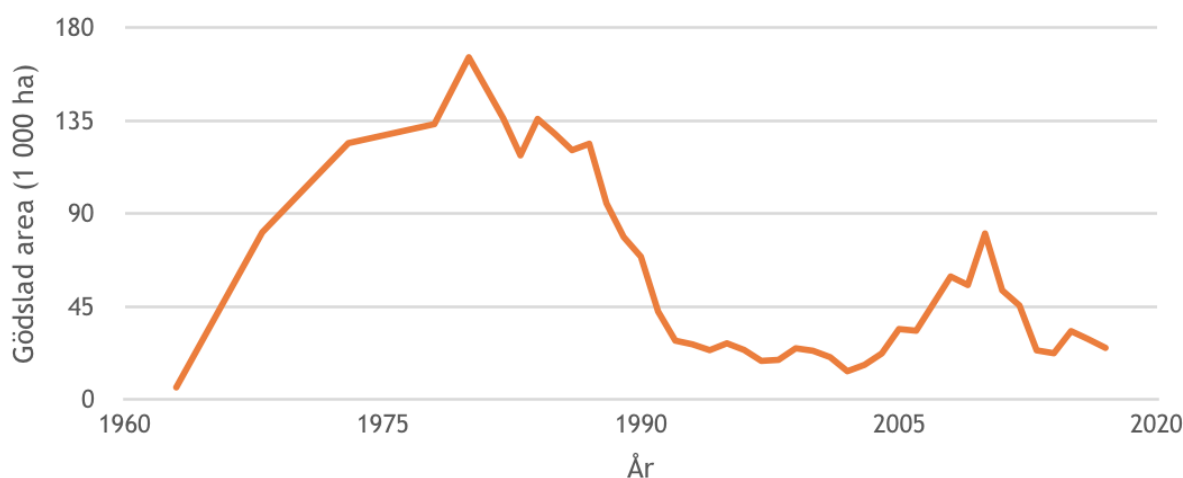


## Klimatkompenserande skogsgödsling

### Vetenskapen bakom en Klimatinvestering i den svenska skogen - The Forest Solution

#### Inledning

Gödsling av skog för att öka produktionen har förekommit i Sverige sedan sextitalet. Under 1980 nådde omfattningen ett maximum då över 160 000 ha gödslades. Sedan dess har gödslingen minskat betydligt och under långa perioder har det under de senaste tjugo åren har mellan 20 000 – 30 000 ha gödslats (Figur 1). Gödslingen förekommer framförallt inom storskogsbruket, medan förekomsten av gödsling inom småskogsbruket är marginell.



Figur 1. Gödslad skogsmark under perioden 1960–2017. Data är hämtad från skogsstatistisk årsbok 1991, 2014 och Skogsstyrelsens statistikdatabas. Fram till 2005 ingick endast det storskaliga skogsbruket och det småskaliga uppgavs att ligga på mellan 1000 – 3000 hektar.

Skogsgödsling med syfte till klimatkompensation har inte förekommit tidigare, men att skogsgödsling ökar upptaget av koldioxid i ett skogsekosystem är väl känt. Klimatnyttan kvarstår även då växthusgasutsläpp från framställning och spridning av gödselmedel räknas in.

Denna rapport beskriver klimatnyttan av skogsgödsling och hur den påverkar upptag och utsläpp av växthusgaser. Den beskriver också andra miljöeffekter av gödsling, såsom inverkan på kväveläckage som kan bidra till övergödning, försurning och biodiversitet. Det har gjorts många vetenskapliga studier på effekterna av gödsling på produktion och miljö och resultaten från dessa har sammanställts i olika synteser. Den här rapporten utgår från resultaten i de synteser som speglar ett nordiskt perspektiv. Där information saknas i dessa synteser, har komplettering gjorts från resultat från enskilda studier eller resultat från andra skogsekosystem.

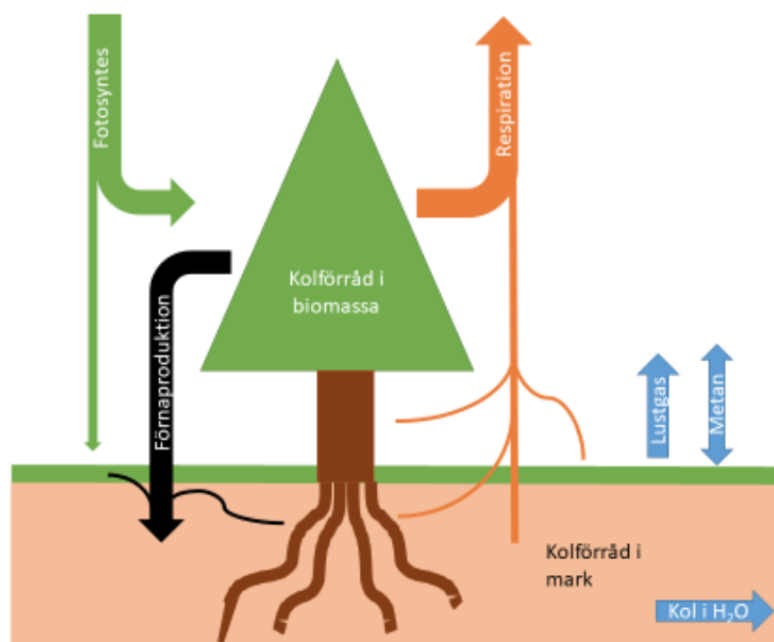
## Gödsling och skogens växthusgasbalans

### Skogens växthusgasbalans

Växthusgasbalansen i skogen domineras av två stora flöden, koldioxidupptag genom fotosyntes i träd och markvegetation och koldioxidavgång genom respiration (Figur 2). Respiration omfattar både cellandning av all biomassa, men även den koldioxid som frigörs vid nedbrytning av förna och organiskt kol i marken. En liten del av all koldioxid som tas upp genom fotosyntes leder till uppbyggnad av kolförrådet i träd och växter.

När gamla löv, barr, grenar eller rötter dör hamnar dessa i och på marken och bidrar till uppbyggnaden av markens kolförråd. Vid nedbrytning av förna och äldre kol i marken frigörs det mesta som koldioxid. En liten del av markkolet kan lösas i vatten och kan lämna skogen till omgivande vatten.

Utöver koldioxid, så ingår även lustgas och metan i skogens växthusgasbalans. Båda dessa flöden är normalt mycket små i fastmarksskogar, där det ofta finns ett litet upptag av metan. Metanavgången kan däremot vara stor från diken och våtmarker och för lustgas är avgången vara stor på dikade torvmarker.



Figur 2. Schematisk bild över skogens växthusgasbalans.

Vid gödsling av skog påverkas alla dessa flöden av växthusgaser och det är nettobalansen som avgör hur stor klimatnyttan blir.

### Skogsgödsling ökar skogens kolförråd i både biomassa och mark

Skogsgödsling med kväve ökar biomassaproduktionen i de ekosystem där kväve är en begränsande tillväxtfaktor (Tamm 1991). I princip all svensk skog på fastmark är begränsad av kväve (Tamm 1991, Nohrstedt 2001). Produktionspotentialen har uppskattats vara två till tre gånger högre än nuvarande produktion om varken kväve och

andra näringsämnen begränsar tillväxten (Bergh m fl 2005). Kvävegödslingens produktionshöjande effekt är väl belagt i en mängd studier och syntesrapporter (Nohrstedt 2001, Pettersson & Högbom 2004, Hyvönen m fl, 2008, Hedwall m fl 2014). När träden får en ökad tillgång med kväve, svarar de med att öka bladytan. Med en större bladyta kan mer solljus nyttjas och därmed mer koldioxid tas upp (Hedwall m fl 2014). Dessutom leder kvävegödsling till att fotosyntesen i bladen eller barren effektivare (Roberntz & Stockfors 1998). Varje barr eller blad kan alltså ta upp lite mer koldioxid vid gödsling. Den förhöjda produktionen efter en omgång med kvävegödsel brukar sitta kvar i 7-10 år (Pettersson, 1994, Pettersson & Högbom 2004).

Skogsgödsling ökar inte enbart kolförrådet i biomassa utan även markens kolförråd (Johnson 1992, de Wit & Kvindesland 1999, Johnson & Curtis 2001, Freeman m fl 2005, Hyvönen m fl 2007). Detta beror dels på att en ökad tillväxt leder till en ökad förnaproduktion och därmed en ökad tillförsel av kol till marken, men dels på att nedbrytningen av organiskt material i marken minskar (Ågren & Folkesson 2012).

Resultat från en studie med 15 långliggande gödslingsförsök med återkommande gödselgivor i Sverige och Finland visade att  $25 \pm 5$  kg kol per tillsatt kg kväve bands in i trädbiomassan och ytterligare  $11 \pm 2$  kg i marken (Hyvönen m fl 2008). Detta motsvarar ca 14 ton koldioxid per hektar i biomassa och ytterligare 6 ton i marken vid en normal gödselgiva på 150 kg. Den studien visade vidare att om gödselmedlet även innehöll fosfor och kalium (NPK) så togs så mycket som 38 kg kol upp per tillsatt kg kväve. För en normal gödselgiva motsvarar det 21 ton koldioxid per hektar. Effekten var störst om kväve tillsattes i små doser än i stora.

Vid konventionell skogsgödsling av kvävebegränsade bestånd ger en normal gödselgiva på 150 kg en ökad stamtillväxt motsvarande ca  $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (Pettersson 1994, Nohrstedt 2001, Pettersson & Högbom 2004). Detta motsvarar 11 ton koldioxid. Utöver tillväxt i stam så sker även en ökad tillväxt i rötter, grenar och barr. Eftersom dessa delar utgör ungefär hälften av ett trädets totala biomassa (se Marklund 1988, Pettersson & Ståhl 2006, jfr med Björheden 2019) kan vi räkna med att lika mycket binds in där som i stammens biomassa. Detta innebär att det totalt binds in ungefär 22 ton koldioxid totalt per hektar i biomassa.

Förväntad produktion efter gödsling för ett enskilt bestånd kan skattas utifrån faktorer som läge i landet (latitud, altitud), bonitet, trädslag och tillfört kväve (Pettersson 1994ab). Produktionen ligger mellan  $10\text{-}20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  och i absoluta tal är skillnaden mellan norr och söder liten även om den relativt är högre i norr. Generellt gäller att en klassisk gödselgiva ger...

- ... mer produktion för gran än tall
- ... mer på låg bonitet än hög
- ... mer på högre altituder än lägre

Produktionen på hög bonitet kan också bli hög om andra näringsämnen tillsätts vid gödslingen, tillsammans med kväve eller helt utan (Hyvönen m fl 2008, Hedwall m fl 2014). Mer produktion i absoluta tal i moget bestånd än ungt, men ett ungt är mer effektiva än äldre om gödsling görs med fler små givor (Hedwall m fl 2014).

## **Lustgasutsläppen ökar något**

Det är väl känt från jordbrukssammanhang att gödsling leder till ett ökat lustgasutsläpp, en växthusgas som är 298 gånger så potent som koldioxid. Lustgas är en biprodukt som bildas naturligt under nitrifikation och denitrifikation. Nitrifikation är den aeroba process då ammonium oxideras till nitrat. Under denitrifikation reduceras nitrat till kvävgas som frigörs till atmosfären. Beroende på vilka mikroorganismer som är inblandade i processen kan olika mängd lustgas avges.

När det gäller skogsgödsling av mineraljordar däremot, finns inga studier som visar på ett betydligt ökat utsläpp av lustgas (Nohrstedt 2001, Bjørsne 2018). Kunskapen om lustgasutsläpp från boreal och hemiboreal skog på fastmark för nordiska förhållanden är dock mycket begränsad (Maljanen m fl 2010). De studier som finns på dessa skogar visar på mycket låga emissioner av lustgas (Kim & Tanaka 2003, Matson m fl. 2009, Ullah m fl 2009, Strömgren m fl 2017, Bjørsne 2018). När det gäller effekt av gödsling visade Bjørsne (2018) i sin avhandling att det var små skillnader i lustgasavgång mellan en skogsyta som intensivgödslats med 50-100 kg N per hektar år i över tjugo års tid jämfört med en yta som var ogödslad. I en annan pågående studie där ungskog gödslats vartannat år, har man inte heller sett någon effekt på lustgasavgång av gödsling (Bergh m fl 2015). En anledning till att lustgasavgången är låg i skogsekosystem är att träden och vegetationen redan är etablerade och då kan ta upp kväve då det finns tillgängligt. Det ska påpekas att det även finns skogar med riktigt höga lustgasutsläpp, framförallt från skogar på bördig dikad torvmark eller före detta åkermark (Maljanen m fl 2010, Leppelt m fl 2014). Denna typ av skogar bör inte användas för skogsgödsling.

Lustgasutsläppen i Sverige orsakade av skogsgödsling skattades under 2017 till 59 ton koldioxidekvivalenter (Naturvårdsverket 2019a). Sveriges totala utsläpp av lustgas (inkl. LULUCF) uppgick till 6 miljoner ton varav jordbrukssektorn stod för 78 % av utsläppen. För skogsgödsling baserades utsläppen på en schablon att 1 % av det kväve som tillförs genom gödsling sedan avges till luften som lustgas-kväve (Naturvårdsverket 2019b). Denna emissionsfaktor är hämtad från IPCC:s riktlinjer för nationell inventering av växthusgaser (IPCC 2016). Den baseras enbart på studier från gödsling av åkermark och det är därför troligt att den är för högt satt för skogsgödsling av svenska skogar som utförs enligt Skogsstyrelsens rekommendationer. Om vi trots det använder den emissionsfaktorn skulle en normal gödselgiva på 150 kg kväve per hektar leda till att 1,5 kg kväve avges i form av 2,4 kg lustgas. I koldioxidekvivalenter räknat motsvarar detta 0,7 ton koldioxidekvivalenter per hektar.

## **Skogens metanbalans påverkas, men försumbart för hela växthusgasbalansen**

Utöver koldioxid och lustgas, så är även växthusgasen metan inblandad i skogens växthusgasbalans. Metan är också betydligt mer potent än koldioxid där 1 kg metan motsvarar 34 kg koldioxidekvivalenter under ett 100-årsperspektiv. Det är framförallt från våtmarker och blöta torvmarker som utsläppen av metan kan vara betydande. På dränerade mineraljordar oxideras däremot metan och ett litet upptag sker. Det har visat sig att gödsling kan minska oxidationen av metan och därmed minska upptaget eller öka avgången (LeMer & Roger 2001, Liu & Greaver 2009, Aronson & Helliker 2010, Gundersen m fl 2012, Shresta m fl 2015, Högberg m fl 2014). I en studie baserad på fyra granbestånd och ett bokbestånd minskade upptaget av metan med motsvarande 16-50 kg koldioxidekvivalenter per hektar och år vid gödsling på mellan 35-50 kg kväve

(Gundersen m fl 2012). Dessa nivåer är försumbara i jämförelse med nivåerna av upptag och utsläpp av den växthusgaserna koldioxid och lustgas. Det finns även studier som pekar på att minskningen i metanavgång enbart är en initial effekt och att effekten saknas eller är motsatt på längre sikt (Nohrstedt 2001).

### **Utsläpp av växthusgaser orsakade av gödseltillverkning och spridning av gödsel**

Yara är en stor producent av gödselmedel på svensk marknad. De uppger att de gödselmedel de tillverkar i genomsnitt ger ett utsläpp på 3,65 kg koldioxidekvivalenter per kg kväve (Yara, 2019). Detta omfattade allt från utvinning av råvaror till färdig produkt. Inget av deras gödselmedel överskred 4,0 kg koldioxidekvivalenter per kg kväve. Vid gödsling med 150 kg N per hektar leder detta till ett totalt utsläpp motsvarande maximalt 600 kg koldioxid per hektar eller 548 kg om man utgår från ett genomsnittligt gödselmedel.

Koldioxidutsläppen orsakade av bränsleförbrukning vid spridning av skogsgödsel skattades för Sverige ligga på totalt 790 ton koldioxid år 2014 (Björheden 2019). Eftersom detta spreddes på totalt 24 000 hektar blir de genomsnittliga utsläppen 33 kg per hektar.

### **Substitutionseffekten bidrar till ökad kolsänka**

Utöver inbindning av koldioxid i trädens ved i skogen, så finns även en ytterligare en klimatnytta av att veden i framtiden binds in i olika träprodukter eller kan används till att ersätta fossila produkter. Hur stor denna substitutionseffekt blir beror på hur veden används. I en rapport om möjligheter till intensivodling på nationell nivå uppgavs substitutionseffekten till 600 – 800 kg koldioxid per m<sup>3</sup> stamved (Larsson m fl, 2009). Detta skulle motsvara ett ytterligare koldioxidupptag på ca 11 ton per hektar om vi räknar med en ökad stamtillväxt på 15 m<sup>3</sup>. Detta är i samma storleksordning som den mängd koldioxid som binds in i stamveden.

### **Växthusgasbudget för gödsling av en genomsnittlig skog**

Gödsling vid ett tillfälle med 150 kg kväve per hektar i en genomsnittlig skog ger ett upptag i mark och biomassa motsvarande ca 28 ton koldioxid per hektar (tabell 1). Beroende på val av bestånd kan upptaget variera mellan 21-35 ton. Utsläppen orsakade av tillverkning av gödselmedel, spridning av gödselmedel, inverkan på produktion av metan och lustgasproduktion motsvarar ca 1,3 ton. En gödselgiva ger därmed ett nettoupptag motsvarande 26,7 ton koldioxid per hektar. Utöver detta kan vi räkna med en substitutionseffekt som gör att den totala klimatnyttan hamnar på 37 ton per hektar. I tabellen nedan är detta inte medräknat eftersom den i stor grad påverkas av vilka produkter virket förväntas ersätta i framtiden.

Faktor	Sequestrering (ton/ha)	Emissioner (ton/ha)	Referenser
Ökad stamtillväxt	11,0		(15 m3 stam) Pettersson, 1994
Ökad tillväxt i barr, grenar & rötter	11,0		Hälften av ett träd totala biomassatillväxt Marklund 1988, Petersson & Ståhl 2006 (cf. Björheden 2019)
Inbindning i mark (förna, organiska material)	6,05		Hyvönen et al. 2008
Tillverkning av N-gödselmedel		0,548	Yara, 2019
Utförande av skogsgödsling		0,033	Björheden 2019
Lustgas		0,7	NIR sub 2019 Annex
Metan (minskat upptag)		0,05	Gundersen m fl 2012
<b>TOTALT</b>	<b>28,1</b>	<b>1,33</b>	
Netto sequestrering CO2e (ton/ha)	26,7		ton CO2e/ha

Tabell 1. Upptag och utsläpp av växthusgaser räknat i koldioxidekvivalenter som konsekvens av en gödselgiva på 150 kg kväve. För underlag och antagande av siffror se text.

“50 % tillväxten i resten av trädet” i tabell ovan med stöd av allometrisk funktioner från Marklund 1988, Petersson & Ståhl 2006 (jfr med Björheden 2019). När det gäller förändrad allokering av tillväxt mellan ovanjordisk biomassa och rötter pga gödsling finns främst forskning på småplantor.

## Andra miljöeffekter

### Kväveläckage

Gödsling ökar risken för kväveläckage som kan leda till övergödning av vatten. Eftersom de nordliga skogarna är starkt begränsad av kväve, tas kväve omgående upp av den växande skogen vilket gör att läckaget även från gödslad skog mycket låga (Nohrstedt 2001, Hedwall m fl 2014). En förutsättning är att gödslingen görs under den del av året då rötterna är aktiva.

Om skogsgödsling görs enligt Skogsstyrelsens rekommendationer, vid rätt tidpunkt och med skyddszoner mot vatten och våtmarker, är risken för betydande läckage litet. Läckaget har även visat sig vara lågt i försöksskogar som intensivgödslats i nivåer långt över Skogsstyrelsens föreskrifter (Hedwall m fl 2013). De första praktiska skogsgödslingsförsöken gjordes med flygplan och helikopter och utan skyddszoner till vatten. I dessa försök läckte ca 5 % av det kväve som tillfördes ut (Nohrstedt 2001).

Vid slutavverkning då det inte längre finns någon växande skog brukar kväveläckaget öka. Så snart markvegetation har etablerats återgår läckaget till låga nivåer igen. För ett gödslat bestånd finns en risk till ökat kväveläckage vid slutavverkning (Nohrstedt 2001, Högberg m fl 2014). Denna ökning har visat sig framförallt då bestånd gödslats med

mellan 700–1000 kg kväve, vilket är betydligt mer än det som Skogsstyrelsen rekommenderar. Ett sätt att minska risken för kväveläckage ytterligare är att även skörda grenar och toppar vid slutavverkning.

### **Försurning**

Gödsling med enbart ammoniumnitrat har en initialt försurande effekt på mark och vatten (Nohrstedt 2001). Den försurande effekten är övergående. Konventionellt gödselmedel för skog brukar utöver ammoniumnitrat även innehålla mineralet dolomit som minskar försurning av marken.

### **Föryngring av nästa bestånd**

Ingen negativ effekt har observerats på föryngringsresultat på efterkommande skogsgeneration efter gödsling i föregående bestånd (Nohrstedt 2001, Johansson m fl 2013).

### **Biodiversitet**

Ökad näringstillgång påverkar skogsekosystem på flera sätt och kan därför inverka på artsammansättning och ekosystemfunktioner. Vid gödsling blir arter som finns i bördigare bestånd mer vanliga. Hur stora förändringarna blir beror på artsammansättningen vid ursprungsläget och beståndets bördighet (Hedwall m fl 2014). Konsekvenserna är störst vid intensivgödsling.

De boreala skogarna kännetecknas av att de generellt är artfattiga och domineras av några få arter. Om gödsling i sydligare ekosystem kan leda till färre arter, kan gödsling i dessa skogar snarare ge en ökad artrikedom (Hedwall m fl 2014).

Den ökade produktionen vid gödslingen gör att skogen sluter sig snabbare. Mängden ljus som når marken minskar därmed och intensiv gödsling kan därför leda till att markvegetationen helt konkurreras ut. Om skogen blir öppnare och vid slutavverkning, kommer markvegetationen tillbaka, men med ett skifte mot växter som är vanligt förekommande i bördigare bestånd (Hedwall m fl. 2014). *För konventionell skogsgödsling är dock effekten på markvegetationen liten och knappast synbar efter tio år* (Hedwall m fl. 2014).

Mossor och lavar minskar, och för dessa artgrupper kan det ta längre tid att återhämta sig (Strengbom m fl. 2001). Även biomassan av svamp som lever i symbios med träd (ektomykorrhiza) minskar vid gödsling. Detta är en effekt av att träden skickar mindre kol till rötterna. Effekten är övergående och mykorrhizan återhämtar sig i samband med att effekten av gödslingen avtar.

Markfaunan minskar efter gödsling, vilken är en anledning till att gödsling leder till en minskad nedbrytning och upplagring av kol i marken. Även denna minskning förväntas vara övergående och att markfaunan återhämtar sig då effekten av gödsling har klingat av.

Gödsling för klimatkompensation görs endast i yngre produktionsskogar med trivial artsammansättning. Den kommer att göras med engångsgivor som upprepas maximalt tre gånger under en omloppstid. En gödsling på detta sätt i dessa skogar förväntas ge

lite inverkan på artsammansättning av växter. Gödsling för klimatkompensation utförs inte i skogsekosystem med särskilda känsliga, värdefulla och utsatta arter.

Det finns få studier på effekter på större fauna, men dessa indikerar att (Nohrstedt 2001, Hedwall m fl 2014):

- Gödsling inte ger toxiska nivåer av nitrat i vegetation som betas av växtätare.
- Ren undviker att beta där UREA-gödsel har spridits.
- Tjäderkycklingar inte pickar i sig gödselgranulerna

### **Val av teknik för gödslingssystem, tidpunkt, skogsmark och hänsyn (skrivet av The Forest Solution)**

Det gödselmedel som används vid klimatkompenserande gödsling är Skog-Can som är ett grovgranulerat kvävegödsel speciellt anpassat för skog. Det innehåller lika delar nitrat- och ammoniumkväve samt dolomitkalk och 0,2 % bor (B). Dess basverkan är neutral. Det innehåller förutom kväve även kalk som skall kompensera för den naturliga försurande effekt som all tillväxt har. Mikronäringsämnet bor har tillsatts för att man märkt att det vid en brist kan påverka trädens skottbildning positivt.

För att säkerställa att gödselmedel hamnar på rätt platser i skogen används system med traktorburna spridare. Dessa kör på så kallade stickvägar i skogen som använts vid den tidigare gallringen. Med en fläkt kan gödselgivan riktas med hög precision i produktionsskogen. Skulle det vara en liten hänsynsbiotop/bäck etc som ej angivits i kartmaterialet kan man lätt undvika spridning i dess närhet med denna teknik. Luftburen spridning kan komma att ske med ännu mer krav noggrannhet avseende kartmaterial och förplanering samt precision i spridningen.

Spridningen sker under växtsäsongen, vanligen april-september, så att näringsämnena omedelbart kan tas upp av träden.

Klimatkompenserande gödsling kommer ske på fastmark, oftast moräner. Torvmarker är inte aktuella. Den typiska skogen är en barrskog som uppkommit efter avverkning i slutet av 60-talet och fram till 90-talet. Dessa skogar består idag av ganska välskötta bestånd av tall/granskogar eller barrblandskog med inslag av lövträd. Mindre hänsynsområde i eller i anslutning till dessa är ofta tydliga och hänsyn har tagits i gallringen tidigare. Skulle det finnas ytterligare hänsyn kan traktorföraren lätt anpassa spridningen så dessa miljöer inte påverkas skadligt.

### **Vad säger lagen?**

All skogsgödsling är samrådspiktig enligt 12 kap.6 § miljöbalken. Samrådet sker med Skogsstyrelsen. I samrådet anges när, var, hur och vilken hänsyn man tar vid åtgärden.

### **Mer fakta om skogsgödsling (SKOGFORSK)**

<https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/#query=skogsg%C3%B6dsling&page=2>



## **Svenska sammanställningar om skogsgödsling**

Björheden R (2019) [Det svenska skogsbrukets klimatpåverkan. Upptag och utsläpp av växthusgasen koldioxid](#). Skogforsk, Uppsala.

Högberg P, Larsson S, Lundmark T, Moen J, Nilsson U, Nordin A (2014) Effekter av kvävegödsling på skogsmark – Kunskapssammanställning utförd av SLU på begäran av Skogsstyrelsen. Meddelande nr 2. Rapport 2014:1

Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. (2009). Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885.

Nordin, A., Bergström, A.-K., Granberg, G., Grip, H., Gustafsson, D., Gärdenäs, A., Hyvönen-Olsson, R., Jansson, P.-E., Laudon, H., Nilsson, M.B., Svensson, M. & Öquist, M. 2009. Effekter av ett intensivare skogsbruk på skogslandskapets mark, vatten och växthusgaser. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-46- 9.

Skogsstyrelsen (2007) [Kvävegödsling av skogsmark](#). Meddelande 2.

*Följande underlag gjordes till en slutrapport om intensivodling, vilket ger större konsekvenser än konventionell gödsling (Larsson m fl 2009):*

Lundström, A. & Glimskär, A. 2009. Definitioner, tillgängliga arealer och konsekvensberäkningar. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-42-1. •

Fahlvik, N., Johansson, U., Nilsson, U. 2009. Skogsskötsel för ökad tillväxt. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-43-8. •

Brännlund, R., Carlén, O., Lundgren, T. & Marklund, P-O. 2009. En samhällsekonomisk bedömning av intensivodling av skog. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-44-5 •

Gustafsson, L., Dahlberg, A., Green, M., Henningsson, S., Hägerhäll, C., Larsson, A., Lindelöw, Å., Lindhagen, A., Lundh, G., Ode, Å., Strengbom, J., Ranius, T., Sandström, J., Svensson, R. & Widenfalk, O. 2009. Konsekvenser för kulturarv, friluftsliv, landskapsbild och biologisk mångfald. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-91- 86197-45-2. •

Nordin, A., Bergström, A.-K., Granberg, G., Grip, H., Gustafsson, D., Gärdenäs, A., Hyvönen-Olsson, R., Jansson, P.-E., Laudon, H., Nilsson, M.B., Svensson, M. & Öquist, M. 2009. Effekter av ett intensivare skogsbruk på skogslandskapets mark, vatten och växthusgaser. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-46- 9. •

Michanek, G. & Pettersson, M. 2009. Rättsliga förutsättningar för intensivodling av skog. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-47-6. •

Lindkvist, A., Mineur, E., Nordlund, A., Nordlund, C., Olsson, O., Sandström, C. & Westin, K. 2009. Konflikt och konsensus. Intensivodling av skog ur ett humanistiskt och samhällsvetenskapligt perspektiv. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-91- 86197-48-3.

## Referenser

- Bergh J, Hedwall P-O, Grelle A, Strömgren M (2015) När övergår ungskogen från att vara en källa till en sänka? Vetenskaplig rapport för P36139-1 till Energimyndigheten.
- Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M. and Batjes, N.H. (2002a). Emissions of N<sub>2</sub>O and NO from fertilised fields: Summary of available measurement data. *Glob. Biogeochem. Cycles*, 16(4), art. no. 1058.
- Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M. and Batjes, N.H. (2002b). Modeling global annual N<sub>2</sub>O and NO emissions from fertilised fields. *Glob. Biogeochem. Cycles*, 16(4), art. no. 1080.
- Björheden R (2019) [Det svenska skogsbrukets klimatpåverkan. Upptag och utsläpp av växthusgasen koldioxid](#). Skogforsk, Uppsala. ISBN: 978-91-88277-08-04
- Björnsne A-K (2018) The nitrogen cycle in soil – Climate impact and methodological challenges in natural ecosystems. Doktorsavhandling vid institutionen för geovetenskaper, Göteborgs universitet. <http://hdl.handle.net/2077/56724>
- de Wit, H.A. & Kvindesland, S. 1999. Carbon stocks in Norwegian forest soils and effects of forest management on carbon storage. Rapport fra skogforskningen Supplement 14 ISBN 82-7169-922-9, ISSN 1500-323X 1-52. (På norska)
- Freeman M, Morén A-S, Strömgren M, Linder S (2005) Climate Change Impacts on Forests in Europe: Biological Impact Mechanisms. Chapter 3. *Kellomäki S, Leinonen S (Eds) I Management of European forests under changing climatic conditions*. University of Joensuu, Forest Faculty. ss. 45-115.
- Hedwall P-O, Grip H, Linder S, Lövdahl L, Nilsson U, Bergh J (2013) Effects of clear-cutting and slash removal on soil water chemistry and forest-floor vegetation in a nutrient optimised Norway spruce stand. *Silva Fennica* vol. 47 no. 2 article id 933. <https://doi.org/10.14214/sf.933>
- Hyvönen R, Ågren G I, Linder S, Persson T, et al. (2007) The likely impact of elevated [CO<sub>2</sub>], nitrogen deposition, increased temperature, and management on carbon sequestration in temperate and boreal forest ecosystems. A literature review. *Tansley review*. 173, 463-480.
- IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *Tillgänglig från följande [länk](#)*.
- Johnson, D.W. 1992. Effects of forest management on soil carbon storage. *Water, Air, and Soil Pollution* 64: 83-120.
- Johnson, D.W. & Curtis, P.S. 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta-analysis. *Forest Ecology and Management* 140: 227-238.
- Johansson K, Ring E, Högbom L (2013) Effects of pre-harvest fertilization and subsequent soil scarification on the growth of planted *Pinus sylvestris* seedlings and ground vegetation after clear-felling. *Silva Fennica* vol. 47 no. 4 article id 1016. 18 p.
- Leppelt T, Dechow R, Gebbert S, Freibauer A, Lohila A, Augustin J, Drösler M, Fiedler S, Glatzel S, Höper H, Järveoja J, Laerke L A, Maljanen N, Mander Ü, Mäkiranta P, Minkinen K, Ojanen P, Regina K, Strömgren M (2014) Nitrous oxide emission hotspots from organic soils in Europe. *Biogeosciences*, 11, 6595-6612.

- Maljanen M, Sigurdsson B D, Guðmundsson J, Óskarsson H, Huttunen J T, Martikainen, P J (2010) Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps, *Biogeosciences*, 7, 2711–2738.
- Naturvårdsverket 2019a. National Inventory Report Sweden 2019. Greenhouse Gas Emission Inventories 1990–2017. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol.
- Naturvårdsverket 2019b. National Inventory Report Sweden 2019: Annexes Greenhouse Gas Emission Inventories 1990–2017. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol
- Kim Y, Tanaka N (2003) Effect of forest fire on the fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O in boreal forest soils, interior Alaska. *J Geophys Res-Atmos* 108(D1).
- Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. (2009). Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885.
- Marklund, L G (1998) Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. SLU, Institutionen för skogstaxering.
- Matson A, Pennock D, Bedard-Haughn A (2009) Methane and nitrous oxide emissions from mature forest stands in the boreal forest, Saskatchewan, Canada. *For. Ecol. Manage.* 258(7): 1073-1083
- Nohrstedt H-Ö (2001) Responses of coniferous forest ecosystems on mineral soils to nutrient additions: A review of Swedish experiences. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 555–573.
- Novoa R S A, Tejada H.R. (2006) Evaluation of the N<sub>2</sub>O emissions from N in plant residues as affected by environmental and management factors. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 75:29–46.
- Pettersson F (1994) Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years. *Skogforsk, Uppsala. Rapport 3*, 56 s.
- Pettersson F, Högbom L (2004) Long-term growth effects following forest nitrogen fertilisation in *Pinus sylvestris* and *Picea abies* stands in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19:339–347.
- Peterson H, Ståhl G (2006) Functions for below-ground biomass of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21:84–93.
- Ring E, Högbom L, Jansson G (2013) Effects of previous nitrogen fertilization on soil-solution chemistry after final felling and soil scarification at two nitrogen-limited forest sites. *Canadian Journal of Forest Research* 43: 396–404
- Tamm C O (1991) Nitrogen in Terrestrial Ecosystems. *Ecological Studies* 81. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Germany. 115 p
- Shrestha, R K, Strahm B D, Sucre E B (2015) Greenhouse gas emissions in response to nitrogen fertilization in managed forest ecosystems. *New Forests* 46(2): 167–193

Stehfest E, Bouwman L (2006) N<sub>2</sub>O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74, 207-228.

Ullah S, Frasier R, Pelletier L, Moore TR (2009) Greenhouse gas fluxes from boreal forest soils during the snow-free period in Quebec, Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 39(3): 666-680.

Yara (2019) Intyg för klimatcertifiering av mat. Hämtad på Yaras hemsida <https://www.yara.se/vaxtnaring/hallbarhet/klimatavtryck/>. 2019-10-04.

Ågren GI, Andersson F (2012) *Terrestrial ecosystem ecology: Principles and applications*. Cambridge University Press. Skogsstyrelsen (2007) Kvävegödsling av skogsmark. Meddelande nr 2.

### **More references concerning the effects of fertilisation strengthening the method**

Ståhl, P. & Berg, J. 2013. Produktionshöjande åtgärder. Skogsskötselserien, kapitel 16. Tillgänglig på: [www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselseriesen](http://www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselseriesen)

Poudel, B.C., Sathre, R., Bergh, J., Gustavsson, L., Lundström, A. & Hyvönen, R. 2012. Potential effects of intensive forestry on biomass production and total carbon balance in north-central Sweden, *Environmental Science & Policy* 15(1): 106-124. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.09.005>

Sathre, R., Gustavsson, L., Bergh, J. 2010. Primary energy and greenhouse gas implications of increasing biomass production through forest fertilization. *Biomass and Bioenergy* 34: 572-581.