38 % vid helträdsuttag, Figur 19c & Figur 20c), år 2100.

Gödslingen beräknas, enligt modellen, orsaka en ökning av det ackumulerade organiska materialet i marken (Figur 19d-e & Figur 20d-e). Denna ökning beror huvudsakligen på den ökade förna-  
produktionen som är en följd av den ökade volymen biomassa. Innehållet av kol i marken ökar med 30 % (stamved) och 29 % (helträd) medan kvävet ökar med 39 % (stamved) och 34 % (helträd). Detta resulterar i en liten sänkning av C/N-kvoten i slutet av simuleringsperioden (Figur 19f & Figur 20f).



Figur 19. Förändringar i deposition, stambiomassa och basmättnad i mineraljorden samt förändringar i koncentrationerna av kol och kväve och C/N-kvoten i humuslagret i Högbränna (det nordligaste beståndet) vid *stamvedsuttag*. Vertikala linjer indikerar tidpunkt för föryngringsavverkning. Vid scenario 1 sker ingen gödsling och vid scenario 2 gödslas beståndet totalt fyra gånger per rotationsperiod.

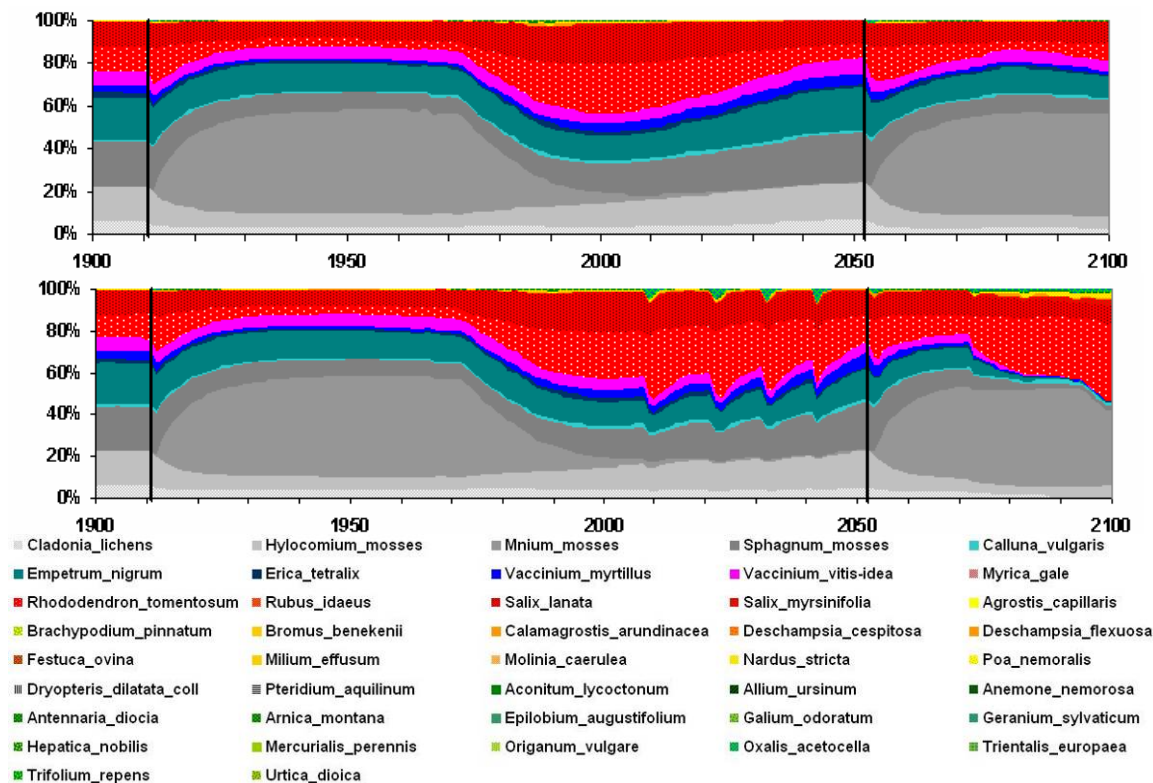


Figur 20. Förändringar i deposition, stambiomassa och basmättnad i mineraljorden samt förändringar i koncentrationerna av kol och kväve och C/N-kvoten i humuslagret i Högbränna (det nordligaste beståndet) vid *belträdsuttag*. Vertikala linjer indikerar tidpunkt för föryngringsavverkning. Vid scenario 1 sker ingen gödsling och vid scenario 2 gödslas beståndet totalt fyra gånger per rotationsperiod.

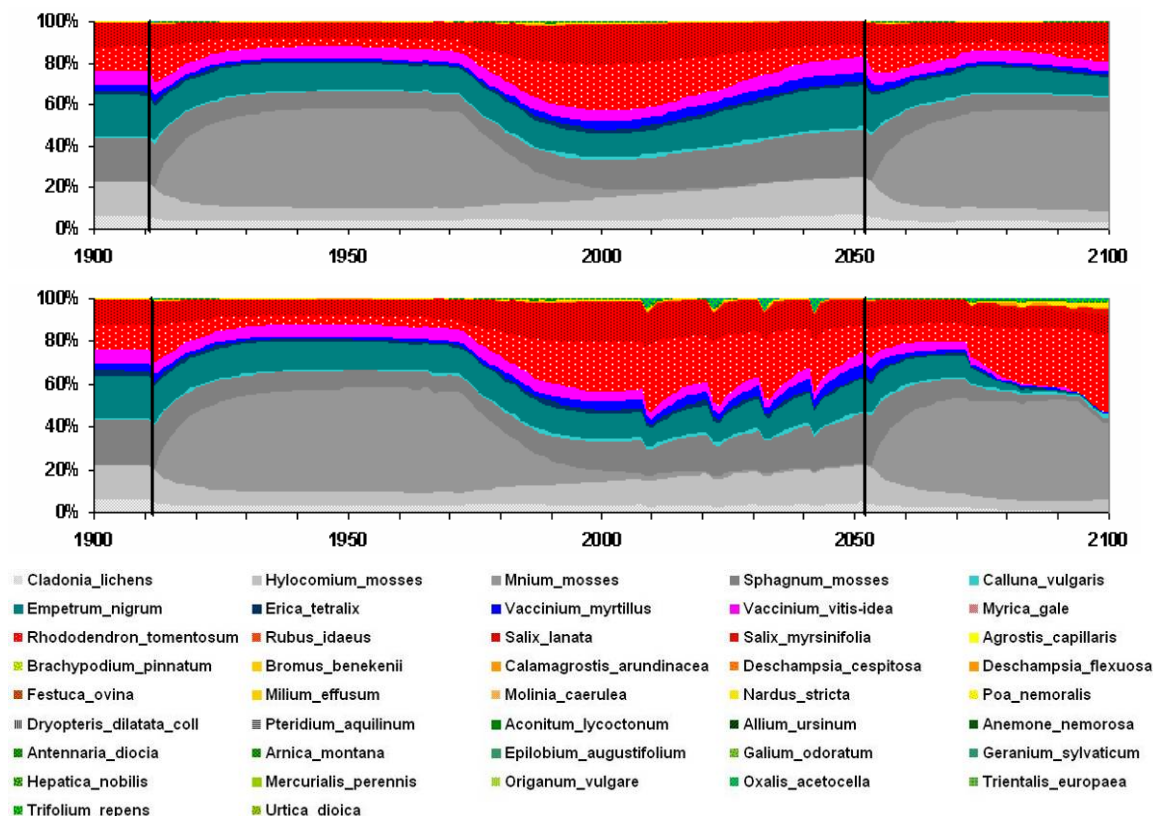


De markkemiska förändringarna och ökningen av volymen biomassa kan avläsas i sammansättningen av markvegetationen (Figur 21, stamved & Figur 22, helträd). Gödslingen följs av skarpa nedgångar i förekomsten av blåbär (*Vaccinium myrtillus*), kråkbär (*Empetrum nigrum*) och lingon (*Vaccinium vitis-idaea*) samtidigt som harsyra (*Oxalis acetocella*) dyker upp. Under den första rotationsperioden är effekterna av gödslingen relativt kortlivade, men under den andra rotationsperioden orsakar gödslingen kroniska förändringar av vegetationssammansättningen. Andelen örter och gräs ökar då medan bären och stjärnmossorna (*Mnium*-mossor) helt försvinner mot slutet av den andra rotationsperioden. Förutom de markkemiska förändringarna kan vegetationsförändringarna också härröras till en tidigarelagd och mer omfattande skuggningsgrad orsakad av den snabba träd tillväxten. Uttag av biomassa (stamved resp. helträd) i samband med föryngringsavverkning spelar en mycket liten roll på sammansättningen. Stamvedsuttag i det gödslade beståndet leder till en svag ökning av gräs och örter omedelbart efter föryngringsavverkning till följd av att mer kväve finns kvar i systemet (Figur 21, nedre bilden).

Trots omfattande effekter av gödslingen verkar det som om vegetationssammansättningen är ännu mer känslig för föryngringsavverkning (Figur 21 & Figur 22). Effekterna av kalthuggning är mycket snabba, och börjar med att *Mnium*-arter etablerar sig på bekostnad av framförallt hus- och vitmossa (*Hylocomium*- och *Sphagnum*-arter), men även till viss del på bekostnad av buskvegetation såsom ullvide (*Salix lanata*), svartvide (*Salix myrsinifolia*) och ljung (*Calluna vulgaris*). Allt eftersom skogen växer upp, med en gradvis slutning av kronan och ökning av markkvävet, drar sig *Mnium*-mossorna tillbaka medan *Salix*-arterna långsamt åter etablerar sig. Den ökade tillgången på kväve i marken möjliggör ett kortlivat framträdande av borstgräs (*Nardus stricta*) och kattfot (*Antennaria dioica*). Samma mönster återkommer efter den andra föryngringsavverkningen.



Figur 21. Förändringar i vegetationssammansättningen i Högränna (det nordliga beståndet) med tiden i ett ogödslat (övre bilden) och gödslat (nedre bilden) bestånd vid stamvedsuttag. Vertikala linjer indikerar tidpunkt för föryngringsavverkning.

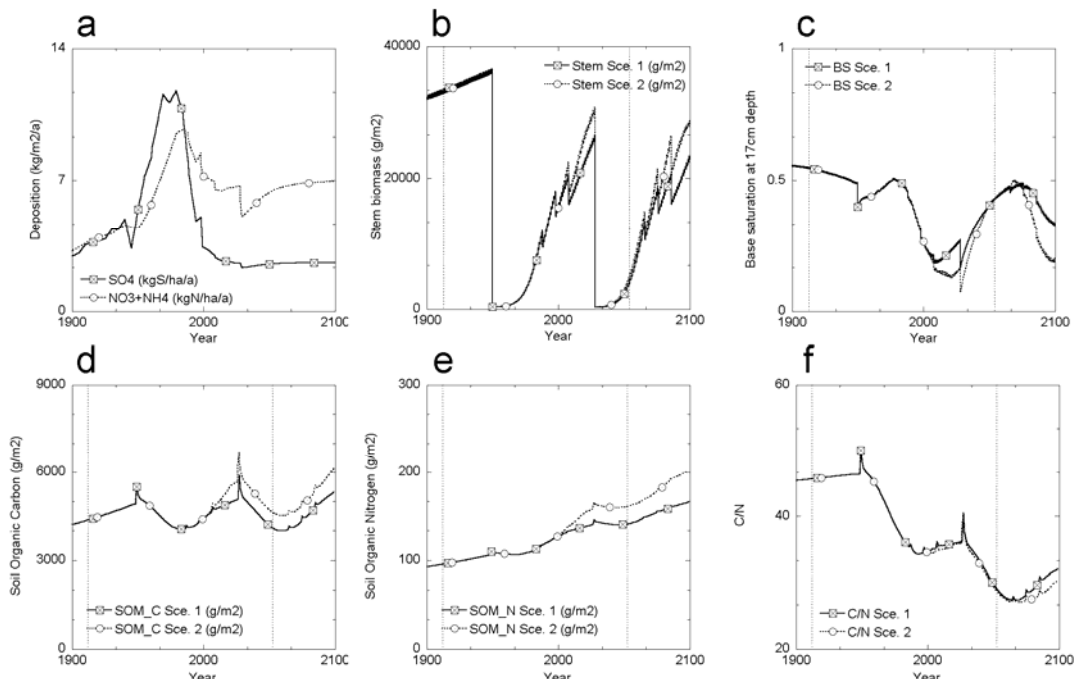


Figur 22. Förändringar i vegetationssammansättningen i Högrädda (det nordliga beståndet) med tiden i ett övegödsling (övre bilden) och övegödsling (nedre bilden) bestånd vid *helträsuttag*. Vertikala linjer indikerar tidpunkt för förnyingsavverkning.

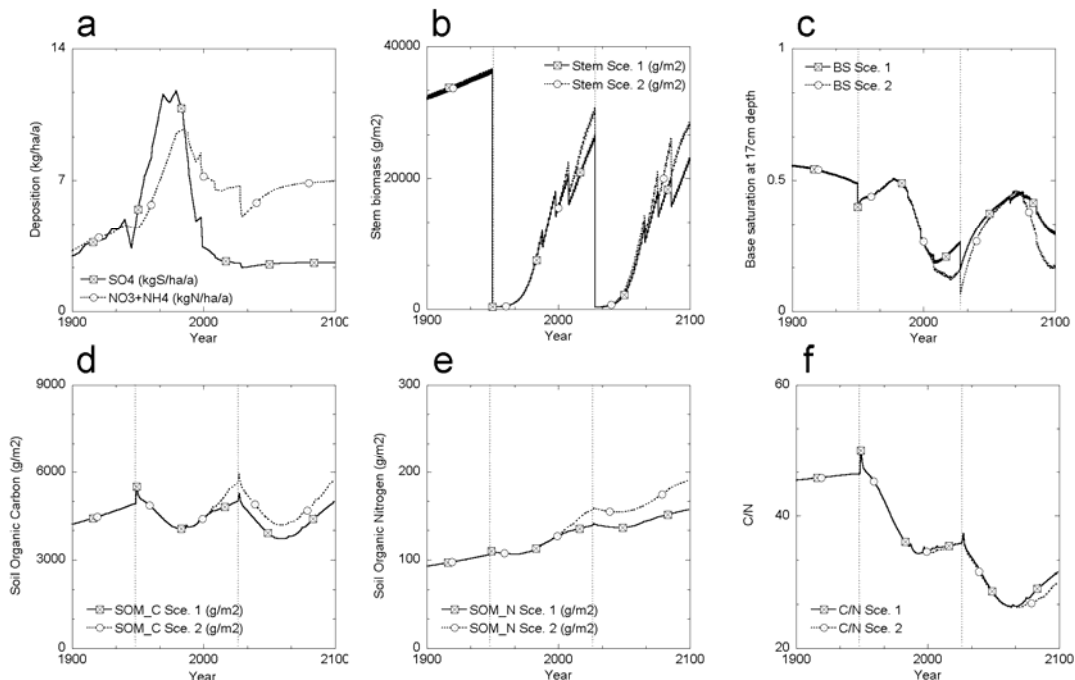
### 5.3.2 Effekter av kvävegödsling på det mellersta beståndet (Blåbärskullen)

Responserna på kvävegödsling i det mellersta beståndet liknar responserna i det norra beståndet, men är mindre uttalad (Figur 23 & Figur 24). Biomassaproduktionen ökar med 22 % (både vid stamved- och helträsuttag) fram till år 2100. Baskatjonnförrådet på 17 cm djup i mineraljorden minskar dock samtidigt med 40 % (stamved) och 41 % (helträd), det vill säga något mer än det nordliga beståndet (-37 %, stamved & -38 %, helträd). Detta indikerar att det mellersta beståndet redan genomgått förändringar som orsakats av den historiskt höga depositionen i detta bestånd och att den marginellt ökade produktionen sker på bekostnad av en större förlust av baskatjoner.

Koncentrationerna av kol i humuslagret ökar med 14,9 % (stamved) och 15,3 % (helträd) vid gödsling fram till år 2100 (Figur 23d & Figur 24d). Den ökade inlagringen av kol i marken är en konsekvens av den höga biomassaproduktionen och leder till att C/N-kvoten endast minskar något, trots att koncentrationen av kväve ökar (21,4 % stamved & 21,0 % helträd). Kväveutlakning kan därmed undvikas, åtminstone på kort sikt. Skillnaden i C/N-kvoten mellan icke-gödslade och gödslade förhållande blir dock större under den andra rotationsperioden, då kvävet ackumuleras i skogsekosystemet, framförallt i marken, medan kolinlagringen är oförändrad. Beståndet närmar sig därför under den andra rotationsperioden ett tillstånd av kvävemättnad.

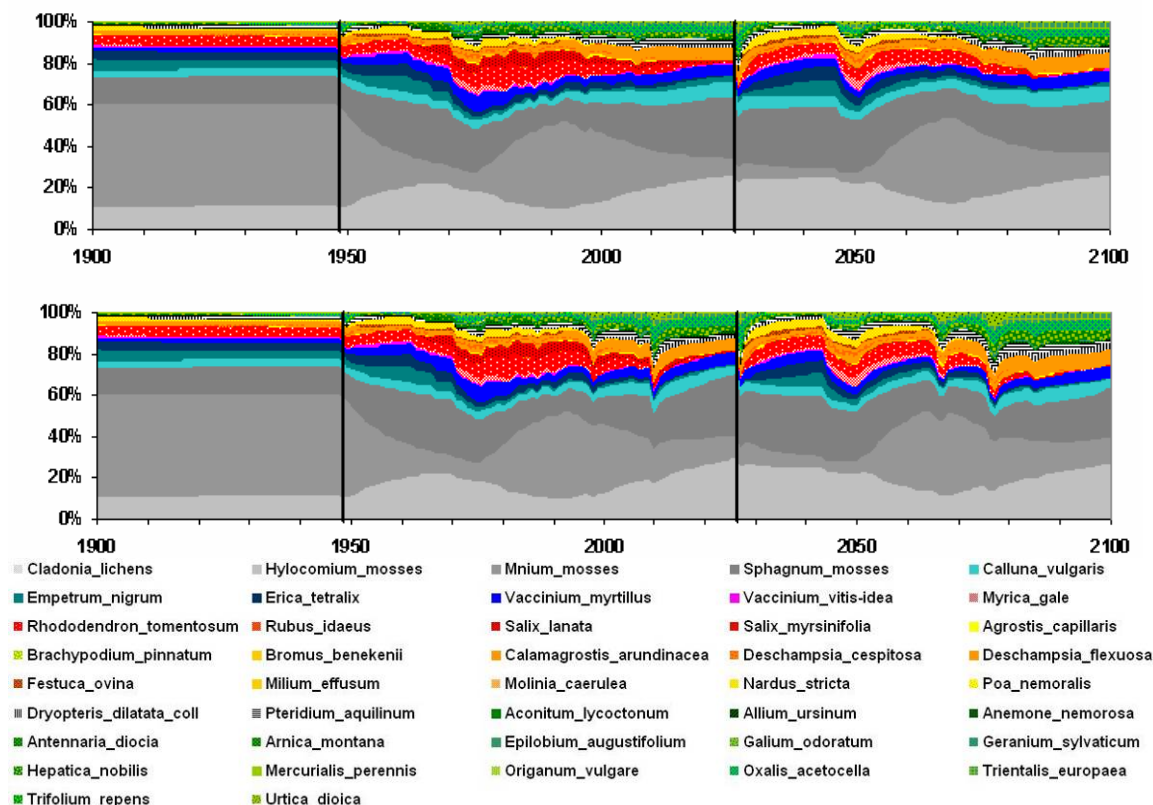


Figur 23. Förändringar i deposition, stambiomassa och basmättnad i mineraljorden samt förändringar i koncentrationerna av kol och kväve och C/N-kvoten i humuslagret i Blåbärskullen (det mellersta beståndet) vid *stammedsuttag*. Vertikala linjer indikerar tidpunkt för förnygringsavverkning. Vid scenario 1 sker ingen gödsling och vid scenario 2 gödslas beståndet totalt två gånger per rotationsperiod.

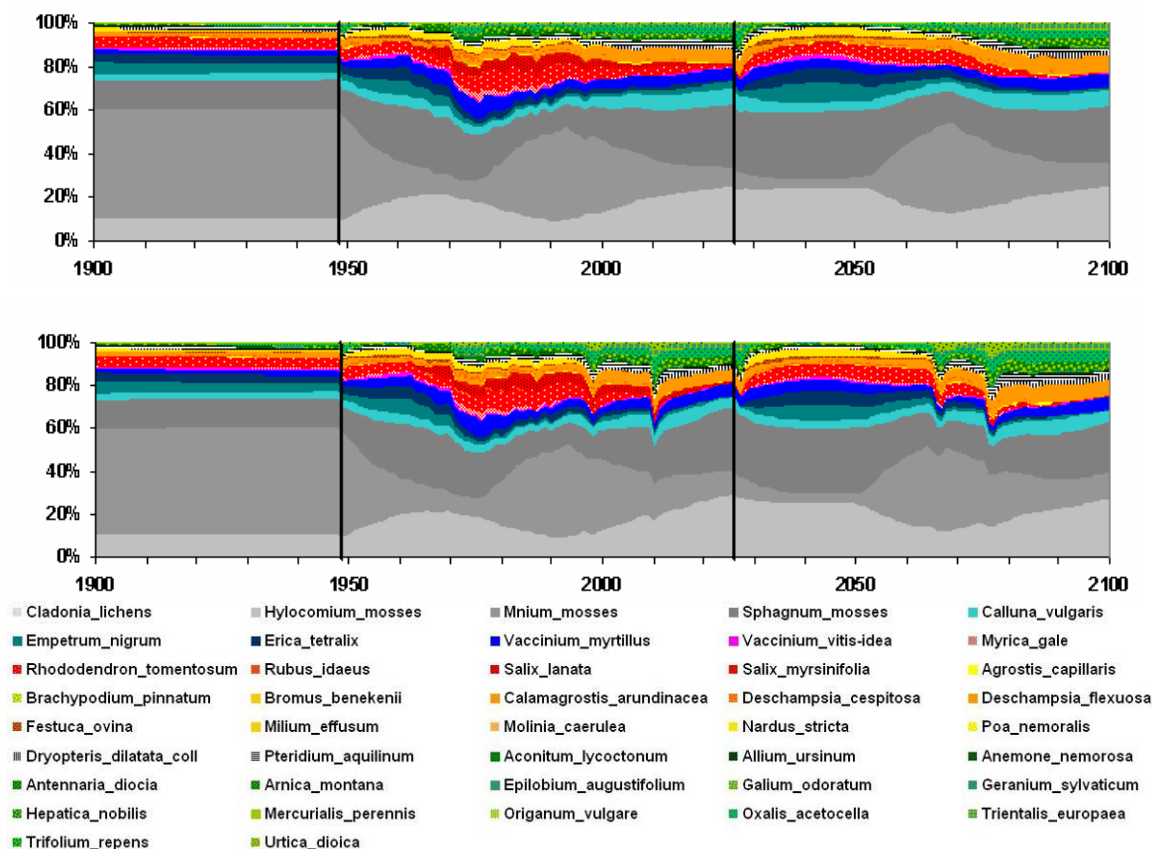


Figur 24. Förändringar i deposition, stambiomassa och basmättnad i mineraljorden samt förändringar i koncentrationerna av kol och kväve och C/N-kvoten i humuslagret i Blåbärskullen (det mellersta beståndet) vid *belträdsuttag*. Vertikala linjer indikerar tidpunkt för förnygringsavverkning. Vid scenario 1 sker ingen gödsling och vid scenario 2 gödslas beståndet totalt två gånger per rotationsperiod.

Den mindre uttalade effekten av kvävegödning i det mellersta beståndet reflekteras också i markvegetationens sammansättning (Figur 25 & Figur 26). Gödningen leder även här till en skarp ökning i förekomsten av gräs och örter, både vid stamved- och helträdsuttag, men denna effekt är ganska kortlivad. Vissa örter, t ex brännässla (*Urtica dioica*) och ormbunkar (*Dryopteris dilatata coll*), ökar dock på lång sikt. Den relativt begränsade effekten av gödning på vegetationssammansättningen i det mellersta beståndet, jämfört med det nordliga beståndet, beror troligen på att det mellersta beståndet har utsatts för en omfattande deposition under de senaste decennierna och att förändringar i vegetationssammansättningen som en följd av en ökad kvävetillgång till stor del redan skett. Stamvedsuttag i det gödslade beståndet leder till en svag ökning av gräs och örter omedelbart efter förnygringsavverkning till följd av att mer kväve finns kvar i systemet (Figur 25, nedre bilden).



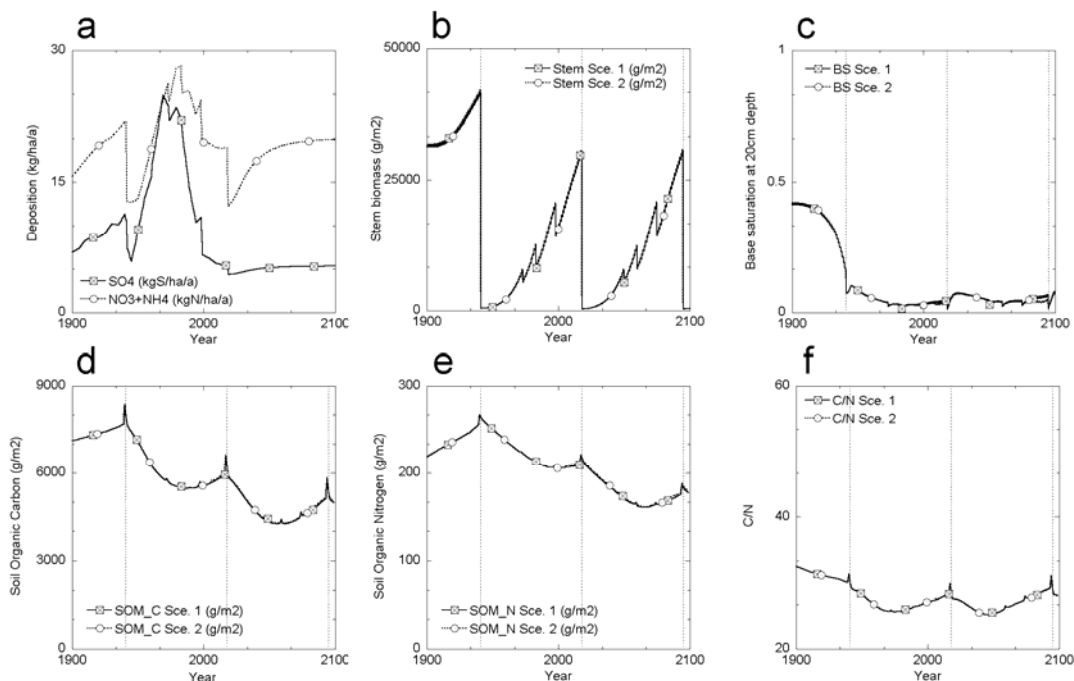
Figur 25. Förändringar i vegetationssammansättningen i Blåbärskullen (det mellersta beståndet) med tiden i ett ogödslat (övre bilden) och gödslat (nedre bilden) bestånd vid stamvedsuttag. Vertikala linjer indikerar tidpunkt för förnygringsavverkning.



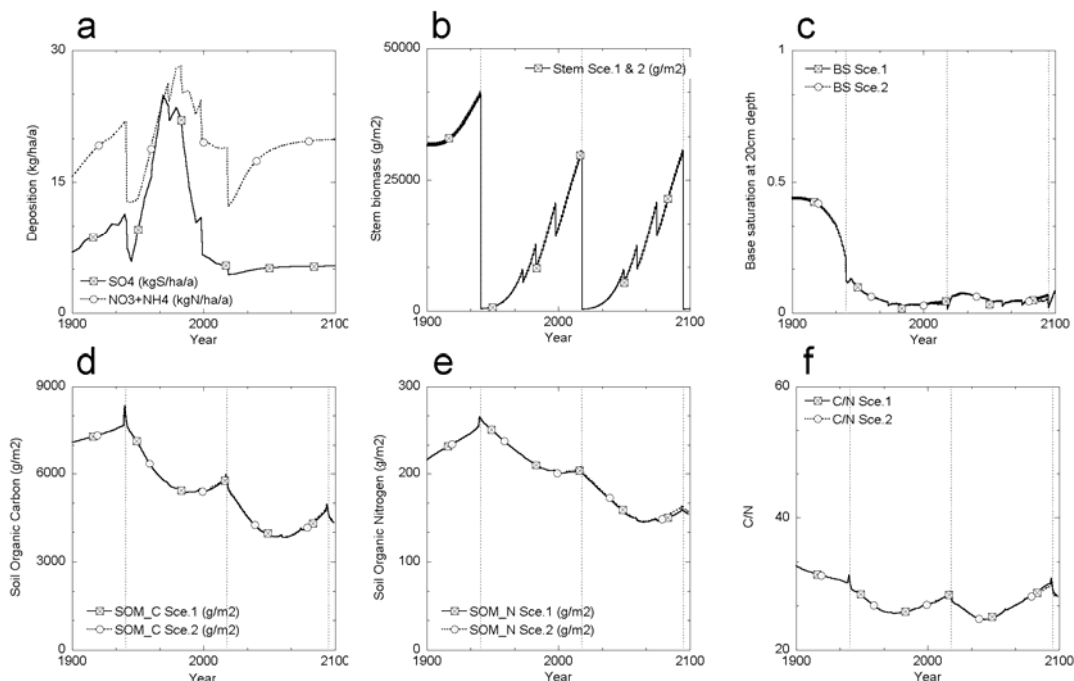
Figur 26. Förändringar i vegetationssammansättningen i Blåbärskullen (det mellersta beståndet) med tiden i ett ogödslat (övre bilden) och gödslat (nedre bilden) bestånd vid *helträdsuttag*. Vertikala linjer indikerar tidpunkt för förnygringsavverkning.

### 5.3.3 Effekter av kvävegödsling på det sydligaste beståndet (Torup)

I det södra beståndet gick det praktiskt taget inte att detektera några effekter av kvävegödslingen vare sig vid stamveds- eller helträdsuttag (Figur 27 & Figur 28). Enligt modellen skedde redan en utlakning av nitrat i detta bestånd redan innan gödsling. Det mesta av det kväve som tillförs via gödslingen kommer därför att gå rakt igenom systemet och lakas ut, vilket stämmer väl överens med empiriska resultat (Emmett m. fl., 1998). Både vid stamveds- och helträdsuttag blir tillväxt-effekten (biomassa) försumbar vid en gödselgiva på 150 kg N per ha (0.1 % stamved & 0.3 % helträd). Det kan också innebära att tillväxten begränsas av andra näringsämnen såsom fosfor. En effekt av det tillförda kvävet är dock att den redan låga basmättnaden minskar ännu mer (-10 %, stamved & -12.4 %, helträd) på 20 cm djup samt -53 %, stamved & -30 %, helträd på 30 cm djup). Vissa mindre förändringar kan också ses i koncentrationerna av kol och kväve i humusskiktet. Oavsett om beståndet gödslas eller inte innebär ett helträdsuttag en kvävelättnad för systemet.

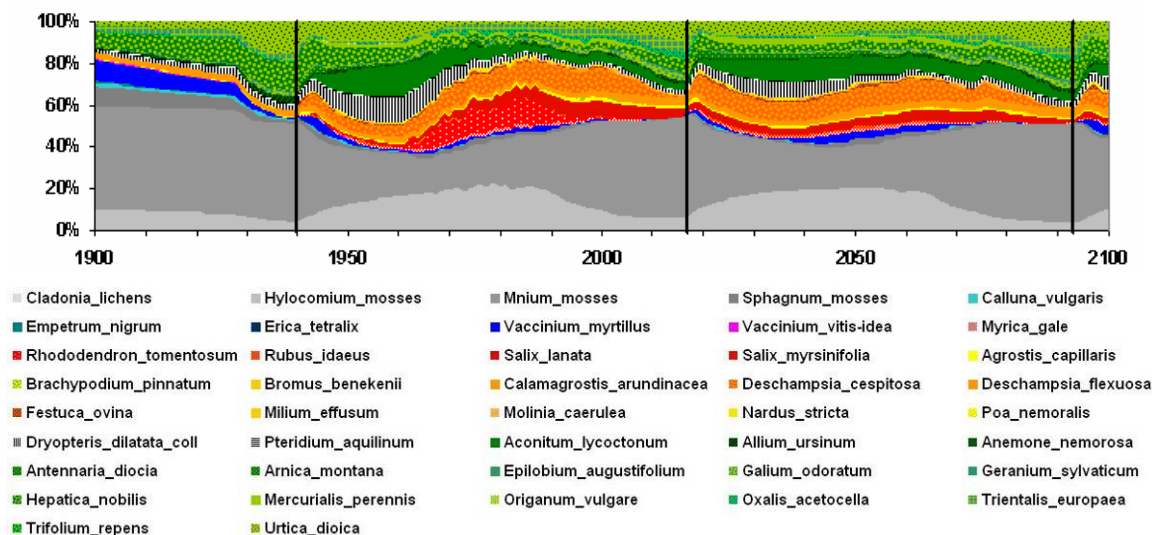


Figur 27. Förändringar i deposition, stambiomassa och basmättnad i mineraljorden samt förändringar i koncentrationerna av kol och kväve och C/N-kvoten i humuslagret i V. Torup (det sydligaste beståndet) vid *stamvedsuttag*. Vertikala linjer indikerar tidpunkt för föryngringsavverkning. Vid scenario 1 sker ingen gödsling och vid scenario 2 gödslas beståndet en gång per rotationsperiod.

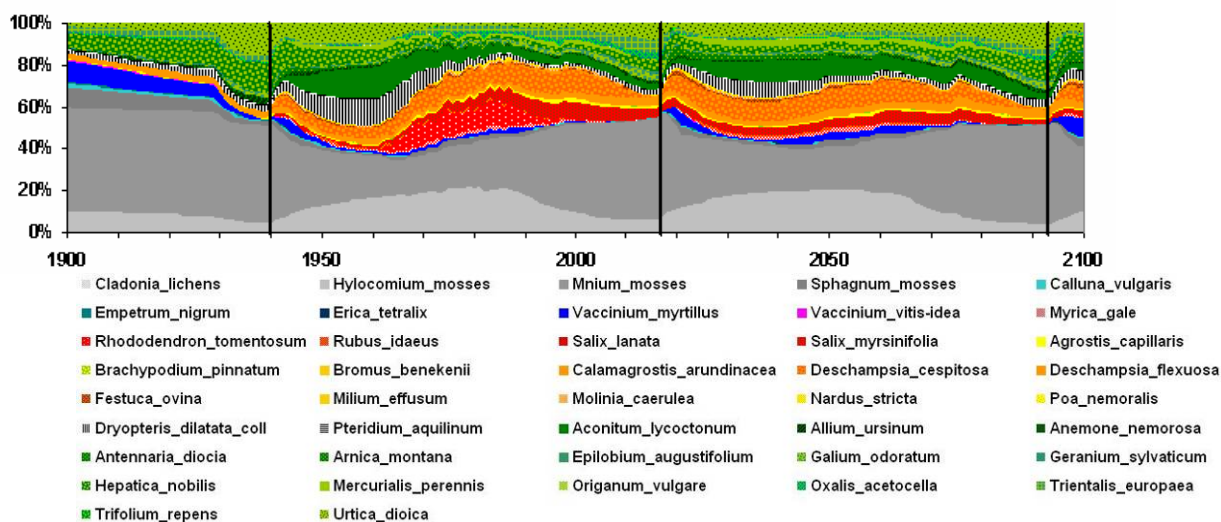


Figur 28. Förändringar i deposition, stambiomassa och basmättnad i mineraljorden samt förändringar i koncentrationerna av kol och kväve och C/N-kvoten i humuslagret i V. Torup (det sydligaste beståndet) vid *helträdsuttag*. Vertikala linjer indikerar tidpunkt för föryngringsavverkning. Vid scenario 1 sker ingen gödsling och vid scenario 2 gödslas beståndet en gång per rotationsperiod.

Förändringarna i vegetationssammansättningen under de kommande hundra åren är praktiskt taget försumbara i det södra beståndet, både vid stamveds- och helträdsuttag (Figur 29 & Figur 30). Förändringar i sammansättningen har till stor del redan inträffat under 1900-talet som en konsekvens av den höga kvävedepositionen och de arter som nu förekommer i beståndet karaktäriseras av kvävegynnade arter. Andra mindre toleranta arter, såsom blåbär (*Vaccinium myrtillus*), lingon (*Vaccinium vitis-idaea*) och kråkbär (*Empetrum nigrum*), har redan försvunnit. Att tillföra kväve genom gödsling verkar därför inte ha någon större effekt på artsammansättningen.



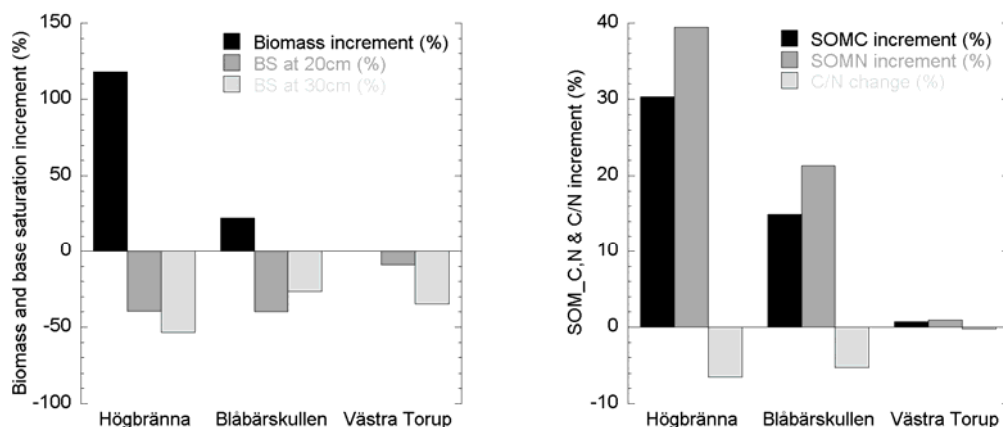
Figur 29. Förändringar i vegetationssammansättningen i V. Torup (det sydligaste beståndet) vid stamvedsuttag. De vertikala linjerna indikerar tidpunkt för förnyrningsavverkning. Figuren visar effekten både i det gödslade och ogödslade beståndet eftersom skillnaderna var så små.



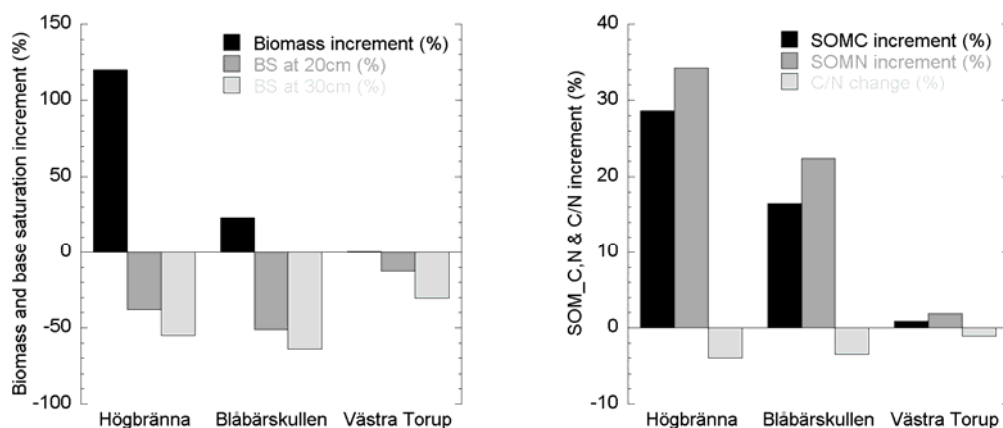
Figur 30. Förändringar i vegetationssammansättningen i V. Torup (det sydligaste beståndet) vid helträdsuttag. De vertikala linjerna indikerar tidpunkt för förnyrningsavverkning. Figuren visar effekten både i det gödslade och ogödslade beståndet eftersom skillnaderna var så små.

## 5.4 Slutsatser

Modellsimuleringarna visar att effekterna av kvävegödsling är stor i det norra beståndet medan de är mycket små i det södra beståndet (Figur 31 & Figur 32). Detta slår igenom i alla undersökta parametrar (biomassa, koncentrationen av kol och kväve i humuslagret, basmättnaden i mineraljorden och artsammansättningen). I det norra och det mellersta beståndet kan gödslingen ge omfattande ökning av biomassaproduktionen men bidrar samtidigt till att förrådet av utbytbara baskatjoner i marken lakas ut. Det verkar som att förlusten av baskatjoner är större i det mellersta beståndet än i det nordligaste beståndet. Detta beror troligen på att den direkta försurande effekten av kväve (det vill säga frigörelsen av vätejoner till markvattnet via nitrifikation) är hög i det mellersta beståndet, medan de indirekta effekterna av kväve (det vill säga ett ökat upptag av baskatjoner på grund av en högre tillväxt) är mer uttalad i det norra beståndet. Detta resonemang stöds av att förlusterna av baskatjoner i det mellersta beståndet är högre längre ned i mineraljorden, där rotupptaget är begränsat, än i de ytligare skikten. Förlusten av baskatjoner i det södra beståndet är mycket litet på grund av de redan låga koncentrationerna av baskatjoner i marken i detta bestånd (Figur 27c & Figur 28c).



Figur 31. De *relativa* förändringarna mellan scenario 1 och 2 i biomassa, basmättnad, C, N och C/N-kvoten i de tre bestånden som en konsekvens av kvävegödsling och stamvedsuttag.

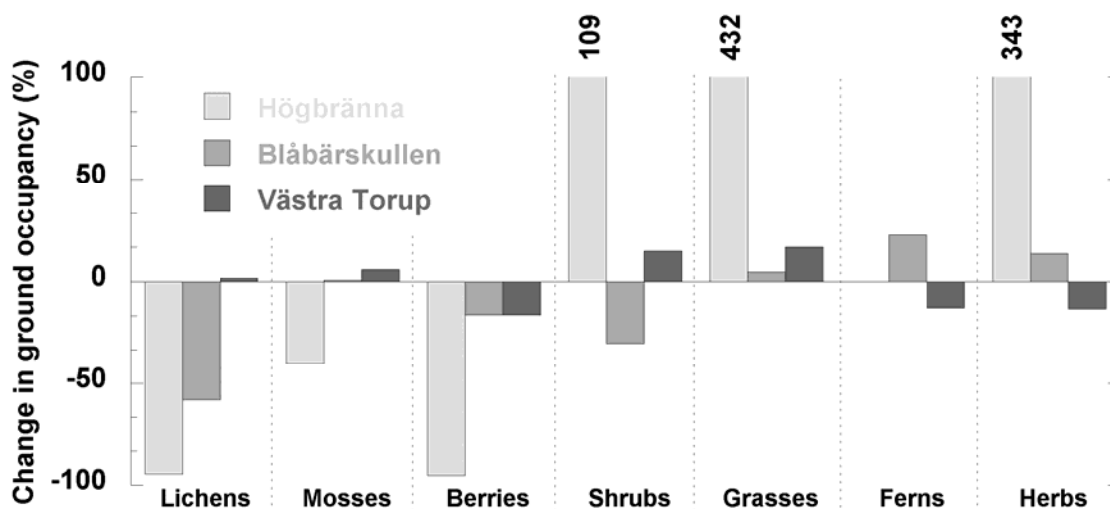


Figur 32. De *relativa* förändringarna mellan scenario 1 och 2 i biomassa, basmättnad, C, N och C/N-kvoten i de tre bestånden som en konsekvens av kvävegödsling och helträdsuttag.

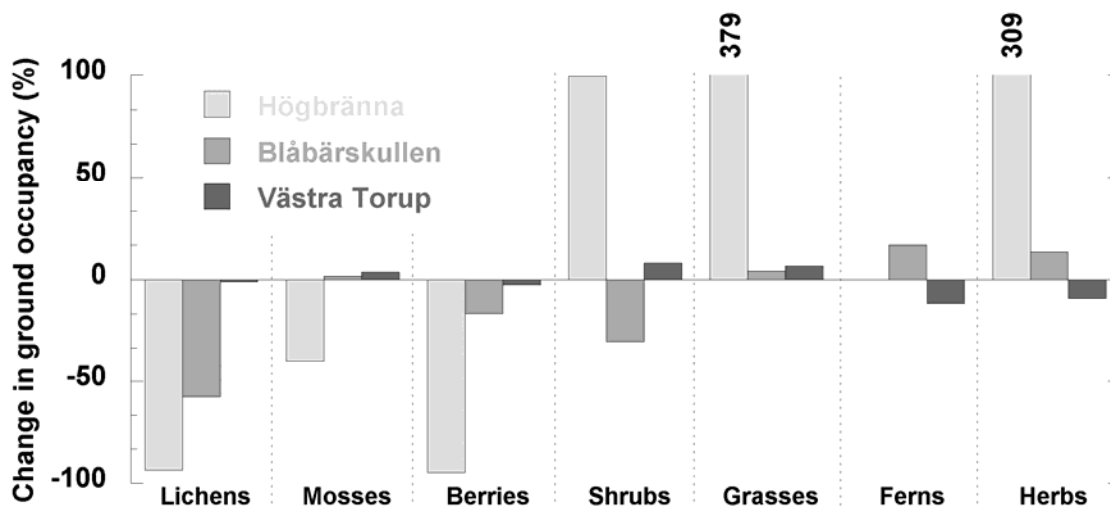


Effekterna av kvävegödsling på markens organiska material var likartad för det norra och det mellersta beståndet, med en högre ackumulering av kol och kväve i marken samtidigt som C/N-kvoten minskade något. Eftersom modellen inte tar hänsyn till den direkta immobiliseringen av oorganiskt kväve i marken är det möjligt att ackumuleringen av organiskt kväve underskattas och att minskningen av C/N-kvoten därmed också underskattas. Experimentella studier har dock visat att tillförsel av höga doser av kväve inte nödvändigtvis resulterar i en signifikant minskning av C/N-kvoten (Moldan m. fl., 2006). Detta innebär dock inte att risken för nitratutlakning minskar (Moldan m. fl., 2006) och modellen visar också att utlakning inträffar, framförallt efter gödslings-tillfällena (resultat ej presenterade här).

De förändringar som simuleringarna av vegetationssammansättningen visar indikerar att det vid gödsling sker en övergång från arter som gynnas av kvävefattiga förhållanden mot arter som gynnas av en hög kvävetillgång. Detta stämmer överens med empiriska resultat från Sverige och Europa (Diekmann & Falkengren-Grerup, 2002; Emmett, *under tryckning*). Modellen predikterar dock inte en förlust av det totala antalet arter i ett bestånd då kvävetillgången ökar på grund av gödsling eller deposition. Istället verkar det som om antalet arter ökar, även om vissa för den boreala skogen typiska arter som är anpassade till en låg kvävetillgång försvinner, särskilt på den nordliga lokalen där kvävebelastningen är låg (Figur 33 & Figur 34). Att jämföra antalet arter med biodiversitet kan vara vilseledande eftersom vissa grupper av arter kan försvinna trots att artantalet som helhet ökar. Detta exemplifieras av att förekomsten av lavar, mossor och bär minskar kraftigt i det nordliga beståndet (Figur 33 & Figur 34). Generellt är skillnaderna mellan stamveds- och helträdsuttag små. Det är framför allt under föryngringsfasen som antalet gräsarter och örter ökar i bestånd med stamvedsuttag på grund av en större tillgång på kväve.



Figur 33. Den *relativa* förändringen mellan scenario 1 och 2 i förekomsten av olika artgrupper i de tre bestånden som en konsekvens av kvävegödsling och stamvedsuttag.



Figur 34. Den *relativa* förändringen mellan scenario 1 och 2 i förekomsten av olika artgrupper i de tre bestånden som en konsekvens av kvävegödsling och helträdsuttag.

De tre bestånden kan sägas representera tre olika stadier på kvävemättnadsskalan. Det norra beståndet har nästan inget ackumulerat kväve i marken på grund av den låga historiska depositions-  
 nen. Det centrala beståndet är längre upp på skalan mot kvävemättnad och det södra beståndet  
 tycks ha nått den mättade nivån. Om informationen från de tre bestånden kombineras kan de ge en  
 referensram som kan användas vid diskussion om möjliga förändringar i andra bestånd som har  
 intermediära nivåer av kvävemättnad.

## 6 Sammanfattande diskussion

Syftet med denna rapport var att undersöka miljörisker till följd av kväveupplagring i skogsmark vid förändrade gödslingsrekommendationer. Regionala förutsättningar och miljörisker har beskrivits med utgångspunkt från modellerade effekter på kväveupplagring, biomassa, markkemi och art-sammansättning. Framtida klimatförändringar har inte beaktats i modellerna. Kväveupplagring har i denna rapport använts som en indikator på risken för en förhöjd kväveutlakning tillsammans med nuvarande och historisk kvävedeposition samt C/N-kvoten i skogsmark (vilket i sin tur är en indikation på beståndets nuvarande kvävestatus).

Kvävegödsling är en effektiv och lönsam åtgärd för att snabbt öka virkesvolymen och bruttointäkterna. Samtidigt är kvävegödsling förenat med vissa miljörisker. I en rapport av Thuresson (2002) framgick det att ett totalförbud av kvävegödsling skulle få stora konsekvenser på virkesförsörjningen, framför allt i norra Sverige, eftersom virkesuttaget överskrider den högsta möjliga uthålliga avverkningsnivån. Det är därför rimligt att anta att en hårdare reglering av kvävegödsling skulle försämra virkesbalansen samtidigt som vissa miljövinster kan göras.

I Skogsvårdslagen är produktionsmålet jämställt med miljömålet. Det innebär bland annat att skogen och skogsmarken ska brukas på ett ansvarsfullt men effektivt sätt för att ge en uthållig produktion *samtidigt* som den biologiska mångfalden ska säkras och ges förutsättningar att fortleva. Regeringen har även beslutat om inrättandet av sexton nationella miljö kvalitetsmål för att lösa de stora miljöproblemen. Ett flertal av dessa miljö mål har anknytning till detta arbete såsom *"Begränsad klimatpåverkan"*, *"Bara naturlig försurning"*, *"Ingen övergödning"*, samt *"Ett rikt växt- och djurliv"*. I en revidering av de allmänna råden (SKSFS 1991:2) bör således miljöriskerna ställas mot produktionsvinsterna och behandlas i ljuset av miljö kvalitetsmålen och eventuella målkonflikter. Ansvaret för hur de olika parametrarna skall viktas mot varandra är en myndighetsfråga. I denna rapport har endast miljöriskerna av förändrade gödslingsrekommendationer beskrivits och resultaten kan därför utgöra ett beslutsunderlag inför en revidering av de allmänna råden. Ingen avvägning har gjorts huruvida en miljörisk är mer allvarlig än en annan miljörisk, exempelvis om risken för kväveutlakning är mer allvarlig än risken för en förändrad markvegetation. Vidare har inte produktionsvinsterna diskuterats i relation till eventuella miljörisker.

Resultaten från denna studie bygger på statiska och dynamiska modellberäkningar. En modell är en förenkling av verkligheten och vissa antaganden om systemet måste göras. Trots detta är modeller ett användbart verktyg för att visa på generella mönster och förändringar. Resultaten från modellberäkningar bör, istället för att ses som en absolut sanning, användas för att diskutera de trender som kan uppkomma under de angivna förhållandena och ses som indikationer på vad som skulle kunna hända i framtiden. Modellerna har både styrkor och svagheter men kan tillsammans utgöra ett bra komplement vid miljökonsekvensbedömningar.

### 6.1 Påverkan på kväveupplagringen och risken för utlakning

Kväveförråden i skogsmarken har ökat stadigt under 1900-talet. Tidigare studier (Nohrstedt, 1993; Akselsson och Westling, 2005) tillsammans med resultaten från denna studie indikerar en fortsatt kväveupplagring i både tall- och granbestånd vid konventionellt stamvedsuttag, även om kvävedepositionen minskar. Generellt sker den största kväveupplagringen i södra Sverige och minskar norrut. Vid vilken kväveupplagring kväveutlakning påbörjas i skogsmarken går inte att avgöra i modellberäkningarna och inga studier har hittills lyckats beskriva sambandet. Det finns emellertid

indikationer på att en del skogsbestånd i södra Sverige läcker kväve, vilket skulle kunna vara ett tecken på en kvävemättnad. Den kväveupplagring som har skett i södra Sverige skulle därför kunna nyttjas som en indikation på risken för förhöjd kväveutlakning, tillsammans med kvävedeposition och C/N-kvot, men inte betraktas som ett absolut värde.

När ett bestånd gödslas svarar träden med att öka sitt krontak (Binkley, 1986) vilket är orsaken till den ökade stamvedsproduktionen. Samtidigt ökar förnafallet (Miller m. fl., 1976) och nedbrytningen av det organiska materialet (Berg m. fl., 1982). Sammantaget leder detta till att gödsling medför en uppbyggnad av markförrådet (Nohrstedt m.fl., 1989; Norhstedt, 1990). I denna studie påverkade kvävegödsling tydligt kväveupplagringen i marken men effekten skiljer sig åt beroende på region, biomassauttag och trädslag. Generellt ökar kväveupplagringen med ökad gödselgiva enligt nuvarande deposition. Kvävegödsling i kombination med helträdsuttag leder till kväveupplagring i tallbestånd i hela Sverige samt i granbestånd i södra Sverige. I granbestånd i mellersta och norra Sverige leder ett helträdsuttag till kväveupplagring först vid högre gödselgivor. Denna skillnad mellan gran och tall kan förklaras av att granen har ett högre näringsupptag.

I modellberäkningarna framkom det att ett ökat uttag av biomassa (helträd eller totalträd) och/eller minskad kvävedeposition minskar kväveförråden men kan i vissa fall leda till kväveförluster i granbestånd, utom i de sydvästra delarna av Götaland samt delar av Norrland. Ett ökat biomassauttag kan därför vara en metod för att minska kväveförråden i områden där risken för förhöjd utlakning är stor. I samband med uttaget förlorar marken emellertid inte enbart kväve, utan även andra viktiga näringsämnen såsom fosfor, kalcium, magnesium och kalium. Detta beror på att en stor del av näringen sitter i trädens grenar, toppar och barr. För att undvika eventuella tillväxtminskningar orsakad av biobrännsluttag, bör ett hel- eller totalträdsuttag åtföljas av kompensande åtgärder såsom askåterföring och att de näringsrika barren kvarlämnas i samband med föryngringsavverkning av granbestånd. Genom att föra tillbaka den näring som förlorades ut ur systemet sluts, teoretiskt sett, näringskretsloppet av samtliga ämnen utom kväve eftersom det förloras under förbränningsprocessen. På grund av att näringskretsloppet mellan skogen och värmeverken inte är helt och hållet slutet samt på grund av tekniska och ekonomiska faktorer kan skillnader mellan näringsuttag och näringsstillförsel uppstå (Olsson & Westling, 2006). Detta innebär att näringsförlusterna inte alltid kompenseras genom asktillförsel, framför allt om flygaska från CFB-pannor (cirkulerande fluidiserande bädd) används. Skogsstyrelsen rekommenderar en maximal tillförsel på 3 ton aska per hektar, vilket innebär att kompensation av kalium och fosfor inte alltid sker (Olsson & Westling, 2006). Beroende på målet med askåterföring kan kompensationsbehovet därför behöva differentieras.

**I område 1** rekommenderas inte kvävegödsling enligt nuvarande allmänna råd (SKSFS 1991:2), bland annat på grund av det nuvarande och historiskt höga nedfallet av kväve och risken för kväveutlakning till följd av minskade C/N-kvoter i marken. Resultaten från modellberäkningarna visar att kvävegödsling i detta område är möjligt utan betydande kväveupplagring förutsatt att gödsling åtföljs av ett helträdsuttag i granskog. I tallskog är kväveupplagringen hög oavsett biomassauttag, och risken för kväveutlakning ökar ytterligare vid gödsling. Risken för kväveutlakning, till följd av ökad kväveupplagring minskar från delområde 1a till delområde 1d. I delområde 1d ger två gödselgivor en kväveupplagring som är lägre än ackumuleringstakten i område 1a utan kvävegödsling. Modellberäkningarna i ForSAFE-VEG visar att tillväxteffekten som ett resultat av gödsling uteblir både vid ett stamveds- och helträdsuttag. Det bör dock poängteras att beståndet (V. Torup) i dagsläget redan förlorar kväve via utlakning vilket är ett tecken på kvävemättnad (Aber m. fl., 1989), vilket kan förklara den uteblivna tillväxteffekten och den förhöjda utlakningen.

Lämplig totalgiva måste betraktas utifrån lokalens kvävestatus innan risken för utlakning kan bedömas, eftersom historisk kvävedeposition, tidigare kväveupplagring och C/N-kvot inte har beaktats i modellberäkningarna. Kvävegödsling och helträdsuttag sker vid olika tidpunkter (kvävegödsling senast 10 år före avverkning och helträdsuttag i samband med föryngringsavverkning) varför kväveutlakning inte kan uteslutas under den tid som förflyter mellan kvävegödsling och helträdsuttag. Omsättningen och fördelningen av kväve i barrskog efter gödsling har bland annat studerats av Melin (1986) i ett gödslingsförsök i Västmanland. Försöken utfördes i en 50-årig barrblandskog, ett 35-årigt tallbestånd samt ett 120-årigt tallbestånd på podsolmark. Gödselgivan motsvarande 150 kg N per ha och år och bestod av åtta försöksled med ammoniumnitrat, urea samt <sup>15</sup>N kalciumnitrat. Två år efter gödsling hade mellan 0-27 % av det tillförda kvävet förlorats ur systemet via utlakning, denitrifikation och ammoniakavgång. Detta stämmer överens med andra gödslingsförsök (Moldan m. fl., 2006). I ett specialförsök studerades flödet av kväve och baskatjoner i marken efter gödsling med 150 kg ammoniumnitrat per ha i det 35-åriga tallbeståndet (Melin, 1986). Flödet studerades med hjälp av lysimetrar på 30 respektive 60 cm djup. Resultaten visade att 33 % av den tillsatta mängden gödselkväve lakades ut åtföljd av en stor mängd kalcium, men även magnesium, natrium och kalium, ett och ett halvt år efter gödslingstidpunkten. Dessa försök är utlagda i en del av Sverige som erhåller betydligt lägre kvävedeposition jämfört med de södra delarna. Det är möjligt att kväveutlakningen skulle ha varit ännu högre om försöken hade varit utlagd i södra Sverige. Storleken och varaktigheten på en eventuell kväveutlakning beror på områdets ursprungliga kvävestatus och antal gödselgivor. Gödsling av ett kväverikt system leder till en större kväveutlakning jämfört med kvävefattiga system (Emmett m. fl., 1998; Moldan m. fl., 2006). En upprepning av gödselgivan kan även i ett längre tidsperspektiv förändra kvävestatusen hos ett bestånd från ett kvävefattigt till ett kväverikare system. En sådan förändring leder till en lägre C/N-kvot och därmed en ökad risk för kväveutlakning.

Högre gödselgivor leder även till en ökad tillväxt vilket möjliggör ett ökat biomassauttag, vilket i sin tur leder till större näringsförluster av inte enbart kväve. Näringsförlusterna kan kompenseras via askåterföring men studier som beskriver kväveutlakning i gödslade och ask- eller kalkbehandlade bestånd är till författarnas kännedom bristfälliga, både i växande skog och under föryngringsfasen.

Kvävegödsling i **område 2** bedöms enligt nu gällande rekommendationer (300 kg N per ha och rotationsperiod) innebära en liten risk för förhöjd kväveutlakning till följd av ökad kväveupplagring med tanke på nuvarande och historisk kvävedeposition i kombination med de höga C/N-kvoterna, i både tall- och granbestånd. Vid högre gödselgivor ökar emellertid risken. Helträdsuttag i granskog minskar kväveupplagringen avsevärt, eftersom mer näring försvinner ut ur systemet. I tallskog ger helträdsuttag mindre påverkan på kväveupplagringen. Kvävegödsling leder till en ökad biomassaproduktion på 22 % (både i de fall ett helträds- och stamvedsuttag simulerades) fram till 2100 enligt modellberäkningar med ForSAFE-VEG men samtidigt sker en förlust av värdefulla baskatjoner i mineraljorden till följd av ökad utlakning. Detta medför att beståndets känslighet mot försurning ökar samtidigt som näringsförrådet i marken minskar.

I **område 3** bedöms kvävegödsling enligt nuvarande rekommendationer (600 kg N per ha och rotationsperiod) innebära en liten risk för förhöjd kväveutlakning till följd av ökad kväveupplagring, med tanke på det nuvarande och historiska kvävedeposition i kombination med de höga C/N-kvoterna, i både tall- och granbestånd. Ur närings synpunkt bör helträdsuttag i granbestånd begränsas i detta område eftersom näringsförlusterna kan leda till ett litet och kortvarigt produktionsbortfall i samband med föryngringsavverkning. Kvävegödsling i detta område leder till en kraftig ökning i biomassa med upp till 51 % (stamved) och 52 % (helträd). Den kraftiga ökningen kommer att leda till en stor förlust av utbytbara baskatjoner i mineraljorden (-37, stamved & -38 %, helträd) via biomassauttag. Förlusten kan minimeras genom askåterföring.

Även om jordbruk och tätorter ger de största antropogena bidragen till den totala kvävebelastningen på havet så ökar kraven att minimera även den antropogena delen av kväveutlakningen från skogsbruket. Åtgärder för att minska kväveutlakning från hygge är skogsbrukets del i arbetet med att uppnå miljökvalitetsmålet "Ingen övergödning". Risken för förhöjd utlakning kan reduceras med hjälp av ett ökat biomassauttag, trots att det innebär en viss förskjutning i tid. Vidare kan skärm-skogsbruk och anläggandet av vegetationsbårder vid vattendrag påverka utlakningen. Enligt Akselsson m. fl., (under tryckning), kan en skärmtäthet på minst cirka 200 träd per hektar (om träden antas vara 30 cm i brösthöjdsdiameter) leda till kvävehalter i markvattnet som motsvarar nivåer i slutna bestånd även i områden med hög kvävebelastning. I glesare skärmar och i större luckor kan förhöjda kvävehalter uppstå (den högsta uppmätta halten av oorganiskt kväve var 7.4 mg/l). Höga halter kväve i markvatten är vanligast i områden med hög kvävedeposition. Om detta kväve når grund- och ytvatten beror på topografi, hydrologi och markegenskaper i området. Även Westling m. fl., (2004) demonstrerade att hyggen med riståkt visade på en tendens till minskad kväveutlakning, vilket kvarstod när hyggeseffekten hade avtagit.

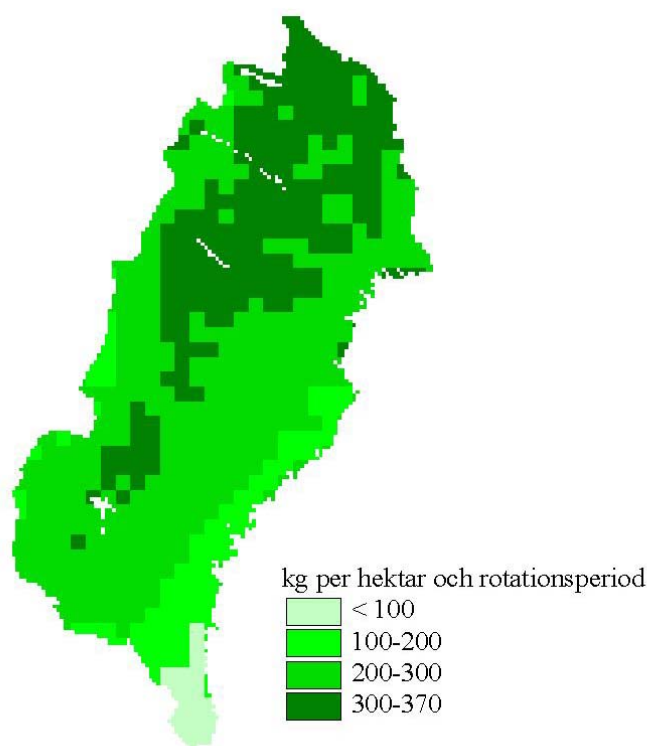
## 6.2 Påverkan på markvegetationen

I den senaste konsekvensbedömningen av Högbom & Jacobson (2002), konstaterades att kvävegödsling "inte hotar den biologiska mångfalden". Inte heller ledde skogsgödsling till "en radikal förändring i artsammansättning i det efterföljande beståndet". Dessa slutsatser har delvis kritiserats för att vara bristfällig eftersom försöken som slutsatserna grundar sig på är utlagda i områden med en relativt hög kvävedeposition. Det är rimligt att anta eventuella gödslingseffekter uteblev eller maskerades av det senaste århundradets kvävenedfall. Efter det att denna konsekvensbedömning skrevs har ny forskning framkommit som behandlar riskerna med kvävetillförsel i lågbelastade områden. Enligt både Emmett (2006, in press) och Nordin m. fl., (2005) uppträder de snabbaste och största förändringarna i lågbelastade områden. Påverkan yttrar sig som en minskning av betydelsefulla nyckelarter (blåbär och lingon) till fördel för nya arter (gräs) samtidigt som skadeangreppen på bärris ökar (Nordin m. fl., 2005). Effekterna har dessutom visat sig långvariga (Strengbom m. fl., 2001). Detta stämmer väl överens med resultaten från våra modellberäkningar (ForSAFE-Veg). Modellberäkningarna visar även att effekterna av gödsling under den första rotationsperioden är relativt kortlivade, men under den andra rotationsperioden orsakar gödslingen kroniska förändringar av vegetationssammansättningen.

Sett i ljuset av senare tids studier, kan nuvarande gödslingsrekommendationer (SKSFS 1991:2) upplevas som motsägelsefulla eftersom risken för långvariga förändringar på befintlig markvegetation är störst just i de områden där de högsta gödselgivorna tillåts. I ett europeiskt perspektiv är den norrländska skogen med dess biodiversitet unik eftersom den aldrig har påverkats av ett högt kvävenedfall. Frågan som bör ställas är hur mycket kväve detta system kan tåla utan att den biologiska mångfalden äventyras? Enligt Nordin m. fl., (2005) bör den kritiska belastningen för kvävenedfall till boreala skogar sättas till 6 kg N per ha och år för att begränsa påverkan på markvegetationens mångfald, vilket är lägre än den nuvarande rekommenderade gränsen på 10-15 kg per ha och år. Eftersom gränsen baseras på empiriska studier antas kvävefixeringen vara medräknad.

Räknat på en rotationsperiod på 100 år innebär detta en total kvävetillförsel på 600 kg N per ha, vilket är i samma storleksordning som den maximala tillåtna kvävegivan enligt nuvarande gödslingsrekommendationer. Därmed lämnas inget extra utrymme för eventuell kvävegödsling.

Kvävedepositionen i norra Sverige (område 3) underskrider emellertid denna siffra och uppgår maximalt till 4.8 kg per ha och år, vilket lämnar ett gödslingsutrymme på upp till 370 kg N per ha och rotationsperiod (Figur 35). Eftersom engångsgivan inte bör överstiga 150 kg N per ha innebär detta i praktiken 300 kg per ha och rotationsperiod. Motsvarande jämförelse enligt nuvarande kritisk belastningsgräns (10-15 kg per ha och år) innebär inte någon korrigerig av nuvarande total gödselgiva på 600 kg N per ha och rotationsperiod.



Figur 35. Skillnaden mellan kritisk belastningsgräns (föreslagen, enligt Nordin m. fl., 2006) och total kvävedeposition ( $\text{NO}_3\text{-N}$  och  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) i barrskog i Norrland. Skillnaden anger det möjliga gödslingsutrymmet utan att den biologiska mångfalden hotas.

Frågan vilken skada ett visst överskridande skulle medföra på den biologiska mångfalden är svår att besvara. Enligt Nordin m. fl. (2006) skedde det en fördubbling av andelen kruståtel och effekterna inträffade oavsett om dosen var 12.5 eller 50 kg kväve per ha. Detta indikerar att det inte sker en successiv försämring utan att förändringarna är mer direkta och absoluta. Detta talar mot även ett litet överskridande av den kritiska belastningsgränsen.

En sänkning av gödselgivan i norra Sverige skulle vara i linje med det arbete som utförs för att bevara den biologiska mångfalden. För att stoppa den förlust av biologisk mångfald som sker, åtog sig Sverige vid toppmötet i Johannesburg 2002 att bevara och nyttja den biologiska mångfalden på

ett hållbart sätt. På nationell nivå antogs nyligen ett sextonde miljö kvalitetsmål ”Ett rikt växt- och djurliv” för att bidra till detta mål inom en generation. Vikten av att bevara skyddsvärda arter ligger inte endast i betydelsen av att bevara den biologiska mångfalden i skogen, utan även nyttja de som en indikator på systemförändringar orsakad av högre kvävetillförsel (vad Dobben m. fl., 1999). Förändringar i markvegetationen mot arter som är mer anpassad till en högre kvävetillgång och lägre pH, vilket normalt är associerat till områden med högt kvävenedfall, visar att en förlust av indikatorarter redan håller på att försvinna i södra Sverige (Diekmann and Falkengren-Grerup, 2002). Att bevara dessa arter innebär inte endast att den biologiska mångfalden bevaras utan samtidigt erbjuder de en ekologisk tjänst.

I Sverige pågår ett arbete med att försöka katalogisera och bevara skyddsvärda arter (Dahlberg, personlig kommunikation). Arbetet sker inom Artdatabanken som tillhandahåller information om statusen hos olika arter i Sverige beträffande förekomst och risk för utrotning. ArtDatabanken håller för närvarande på att klassificera alla rödlistade arter från rödlistan 2005 beroende på vilka habitat och på vilka substrat de förekommer. Dessutom klassificeras arternas autekologi (den enskilda artens förhållande till sin miljö) och vilken betydelse olika miljöeffekter bedöms ha för artens fortlevnad. Denna klassificering påbörjades den 1 oktober 2006 och beräknas vara klar den 31 juli 2007. I detta sammanhang klassas i vilka skogstyper alla skogslevande arter förekommer. All klassning görs semikvantitativt, i en 3 gradig skala för att ange hur betydelsefull i detta fall olika skogstyper är för artens förekomst och för att kunna sortera bort ströfynd från skogstyper som är av helt underordnad betydelse för en art. Dokumenterad och bedömd känslighet för skogsgödsling kommer att ingå i denna klassning. Uppgifterna skulle kunna användas vid en bedömning av lämpligheten att gödsla ett visst skogsområde.

Skogsgödsling enligt nuvarande rekommendationer kan utgöra ett potentiellt hot mot den biologiska mångfalden i norra Sverige, särskilt som användningen av gödselmedel förväntas öka i framtiden. I södra Sverige har förändringar redan inträffat till följd av det senaste århundradets kvävenedfall. Detta indikerar att ytterligare kvävetillskott, exempelvis via gödsling, får en mindre effekt på markvegetationen i de södra delarna av Sverige, jämfört med de norra delarna, där motsvarande nedfall inte har skett. Ett möjligt sätt att minimera effekterna av gödsling kan vara avsättandet av gödslingsfria reservat eller anpassa innehållet i gödselmedlet för att skydda särskilda artgrupper (Nordin m. fl., 2006).



## 7 Huvudslutsatser och rekommendationer

Följande bedömning grundar sig på modellerade effekter på kväveupplagring, biomassa, markkemi och artsammansättning till följd av skogsmarksgödsling vid olika scenarier för skogsskötsel och kvävedeposition. Observera att resultaten endast baseras på de bestånd som uppfyller kraven på gödselvärd skog. Resultaten från våra modellberäkningar tyder på att:

- Kvävegödsling vid konventionellt stamvedsuttag ökar risken för kväveutlakning genom en ökad kväveupplagring, i områden som har haft ett historiskt högt nedfall av kväve och låga C/N-kvoter i marken. Storleken och varaktigheten på en eventuell kväveutlakning beror på systemets ursprungliga kvävestatus samt antalet gödselgivor. Risken för kväveutlakning kan minimeras genom skötselanpassningar såsom skärmställningar och kantzoner samt genom ökat biomassauttag.
- Ett ökat biomassauttag via helträds-, eller totalträdssuttag i granbestånd, leder till ökade näringsförluster (kväve och baskatjoner) och därmed en risk för tillväxtminskningar i kommande rotationsperiod. Ett ökat biomassauttag kan vara en metod för att minska kväveupplagringen i områden med hög risk för kväveutlakning. Risken för tillväxtminskningar har i empiriska studier emellertid visat sig vara små och tillfälliga och kan, liksom en sänkt motståndskraft mot försurning, motverkas genom kompenserande åtgärder såsom askåterföring. I askan återfinns i stort sett all den näring som ursprungligen fanns i bränslat, med undantag av kväve. Genom att även lämna kvar barr i samband med föryngringsavverkning i granbestånd minskar risken ytterligare.
- Om kvävegödsling utförs i södra Sverige (område 1a-d, sid. 20) ökar kväveupplagringen, och därmed risken för förhöjd kväveutlakning, i både tall- och granbestånd. Detta gäller framför allt i de sydvästra delarna. Kväveutlakning till följd av kväveupplagring kan motverkas genom helträdsutnyttjande i granbestånd men i tallbestånd är effekten betydligt mindre. Tidpunkten för kvävegödsling och helträdsuttag skiljer sig dock åt i tiden (10 år) varför en ökad risk för kväveutlakning under denna tid inte kan bortses från till följd av låga C/N-kvoter i marken. På grund av det nuvarande och historiska kvävenedfallet är det också tveksamt om gödslingen alla gånger ger den tilltänkta tillväxteffekten.
- Om kvävegödsling utförs i mellersta Sverige (område 2, sid. 20) ökar kväveupplagringen. Risken för förhöjd kväveutlakning bedöms som liten vid lägre gödselgivor, i både tall- och granbestånd. Kvävegödsling i kombination med helträdsuttag i granbestånd minskar risken för kväveupplagring. Denna minskning är inte lika kraftig i tallbestånd. Kvävegödsling ger en tydlig effekt på tillväxten.
- Om kvävegödsling utförs i norra Sverige (område 3, sid. 20) ökar kväveupplagringen. Risken för förhöjd kväveutlakning bedöms som liten i både tall- och granbestånd. Helträdsuttag i granbestånd minskar kväveupplagringen och kan leda till näringsförluster och risk för tillväxtminskningar. Kvävegödsling ger en tydlig effekt på tillväxten.

- Modellberäkningarna visar att kvävegödsling leder till kraftiga vegetationsförändringar jämfört med dagens vegetationssammansättning i område 3 men inte i område 1a-d och 2, där betydande förändringar troligtvis redan har ägt rum till följd av ett högt kvävenedfall. Under den första rotationsperioden är effekterna av gödslingen relativt kortlivade, men under den andra rotationsperioden orsakar gödslingen sannolikt irreversibla förändringar av vegetationssammansättningen i näringsfattiga bestånd.
- Nya försök bör upprättas med realistiska givor, intervall och gödselbestånd för att närmare studera kväveutlakning under hyggesfasen samt vad som händer i bestånd som både gödslas och ask- eller kalkbehandlas. Vidare bör risken för förhöjd kväveutlakning studeras mellan den tidpunkt som gödsling äger rum och det helträdsuttag som sker i samband med förnygringsavverkning, i högbelastade områden. Slutligen bör ett effektuppföljningsprogram för studier av praktisk skogsmarksgödsling etableras med avseende på kväveutlakning och vegetationsförändring, för framtida anpassning av allmänna råd och rekommendationer.

## 8 Tack

Vi vill passa på och rikta ett särskilt tack till Staffan Jacobson och Folke Petterson, båda från Skogforsk, för hjälp med att beräkning av gödslingseffekten i modellberäkningarna. Vi tackar även Anders Dahlberg, Artdatabanken för information om den framtida klassificeringen av rödlistade arter, Annemieke Gärdenäs, Institutionen för Markvetenskap, SLU, för tillsänt material samt Annika Nordin, Institutionen för skoglig genetik och genfysiologi, SLU Umeå; Erik Valinger, Institutionen för skogsskötsel och skogsproduktion, SLU Umeå; Göran Örlander, Södra och Eva Ring, SkogForsk för värdefulla synpunkter under arbetets gång. Slutligen vill vi tacka Asta-programmet (finansierat av MISTRA), inom vilket en stor del av den tidiga modellutvecklingen och har ägt rum samt insamlingen av data.

## 9 Referenser

- Aber, J. D., Nadelhoffer, K. J., Steudler, P., Melillo, J., 1989. Nitrogen saturation in northern forest ecosystem. *Bioscience* 39, 379-386
- Aber, J. D., Federer, C. A., 1992. A generalized, lumped-parameter model of photosynthesis, evapotranspiration and net primary production in temperate and boreal forest ecosystems. *Oecologia* 92, 463-474
- Adamson, J.K., Hornung, M. 1990. The effect of clearfelling a Sitka Spruce (*Picea Sitchensis*) plantation on solute concentrations in drainage water. *Journal of Hydrology* 116, 287-297
- Ahtiainen, M., Huttunen, P. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environment Research* 4, 101-114
- Akselsson, C., Westling, O., Örlander, G. 2004. Regional mapping of nitrogen leaching from clearcuts in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 202, 235-243
- Akselsson, C., Westling, O. 2005. Regionalized nitrogen budgets in forest soils for different deposition and forestry scenarios. *Global Ecology and Biogeography* 14, 85-95
- Akselsson, C., Westling, O., Örlander, G. 2006. Skogsskötsel och vattenkvalitet. En sammanställning av resultat från skärm- och bärd försök inom SUFOR.. *Under tryckning*
- Alveteg, M., 1998. Dynamics of forest soil chemistry. PhD-thesis, Department of Chemical Engineering II, Lund University, Lund, Sweden
- Andersson, P., 2002. Nitrogen turnover in Swedish spruce forest ecosystems. Effects of nitrogen deposition. Doktorsavhandling. SLU, Uppsala
- Andersson, P., Berggren, D. och Nilsson, I. 2002. Indices for nitrogen status and nitrate leaching from Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in Sweden. *Forest Ecology and Management* 157, 39-53
- Belyazid, S., 2006. Dynamic modeling of biogeochemical processes in forest ecosystems, Ph.D. thesis, Lund University
- Belyazid, S., Westling, O., Sverdrup, H., 2006. Modeling changes in forest soil chemistry at 16 Swedish coniferous forest sites following deposition reduction. *Environmental Pollution* 144, 596-609
- Berg, B., Wessén, B., Ekbohm, G. 1982. Nitrogen level and decomposition in Scots pine needle litter. *Oikos* 38, 291-296
- Binkley, D. 1986. Forest Nutrition Management. John Wiley, New York. 290 sid
- Bredemeier, M., Blanck, K., Xu, Y.-J., Tietema, A., Boxman, A. W., Emmett, B., Moldan, F., Gundersen, P., Schleppi, P., Wright, R. F. 1998. Input-output budgets at the NITREX sites. *Forest Ecology and Management* 101, 57-64
- Carroll, J.A., Johnson, D., Morecroft, M., Taylor, A., Caporn, S.J.M., Lee, J.A., 2000. The effect of long-term nitrogen additions on the bryophyte cover of upland acidic grasslands. *Journal of Bryology* 22, 83-89
- Davidson, E., Myrold, D. D., Groffman, P. M. 1990. Denitrification in temperate forest ecosystems. In: Gessel, S. P., Lacate, D. S., Weetman, G. F., Powers, R. F. (eds). Sustained Productivity of Forests, pp. 196-220. University of British Columbia, Faculty of Forestry Publication, Vancouver.

- DeLuca, H., Zackrisson, O., Nilsson, M.-C., Sellstedt, A. 2002. Quantifying nitrogen-fixation in feather moss carpets of boreal forests. *Nature* 419, 917-920
- Diekmann, M., Falkengren-Grerup U., 2002. Prediction of species response to atmospheric nitrogen deposition by means of ecological measures and life history traits. *Journal of Ecology* 90, 108-120
- Dise, N.B., Matzner, E., Gundersen, P. 1998. Synthesis of nitrogen pools and fluxes from European forest ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* 105, 143-154
- Egnell, G., Nohrstedt, H.-Ö., Weslien, J., Westling, O., Örlander, G. 1998. Miljökonsekvensbeskrivning av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen rapport 1-1998. Jönköping, Sverige.
- Egnell, G., Leijon, B. 1999. Survival and growth of planted seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* after different levels of biomass removal in clear-felling. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14, 303-311
- Emmett, B. A., Boxman, D., Bredemeier, M., Gundersen, P., Kjonaas, O. J., Moldan, F., Schleppi, P., Tietema, A., Wright, R. F. 1998. Predicting the effects of atmospheric nitrogen deposition in conifer stands: Evidence from the NITREX ecosystem-scale experiments. *Ecosystems* 1, 352-360
- Emmett, B. A., Jones, M. L. M., Jones, H., Wildig, J., Williams, B., Davey, M., Carroll, Z., Healey, M. 2004. Grazing/Nitrogen deposition interactions in upland acid moorland. Contract report to Countryside Council for Wales (Contract no. FV-73-03-89B) and the National Assembly for Wales (Contract No. 182-2002). pp. 96
- Emmett, B.A. 2006 Nitrogen saturation of terrestrial ecosystems: some recent findings and their implications for our conceptual framework. *Water, Air and Soil Pollution. Under tryckning*
- Eriksson, H. & Karlsson, K. 1997. Olika gallrings- och gödslingsregimers effekter på beståndsutvecklingen baserat på långliggande experiment i tall- och granbestånd i Sverige. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion, Rapport 42, 135 pp
- Gundersen, P., Callesen, I., de Vries, W. 1998. Nitrate leaching in forest ecosystems is related to forest floor C/N ratios. *Environmental Pollution* 102, 403-407
- Gärdenäs, A., Eckersten, H., Lillemägi, M. 2002. Modellering av N-balans över en hel omloppstid. Rapport till N-2002
- Haddad, N. M., Haarstad, J., Tilman, D. 2000. The effects of long-term nitrogen loading on grassland insect communities. *Oecologia* 124, 73-84
- Hallgren Larsson, E., Knulst, J., Malm, G., Wesling, O. 1995. Deposition of acidifying compounds in Sweden. *Water, Air and Soil Pollution* 85, 2271-2276
- Hellsten, S., Westling, O., Larsson, P-E. 2006. Miljökonsekvenser för vattenkvalitet. Underlagsrapport inom projekt Stormanalys. Skogsstyrelsen Rapport 10-2006. Skogsstyrelsen, Jönköping. 33 sid.
- Hermann M., Sharpe, W.E., DeWalle, D.R. och Swistock, B.R. 2001. Nitrogen export from watershed subjected to partial salvage logging. In: J. Galloway, E. Cowling, J. Willem Erisman, J. Wisniewski and C. Jordan (eds.), *Optimizing Nitrogen Management in Food and Energy Production and Environmental Protection: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Nitrogen Conference on Science and Policy*. The Scientific World 1, pp. 440-448

- Högbom, L., Jacobson, S. 2002. Kväve 2002 – en konsekvensbeskrivning av skogsgödsling i Sverige. SkogForsk Redogörelse nr 6, 2002
- Jacobson, S., Mattson, S. 1998. ”Snurran” – an Excel program for calculating site nutrient levels in logging residues. The Forestry Research Institute of Sweden, Report no. 1. Tryckeri AB Primo, Oskarshamn, Sweden
- Jacobson, S. 2001. Fertilization to increase and sustain tree growth in coniferous stands in Sweden. Doktorsavhandling. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala 2001
- Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L., Sikström, U. 2005: Skogsgödsling – en handledning från Skogforsk
- Lindroth, A. 1987. Kvävetillförsel kan orsaka kronutglesning. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 3, 9-17
- Lindström G, Gardelin M, 1992. In: Sandén P, Warfvinge P (Eds.). Modelling Groundwater Response to Acidification. Report from the Swedish integrated groundwater acidification project. Reports Hydrology, SMHI, Norrköping, Sweden, pp. 33-36
- LUSTRA, 2005. LUSTRA Årsrapport 2005. <http://www-lustra.slu.se/>
- Löfgren, S., Brandt, M., 2005. Kväve och fosfor i skogsmark, fjäll och myr i norra Sverige, Rapportserie SMED och SMED & SLU Nr. 14, 2005
- Melin, J, 1986. Omsättning och fördelning av gödselkväve i tre barrskogsekosystem i mellansverige. Doktorsavhandling, Sveriges universitet för lantbruksstudier, Uppsala, Rapport 55, ISSN 0348-3398
- Miller, H. G., Cooper, J. M., Miller, J. D. 1976. Effect of nitrogen supply on nutrients in litter fall and crown leaching in a stand of Corsican pine. *Journal of Applied Ecology* 13, 233-248
- Moldan, F., Kjønaas, O.J., Stuanes, A.O., Wright, R.F. 2006. Increased nitrogen in runoff and soil following 13 years of experimentally increased nitrogen deposition to a coniferous-forested catchment at Gårdsjön, Sweden. *Environmental Pollution* 144, 610-620
- Nettelbladt, A., Westling, O., Akselsson, C., Svensson, A., Hellsten, S. 2006. Luftföroreningar i skogliga provytor – Resultat till och med september 2005. IVL Rapport B 1682
- Nilsson C., Stjernquist I., Barring L., Schlyter P., Jönsson A. M., Samuelsson H. 2004. Recorded storm damage in Swedish forests 1901-2000. *Forest Ecology and management* 199, 165-173
- Nilsson, J. (red) 1986. Critical loads for nitrogen and sulphur. Nordiska Ministerrådet, NORD Miljörapport 1986:11
- Nilsson, B. I., Berggren, D., Westling, O. 1998. Retention of deposited NH<sub>4</sub>-N and NO<sub>3</sub>-N in coniferous forest ecosystem in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13, 393-401
- Nilsson, U., Örlander, G. 1999. Vegetation management on grass dominated clearcuts planted with Norway spruce in southern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 29, 1015-1026
- Nohrstedt, H-Ö. , Arnebrandt, K., Bååth, E., Söderström, B. 1989. Changes in carbon, respiration, ATP and microbial biomass in nitrogen fertilized pine forest soils in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 19, 323-328
- Nohrstedt, H-Ö. 1990. Effects of Repeated Nitrogen Fertilization with different Doses on Soil Properties in a *Pinus sylvestris* Stand. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5, 3-15
- Nohrstedt, H-Ö. 1993. Den svenska skogens kvävestatus. SkogForsk, Redogörelse nr. 8, 1993

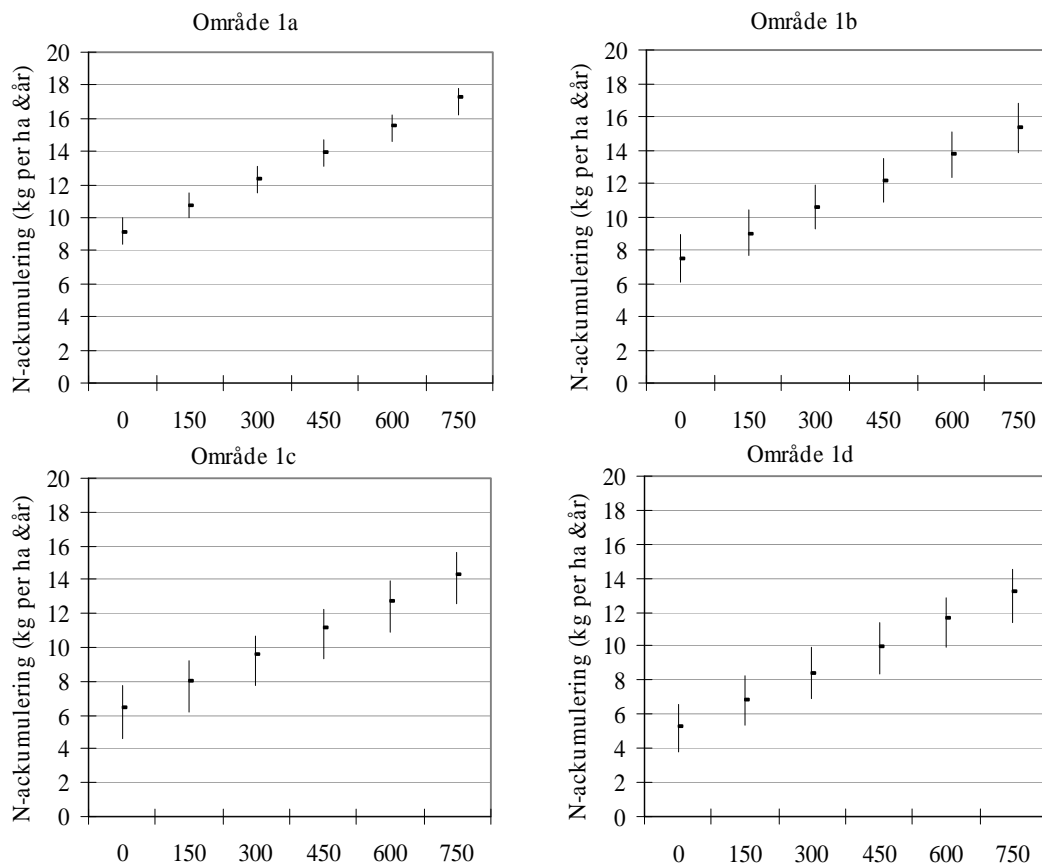
- Nohrstedt, H-Ö., Ring, E., Klemedtsson, L., Nilsson, A. 1994. Nitrogen losses and soil-water acidity after clear-felling of fertilized experimental plots in a *Pinus sylvestris* stand. *Forest Ecology and management* 66, 69-86
- Nohrstedt, H-Ö., Westling, O. 1995. Miljökonsekvensbeskrivning av STORA SKOGS gödslingsprogram. Del 1, faktaunderlag. IVL Rapport B1218
- Nohrstedt, H-Ö., Sikström, U., Ring, E., Näsholm, T., Högberg, P., Persson, T. 1996. Nitrate in soil water in three Norway spruce stands in southwest Sweden as related to N-deposition and soil, stand and foliage properties. *Canadian Journal of Forest Research* 26, 836-848
- Nordin, A., Näsholm, T., Ericson, L. 1998. Effects of simulated N deposition on understorey vegetation of boreal coniferous forest. *Functional Ecology* 12, 691-699.
- Nordin, A., Ericson, L. 2003. Kväve – ett hot mot den biologiska mångfalden i boreala skogar? Årsrapport 2003. Asta-programmet. IVL Göteborg
- Nordin, A., Strengbom, J., Witzell, J., Näsholm, T., Ericson, L. 2005. Nitrogen deposition and the biodiversity of boreal forests: implications for the nitrogen critical load. *Ambio* 34, 20-24
- Nordin, A., Strengbom, J., Ericson, L. 2006. Responses to ammonium and nitrate additions by boreal plants and their natural enemies. *Environmental Pollution* 141, 167-174
- Olsson, B., Westling, O. 2006. Skogsbränslecykelns näringsbalans. IVL Rapport B1669
- Persson, T., Nilsson, L-O. (eds.) 2001. Skogabyförsöket. Effekter av långvarig kväve- och svavel-tillförsel till ett skogsekosystem. Naturvårdsverket, Rapport 5173, 220 pp
- Persson, C., Ressner, E., Klein, T. 2004. Nationell miljöövervakning – MATCH-Sverige modellen – Metod- och resultatsammanställning för åren 1999-2002 samt diskussion av osäkerheter, trender och miljömål. Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Meteorologica, Nr. 114, 2004
- Persson, C., Kahnert, M. 2006. Återanalys av föroreningsdepositionen till Sverige 2002-2004. SMHI-Rapport Nr. 2006-8
- Pettersson, F. 1994a. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years. SkogForsk, Report no. 3
- Pettersson, F. 1994b. Predictive functions for calculating the total response in growth to nitrogen fertilization, duration and distribution over time. SkogForsk, Report no. 4
- Regeringskansliet 2006. På väg mot ett oljefritt Sverige. Statsrådsberedningen, Kommissionen mot oljeberoende, Infomaterial, (<http://www.regeringen.se/sb/d/6316/a/66280>)
- Rosén, K., Lundmark-Thelin, A. 1987. Increased nitrogen leaching under piles of slash-a consequence of modern forest harvesting techniques. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2, 21-29
- Rosén, K., Aronson, J.-A., Eriksson, H.M. 1996. Effects of clear-cutting on streamwater quality in forest catchments in central Sweden. *Forest Ecology and Management* 83, 237-244
- Rosvall, O. 2002. ”Rätt” proveniens skadas mindre av Gremmeniella – och det går att förädla för ökad motståndskraft. SkogForsk Rapport nr.5, 2002
- Sikström, U. 2001. Growth and nutrition of coniferous forest on acidic mineral soil – status and effects of liming and fertilization. Doktorsavhandling. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala 2001

- Sikström, U., Albrektsson, A., Näsholm, T., Bergh, J. 2001. Effekter på skogsproduktion av markförsurning och motåtgärder. Skogsstyrelsen Rapport 11F. 44 sid
- SKSFS, 1991. Skogsstyrelsens allmänna råd till ledning för användning av kvävegödselmedel på skogsmark. Skogsstyrelsens författningssamling, SKSFS 1991:2.
- Skogsstyrelsen, 1985a. Gallringsmallar – Södra Sverige, Skogsstyrelsen, tionde tryckningen 2005, Danagårds Grafiska, Ödeshög, Best nr: 0063
- Skogsstyrelsen, 1985b. Gallringsmallar – Norra Sverige, Skogsstyrelsen, nionde tryckningen 2006, Danagårds Grafiska, Ödeshög, Best nr: 0062
- Skogsstyrelsen 2001. Skogliga Konsekvens-Analyser. Skogens möjligheter på 2000-talet. Skogsstyrelsen, Jönköping. 15 sid.
- Staaf, H., Olsson, B. A. 1994. Effects of slash removal and stump harvesting on soil water chemistry in a clearcutting in SW Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9, 305-310
- Staaf, H., Persson, T., Bertills, U. (eds.) 1996. Skogsmarkskalkning. Resultat och slutsatser från Naturvårdsverkets försöksverksamhet. Naturvårdsverket, Rapport 4559, 290 pp
- Stevens, C. J., Dise, N. B., Mountford, J. O., Gowing, D. J. 2004. Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. *Science* 303 1876-1879
- Strengbom, J., Nordin, A., Näsholm, T., Ericson, L. 2001. Slow recovery of boreal forest ecosystem following decreased nitrogen input. *Functional Ecology* 15, 451-457
- Strengbom, J., Nordin, A., Näsholm, T., Ericson, L. 2002. Parasitic fungus mediates vegetational change in nitrogen exposed boreal forest. *Journal of Ecology* 90, 61-67
- Strengbom, J., Olofsson, J., Witzell, J., Dahlgren, J. 2003a. Effects of repeated damage and fertilization on palability of *Vaccinium myrtillus* to grey sided voles, *Clethrionomys rufocanus*. *Oikos* 103, 133-141
- Strengbom, J., Walheim, M., Näsholm, T., Ericson, L. 2003b. Regional differences in the occurrence of understory species reflect nitrogen deposition in Swedish forests. *Ambio* 32, 91-97
- Strengbom, J., Näsholm, T., Ericson, L. 2004. Light, not nitrogen, limits growth of the grass *Deschampsia flexuosa* in boreal forests. *Canadian Journal of Botany* 82, 430-435
- Sverdrup H, Alveteg M, Langan S, Paces T, 1995. Biogeochemical catchments of small catchments using PROFILE and SAFE. In: ST Trudgill (Ed.). Solute Modelling in Catchment Systems. John Wiley & Sons Ltd, pp. 75-99
- Tietema, A. 1998. Microbial carbon and nitrogen dynamics in coniferous forest floor material collected along a European nitrogen depositions gradient. *Forest Ecology and Management* 101, 29-36
- Thuresson, T. 2002. Skogsmarksgödsling – effekter på skogshushållning, ekonomi, sysselsättning och miljön. Skogsstyrelsen Meddelande 6-2002. Skogsstyrelsen, Jönköping. 37 sid.
- Valinger, E. 1990. Inverkan av gallring, gödsling, vind och trädstorlek på tallens utveckling. Doktorsavhandling. Institutionen för skogsskötsel. Sveriges Lantbruksuniversitet. ISBN 91-576-4223-0
- Valinger, E., Lundqvist, L. 1992. The influence of thinning and nitrogen fertilization on the frequency of snow and wind induced stand damage in forests. *Scottish Forestry* 46, 311-320

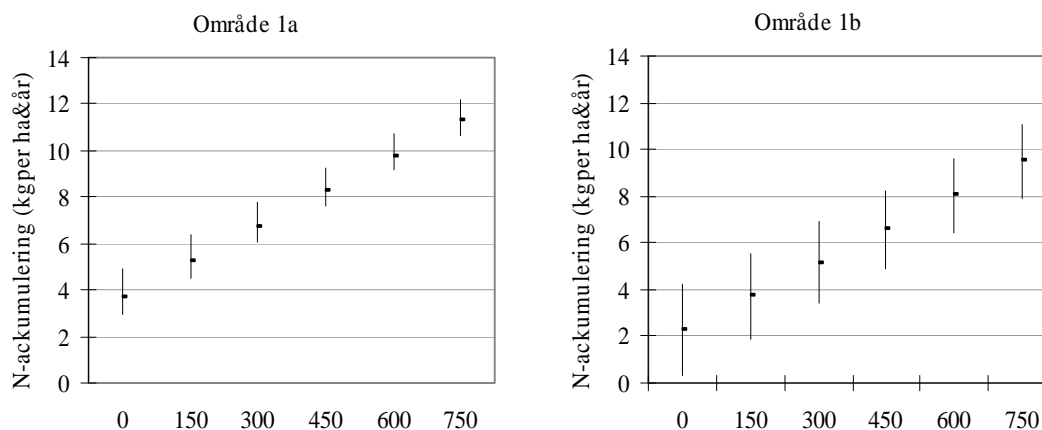
- Valinger, E., Ottosson Lövenius, M., Johansson, U., Fridman, J., Claeson, S., Gustafsson, Å., 2006. Analys av riskfaktorer efter stormen Gudrun. Skogsstyrelsen Rapport 8-2006
- Van Dobben, H.F., ter Braak, C.J.F., Dirkse, G.M., 1999. Undergrowth as a biomonitor for deposition of nitrogen and acidity in pine forest. *Forest ecology and management* 114, 83-95
- Wallman, P., Svensson, M., Sverdrup, H., Belyazid, S., 2005. ForSAFE - an integrated process-oriented forest model for long-term sustainability assessments. *Forest Ecology and Management* 207, 19-36
- Wallman, P., Belyazid, S., Svensson, M.G.E., Sverdrup, H., 2006. DECOMP - a semi-mechanistic model of litter decomposition. *Environmental Modelling & Software* 21, 33-44
- Walse, C., Berg, B., Sverdrup, H., 1998. Review and synthesis of experimental data on organic matter decomposition with respect to the effects of temperature, moisture, and acidity. *Environmental Review* 6, 25-40
- Westling, O. Nohrstedt, H.-Ö. 1995. Miljökonsekvensbeskrivning av STORA SKOGS gödslingsprogram. Del 2, bedömning. IVL Rapport B1219
- Westling, O., Örlander, G., Andersson, I. 2004. Effekter av askåterföring till granplanteringar med riståkt. IVL Rapport B1552
- Westling, O., Zetterberg, T. 2006. Recovery of acidified streams in forests using total catchment liming. *Water, Air and Soil Pollution. Under tryckning*
- Wiklander, G., Nordlander, G., Andersson, R. 1991. Leaching of nitrogen from a forest catchment at Söderåsen in southern Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution* 55, 263-282
- Yoh, M. 2001. Soil C/N ratio as affected by climate: an ecological factor for forest NO<sub>3</sub>-leaching. *Water, Air, and Soil Pollution* 130, 661-666
- Zetterberg, T., Westling, O. 2005. Utlakning från kalkade avrinningsområden. Effekttuppföljning av Skogsstyrelsens program för kalkning och vitaliseringsgödslning av skogsmark. IVL Rapport B1642
- Ågren, G. Bosatta, E. 1988. Nitrogen saturation of terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 54, 185-197
- Örlander, G., Nilsson, U., Hällgren, J-E. 1996. Competition for water and nutrients between ground vegetation and planted Norway spruce. *New Zealand Journal of Forest Research* 26, 99-117
- Örlander, G., Langvall, O., Petersson, P., Westling, O. 1997. Arealförluster av näringsämnen efter riståkt och markberedning på sydsvenska hyggen. SLU, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, arbetsrapport 15, 1-15

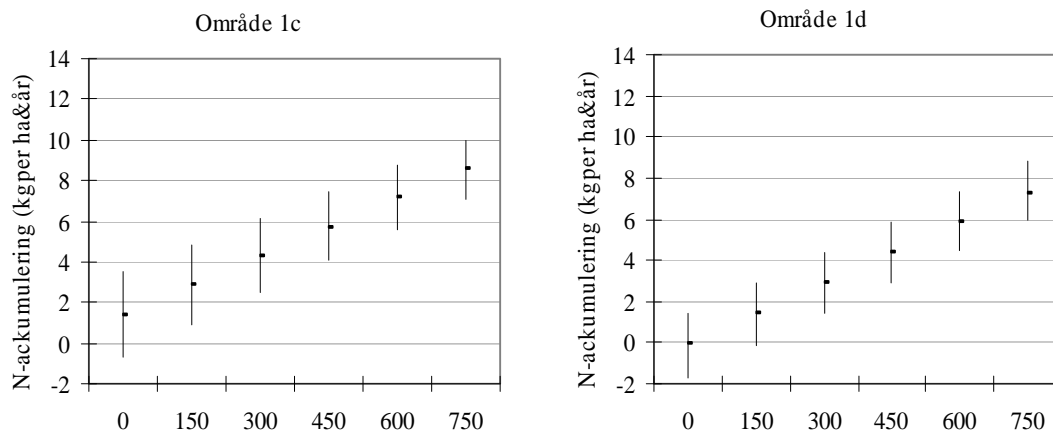


## Bilaga 1 Kväveupplagring

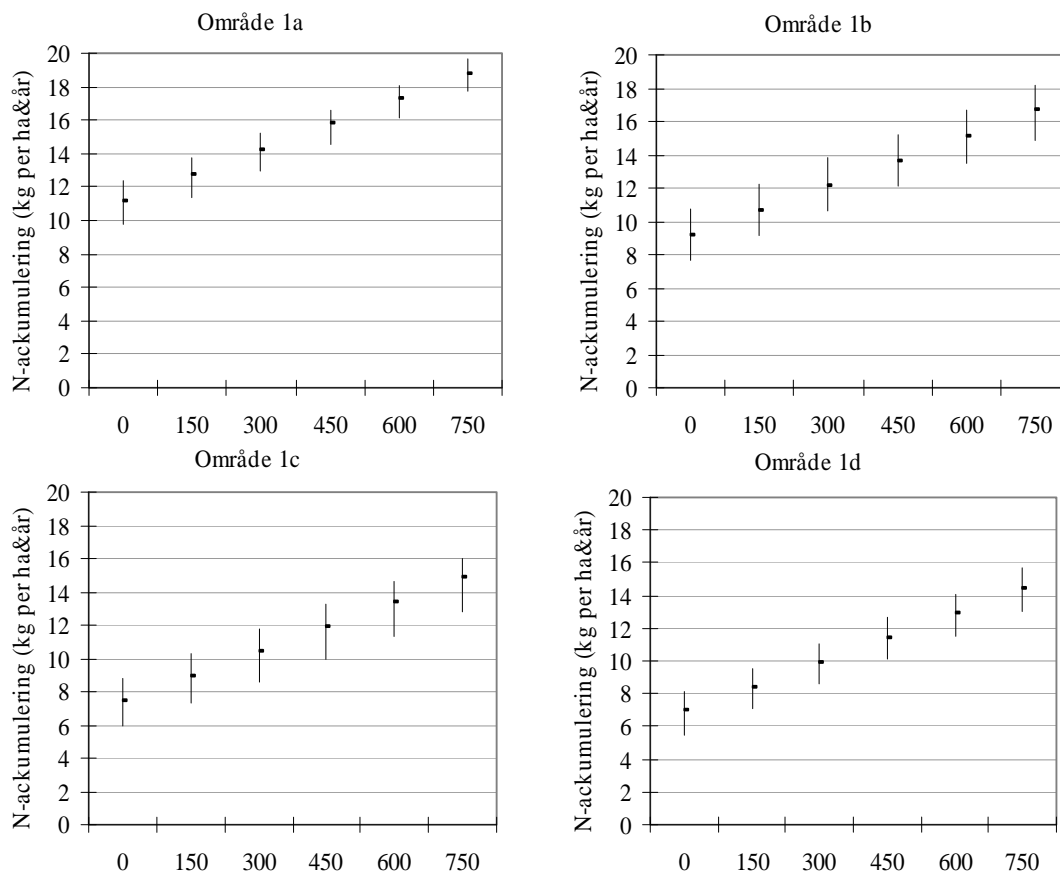


Kväveupplagring i *granbestånd* vid stamvedsuttag och olika gödselgivor i område 1a-d, uttryckt som ett medelvärde. Figuren visar även spridningen (5 % resp. 95 %) kring medelvärdet. En giva motsvarar 150 kg N per ha (vid givan 0 avses ingen gödsling).

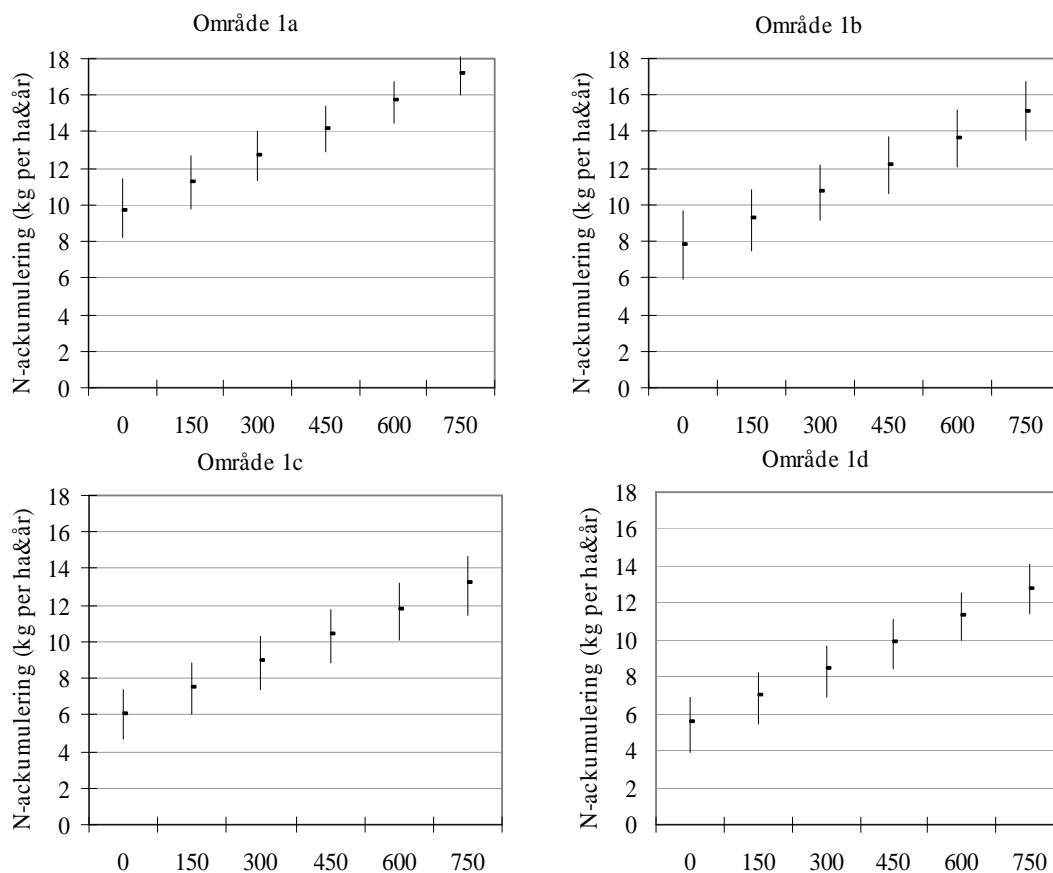




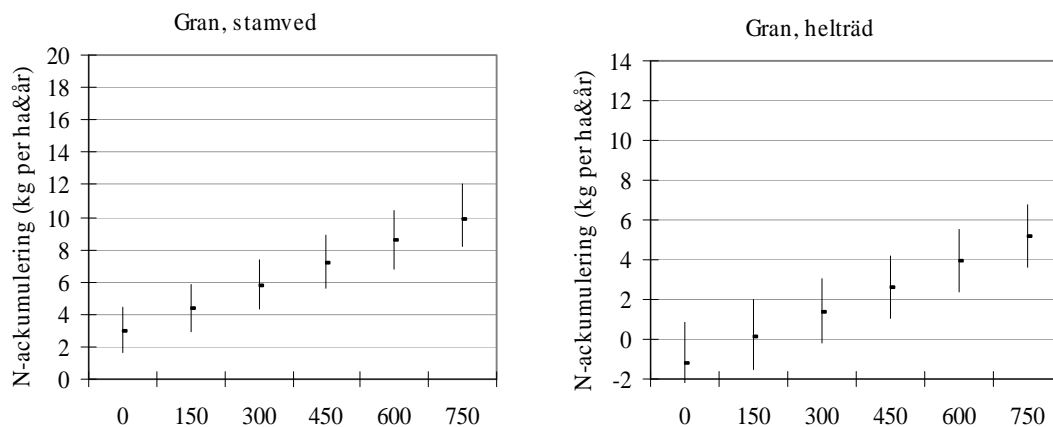
Kväveupplagring i *granbestånd* vid helträdsuttag och olika gödselgivor i område 1a-d, uttryckt som ett medelvärde. Figuren visar även spridningen (5 % resp. 95 %) kring medelvärdet. En giva motsvarar 150 kg N per ha (vid givan 0 avses ingen gödsling).

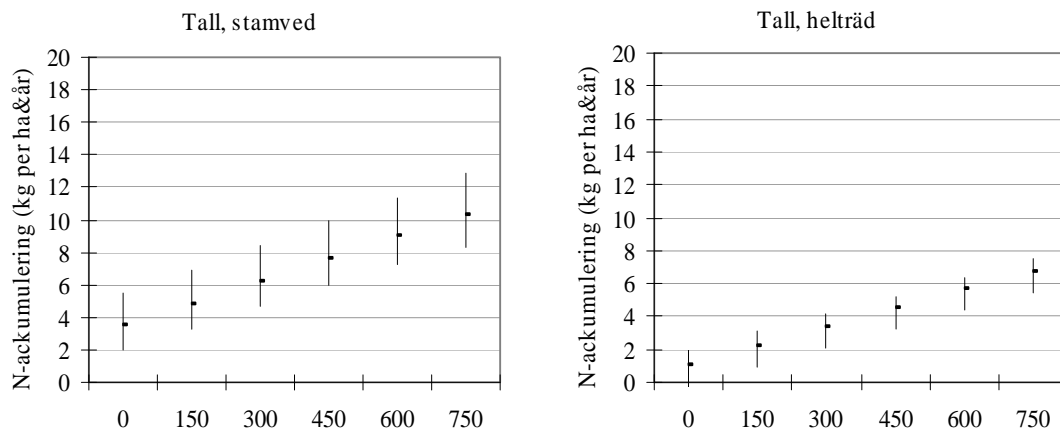


Kväveupplagring i *tallbestånd* vid konventionellt stamvedsuttag och olika gödselgivor i område 1a-d, uttryckt som ett medelvärde. Figuren visar även spridningen (5 % resp. 95 %) kring medelvärdet. En giva motsvarar 150 kg N per ha (vid givan 0 avses ingen gödsling).

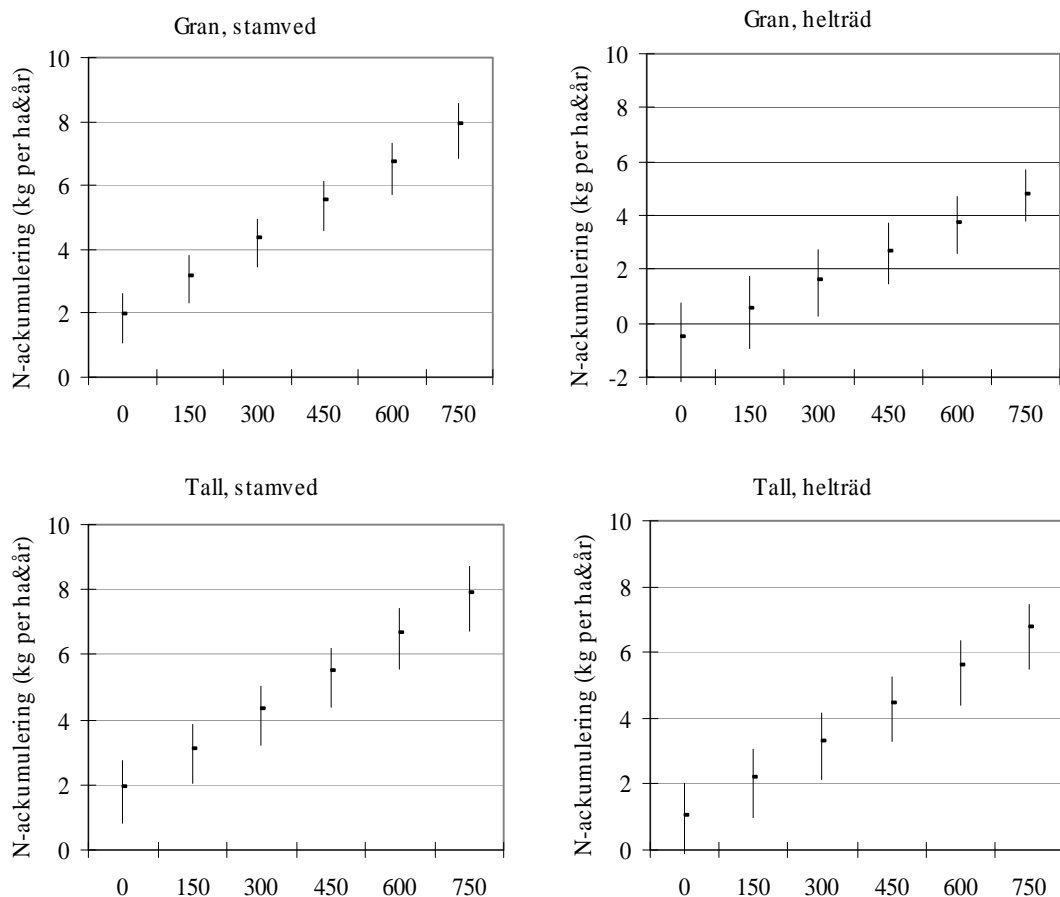


Kväveupplagring i *tallbestånd* vid helträdsuttag och olika gödselgivor i område 1a-d, uttryckt som ett medelvärde. Figuren visar även spridningen (5 % resp. 95 %) kring medelvärdet. En giva motsvarar 150 kg N per ha (vid givan 0 avses ingen gödsling).





Kväveupplagring i granbestånd (överst) och tallbestånd (nederst) vid olika biomassuttag och gödselgivor i område 2, uttryckt som ett medelvärde. Figuren visar även spridningen (5 % resp. 95 %) kring medelvärdet. En giva motsvarar 150 kg N per ha (vid givan 0 avses ingen gödsling).



Kväveupplagring i granbestånd (överst) och tallbestånd (nederst) vid olika biomassuttag och gödselgivor i område 3, uttryckt som ett medelvärde. Figuren visar även spridningen (5 % resp. 95 %) kring medelvärdet. En giva motsvarar 150 kg N per ha (vid givan 0 avses ingen gödsling).

## Bilaga 2 Artförteckning

<u>Latinskt namn</u>	<u>Svenskt namn</u>
<i>Cladonia lichens</i>	Bägarlav
<i>Empetrum nigrum</i>	Kråkbär
<i>Rhododendron tomentosum</i>	Skvattram
<i>Brachypodium pinnatum</i>	Backskafting
<i>Festuca ovina</i>	Fårsvingel
<i>Dryopteris dilatata coll</i>	Lundbräken
<i>Antennaria dioica</i>	Kattfot
<i>Hepatica nobilis</i>	Blåsippa
<i>Trifolium repens</i>	Vitklöver
<i>Hylocomium mosses</i>	Husmossor
<i>Erica tetralix</i>	Klockljung
<i>Rubus idaeus</i>	Hallon
<i>Bromus benekanii</i>	Strävlosta
<i>Milium effusum</i>	Hässlebrodd
<i>Pteridium aquilinum</i>	Örnbräken
<i>Arnica montana</i>	Slättergubb
<i>Mercurialis perennis</i>	Skogsbingel
<i>Urtica dioica</i>	Brännässla
<i>Mnium mosses</i>	Stjärnmossor
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Blåbär
<i>Salix lanata</i>	Ullvide
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	Piprör
<i>Molinia caerulea</i>	Blåtåtel
<i>Aconitum lycoctonum</i>	Nordisk stormhatt
<i>Epilobium angustifolium</i>	Mjölkört
<i>Origanum vulgare</i>	Kungsmymta
<i>Sphagnum mosses</i>	Vitmossor
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	Lingon
<i>Salix myrsinifolia</i>	Svartvide
<i>Deschampsia cespitosa</i>	Tuvtåtel
<i>Nardus stricta</i>	Stagg
<i>Allium ursinum</i>	Ramslök
<i>Galium odoratum</i>	Myskmadra
<i>Oxalis acetosella</i>	Harsyra
<i>Calluna vulgaris</i>	Ljung
<i>Myrica gale</i>	Pors
<i>Agrostis capillaris</i>	Rödven
<i>Deschampsia flexuosa</i>	Kruståtel
<i>Poa nemoralis</i>	Lundgröe
<i>Anemone nemorosa</i>	Vitsippa
<i>Geranium sylvaticum</i>	Midsommarblomster
<i>Trientalis europaea</i>	Skogsstjärna