



Nr 683
Juni 2022



Försurning och övergödning i Skåne län

Resultat från Krondroppsnetet till och med 2020/21

Gunilla Pihl Karlsson, Per Erik Karlson, Sofie Hellsten & Cecilia Akselsson



I samarbete med: Lunds universitet



Författare Gunilla Pihl Karlsson, Per Erik Karlsson, Sofie Hellsten (IVL), Cecilia Akselsson (Lunds universitet)

Medel från: Skånes Luftvårdsförbund

Fotograf framsida: Hissmossa, Anders Jonshagen

Rapportnummer C 683

ISBN 978-91-7883-389-4

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2022**

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

Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

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

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
1 Krondroppsnetets mätningar – var, när och hur?	6
2 Kväve och övergödning.....	9
2.1 Lufthalter av kväve	10
2.2 Kvävenedfall till skog och öppen mark.....	16
2.3 Kvävehalter i markvatten	20
3 Försurning.....	22
3.1 Lufthalter av svaveldioxid.....	23
3.2 Nedfall av svavel.....	25
3.3 Hur går återhämtningen från försurningen?.....	27
4 Aktuellt & notiser.....	32
4.1 Trender för ANC i markvatten 1996–2021	33
4.2 Ny rapport om depositionen av fosfor till skogsmark, öppen mark och sjöyta i Sverige	34
4.3 Uppdatering av kritisk belastning för kväve.....	36
4.4 Metaller och kväve i mossor har undersökts under 2020 i hela landet.....	37
4.5 Tjugo år av luftvårdsforskning har sammanfattats i en rapport	38
4.6 Vetenskapliga artiklar där data från Krondroppsnetet använts	38
4.6.1 Artikel om kritiskt biomassauttag från skogen	38
4.6.2 Artikel med en internationell jämförelse av observerad och modellerad deposition.....	38
4.6.3 Artikel om totalt nedfall av oorganiskt kväve till granskog i Sverige under tjugo år	40
4.7 Ny avhandling om vittring och baskatjon-cirkulation i skogsmark i ett förändrat klimat.	40
5 Tack.....	41
6 Referenser.....	42
Bilaga 1. Mätplatserna i Skåne län.....	44

Sammanfattning

På uppdrag av Skånes Luftvårdsförbund genomför IVL Svenska Miljöinstitutet, i samarbete med Lunds universitet, mätningar av lufthalter, atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi i Skåne län. Mätningarna sker inom ramen för Krondroppsnetet (<http://www.krondroppsnetet.ivl.se/>).

Skånes Luftvårdsförbund har varit medlem i Krondroppsnetet sedan 1990. I denna rapport redovisas resultaten från aktiva mätningar i Skåne län under det hydrologiska året 2020/21, tillsammans med resultat från tidigare års mätningar. Ett hydrologiskt år omfattar oktober till och med september påföljande år.

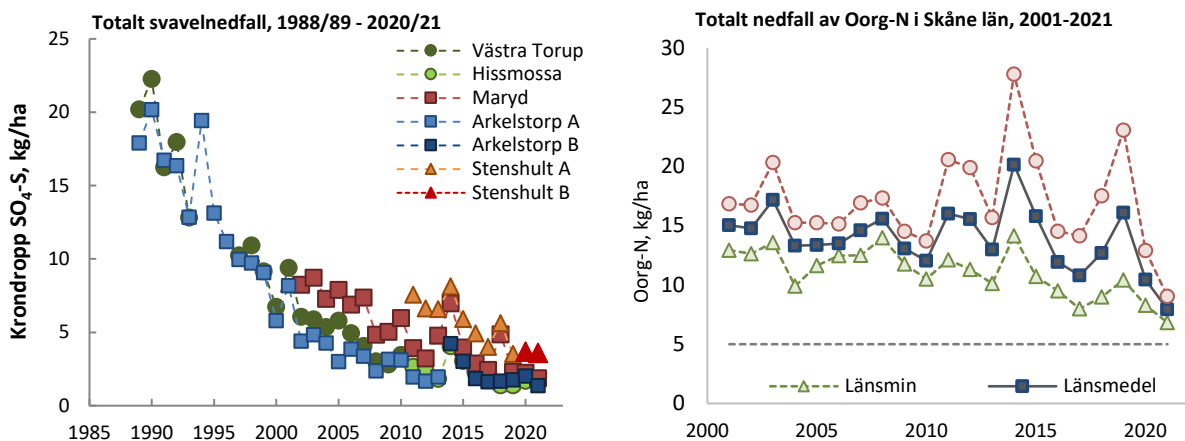
Baserat på mätningarna från 2020/21, tillsammans med tidigare års mätningar, görs bedömningar av försurningsläget och kvävesituationen i Skåne län. Vidare redovisas resultaten i förhållande till mätningar vid övriga platser i landet inom Krondroppsnetet. I rapporten redovisas även andra relaterade projekt samt aktuella händelser från 2021 som är relevanta ur Krondroppsnetets synvinkel. I Bilaga 1 visas information om länets mätningar och mätplatser.

Mätningar av lufthalter, atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi bedrivs vid fyra platser med granskog i Skåne län; Hissmossa och Arkelstorp i länets norra delar och Stenshult och Maryd i länets södra delar.

Minskade svavelutsläpp återspeglas i minskande lufthalter och nedfall

Nuvarande och historiskt nedfall av svavel har orsakat betydande försurning av mark och vatten i Skåne. Både lufthalter av svaveldioxid och svavelnedfall till skog har dock minskat betydligt. I början av 1990-talet var svavelnedfallet i Skåne, exklusive havssaltsbidrag, omkring 20 kg per hektar och år, jämfört med 1,4 - 3,6 kg per hektar under det hydrologiska året 2020/21 (vänstra figuren nedan).

Trots minskningen av svavelnedfallet till skog är markvattnet på 50 cm djup fortfarande kraftigt försurad på många håll i Skåne. Vid alla fyra mätplatserna har pH i markvattnet under lång tid varit under 5,0, förutom vid några få tillfällen de senaste åren. Markvattnets syranutraliserande förmåga, ANC, har varit negativt eller nära noll och halterna av toxiskt oorganiskt aluminium har varit höga.



Till vänster: Svavelnedfall via krondropp vid mätplatserna i Skåne. Mätningarna vid Arkelstorp och Stenshult har flyttats kortare sträckor, vilket indikeras med olika symboler och beteckningar. **Till höger:** Geografiskt interpolerade värden för totalt nedfall av oorganiskt kväve till barrskog i Skåne län, beräknat som yttäckande medel-, maximala, och minimala värden i länet. Horisontell streckad linje visar kritisk belastningsgräns för barrskog i Sverige.

Kvävenedfallet minskar inte och nitrat läcker ut i markvattnet

Det årliga, totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog i Skåne beräknades under 2021 som ett arealbaserat medelvärde över länet till 8,0 kg per hektar (högra figuren ovan), vilket är avsevärt högre än den kritiska belastningsgränsen för kvävenedfall till barrskog som används i Sverige, 5 kg per hektar och år. I motsats till nästan alla andra län i Sverige visar det arealbaserade medelvärdet för kvävenedfall till skog i

Skåne inte någon statistiskt signifikant minskning under de senaste tjugo åren. Som mest har kvävenedfallet i delar av länet under tidigare år uppgått till närmare 28 kg per hektar.

Vid alla de aktiva mätplatserna i Skåne, med skogar som inte påverkats av avverkningar, har förhöjda halter av nitratkväve i markvattnet uppmätts under olika tidsperioder, vilket tyder på att skogarna ligger nära kvävemättnad. Platsspecifika egenskaper med avseende på mark och skog avgör om kvävet lagras i skogsmarken eller läcker ut. Utöver risken för förhöjda nitratkvävehalter i grundvatten samt övergödning av ytvatten, innebär kväveutlakningen även risk för ökad försurning.



1 Krondroppsnetets mätningar – var, när och hur?

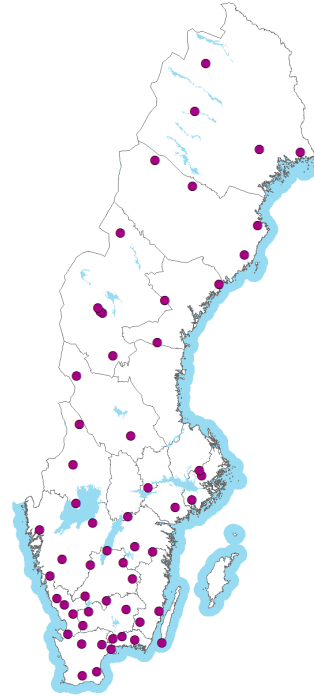
Storskogen Fotograf: Magdalena Eriksson

Inom Krondroppsnetet genomfördes under det hydrologiska året 2020/21 mätningar vid 57 provytor i skog och på öppet fält fördelade över hela landet. Här mäts lufthalter, våtdeposition, torrdeposition, krondropp och markvattenkemi i varierande omfattning. Ett stort antal ämnen och parametrar mäts, däribland svavel- och kväveföreningar, som har stor betydelse för försurnings- och övergödningens problematik.

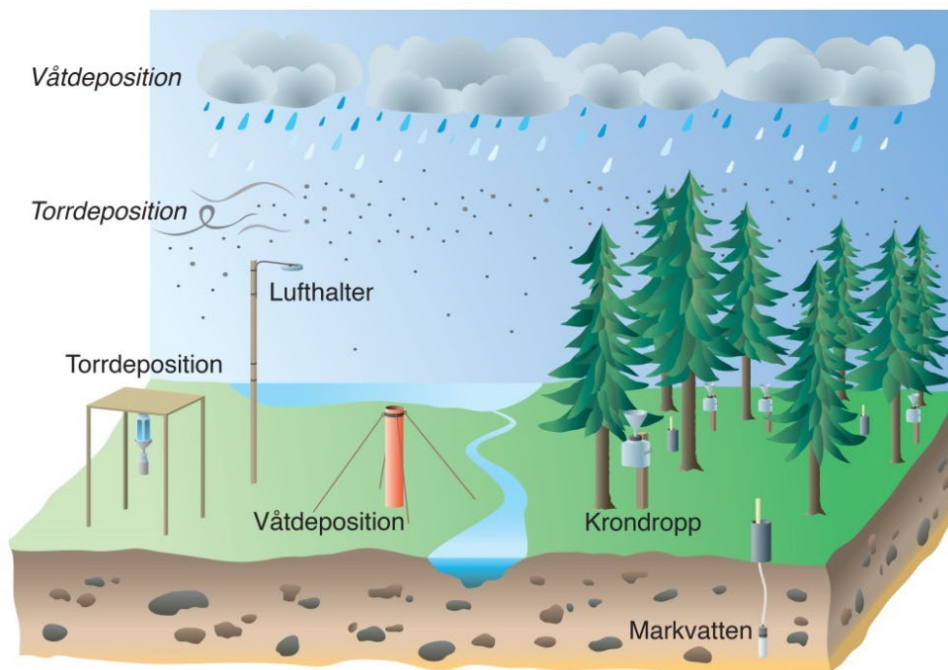
Genom åren har antalet mätplatser inom Krondroppsnetet varierat, som mest fanns i mitten av 1990-talet cirka 185 ytor. Då övervakningen sker i brukad skog har provytor flyttats vid avverkning samt efter kraftiga störningar, till exempel vid omfattande stormskador. Idag bedrivs mätningar på 57 platser i Sverige, Figur 1, och numera finns mätserier med mer än 30 års data på några ytor.

Mätningarna bedrivs både på öppet fält och i skogen under träd-kronorna, Figur 2. Nedfall och lufthalter mäts månadsvis, medan markvattenkemi mäts tre gånger om året för att representera förhållandena före, under respektive efter vegetationsperioden.

Allt arbete inom Krondroppsnetet från provtagning till kemisk analys, validering och databearbetning utförs enligt väl utarbetade rutiner, och laboratorerna innehar ackreditering för de kemiska analyserna. Detta ger en hög kvalitet på data, och garanterar att data från olika platser och från olika år är direkt jämförbara.



Figur 1. Samtliga ytor inom Krondroppsnetet 2020/21.



Figur 2. Inom Krondroppsnetet mäts lufthalter, våt- och torrdeposition samt markvattenkemi. Nedfallet mäts dels på öppet fält, dels under trädkronorna som krondropp. Vissa ämnen samverkar med trädkronorna, och därför används även strängprovtagare för att kunna bestämma torrdepositionen av dessa ämnen. (Illustration: Bo Reinerdahl)

Mätningar på öppet fält

Våtdeposition av flera olika ämnen mäts med nederbördsprovtagare på öppet fält, där även torrdeposition på vissa ytor mäts med hjälp av strängprovtagare. Likaså mäts lufthalterna av svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon på öppet fält på tre meters höjd över marknivå på vissa platser i landet.



Foto: öppen fältprovtagare



lufthaltsprovtagare

Våt- respektive torrdeposition

Det samlade nedfallet av olika ämnen till skog involverar flera olika processer. En del av nedfallet sker via nederbörden, vilket kallas våtdeposition. En annan del sker genom att gaser och partiklar "fastnar" i trädkronorna, vilket kallas torrdeposition. Det som avsatts som torrdeposition sköljs med nederbörden till skogsmarken i form av krondropp. Krondropp ger därför i teorin ett samlat mått på summan av våt- och torrdeposition. Torrdepositionen skulle därför kunna beräknas som skillnaden mellan nedfall som krondropp och nedfall via nederbörd på öppet fält. Dock kan vissa ämnen tas upp direkt i trädkronorna, alternativt läcka ut från träd-kronorna. Detta gör att krondroppsmätningarna ger ett bra mått på det samlade nedfallet endast för ämnen som inte samverkar med trädkronorna, såsom svavel, natrium och klorid. För övriga ämnen, exempelvis kväve och bas-kationer, krävs kompletterande mätningar med strängprovtagare, för att korrekt kunna beräkna torrdepositionen.



Foto: strängprovtagare

Mätningar i skogen

Under trädkronorna i skogen mäts krondropp, som ger ett summerat mått på både våt- och torrdeposition, vilket dock för vissa ämnen måste korrigeras för samverkan med trädkronorna. Kemin i markvattnet mäts under trädens rötter för att undersöka effekter av nedfall på skogsmarkens reaktion. Provtagningen görs med hjälp av undertrycks-lysimetrar som suger vatten i mineraljorden på 50 centimeters djup.



Foto: krondropsprovtagare



markvattenutrustning

Data från Krondroppsnätet är fritt tillgängliga från Krondroppsnätets webbplats: <http://www.krondroppsnatet.ivl.se/>. På webbplatsen finns även samtliga kontaktuppgifter.

2 Kväve och övergödning

Utsläpp till luft av kväveoxider (NO_x), främst från transporter och industri, tillsammans med utsläpp av ammoniak (NH_3), främst från jordbruket, leder till kvävenedfall som kan bidra till både övergödning och försurning av mark och vatten. Övergödning av marken kan leda till en förändrad markvegetation. Det kväve som inte tas upp av skogsekosystemen, och som uppmäts som förhöjda halter av främst nitratkväve i markvattnet, kan transporteras vidare och bidra till förhöjda nitrathalter i grundvattnet och därmed försämrade dricksvattenkvalitet, samt övergödning och försurning av ytvatten.

Komperskulla Fotograf: Per Erik Karlsson

Övergödning utgör ett av länets största miljöproblem (Länsstyrelsen i Skåne län, 2022). Miljökvalitetsmålet "Ingen övergödning" nås inte till 2030 och situationen förbättras inte över tid. Atmosfäriskt nedfall av kväve påverkar skogs- och våtmarksekosystem, i synnerhet vad gäller biologisk mångfald. Kvävenedfallet till skog i Skåne län är högt och har som arealbaserat medelvärde för länet inte minskat statistiskt signifikant under den senaste tjugo åren. Den kritiska belastningsgränsen för granskog i Sverige, 5 kg kväve per hektar och år, överskrids i hela länet.

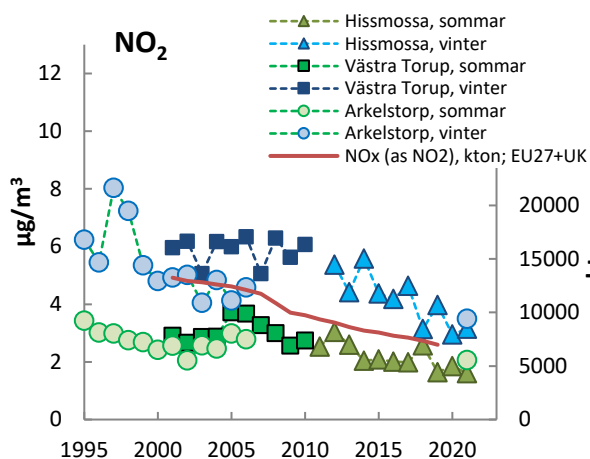
Mätningarna i markvattnet i skogsmarken i Skåne visar att nitrat frekvent läcker ut i markvattnet och att halterna är relativt höga. Det kväve som inte tas upp av skogsekosystemen kan transporteras vidare och bidrar till ett diffust läckage av kväve till grund- och ytvatten. Detta kan bidra till de höga arealförlusterna av kväve som beräknas för avrinningsområden framför allt i sydvästra Skåne (Länsstyrelsen i Skåne, 2020).

2.1 Lufthalter av kväve

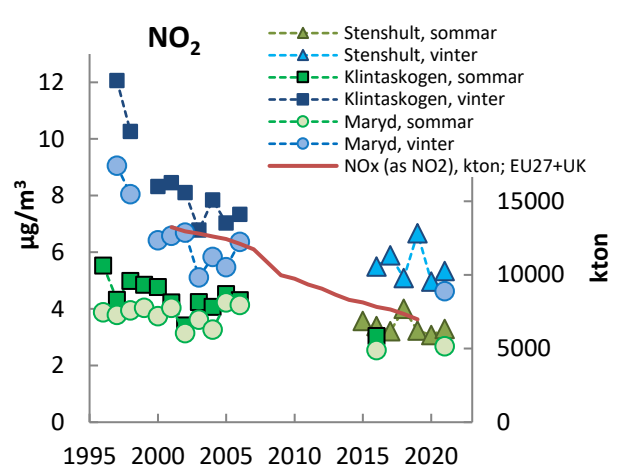
Inventeringar av utsläpp till luft är förknippade med betydande osäkerheter. Mätningar av lufthalter i bakgrundsmiljön fyller därför en viktig funktion för att bekräfta av luftföroreningarna över Sverige minskar i takt med rapporterade minskade utsläpp av långväga transporterade luftföroreningar från såväl Sverige som övriga Europa.

I Skåne län finns långa mätserier vad gäller lufthalter av kvävedioxid (NO₂) på månadsbasis (Figur 3). Vid Västra Torup i länets norra del påbörjades mätningarna av lufthalter 2001 och mätutrustningen flyttades 2010 till en åkermark vid den närliggande platsen Hissmossa. Mätplatsen flyttades ytterligare ett kort stycke 2017 till en närliggande, öppen våtmark. Vid Klintaskogen i länets södra del påbörjades mätningarna 1996 men avslutades 2006. Mätningarna återupptogs 2015 vid den närliggande, nya ytan i Stenshult. Eftersom platserna före och efter flytt ligger relativt nära varandra antar vi att lufthalterna av NO₂ är jämförbara. Utöver dessa långa mätserier mäts även lufthalter av NO₂ vid Arkelstorp i länets norra del och vid Maryd i länets södra del. Dessa mätningar avslutades 2006 men återupptogs igen under juni 2020. Det långa uppehållet gör att dessa båda tidsserier ännu inte kan användas för trendanalyser.

A. Norra Skåne



B. Södra Skåne



Figur 3. Lufthalter av kvävedioxid (NO₂) som medelvärde för sommar- respektive vinterhalvår vid Västra Torup/ Hissmossa samt vid Arkelstorp i länets norra del (A), vid Klintaskogen/ Stenshult samt vid Maryd i länets södra del (B). Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars. Dessutom visas årsvisa rapporterade utsläpp av kväveoxider, NO_x, uttryckt som kton NO₂, under perioden 2001–2019 från EU27+UK, högra y-axeln. Vissa av mätplatserna har flyttats kortare sträckor, vilket beskrivs i texten samt med olika symboler i diagrammen. NO₂-halterna minskade signifikant sedan mätstarten under både sommar- och vinterhalvår vid både Västra Torup/ Hissmossa och vid Klintaskogen/ Stenshult. På grund av det långa uppehållet vad gäller mätserierna för Arkelstorp och Maryd, görs inga trendanalyser för mätresultaten från dessa platser.

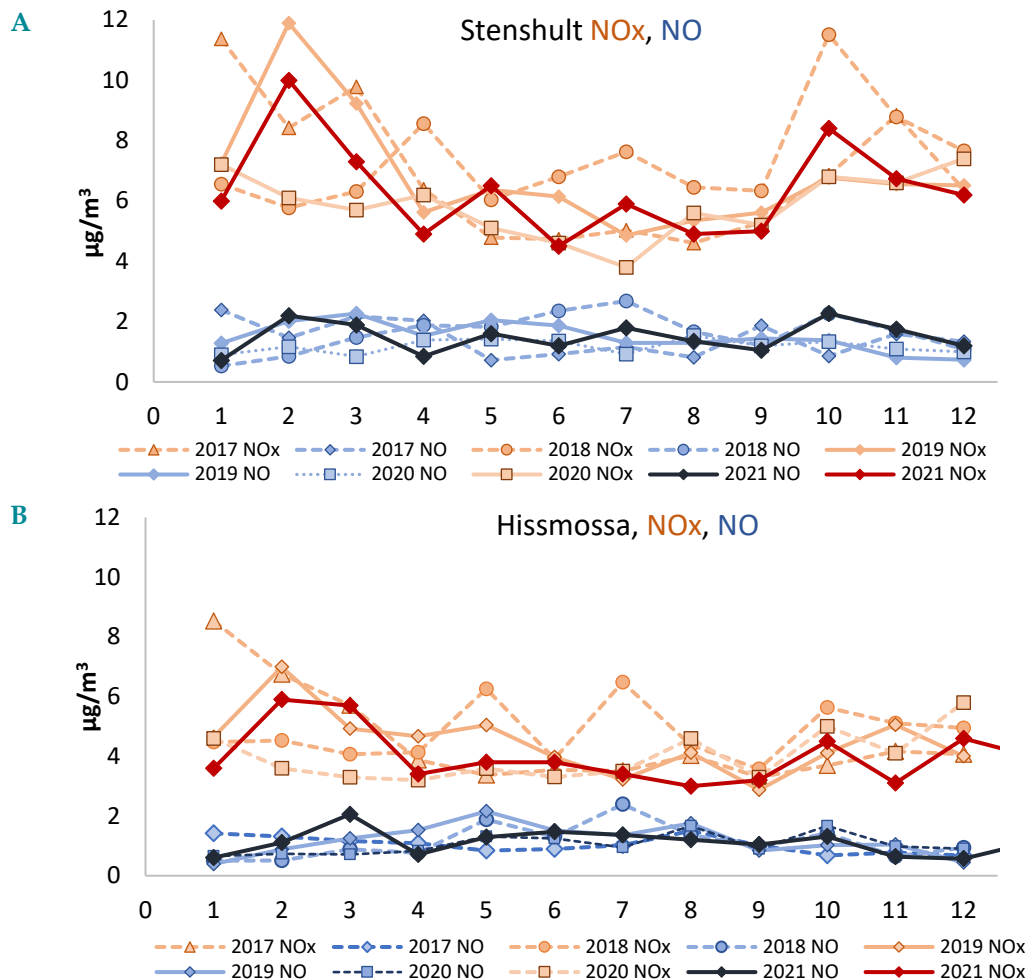
Lufthalterna av NO₂ är avsevärt högre på vintern jämfört med sommaren och halterna är högre vid Klintaskogen/ Stenshult samt Maryd i länets södra del, jämfört med Västra Torup/ Hissmossa samt Arkelstorp

i länets norra del. Lufthalterna av NO₂ vid Västra Torup/ Hissmossa och vid Klintaskogen/ Stenshult har sedan 2001 minskat signifikant, både under sommar- och vinterhalvår samt under kalenderår. Vid Västra Torup/ Hissmossa låg halterna sommartid i början av 2000-talet omkring 3 till 4 µg/m³ och på vintern omkring 5 till 6 µg/m³, vilket under senare år minskat till mellan 1,5 och 2 µg/m³ på sommaren och mellan 3 och 4 µg/m³ vintertid. Vid Klintaskogen/ Stenshult var halterna sommartid i början av 2000-talet omkring 4 till 5 µg/m³ och på vintern drygt 8 µg/m³, vilket under senare år minskat till mellan 3 och 3,5 µg/m³ på sommaren och till mellan 5 och 7 µg/m³ vintertid.

Procentuellt har lufthalterna av NO₂ sedan 2001 minskat vid Västra Torup/ Hissmossa med 45 %, både sommartid och vintertid. Motsvarande minskningar för Klintaskogen/ Stenshult var 25 % sommartid och 36 % vintertid. Utsläppen till luft av NO_x från EU27+UK har under perioden 2001–2019 minskat 49 %, medan utsläppen från Sverige har minskat med 36 % (CEIP, 2022). Detta innebär att lufthalterna vid Klintaskogen/ Stenshult har minskat i något lägre takt jämfört med de rapporterade utsläppen. Detta kan bero på att lufthalterna på mer utsatta platser i Skåne, såsom Klintaskogen/ Stenshult, i större utsträckning påverkas av lokala utsläpp i regionen. Lufthalterna vid den mindre belastade platsen, Västra Torup/Hissmossa, har dock minskat i stort sett i samma takt som utsläppsminskningen under samma tidsperiod.

Sedan 2017 bedrivs utökade mätningar av olika former av kväveoxider vid Stenshult och Hissmossa. Utöver NO₂ mäts även summan av NO och NO₂, vilket betecknas NO_x, samt specifikt kvävemoxid, NO. Under 2021 gjordes dessa utökade luftmätningar även vid Maryd och Arkelstorp.

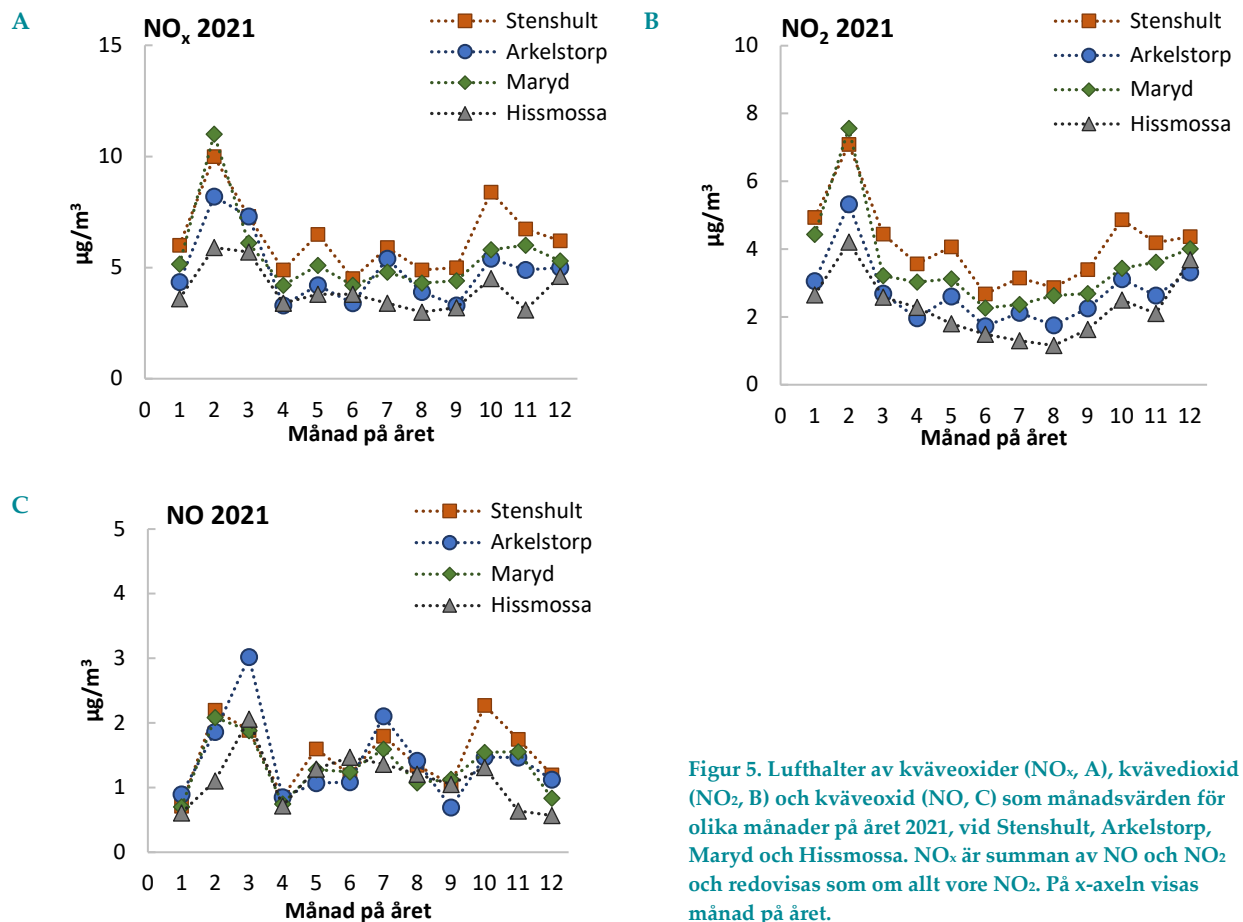
Resultaten från de fem åren då mätningar gjorts vid Stenshult och Hissmossa (Figur 4) visar att NO_x varierar mellan olika månader på året, med generellt högst värden under vinterhalvåret. Detta gäller dock främst för Stenshult och variationerna har sett olika ut olika år. Halterna av NO varierar inte på samma sätt mellan olika månader.



Figur 4. Lufthalter av kväveoxider (NO_x) och kväveoxid (NO) som månadsvärden vid Hissmossa (A) och Stenshult (B) 2017–2021. NO_x är summan av NO och NO₂ och redovisas som om allt vore NO₂. På x-axeln visas månad på året.

I Figur 5 visas den geografiska variationen i lufthalter för de olika formerna av kväveoxider för olika månader på året och för olika mätplatser under mätåret 2021. Övergripande var halterna av NO_x och NO₂ högst i länets södra del vid Stenshult, följt av Maryd. Halterna av NO_x och NO₂ var lägst vid Hissmossa i länets norra del. Halterna av NO varierade inte på något tydligt sätt mellan de fyra mätplatserna.

Tidigare mätningar under perioden maj till och med augusti 2008, i ett projekt finansierat av olika länsstyrelser i södra Sverige, har visat att lufthalterna av NO₂ i södra Skåne uppvisar en kraftig geografisk gradient från södra kusten norrut upp mot Romeleåsens sluttningar (Karlsson m.fl., 2009). Halterna var högst vid Smygehamn och minskade sedan snabbt norrut och var cirka 50 % lägre vid Gödelöv kyrka, cirka 31 km från kustlinjen.



Figur 5. Lufthalter av kväveoxider (NO_x, A), kvävedioxid (NO₂, B) och kväveoxid (NO, C) som månadsvärden för olika månader på året 2021, vid Stenshult, Arkelstorp, Maryd och Hissmossa. NO_x är summan av NO och NO₂ och redovisas som om allt vore NO₂. På x-axeln visas månad på året.

Årsvisa medelvärden från de månadsvisa mätningarna av olika former av kväveoxider vid de olika åren och mätplatserna visas i Tabell 1.

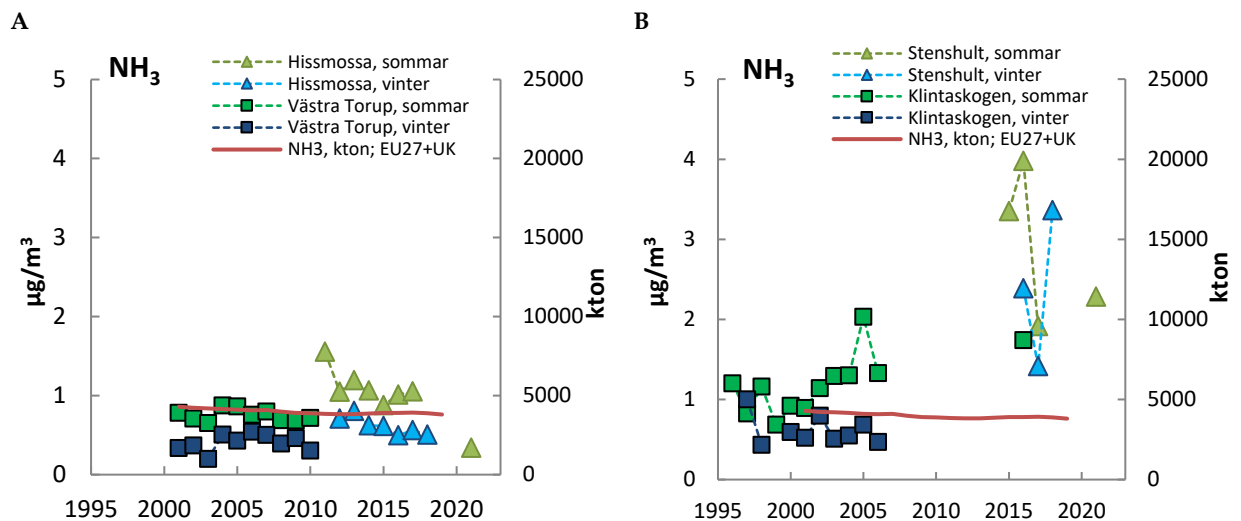
Tabell 1. Kalenderårsmedelvärden för NO_x-, NO₂- och NO-halter under kalenderåren 2017 till och med 2021 vid Hissmossa, Stenshult, Maryd och Arkelstorp. NO_x är summan av NO och NO₂ och redovisas som om allt vore NO₂

NO _x , µg/m ³	Hissmossa	Stenshult	Maryd	Arkelstorp
2017	4,5	6,9		
2018	4,8	7,4		
2019	4,5	6,8		
2020	4,0	5,9		
2021	4,0	6,4	5,5	4,9
NO, µg/m ³	Hissmossa	Stenshult	Maryd	Arkelstorp
2017	1,0	1,4		
2018	1,1	1,6		
2019	1,2	1,5		
2020	1,0	1,2		
2021	1,1	1,5	1,3	1,4
NO ₂ , µg/m ³	Hissmossa	Stenshult	Maryd	Arkelstorp
2017	3,0	4,7		
2018	3,1	4,9		
2019	2,7	4,6		
2020	2,4	4,0		
2021	2,3	4,1	3,5	2,7

Mätningar av ammoniak, NH_3 , har bedrivits i olika omgångar vid Västra Torup/ Hissmossa respektive Klintaskogen/ Stenshult och avslutades 2018 men har återupptagits igen under 2021, Figur 6. Mätplatserna har flyttats på samma sätt som beskrivits ovan för mätningarna av NO_2 . NH_3 har en hög depositionshastighet och transporteras därför inte lika långt som NO_2 . Lufthalterna av NH_3 blir därför mer beroende av utsläpp i den närmaste omgivningen. Resultaten från lufthaltsmätningarna av NH_3 vid närliggande platser analyseras därför inte tillsammans. Lufthalterna av NH_3 är, uttryckt som massa, lägre jämfört med NO_2 . Uttryckt som kväve-ekvivalenter är dock skillnaderna mellan NO_2 (molvikt 46) och NH_3 (molvikt 17) mindre, vilket medför att lufthalterna av NO_2 och NH_3 bidrar med ungefär lika mycket kväve.

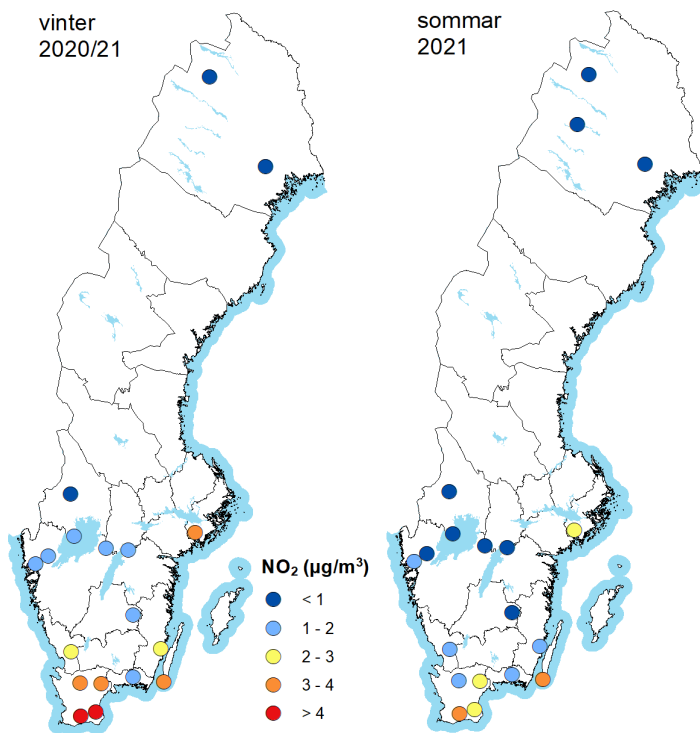
Lufthalterna av NH_3 är genomgående något högre sommar-, jämfört med vinterhalvår (Figur 6). Som beskrivits ovan, begränsas analyserna av tidstrender för lufthalterna av att mätplatserna flyttats ett flertal gånger. Mätplatsen vid Hissmossa som startade 2011 omgavs av betesmarker med nötkreatur, vilket resulterade i ökade halter sommartid av NH_3 , jämfört med de tidigare mätningarna vid Västra Torup, som var belägen i ett skogsområde. Den nya mätplatsen på en våtmark vid Hissmossa resulterade i lägre halter av NH_3 . Mätplatsen vid Stenshult som startades 2015 är omgiven av hästhagar, vilket resulterade i ökade halter sommartid av NH_3 , jämfört med de tidigare mätningarna vid Klintaskogen, som var belägen i ett skogsområde. Det är därför svårt att analysera förändringar över tid vad gäller lufthalterna av NH_3 vid de två mätområdena i Skåne.

De rapporterade utsläppen av NH_3 från både EU-27+UK och Sverige 2001–2019 har minskat endast med 11% (CEIP, 2022).



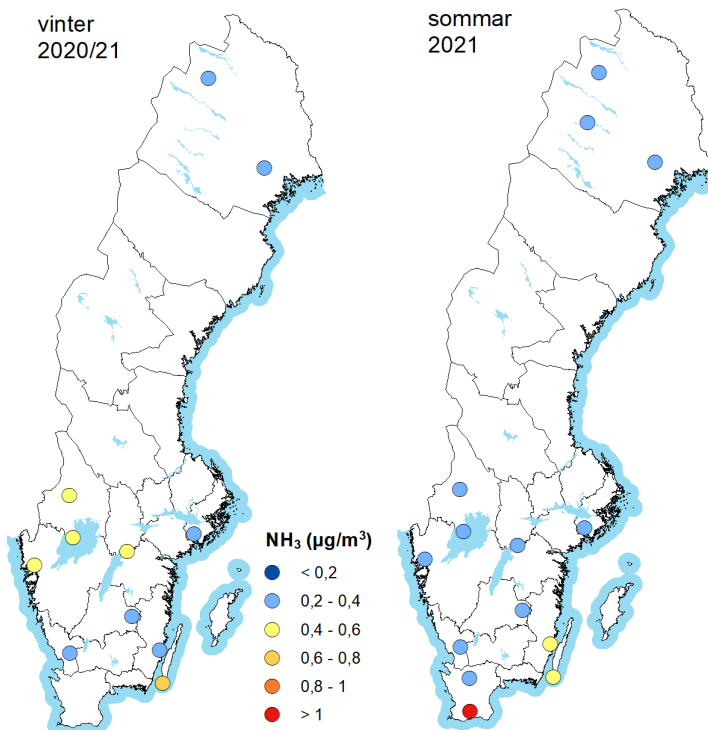
Figur 6. Lufthalter av ammoniak (NH_3) som medelvärde för sommar- respektive vinterhalvår vid Västra Torup/ Hissmossa sedan 2001 (A), samt vid Klintaskogen/ Stenshult sedan 1996 (B). Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars. Mätplatserna har flyttats kortare sträckor, vilket beskrivs i texten. Dessutom visas årsvisa rapporterade utsläpp av ammoniak, NH_3 , uttryckt som kton NH_3 , från EU27+UK, högra y-axeln.

I Figur 7 visas lufthalterna av kvävedioxid under 2020/21 vid alla platser med mätningar av lufthalter inom Krondroppsnätet, uppdelat på vinter- och sommarhalvår. Högst halter av kvävedioxid (NO_2) uppmättes vintertid i Skåne, Halland, Kalmar län och i Stockholmsregionen. Halterna av NO_2 är generellt lägre sommartid men fördelningen över landet är likartad som på vintern.



Figur 7. Lufthalter av kvävedioxid (NO_2) som medelvärden för sommarrespektive vinterhalvår vid mätstationerna inom Krondroppsnetet i Sverige. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

I Figur 8 visas halterna av NH_3 under vintern 2020/21 och sommaren 2021 vid alla mätplatser inom Krondroppsnetet. Högst halter uppmättes sommaren 2021 i södra Skåne. Under vintern uppmättes högst halter av NH_3 vid Ölands södra udde samt i västra delarna av Götaland/Svealand.



Figur 8. Lufthalter av ammoniak (NH_3) som medelvärden för sommarrespektive vinterhalvår vid mätstationerna inom Krondroppsnetet i Sverige. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

2.2 Kvävenedfall till skog och öppen mark

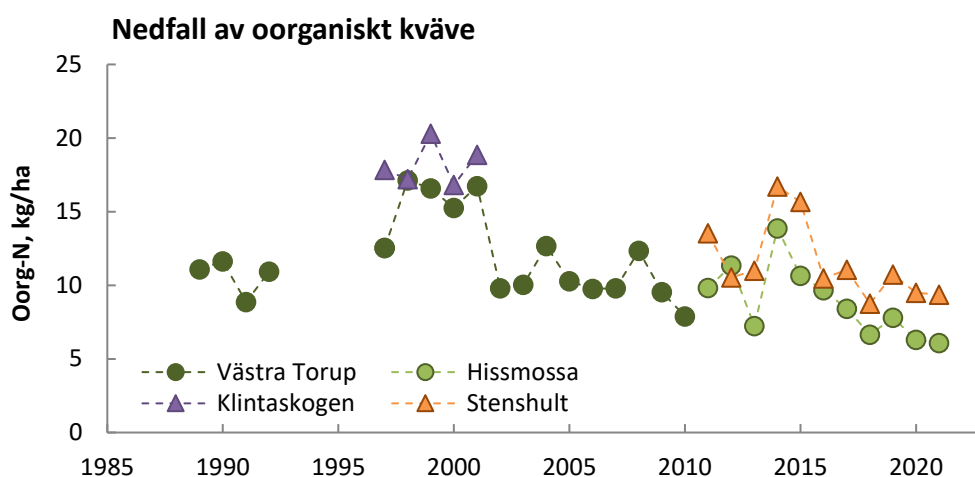
Kväve tillhör de ämnen där det inte går att beräkna totalt atmosfäriskt nedfall till skog, inkluderat både torr- och våtdeposition, baserat enbart på mätningar av krondropp, eftersom en del av det deponerade kväve tas upp direkt i trädkronorna och därför inte når insamlarna för krondropp vid marken. För att beräkna det totala nedfallet av oorganiskt kväve (summan av nitrat och ammonium) till skog krävs samlokaliserad mätutrustning för nedfall med nederbörden till öppet fält, för nedfall som krondropp samt mätningar av torrdeposition med strängprovtagare (Karlsson m.fl., 2019, 2022). Denna typ av samlokaliserade mätningar finns vid elva mätplatser runt om i Sverige, varav två i Skåne län, Stenshult och Hissmossa.

Andelen torrdeposition av det totala nedfallet av kväve följer ett geografiskt mönster över Sverige, från sydväst mot nordost, med högre andel i söder och lägre i norr (Karlsson m.fl., 2022). Utifrån detta mönster går det att beräkna andelen torrdeposition av kväve för alla mätplatser, även de där det endast mäts våtdeposition till öppet fält. Genom att summera beräknad torrdeposition och uppmätt våtdeposition får man en uppskattning av det totala nedfallet av oorganiskt kväve till granskog för alla platser med mätningar på öppet fält.

I Skåne finns två platser med mätningar av nedfall med nederbörden på öppet fält, Stenshult och Hissmossa. Dessa mätningar speglar i huvudsak våtdepositionen. Som beskrivits under kapitlet med lufthalter ovan är dessa platser ersättningsytor för de tidigare avslutade ytorna Klintaskogen, som liksom Stenshult ligger på Romeleåsen, och Västra Torup, som ligger i närheten av Hissmossa. Vid analys av tidstrender på öppet fält slås gamla och nya ytor ihop till samma tidsserie, eftersom nedfallet med nederbörden till öppet fält under längre tidsperioder inte varierar mellan närliggande platser i någon större utsträckning.

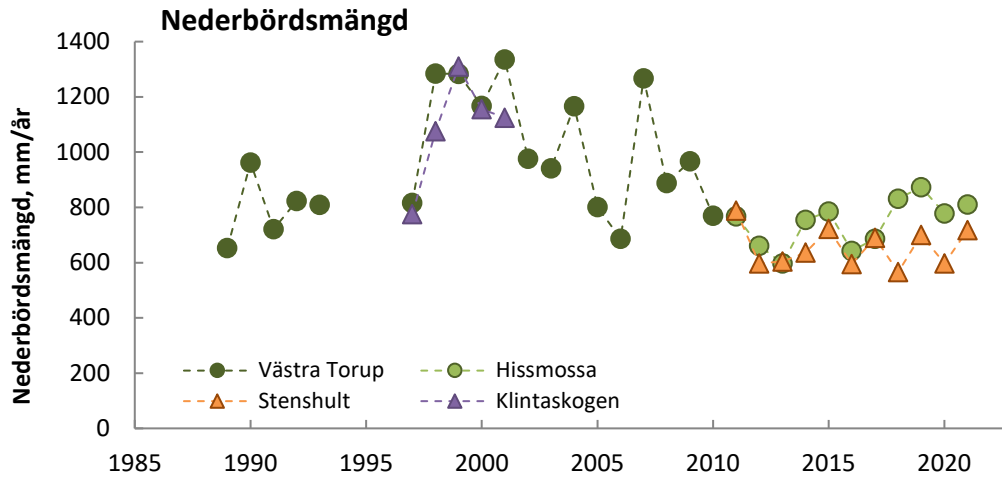
Nedfallsmätningarna på öppet fält har bedrivits vid Västra Torup/ Hissmossa sedan 1989, med ett uppehåll under 1994–1996, och vid Klintaskogen/ Stenshult sedan 1997, med ett uppehåll under 2002 - 2010. Nedfallet av oorganiskt kväve på öppet fält vid Västra Torup/Hissmossa och Klintaskogen/Stenshult har under de hydrologiska åren 1988/89 till 2020/21 varierat mellan 6 och 20 kg per hektar och år (Figur 9). Under det hydrologiska året 2020/21 uppmättes ett nedfall på öppet fält på 6,1 kg per hektar i Hissmossa och 9,4 kg i Stenshult.

En trendanalys visar på en statistiskt signifikant minskning av nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält under perioden 2001 – 2021 vid Västra Torup/Hissmossa med 39 %.



Figur 9. Årligt nedfall av oorganiskt kväve med nederbörden på öppet fält Västra Torup/ Hissmossa och Klintaskogen/ Stenshult, baserat på hydrologiskt år.

Nederbördsmängderna påverkar storleken på det atmosfäriska nedfallet och variationer i nederbörden skulle kunna påverka kvävenedfallets mellanårsvariation. Nederbördsmängderna vid Västra Torup/ Hissmossa och vid Klintaskogen/ Stenshult visas i Figur 10. Enligt trendanalysen har nederbördsmängden minskat med 29 % sedan 2001 vid Västra Torup/ Hissmossa.



Figur 10. Uppmätta nederbördsmängder vid mätplatserna i Skåne län, baserat på hydrologiskt år.

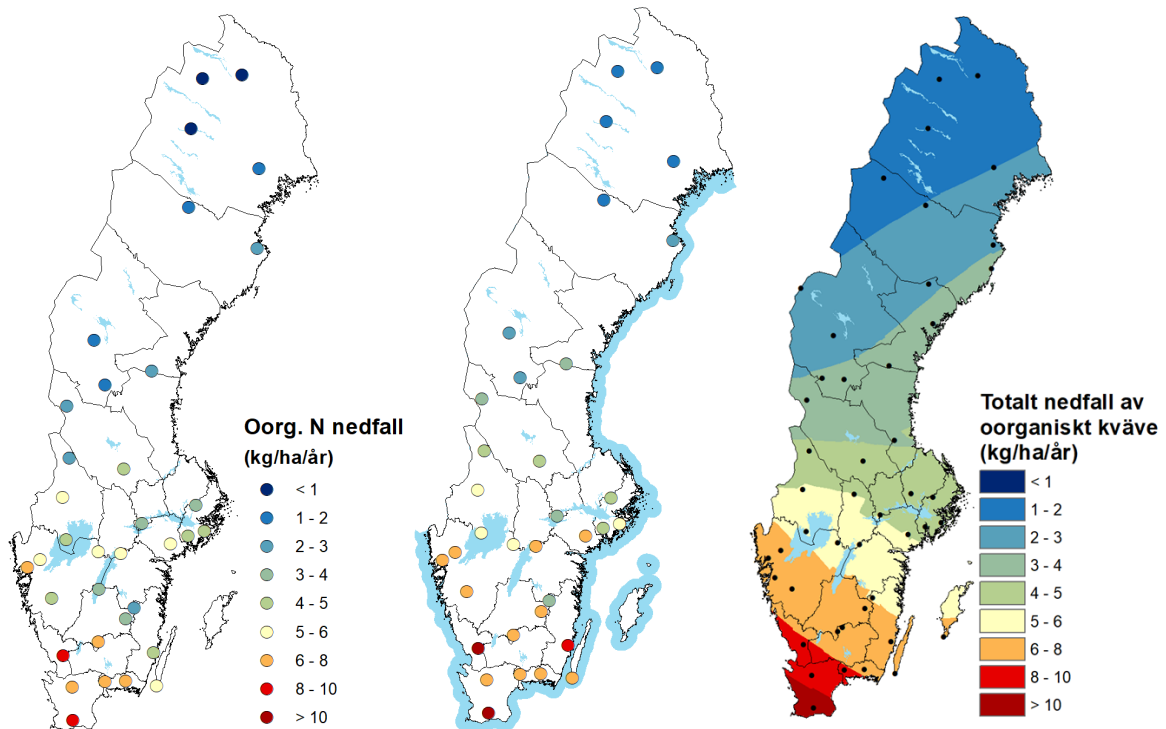
Baserat på den metodik som beskrivits inledningsvis i detta kapitel har det totala nedfallet av oorganiskt kväve beräknats för barrskog vid alla platser med mätningar av nedfall till öppet fält. Baserat på detta och genom att använda geografisk interpolering har det totala kvävenedfallet beräknats yttäckande för hela landet, inklusive Skåne län under tidsperioden 2001–2021 (Karlsson m.fl. 2022, samt <http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/>). Beroende på att en stor del av dessa analyser finansierats genom miljömålsuppföljningen inom Havs- och vattenmyndigheten, är en del analyser baserade på kalenderår.

Det uppmätta kvävenedfallet för det hydrologiska året 2020/21 visas för alla platser i Sverige med mätningar på öppet fält i Figur 11A medan det beräknade totala oorganiska kvävenedfallet till barrskog för samma mätplatser visas i Figur 11B. I Figur 11C visas en geografiskt interpolerad karta över det beräknade totala kvävenedfallet till barrskog över Sverige för det hydrologiska året 2020/21, baserat på samtliga mätplatser som finns i Sverige.

Det totala kvävenedfallet till barrskog i Skåne län, beräknat utifrån geografisk interpolation, varierade under kalenderåret 2021 mellan 6,8 och 9,0 kg per hektar, med högst nedfall i de sydvästra delarna (Figur 11C och 13). Det yttäckande medelvärdet för det totala kvävenedfallet till barrskog över Skåne län var för kalenderåret 2021 8,0 kg per hektar. Den kritiska belastningen för övergödande kväve till barrskog i Sverige, 5 kg per hektar och år (Moldan m.fl., 2011), överskreds därmed i hela Skåne län under kalenderåret 2021. Det platsspecifika totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog som beräknades för hydrologiska året 2020/21 var för provytan Hissmossa 6,4 kg per hektar och för provytan Stenshult 15,6 kg per hektar.

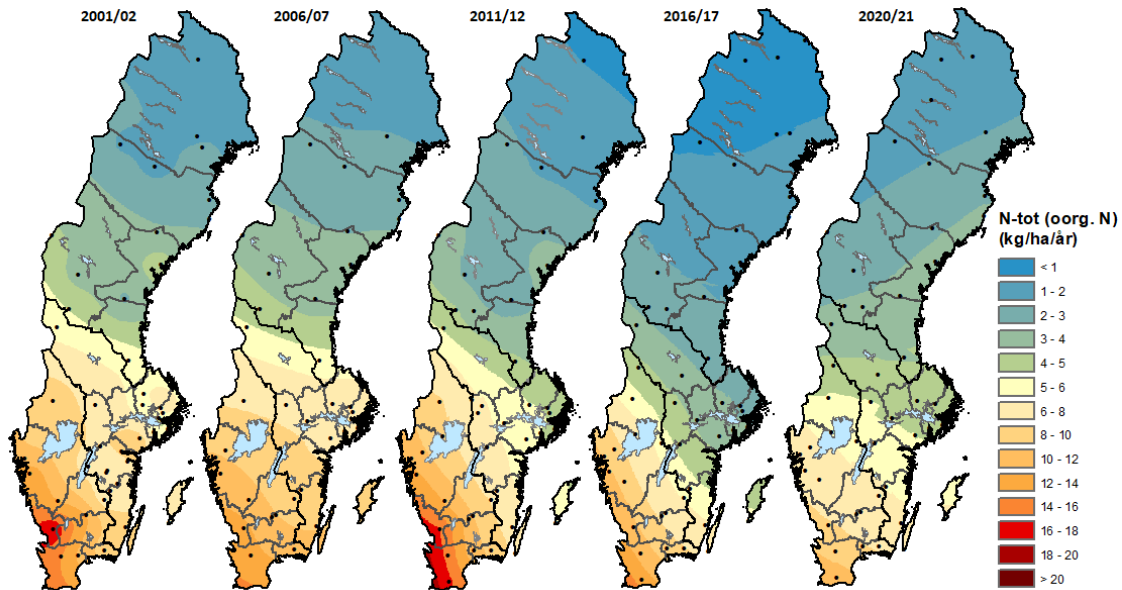
A. Kvävenedfall med nederbörden

B. Totalt kvävenedfall

C. Totalt kvävenedfall
(interpolerad karta)

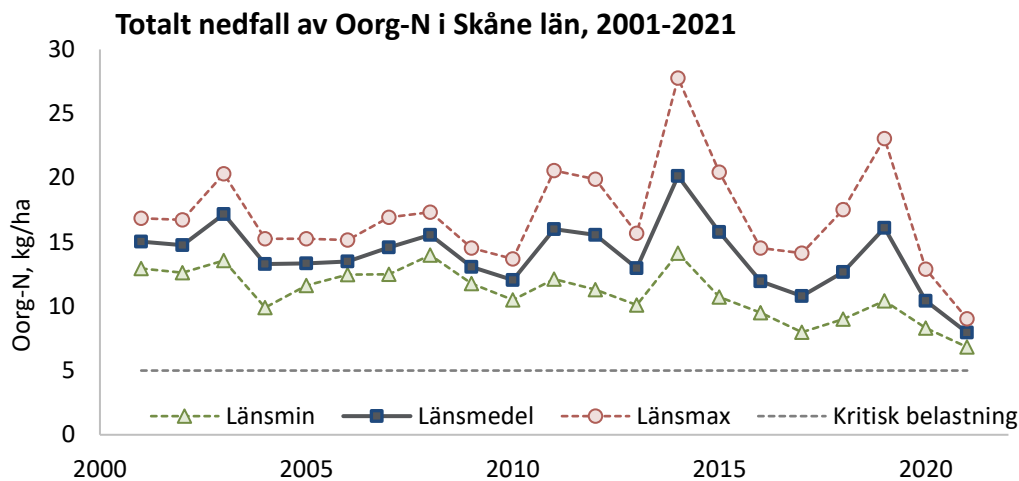
Figur 11. Nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) under det hydrologiska året 2020/21. A. Uppmätt nedfall till öppet fält. B. Motsvarande karta som A men med beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition) till barrskog. C. Geografiskt interpolerad karta över totalt nedfall (torr- och våtdeposition) till barrskog. Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2019; 2022).

I Figur 12 visas geografiskt interpolerade kartor över beräknat totalt nedfall med fyra/fem års mellanrum under perioden för de hydrologiska åren 2001/02–2020/21. Den geografiska gradienten är tydlig, med högst kvävenedfall i sydväst och minskande kvävenedfall mot norr. Observera att legenderna skiljer sig åt mellan Figurena 11C och 12.



Figur 12. Geografiskt interpolerade kartor över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition) av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) till barrskog med fyra/fem års mellanrum under perioden för de hydrologiska åren 2001/02–2020/21. Observera att färgskalorna är olika mellan figurena 11 och 12. Den geografiska interpoleringen har gjorts med Kriging-metodik. Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2022). Under perioden 2008–2013 bedrevs inga mätningar med strängprovtagare, så torrdepositionen har för denna period interpolerats över tid.

Det arealbaserade medelvärdet för det beräknade, geografiskt interpolerade totala kvävenedfallet till barrskog över Skåne för varje kalenderår sedan 2001 visas i Figur 13, tillsammans med årliga minimala och maximala värden för någon del av länet. Det arealbaserade medelvärdet för det totala kvävenedfallet över Skåne har inte minskat statistiskt signifikant under perioden 2001–2021, ($p=0,07$, Figur 13). De platsspecifika beräknade värdena för det totala kvävenedfallet per kalenderår sedan 2000/2001 har dock minskat statistiskt signifikant vid Hissmossa med 47 %, men inte vid Stenshult. Inte under något år under perioden 2001 – 2021 har kvävenedfallet understigit den kritiska belastningen för övergödande kväve till barrskog i någon del av länet.



Figur 13. Totalt nedfall av oorganiskt kväve (summan av torr- och våtdeposition, $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) till barrskog i Skåne under kalenderår mellan 2001 och 2021. Baserat på en geografiskt interpolerad karta över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition) över Skåne. Horisontell streckad linje indikerar den kritiska belastningen för kväve till barrskog i Sverige, $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Det beräknade yttäckande medelvärdet för det totala kvävenedfallet över Skåne per kalenderår sedan 2001 har inte minskat statistiskt signifikant ($p=0,07$).

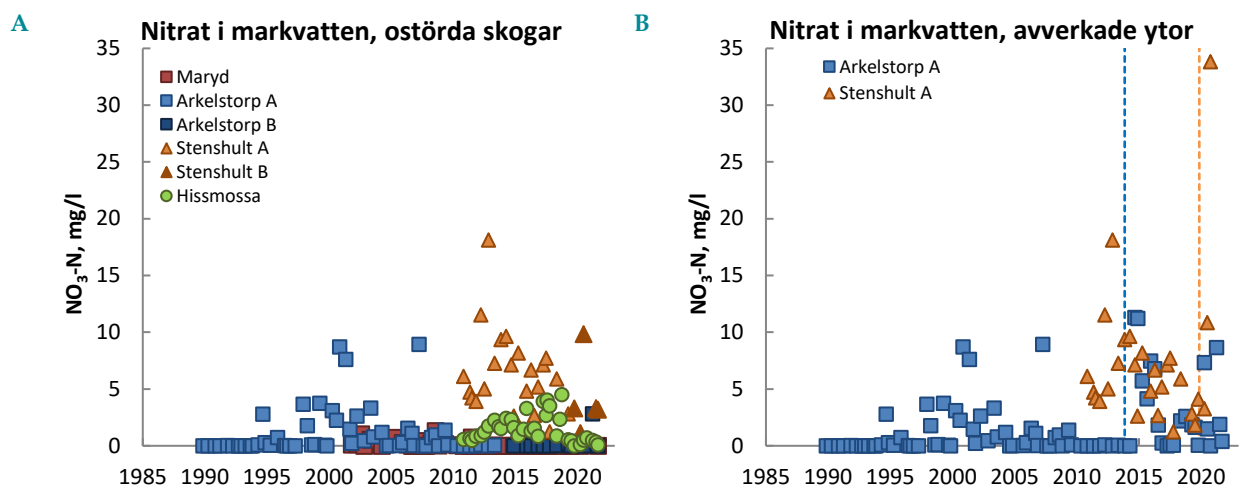
2.3 Kvävehalter i markvatten

Skogsekosystemen i Sverige tar vanligtvis upp det mesta av oorganiskt kväve som tillförts från atmosfäriskt nedfall, i träd, i övrig vegetation samt av markens mikroorganismer (Tamm, 1991). Utlakning av oorganiskt kväve från markprofilen är därför i de flesta fall låg. I sydvästra Sverige, framför allt i Skåne och Halland, förekommer dock förhöjda halter av nitratkväve i markvattnet vid en del mätplatser i ostörd skog (Akselsson m.fl., 2010). Även i andra delar av landet finns exempel på förhöjda halter i markvattnet, men då oftast i samband med störningar som avverkning, stormfällan eller insektsangrepp (Hellsten m.fl., 2015; Karlsson m.fl., 2018).

Resultaten från mätningar av halter av nitrat i markvatten i Skåne län fram till år 2021 visas i Figur 14A för mätplatser och tidsperioden där trädbestånden, så vitt vi känner till, inte har påverkats av avverkningar eller andra störningar. I Figur 14B visas tidsserier för halter av nitrat i markvattnet för mätplatser som avverkats; granskogen i Arkelstorp A och granskogen i Stenshult A. Data visas för tidsperioder både före och efter dessa avverkningar, vars tidpunkter markeras med vertikala streckade linjer.

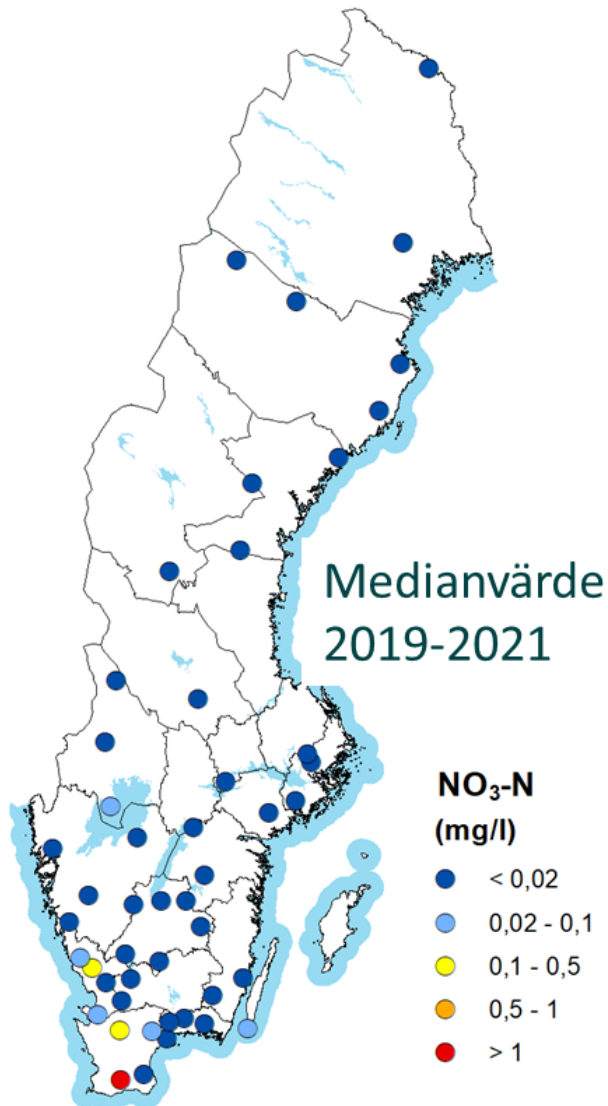
Halterna av nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$) i markvattnet har varit tydligt, och ibland kraftigt, förhöjda vid alla länets provvytor, även om de inte varit påverkade av avverkningar eller andra störningar (Figur 14A). Högsta halterna av $\text{NO}_3\text{-N}$ har uppmätts vid granskogen Stenshult A, 18,1 mg/l, följt av granskogen vid Stenshult B med högsta halten på 9,9 mg/l samt granskogen vid Arkelstorp A med högsta halten på 9,0 mg/l. Vid Arkelstorp B har enstaka förhöjda halter upp till 2,8 mg/l uppmätts. Vid granskogen i Hissmossa har frekvent halter upp till 4,5 mg/l uppmätts. Alla dessa halter av $\text{NO}_3\text{-N}$ får betraktas som höga och medför stora risker för kväveläckage till grund- och ytvatten. Vid granskogen i Maryd har halter av $\text{NO}_3\text{-N}$ upp till 1,3 mg/l uppmätts, vilket även det är klart förhöjt, men under senare år har halterna vid Maryd varit låga.

Avverkningen vid Arkelstorp A medförde inte någon tydlig höjning av halterna av $\text{NO}_3\text{-N}$ i markvattnet (Figur 14B), detta eftersom halterna av nitrat varit periodvis höga redan före avverkningen. Under de fyra åren närmast före avverkning vid Arkelstorp A var dock halterna av $\text{NO}_3\text{-N}$ låga, för att direkt efter avverkningen återigen öka kraftigt. Vid Stenshult A uppmättes under hösten 2020, ett år efter avverkningen, mycket höga halter av nitrat i markvattnet, 34 mg/l. Detta är bland de högsta halterna av $\text{NO}_3\text{-N}$ i markvatten som någonsin uppmätts inom Krondroppsnetet. Kort därefter förstördes tyvärr provtagningsutrustningen av en markberedning inom den avverkade skogsmarken.



Figur 14. **A.** Halter av nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) i markvatten i Skåne län fram till år 2021 för mätplatser och tidsperioden där trädbestånden så vitt vi känner till inte har påverkats av avverkningar eller andra störningar. Provpplatsen för Arkelstorp flyttades efter avverkning en kort sträcka 2013 till en ny närliggande provvyta, Arkelstorp B, och vid Stenshult flyttades den efter avverkning 2019 också en mycket kort sträcka till Stenshult B. **B.** Halter av nitrat i markvatten i Skåne län för två mätplatser som avverkats, vilket indikeras med vertikala linjer, blå för Arkelstorp och orange för Stenshult. Data visas för samma ytor både före och efter avverkning.

En sammanställning av data från samtliga nu aktiva Krondroppsytor med ostörd, växande skog i Sverige (Figur 15) visar att halterna av nitratkväve, angivet som medianvärden för åren 2019–2021, generellt har varit låga i hela Sverige, med undantag av ett antal mätplatser i Skåne och Halland, där medianen översteg 0,1 mg per liter. För Stenshult i Skåne är medianvärdet för denna period 3 mg per liter.



Figur 15. Koncentrationen av nitrat (NO₃-N) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnetet redovisat som medianvärde från de senaste tre årens mätningar (2019–2021). Resultat från ytor med mindre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats har tagits bort.

3 Försurning

Försurning av mark och vatten orsakas av både svavel- och kvävenedfall, men även skogsbruket bidrar eftersom träd tillväxt innebär försurning, som permanentas när biomassa skördas och förs bort från skogen. Historiska höga utsläpp av svaveloxider (SO_x) från industrin och från förbränning av kol och olja är den främsta orsaken till försurning av mark och vatten i Sverige. Vid låga pH uppträder aluminium som en giftig trevärd jon, som kan skada fiskar och andra vattenlevande organismer samt även skada trädens rötter. En ytterligare effekt av lågt pH är att vissa andra metaller, till exempel kadmium och bly, också blir mer lätttrörliga i marken och kan läcka ut till ytvattnet.

Hundshögen L Fotograf: Leif Rodhe

Försurningen kvarstår som ett betydande miljöproblem i Skåne län (Länsstyrelsen i Skåne län, 2022). Andelen försurade sjöar i Skåne uppgår till cirka 35 procent. Kalkning av sjöar och vattendrag förväntas behöva bedrivas i ytterligare 20–30 år. Det atmosfäriska nedfallet av svavel i länet har minskat kraftigt. Skogsmarken är dock ännu fortsatt försurad och kan inte bidra till återhämtningen från försurning i sjöar och vattendrag. Betydelsen av skogsbrukets försurande påverkan på skogsmarken ökar när svavelnedfallet har minskat, och askåterföring till skogsmarken blir därför en viktig åtgärd.

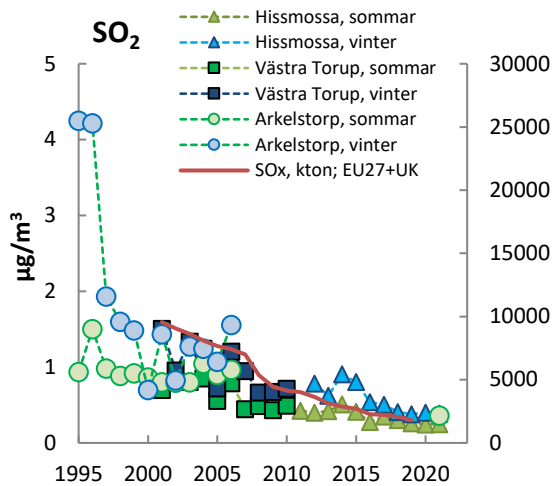
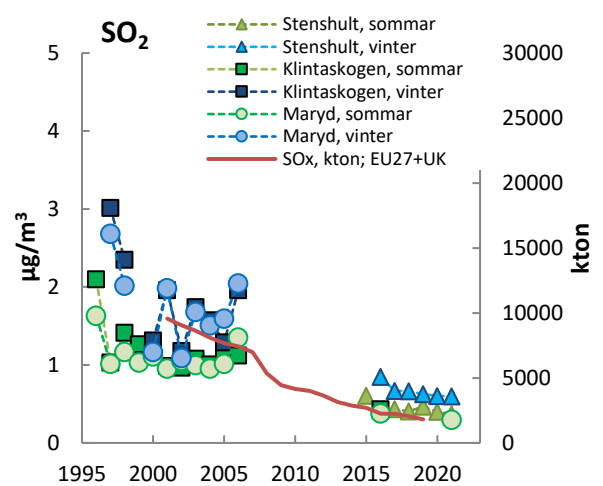
3.1 Lufthalter av svaveldioxid

Lufthalter av svaveldioxid (SO₂) mäts på månadsbasis under olika tidsperioder vid fyra platser i Skåne, Hissmossa och Arkelstorp i länets norra del samt vid Stenshult och Maryd i länets södra del (Figur 16). Mätperioder och flytt av mätplatser är identiska med vad som beskrivits ovan för lufthalter av kvävedioxid. Eftersom platserna före och efter flytt ligger relativt nära varandra antar vi att lufthalterna av SO₂ är jämförbara.

Lufthalterna av SO₂ var något högre på vintern jämfört med sommaren och halterna var ungefär dubbelt så höga vid Klintaskogen/ Stenshult i länets södra del, jämfört med Västra Torup/ Hissmossa i länets norra del. Åren 1995 och 1996 uppmättes höga halter av SO₂ vintertid vid Arkelstorp.

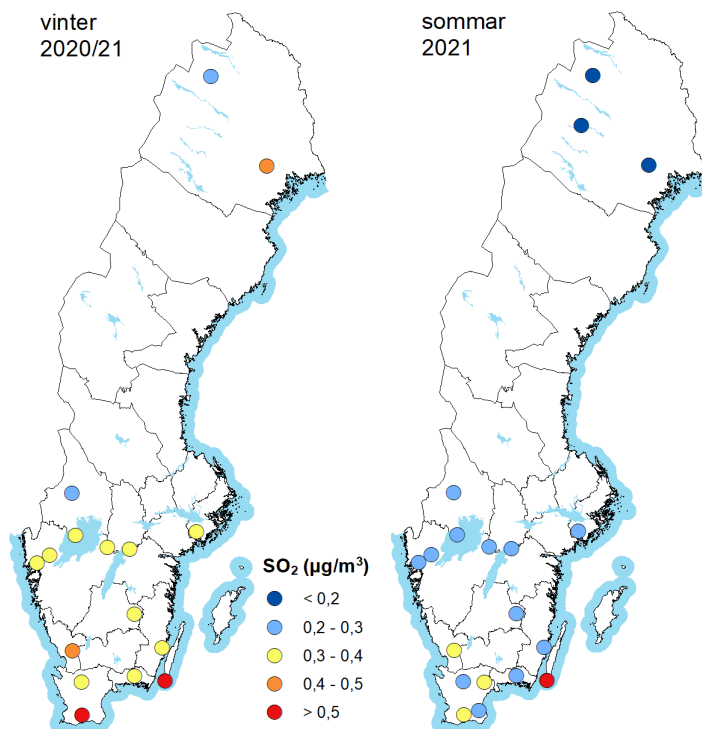
Lufthalterna av SO₂ har sedan 2001 minskat signifikant, både vid Västra Torup/ Hissmossa och vid Klintaskogen/ Stenshult och både under sommar- och vinterhalvåret. Vid Västra Torup/ Hissmossa låg halterna sommartid i början av 2000-talet omkring 0,5 till 1,0 µg/m³ och på vintern omkring 1,0 till 1,5 µg/m³, vilket under senare år minskat till mellan 0,2 och 0,3 µg/m³ på sommaren och mellan 0,3 och 0,4 µg/m³ vintertid. Vid Klintaskogen/ Stenshult var halterna sommartid i början av 2000-talet omkring 1,0 µg/m³ och på vintern 1,5 – 2,0 µg/m³, vilket under senare år minskat till mellan 0,3 – 0,5 µg/m³ på sommaren och till mellan 0,6 – 0,7 µg/m³ vintertid.

Procentuellt har lufthalterna av SO₂ sedan 2001 minskat vid Västra Torup/ Hissmossa 68 % sommartid och 71 % vintertid, medan motsvarande minskningar för Klintaskogen/ Stenshult var 66 % sommartid och 69 % vintertid. Utsläppen av SO_x från EU-27+UK har under perioden 2001–2019 minskat 88 % medan utsläppen från Sverige har minskat med 67 % (CEIP, 2022). Lufthalterna av SO₂ vid Västra Torup/Hissmossa och Klintaskogen/ Stenshult har således minskat i något lägre takt jämfört med svavelutsläppen från Europa men i samma takt som utsläppen från Sverige.

A. Norra Skåne

B. Södra Skåne


Figur 16. Lufthalter av svaveldioxid (SO₂) som medelvärde för sommar- respektive vinterhalvår vid Västra Torup/ Hissmossa samt vid Arkelstorp i länets norra del (A), vid Klintaskogen/ Stenshult samt vid Maryd i länets södra del (B). Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars. Mätplatserna har flyttats kortare sträckor, vilket beskrivs i texten samt med olika symboler i diagrammen. SO₂-halterna minskade signifikant sedan mätstarten under både sommar- och vinterhalvår vid båda mätplatserna. På grund av det långa uppehållet vad gäller mätserierna för Arkelstorp och Maryd, görs inga trendanalyser för mätresultaten från dessa platser. Dessutom visas årsvisa rapporterade utsläpp av svaveloxider, SO_x, uttryckt som kton SO₂, från EU27+UK, högra y-axeln.

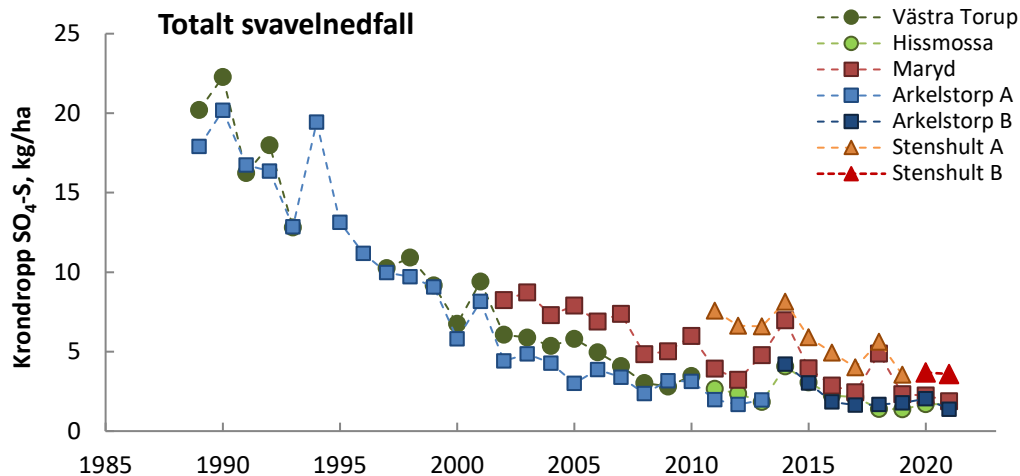
I Figur 17 visas halterna av SO₂ under vinterhalvåret 2020/21 och sommarhalvåret 2021 vid nu aktiva mätplatser inom Krondroppsnätet. Under vintern 2020/21 uppmättes högst SO₂-halter vid de kustnära mätplatserna i södra Sverige, Stenshult på Romeleåsen i södra Skåne, Timrilt öster om Halmstad samt Ottenby vid Ölands södra udde. Det finns även ett högt värde vid Grankölen i Norrbottens län. Under sommaren 2021 var halterna generellt lägre, med högsta halterna vid Ottenby. I januari 2015 sänktes halterna av svavel i fartygsbränsle på Östersjön från 1% till 0,1%. Lufthaltsmätningarna av SO₂ inom Krondroppsnätet tyder dock på att fartygstrafiken har en fortsatt påverkan på lufthalterna av vid kustnära områden i södra Sverige.



Figur 17. Lufthalter av svaveldioxid (SO₂) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid mätstationerna inom Krondroppsnätet i Sverige. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

3.2 Nedfall av svavel

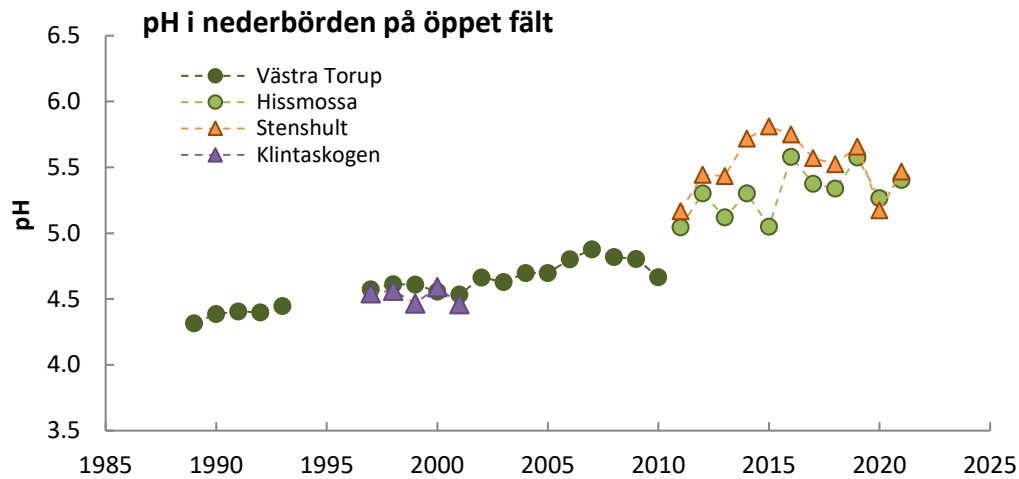
Svavelnedfallet via krondropp ger ett samlat mått på det totala svavelnedfallet till skog, inklusive både torr- och våtdeposition. Svavelnedfallet i Skåne har historiskt sett varit mycket högt, vid vissa platser i slutet av 1980-talet upp mot 30 kg per hektar och år (Pihl Karlsson m.fl., 2018). Svavelnedfallet till skogen i Skåne län har minskat kraftigt sedan 1990-talet för samtliga nu aktiva skogsytor i länet (Figur 18). Under det hydrologiska året 2020/21 varierade svavelnedfallet mellan 1,4 och 3,6 kg per hektar och år vid mätplatserna i länet.



Figur 18. Årligt nedfall av svavel till provytor i Skåne län, mätt som krondropp. Bidraget från havssalt har exkluderats. Beräkningarna gäller hydrologiskt år, oktober-september. Mätningarna vid Arkelstorp och Stenshult har flyttats en kortare sträcka, vilket indikeras med olika symboler, A och B. Alla provytorna utgörs av granskog.

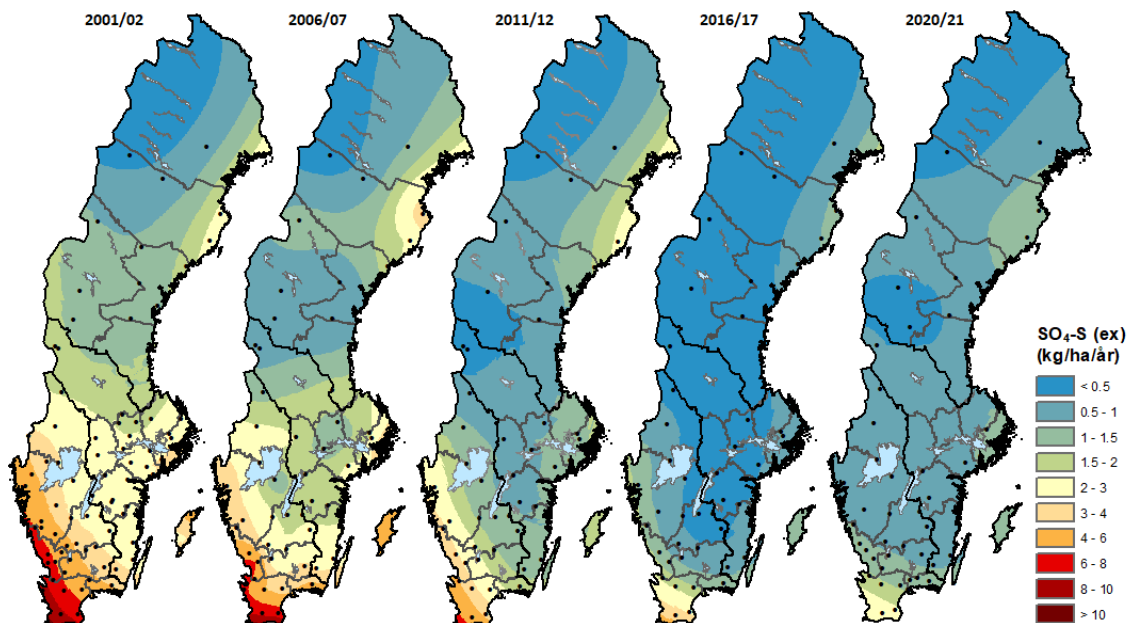
Svavelnedfallet vid länets mätplatser har sedan hydrologiska året 2000/2001 minskat statistiskt sägnifikant med mellan 63 och 85 %. Dessa nedfallsminskningar kan jämföras med att utsläppen av svaveloxider (SO_x), mätt som SO_2 , har minskat mellan 2001 och 2019 med 88 % inom EU-27 + UK och med 67 % i Sverige (CEIP, 2022). Svavelnedfallet över Skåne län minskar således i ungefär samma takt som minskningarna av svavelutsläppen i Europa och i Sverige.

Minskat svavelnedfall återspeglas i ökat pH i nederbörden (Figur 19). Sedan 2001 har pH-värdet vid Västra Torup/ Hissmossa ökat signifikant med 21 %.



Figur 19. pH i nederbörden vid Västra Torup/ Hissmossa samt vid Klintaskogen/ Stenshult. Nederbörden mäts månadsvis och pH-värdet medelvärdesbildats för hydrologiskt år, oktober-september. Mätningarna har flyttats kostare sträckor, vilket indikeras med olika symboler. Vid Västra Torup i länets norra del påbörjades mätningarna 1989, avslutades 1993 och påbörjades igen 1997. Mätutrustningen flyttades 2012 till en åkermark vid den närliggande platsen Hissmossa. Mätresultat saknas dock för 2011. Mätplatsen flyttades ytterligare ett kort stycke 2017 till en närliggande, öppen våtmark. Vid Klintaskogen i länets södra del påbörjades mätningarna 1997 men avslutades 2001. Mätningarna återupptogs 2011 vid den närliggande, nya ytan i Stenshult. Eftersom platserna före och efter flytt ligger relativt nära varandra antar vi att pH i nederbörden på öppet fält är jämförbara.

Nedfallet av svavel till granskog i Sverige visas i Figur 20 för vart femte år sedan 2001/02 (sista perioden är endast fyra år). Det framgår att den högsta belastningen av svavelnedfallet hela tiden har varit högst i sydvästra Sverige. De geografiska skillnaderna över Sverige har dock minskat med åren.



Figur 20. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) med fyra/fem års mellanrum under perioden 2001/02–2020/21 i krondroppet vid mätstationerna (grandominerade) inom Krondroppsnetet i Sverige. Interpolering har gjorts med Kriging-metodik.

3.3 Hur går återhämtningen från försurningen?

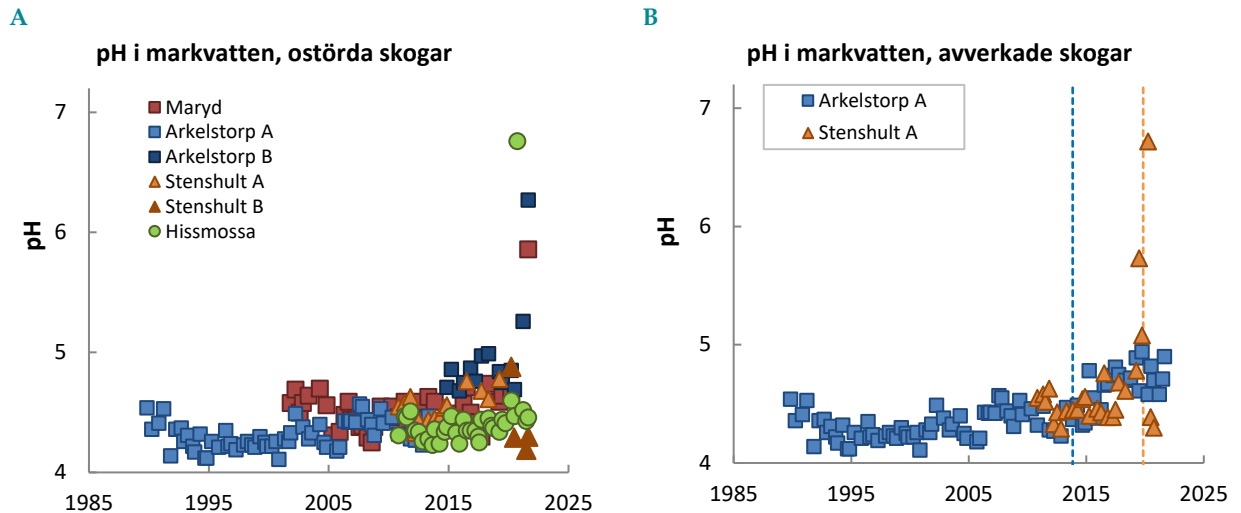
Markvattnets försurningsstatus vid Krondropps nätets mätplatser beror i stor utsträckning på nuvarande och historiskt nedfall av svavel på platsen i kombination med markens buffringsförmåga. På vissa platser, och under vissa perioder, påverkas försurningsstatusen av ett överskott av kväve som inte tas upp av vegetationen, havssaltsnedfall som leder till jonbyte samt olika former av störningar i marken som kan påverka halten löst organiskt kol i marken (Akselsson m.fl., 2013). På längre sikt påverkar även uttag av biomassa från skogen genom skogsbruket markvattnets försurningsstatus (Akselsson & Belyazid, 2018; Akselsson, m. fl. 2021).

Markvattenmätningarna vid Arkelstorp och Stenshult har flyttats kortare sträckor. I motsats till nedfallsmätningarna, kan markvattenkemin variera avsevärt mellan närliggande platser. Därför behandlas tidsserierna vad gäller flyttade platser separat när det gäller statistiska analyser. Detta begränsar möjligheterna till statistiska trendanalyser.

pH är ett av de mått som kan användas för att följa markvattnets återhämtningsförlopp efter försurning. Bedömningen av vid vilket pH som markvattnet kan anses försurat beror till viss del på jordens mineralinnehåll i området, halterna av organiska ämnen med mera. Enligt bedömningsgrunderna för försurad mark innebär pH under 4,4 hög surhet, medan pH 4,4–5,5 innebär måttlig surhet. Fortplantning av örting kräver sjövattnet med pH >6 och för mört krävs pH >5,5. Även markvattnets ANC (syraneutraliserande förmåga) används för att följa markvattnets återhämtningsförlopp. Ett negativt värde på ANC innebär att det inte finns någon buffringskapacitet i markvattnet. Halterna av toxiskt, oorganiskt aluminium ökar vid ett lågt pH och kan därför användas som ett mått på försurningspåverkan. Resultaten för några olika parametrar som beskriver försurningstillståndet i markvattnet vid nu aktiva mätplatser i Skåne län, fram till och med 2021, visas i Figurerna 21 - 23. Resultaten vad gäller olika försurningsparametrar i markvattnet i Skåne redovisas separat, dels för mätplatser och tidsperioder då trädbestånden inte har påverkats av avverkningar, stormfällan eller andra störningar, dels för platser och tidsperioder där påverkan från avverkningar finns väl dokumenterade. Resultaten visas för dessa platser både före och efter avverkning. Ingen trendanalys har gjorts för påverkade platser.

pH i markvattnet har sedan 2001 inte förändrats signifikant vid någon plats med ostörda skogar (Figur 21A). De mycket höga värden för pH som uppmättes under 2020 och 2021 har inte inkluderats i den statistiska analysen, se vidare nedan. Tendensen verkar dock vara ökande vid flera mätplatser i länet. pH-värdena i markvattnet i Skåne län är dock fortsatt vid eller under 5,0, vilket enligt bedömningsgrunderna för försurning i marken är måttligt försurat.

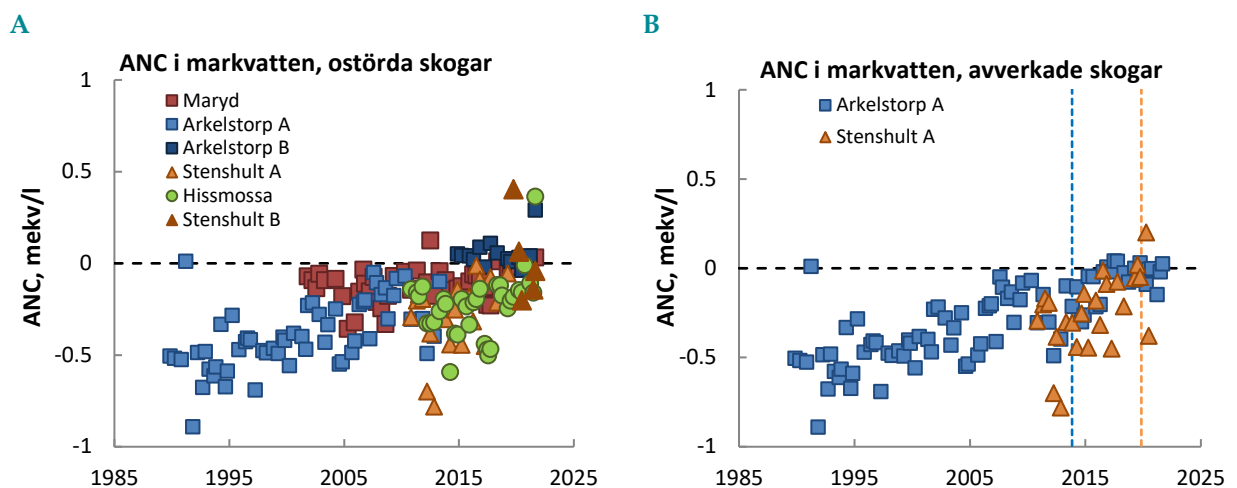
Vid Hissmossa under 2020 och vid Arkelstorp B och Maryd under 2021 uppträder mycket höga värden för pH i markvattnet. De höga värdena uppträder under olika delar av växtsäsongen, både vår, sommar och höst. Orsakerna bakom dessa höga värden är inte fullt klarlagda och värdena är inte inkluderade i de statistiska trendanalyserna. Låga provvolymerna orsakat av att det varit torrt i marken kan ha spelat roll för dessa höga värden för pH. Dessa värden får utredas ytterligare och kommande mätningar får visa om de består.



Figur 21. pH i markvattnet vid länets ytor. A, mätvärden för platser och tidsperioder då skogsbestånden ej, så vitt känt, varit på ett betydande sätt påverkade av stormskador; B, mätvärden för platser och tidsperioder då skogsbestånden har varit på ett betydande sätt påverkade av stormskador. Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Skogen vid Arkelstorp A avverkades i augusti 2013 (vertikal streckad blå linje) och skogen vid Stenshult A i augusti 2019 (vertikal streckad orange linje).

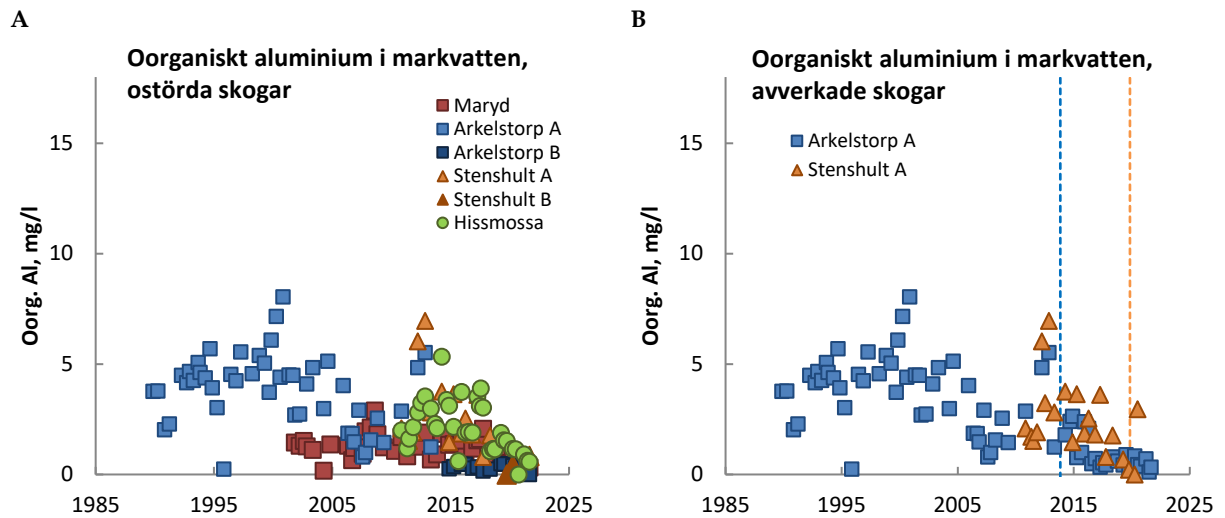
Som beskrivits ovan, påverkas pH i markvattnet av en mängd olika faktorer. Ett mer robust mått på försurning är markvattnets ANC. För att markvattnet skall bidra till en återhämtning från försurning i sjöar och vattendrag måste ANC ha ett värde som är klart större än noll.

Under 2021 var ANC bara tillfälligtvis över noll vid mätplatser i länet, Figur 22. Vid några tillfällen under de senaste två åren uppträder höga positiva värden vid Hissmossa, Stenshult B samt Arkelstorp B. Orsakerna till dess tillfälliga höga värden är som redan nämnts ovan hittills outhämtade, men låga provvolymerna kan ha spelat roll. Över tid har ANC vid länets provvytor återhämtat sig från kraftigt negativa värden, både vad gäller ostörda och stormskadade provvytor (Figur 20). Ökningen av ANC är statistiskt signifikant för ostörda skogar vid Arkelstorp A, Maryd och Stenshult A.



Figur 22. Den syraneutraliserande förmågan (ANC) i markvattnet vid länets ytor. A, mätvärden för platser och tidsperioder då skogsbestånden ej, så vitt känt, varit på ett betydande sätt påverkade av stormskador; B, mätvärden för platser och tidsperioder då skogsbestånden har varit på ett betydande sätt påverkade av stormskador. Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Skogen vid Arkelstorp A avverkades i augusti 2013 (vertikal streckad blå linje) och skogen vid Stenshult A i augusti 2019 (vertikal streckad orange linje).

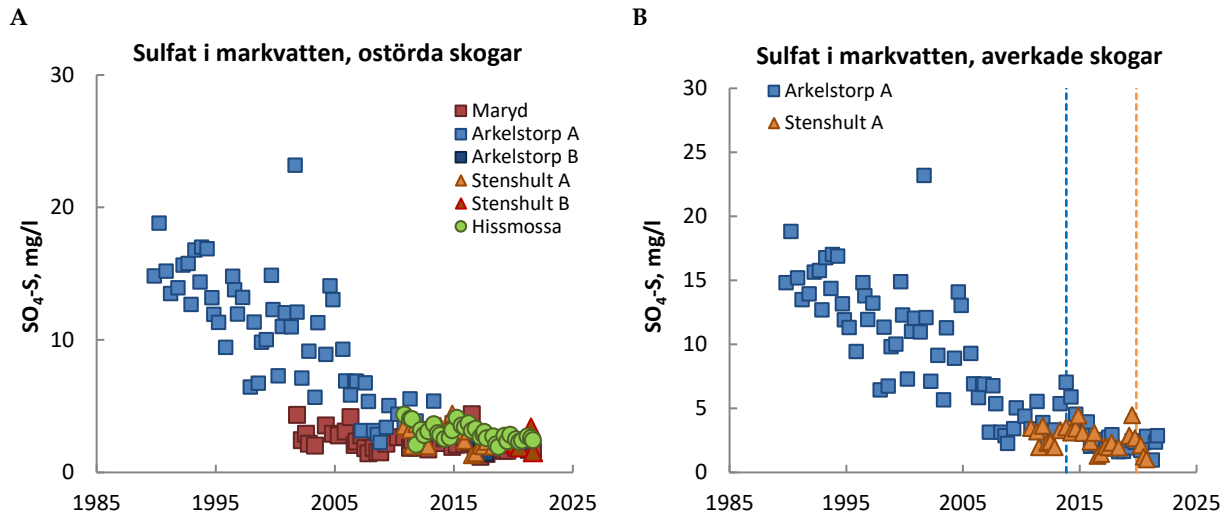
Halterna av toxiskt, oorganiskt aluminium har historiskt sett varit höga vid flera av länets provytor (Figur 23). Halterna av oorganiskt aluminium har dock minskat, både vid ostörda och stormpåverkade skogar. Bland de ostörda provytorna har halterna av oorganiskt aluminium minskat signifikant vid Hissmossa och Stenshult A.



Figur 23. Halter av toxiskt oorganiskt aluminium i markvattnet vid länets ytor. A, mätvärden för platser och tidsperioder då skogsbestånden ej, så vitt känt, varit på ett betydande sätt påverkade av stormskador; B, mätvärden för platser och tidsperioder då skogsbestånden har varit på ett betydande sätt påverkade av stormskador. Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Skogen vid Arkelstorp A avverkades i augusti 2013 (vertikal streckad blå linje) och skogen vid Stenshult A i augusti 2019 (vertikal streckad orange linje).

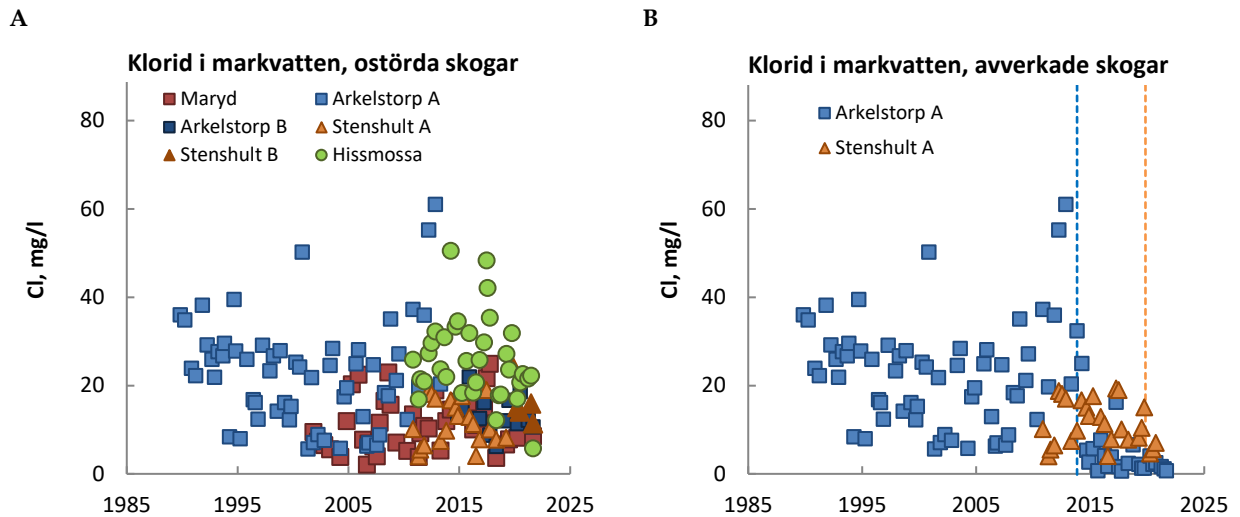
För att förstå de långsiktiga trenderna för markvattnets försurningsstatus kan tidstrender för svavel-, klorid- och nitratkvävehalter i markvattnet vara en bra utgångspunkt, som mått på konsekvenserna av svavelnedfall, havssaltsepisoder med efterföljande jonbyte, samt överskott av kväve. Halterna av svavel i markvattnet visas i Figur 24, halterna av klorid i markvattnet visas i Figur 25, medan halterna av nitrat har redan visats i Figur 14 ovan.

Vid mätplatser med ostörd skog har svavelhalten i markvattnet minskat signifikant vid Arkelstorp A och Maryd (Figur 24). Utöver svavelnedfall spelar även markens egenskaper roll för svavelhalterna i markvattnet, till exempel dess buffringskapacitet samt dess förmåga att adsorbera svavel.



Figur 24. Halter av sulfat i markvattnet vid länets provtytor. A, mätvärden för platser och tidsperioder då skogsbestånden ej, så vitt känt, varit på ett betydande sätt påverkade av stormskador; B, mätvärden för platser och tidsperioder då skogsbestånden har varit på ett betydande sätt påverkade av stormskador. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Skogen vid Arkelstorp A avverkades i augusti 2013 (vertikal streckad blå linje) och skogen vid Stenshult A i augusti 2019 (vertikal streckad orange linje).

Skogarna i Skåne utsatts för mycket havssalt och att havssaltsepisoder får stora effekter på markvattenkemin. Halterna av klorid i markvattnet har inte förändrats signifikant vid någon mätplats med ostörda skogar i länet (Figur 25). I resultaten för de avverkade skogarna i Arkelstorp syns tydligt att kloridhalterna i markvattnet minskar efter avverkning på grund av att trädkronorna inte längre finns kvar för att fånga upp torrdepositionen av havssalt (Figur 25B).

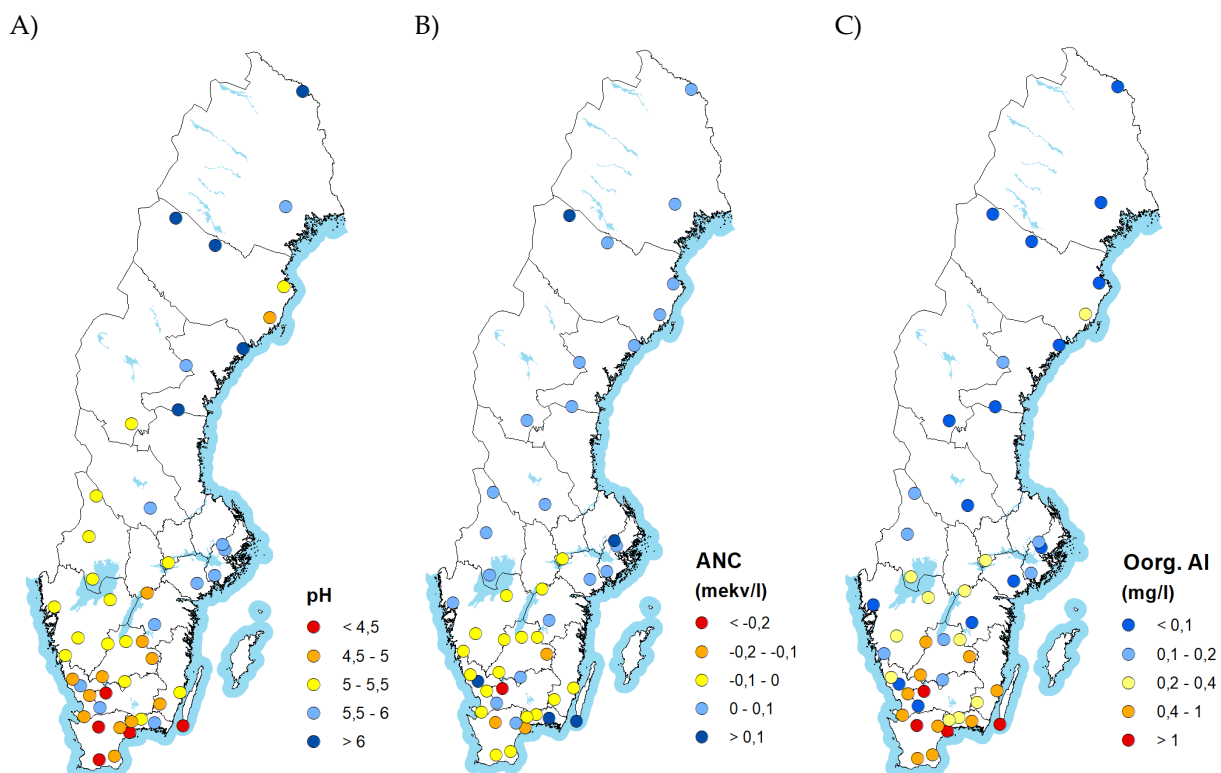


Figur 25. Halter av klorid i markvattnet vid länets ytor. A, mätvärden för platser och tidsperioder då skogsbestånden ej, så vitt känt, varit på ett betydande sätt påverkade av stormskador; B, mätvärden för platser och tidsperioder då skogsbestånden har varit på ett betydande sätt påverkade av stormskador. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Skogen vid Arkelstorp A avverkades i augusti 2013 (vertikal streckad blå linje) och skogen vid Stenshult A i augusti 2019 (vertikal streckad orange linje).

De statistiskt signifikanta trender som kan påvisas vad gäller de försurningsrelaterade parametrarna pH, ANC och halten oorganiskt aluminium för ostörda skogar i Skåne är vid Arkelstorp A en ökning av ANC och vid Stenshult en ökning av ANC och en minskning av oorganiskt aluminium. Vid Maryd ökade ANC. Vid Hissmossa minskade halterna av oorganiskt aluminium. pH har inte förändrats statistiskt signifikant vid

någon plats utifrån de befintliga mätperioderna. Det finns således vissa tecken på återhämtning från försurning. Trots den kraftiga minskningen av svavelnedfallet är markvattnet på 50 cm djup dock fortfarande kraftigt försurad på många håll i ostörda skogar i Skåne.

Skåne tillhör som beskrivits ovan de län i landet där markvattnet är mest försurningspåverkat, tillsammans med Halland, Blekinge, Kronoberg, Kalmar och Jönköpings län, på grund av högt svavelnedfall under flera decennier i denna del av landet, Figur 26. Gradienten för medianen för markvattnets ANC de tre senaste åren följer i stora drag pH-gradienten i Sverige. De flesta av mätplatserna i Götaland uppvisar negativt ANC, i Svealand är ANC omkring 0, och i Norrland är värdet positivt, Figur 24B. Även halten oorganiskt aluminium uppvisar en liknande gradient som för pH och ANC, Figur 24C.



Figur 26. pH (A), ANC (B) och Oorg Al (C) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnätet. Det värde som anges är medianvärdet under de senaste tre åren (2019–2021). Ytor med mindre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats eller gödslats är ej inkluderade.

4 Aktuellt & notiser

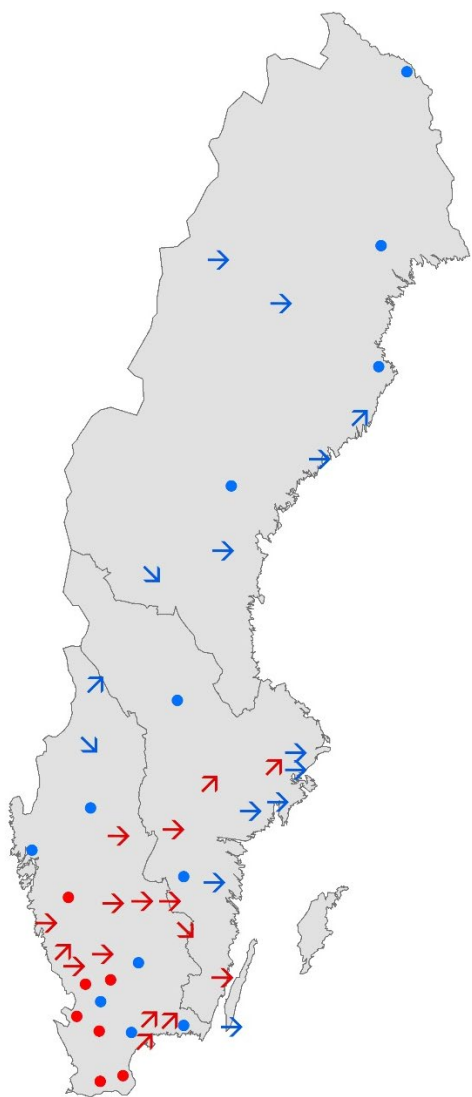


Grankölen. Fotograf: Mattias Eriksson

4.1 Trender för ANC i markvatten 1996–2021

Tidsserier för markvattnets ANC (syraneutraliserande förmåga) från Krondropps nätet har ofta använts vid uppföljning av miljömålet *Bara naturlig försurning*, eftersom det ger ett samlat mått på försurningspåverkan från atmosfäriskt nedfall och från skogstillväxten. Ett värde för ANC i markvattnet under rotzonen på 0 eller under innebär att det inte finns någon buffrande förmåga. Det vatten som exporteras från skogsmark bör ha ett värde för ANC över 0, för att ge en buffringskapacitet i ytvattnet.

I den fördjupade utvärderingen av miljömålet *Bara naturlig försurning* 2018 presenterades en karta som visade nivå och förändring på ANC på 35 provtytor inom Krondropps nätet för perioden 1996–2017 (Naturvårdsverket, 2019). Här presenteras uppdaterade resultat för perioden 1996–2021, Figur 25. Pilar upp eller ner i Figur 27 visar på en statistiskt signifikant ökning respektive minskning av ANC mellan 1996 och 2021. För bedömning av nuvarande nivå används medianen för perioden 2019–2021. Resultaten visar att markvattnet i sydvästra och delar av sydöstra Sverige fortsatt är kraftigt försurat, med $ANC < 0$ (markeras i kartan med röda pilar/punkter). Denna gradient stämmer väl överens med svavelnedfallsgradienten. Endast vid 38 % av ytorna med $ANC < 0$ kan en återhämtning påvisas i form av signifikant ökande ANC. Vid en av ytorna har ANC minskat signifikant vilket visar på ytterligare försurning. På ytorna med positivt ANC (markeras i kartan med blå pilar/punkter), som främst ligger i mellersta och norra Sverige, kan inte ökning av ANC förväntas i samma utsträckning som i söder, eftersom markvattnet redan nu är relativt välbuffrat. På dessa platser uppvisar 14 % en signifikant ökning och 14 % en signifikant minskning.



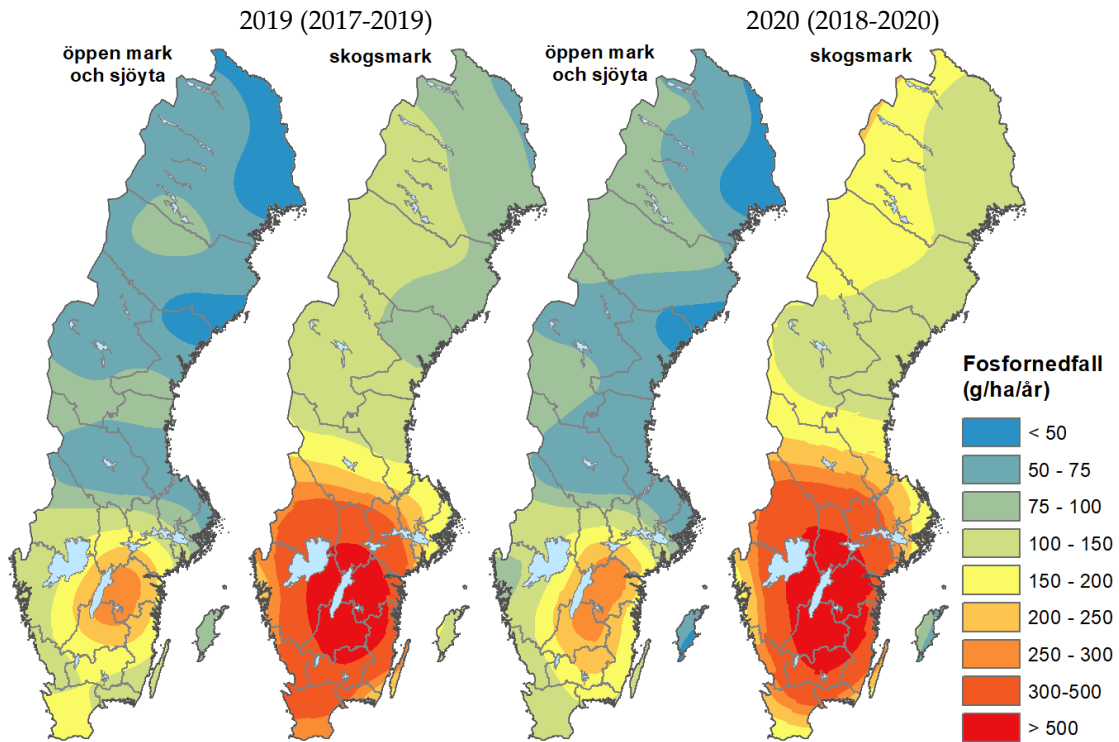
Figur 27. Nivåer och trender för ANC (syraneutraliserande förmåga) i markvattnet under rotzonen, baserat på data från Krondropps nätet. Röda pilar/punkter indikerar att $ANC < 0$ medan blåa pilar/punkter visar $ANC > 0$ (beräknat som medianen för perioden 2019–2021). $ANC > 0$ innebär att markvattnet har en buffrande förmåga. Pilar upp eller ner visar på en signifikant ökning respektive minskning (enligt Seasonal Kendall-testet), mellan 1996 och 2021*. Horisontella pilar innebär att ingen signifikant förändring kunnat påvisas. Indelningen i tre landsdelar baseras på indelningen i försurningsregioner som ofta används vid uppföljning av miljömålet *Bara naturlig försurning*.

*Även tidsserier med start 1997, 1998 eller 1999 har tagits med, liksom tidsserier som slutade 2019 eller 2020.

4.2 Ny rapport om depositionen av fosfor till skogsmark, öppen mark och sjöyta i Sverige

På uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten och inom ramen för samarbetet Svenska MiljöEmissionsData (SMED) har forskare inom Krondroppsnetet beräknat atmosfäriskt nedfall av fosfor (P) till öppen mark och sjöyta samt till skogsmark för olika delar av Sverige (Karlsson, m.fl. 2021).

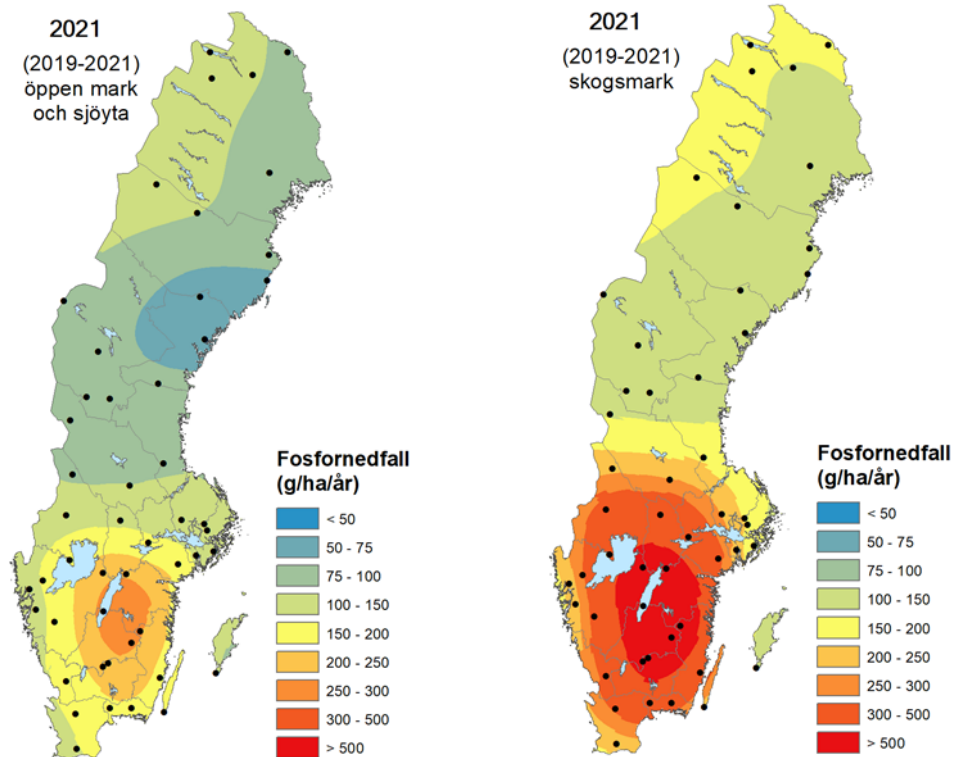
Huvuddelen av nedfallet av P sker som torrdeposition. I jämförelse med de flesta andra ämnen är nedfallet av P mycket lågt. Det låga nedfallet medför att problemen med till exempel kontamination av proverna relativt sett blir större, jämfört med för andra ämnen. Därför beräknades depositionen för ett visst år och mätplats baserat på ett glidande treårsmedelvärde. Från och med 2017 finns mätningar av P till öppen mark vid ett femtiotal olika mätplatser i Sverige. Sedan 2017 finns även beräkningar av torrdeposition av P till skog vid tio olika platser. Nedfallet av P till öppet fält och skogsmark visas i Figur 28 för åren 2019 (2017–2019) och 2020 (2018–2020).



Figur 28. Atmosfäriskt nedfall av fosfor till öppen mark/sjöyta och skogsmark för treårsperioderna motsvarande åren 2019 och 2020. För beräkningar av nedfallet till skogsmark användes en kombination av mätningar på öppen mark och särskilda torrdepositions-mätningar. Resultaten interpolerades geografiskt med Kriging-metodik.

Det högsta nedfallet av P till både öppen mark och skogsmark beräknades för de inre delarna av Götaland och Svealand. Det geografiska mönstret tyder på att endast en mindre del av depositionen av P i Sverige beror av långdistanstransport, med källor utanför Sveriges gränser. I stället beror nedfallet sannolikt till största delen av en intern cirkulation av biologiska fragment och abiotiska partiklar på landskapsnivå.

Under våren 2022 har motsvarande data och kartor för fosfornedfallet under 2021 (2019–2021) tagits fram i ett projekt inom SMED åt Havs- och vattenmyndigheten. I Figur 29 visas kartor med fosfornedfallet 2021 för öppen mark och sjöyta samt för skogsmark.



Figur 29. Atmosfäriskt nedfall av fosfor till öppen mark/sjöyta och skogsmark för 2021 motsvarande treårsperioden 2019–2021. För beräkningar av nedfallet till skogsmark användes en kombination av mätningar på öppen mark och särskilda torrdepositions mätningar. Resultaten interpolerades geografiskt med Kriging-metodik.

Områdesvisa medelvärden har i projektet tagits fram för depositionen av fosfor för landområden (öppen mark och sjöyta respektive skogsmark) som representerar de sex havsbassängerna, Bottenviken, Bottenhavet, Egentliga Östersjön, Skagerrak, Kattegatt och Öresund. Fosfordepositionen för de sex olika områdena visas i Tabell 2. I beräkningen för de olika områdena har fosfordepositionen till skogsmark summerats med fosfordepositionen till resterande delar av området. Andel av skogsmark är baserad på översiktskartan hämtad från Lantmäteriet 2021

Tabell 2. Områdesvisa medelvärden för det totala nedfallet av P i g/ha till de landområden (öppen mark och sjöyta respektive skogsmark) som representerar de sex havsbassängerna (Bottenviken, Bottenhavet, Egentliga Östersjön, Skagerrak, Kattegatt och Öresund), för treårsperioderna motsvarande 2019, 2020 och 2021. I tabellen anges också procenten skogsmark för respektive område.

Öppen mark och sjöyta (all övrig mark)				
Område	2019 (2017–2019) g P/ha	2020 (2018–2020) g P/ha	2021 (2019–2021) g P/ha	
Öresund	165	115	148	
Kattegatt	146	138	169	
Skagerrak	110	97	134	
Eg. Östersjön	170	172	185	
Bottenhavet	68	73	90	
Bottenviken	60	69	102	
Skogsmark				
Område	2019 (2017–2019) g P/ha	2020 (2018–2020) g P/ha	2021 (2019–2021) g P/ha	% skogsmark per område
Öresund	290	200	237	12%
Kattegatt	383	402	370	57%
Skagerrak	260	232	233	57%
Eg. Östersjön	427	464	433	59%
Bottenhavet	122	162	138	73%
Bottenviken	92	142	142	60%

4.3 Uppdatering av kritisk belastning för kväve

Sedan ett par år tillbaka pågår inom konventionen för gränsöverskridande luftföroreningar (LRTAP, även kallad "Luftvårdskonventionen") en process för att uppdatera kritisk belastning för inverkan av kväve på olika landecosystem i Europa. Här ingår att uppdatera det vetenskapliga underlaget som används för att motivera nya belastningsgränser, ett arbete som leds av det tyska Naturvårdsverket. I arbetet som inriktas på nordliga skogar deltar forskare från Sverige (Krondropps nätet), tillsammans med forskare från Finland och Norge.

Det finns nu ett färdigt förslag till nya, lägre värden för kritisk belastning av kväve till boreala och tempererade skogar. De nu föreslagna kritiska belastningsgränserna för boreala skogar är främst baserade på risker för negativ påverkan på mossor och lavar i dessa ekosystem. De föreslagna, nya värdena för kritisk belastning av kväve är 3–5 kg N ha⁻¹ år⁻¹ för boreal granskog ("dark taiga") och 2–5 kg N ha⁻¹ år⁻¹ för boreal tallskog ("light taiga"). Tidigare belastningsgränser för dessa skogsekosystem var 5–10 kg N ha⁻¹ år⁻¹.

För tempererade lövskogar föreslås 10–15 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (tidigare värde 10–20 kg N ha⁻¹ år⁻¹) och för tempererade barrskogar 3–15 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (tidigare värde 5–15 kg N ha⁻¹ år⁻¹). Beslut om förslagen väntas tas vid en rad olika möten inom Luftvårdskonventionen under 2022. Den geografiska omfattningen av boreala skogar i Sverige visas i Figur 30.



Figur 30. Boreala skogar i Sverige visas i kartan till vänster med lila färg. Källa: wikipedia.org

Sverige tillämpar sedan tidigare egna värden vad gäller kritisk belastning från kvävenedfall för olika ekosystem. För lövskog i Sverige gäller i nuläget en kritisk belastning i hela Sverige på $10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, för barrskog och myrmark $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, och för fjällvegetation $3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (Moldan m.fl., 2011). Om och i vilken utsträckning de nuvarande nationella värdena för kritisk kvävebelastning kommer att förändras återstår att se.

4.4 Metaller och kväve i mossa har undersökts under 2020 i hela landet

På uppdrag av Naturvårdsverket utförde IVL under 2020 en undersökning av metallhalter i mossprover från hela landet. Resultaten från den senaste undersökningen, som presenterades 2021, visade att halterna av bly och koppar i mossa har minskat i Sverige som helhet sedan 2015 (Danielsson m.fl., 2021). Däremot har halterna av arsenik, järn, krom, kvicksilver, nickel, vanadin, zink, aluminium och kobolt i mossa ökat något. Halterna i Sverige är dock fortsatt låga om man jämför med stora delar av övriga Europa. Orsaken till att halterna av flera metaller har ökat något sedan den senaste undersökningen är ännu okänd och behöver följas upp för att se om den håller i sig. Preliminära resultat från andra europeiska länder visar liknande resultat med ökade halterna mellan 2015 och 2020 för ett flertal metaller.

Metoden att använda mattbildande mossor som bioindikatorer är ett effektivt sätt att övervaka luftmiljön, både vad gäller metaller och kväve. Som en del av den nationella miljöövervakningen har Naturvårdsverket, vart femte år, sedan 1975, finansierat dessa undersökningar av metallhalter i mossprover insamlade i bakgrundsmiljö i hela landet. Den långa mätserien är en styrka och visar på tydliga trender för belastningen av metaller över tid.

Nedfallet av både metaller och kväve över Sverige uppvisar en tydlig gradient från söder till norr, med högst nedfall i sydväst som sedan avtar norröver, vilket återspeglar intransporten av utsläpp från kontinenten. På vissa platser bryts dock mönstret med förhöjda metallhalter vilket går att koppla till lokala och regionala utsläppskällor. Exempel på detta är förhöjda halter av koppar och krom utmed norrlandskusten samt förhöjda halter av järn i malmfälten i Norrbottens län. Även längre söderut i Sverige kan man se förhöjda halter, till exempel av kobolt i Mellansverige. De lägsta halterna av flertalet metaller finns i mossprover från fjälltrakterna och norra Sveriges inland.

De svenska utsläppen av metaller från trafiken, från förbränningsanläggningar och från industrin har minskat kraftigt från det att mossundersökningarna startade i mitten av 1970-talet. Under senare år har minskningen dock inte varit lika stor och mellan 2000 och 2020 var det endast halterna av bly och kadmium i mossa som minskat statistiskt signifikant för Sverige som helhet.

4.5 Tjugo år av luftvårdsforskning har sammanfattats i en rapport

Den internationella luftvårdsforskning som har finansierats av Naturvårdsverket under de senaste tjugo åren har sammanfattats i en rapport som kom ut under 2021, där forskare från Krondroppsnetet deltog (Åström m.fl., 2021).

Förorenad luft var ett av de tidigast uppmärksammade och erkända miljöproblemen i såväl Europa som i Sverige. En rad åtgärder för lägre utsläpp har resulterat i bättre luftkvalitet på många platser. Man har också visat på de synergier som finns vad gäller minskade utsläpp av luftföroreningar och minskad klimatpåverkan. Man pekar dock på att vissa problem i stor utsträckning kvarstår, så som till exempel att vissa områden i sydvästra Sverige fortfarande är kraftigt försurade. Kvävenedfallet påverkar fortfarande biodiversiteten mot en minskad förekomst av vissa, ofta rödlistade växtarter. Risken för ozonskador på växtligheten, i förhållande till luftens ozonhalter, är större i norra Europa, jämfört med andra delar av Europa. Trots att Sverige har bland Europas lägsta halter av luftföroreningar beräknas omkring 7 600 personer dö i förtid varje år på grund av exponering för framför allt partiklar och kvävedioxid.

De svenska forskningsprogrammen har bidragit starkt till att öka samverkan mellan forskare och beslutsfattare. Den tillämpade luftvårdsforskningen kan bidra till fortsatt effektivt svenskt och internationellt miljöarbete även i framtiden.

4.6 Vetenskapliga artiklar där data från Krondroppsnetet använts

4.6.1 Artikel om kritiskt biomassauttag från skogen

I en artikel publicerad 2021 i tidskriften *Sustainability* presenterar en grupp forskare, flera av dem verksamma inom Krondroppsnetet, en studie där 26 provtytor inom Krondroppsnetet delas in i tre riskklasser med avseende på försurning vid helträdsuttag efter avverkning (Akselsson, m.fl. 2021). I studien har två olika faktorer kartlagts: (1) Uppmätt försurningsstatus i markvattnet i form av syraneutraliserande förmåga (ANC) och (2) Överskridande av kritiskt biomassauttag vid helträdsuttag, beräknat med aciditetsbalansberäkningar. Provytor med $ANC < 0$ och med överskridande av kritiskt biomassauttag tilldelades den högsta riskklassen, provtytor med $ANC > 0$ och utan överskridande hamnade i den lägsta riskklassen, och övriga provtytor i den mellersta riskklassen. Studien visade på en geografisk gradient, med en koncentration av provtytor i den högsta riskklassen i södra Sverige och mestadels provtytor i den lägsta riskklassen i norra Sverige. Gradienten kan förklaras med att både försurande nedfall och bonitet är som högst i södra Sverige. Det innebär att markvattnet är mest försurat där, och även att mer biomassa förs bort vid helträdsuttag. Vissa provtytor bryter dock det geografiska mönstret, till exempel provtytor i södra Sverige med god mineralogi, och därmed hög vittring, som därmed hamnar i den lägsta eller mellersta riskklassen. Resultaten kan användas som en grund för formulering av policies för grot-uttag och askåterföring.

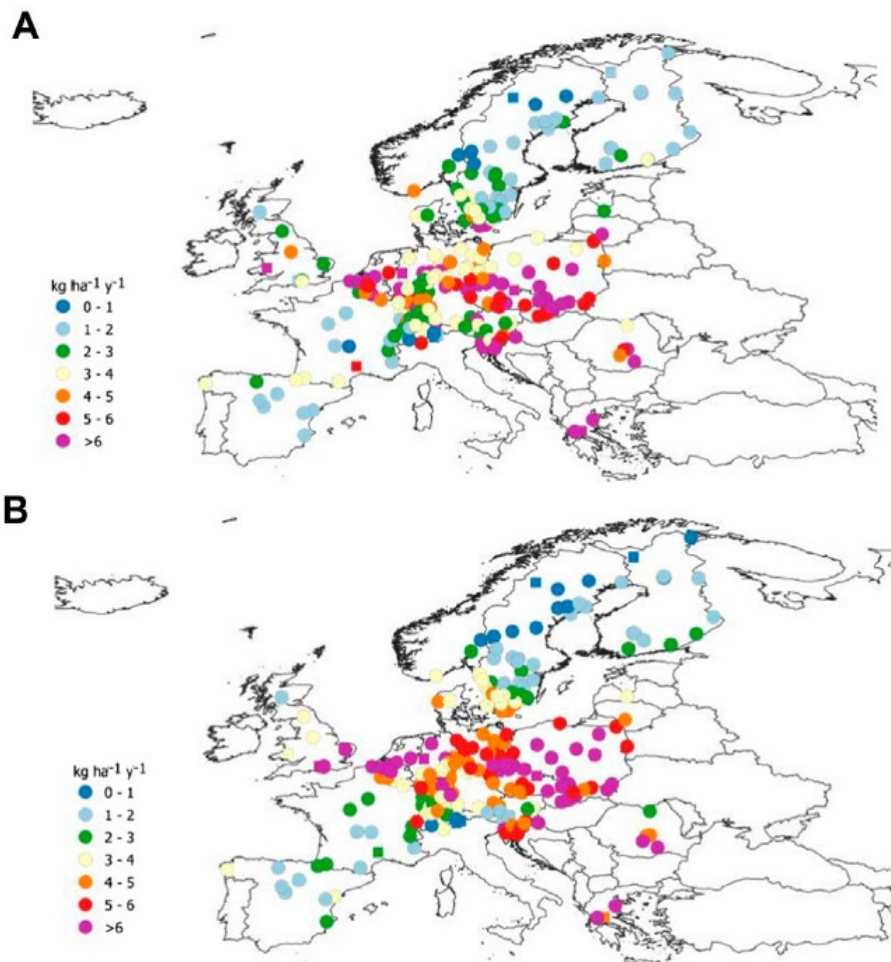
4.6.2 Artikel med en internationell jämförelse av observerad och modellerad deposition

Det europeiska arbetet med att minska utsläppen av luftföroreningar baseras i stor utsträckning på resultat från olika modeller vad gäller att förutsäga hur framtida minskade utsläpp resulterar i minskad påverkan på ekosystemen och människors hälsa. Modellerna förutsäger hur utsläpp av olika ämnen, till exempel svavel

och kväve, förs med vindarna och resulterar i ökade lufthalter och atmosfäriskt nedfall i områden som ofta kan ligga långt från utsläppskällorna. Det är av central betydelse för fortsatta politiska förhandlingar om ytterligare utsläppsminskningar att dessa modeller fungerar på ett korrekt sätt.

Den viktigaste modellen som används i det europeiska luftvårdsarbetet är den så kallade EMEP-modellen (<https://www.emep.int/mscw/>). I en internationell studie jämfördes uppmätta värden för nedfall av svavel och kväve till skog och öppet fält i olika delar av Europa med motsvarande modellerade värden från EMEP-modellen (Marchetto m.fl., 2021). Resultat från ett stort antal av Krondroppsnetets mätplatser användes i studien.

Resultaten från jämförelserna mellan uppmätta och modellerade värden visade på en god överensstämmelse vad gäller nedfallet av svavel och nitratkväve till öppet fält, vilket huvudsakligen motsvarar våtdepositionen, medan det var en lägre samstämmighet vad gäller nedfallet av ammoniumkväve till öppet fält, Figur 31. Det sistnämnda berodde sannolikt på betydelsen av lokala källor till utsläpp, framför allt i kontinental Europa. Modellerat totalt nedfall av svavel (torr- + våtdeposition) överensstämde relativt väl med uppmätta värden för nedfall mätt som krondropp. Som väntat underskattade mätningarna av kvävenedfall mätt som krondropp det totala kvävenedfallet modellerat med EMEP-modellen, eftersom en del deponerat kväve tas upp direkt i trädkronorna och inte når insamlarna för krondropp. Det är därför det inom Krondroppsnetet drivs kompletterande mätningar av torrdepositionen av kväve med hjälp av så kallade strängprovtagare.

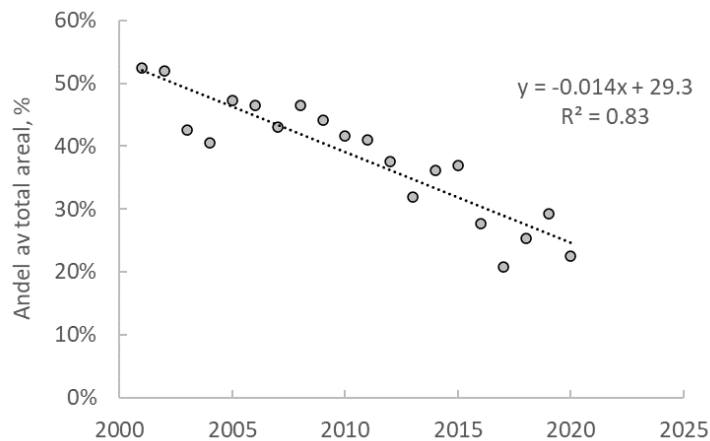


Figur 31. Årligt atmosfäriskt nedfall av sulfatsvavel, mätt som krondropp (A) och modellerat totalt nedfall av sulfatsvavel (summan av torr- och våtdeposition modellerat med EMEP-modellen) (B), i båda fallen exklusive bidrag från havssalt. Källa: Marchetto m.fl. (2021).

4.6.3 Artikel om totalt nedfall av oorganiskt kväve till granskog i Sverige under tjugo år

Med finansiering främst från Havs- och vattenmyndigheten har forskare inom Krondroppsnetet tagit fram metodik för att beräkna det totala atmosfäriska nedfallet av oorganiskt kväve (N) till barrskog för olika delar av Sverige. Beräknade värden används nu som en av indikatorerna inom miljökvalitetsmålet *Ingen Övergödning*. Metodiken finns vetenskapligt publicerad sedan tidigare (Karlsson m.fl., 2019). En ny artikel har nu publicerats med en tjugoårig mätserie med yttäckande beräkningar av totalt nedfall av kväve till barrskog över Sverige (Karlsson m.fl., 2022).

Gradienten för kvävenedfallet över Sverige från sydväst mot nordost framträder tydligt. Storleken på nedfallet varierar dock avsevärt mellan olika år, framför allt i sydväst. I Sverige tillämpas en kritisk belastning vad gäller kvävenedfall till barrskog på 5 kg N ha⁻¹ år⁻¹. Baserat på kartorna kan man beräkna storleken på den areal i Sverige där den kritiska belastningen överskrids (Figur 32). Arealen med överskridanden har minskat linjärt under tjugoårsperioden, i takt med minskade utsläpp av oorganiskt kväve från Europa, från cirka 50 procent i början av perioden till cirka 25 procent i slutet. Minskade kväveutsläpp i Europa har således resulterat i en betydande minskning av de arealer i Sverige där kritisk belastning av kväve överskrids.



Figur 32. Årliga värden för andelen av Sveriges skogsareal där den kritiska belastningen för nedfall av kväve till barrskog överskreds, 5 kg N ha⁻¹ år⁻¹. Beräkningarna inkluderade inte arealerna för jordbruksmark, större sjöar, fjällområden samt bebyggd mark.

4.7 Ny avhandling om vittring och baskatjon-cirkulation i skogsmark i ett förändrat klimat.

Den 23 maj 2022 försvarade Veronika Kronnäs sin avhandling (Kronnäs, 2022) om vittring och baskatjon-cirkulation i skogsmark i ett förändrat klimat. Veronika använde ekosystemmodeller (PROFILE och ForSAFE) för att modellera hur vittringshastigheten förändras över tiden, och hur det påverkas av klimatförändring, försurande nedfall och skogsbruk. I samtliga fyra studier i avhandlingen använde hon sig av provtytor från Krondroppsnetet, sammanlagt 28 från Grankölen i norr till Stenshult i söder. Veronika visade att det är viktigt att ta hänsyn till säsongsdynamik vid studier av vittring kopplat till baskatjonupptag av träd och vegetation, eftersom både vittring och upptag varierar mycket under året. Klimatförändringen leder generellt till ökad vittringshastighet, eftersom vittring ökar med ökad temperatur. Vittringshastigheten kan dock minska under perioder av torka, och på platser där torkepisoder blir vanligare kan det medföra sämre tillgång på baskatjoner. Helträdsuttag leder till en liten förhöjning av vittringen, men den är inte alls lika stor som den ökade bortförelsen av baskatjoner som helträdsuttag medför. En generell slutsats var att markfuktigheten har en avgörande roll för vittringshastigheten, och bättre kunskap om hur markfuktigheten varierar i tid och rum skulle kunna minska osäkerheterna i bedömningar av vittringshastighet och baskatjontillgång.

5 Tack

Vi vill uttrycka ett varmt tack till samtliga provtagare inom Krondropps nätet som utför ett mycket ovärderligt arbete i fält. Vi vill även uttrycka ett varmt tack till all personal på IVL:s laboratorium för ett mycket bra arbete. Slutligen tackar vi Krondropps nätet samtliga medlemmar för gott samarbete.

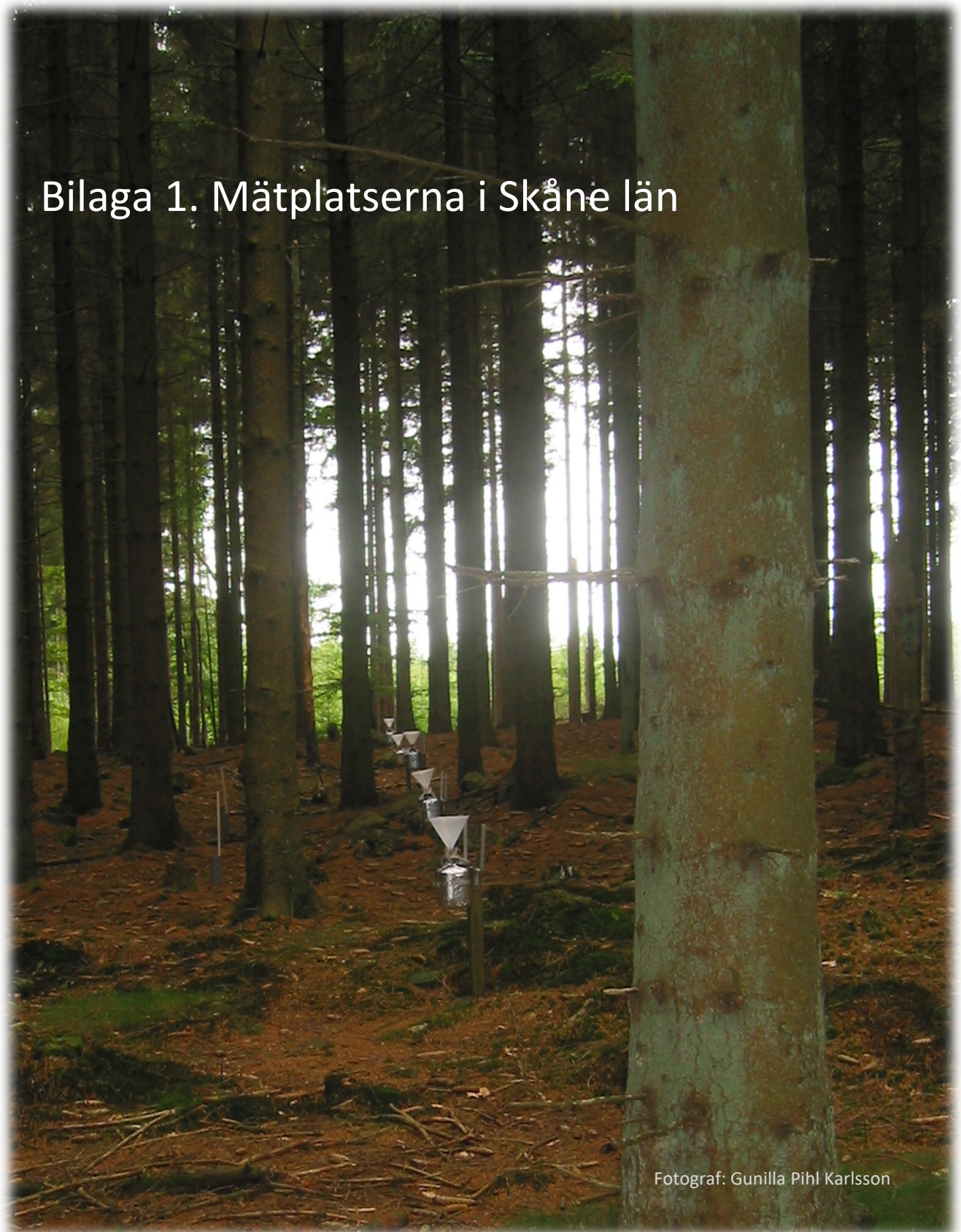
Hundshögen H. Fotograf: Leif Rodhe

6 Referenser

- Akselsson, C., Belyazid, S., Hellsten, S., Klarqvist, M., Pihl-Karlsson, G., Karlsson, P.E., Lundin, L. 2010. Assessing the risk of N leaching from Swedish forest soils across a steep N deposition gradient in Sweden. *Environmental Pollution* 158: 3588-3595.
- Akselsson, C., Hultberg, H., Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S. 2013. Acidification trends in south Swedish forest soils 1986-2008 – slow recovery and high sensitivity to sea-salt episodes. *Science of the Total Environment* 444: 271-287.
- Akselsson, C., Belyazid, S., 2018. Critical biomass harvesting – Applying a new concept for Swedish forest soils. *Forest Ecology and Management* 409, 67-73. DOI 10.1016/j.foreco.2017.11.020.
- Akselsson, C., Kronnäs, V., Stadlinger, N., Zanchi, G., Belyazid, S., Karlsson, P. E., Hellsten, S., Pihl Karlsson, G. 2021. A combined measurement and modelling approach to assess the sustainability of whole-tree harvesting. *Sustainability* 2021, 13, 2395. <https://doi.org/10.3390/su13042395>.
- CEIP. 2022. EMEP/CEIP 2021 Present state of emission data; <https://www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata> or <https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results/2021-submissions>.
- Danielsson, H., Nerentorp, M. & Pihl Karlsson, G. 2021. Metaller och kväve i mossor, 2020. IVL Rapport C 614.
- Hellsten, S., Stadmark, J., Pihl Karlsson, G., Karlsson, P.E., Akselsson, C. 2015. Increased concentrations of nitrate in forest soil water after windthrow in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*.356, 234-242.
- Karlsson, P.E., Pleijel, H., Pihl Karlsson, G., Klingberg, J. 2009. Marknära ozon i södra Sverige. Utveckling av en manual för bedömning av överskridanden av målvärden. IVL Rapport B1860.
- Karlsson, P.E., Cecilia Akselsson, Sofie Hellsten, Gunilla Pihl Karlsson. 2018. A bark beetle attack caused elevated nitrate concentrations and acidification of soil water in a Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management*, 422, 338-344.
- Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C., Ferm, M., Hultberg H. 2019. Total deposition of inorganic nitrogen to Norway spruce forests – applying a surrogate surface method across a deposition gradient in Sweden. *Atmospheric Environment* 217, 116964. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116964.
- Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C. 2021. Deposition av fosfor till skog och öppen mark i Sverige. På uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten. SMED Rapport Nr 25 2021. ISSN: 1653–8102.
- Karlsson, P.E., C. Akselsson. S. Hellsten, G. Pihl Karlsson. 2022. Twenty years of nitrogen deposition to Norway spruce forests in Sweden. *Science of the Total Environment* 809, 152192.
- Kronnäs, V. 2022. Modelling effects of climate change and forestry on weathering rates and base cation cycling in forest soils. Doktorsavhandling, Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemvetenskap, Lunds universitet.
- Länsstyrelsen i Skåne län, 2020. Transporter av fosfor och kväve från skånska vattendrag – tillstånd och trender till och med 2016. Länsstyrelserapport 2020:18. ISBN/ISSN 978-91-7675-197-8.
- Länsstyrelsen i Skåne län, 2022. Regional årlig uppföljning av miljömålen – Skåne län. Länsstyrelsen i Skåne län. dnr 501-20434-2020. <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/>
- Marchetto A, Simpson D, Aas W, Fagerli H, Hansen K, Pihl Karlsson G, Karlsson PE, Rogora M, Sanders TGM, Schmitz A, Seidling W, Thimonier A, Tsyro S, de Vries W and Waldner P. 2021. Good Agreement Between Modeled and Measured Sulfur and Nitrogen Deposition in Europe, in Spite of Marked Differences in Some Sites. *Front. Environ. Sci.* 9:734556. doi: 10.3389/fenvs.2021.734556.

- Moldan, F., Munthe, J., Hansen, K., Kyrklund, T., Akselsson, C., Fölster, J., Sverdrup, H. & Belyazid, S. 2011. Swedish NFC Report. I Modelling Critical Thresholds and Temporal changes of Geochemistry and Vegetation Diversity (Posch et. Al. red.). CCE Status Report 2011. ISBN 978-90-6960-254-7.
- Naturvårdsverket, 2019. *Bara naturlig försurning* – underlagsrapport till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019. Naturvårdsverket Rapport 6860. Januari 2019.
- Pihl Karlsson, G., Sofie Hellsten, Per Erik Karlsson & Cecilia Akselsson. 2018. Tillståndet i skogsmiljön i Hallands län. Resultat från Krondropps nätet till och med 2016/17. IVL Rapport C306.
- Tamm, C.O. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. Ecological Studies 81. Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Åström, S., Grennfelt, P. (eds). 2021. Achievements and experiences from science–policy interaction in the field of air pollution, – Synthesising 20 years of research and outreach, thinking about future needs. IVL report C622. ISBN 978-91-7883-318-4. (Authors C. Andersson, A. Ekman, B. Forsberg, P. Grennfelt, O. Gruzieva, H-C. Hansson, P.E. Karlsson, J. Langner, F. Moldan, J. Munthe, H. Pleijel, D. Segersson, L. Stockfelt, S. Åström).

Bilaga 1. Mätplatserna i Skåne län



Fotograf: Gunilla Pihl Karlsson

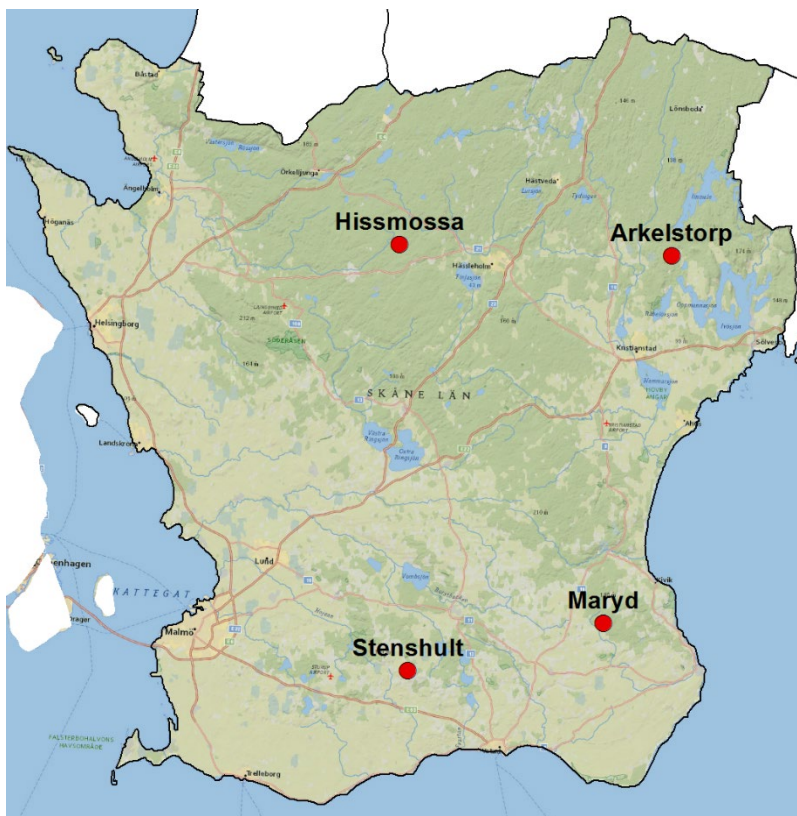
Krondroppsnetet bedriver mätningar vid fyra mätplatser i Skåne län (Tabell B1).

Tabell B1. Aktiva mätplatser i Skåne 2020/21.

Lokal	Dominerande trädslag	Öppet fält	Krondropp	Strängprov	Markvatten	Lufthalter*
Arkelstorp B (L 05B)	Gran		X		X	X
Maryd (L 15)	Gran		X		X	X
Hissmossa (L 18)	Gran	X ¹⁾	X	X ¹⁾	X	X
Stenshult B (M 16B)	Gran	X	X	X ¹⁾	X	X

* Mätningar inkluderar lufthalter av SO₂, NO_x, NO₂ och NO samt vid Stenshult och Hissmossa även NH₃

¹⁾ Finansieras av Naturvårdsverket



Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

Undersökningarna är ett resultat av ett lagarbete där provtagning utförts av Anders Jonshagen.

På IVL har Paula Andersson skött kontakter med provtagare medan främst Sari Honkala, Nour Osman, Pia Spandow, Sara Bodholm, Camilla Hällinder-Ehrencrona, Jessica Ekström, Paula Andersson, Vania Andersson, Louise Björnberg och Pernilla Bengtsson har analyserat proverna.

Databasen har skötts av Gunnar Malm.

Datagranskning, databehandling och rapportering av resultaten har utförts av Cecilia Akselsson, Per Erik Karlsson, Sofie Hellsten samt Gunilla Pihl Karlsson.

**Arkelstorp B (L 05B)**

Ytan etablerades år 2013 mindre än 200 meter sydost om den tidigare ytan, L05A, på toppen av Hallabjället, i omkring 40-årig granskog. Krondroppsmätningarna startade i november 2013, men markvattenmätningarna startade först ett år senare (november 2014). Ytan var vid etableringen ganska nyligen gallrad. Den tidigare ytan, L05A **Arkelstorp A**, var belägen i granskog planterad 1955.

Lufthaltsmätningar har bedrivits vid Arkelstorp under olika perioder.

Maryd (L 15)

Granskog på bördig mark i sydöstra Skåne, planterad 1959. Mätning av nedfall (krondropp) och markvattenkemi i Maryd startade i oktober 2001. Lufthaltsmätningar har bedrivits vid Maryd under olika perioder.





Stenshult (M 16A)

Omkring 50-årig granskog på relativt plan mark längst uppe på östra delen av Romeleåsen. Ytan startades som ersättning för den avslutade ytan Klintaskogen, som också var belägen på Romeleåsen, ca 12 km sydväst om Stenshult. Platsen är mycket öppet exponerad åt söder. Krondroppsmätningar startade i maj 2010, och markvattenmätningarna samt mätningarna på öppet fält i november samma år. Mätningarna med strängprov startade i juni 2013. Lufthaltsmätningarna startade i januari 2015. På grund av avverkning flyttades krondroppsytan i Stenshult en kort sträcka i augusti 2019 till en ny granyta (M16B), medan mätningarna på öppet fält var kvar på sin tidigare plats.



Stenshult, ny krondroppsytan från 2019.

Hissmossa (L 18)

Granskog i norra Skåne, planterad 1972. Ytan utgör en ersättningsyta för Västra Torup, som avverkades i augusti 2010. Hissmossa ligger ungefär 5 km norr om Västra Torup. Mätningarna i krondroppsytan i Hissmossa startade i augusti 2010.

Nedfallsmätningarna på öppet fält och lufthaltsmätningarna startade i november 2010. Mätningarna med strängprov startade i juni 2013. ÖF-mätningarna flyttades ett kort stycke till en öppen våtmark i september 2017. För lufthalter och nedfall visas även data från den gamla ytan, **L07A Västra Torup**, och statistiska analyser har gjorts för de sammanslagna tidsserierna, eftersom lufthalter och nedfall bedöms vara jämförbart mellan ytorna. **L07A** var belägen i granskog planterad 1940. Vid statistisk analys av markvattnet analyseras dock de båda mätplatserna separat.

Lufthaltsmätningar har bedrivits vid Hissmossa/ Västra Torup under olika perioder.

För lufthalter och nedfall visas även data från den gamla ytan, **M13A Klintaskogen**, och statistiska analyser har gjorts för de sammanslagna tidsserierna, eftersom lufthalter och nedfall bedöms vara jämförbart mellan ytorna. **M13A** var belägen i granskog planterad 1957. Vid statistisk analys av markvattnet analyseras dock de båda mätplatserna separat.



Skånes Luftvårdsförbund



IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se