



# Förstudie om att inkludera skogsgödsling i PLC6

Lars Rosenqvist, IVL

Marcus Liljeberg, IVL

Helene Ejhed, IVL

Annemieke Gärdenäs, SLU

Avtal: 4-2013-16

**På uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten**

Publicering: [www.smed.se](http://www.smed.se)

Utgivare: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut

Adress: 601 76 Norrköping

Startår: 2006

ISSN: 1653-8102

*SMED utgör en förkortning för Svenska MiljöEmissionsData, som är ett samarbete mellan IVL, SCB, SLU och SMHI. Samarbetet inom SMED inleddes 2001 med syftet att långsiktigt samla och utveckla den svenska kompetensen inom emissionsstatistik kopplat till åtgärdsarbete inom olika områden, bland annat som ett svar på Naturvårdsverkets behov av expertstöd för Sveriges internationella rapportering avseende utsläpp till luft och vatten, avfall samt farliga ämnen. Målsättningen med SMED-samarbetet är främst att utveckla och driva nationella emissionsdatabaser, och att tillhandahålla olika tjänster relaterade till dessa för nationella, regionala och lokala myndigheter, luft- och vattenvårdsförbund, näringsliv m.fl. Mer information finns på SMEDs hemsida [www.smed.se](http://www.smed.se).*



# Innehåll

<b>INNEHÅLL</b>	<b>4</b>
<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>5</b>
<b>1. INTRODUKTION</b>	<b>7</b>
<b>2. UPPDRAG OCH SYFTE</b>	<b>9</b>
<b>3. BAKGRUND</b>	<b>10</b>
3.1 Historik	10
3.2 Gödslingsrekommendationer	10
<b>4. METODIK</b>	<b>12</b>
<b>5. RESULTAT OCH DISKUSSION</b>	<b>13</b>
5.1 Går det att sätta typhalter för gödslad skogsmark?	13
5.1.1 Direkteffekt	13
5.1.2 Skogsskötselningrepp (hyggesupptagning)	14
5.1.3 Behovsanpassad gödsling (BAG)	16
5.2 Kväveretention	17
5.3 Risk för dubbelräkning?	18
5.4 Geografisk utvärdering	19
5.5 Påverkar skogsgödsling belastningen på Östersjön och Västerhavet?	23
<b>6. SLUTSATSER</b>	<b>26</b>
<b>7. REFERENSER</b>	<b>28</b>

# Sammanfattning

SMED har på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten (HaV) utfört en förstudie om möjligheten att inkludera den antropogena belastningen av kväve från gödsling av skogsmark, till beräkningarna av källfördelad belastning på havet för HELCOM Pollution Load Compilation 6 (PLC6). I PLC5 utfördes beräkningarna av skogsmarkens läckage med hjälp av representativa typhalter, areal och avrinning (Brandt m.fl., 2008). För norra Sverige har en algoritm använts för att beräkna typhalten för skog, myr, fjäll och öppen mark och med en säsongsvariation i enlighet med Löfgren och Brandt (2005). I dagsläget ingår inte gödsling som en explicit parameter för att beskriva skogens läckage till omgivande havsområden.

Det övergripande syftet med denna förstudie har varit att utreda om det finns tillgängliga data för att ge möjligheten att beräkna den antropogena belastningen av kväve från gödslad skog. Förstudien har bland annat omfattat en bedömning av om det är möjligt att sätta typhalter för gödslad skogsmark baserat på litteraturdata, en bedömning av risken för dubbelräkning om gödslingens effekter redan beaktas i beräknade läckage för skogsmark, en geografisk utvärdering av tillgången till area gödslad skogsmark samt en utvärdering om den geografiska informationen har tillräckligt god kvalitet för att beräkningar av belastningen för PLC6 ska kunna genomföras.

Baserat på tillgängliga data i den vetenskapliga litteraturen (sammanfattad av t.ex. Ring, 2007) görs bedömningen att ett kväveläckage om 5-10 % av en normal gödselgiva (150 kg N per ha) kan användas som ett mått (typvärde) på den utlakning som sker i samband med gödslingstillfället (1-2 år efter gödsling). För beräkningarna inom PLC6 bedöms det rimligt att i enlighet med Löfgren (2007) anta att 5 % av den tillförda kvävedosen når avrinningsområdets ytvatten 1-2 år efter gödsling. Rekommendationen från Löfgren (2007) gäller för skog i norra Sverige, där merparten av utförda skogsgödslingföretag sker. Det bedöms dock sannolikt att högre kväveläckage (upp till 20 % av gödslingens dos) kan ske periodiskt, om gödsling sker före perioder med kraftig snösmältning och/eller höga flöden i samband med höststormar.

Slutavverkning är den fas i skogsbruket som ger upphov till störst kväveförluster till ytvatten. När det gäller konventionell gödsling är det emellertid svårt att urskilja skillnader i kväveläckaget efter avverkning mellan gödslade och ogödslade bestånd.

När det gäller behovsanpassad gödsling (BAG) saknas idag praktisk erfarenhet, varför olika skattningar av möjligt kväveläckage är osäkra. Bedömningen görs därför att det idag inte finns tillräckligt dataunderlag för att på ett tillförlitligt sätt kunna beräkna den antropogena belastningen av kväve från BAG-gödslad skog inom ramen för PLC6.

Typhalter är generella och behäftade med osäkerheter beroende på bland annat variationer i klimat, markens bördighet, kvävedeposition och markens retentionsförmåga. Bristfällig kunskap om retentionskapaciteten i skogsmarkens utströmningsområden är en av de stora osäkerhetsfaktorerna vad gäller bedömningar av hur skogsgödsling (och andra skogsbruksåtgärder) påverkar eutrofiering av ytvatten (Nordin m.fl., 2009; de Jong m.fl., 2012). Många studier visar dock att det i de flesta kvävebegränsade skogars utströmningsområden sker effektiv retention av mark- och grundvattentransporterat kväve.

Den geografiska informationen från Skogsstyrelsen bedöms vara tillräckligt komplett för PLC6-sammanställningen. Underlaget kan dock inte utan förbehandling användas eftersom det då kommer att leda till fel i den gödslade arealen. Först efter korrigerings av felen kan underlaget användas för beräkningar inom PLC6.

# 1. INTRODUKTION

Havs- och vattenmyndigheten (HaV) efterfrågar möjligheten att inkludera beräkningar av den antropogena belastningen av kväve från gödsling av skogsmark, till beräkningarna av källfördelad belastning på havet för HELCOM Pollution Load Compilation 6 (PLC6).

I dagsläget sker beräkningarna av skogsmarkens läckage med hjälp av representativa typhalter, areal och avrinning. Dessa kan eventuellt användas även för PLC6 beräkningarna. Avgörande för om de kan användas beror dels på hur bra de representerar gödslingens effekter och dels på vilka indata som styr beräkning av typhalt.

I metodiken som SMED använder för att beräkna typhalt för skogsmark i dagsläget finns; en uppdelning av Sverige i tre skogsregioner, en ekvation för att beskriva typhaltens storlek med avseende på höjd över havet samt en ekvation för att beskriva typhaltens storlek för hyggen med avseende på depositionen av kväve. SMED-beräkningarna implementeras och genomförs i Tekniska Beräkningssystemet Vatten (TBV). Om typhalterna ska styras av fler indata, (t.ex. jordart, ekoregioner mm) krävs dock en vidareutveckling av TBV.

I dagsläget ingår inte gödsling som en explicit parameter för att beskriva skogens läckage, men eftersom typhalterna för skogsmarken baseras på statistiska sammanställningar av uppmätta halter i avrinnande vatten så ingår i denna förstudie att ta reda på om skogsmarkens typhalter redan inkluderar effekter av gödsling, dvs. om de uppmätta halter som ingick sammanställningen av typhalterna, fanns i områden som gödslats. Om gödslingens effekter redan finns med i de typhalter som ska användas i PLC6, så ska belastning från gödsling inte läggas till belastningen av skog, för då blir det en dubbelräkning av effekten.

Areal gödslad skogsmark redovisas i Skogsstatistisk årsbok, men denna redovisning är en grov geografisk indelning som inte HaV anser ge tillräckligt bra säkerhet i den geografiska fördelningen av skogsgödslingens antropogena effekt. Skogsstyrelsen har högre upplöst geografisk information (1:10 000) som samlas in vid samråden inför skogsgödsling, men denna information kan vara bristfällig med avseende på kompletthet.

Baserat på ovanstående behövs en förstudie för att:

- Undersöka vilka halter av kväveläckage i samband med gödsling av skog i Sverige som finns tillgängliga och kan användas inför PLC6.
- Utredda om belastning av gödsling av skog ska läggas till belastningen från skogsmark som den beräknas i dagsläget.

- Undersöka och utvärdera tillgängliga data av arealer gödslad skogsmark i Sverige.



## 2. UPPDRAG OCH SYFTE

Det övergripande syftet med denna förstudie är att ta reda på om det finns tillgängliga data för att ge möjligheten att beräkna den antropogena belastningen av kväve från gödslad skog. Förstudien omfattar följande aktiviteter:

- Litteraturundersökning av tillgängliga uppmätta halter av kväve i avrinnande vatten och markvatten med avseende på gödslad skogsmark i olika delar av Sverige.
- Bedömning av om det är möjligt att sätta typhalter för gödslad skogsmark baserat på tillgängliga data och om det behövs mer databearbetning för att sätta typhalter.
- Bedömning av risken för dubbelräkning om gödslingens effekter redan beaktas i beräknade läckage för skogsmark.
- Geografisk utvärdering, i GIS (Geografiskt Informations System), av tillgången till area gödslad skogsmark med avseende på kompletthet, noggrannhet i geografisk position och hur långt bakåt i tiden de data finns sammanställda med GIS-skikt.
- Bedömning om den geografiska informationen har tillräckligt god kvalitet för att beräkningar av belastningen för PLC6 ska kunna genomföras.
- Bedömning av återstående arbete för att beräkningar av belastning av kväve från gödslad skogsmark ska kunna genomföras.

## 3. BAKGRUND

### 3.1 Historik

I huvuddelen av Sveriges skogar är tillgången på kväve den faktor som begränsar skogstillväxten (Tamm, 1991). Förenklat uttryckt ökar kvävebegränsningen från söder till norr, vilket hänger samman med kvävedepositionsgradienten, där sydvästra Sverige erhåller mer än 10 kg N/ha/år och Norrland mindre än 4 kg (Pihl-Karlsson, 2011). Gödsling är därför en effektiv metod för att öka tillgången på biomassa. Kvävegödsling ger en markant tillväxtökning på de allra flesta skogsmarker i landet. Den kortvarigaste tillväxtökningen får man i ung tallskog i södra Sverige, den mest långvariga i gammal granskog på svag mark i Norrland.

Från mitten av 1960-talet och fram mot 1990 var kvävegödsling en ekonomiskt sett mycket betydande skogsskötselåtgärd, framför allt i storskogsbruket. Gödslingens omfattning nådde en topp kring 1975 och skogsbruket gödslade då nästan 200 000 ha/år. Gödslingsarealen har sedan sjunkit till en nivå runt 20 000 ha/år under tidigt 2000-tal, ca 35 000 ha/år 2005 men stiger nu igen och låg 2012 runt 50 000 ha/år<sup>1</sup>. Detta är en liten del av den teoretiskt tänkbara arealen (300 000 hektar) utifrån Skogsstyrelsens råd från 2007 (Skogsstyrelsen, 2007). Dessutom kan så kallad behovsanpassad gödsling (BAG) komma att bli aktuellt för att öka tillväxten ytterligare. Det finns idag inte några rekommendationer kring praktisk BAG utfärdade av Skogsstyrelsen.

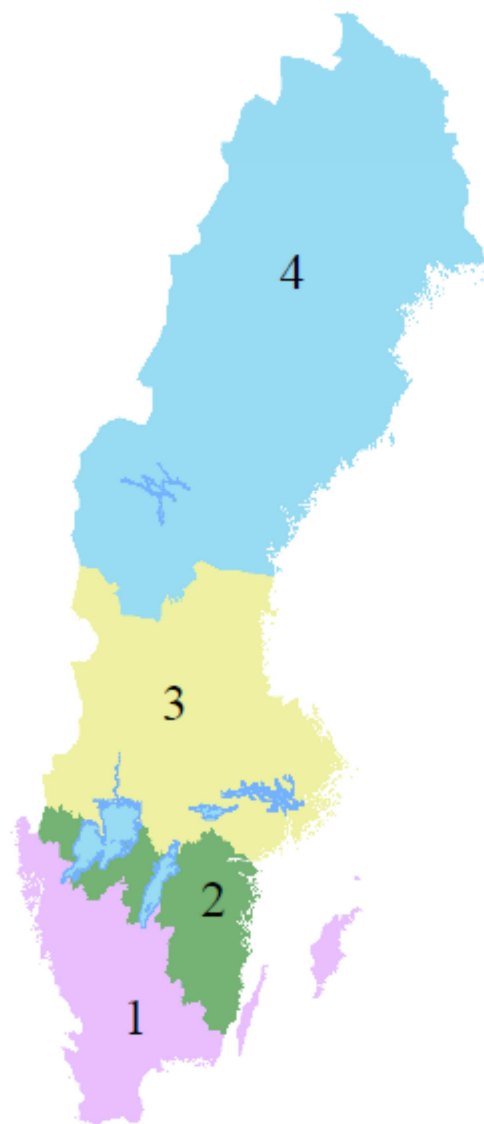
### 3.2 Gödslingsrekommendationer

Skogsstyrelsen har utarbetat allmänna råd (SKSFS 2007:3) till ledning för hänsyn enligt 30 § skogsvårdslagen (1979:429) vid användning av kvävegödsel på skogsmark (Skogsstyrelsen, 2007). I dessa allmänna råd anges hur och var i landet som gödsling kan ske. I dag tillämpas skogsgödsling med olika intensitet (olika stora gödselgivor) i olika delar av landet. Landet är indelat i fyra regioner (Fig. 1). De allmänna råden anger att kvävegödsling inte bör ske inom region 1, att inom region 2 bör kvävegödsling endast ske på marker där GROT uttag utförts eller planerats och i så fall med endast 150 kg N/ha under en omloppstid, att inom region 3 bör kvävegödsling ske med upp till 300 kg N/ha under en omloppstid och

---

<sup>1</sup> Under 2013 skedde en betydande minskning av den gödslade arealen till knappt 30 000 ha/år (se Tabell 2). Vi har dock i föreliggande rapport valt att använda 50 000 ha/år som en representativ årlig omfattning, baserat på den genomsnittliga gödslingsarealen under den senaste femårsperioden (Skogsstyrelsen, 2014).

inom region 4 med upp till 450 kg N/ha. Kvävegödsling rekommenderas endast i bestånd som uppnått gallringsmogen ålder. Före 2007 reglerades användningen av kvävegödselmedel på skogsmark av Skogsstyrelsens allmänna råd från 1991 (SKSFS 1991:2). Enligt dessa råd fick kvävegödsling på skogsmark i norra Sverige ske med maximalt 600 kg N/ha under en omloppstid.



**Figur 1.** Områdesindelning av Sverige för begränsning av Skogsgödsling (Skogsstyrelsen, 2007).

## 4. METODIK

En av huvudfrågeställningarna i föreliggande studie är om det möjligt att sätta typhalter för gödslad skogsmark med utgångspunkt i tillgängliga data. Det finns sedan tidigare ett antal litteratursammanställningar och scenarystudier om effekterna av kvävegödsling i Sverige. I denna rapport redovisas de viktigaste slutsatserna som sammanställts av Högbom & Jacobsson (2002), Gärdenäs m.fl. (2003), Löfgren (2007), Ring (2007), Zetterberg m.fl. (2006), Nordin m.fl. (2009), Kronnäs m.fl. (2012) och Högberg m.fl. (2014) tillsammans med tidigare experimentstudier och nyligen publicerade forskningsresultat (Ring m.fl., 2013). Effekter av gödsling både med rekommenderade givor (konventionell gödsling) och så kallad behovsanpassad gödsling (BAG) avhandlas i dessa rapporter.

Rapportförfattarna har även inhämtat information genom intervjuer och telefonsamtal med forskare och andra sakkunniga inom ämnesområdet. Bland dessa ska nämnas Stefan Löfgren, institutionen för vatten och miljö, SLU, Veronica Kronnäs, IVL och Eva Ring, Skogforsk. Vidare har Skogsstyrelsen bidragit med geografisk information (1:10 000) som samlats in vid samråden inför skogsgödsling. Det ska dock poängteras att innehållet i rapporten baserar sig på rapportförfattarnas egna slutsatser och tolkningar, och att rapportförfattarna är ansvariga för de slutsatser och rekommendationer som ges i rapporten.

## 5. RESULTAT OCH DISKUSSION

### 5.1 Går det att sätta typhalter för gödslad skogsmark?

Att gödsling kan leda till ökad utlakning av kväve (främst nitrat) har påvisats i studier både i Europa och i USA samt i Japan (Gundersen m.fl., 2006; Nordin m.fl., 2009). Störst utlakning har påvisats efter gödsling med höga eller upprepade gödselgivor (som överstiger rekommenderade givor) samt vid gödsling av mycket kväverika bestånd. Risk för kväveläckage vid konventionell gödsling föreligger dels som en *direkteffekt* i samband med gödsling, och dels i samband med *skogsskötselningrepp*, t.ex. slutavverkning, gallring och stormfällning (Ring, 2007).

#### 5.1.1 Direkteffekt

Vid konventionell skogsgödsling räknar man med att 5-10 % av det tillsatta kvävet läcker från beståndet i samband med gödslingsåtgärden, och kan nå de vattendrag som dränerar landskapet (Melin & Nõmmik, 1988; Nohrstedt & Westling, 1995, Ring, 2007). För en normal gödslingsgiva på 150 kg N per ha enligt Skogsstyrelsens nuvarande rekommendationer innebär detta ett läckage på 7,5-15 kg N per ha. I allmänhet återgår de förhöjda halterna av oorganiskt kväve till ursprungsnivåer inom två år, och huvuddelen av utlakningen sker troligtvis under det första året efter gödslingstillfället (Ring, 2007).

Löfgren (2007) föreslår att man för skog i norra Sverige, där merparten av skogsgödslingen sker (se Fig. 3, kap. 5.4), kan räkna med att omkring 5 % av den tillförda kvävedosen når avrinningsområdets ytvatten. Denna rekommendation, baserad på resultat från svenska och finska studier, utgjorde en av slutsatserna vid en vetenskaplig workshop (*How to estimate N and P losses from forestry in northern Sweden*) anordnad av Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien (KSLA), i samarbete med SMED-konsortiet (IVL, SCB, SLU och SMHI). I en scenariostudie om skogsbrukets effekter på kväveutlakning antog även IVL (Kronnäs m.fl., 2012) att 5 % av kvävedosen lakas ut under ett år (dvs. 7,5 kg N per ha vid en normal gödselgiva om 150 kg N per ha). Kronnäs m.fl. (2012) använde detta som ett mått (typvärde) på bruttoläckaget (innan retention i utströmningsområden, sjöar och vattendrag) från rotzonen från gödslad skogsmark. Med detta antagande skulle konventionell skogsgödsling av skog i de norra delarna av Sverige (region 4) enligt dagens

gödslingsrekommendationer (totalt 450 kg N per ha under en omloppstid) leda till ett läckage på 22,5 kg N per ha under en omloppstid. Motsvarande kväveläckage (direkteffekt) inom region 3 och 2 är 15 kg N per ha respektive 7,5 kg N per ha.

Modellsimuleringar utförda av Gärdenäs m.fl. (2003) visade att kväveutlakning åren efter gödsling kan variera avsevärt beroende på kvävedeposition, markens kvävestatus och väderförhållanden. I regioner med låg kvävedeposition ( $\leq 4$  kg N/ha/år) simulerades kväveläckage upp till 20 % av gödslingsdosen under perioder med kraftig snösmältning och/eller höga flöden i samband med höststormar. Detta illustrerar behovet att beakta säsongsdynamik vid uppskattning av kväveläckage.

*Baserat på tillgängliga litteraturdata görs bedömningen att ett kväveläckage om 5-10 % av en normal gödselgiva (150 kg N per ha) kan användas som ett mått på den utlakning som sker i samband med gödslingstillfället (dvs. 1-2 år efter gödsling). För beräkningarna inom PLC6 bedöms det rimligt att i enlighet med Löfgren (2007) anta att 5 % av den vid gödslingen tillförda dosen når avrinningsområdets ytvatten 1-2 år efter gödsling. Rekommendationen från Löfgren (2007) gäller för skog i norra Sverige, där merparten av utförda skogsgödslingsföretag sker. Det bedöms dock sannolikt att högre kväveläckage (upp till 20 % av gödslingsdosen) kan ske periodiskt, om gödsling sker före perioder med kraftig snösmältning och/eller höga flöden i samband med höststormar.*

### **5.1.2 Skogsskötselningrepp (hyggesupptagning)**

Oavsett om marken varit gödslad eller inte, ökar läckaget av kväve från skogsmark i samband med skogsskötselningrepp. I ett regionalt/nationellt perspektiv är slutavverkning den skogsbruksåtgärd som orsakar störst kväveförluster från mark till ytvatten (Akselsson m.fl., 2004). När ett bestånd avverkas minskar näringsupptaget drastiskt samtidigt som varmare och fuktigare markförhållanden leder till en ökad nedbrytning av organiskt material och därmed ökad utlakning av kväve (Vitousek, 1981; Zetterberg, 2006 och referenser däri). En ökad avrinning på grund av höjd grundvattennivå efter slutavverkning ökar utlakningen ytterligare. Kväveläckage i form av ammonium och nitrat som uppstår i samband med slutavverkning avklingar vanligtvis inom en femårsperiod (Ring, 2007), men svenska studier i Bergslagen och södra Norrland samt finska studier visar att läckaget av organiskt bundet kväve kan pågå mer än dubbelt så länge (Löfgren, 2007 och referenser däri).

Storleken på kväveutlakningen efter slutavverkning påverkas, liksom i växande skog, av markens kvävestatus och tillförseln av kväve, det vill säga

deposition, kvävefixering och gödsling (Andersson m.fl., 2002). Markens kvävestatus speglar en historisk tillförsel av kväve, men också den historiska markanvändningen. I områden med hög kvävedeposition och hög kvävestatus i sydvästra Sverige kan utlakningen från hyggesfasen utgöra upp till 40 % av den totala utlakningen under en omloppstid (Akselsson m.fl., 2004).

Risken för kväveläckage åren efter slutavverkning ökar med ökande kvävenedfall. Studier har visat att betydande kväveutlakning framförallt kan ske i regioner med måttlig och hög kvävedeposition ( $\geq 5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ) (Gärdenäs m.fl., 2003; Akselsson m.fl., 2004). Akselsson m.fl. (2004) visar att det kan förekomma mycket höga kväveläckage, upp till 35 kg N/ha/år, på vissa marker i sydöstra Götaland. I regioner med låg kvävedeposition, t.ex. i norra Skandinavien, är emellertid det ökade kväveläckaget efter slutavverkning knappt mätbart eller tämligen lågt (cirka 2-3 kg N/ha/år) (Nordin m.fl., 2009 och referenser däri).

Gödslade skogsbestånd löper generellt större risk än ogödslade att utlaka kväve vid avverkning till följd av ökad kväveupplagring i markens översta skikt (Högbom & Jacobsson, 2002). Endast ett fåtal försök avseende kvävegödslingens effekter på kväveutlakning i samband med slutavverkning har utförts i Sverige. Som poängteras av Högbom och Jacobsson (2002) har flera av dessa försök etablerats på marker som inte lämpar sig för kvävegödsling. Vidare har högre doser och tätare gödslingsintervall använts jämfört med vad som normalt rekommenderas. Detta gör att det kan vara svårt att dra slutsatser om effekter vid de kvävedoser som rekommenderas då ett konventionellt skogsbruk bedrivs (Högbom & Jacobsson, 2002; Zetterberg m.fl., 2006). Resultaten från dessa gödslingsförsök indikerar att kväveläckaget under hyggesfasen (2-5 år efter slutavverkning) ökar när den ackumulerade dosen ökar, men att betydande kväveläckage kan förväntas först vid mycket höga gödselgivor (överstigande cirka 1000 kg N/ha), långt över vad som idag rekommenderas (Nordin m.fl. 2009 och referenser däri). Nyligen publicerade forskningsresultat från gödslingsförsök i södra och mellersta Sverige visar att tillförsel av höga ackumulerade doser av kväve i kvävebegränsad skog inte nödvändigtvis resulterar i förhöjda kvävehalter i markvattnet efter slutavverkning (Ring m.fl., 2013). Dessa gödslingsförsök har till skillnad från tidigare försök, gödslats med realistiska givor och medel, och uppfyller de så kallade baskraven på gödslingsvärda bestånd (Kronnäs m.fl., 2013). Det ska poängteras att avverkning utfördes genom helträdsavverkning och att det är oklart om kvarlämnande av GROT (grenar och toppar) skulle ha inneburit högre läckage (Ring m.fl., 2013).

*I likhet med Zetterberg m.fl. (2006) och Kronnäs m.fl. (2012) görs även i denna förstudie bedömningen att utlakningseffekten på grund av gödsling efter slutavverkning är svår att uppskatta med tillgängliga data. Att slutavverkning kan leda till betydande kväveläckage, framförallt i regioner med måttlig och hög kvävedeposition ( $\geq 5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ ), är väl etablerad kunskap (Ring, 2007, Ring m.fl., 2013). När det gäller konventionell gödsling är det dock svårt att urskilja skillnader i kväveläckaget efter avverkning mellan gödslade och ogödslade bestånd.*

### **5.1.3 Behovsanpassad gödsling (BAG)**

När man utvärderar utlakningseffekter från gödslad skogsmark är det viktigt att beakta effekterna av ett intensivare skogsbruk, vilket kan bli aktuellt i framtiden. Behovsanpassad gödsling (BAG) är en metod för skogsgödsling som innebär en hög kvävetillförsel i ungskogsfasen som ligger utanför de gällande allmänna råden från Skogsstyrelsen. Metoden går ut på att gödsla ungskog med täta intervall med relativt låga doser anpassade till trädens behov för tillväxt (se t.ex. Fahlvik m.fl., 2009 och Nordin m.fl., 2009). Utgångspunkten för BAG är att kväve och andra näringsämnen ska tillföras i den takt och mängd som träden behöver dem. Mängderna bestäms efter trädens bedömda näringsbehov efter analyser av exempelvis barr. Även om kvävegivan som ges vid varje enskilt gödslingstillfälle kan komma att vara lägre än den rekommenderade kvävegivan vid skogsgödsling (150 kg N per ha), kommer den ackumulerade kvävegivan över ett bestånds omloppstid att överstiga de rekommendationer som idag finns för skogsgödsling (tillförsel av uppemot 1 500 kg N per ha under en omloppstid kan bli aktuella).

Kväveutlakning från marker med BAG kan ske genom läckage från växande skog och vid slutavverkning. Förkortade omloppstider till följd av gödslingen innebär dessutom fler hyggesfaser och därmed mer frekvent avverkningsrelaterad export av kväve från gödslad skogsmark (Nordin m.fl., 2009). Enligt Nordin m.fl. (2009) kan BAG komma att halvera omloppstiderna. Det betyder att den tid som ett BAG-gödslat bestånd föreligger i hyggesfasen kommer att öka betydligt jämfört med ogödslad skog och att riskerna för kväveläckage kan komma att öka i samband med avverkning.

Det finns relativt få försök där BAG har tillämpats, varför det är svårt att uppskatta typhalter för kväveläckage från skog där BAG tillämpas. Vid rätt utförd BAG kan man enligt Nordin m.fl. (2009) förvänta sig att kväveläckaget inte kommer att öka i växande skog. Resultat från försöken vid Flakaliden och Asa stödjer detta. Det finns emellertid försök (de s.k. bolagsförsöken) som i några fall uppvisar mycket högt kväveläckage (som



högst över 90 kg N/ha/år) vid tillämpning av praktisk BAG (Nordin m.fl., 2009, Kronnäs m.fl., 2012). BAG utförd på 5 % av den produktiva skogsmarksarealen skulle enligt Nordin m.fl. (2009) leda till en ökning av nettobelastningen av kväve till Östersjön och Västerhavet på 350 ton per år, och enligt Kronnäs m.fl. (2012) på 6 000 ton per år. Den stora skillnaden mellan skattningarna beror på användning av olika typhalter för bruttoutlakningen av kväve vid BAG. Nordin m.fl. (2009) beräknar utlakningen till cirka 1 kg N/ha/år (baserat på data från försöken vid Flakaliden och Asa) medan Kronnäs använder ett typvärde på 16,7 kg N/ha/år (baserat på medelvärdet för utlakningen från nio försökslokaler).

*Det saknas praktisk erfarenhet av BAG varför olika skattningar av möjligt kväveläckage är osäkra. Bedömningen görs därför att det idag inte finns ett tillräckligt dataunderlag för att på ett tillförlitligt sätt kunna beräkna den antropogena belastningen av kväve från BAG-gödslad skog inom ramen för PLC6.*

## 5.2 Kväveretention

Typhalter är generella och behäftade med osäkerheter beroende på bland annat variationer i klimat, markens bördighet, kvävedeposition och markens retentionsförmåga (Vitousek, 1981; Kronnäs m.fl., 2012). De typhalter som använts vid olika belastningsberäkningar utgör bruttovärden på utlakningen, som kan sägas ange de yttre ramarna för kväveutlakningen från den gödslade skogsmarken. Nettobelastningen, det som verkligen når havet, beror både på bruttobelastningen och på retentionsprocesserna längs vattnets väg från rotzonen via skogsmarkens utströmningsområden, mindre vattendrag och sjöar till omgivande hav.

Retentionsprocesserna kan variera avsevärt beroende på geologiska förhållanden, läge i terrängen, egenskaper i den bäcknära zonen, kvävetts uppehållstid i sjöar och vattendrag m.m. (Kronnäs m.fl., 2012). Bristfällig kunskap om retentionskapaciteten i skogsmarkens utströmningsområden är en av de stora osäkerhetsfaktorerna vad gäller bedömningar av hur skogsgödsling (och andra skogsbruksåtgärder) påverkar eutrofiering av ytvatten (Nordin m.fl., 2009, de Jong m.fl., 2012). Många studier visar att det i de flesta kvävebegränsade skogars utströmningsområden sker effektiv retention (denitrifikation och upptag i vegetation) av mark- och grundvattentransporterat kväve. Studier har visat att avrinningsområden med en hög andel organiskt material har högst retention, och således bäst förmåga att kvarhålla kväve (Lepistö m.fl., 1995).

Andra studier har påvisat behovet att beakta säsongsdynamik vid beräkning av kväveläckage. Modellberäkningar utförda av Gärdenäs m.fl. (2003) visade att kväveläckaget från skogen var väldigt periodiskt och väderberoende, så att stora mängder kväve förlorades under endast ett fåtal dagar, främst i samband med snösmältning. Det är en uppenbar risk att dessa flödestoppar inte fångas i mätningar i rotzonen eller vattendrag, antingen beroende på en utjämning eller att man inte mäter vid dessa tillfällen.

De flesta studier av gödslingens effekter är baserade på markvattenmätningar i rotzonen, medan färre studier beskriver effekter av gödsling i närmaste ytvattendrag. Det är svårt att extrapolera påvisade effekter på beståndsnivå till mer storskaliga effekter på avrinningsnivå. Detta eftersom avrinningsområdets ytvatten härstammar från markvatten från stora arealer, och således inte bara från det område där skogsbruksåtgärden har utförts (t.ex. Binkley m.fl. 1999).

Kväveretention i mark, sjöar och vattendrag hanteras med modellen SMED-HYPE inom PLC6-beräkningarna.

## **5.3 Risk för dubbelräkning?**

Föreliggande förstudie innefattar en bedömning av risken för dubbelräkning i det fall gödslingens effekter redan beaktas i beräknade läckage för skogsmark. I de beräkningar av kväveläckage som gjordes i PLC5 har typhalter baserats på mätdata från representativa områden inom de regionala och nationella mätprogrammen (data från vattendragen). För norra Sverige har en algoritm använts för att beräkna typhalten för skog, myr, fjäll och öppen mark och med en säsongsvariation i enlighet med Löfgren och Brandt (2005). Typhalterna beräknas här utifrån medelhöjden i området med lägre typhalter i fjälltrakterna än nära havet. För södra Sverige har samma typhalter för skog, myr och öppen mark använts som i TRK-projektet (Transport, Retention och Källfördelning) (Brandt & Ejhed, 2002; Löfgren & Westling, 2002).

När det gäller skogsgödsling är det framförallt norra Sverige och de typhalter som beräknas enligt Löfgren och Brandt (2005) som är aktuella att beakta i analysen (det är framförallt i norra Sverige gödsling utförs). I PLC6 används samma typhalter som i PLC5 för norra Sverige. Det saknas dock information om andelen gödslade ytor eller i vilken utsträckning skogsbruksåtgärder utförts inom de små avrinningsområden som använts för framtagning av typhalterna. Men med tanke på att datamaterialet för norra Sverige omfattar förhållandevis få objekt (färre än 262 st.), och att den

gödslade skogsmarken utgör endast en liten andel (cirka 0,2 %, se Tabell 2, kap. 4.5) av den totala arealen brukad skogsmark, är sannolikheten liten att eventuellt gödslade objekt skulle ha en inverkan på storleken på de beräknade typhalterna (Stefan Löfgren, personlig kommunikation). Detta talar för att gödslingens effekter med avseende på kväveläckage inte beaktas i beräknade läckage för skogsmark enligt Löfgren och Brandt (2005).

*Bedömningen görs därför att användning av typhalter för kväveläckage från gödsling inte utgör någon risk för dubbelräkning (dvs. överskattning av kväveläckaget) vid beräkning av belastningen på havet. Man bör därför inom ramen för PLC6 kunna lägga till effekten från gödsling till nuvarande beräkningar.*

## **5.4 Geografisk utvärdering**

Ett av huvudsyftena med denna förstudie är att utvärdera om det finns tillräckligt med information för att kunna inkludera skogsgödsling som en belastningskomponent i kommande beräkningar inför PLC6. Den innefattar en geografisk utvärdering, i GIS (Geografiskt Informationssystem), av tillgången till area gödslad skogsmark med avseende på kompletthet, noggrannhet i geografisk position och hur långt bakåt i tiden de data finns sammanställda med GIS-skikt, samt bedömning om den geografiska informationen har tillräckligt god kvalitet för att beräkningar av belastningen för PLC6 ska kunna genomföras.

Skogsstyrelsen rekommenderar samråd mellan Skogsstyrelsen och brukaren innan gödslingsföretag påbörjas. Genomförda samråd dokumenteras enligt Skogsstyrelsens rutiner och innehåller metadata kring genomfört samråd. Uppgifterna är av typen; fastighet, anmäld areal, datum för samråd etc. (se Figur 2). Från och med 2011 och fram till idag (december 2013) är varje ärende kopplat till ett geografiskt datalager med geografiska ytor där varje ärende relateras till en eller flera ytor. För samråd rapporterade tidigare än 2011 finns fastighetsbeteckningen lagrad men relationen till geografiska ytor är inte genomförd.

Field Name	Data Type	Description
OBJECTID_1	AutoNumber	
Shape	OLE Object	
OBJECTID	Number	
Id	Number	
LanKod	Text	
KommunKod	Text	
ArendeBete	Text	
ArendeAr	Number	
ArendeNr	Number	
ArendeTyp	Text	
Status	Text	
InkomDatum	Date/Time	
Arendemeni	Text	
AnmaldArea	Number	
ArealKarta	Number	
SkogsTyp	Text	
UpprattadD	Date/Time	
ArendeID	Number	
SWEREF99No	Number	
SWEREF99Os	Number	
Latitude	Number	
Longitude	Number	
KartaHekta	Number	
FastighetN	Text	
Shape_STAr	Number	
Shape_STLe	Number	
Shape_Leng	Number	
Shape_Length	Number	
Shape_Area	Number	

Field Properties	
General	
Field Size	Long Integer
New Values	Increment
Format	
Caption	
Indexed	Yes (No Duplicates)
Smart Tags	
Text Align	General

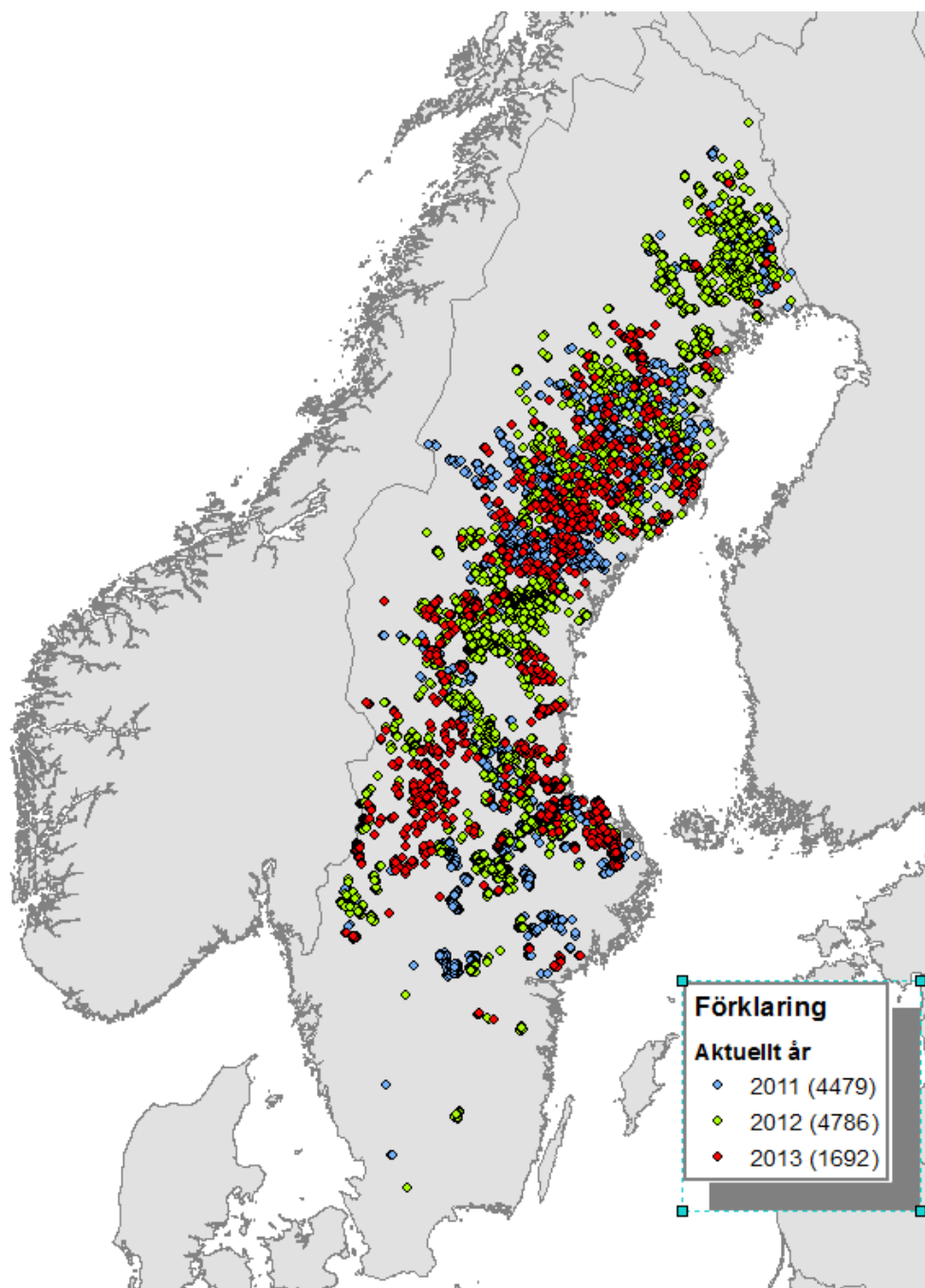
A field name can be up to 64 characters long, including spaces. Press F1 for help on field names.

**Figur 2.** Tabellstruktur (metadata) för Skogsstyrelsens genomförda samråd.

Den geografiska utvärderingen syftar till att besvara frågan om Skogsstyrelsens underlag i fråga om helhet och kvalitet är tillräcklig för att använda som underlag för beräkning av närsaltsläckage relaterat till skogsgödsling. Analysen genomförs dels på tabellinformationen och dels på de geografiska objekten.

Genomgång av Skogsstyrelsens underlag för samråd avseende åren 2011, 2012 och 2013 ger att 870 samråd genomförts fördelade på 10 957 olika objekt. Enskilda samråd mellan åren 2011-2013 har omfattat allt mellan 1 och 330 ytor. Aktuella gödslingsföretag för respektive år illustreras som

punkter i Figur 3. Notera att majoriteten av utförda gödslingsföretag utfördes i de mellersta och norra delarna av Sverige.



**Figur 3.** Geografisk fördelning av gödslingsföretag i skogsmark mellan åren 2011 – 2013. Ytobjekt är redovisade som punkter för respektive år.

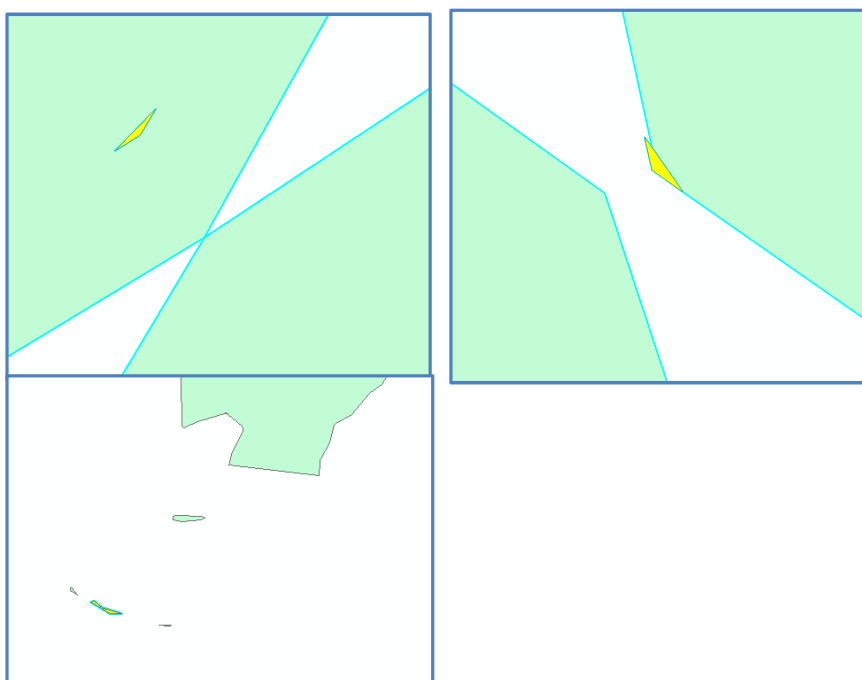
För ytterligare analys inkluderas areauppgifter om objekten. Areauppgifter förekommer i tre olika former: angiven area (anges av skogsägaren), area på karta och faktiskt geometrisk area hos refererad yta (objektsarea i geodataunderlaget).

Som framgår i den statistiska sammanställningen av tabelldata i Tabell 1 är variationen i gödslad areal stor. En grundförutsättning för att kunna använda den gödslade arealen i beräkningar av närsaltsläckage är att områden som gödslats har beskrivits med en korrekt geografisk utbredning, eftersom beräkningen grundas på tillsatt gödslingsmängd per area och tidsenhet. I Tabell 1 framgår att den minsta yta som redovisas i underlaget är betydligt mindre än 10 000 m<sup>2</sup> (1 ha), vilket anses vara den minsta arealen för ett skogsskifte. I underlaget förekommer små areor som har uppstått genom kombinationer av olika dataunderlag (exempel ges i Figur 4). Dessa bör betraktas som felaktiga snarare än ytor som representerar ansökta eller genomförda gödslingsföretag. Totalt finns det 523 ytor som är mindre än 1 ha, och av dessa är det 24 stycken där arealen i metadata [KartaHektar] är satt till 0. För övriga ytor angivna som mindre än 1 ha ges en area, men det är oklart huruvida angiven area är ett resultat av en applicerad funktion på geografisk data eller rapporterad (i samband med samråd) som en faktisk för gödsling avsedd yta.

**Tabell 1.** Statistisk sammanställning av objektsarealer i [m<sup>2</sup>] för sökta samråd gällande skogsgödsling, fördelat på respektive år. Förutom totala, minsta och största angivna areor redovisas även beräknade medelvärden (Medel) och standardavvikelser (STD). 1 hektar (ha) motsvarar 10 000 m<sup>2</sup>.

Ärende, år	Total area	Min area	Max area	Medel area	STD area
2011	505488752	1,6	1607610	112858	140831
2012	521058516	0	1912507	108871	144098
2013	260250949	312	2358773	153812	205571

För att undvika dubbelräkning måste varje areal vara unik och får inte överlappas av någon annan yta som representerar ett gödslingsföretag. Genom att ansätta regler för geografisk validering kan förhållanden mellan olika objekt inom samma lager undersökas. Överlapp mellan objekt är inte tillåtet eftersom det genererar en överskattning av andelen gödslad areal. Validering ger att det finns 1 680 sådana problemområden där given area överlappas helt eller till delar av en annan area.



**Figur 4.** Exempel på objekt med mycket liten area (kan i figuren ses som fragment inom eller utanför större sammanhängande gödslade ytor).

*Av ovanstående analys följer att underlaget från Skogsstyrelsen gällande samråd för gödsling inte utan förbehandling kan användas eftersom det då kommer att leda till fel i den gödslade arealen. Eftersom varje ärende är kopplat till ett geografiskt objekt så är det dock fullt möjligt att korrigera felen och därefter använda underlaget för PLC6-sammanställningen.*

## **5.5 Påverkar skogsgödsling belastningen på Östersjön och Västerhavet?**

I Sverige gödglas för närvarande i storleksordningen 50 000 hektar årligen (data från Skogsstyrelsen), vilket motsvarar cirka 0,2 % av den totala skogsmarksarealen (Tabell 2). I denna areal ingår både förstagångsgödsling av bestånd och omgödsling av tidigare gödslade bestånd. Fördelningen av gödslad och total skogsareal per län redovisas i Tabell 2. Den teoretiskt möjliga gödslingsarealen inom ramen för Skogsstyrelsens nuvarande råd är i storleksordningen 300 000 hektar årligen, varför det finns möjlighet till en utökad mängd skogsgödsling.

Naturvårdsverket har beräknat den kvävebelastning som årligen tillförs Östersjön och Västerhavet för perioden 1985-2004 (Brandt m.fl., 2008).

Enligt deras uppskattning svarar skogsmarken för 38 700 ton/år (nettovärde), eller 1/3, av den totala kvävetillförseln till havet. Av detta utgör 36 100 ton/år bakgrundsbelastning från växande skog. Endast 2 600 ton/år tillförs extra på grund av skogsbruksåtgärder och där hyggesupptagning är huvudorsaken.

Om ogödslad skogsmark ställs i relation till gödslad skogsmark kan det antas att belastningen kommer att öka. Vid konventionell skogsgödsling lakas upp till 5-10 % (motsvarar 7,5-15 kg N per ha) ut av en normal gödselgiva (150 kg N per ha) under de kommande 1-2 åren (Ring, 2007). Om man grovt räknar med att gödsling utförs på 50 000 ha skogsmark årligen (nuvarande omfattning) och att 50 %<sup>2</sup> av det kväve som läcker från rotzonen når omgivande hav så skulle det innebära en ökad nettobelastning av kväve i storleksordningen 0,5-1 % relativt den totala nettotillförseln av kväve från skogsmark till haven redovisad i Brandt m.fl. (2008). Om gödsling istället skulle utföras på 300 000 hektar årligen (den teoretiskt möjliga gödslingsarealen inom ramen för Skogsstyrelsens nuvarande råd) skulle motsvarande ökning av nettobelastningen ligga på omkring 3-6 %. Vidare skulle andelen kväve som härrör från skogsgödsling öka från att utgöra mindre än 10 % (gödsling av 50 000 ha/år) till mer än 30 % (gödsling av 300 000 ha/år) av den antropogena nettobelastningen från skogsbruket på omgivande hav. Detta är en mycket grov skattning, men en indikation på att kväveläckaget från gödslad skogsmark är viktigt att beakta om den gödslade arealen skogsmark skulle öka avsevärt i framtiden.

Även om skogsbrukets (inkl. gödsling) andel av den mänskligt betingade kvävebelastningen på omgivande hav är marginell jämfört med den naturliga bakgrundsbelastningen, kan dock vattenkvaliteten lokalt i skogsbäckar och skogssjöar påverkas negativt av skogsbruket.

Sverige har åtagit sig att inom ramen för Baltic Sea Action Plan att minska den vattenburna belastningen till egentliga Östersjön och Kattegatt med cirka 7 500 ton per år (revision BSAP, 2013). De gödslade arealerna ligger huvudsakligen i tillrinningsområdena till Bottenviken, Bottenhavet och Skagerak. Det är därmed oklart om skogsgödslingens effekter skulle påverka Sveriges åtagande enligt BSAP.

---

<sup>2</sup> Baserat på kväveretentionen för mark, sjöar och vattendrag i Brandt m.fl. (2008).



**Tabell 2.** Fördelning av gödslad och total skogsareal per län för åren 2011-2013 uttryckt i hektar [ha]. Data avseende gödslad skogsareal är hämtad från Skogsstyrelsen. Beräkning av total skogsareal: enligt PLC5.

Län	Gödslad skogsareal [ha]			Total skogsareal (ha)	Total andel gödslad skog i medeltal (%)
	2011	2012	2013		
Stockholms län	269	0	0	341 000	0,03
Uppsala län	1 915	1 853	1 470	432 000	0,40
Södermanlands län	1 288	136	245	325 000	0,17
Östergötlands län	0	349	41	572 000	0,02
Jönköpings län	0	0	0	663 000	0
Kronobergs län	26	24	0	576 000	0,00
Kalmar län	0	0	0	664 000	0
Gotlands län	0	0	0	127 000	0
Blekinge län	0	0	0	186 000	0
Skåne län	0	3	0	357 000	0,00
Hallands län	0	0	0	297 000	0
Västra Götalands län	17	6	227	1 257 000	0,01
Värmlands län	490	2 008	2 992	1 196 000	0,15
Örebro län	3 231	460	11	513 000	0,24
Västmanlands län	1 078	755	74	271 000	0,23
Dalarnas län	3 287	7 172	5 289	1 783 000	0,29
Gävleborgs län	1 564	6 410	4 675	1 259 000	0,33
Västernorrlands län	14 368	5 128	3 604	1 501 000	0,51
Jämtlands län	6 280	6 299	2 080	2 715 000	0,18
Västerbottens län	11 277	9 977	4 277	3 355 000	0,25
Norrbottens län	5 446	11 510	1 034	4 995 000	0,12
<b>SUMMA Sverige</b>	<b>52 547</b>	<b>54 102</b>	<b>28 032</b>	<b>23 385 000</b>	<b>0,19</b>

## 6. SLUTSATSER

SMED har på uppdrag av HaV utfört en förstudie om möjligheten att inkludera skogsgödsling i PLC6. De viktigaste slutsatserna sammanfattas nedan:

- Baserat på tillgängliga litteraturdata görs bedömningen att ett kväveläckage om 5-10 % av en normal gödselgiva (150 kg N per ha) kan användas som ett mått på den utlakning som sker i samband med gödslingstillfället (dvs. 1-2 år efter gödsling). Om beräkningarna ska genomföras inom PLC6 bedöms det rimligt att i enlighet med Löfgren (2007) anta att 5 % av den tillförda kvävedosen når avrinningsområdets ytvatten 1-2 år efter gödsling. Rekommendationen från Löfgren (2007) gäller för skog i norra Sverige, där merparten av utförda skogsgödslingsföretag sker. Det bedöms dock sannolikt att högre kväveläckage (upp till 20 % av gödslingsdosen) kan ske periodiskt, om gödsling sker före perioder med kraftig snösmältning och/eller höga flöden i samband med höststormar.
- Slutavverkning kan leda till betydande kväveläckage, särskilt i regioner med måttlig och hög kvävedeposition ( $\geq 5$  kg/ha/år). När det gäller konventionell gödsling är det dock svårt att urskilja skillnader i kväveläckage efter avverkning mellan gödslade och ogödslade bestånd. Ingen åtgärd föreslås inom ramen för PLC6.
- Det saknas praktisk erfarenhet av BAG (behovsanpassad gödsling), varför olika skattningar av möjligt kväveläckage är osäkra. Bedömningen görs därför att det idag inte finns tillräckligt dataunderlag för att på ett tillförlitligt sätt kunna beräkna den antropogena belastningen av kväve från BAG-gödslad skog inom ramen för PLC6.
- Det bedöms inte föreligga någon risk för dubbelräkning (överskattning av kväveläckaget) vid användning av typhalter för kväveläckage vid skogsgödsling. Man bör därför inom ramen för PLC6 kunna lägga till effekten från gödsling till nuvarande beräkningar.
- Den geografiska informationen från Skogsstyrelsen bedöms vara tillräckligt komplett för PLC6-sammanställningen. Underlaget kan dock inte utan förbehandling användas eftersom det då kommer att leda till fel i den gödslade arealen. Först efter korrigering av felen kan underlaget användas för beräkningar inom PLC6.

- En grov skattning för Sverige indikerar att konventionell skogsgödsling enligt dagens omfattning (cirka 50 000 ha/år) ger marginella effekter på den totala kväveutlakningen från skogsmarken till omgivande havsområden. Om den gödslade arealen skogsmark skulle öka avsevärt i framtiden kan kväveläckaget från gödslad skogsmark vara viktigt att beakta.

## 7. REFERENSER

- Akselsson, C., Westling, O. & Örlsnder, G. 2004. Regional mapping of nitrogen leaching from clearcuts in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 202: 235-243.
- Andersson, P., Berggren, D., Nilsson, I. 2002. Indices for nitrogen status and nitrogen leaching from Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) stands in Sweden. *Forest Ecology and Management* 157: 39-53.
- Binkley, D., Burnham, H. & Lee Allen, H. 1999. *Forest Ecology and Management* 121: 191-213.
- Brandt, M. & Ejhed, H. 2002. TRK. Transport – Retention – Källfördelning. Belastning på havet. Naturvårdsverket, rapport 5247.
- Brandt, M., Ejhed, H. & Rapp, L. 2008. Näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet 2006. Sveriges underlag till HELCOMs femte Pollution Load Compilation. Naturvårdsverket, rapport 5815.
- Nutrient loads to the Swedish marine environment in 2006 Sweden's Report for HELCOM's Fifth Pollution Load Compilation, report 5995 September 2009, SMED on behalf of the Swedish Environmental Protection Agency.
- de Jong, J., Akselsson, C., Berglund, H., Egnell, G., Gerhardt, K., Lönnberg, L., Olsson, B. & von Stedingk, H. 2012. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes från Energimyndighetens bränsleprogram 2007-2011. Energimyndigheten, Eskilstuna.
- Fahlvik, N., Johansson, U. & Nilsson, U. 2009. Skogsskötsel för ökad tillväxt. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-43-8.
- Gärdenäs A., Eckersten, H. & Lillemägi, M. 2003. Modelling long-term effects of N fertilization and N deposition on the N balances of forest stands in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, *Emergo* 2003:3. ISSN 1651-7210.
- Gundersen, P., Schmidt, I.K., Rauland-Rasmussen, K. 2006. Leaching of nitrate from temperate forests – effects of air pollution and forest management. *Environmental Review* 14:1-57.
- 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. Skogsstyrelsen, rapport nr 1/2014.

- Högbom, L. & Jacobsson, S. 2002. Kväve 2002 – en konsekvensbeskrivning av skogsgödsling i Sverige. Skogforsk, redogörelse nr 6, 2002.
- Kronnäs, V., Hellsten, S. & Akselsson C. 2012. Kväveutlakning från skogsmark vid olika skogsbruksåtgärder – uppskalning för avrinningsområden i södra Östersjöns, norra Östersjöns samt Västerhavets vattendistrikt. IVL Rapport B2056.
- Lepistö, A., Andersson, L., Arheimer, B. & Sundblad, K. 1995. Influence of catchment characteristics, forestry activities and deposition on nitrogen export from small forested catchments. *Water, Air and Soil Pollution* 84:81-102.
- Löfgren, S. 2007. Conclusions from the workshop: How to estimate N and P losses from forestry in northern Sweden. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 146(2): 24-30.
- Löfgren, S. & Brandt, M. 2005. Kväve och fosfor i skogsmark, fjäll och myr i norra Sverige. Slutrapport till Naturvårdsverket 2005-06-09. ISSN: 1652-4179.
- Löfgren, S. & Westling, O. 2002. Modell för att beräkna kväveförluster från växande skog och hyggen i Sydsverige. Inst. för Miljöanalys, SLU, Rapport 2002:1.
- Melin, J. & Nõmmik, H. 1988. Fertilizer nitrogen distribution in a *Pinus sylvestris/Picea abies* ecosystem, central Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 3: 3-15.
- 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.
- Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson, P.E. 2011. Reduced European emissions of S and N – Effects on air concentrations, deposition and soil water chemistry in Swedish forests. *Environmental Pollution* 159: 3571-3582.
- Ring, E. 2007. Estimation of leaching of nitrogen and phosphorus from forestry in northern Sweden. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 146:6-13.
- 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.
- Skogsstyrelsen 2007. Kvävegödsling av skogsmark. Meddelande 2:2007. ISSN 1100-0295.
- Skogsstyrelsen 2014. Skogsstyrelsens officiella statistik 2014. <http://www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/>
- Tamm, C-O. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. *Ecological Studies* no 81. Springer-Verlag, Berlin.
- Vitousek, P.M. 1981. Clearcutting and the nitrogen cycle. *Ecological Bulletin* (Stockholm) 33: 631-642.
- Zetterberg, T., Hellsten, S., Belyazid, S., Karlsson, P-E. & Akselsson 2006 (reviderad 2008). Regionala förutsättningar och miljörisker till följd av skogsmarkgödsling vid olika scenarier för skogsskötsel och kvävedeposition – modellerade effekter på kväveupplagring, biomassa, markkemi och artsammansättning. IVL-rapport B1691.