

För Länsstyrelsen i Norrbotten

## Kritisk belastning för försurning och övergödning i Norrbottens län



*Cecilia Akselsson\*, Salim Belyazid\*, Sara Jutterström, Per Erik Karlsson & Gunilla Pihl Karlsson*

\* Lunds universitet

**Författare:** Cecilia Akselsson, Salim Belyazid, Sara Jutterström, Per Erik Karlsson & Gunilla Pihl Karlsson

**Medel från:** Länsstyrelsen i Norrbottens län

**Foto:** Öppet fältytan i Nikkaluokta inom Krondroppsnätet

**Rapportnummer:** C 126

**Upplaga:** Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2015

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60,100 31 Stockholm

Tel: 010-788 65 00 Fax: 010-788 68 90

[www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	4
1 Introduktion och syfte.....	5
2 Metodik.....	5
2.1 Nedfall av svavel och kväve .....	6
2.2 Kritisk belastning och överskridande för försurning i skogsmark.....	6
2.3 Kritisk belastning och överskridande för försurning av sjöar.....	7
2.4 Kritisk belastning och överskridande för övergödande kväve .....	8
3 Resultat och diskussion.....	9
3.1 Kritisk belastning och överskridande för försurning i skogsmark.....	9
3.2 Kritisk belastning och överskridande för försurning av sjöar.....	11
3.3 Kritisk belastning och överskridande för övergödande kväve .....	12
4 Potentiella kväveeffekter på växtligheten i fjällvärlden.....	15
4.1 Lokala variationer i kvävenedfall .....	15
4.2 Kunskaper om kvävet inverkan på växtligheten vid nordliga breddgrader .....	15
4.3 Experimentella undersökningar.....	16
4.4 Övergripande slutsatser om kväveeffekter på växtligheten i fjällvärlden .....	17
5 Slutsatser .....	17
6 Referenser.....	18

## Sammanfattning

Nedfall av svavel och kväve har lett till försurning av mark och sjöar i Sverige. Kvävenedfallet har även bidragit till övergödning av mark, sjöar och hav. Nedfall av svavel och kväve följer en gradient från sydväst mot norr. Södra Sverige, där nedfallet är som störst, är värst drabbat, och Norrbotten är det län som tar emot minst nedfall. Trots lågt nedfall kan det dock finnas risk för problem med försurning och övergödning även långt norrut, i speciellt känsliga ekosystem.

På uppdrag av Länsstyrelsen i Norrbottens län har IVL Svenska Miljöinstitutet, i samarbete med Lunds universitet, beräknat kritisk belastning för försurning och övergödning i Norrbottens län. Utredningen syftar till att, baserat på de nationella beräkningar som är gjorda, presentera överskridande av kritisk belastning för försurning i skogsmark och i sjöar, samt att beräkna och presentera kritisk belastning och överskridande för övergödande kväve i Norrbottens län enligt olika metoder och för olika typer av markanvändning. Resultaten diskuteras utifrån ett miljömålsperspektiv.

Kartläggningarna av överskridandet av kritisk belastning i Norrbottens län, baserade på 2020 års nedfall, visar på att problemen med försurning och övergödning är små i länet. De visar dock att det finns risk för överskridande av den kritiska belastningen för försurning och övergödande kväve i mindre områden i de östligaste delarna. Den kritiska belastningen av aciditet överskrids på 1 % av länets area med avseende på sjöar. När det gäller skogsmark visar den dynamiska modellen på att det inte finns något överskridande alls, medan den statiska modellen visar på ett överskridande på 0,5 % av de modellerade provytorna, det vill säga i samma storleksordning som för sjöarna. Det är längs kusten, där nedfallet är som störst, som risken finns för överskridanden.

Beräkningarna för övergödande kväve visar olika resultat med olika metoder. Modellberäkningarna där markvegetation samt kvävehalter i markvatten används som kriterier visar på överskridande i de östligaste delarna av länet. De största arealerna visar dock inte på något överskridande. Enligt beräkningarna med de empiriskt satta gränserna finns inget överskridande alls. Dock är det viktigt att påpeka att det finns begränsningar med empirisk kritisk belastning för kväve. Det skulle till exempel kunna finnas vegetationstyper som är känsligare med avseende på kväve, till exempel i fjällområdena. Fortsatta studier om kväveeffekter på olika ekosystem behövs för att kunna kartlägga detta. De studier som finns tyder på att dagens kvävenedfall har liten påverkan på fjällvegetationen och att det kommer att krävas relativt stora ökningarna för att kvävenedfallet skulle ge någon nämnvärd effekt. Det verkar därför som att nuvarande värde för kritisk belastning för övergödande kväve för öppen mark med lite eller ingen vegetation, 3 kg N/ha/år, har en god möjlighet att skydda växtligheten i norra Sveriges fjällvärld från betydande förändringar orsakade av kvävenedfall.

## 1 Introduktion och syfte

På uppdrag av Länsstyrelsen i Norrbottens län har IVL Svenska Miljöinstitutet i samarbete med Lunds universitet beräknat kritisk belastning för försurning och övergödning i Norrbottens län.

Nedfall av svavel och kväve har lett till försurning av mark och sjöar i Sverige. Kvävenedfallet har även bidragit till övergödning av mark, sjöar och hav. Södra Sverige, där nedfallet är som störst, är värst drabbat (Naturvårdsverket, 2015). Olika ekosystem är dock olika känsliga, och det finns områden även långt norrut där det finns problem med försurning och övergödning.

Syftena med detta projekt var:

- att presentera kritisk belastning och överskridande för försurning i skogsmark i Norrbottens län, baserat på de nationella beräkningar som är gjorda sedan tidigare,
- att presentera kritisk belastning och överskridande för försurning i sjöar i Norrbottens län, baserat på de nationella beräkningar som är gjorda sedan tidigare,
- att beräkna och presentera kritisk belastning och överskridande för övergödande kväve i Norrbottens län enligt olika metoder och för olika typer av markanvändning,
- att diskutera resultaten utifrån ett miljömålsperspektiv.

## 2 Metodik

Kartläggningarna i denna studie baseras dels på nationella kartläggningar som gjorts sedan tidigare, från vilka resultaten för Norrbottens län har lyfts fram och studerats i detalj, dels på nya beräkningar som gjorts för denna studie.

Resultaten från tre olika modeller, PROFILE (Sverdrup & Warfvinge, 1993; Sverdrup & Warfvinge, 1995), ForSAFE (Wallman m.fl., 2005; Belyazid m.fl., 2006), och MAGIC (Cosby m.fl., 1985; Cosby m.fl., 2001) användes, och resultaten har jämförts och diskuterats. Vid samtliga kartläggningar har stamuttag använts, det vill säga inget uttag av grenar och toppar.

För kritisk belastning med avseende på försurning av skogsmark och sjöar användes modellresultat från tidigare nationella kartläggningar. Resultat från PROFILE och ForSAFE användes för skogsmark, och resultat från MAGIC användes för sjöar. ForSAFE-modelleringen uppdaterades med nya depositionsvärden, samma som användes för PROFILE och MAGIC. Genom att presentera resultat från båda modellerna PROFILE och ForSAFE kan resultaten knytas till tidigare beräkningar (PROFILE), samtidigt som dynamiken och återhämtningsprocessen representeras (ForSAFE).

För kritisk belastning av övergödning av kväve användes både modellresultat från nationella kartläggningar och resultat från nya beräkningar baserade på empiriskt framtagna kritiska belastningsgränser. De nya beräkningarna utfördes eftersom tidigare nationella resultat från beräkningar med empiriska kritiska belastningsgränser hade för dålig upplösning för att kunna användas i Norrbottens län. Nedan ges en detaljerad beskrivning av vilka nedfallsdata som användes i beräkningarna, varefter metodiken för kritisk belastning för försurning av skogsmark, kritisk belastning för försurning av sjöar samt kritisk belastning för övergödande kväve presenteras mer i detalj.

## 2.1 Nedfall av svavel och kväve

Nedfall av svavel och kväve för 2020, enligt det så kallade CLE-scenariet ("current legislation" som baseras på dagens lagstiftning), användes i modelleringen. Nedfallet har modellerats inom konventionen om långväga transporterade luftföroreningar (LRTAP) med EMEP-modellen av IIASA i april 2013, och det är dessa data som använts i de senaste nationella beräkningarna.

## 2.2 Kritisk belastning och överskridande för försurning i skogsmark

Resultat från nationella beräkningar av kritisk belastning och överskridande för försurning, med de två modellerna PROFILE och ForSAFE, skalades ner till länsnivå i Norrbottens län. PROFILE är en "steady state modell", vilket innebär att konstanta värden på indata-parametrar som nedfall, klimat och biomassauttag används, och att resultatet blir den markkemi som ställer in sig på sikt, vid jämvikt, "steady state". PROFILE har använts under många år för beräkning av vittring, kritisk belastning och överskridande i skogsmark, både nationellt och internationellt. Beräkningar av kritisk belastning för Sverige gjordes senast på uppdrag av Naturvårdsverket, i december 2013 (Akselsson, 2013), på 17 333 ytor inom Riksinventeringen i skog (RIS). Det är från dessa beräkningar som resultat för Norrbottens län lyfts fram, analyserats och diskuterats. Mark- och klimatdata som använts vid modelleringen beskrivs i Akselsson m.fl. (2004). Det kemiska kriteriet som använts är kvoten mellan baskatjoner och aluminium (BC/Al), och den kritiska gränsen är 1. Detta innebär att den kritiska belastningen antas överskridas då BC/Al-kvoten underskrider 1.

ForSAFE är en dynamisk modell, där vittringsdelen är densamma som i PROFILE, men där även andra modeller byggts in, till exempel en trädutväxtmodell och en nedbrytningsmodell. Dessutom har ForSAFE tidsupplösning, vilket enkelt uttryckt innebär att tidsserier för till exempel

nedfall och klimat ges som input, och att tidsserier för till exempel markkemi, tillväxt, nedbrytning och vittring simuleras. Tidsupplösningen gör att det finns en dynamik i modellen, som gör att förlopp som återhämtning kan modelleras, vilket inte är fallet för PROFILE. Under 2013 genomfördes en studie åt Naturvårdsverket där kritisk belastning beräknades med ForSAFE på 640 provytor inom Markinventeringen (Belyazid, 2013). Detaljerade markdata från Markinventeringens provtagningar användes vid modelleringen. Nedfallet som användes i den studien var dock från en tidigare modellkörning. I denna studie uppdaterades därför ForSAFE-körningarna med nedfallet från IIASAs modellering från april 2013, så att samma nedfall användes vid samtliga modelleringar. Historiska klimatdata fram till 2008 kommer från SMHI, och därefter har de senaste 30 årens klimat upprepats, för att simulera en hypotetisk framtid utan klimatförändring. Skogsskötselscenarierna har hämtats från Alveteg (2004). Samma kriterium och kritiska gräns som för PROFILE har använts, det vill säga  $BC/Al=1$ . Resultaten från PROFILE och ForSAFE analyserades, jämfördes och diskuterades ur miljömålsperspektiv (*Bara naturlig försurning*).

### 2.3 Kritisk belastning och överskridande för försurning av sjöar

Den kritiska belastningen för försurning av sjöar i Sverige baserades på beräkningar på 5084 sjöar inom det nationella miljöövervakningsprogrammet (Slootweg m.fl., 2014). Den kritiska belastningen har beräknats med "First-order Acidity Balance (FAB)-modellen (Henriksen & Posch, 2001) med följande modifieringar:

- Det kemiska gränsvärdet,  $ANC_{limit}$ , har beräknats individuellt för varje sjö för att motsvara en pH-minskning på 0,4 pH-enheter från referensförhållandet med hjälp av den dynamiska försurningsmodellen MAGIC (Moldan m.fl., 2013) och verktyget MAGIC-biblioteket ([www.ivl.se/magicbibliotek](http://www.ivl.se/magicbibliotek)). Kriteriet har tagits fram från empiriska data för känsliga fiskbestånd och evertebrater (Fölster m.fl., 2007). Delta pH > 0,4 anses ge "oacceptabel biologisk skada" och används för klassificering av ekologisk status i Sverige (Naturvårdsverket, 2007).
- Referensvärden för den havssaltkorrigerade baskatjonskoncentrationen har simulerats med hjälp av MAGIC.
- Istället för att anta en fix kväveimmobilisering av markekosystemet beräknades kväveimmobiliseringen baserat på Gundersen m.fl. (1998). Överskott av kvävedeposition beräknades som depositionen minus kväveupptaget till skogen. Kväveimmobiliseringen sattes till 100 % för överskott upp till 2 kg kväve/ha, 50 % mellan 2 och 10 kg kväve/ha and 0 % över 10 kg kväve/ha. Utlakningen av organiskt kväve, beräknad från sjökoncentrationen av halten totalt organiskt kväve, betraktades som icke-surgörande.

## 2.4 Kritisk belastning och överskridande för övergödande kväve

Två olika metoder användes för beräkning av kritisk belastning och överskridande av övergödande kväve, dels ”empirisk kritisk belastning”, dels modellberäkningar med ForSAFE-modellen med två olika kriterier.

”Empirisk kritisk belastning” innebär att kritiska belastningsgränser sätts för olika naturtyper, baserat på experiment där effekter på vegetation vid kvävetillförsel i olika doser har undersökts. Överskridandet kan därefter beräknas genom att subtrahera de kritiska belastningsgränserna från kvävenedfallet. I Bobbink & Hettelingh (2011) presenterades empiriska kritiska belastningsgränser för övergödande kväve för en rad ekosystemtyper i Europa. Dessa har inom ramen för detta projekt kopplats till en satellitbildsbaserad markanvändningskarta, Corine ([www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu)) (Tabell 1). Därefter har överskridandet beräknats genom att subtrahera den kritiska belastningen från kvävenedfallet i GIS-miljö.

Två olika modelleringar med ForSAFE användes: en med ett kemiskt kriterium, oorganiskt kväve i markvattnet, och en med markvegetationsförändring som kriterium. I modelleringen där markvegetationsförändring användes som kriterium drogs nytta av att det i ForSAFE-modellen ingår en markvegetationsmodul där markvegetationens utveckling kan simuleras utifrån modellerad tillväxt och markkemi (Sverdrup m.fl., 2007). Det kvävenedfall vid vilket den största tillåtna vegetationsförändringen sker, kan sättas som kritisk gräns. Ett nedfall högre än den innebär ett överskridande. Modelleringar av detta slag har gjorts i flera länder (e.g. McDonnell m.fl., 2014). Resultat från modelleringar i Sverige (Belyazid, opublicerat material) har här skalats ner till Norrbottens län. Tre olika kriterier för vegetationsförändring användes, förändring av markvegetationstyp på 5 %, 10 % och 20 % av marken. Den kritiska gräns som användes för kriteriet oorganiskt kväve i markvattnet var 0,3 mg/l, i enlighet med tidigare nationella modelleringar.

**Tabell 1.** Kritisk belastning för övergödande kväve för olika markanvändningsklasser i Norrbottens län, baserat på sammanställningen i Bobbink & Hettelingh (2011).

Markanvändning	Yta (km <sup>2</sup> )	Kritisk belastning (kg/ha/år)
Betesmark	200	20
Lövskog	8740	10
Barrskog	35370	5
Blandskog	3960	5
Busk- och örtvegetation	26910	5
Öppen mark med lite eller ingen vegetation	5780	3
Våtmark	13350	5
Sjöar och vattendrag	7120	3



## 3 Resultat och diskussion

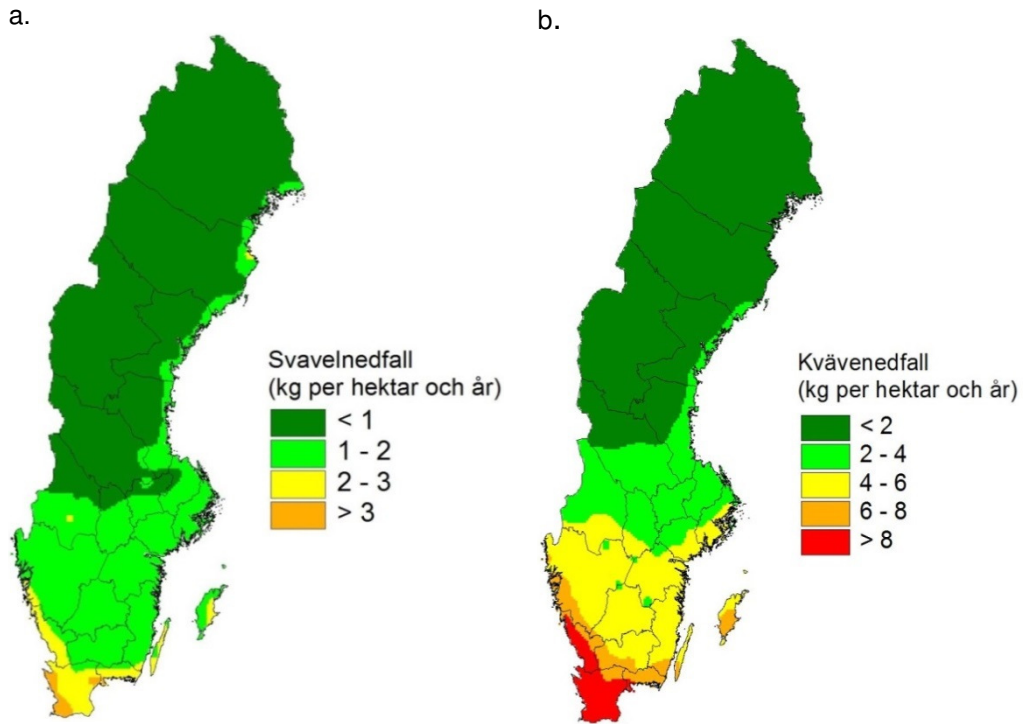
### 3.1 Kritisk belastning och överskridande för försurning i skogsmark

Nedfall av svavel och kväve i Sverige följer en gradient från sydväst mot norr, och Norrbotten är därmed det län som tar emot minst nedfall (Figur 1). I norra Sverige är nedfallet högst längst Norrlandskusten, och avtar inåt landet.

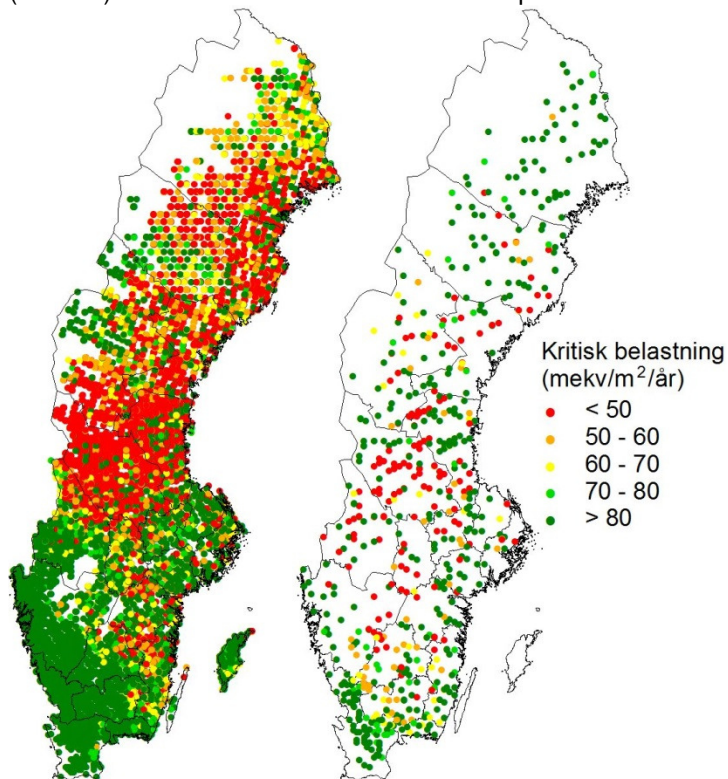
Den kritiska belastningen för aciditet i skogsmark, det vill säga den mängd försurande nedfall skogsmarken tål utan att skador bedöms ske på ekosystemet, varierar över landet. Den kritiska belastningen enligt både PROFILE- och ForSAFE-modelleringen är högst i sydvästra Sverige samt i östra delarna av Svealand (Figur 2), vilket beror på kombinationen hög vittring och förhållandevis stort atmosfäriskt nedfall av baskatjoner. I Mellansverige, till exempel Dalarna, är den kritiska belastningen låg, vilket innebär att dessa områden tål små mängder surt nedfall.

I Norrbotten skiljer sig de båda metoderna åt, med generellt lägre kritisk belastning enligt PROFILE-modelleringen jämfört med ForSAFE-modelleringen. Att den kritiska belastningen beräknad med ForSAFE-modellen är högre beror framför allt på att den biologiska feedbacken ingår i ForSAFE-modelleringen, men inte i PROFILE-modelleringen. De modellerade flödena av förnfall, nedbrytning och mineralisering av förnan förväntas stärka ekosystemens buffringsförmåga. Detta sker genom att nedbrytning frigör både baskatjoner och kväve, medan trädens tillväxt fortsätter att vara kvävebegränsad. Nettoeffekten blir att den biologiska cykeln (upptag, förnfall och nedbrytning) bidrar positivt till markvattnets alkalinitet. Enligt ForSAFE-modelleringen försvinner denna effekt när ekosystemens näringsstatus närmar sig kvävemättnad. Då kan i stället den biologiska cykeln ha en negativ påverkan på markvattnets alkalinitet.

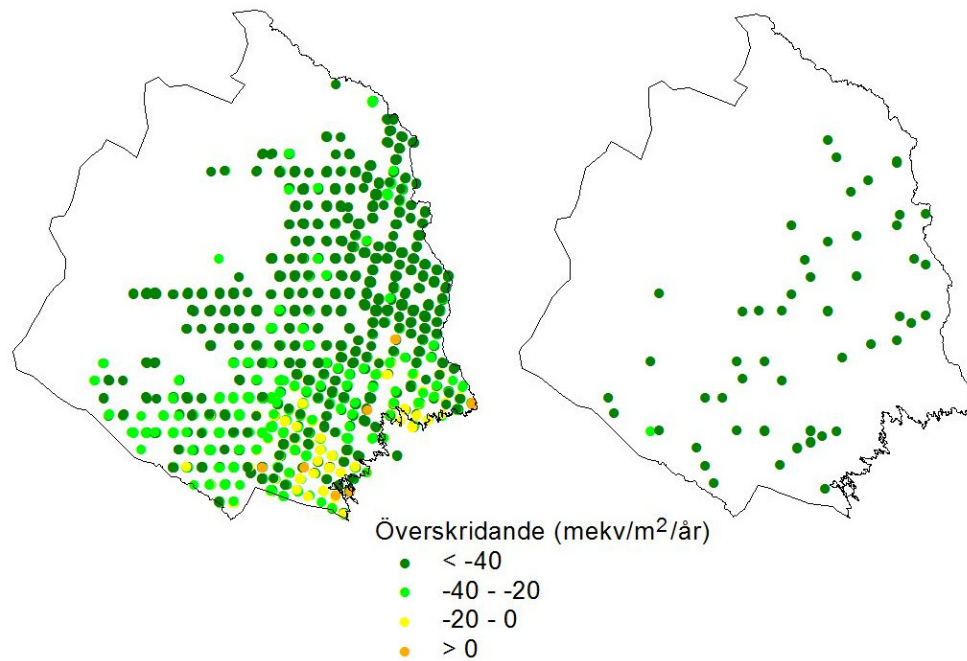
Skillnaden i kritisk belastning mellan PROFILE och ForSAFE avspeglas även i resultaten för överskridande (Figur 3). Enligt ForSAFE sker inget överskridande på någon av mätpunkterna, i stället underskrids de oftast med 40 mekv per m<sup>2</sup> och år eller mer. Även PROFILE visar generellt på att den kritiska belastningsgränsen underskrids, men det finns ett fåtal mätpunkter med överskridande i de östra delarna, motsvarande 0,5 % av mätpunkterna samt att på övriga platser underskrids gränsen inte med lika mycket som enligt ForSAFE-beräkningarna.



**Figur 1.** Deposition av svavel (a) och kväve (b). Nedfallet har modellerats inom luftkonventionen (LRTAP) med EMEP-modellen av IIASA i april 2013.



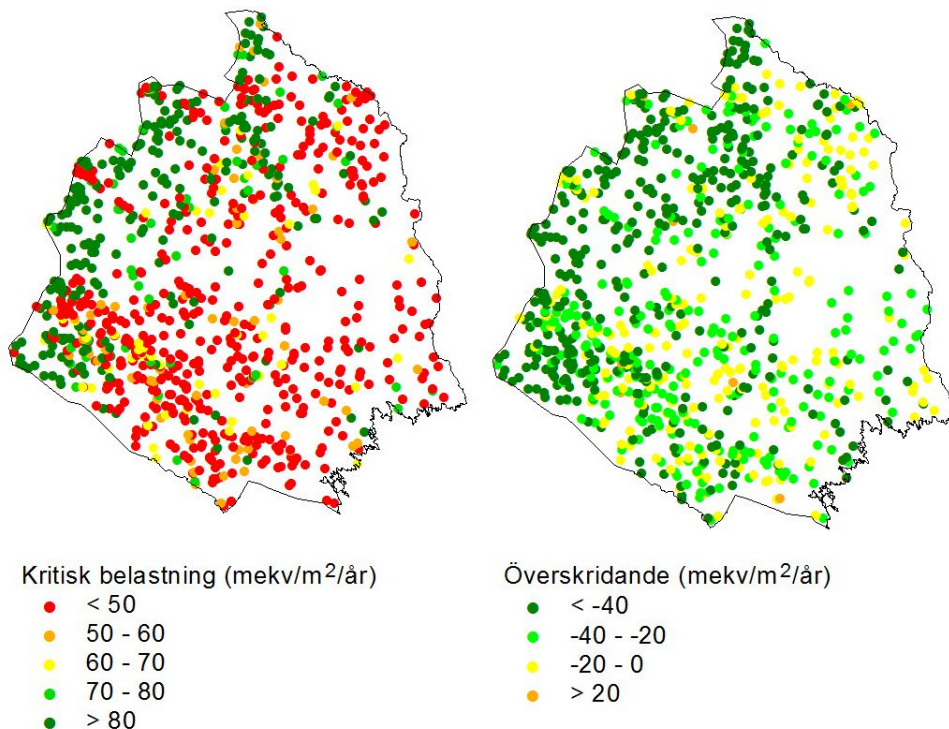
**Figur 2.** Kritisk belastning för aciditet vid stamuttag för PROFILE (t.v.) och ForSAFE (t.h.).



**Figur 3.** Överskridande av aciditet vid stamuttag för PROFILE (t.v.) och ForSAFE (t.h.). Positiva värden innebär överskridande medan negativa värden innebär att den kritiska belastningen inte överskrids.

### 3.2 Kritisk belastning och överskridande för försurning av sjöar

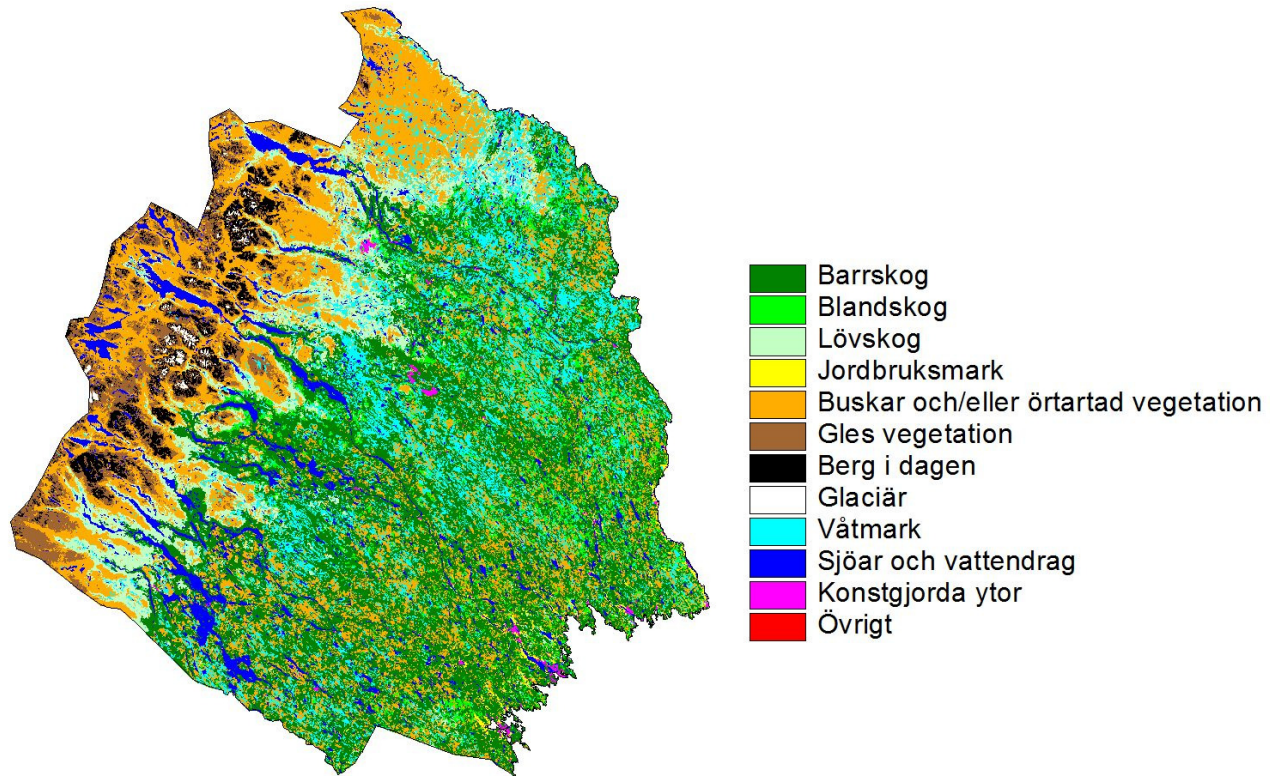
MAGIC-modelleringen gav en kritisk belastning för försurning av sjöar i samma storleksordning och med liknande mönster som PROFILE-modelleringen. Därmed är även överskridandet i samma nivå. Den kritiska belastningen överskrids endast på 1 % av länets area, och det är främst i de östra delarna.



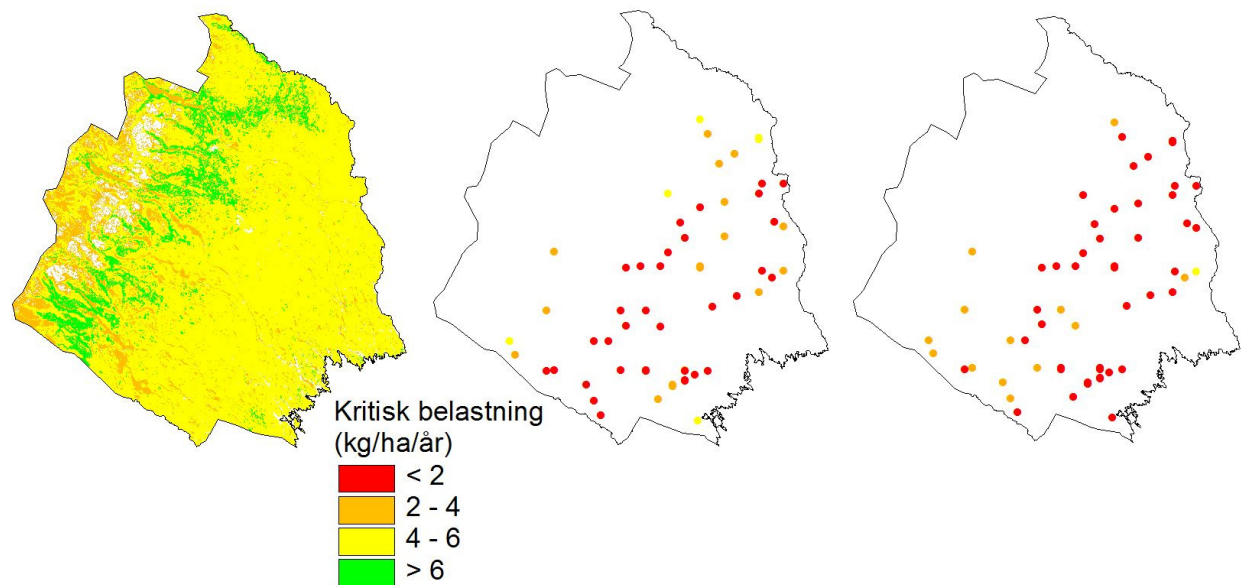
**Figur 4.** Kritisk belastning och överskridande med avseende på försurning av sjöar. Positiva värden på överskridandet innebär att den kritiska belastningen överskrids, medan negativa värden innebär att den inte överskrids.

### 3.3 Kritisk belastning och överskridande för övergödande kväve

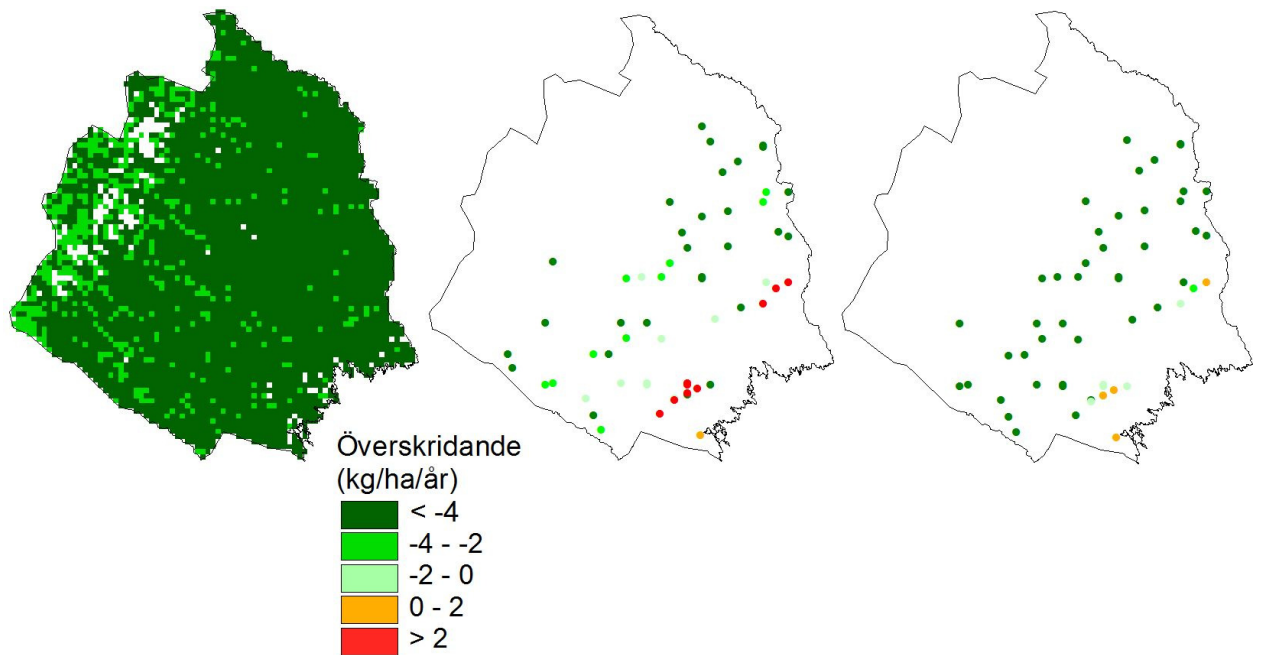
Den empiriskt satta kritiska belastningen för olika markanvändningsklasser i Norrbottens län (Figur 5), är generellt högre än den kritiska belastningen som baseras på modellerad förändring i markvegetation eller halter av kväve i markvattnet (Figur 6, Tabell 1). Detta indikerar att de empiriskt satta kritiska belastningsgränserna är högt satta, och att förändringar kan ske även med lägre nedfall. Följaktligen skiljer sig även överskridandekartorna åt (Figur 7). Enligt kartläggningen baserad på empirisk kritisk belastning finns inget överskridande i Norrbottens län, medan det enligt de båda kartorna baserade på ForSAFE-modellering, med vegetationsförändring (förändring på 10 % av marken) samt kvävekoncentration i markvattnet som kriterium, finns ett överskridande i de östra delarna av länet. Val av kritisk gräns för modelleringen som baseras på vegetationsförändring har stor betydelse för resultatet (Figur 8). Om förändring tillåts endast på 5 % av markytan överskrids den kritiska belastningen i östra halvan av länet, medan inget överskridande sker om 20 % förändring tillåts.



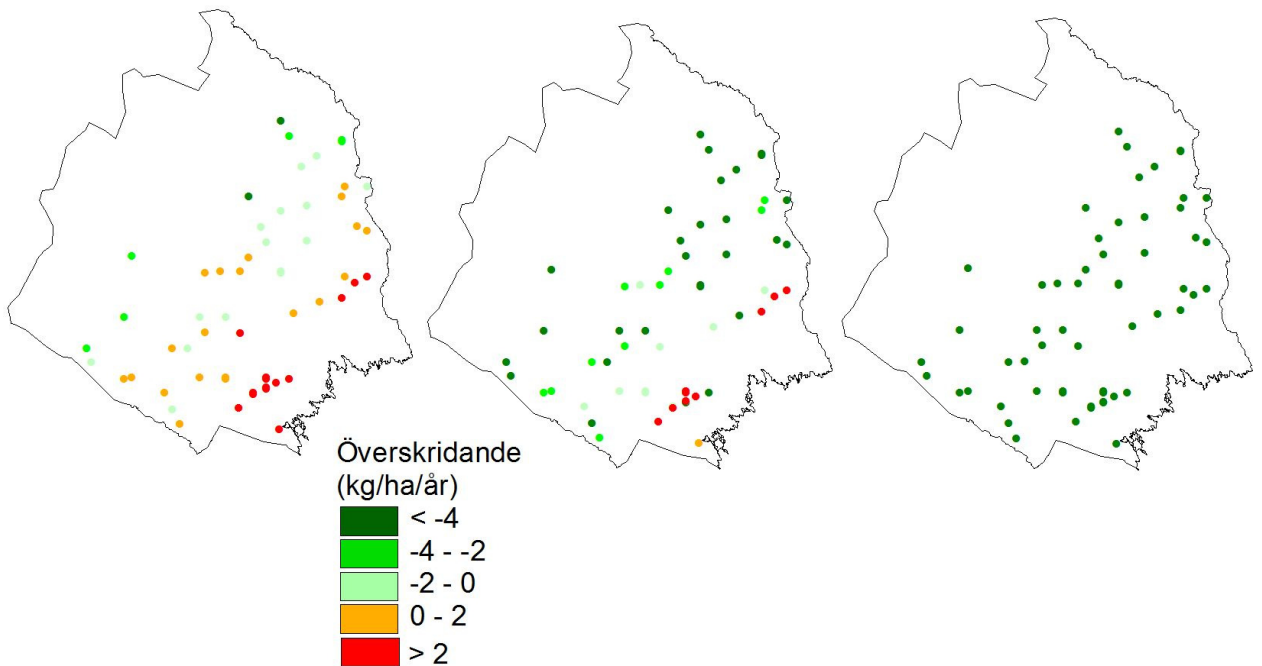
Figur 5. Markanvändning i Norrbotten enligt CORINE.



Figur 6. Kritisk belastning för övergödande kväve, empiriskt samt modellerat med ForSAFE med vegetation (förändring på maximalt 10 % av markytan) som kriterium samt med halt kväve i markvattnet (0,3 mg/l) som kriterium. Vita områden i den vänstra kartan är ej klassificerade, då information om kritisk belastning saknades.



**Figur 7.** Överskridande av kritisk belastning för övergödande kväve, empiriskt samt modellerat med ForSAFE med vegetation (förändring på maximalt 10 % av markytan) som kriterium samt med halt kväve i markvattnet (0,3 mg/l) som kriterium. Vita områden i den vänstra kartan är ej klassificerade, då information om kritisk belastning saknades.



**Figur 8.** Överskridande av kritisk belastning för övergödande kväve modellerat med ForSAFE med vegetation (förändring på maximalt 5 % (t.v.), 10 % (mitten) och 20 % (t.h.) av markytan) som kriterium.

## 4 Potentiella kväveeffekter på växtligheten i fjällvärlden

Växtligheten i norra Fennoskandia har en speciell roll i ett europeiskt perspektiv. Den har aldrig varit utsatt för ett kvävenedfall som överskridit ca 5 kg N/ha/år och kvävenedfallet är även i nuläget lågt, 1-2 kg N/ha/år (Hansen m. fl., 2013, Karlsson m. fl., 2011). I stora delar av Europa har växtligheten utsatts för långt högre kvävenedfall och inverkan av kväve på dessa ekosystem har i många fall nått ett stadium av mättnad. Det skall dock påpekas att kunskaperna om kvävenedfallet på hög höjd i den svenska fjällvärlden är bristfälliga. Mätningar av kvävenedfallet försvåras av de meteorologiska förhållandena med starka vindar och mycket snö. En stor andel av det totala kvävenedfallet härrör dessutom från korta episoder på några dagar, där mycket förorenad luft transporteras med vindarna från sydliga till nordliga breddgrader (Kuhnel m. fl., 2011, Karlsson m. fl., 2013).

### 4.1 Lokala variationer i kvävenedfall

I norra Sveriges fjällvärld faller större delen av nederbörden som snö. I snön samlas nedfall både från våt- och torrdeposition. Snön omfördelas av vinden beroende på t. ex. topografi till områden med stort snödjup, ”snölegor”, medan andra plana områden får ett tunt snötäcke. Detta gör att det kan finnas mycket stora lokala variationer i kvävenedfallet baserat på markareal. I en studie (Bowman, 1992) har man för ett fjällområde i Colorado, USA, beräknat ett kvävenedfall på 4-6 kg N/ha/år för områden med snölegor, medan motsvarande värde för vindutsatta områden med tunt snötäcke beräknades till endast 0.5 – 0.8 kg N/ha/år.

Vid snösmältningen ”tvättas” det mesta av kväve som finns i snön ut med det första smältvattnet. Koncentrationerna av kväve i detta smältvatten kan vara mycket höga (Björk & Molau, 2007) och direkt skadliga för känslig växtlighet, såsom vissa mossarter. Den växtlighet som förekommer i samband med snölegor är mycket sällan begränsade av kvävetillgången. Ett ökat kvävenedfall kan dock medföra att växtligheten runt snölegor invaderas av andra, mer kväveälskande växtarter.

### 4.2 Kunskaper om kvävet inverkan på växtligheten vid nordliga breddgrader

Kunskaperna om hur måttliga nivåer på kvävenedfallet påverkar växtligheten i nordliga ekosystem på hög höjd får betecknas som bristfälliga. Kunskaperna kommer dels från fältstudier, där man försöker korrelera växtsammansättningen med storleken på kvävenedfallet, dels från

experimentella studier, där man tillfört kväve med olika former av realism och studerat förändringar över tid. Tyvärr har man i experimentella studier ofta tillfört orealistiskt höga nivåer på kväve.

### 4.3 Experimentella undersökningar

#### Sverige

Det har försiggått en del experimentella undersökningar vad gäller inverkan av näringstillförsel på växtsamhällen i norra Sveriges fjällvärld. Problemet är att dessa undersökningar främst varit inriktade på samspelet mellan olika växtslag i relation till bl. a. artrikedom och produktivitet och inte främst på inverkan av kvävenedfallet. Näringsgivorna, inklusive kväve, har därför ofta varit orealistiskt höga.

I en experimentell undersökning (Olofsson & Shams, 2007) behandlades fjällängar belägna ovan trädgränsen med en engångsgiva med näringslösning innehållande 20 kg kväve per hektar och jämfördes med en motsvarande provyta utan näringstillförsel. Näringsgivan ökade biomassan hos de närvarande kärlväxterna men också artrikedomen. Näringsgivan med 20 kg kväve per hektar ökade således artrikedomen i dessa lågproduktiva ekosystem.

I en annan undersökning vid en fjällhed i norra Sverige bevattnades provytor årligen under sju år med en kombination av 50 kg N/ha and 50 kg P (fosfor) /ha och jämfördes med ytor utan näringstillskott (Alatalo m. fl., 2015). Man fick en kraftig påverkan på växtligheten och effekterna skiljde sig åt mellan mossor, lavar och kärlväxter. Produktionen ökade medan artrikedomen minskade.

Svenska experimentella undersökningar har således visat att en näringstillförsel med högt innehåll av kväve, 20-50 kg N/ha/år, påverkar växtsamhällena kraftigt, i synnerhet fjällhedar. Det finns emellertid begränsad kunskap om hur en realistisk förändring, t. ex. en fördubbling, av det nuvarande kvävenedfallet i norra Sverige skulle påverka växtligheten i de svenska fjällen.

#### Andra platser

En väl genomförd studie vad gäller inverkan av kvävenedfall på nordliga ekosystem härstammar från Svalbard (Madan m. fl., 2007). Man utsatte provytor på fjällhedar för två olika behandlingar med tillförsel av kväve under tre år, 5 respektive 50 kg N/ha/år i kombination med olika givor av fosfor och jämförde med provytor utan tillförsel. Näringstillförseln delades upp på fem olika tillfällen under varje växtsäsong. Behandlingen med 50 kg N/ha/år gav en kraftig påverkan på växtligheten, men baserat på dessa resultat ansåg man sig även kunna påvisa en inverkan av den lägre kvävetillförseln, 5 kg N/ha/år. Även



om undersökningen genomfördes under en relativt lång period, 3 år, drog författarna slutsatsen att en kronisk påverkan av 5 kg N/ha/år har en hög sannolikhet för att i hög utsträckning påverka växtligheten vid denna nordliga plats. Effekten av kväve bestod i att förekomsten av flera olika kärlväxter och buskar ökade i omfattning, dvs. att växttäcket ökade.

#### 4.4 Övergripande slutsatser om kväveeffekter på växtligheten i fjällvärlden

Två forskare verksamma inom området kvävenedfall och effekter på nordliga ekosystem, Robert Björk och Mats Björkman vid Göteborgs Universitet, Institutionen för geovetenskaper, drar vid förfrågan följande slutsatser vad gäller påverkan av dagens och framtida kvävenedfall på växtligheten i de svenska fjällen:

- Dagens nedfall har liten påverkan på fjällvegetationen
- Det kommer att krävas relativt stora ökningar för att kvävenedfallet skulle ge någon nämnvärd effekt

Den genomgång av resultat i litteraturen som gjorts här pekar på samma slutsatser som de från forskarna vid Göteborgs Universitet. Den experimentella studien från Svalbard (Madan m. fl., 2007) tyder dock på att ett kvävenedfall på 5 kg N/ha/år har en potential att påverka växtligheten på fjällhedar vid nordliga breddgrader.

Det verkar därför som att nuvarande värde för kritisk belastning för övergödande kväve för öppen mark med lite eller ingen vegetation, 3 kg N/ha/år, har en god möjlighet att skydda växtligheten i norra Sverige fjällvärld från betydande förändringar orsakade av kvävenedfall. Detta värde för kritisk belastning ligger nära motsvarande värde som föreslagits som kritisk belastning för att skydda växtligheten på hög höjd i Klippiga Bergen i USA från vegetationsförändringar (Bowman m. fl., 2006). När det gäller inverkan av kvävenedfall på växtligheten i Alaska beräknas dock i vissa fall kritiska belastningar som ligger ännu lägre, 1-3 kg N/ha/år (Pardo m. fl., 2011).

## 5 Slutsatser

Kartläggningarna av kritisk belastning och överskridande i Norrbottens län visar att problemen med försurning och övergödning är små i länet. De visar dock att det finns risk för överskridande av den kritiska belastningen för försurning och övergödande kväve i mindre områden i de östligaste delarna.

Beräkningar med 2020 års nedfall visar att den kritiska belastningen av aciditet enbart överskrids på 1 % av länets area med avseende på sjöar. När det gäller skogsmark visar den dynamiska metoden på att det inte finns något överskridande alls, medan den statiska modellen visar på ett överskridande på 0,5 % av de modellerade provytorna, det vill säga i samma storleksordning som för sjöarna. Det är längs kusten, där nedfallet är som störst, som risken för överskridande är störst.

Beräkningarna för övergödande kväve visar olika resultat med olika metoder. Modellberäkningarna där markvegetation samt kvävehalter i markvatten används som kemiska kriterier visar på överskridande i de östligaste delarna av länet. De största arealerna visar dock inte på något överskridande. Enligt beräkningarna med de empiriskt satta gränserna finns inget överskridande alls. Dock är det viktigt att påpeka att det finns begränsningar när det gäller antagen empirisk kritisk belastning. Det skulle till exempel kunna finnas vegetationstyper som är känsligare med avseende på kväve än vad kartan visar, till exempel i fjällområdena, men kunskaperna om kväveeffekter på olika ekosystem behöver öka för att kunna kartlägga detta.

## 6 Referenser

- Akselsson, C., 2013. Överskridande av kritisk belastning för skogsmark enligt modellkörningar från EMEP (version från april 2013). Arbetsrapport 12 december 2013 (opublicerad arbetsrapport till Naturvårdsverket)
- Akselsson, C., Holmqvist, J., Alveteg, M., Kurz, D., Sverdrup, H., 2004. Scaling and mapping regional calculations of soil chemical weathering rates in Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 4, 671–681
- Alveteg, M., 2004. Projecting regional patterns of future soil chemistry status in Swedish forests using SAFE. *Water, Air and Soil Pollution, Focus* 4, 49-59
- Alatalo, J. M. et al. 2015. Vascular plant abundance and diversity in an alpine heath under observed and simulated global change. *Sci. Rep.* 5, 10197; doi: 10.1038/srep10197.
- Belyazid, S., 2013. Skogsbrukets påverkan på försurning – utvärdering genom dynamisk modellering (opublicerad arbetsrapport till Naturvårdsverket)
- Belyazid, S., Westling, O., Sverdrup, H., 2006. Modelling changes in forest soil chemistry at 16 Swedish coniferous forest sites following deposition reduction. *Environmental Pollution* 144, 596-609

- Björk, R.G, Molau, U. 2007. Ecology of Alpine Snowbeds and the Impact of Global Change. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 39, 34–43.
- Bobbink, R., Hettelingh, J-P. (eds), 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010. Organised by the Coordination Centre for Effects (CCE) in collaboration with The Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM), The Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), The German Umwelt Bundes Amt (UBA).
- Bowman, W. D., 1992: Inputs and storage of nitrogen in winter snowpack in an alpine ecosystem. *Arctic and Alpine Research*, 24, 211–215.
- Bowman, W.D., Julia R. Gartner, Keri Holland, and Magdalena Wiedermann, 2006. Nitrogen critical loads for alpine vegetation and terrestrial ecosystem response: are we there yet? *Ecological Applications*, 16, 1183–1193.
- Cosby, B.J., Ferrier, R.C., Jenkins, A., Wright, R.F., 2001. Modelling the effects of acid deposition: refinements, adjustments and inclusion of nitrogen dynamics in the MAGIC model. *Hydrology and Earth System Sciences* 5, 499-517
- Cosby, B.J., Hornberger, G.M., Galloway, J.N., Wright, R.F., 1985. Modeling the effects of acid deposition: assessment of a lumped parameter model of soil water and streamwater chemistry. *Water Resources Research* 21, 51-63
- Fölster, J., Andrén, C., Bishop, K., Buffam, I., Cory, N., Goedkoop, W., Holmgren, K., Johnson, R., Laudon, H., Wilander, A., 2007. A novel environmental quality criterion for acidification in Swedish lakes—an application of studies on the relationship between biota and water chemistry. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 7(1-3), 331-338
- Gundersen, P., Emmett, B.A., Kjonaas, O.J., Koopmans, C & Tietema, A. (1998) Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forests: a synthesis of NITREX data. *Forest Ecology and Management* 101, 37-55.
- Hansen, K. Gunilla Pihl Karlsson, Martin Ferm, Per Erik Karlsson, Cecilia Bennet, Lennart Granat, Veronika Kronnäs, Claudia von Brömssen, Magnuz Engardt, Cecilia Akselsson, David Simpson, Sofie Hellsten, Annika Svensson. 2013. Trender i kvävedefall över Sverige 1955-2011. IVL Report B2119.
- Henriksen, A., Posch, M., 2001. Steady-state models for calculating critical loads of acidity for surface waters. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 1, 375–398

- Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Hultberg, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Gunilla Pihl Karlsson. 2011. Totaldeposition av kväve till skog. IVL Rapport B1952.
- Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Tømmervik, Lars R. Hole, Gunilla Pihl Karlsson, Tuija Ruoho-Airola, Wenche Aas, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Teis Nørgaard Mikkelsen, and Bengt Nihlgård. 2013. Biomass burning in eastern Europe during spring 2006 caused high deposition of ammonium in northern Fennoscandia. *Environmental Pollution*, 176, 71–79.
- Kuhnel, R. Tjarda J. Roberts, Mats P. Bjorkman, Elisabeth Isaksson, Wenche Aas, KimHolmen, and Johan Strom. 2011. 20-Year Climatology of NO<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub> Wet Deposition at Ny-Alesund, Svalbard. *Advances in Meteorology Volume 2011*, Article ID 406508, 10 pages doi:10.1155/2011/406508.
- Madan m. fl., 2007. Greater nitrogen and/or phosphorus availability increase plant species' cover and diversity at a High Arctic polar semidesert. *Polar Biol* (2007) 30:559–570.
- McDonnell, T.C., Sullivan, T.J., Belyazid, S., Sverdrup, H., Bowman, W.D., Porter, E.M., 2014. Modeled subalpine plant community response to climate change and atmospheric nitrogen deposition in Rocky Mountain National Park, USA. *Environmental Pollution* 187, 55-64
- Moldan F., Cosby B.J. & Wright R.F., 2013. Modeling Past and Future Acidification of Swedish Lakes. *Ambio* 42(5), 577-86
- Naturvårdsverket, 2007. Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. Bilaga A till Handbok 2007:4. ISBN 978-91-620-0148-3
- Naturvårdsverket, 2015. Mål i sikte. Analys och bedömning av de 16 miljö kvalitetsmålen i fördjupad utvärdering. Volym 1. Naturvårdsverket Rapport 6662, maj 2015
- Olofsson, J., Shams, H. 2007. Determinants of plant species richness in an alpine meadow. *Journal of Ecology*, 95, 916-925.
- Pardo m. fl., 2011. Effects of nitrogen deposition and empirical nitrogen critical loads for ecoregions of the United States. *Ecological Applications*, 21, 3049–3082.
- Slootweg, J., Posch, M., Hettelingh, J.-P., Mathijssen, L. (eds), 2014. Modelling and Mapping the impacts of atmospheric deposition on plant species diversity in Europe. CCE Status Report 2014, Coordination Centre for Effects, www.wge-cce.org

- Sverdrup, H., Belyazid, S., Nihlgård, B., Ericson, L., 2007. Modelling Change in Ground Vegetation Response to Acid and Nitrogen Pollution, Climate Change and Forest Management at in Sweden 1500–2100 A.D. *Water, air and soil pollution: Focus 7*, 163–179
- Sverdrup, H., Warfvinge, P., 1993. Calculating field weathering rates using a mechanistic geochemical model (PROFILE). *Journal of Applied Geochemistry*, 8, 273–283
- Sverdrup, H., Warfvinge, P., 1995. Critical loads of acidity of Swedish forest ecosystems. *Ecological Bulletins 44*, 75-89. Copenhagen 1995
- 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