Nr C 674
Juni 2022

Försurning och övergödning i Västra Götalands län

Resultat från Krondroppsnätet till och med 2020/21

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

I samarbete med: Lunds universitet

Författare Gunilla Pihl Karlsson (IVL), Sofie Hellsten (IVL), Cecilia Akselsson (Lunds universitet), Per Erik Karlsson (IVL)
Medel från: Länsstyrelsen i Västra Götalands län
Fotograf framsida: Hensbacka, Ingemar Strid
Rapportnummer C 674
ISBN 978-91-7883-380-1
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 Krondroppsnätets mätningar – var, när och hur? 6

2 Kväve och övergödning 9

2.1 Minskar kvävedioxid- och ammoniakhalterna i luften? 10
2.2 Kvävenedfallet i Västra Götalands län 13
2.3 Tar skogarna i Västra Götaland upp allt kväve? 17

3 Försurning – fortfarande ett problem? 19

3.1 Minskar lufthalterna av svaveldioxid fortfarande? 20
3.2 Fortsätter svavelnedfallet i länet att minska? 22
3.3 Hur går återhämtningen från försurningen i länet? 23

4 Aktuellt & notiser 29

4.1 Trender för ANC i markvatten 1996–2021 30
4.2 Ny rapport om depositionen av fosfor till skogsmark, öppen mark och sjöyta i Sverige 31
4.3 Uppdatering av kritisk belastning för kväve 33
4.4 Metaller och kväve i mossa har undersökts under 2020 i hela landet 34
4.5 Tjugo år av luftvårdsforskning har sammanfattats i en rapport 35
4.6 Vetenskapliga artiklar där data från Krondroppsnätet använts 35

4.6.1 Artikel om kritiskt biomassauttag från skogen 35
4.6.2 Artikel med en internationell jämförelse av observerad och modellerad deposition 35
4.6.3 Artikel om totalt nedfall av oorganiskt kväve till granskog i Sverige under tjugo år 37

4.7 Ny avhandling om vittring och baskatjon-cirkulation i skogsmark i ett förändrat klimat. 37

5 Tack 38

6 Referenser 39

Bilaga 1. Mätplatserna i Västra Götalands län 41

Sammanfattning

På uppdrag av Länsstyrelsen i Västra Götalands län genomför IVL Svenska Miljöinstitutet, i samarbete med Lunds universitet, mätningar av lufthalter, nedfall och markvattenkemi i Västra Götalands län inom Krondroppsnätet. Västra Götalands län har varit medlem i Krondroppsnätet sedan 1990 och den längsta mätserien är över 30 år. Under det hydrologiska året 2020/21 gjordes mätningar på fyra platser i länet, en tallyta (Humlered) och tre granytor (Hensbacka, Storskogen och Stora Ek).

I denna rapport redovisas resultaten från mätningar under det hydrologiska året 2020/21. Ett hydrologiskt år omfattar mätningar från och med oktober till och med september nästkommande år. Årets mätningar ger, tillsammans med tidigare års mätningar, en bra bild över försurningsläget och kvävesituationen i Västra Götalands län. I rapporten redovisas även resultat från mätningar av lufthalter samt nedfall till öppet fält vid mätplatserna Pjungserud och Granan som ligger i länet. Dessa mätningar bedrivs av IVL på uppdrag av Naturvårdsverket inom den nationella miljöövervakningen, SveLoD.

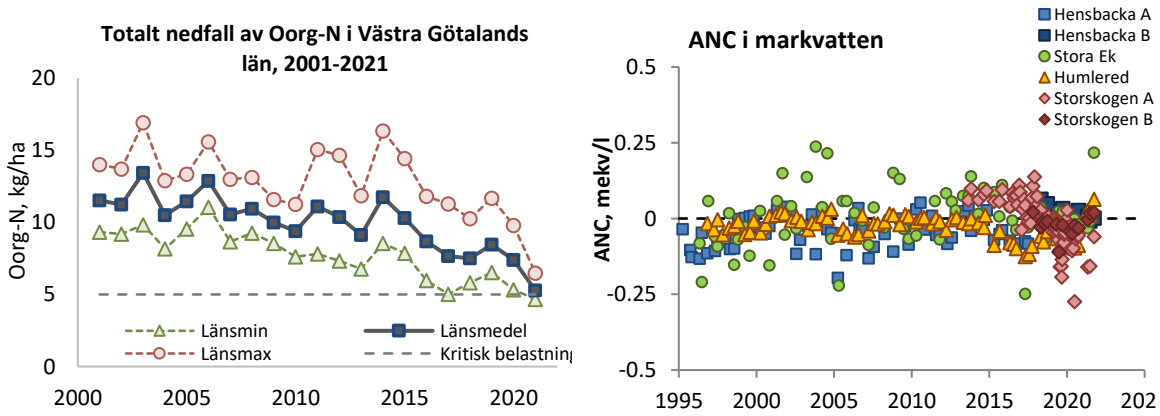
Vidare redovisas resultaten i förhållande till övriga svenska mätningar inom Krondroppsnätet. I rapporten redovisas även resultat från andra Krondroppsnätsrelaterade projekt samt aktuella händelser från 2021, som är relevanta ur Krondroppsnätets synvinkel. I Bilaga 1 visas information om länets mätningar och mätplatser.

Kvävenedfallet minskar men är fortfarande över kritisk belastning

Lufthalterna av kvävedioxid har sedan 1997 minskat med 53 % vid Hensbacka, vilket är i nivå med Europas emissionsminskningar av kvävedioxid (1997–2019: -54%).

Under det hydrologiska året 2020/21 varierade kvävenedfallet över öppet fält vid länets mätplatser mellan 4,8 och 6,7 kg oorganiskt kväve per hektar. Kvävenedfallet på öppet fält har varit på en liknande nivå under de senaste sex åren. Det totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog i Västra Götalands län har för det hydrologiska året 2020/21 beräknats till mellan 5,5 och 7,9 kg per hektar, med lägst nedfall i de norra delarna. Den kritiska belastningsgräns som används i Sverige, 5 kg kväve per hektar och år, överskreds därmed i hela länet under 2020/21. Kvävenedfallet, beräknat som ett yttäckande medelvärde för hela länet, har minskat med 39 % under tjugoårsperioden 2001–2021, se figur nedan till vänster.

Nitrathalterna i markvattnet är generellt låga i ostörd, växande skog i länet men mätningarna visar på att sporadiskt förhöjda nitrathalter kan förekomma. Mycket tyder på att avsevärda mängder kväve finns upplagrat i skogsmarken i länet. Detta innebär en risk för att störningar, exempelvis i form av stormskador, insektsgrepp eller avverkning, kan leda till förhöjda nitrathalter i markvattnet och utlakning av kväve till vattendrag och sjöar, vilket har visats för den avverkade krondroppsytan vid Storskogen.



Totalt nedfall av oorganiskt kväve till barrskog (torr- och våtdeposition) i Västra Götalands län baserat på en geografiskt interpolerad karta (till vänster). Syraneutraliserande förmåga (ANC) i markvattnet (till höger) vid länets mätplatser.

Svavelnedfallet har minskat kraftigt, men återhämtningen går långsamt

Lufthalterna av svaveldioxid har sedan 1997 minskat med 53 % vid Hensbacka, vilket är lägre än Europas emissionsminskningar av oxiderat svavel (1997–2019: -93 %).

I början av 1990-talet var svavelnedfallet i länet mycket högt, vid Hensbacka A uppmättes ett svavelnedfall på över 15 kg per hektar. Under det hydrologiska året 2020/21 var svavelnedfallet i länet avsevärt lägre, runt 1 kg per hektar. Svavelnedfallet till skogen i Västra Götalands län har sedan 2000/01 minskat med 71–91 %, vilket är i nivå med Europas emissionsminskningar (2001–2019: -88 %).

Markvattenkemin i skogsmarken i Västra Götalands län visar att återhämtning från försurning av markvattnet pågår, men det går långsamt och markvattnet är fortfarande försurat. Under 2021 varierade den syraneutraliserande förmågan (ANC) i markvattnet i länet mellan -0,03 mekv/l och 0,2 mekv/l, se figur ovan till höger. Vid den 2018 avverkade ytan i Storskogen, där mätningarna fortsatt, var ANC ännu lägre -0,16 mekv/l. För att markvattnet ska bidra till en återhämtning från försurning i sjöar och vattendrag måste ANC ha ett värde som är klart högre än noll. Avverkning eller andra störningar som innebär att kväveupptaget till skogsekosystemen minskar, samt havssaltsepisoder som kan orsaka jonbyte och frigörelse av vätejoner, kan leda till temporära surstötar. För att mark och vatten ska återhämta sig från försurning krävs fortsatt lågt svavelnedfall, att skogen har god status så att kvävet tas upp och inte nitrifieras samt att skogsbrukets försurningspåverkan hålls på en låg nivå.

1 Krondroppsnätets mätningar – var, när och hur?

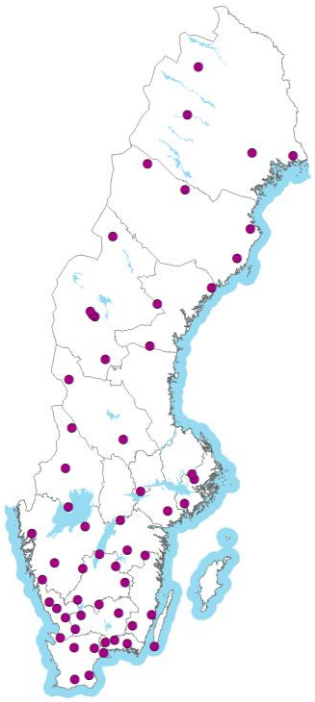
Storskogen Fotograf: Magdalena Eriksson

Inom Krondroppsnätet 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 övergödningsproblematiken.

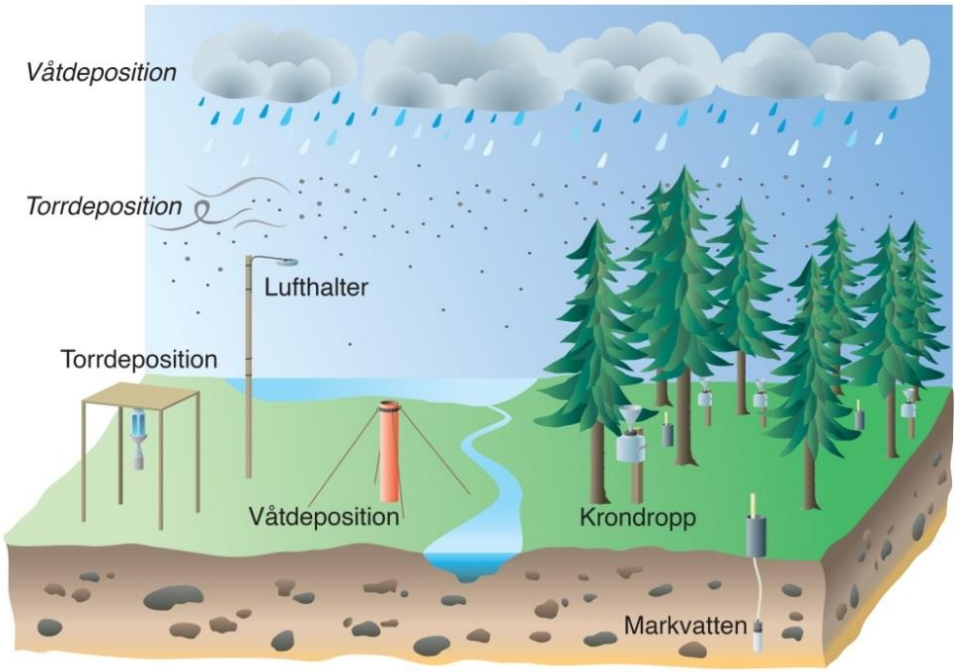
Genom åren har antalet mätplatser inom Krondroppsnätet varierat, som mest fanns i mitten av 1990-talet cirka 185 ytor. Då övervakningen sker i brukad skog har provytor flyttats vid avverkning samt efter kraftiga störningar, till exempel vid omfattande stormskador. Idag bedrivs mätningar på 57 platser 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 trädkronorna, 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 Krondroppsnätet från provtagning till kemisk analys, validering och databearbetning utförs enligt väl utarbetade rutiner, och laboratorierna 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 Krondroppsnätet 2020/21 samt några ytor från SveLoD där de olika länen vill att data presenteras.



Figur 2. Inom Krondroppsnätet 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 trädkronorna. 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 baskatjoner, krävs kompletterande mätningar med strängprovtagare, för att korrekt kunna beräkna torrdepositionen.

Foto: strängprovtagare

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 försämrad dricksvattenkvalitet, samt övergödning av ytvatten.

Komperskulla Fotograf: Per Erik Karlsson

Miljökvalitetsmålet "*Ingen övergödning*" är inte uppnått och bedöms inte kunna nås i Västra Götalands län till år 2030 med befintliga och beslutade styrmedel. Utvecklingen i miljön bedöms som positiv, tack vare flera betydelsefulla insatser som skett de senaste åren (Länsstyrelsen i Västra Götalands län, 2021). Utsläppen av näringsämnena kväve och fosfor, som orsakar övergödning, har minskat sedan 1980-talet. Många av länets sjöar, vattendrag och kustvatten är dessvärre fortfarande övergödda.

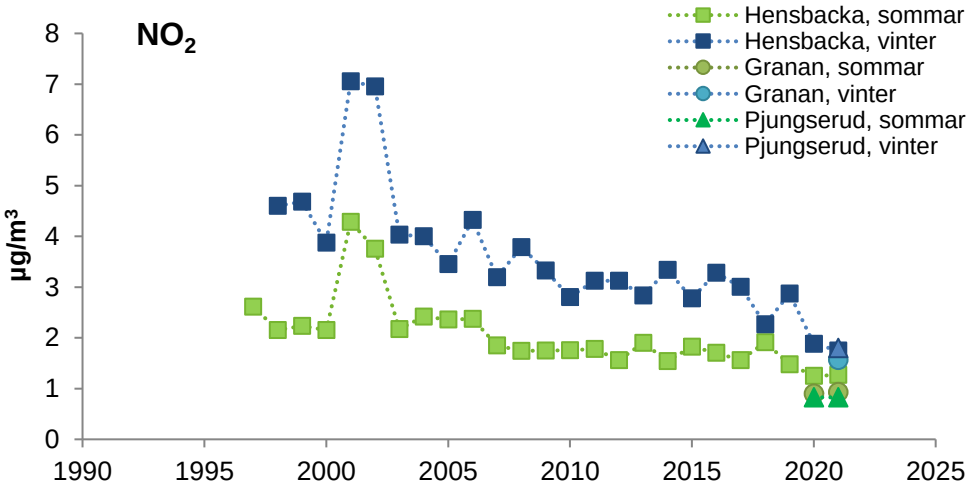
2.1 Minskar kvävedioxid- och ammoniakhalterna i luften?

Mätningar av lufthalter i bakgrundsmiljön fyller en viktig funktion att bekräfta uppgifter om minskade utsläpp av långväga transporterade luftföroreningar. Lufthalterna av olika kväveformer kan ge en första indikation på om kvävebelastningen förändras.

I Västra Götalands län finns, vid Hensbacka sedan 1997, värdefulla, långa tidsserier av lufthalter av kvävedioxid (NO_2) och ammoniak (NH_3) på månadsbasis, Figur 3 och 5. Men under åren 2001 och 2002 var mätningarna placerade på en plats belägen avsevärt närmare den starkt trafikerade E6:an varför dessa år markerats med annan symbol i figuren samt undantagits i de statistiska beräkningarna. I årets rapport visas även mätresultat för kvävedioxid från Pjungserud, i den nordostliga delen av länet, och Granan som ligger strax österut om Hensbacka. Dessa mätningar ingår i den nationella miljöövervakningen SveLoD.

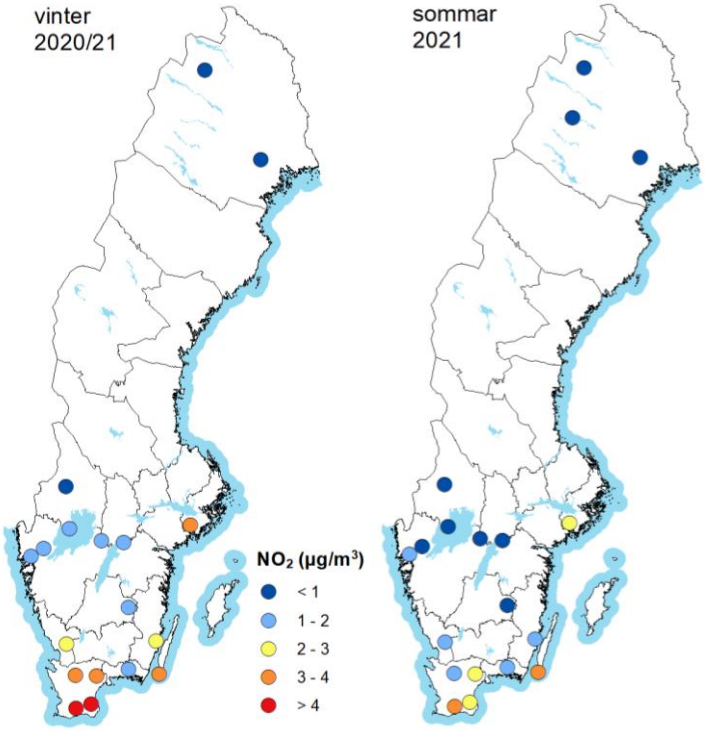
Vid Hensbacka, liksom vid många andra mätplatser, har NO_2-halterna sommartid varit betydligt lägre än vintertid, med undantag av det hydrologiska året 2017/18 då halterna var betydligt mer lika både sommar och vinter. Generellt har skillnaderna mellan sommar- och vinterhalvår minskat något genom åren och även under 2020/21 var halterna under sommarhalvåret och vinterhalvåret relativt lika, 1,3 µg/m³ respektive 1,8 µg/m³. Även vid Pjungserud var NO_2-halten under vinterhalvåret 1,8 µg/m³ medan motsvarande halt vid Granan var något lägre, 1,6 µg/m³. Under sommarhalvåret 2021 varierade NO_2-halterna mellan 0,8 µg/m³ och 1,3 µg/m³ med högst halt vid Hensbacka och lägst vid Pjungserud, Figur 3.

Sedan mätstarten 1996/97 har lufthalterna av NO_2 minskat på ett statistiskt signifikant sätt vid Hensbacka med 53 % under vinterhalvåret, och med 42 % under sommarhalvåret. Under perioden 1997–2021 har årsmedelhalterna av NO_2 baserat på kalenderår minskat med 53 % vid Hensbacka. De rapporterade utsläppen av NO_x (som NO_2) från EU-27+UK har under perioden 1997–2019 minskat med 54 % och från Sverige under motsvarande period med 43 % (CEIP, 2022). Lufthalterna av NO_2 vid Hensbacka har således minskat i takt jämfört med minskningen av rapporterade utsläpp av NO_x från Europa.



Figur 3. Lufthalter av kvävedioxid (NO_2) som medelvärde för sommar- respektive vinterhalvår vid Hensbacka sedan 1997. Data från vinter- respektive sommarhalvåret 2020/21 för Granan och Pjungserud visas även i figuren. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars. Åren 2001 och 2002 var mätningarna placerade på en plats belägen avsevärt närmare den starkt trafikerade E6:an, vilket visar sig i förhöjda halter av NO_2. NO_2–halterna minskade signifikant sedan mätstarten under både sommar- och vinterhalvår vid Hensbacka (åren 2001 och 2002 ej inkluderade i den statistiska analysen).

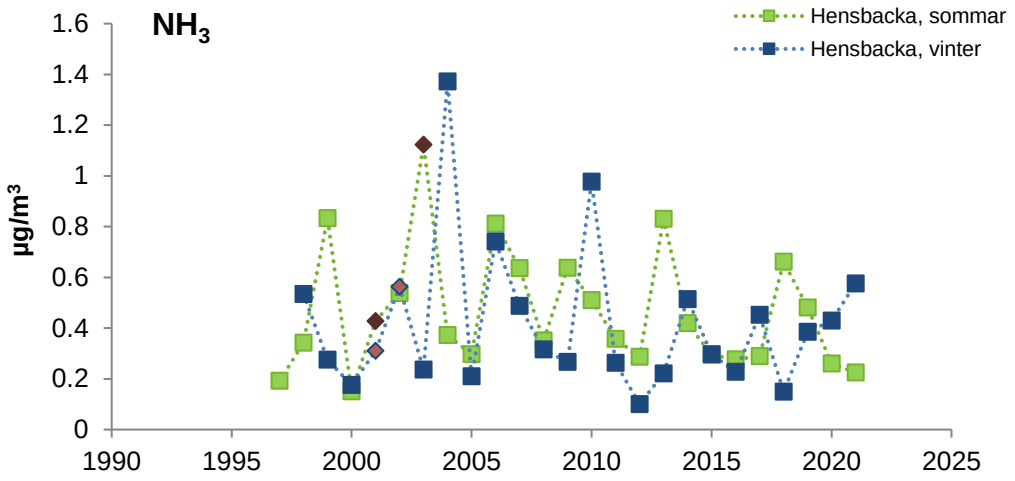
I Figur 4 visas kvävedioxidhalterna under vintern 2020/21 och sommaren 2021 vid alla platser med lufthalts-mätningar inom Krondroppsnätet. Högst halter av NO_2 uppmättes vintertid i Skåne, Stockholmsregionen och vid Ölands södra udde följt av Halland och mellersta Kalmar län. Lägst halter uppmättes i norra halvan av Sverige. Halterna av kväveoxider (NO_x) är generellt lägre sommartid men fördelningen över landet är likartad som på vintern.



Figur 4. Lufthalter av kvävedioxid (NO_2) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid mät-stationerna inom Krondroppsnätet i Sverige. Vidare visas resultat från tre mätplatser inom det nationella mätnätet SveLod (två i Västra Götalands län och en i Blekinge). Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

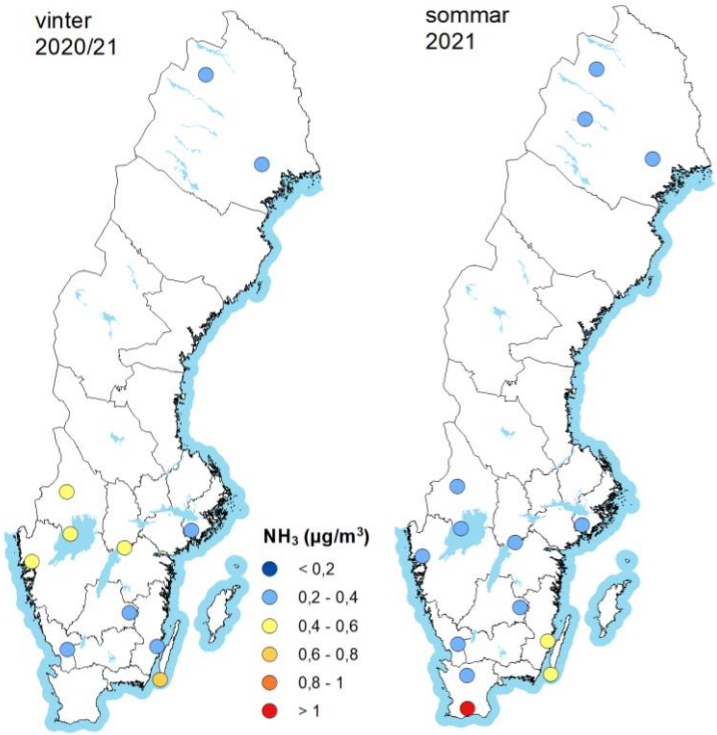
Gasformigt NH_3 har en hög depositionshastighet och transporteras därför inte lika långt från utsläppskällan jämfört med kväveoxider. NH_3 kan dock relativt snabbt omvandlas till partikelformigt NH_4, som kan transporteras betydligt längre. Lufthalterna av NH_3 (Figur 5) är, uttryckt som massa, lägre jämfört med NO_2, (Figur 3). Uttryckt som N-ekvivalenter är dock skillnaderna mellan NO_2 (molvikt 46) och NH_3 (molvikt 17) mindre. Detta innebär att koncentrationerna av kväve är jämförbara mellan gasformigt NO_2 och NH_3.

Vid Hensbacka finns långa tidsserier även för lufthalter av ammoniak (NH_3) på månadsbasis, Figur 5. Generellt har NH_3-halterna oftast varit lägre under vintern jämfört med under sommaren men ibland har det omvända gällt. Under 2020/21 var NH_3-halterna vintertid högre vid Hensbacka jämfört med sommarhalvårsmedelvärdet. Under mätperioden har inga statistiskt säkerställda förändringar av halten av NH_3 i luften påvisats vid Hensbacka vare sig på halvårs- eller årsbasis, Figur 5. Samtidigt har de rapporterade utsläppen av NH_3 från EU-27+UK minskat med 16 % under 1997–2019 och för Sverige är minskningen 14 % under motsvarande period (CEIP, 2022).



Figur 5. Lufthalter av ammoniak (NH_3) som medelvärde för sommar- respektive vinterhalvår vid Hensbacka sedan 1997. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars. Åren 2001 och 2002 var mätningarna placerade på en plats belägen avsevärt närmare den starkt trafikerade E6:an, vilket markeras med särskilda symboler. För halterna av NH_3 har inga statistiskt säkerställda förändringar noterats (åren 2001 och 2002 ej inkluderade).

I Figur 6 visas halterna av ammoniak (NH_3) under vintern 2020/21 och sommaren 2021 vid alla mätplatser inom Krondroppsnätet. Allra högst halter uppmättes sommaren 2021 i södra Skåne, sannolikt på grund av utsläpp från djurhållning och gödsling inom jordbruket, följt av mellersta och södra Kalmar län. Under vintern uppmättes högst ammoniakhalter vid Ölands södra udde följt av Västra Götaland, Värmland och norra Östergötland. Dessa höga halter är svårförklarade, men har förekommit till och från under flera år. Det är känt att ammoniak också kan bildas vid ofullständig förbränning av biomassa, så en möjlig förklaring är utsläpp från småskalig vedförbränning vintertid.



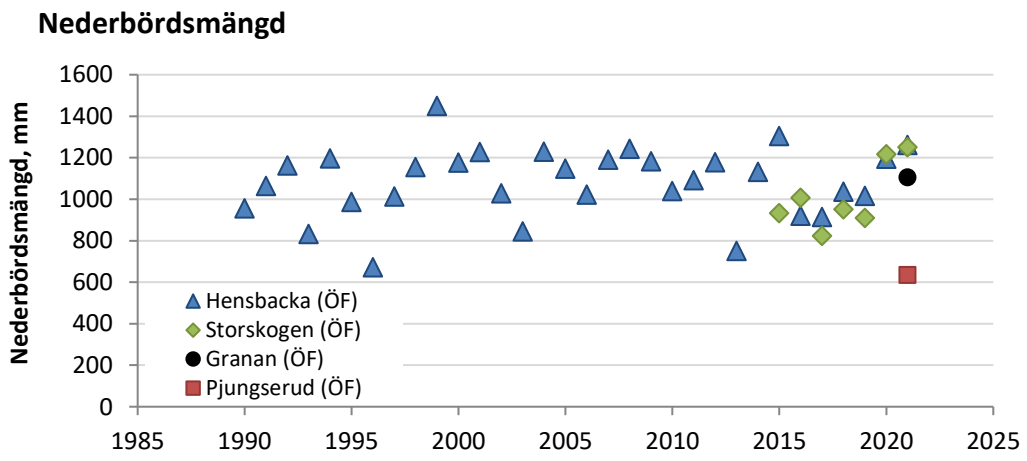
Figur 6. Lufthalter av ammoniak (NH_3) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid mätstationerna inom Krondroppsnätet i Sverige. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

2.2 Kvävenedfallet i Västra Götalands län

Kväve tillhör de ämnen där det inte går att beräkna totalt atmosfäriskt nedfall till skog baserat enbart på mätningar av krondropp, eftersom en del av det deponerade kvävet tas upp direkt i trädkronorna och därför inte når insamlarna för krondropp vid marken. Inte heller kan endast mätningarna på öppet fält användas då de till största delen representerar våtdepositionen. För att beräkna det totala nedfallet av oorganiskt kväve (summan av nitrat och ammonium) till skog, det vill säga summan av torr- och våtdeposition, krävs därför samlokaliserad mätutrustning för nedfall med nederbörden till öppet fält, krondropp samt mätningar av torrdeposition med strängprovtagare. Denna typ av samlokaliserade mätningar finns vid elva mätplatser runt om i Sverige, varav Hensbacka i Västra Götalands län är en. Från dessa mätningar går det att uppskatta andelen torrdeposition av kväve i relation till den totala depositionen (torr- + våtdeposition), med en metod utarbetad för granskog (Karlsson m.fl., 2019, 2022).

Andelen torrdeposition av kväve följer ett geografiskt mönster över Sverige, från sydväst mot nordost, med högre halter 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 barrskog för alla platser med mätningar på öppet fält.

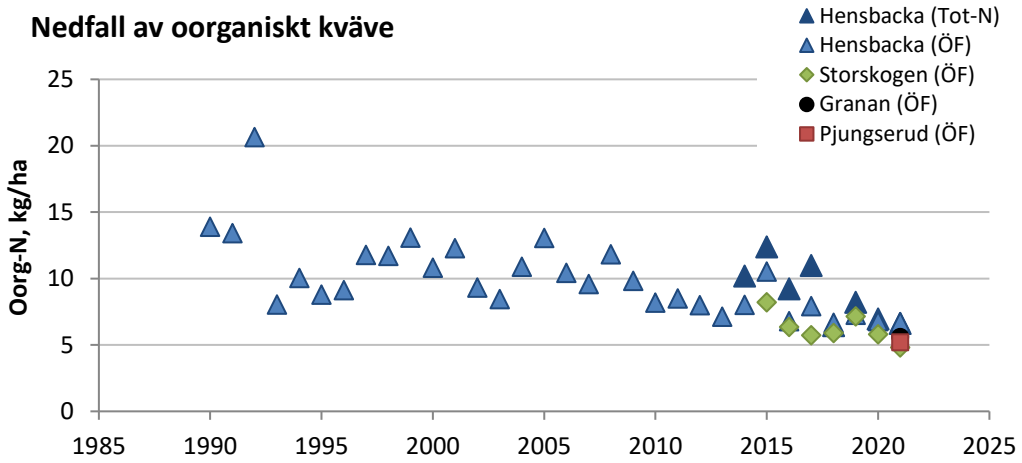
Nederbördsmängderna påverkar storleken på det atmosfäriska nedfallet och variationer i nederbörden skulle kunna påverka mellanårsvariationen vad gäller kvävenedfallet. Hensbacka som ligger i utmed västkusten har höga nederbördsmängder. Nedfallsmätningarna på öppet fält har bedrivits vid Hensbacka sedan 1989. Mätplatsen har flyttats en kort sträcka vid ett tillfälle, juli 2012, men tidsserien har bedömts kunna behållas intakt. I årets rapport visas även mätresultat för nederbördsmängd och kvävenedfall med nederbörden från Pjungserud, som ligger mellan Vänern och Vättern strax nordost om Töreboda, och Granan som ligger strax öster om Hensbacka. Nederbördsmängderna vid Hensbacka har inte förändrats statistiskt säkerställt sedan 2000/01 (Figur 7). Nederbördsmängderna under 2020/21 var relativt lika vid Hensbacka och Storskogen, cirka 1260 respektive 1250 mm, Figur 7. Vid Granan var nederbördsmängden något lägre, cirka 1110 mm medan lägst nederbördsmängd, cirka 635 mm, uppmättes vid Pjungserud.



Figur 7. Uppmätta nederbördsmängder vid Hensbacka och Storskogen inom Krondroppsnätet och Sännen och Pjungserud från SveLoD, baserat på hydrologiskt år.

Vid Hensbacka har nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält, vilket motsvarar våtdepositionen, under mätperioden 1989/90–2020/21 varierat mellan 6,7 till strax över 20 kg per hektar och år, Figur 8. Under det hydrologiska året 2020/21 uppmättes ett nedfall på öppet fält vid Hensbacka på 6,7 kg oorganiskt kväve per hektar. Kvävenedfallet på öppet fält har varit på en liknande nivå under de senaste sex åren. Det uppmätta kvävenedfallet med nederbörden vid Hensbacka har under perioden 2000/01–2020/21 minskat statistiskt signifikant med 42 %. Vid närliggande Granan var kvävenedfallet för 2020/21 något lägre,

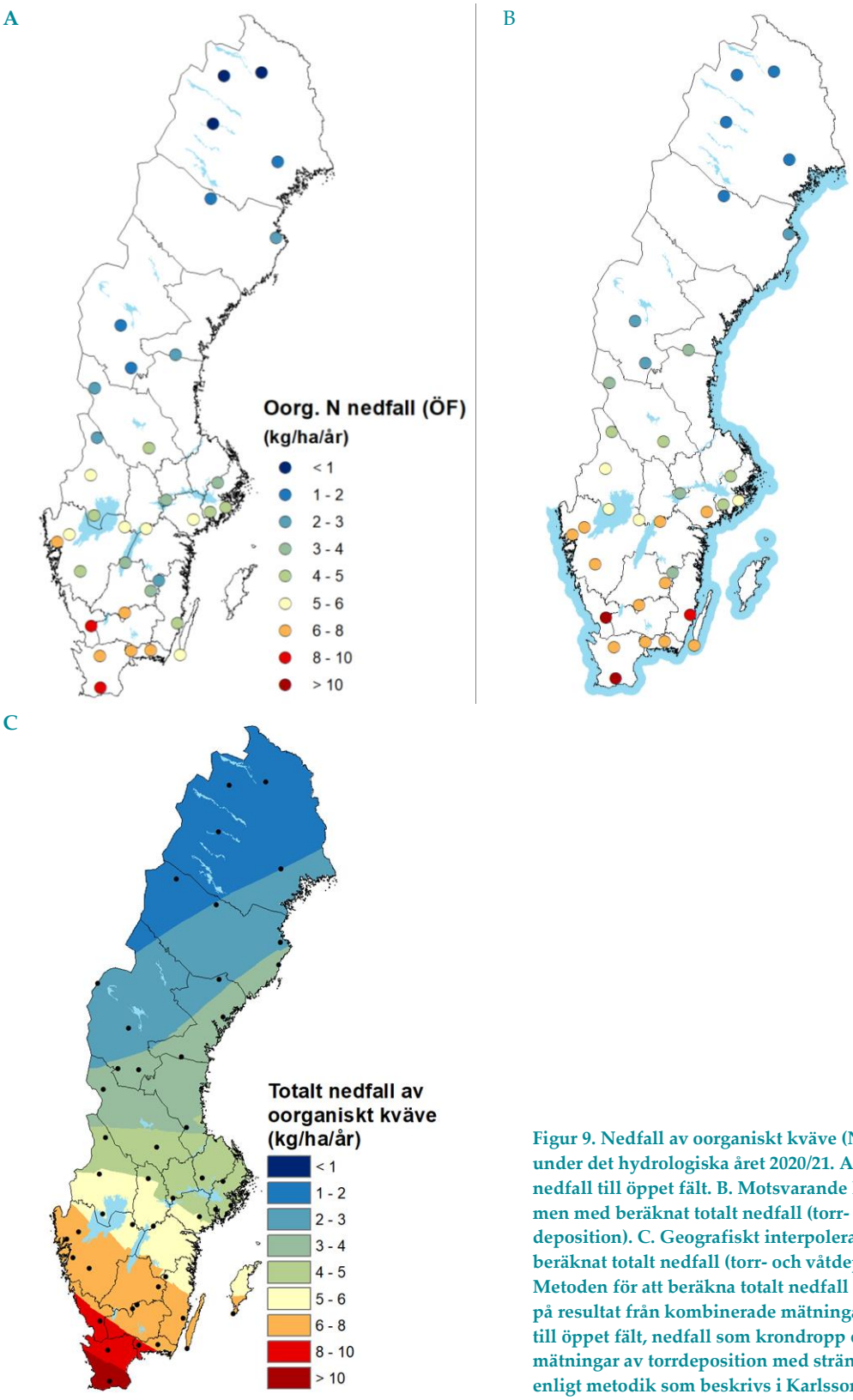
5,6 kilo per hektar. Vid Storskogen var kvävenedfallet med nederbörden 4,8 kilo per hektar under 2020/21 medan det vid Pjungserud var 5,2 kilo per hektar 2020/21.



Figur 8. Årligt nedfall av oorganiskt kväve med nederbörden vid Hensbacka och Storskogen inom Krondroppsnätet och Sännen och Pjungserud från SveLoD, baserat på hydrologiskt år.

Kvävenedfallet för det hydrologiska året 2020/21 visas för alla platser i Sverige med mätningar på öppet fält i Figur 9A medan det beräknade totala oorganiska kvävenedfallet för mätplatserna visas i Figur 9B. Jämfört med det totala nedfallet var kvävenedfallet på öppet fält tydligt lägre, mindre än 1 kg per hektar i norr, och aldrig över 10 kg per hektar i söder (Figur 9A). Det beräknade totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog i Sverige under det hydrologiska året 2020/21 varierade mellan 1 och 2 kg per hektar i norr och var över 10 kg per hektar på två platser i sydväst (Figur 9B). Vid Hensbacka beräknades det totala kvävenedfallet under 2020/21 till 6,6 kg per hektar, vilket är på samma nivå som kvävenedfallet på öppet fält. Det är ju en viss torrdeposition till själva utrustningen som kommer med i nederbördsprovet. Under de senaste fyra åren har torrdepositionen av kväve vid Hensbacka varit mycket låg.

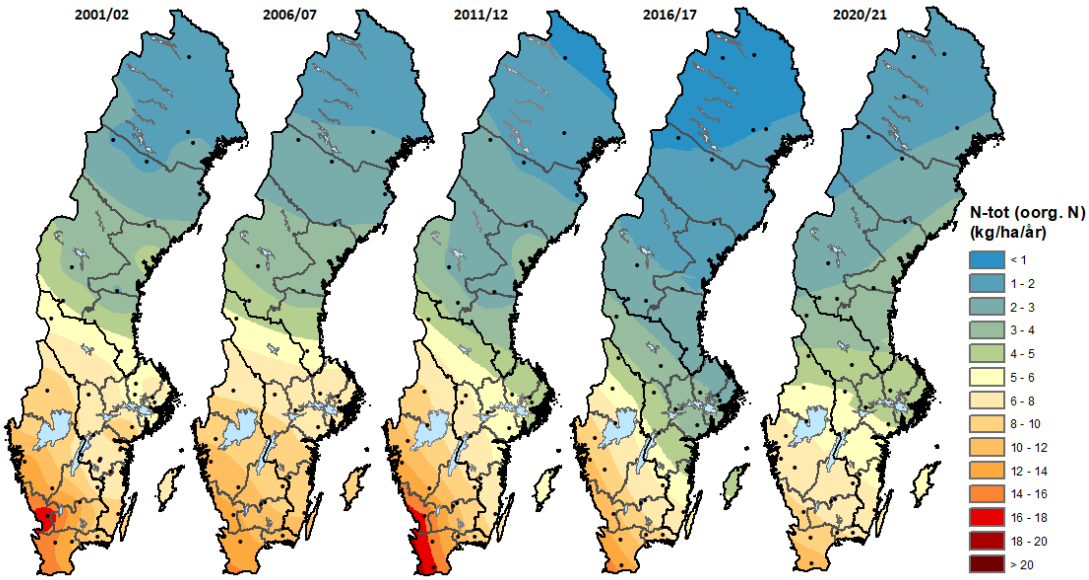
I Figur 9C visas en geografiskt interpolerad karta över det totala kvävenedfallet till barrskog över Sverige för det hydrologiska året 2020/21, baserat på samtliga platser med mätningar på öppet fält som finns i Sverige. Det totala kvävenedfallet har även beräknats yttäckande för bland annat Västra Götalands län. För det hydrologiska året 2020/21 var det yttäckande medelvärdet för länet 6,4 kg per hektar.



Figur 9. Nedfall av oorganiskt kväve (NO_3 + 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 våt-deposition). C. Geografiskt interpolerad karta över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition). Metoden för att beräkna totalt nedfall baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik som beskrivs i Karlsson m.fl. (2022).

Totaldepositionen av kväve finns beräknad för de hydrologiska åren sedan 2001/02 och nationella kartor finns framtagna för varje år sedan dess. I Figur 10 visas kartor över kvävenedfallet för vart femte år sedan 2001/02 (sista perioden är endast fyra år). Observera att legenderna skiljer sig åt mellan Figurerna 9C och 10. I figuren

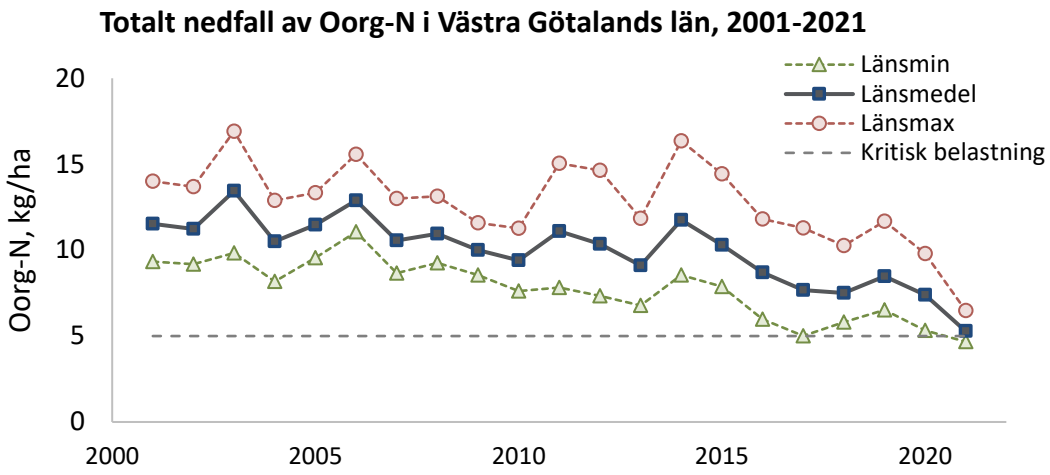
framgår att mellanårsvariationen är stor. Den geografiska fördelningen av kvävenedfallet över landet har dock varit likartad under alla år inom mätperioden.



Figur 10. Geografiskt interpolerade kartor över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition) av oorganiskt kväve (NO_3 + NH_4) med fyra/fem års mellanrum under perioden för de hydrologiska åren 2001/02–2020/21. (Observera att färgskalorna är olika mellan figurerna 9C och 10). 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 som beskrivs i Karlsson m.fl. (2022). Under perioden 2008–2013 bedrevs inga mätningar med strängprovtagare, så torrdepositionen har för denna period interpolerats över tid.

I samband med att underlag tagits fram, på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten, för indikatorn ”Totalt nedfall av kväve till barrskog” inom miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning* har ovan nämnda metodik använts även för att beräkna totalt nedfall av oorganiskt kväve för barrskog vid alla platser med mätningar av nedfall till öppet fält baserat på kalenderår och i vissa fall på hydrologiskt år. Genom att använda dessa beräkningar och geografisk interpolation har det totala kvävenedfallet beräknats yttäckande för hela landet, inklusive Västra Götalands län under tidsperioden 2001–2021 (http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/).

Det totala kvävenedfallet till barrskog i Västra Götalands län varierade under hydrologiska året 2020/21 mellan 5,5 och 7,9 kg per hektar, med lägst nedfall i de norra delarna (Figur 9C). Baserat på kalenderår varierade nedfallet 2021 mellan 4,7 och 6,5 kg per hektar, medan det yttäckande medelvärdet för länet var 5,3 kg per hektar för kalenderåret 2021 (Figur 11). Den kritiska belastningen för övergödande kväve till barrskog i Sverige, 5 kg per hektar och år (Moldan m.fl., 2011) överskreds i nästan hela Västra Götalands län under kalenderåret 2021, och har gjort så under lång tid. Det beräknade totala kvävenedfallet över Västra Götalands län, baserat på interpolerade kartor, per kalenderår, har sedan 2001 minskat statistiskt säkerställt med 39 % (Figur 11). Det totala kvävenedfallet till barrskog i Västra Götalands län har således minskat i takt med minskningen av utsläppen av oorganiskt kväve från EU-27+UK (31 %) och från Sverige (25 %) mellan 2001–2019 (CEIP, 2022).



Figur 11. Totalt nedfall av oorganiskt kväve (summan av torr- och våtdeposition, NO_3 + NH_4) till barrskog i Västra Götalands län mellan 2001 och 2021 (kalenderår). Baserat på en geografiskt interpolerad karta över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition) över Västra Götalands län. Streckad grå linje visar den kritiska belastningsgränsen för kväve till barrskog i Sverige, 5 kg N ha^{-1} $år^{-1}$.

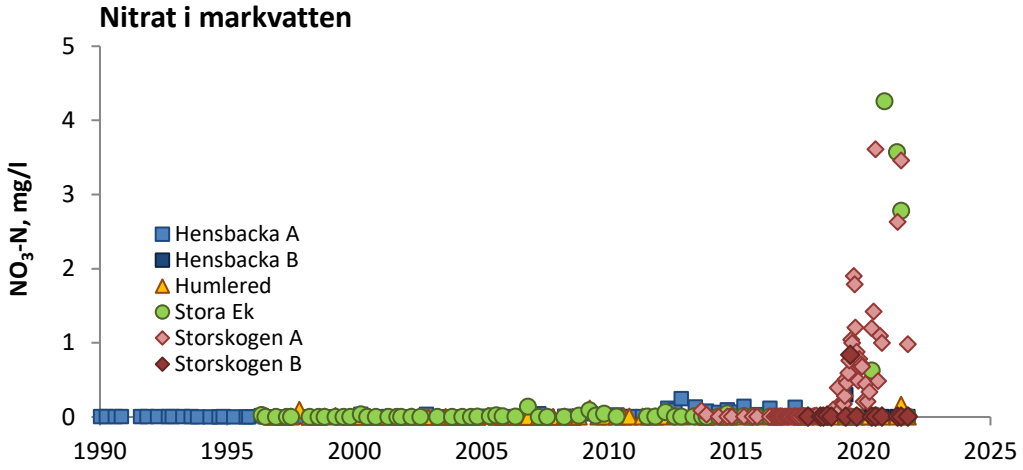
2.3 Tar skogarna i Västra Götaland upp allt kväve?

Skogsekosystemen i Sverige tar vanligtvis upp det mesta oorganiskt kväve som tillförts från atmosfäriskt nedfall, i träd, övrig vegetation samt i markens mikroorganismer (Tamm, 1991). Utlakning av kväve till markvattnet blir 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, stormfällen eller insektsangrepp (Hellsten m.fl., 2015; Karlsson m.fl., 2018).

Mätningar av nitratkvävehalter i markvatten ger en stark indikation på kvävestatusen i skogen. Mätresultaten från 2021 visas tillsammans med resultat från tidigare år för mätplatserna i länet i Figur 12.

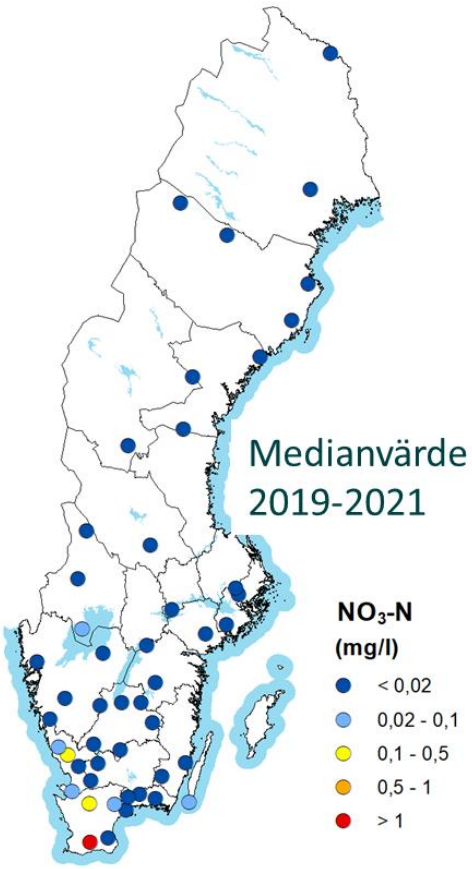
Under 2021 var nitrathalterna i markvattnet generellt låga, under detektionsgränsen, vid de nya ytorna i Hensbacka och Storskogen, Figur 12. Som väntat uppmättes förhöjda halter vid den avverkade ytan Storskogen A men även vid Stora Ek var nitrathalterna kraftigt förhöjda, något som pågått till och från sedan stormarna Gudrun och Per. På senare år har träden, allt eftersom, blåst ner och ytan har därför även påverkats av körskador i samband med att dessa träd tagits bort. I januari 2022 avverkades skogen vid Stora Ek och en ny yta har etablerades i närheten i början av februari. Vid Humlered var nitrathalten vid två av de tre mättillfällena över detektionsgränsen, som högst 0,16 mg/l. Kommande mätningar får utvisa om detta endast var något tillfälligt. Sammantaget visar mätningarna i Västra Götalands län att kvävenedfallet ännu inte gett upphov till något betydande läckage av nitrat till markvattnet i växande skog, men att kväveutlakning kan förekomma i länets skogar framför allt i de som drabbats av störningar i form av stormskador, avverkningar eller barkborreangrepp. I Figur 12 visas även de månadsvisa markvattenmätningarna vid den avverkade ytan i Storskogen A. Där ser man tydligt den kraftigt förhöjda nitrathalten efter avverkningen 2018.

Eftersom kväve i svenska skogar vanligtvis tas upp effektivt av markorganismer och vegetation är utlakningen av oorganiskt kväve från skogsmark till ytvatten i nuläget liten jämfört med bidraget från jordbruksmark. Mätningar vid den avverkade granskogen vid Storskogen har dock visat att utlakningen av kväve i avrinningen från granskog kan öka kraftigt efter avverkning (Hellsten m.fl., 2021). Fortsatt låg utlakning från skogsmark är en förutsättning för att miljökvalitetsmålen *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning* ska uppnås. Förhöjda nitratkvävehalter i markvatten är det första tecknet på att det finns mer kväve än vad skogsekosystemet kan ta upp, vilket medför en risk för utlakning till ytvatten.



Figur 12. Nitrathalter i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Hensbacka flyttades under 2017 och har ersatts av Hensbacka B. Storskogen A avverkades under juni 2018 och har ersatts av Storskogen B. Stora Ek har avverkats i slutet av 2021 och ersatts av en ny yta i början av 2022 varför inga mätningar därifrån finns ännu.

En sammanställning av data från samtliga nu aktiva Krondroppsytor i Sverige med ostörd, växande skog (Figur 13) visar att halterna av nitratkväve, angivet som median för åren 2019–2021, generellt har varit låga i hela Sverige, med undantag av ett fåtal mätplatser i Skåne och Halland, där medianen översteg 0,1 mg per liter.



Figur 13. Koncentrationen av nitrat (NO_3-N) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnätet 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 – fortfarande ett problem?

Försurning av mark och vatten orsakas av både svavel- och kvävenedfall, men även skogsbruket bidrar eftersom trädtillväxt innebär försurning, som permanentas när biomassa skördas och förs bort från skogen. Utsläpp av svaveloxider (SO_x) från industrin och från förbränning av kol och olja är den största 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, blir mer lättrörliga i marken och kan läcka ut till ytvattnet.

Hundshögen L Fotograf: Leif Rodhe

Miljökvalitetsmålet "*Ingen övergödning*" är inte uppnått och bedöms inte kunna nås i Västra Götalands län till år 2030 med befintliga och beslutade styrmedel och åtgärder. Utvecklingen i miljön bedöms därför som neutral trots att utsläpp av försurande ämnen till luft bedöms minska. (Länsstyrelsen i Västra Götalands län, 2021). De försurande effekterna från nedfall och skogsbruk överskrider fortfarande gränsen för vad länets mark och vatten tål men vissa tecken på biologisk och kemisk återhämtning syns. Återföringen av aska på skogsmark behöver öka för att motverka försurande effekter av skogsbränsleuttag, särskilt i de mest försurningskänsliga områdena. Kalkning av länets försurningskänsliga vatten behöver fortgå under lång tid framöver för att undvika skador på ekosystemet, till exempel reproduktionen av fisk och kräftdjur.

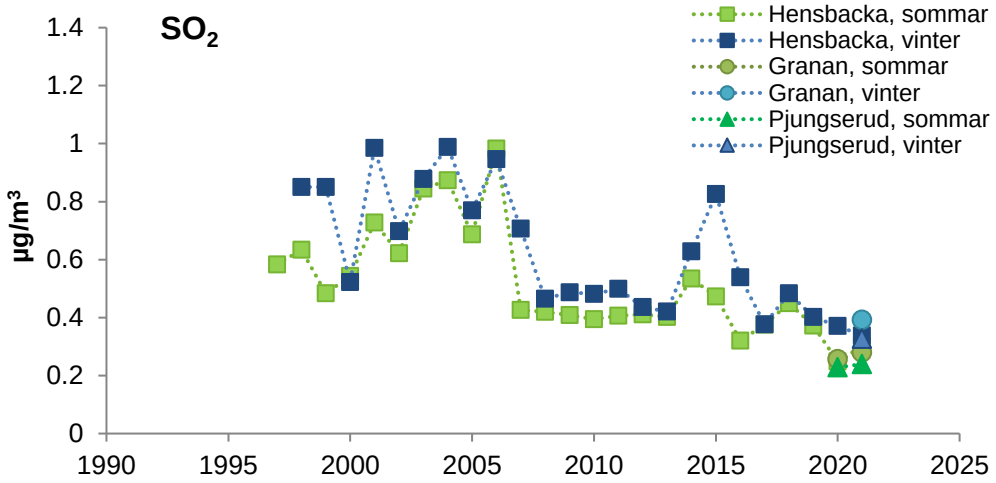
Återhämtningen från försurning i skogsmarken går mycket långsamt och försvåras eller försenas av skogsbrukets påverkan. Som ett resultat hämmas även återhämtningen i sjöar och vattendrag. Andelen försurade vatten i länet är fortfarande hög. Skogsbrukets bidrag till försurningen bedöms öka i framtiden. Ett större behov av biobränsle medför ett större uttag av hela träd vilket bidrar till ökad försurning. Uttaget av GROT (grenar och toppar) varierar mycket mellan olika år på grund av variation i efterfrågan av GROT-flis. Det behövs fler och bättre styrmedel för ett hållbart GROT-uttag för att återställa påverkade ekosystem.

3.1 Minskar lufthalterna av svaveldioxid fortfarande?

Liksom för kväveoxider finns det långa, värdefulla tidsserier för mätningar av lufthalter av svaveldioxid (SO_2) inom länet. Mätningar av lufthalter av svaveldioxid (SO_2) utanför tätort fyller en viktig funktion att bekräfta uppgifter om minskade utsläpp. Vid Hensbacka mäts lufthalterna av SO_2 månadsvis sedan 1997, Figur 14. Som nämnts tidigare var mätningarna vid Hensbacka under åren 2001 och 2002 placerade på en plats belägen avsevärt närmare den starkt trafikerade E6:an, varför dessa år visas med en annan färg och symbol nedan samt undantas i de statistiska beräkningarna. I årets rapport visas även mätresultat för svaveldioxid från Pjungserud och Granan.

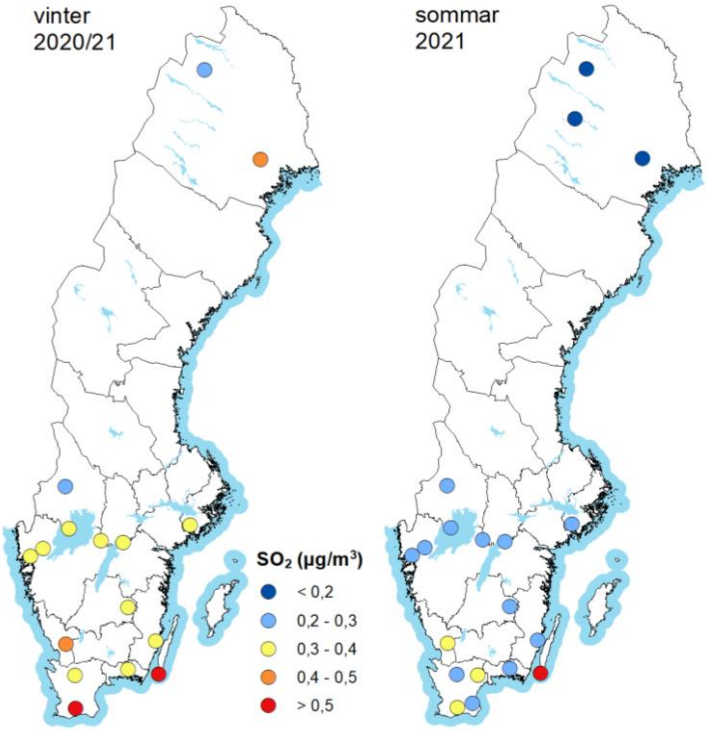
Det finns inget tydligt generellt mönster i skillnader i svaveldioxidhalt mellan sommar- och vinterhalvår genom åren. Under 2020/21 var halterna under sommarhalvåret och vinterhalvåret på samma nivå, 0,3 µg/m^3, vid Hensbacka. Även vid Granan var medelvärdet för svaveldioxid under sommarhalvåret 0,3 µg/m^3 medan vinterhalvårsmedelvärdet var något högre 0,4 µg/m^3. Vid Pjungserud var SO_2-halten under vinterhalvåret 0,2 µg/m^3 medan sommarhalvårsmedelhalten var 0,3 µg/m^3, Figur 14.

Lufthalterna av SO_2 vid Hensbacka har minskat på ett statistiskt signifikant sätt, både under sommar- och vinterhalvåret sedan mätstarten. Minskningen var större under vinterhalvåret jämfört med sommarhalvåret, 57 % respektive 46 %. Under kalenderårsperioden 1997 till 2021 har lufthalterna av SO_2 vid Hensbacka minskat med 53 %. Som en jämförelse har de rapporterade utsläppen av oxiderat svavel från EU-27+UK under perioden 1997–2019 minskat med 93 % och från Sverige under motsvarande period med 73 % (CEIP, 2022). Lufthalterna av SO_2 i Västra Götalands län har således minskat i lägre utsträckning jämfört med minskningen i rapporterade svavelutsläpp.



Figur 14. Lufthalter av svaveldioxid (SO_2) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår för Hensbacka sedan 1997. Data från vinter- respektive sommarhalvåret 2020/21 för Granan och Pjungserud visas även i figuren. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars. Signifikant minskning kan ses för både sommar- och vinterhalvårsmedelvärden (åren 2001 och 2002 ej inkluderade i den statistiska analysen).

I Figur 15 visas halterna av SO_2 under vinterhalvåret 2020/21 och sommarhalvåret 2021 vid nu aktiva mätplatser inom Krondroppsnätet i hela Sverige. Under vintern 2020/21 uppmättes högst SO_2-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 SO_2 inom Krondroppsnätet tyder dock på att fartygstrafiken har en fortsatt påverkan på lufthalterna av vid kustnära områden i södra Sverige.

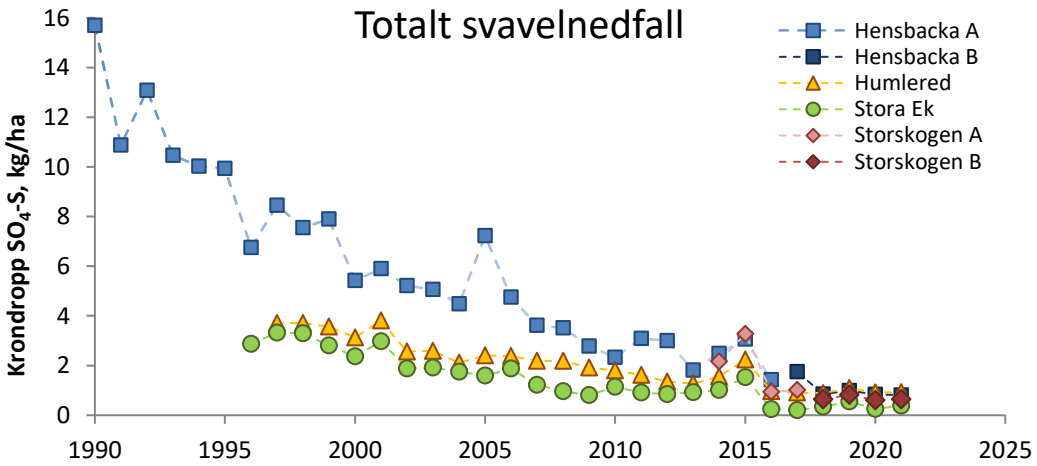


Figur 15. Lufthalter av svaveldioxid (SO_2) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid mät-stationerna inom Krondroppsnätet i Sverige. Vidare visas resultat från tre mätplatser inom det nationella mätnätet SveLod (två i Västra Götalands län och en i Blekinge). Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

3.2 Fortsätter svavelnedfallet i länet att minska?

Svavelnedfallet via krondropp ger ett samlat mått på det totala svavelnedfallet till skog. Mätningarna av krondropp vid Hensbacka flyttades 2017 och mätningarna vid Storskogen flyttades 2018. I båda fallen flyttades mätningarna en kortare sträcka på grund av avverkningar. Svavelnedfallet (utan havssaltbidraget) till skogen i Västra Götalands län har minskat kraftigt sedan mätstarten och minskningen är statistiskt säkerställd för samtliga nu aktiva skogsytor i länet, Figur 16. I början av 1990-talet uppmättes ett svavelnedfall vid Hensbacka på över 15 kg per hektar. Under det hydrologiska året 2020/21 varierade svavelnedfallet mellan 0,4 och 0,9 kg per hektar vid de fyra mätplatserna i länet. Högst nedfall uppmättes vid Humlered i länets sydöstra delar och lägst vid Stora Ek i de nordostliga delarna av länet. Under de senaste sex åren har minskningen av svavelnedfallet avstannat och nedfallet är nu mycket lågt. Det totala svavelnedfallet i krondroppet vid mätplatserna i Västra Götalands län har under de sex senaste åren varierat mellan 0,2 och 1,7 kilo per hektar. Svavelnedfallet under de hydrologiska åren 2014/15 och 2015/16 påverkades av svavelutsläpp från en vulkan på Island (Hellsten m.fl., 2017).

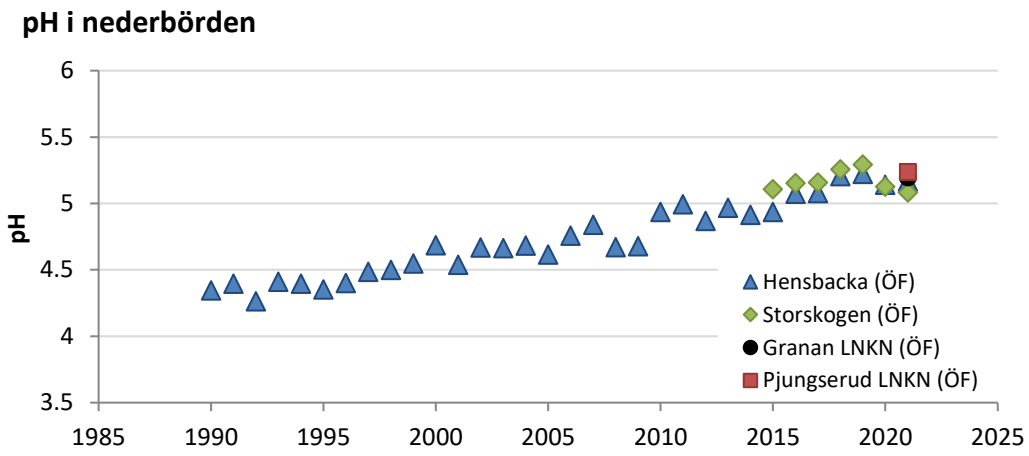
Svavelnedfallet har sedan 2000/01 minskat med 71–91 % vid Hensbacka, Humlered och Stora Ek. Dessa nedfallsminskningar kan jämföras med att emissionerna av svaveloxider (SO_x), mätt som SO_2, har minskat med 88 % mellan 2001 och 2019 inom EU-27 + UK och med 67 % i Sverige (CEIP, 2022). Svavelnedfallet över Västra Götalands län minskar således i samma takt som minskningarna av svavelutsläppen i Europa. Minskningar av tillåten svavelhalt i fartygsbränsle den 1 januari 2015, då gränsen sänktes från 1,0 till 0,1 % svavel, har sannolikt bidragit till minskningen av svavelnedfallet.



Figur 16. Årligt nedfall av svavel som krondropp till aktiva provytor i Västra Götalands län. Bidraget från havssalt har exkluderats. Beräkningarna gäller hydrologiskt år, oktober–september. Mätningarna vid Hensbacka flyttades 2017 och mätningarna vid Storskogen flyttades 2018, vilket indikeras med olika symboler för Hensbacka A och B respektive Storskogen A och B. Alla provytor utgörs av granskog, förutom Humlered som är en tallskog.

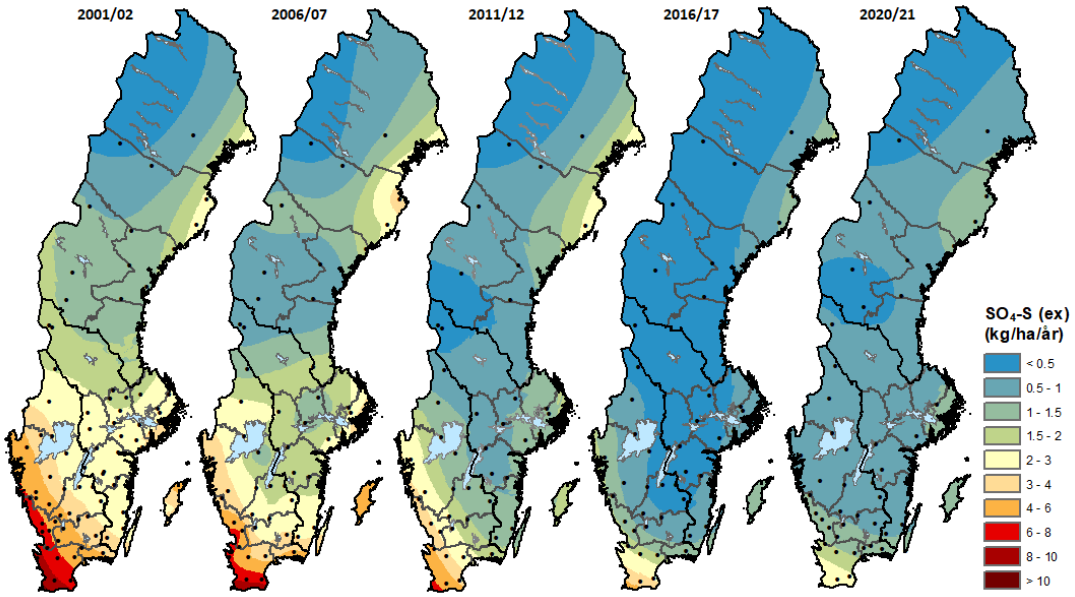
Vid Pjungserud och Granan mäts endast nedfallet på öppet fält vilket i stort sett motsvarar våtdepositionen. Dock innehåller bulkdepositionen på öppet fält även en viss torrdeposition som deponerats till själva utrustningen. Under det hydrologiska året 2020/21 var svavelnedfallet med nederbörden på öppet fält vid Pjungserud i nordost 1,3 kg/ha, vid Granan och Hensbacka 1,8 kg/ha vardera och vid Storskogen 1,5 kg/ha, vilket är högre än det nedfall som uppmättes i krondroppet. Svavelnedfallet är nu generellt så lågt att det verkar som om träden under vissa förhållanden tar upp svavel i trädkronorna. Detta är något som kommer att utredas vidare framöver inom Krondroppsnätet.

Minskat svavelnedfall återspeglas även i ökat pH i nederbörden (Figur 17). Under det senaste hydrologiska året var pH-värdet i nederbörden vid Hensbacka, Granan och Pjungserud, 5,2. Vid Storskogen var pH i nederbörden 5,1. Nederbördens pH har ökat statistiskt signifikant med 21 % vid Hensbacka under de senaste 32 åren. Om man bara ser till 2000-talet så har pH ökat med 14 %. Försurningsbelastningen via nederbörden i länet har därmed minskat.



Figur 17. pH i nederbörden vid Hensbacka, Storskogen, Granan och Pjungserud. Nederbörden mäts månadsvis och pH-värdet medelvärdesbildats för hydrologiskt år, oktober–september.

Nedfallet av svavel till granskog i Sverige visas i Figur 18 för vart femte år sedan 2001/02 (sista perioden är endast fyra år). Västra Götaland tillhör de delar av landet där svavelnedfallet varit mycket högt, och där det minskat kraftigt genom åren, även om minskningar skett i alla områden. Det framgår tydligt att den högsta belastningen av svavelnedfallet hela tiden har varit i sydvästra Sverige. Skillnaderna över Sverige har dock minskat med åren.



Figur 18. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) med fyra/fem års mellanrum under perioden 2001/02–2020/21 i krondroppet vid mätstationerna (grandominerade) inom Krondroppsnätet i Sverige. Interpolering har gjorts med Kriging-metodik.

3.3 Hur går återhämtningen från försurningen i länet?

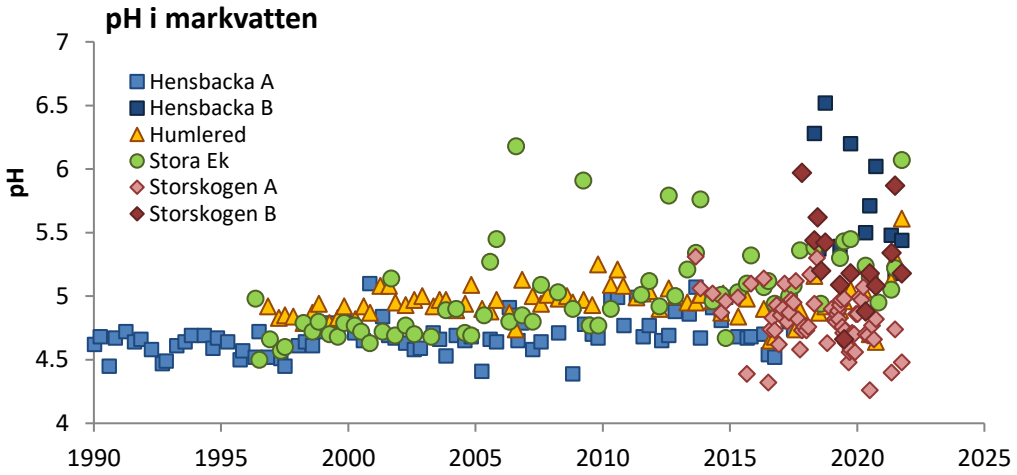
Markvattnets försurningsstatus vid Krondroppsnätets mätplatser beror i stor utsträckning på nuvarande och historiskt nedfall av svavel på platsen i kombination med markens buffringsförmåga. På vissa platser, och under vissa perioder, kan dock även annat ha stor påverkan. Detta kan till exempel vara överskott 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 skogsbruket markvattnets försurningsstatus (Akselsson & Belyazid, 2018; Akselsson, m.fl. 2021). Västra Götalands län tillhör de områden i södra Sverige som har tagit emot ett mycket stort nedfall av svavel och kväve, och är därmed ett av de mest försurningsdrabbade länen. Det bedrivs även ett omfattande skogsbruk i länet.

Markvattnets pH är ett av de mått i markvattnet som kan användas för att följa återhämtningsförloppet 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. Även markvattnets syraneutraliserande förmåga (ANC) används för att följa markvattnets återhämtningsförlopp. Ett negativt 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, fram till och med 2021, visas i Figurerna 19–21. Tidsserierna för markvattenkemin vid de nya ytorna i Hensbacka B och Storskogen B är ännu för korta för att statistiska analyser kan göras. Vid Humlered har ingen statistiskt signifikant förändring av pH i markvattnet skett sedan mätstarten medan vid Stora Ek har pH i markvattnet ökat med 12 % sedan 1996 och med 9 % sedan 2001.

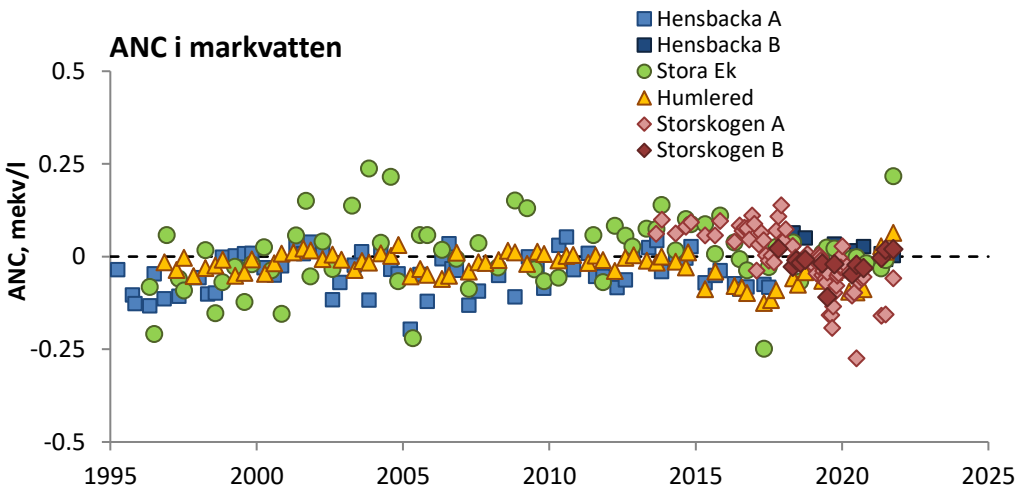
pH-värdena i markvattnet vid den nya ytan i Hensbacka var under 2021 under 5,5, vilket enligt bedömningsgrunderna för försurning i marken är måttligt försurat. Även vid den nya ytan i Storskogen samt vid Humlered och Stora Ek var pH under 5,5 undantaget ett mättillfälle vid vardera mätplats under 2021, Figur 19.



Figur 19. pH i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Mätningarna vid Hensbacka flyttades 2017 och mätningarna vid Storskogen flyttades 2018, vilket indikeras med olika symboler för Hensbacka A och B respektive Storskogen A och B. Alla provytor utgörs av granskog, förutom Humlered som är en tallskog.

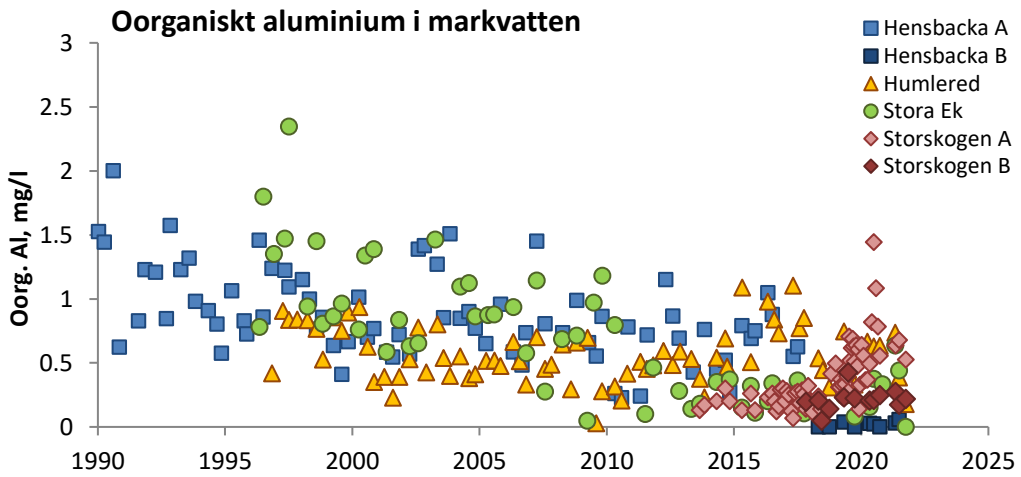
Som beskrivits ovan, påverkas pH i markvattnet av en mängd olika faktorer. Ett mer robust mått på försurning är markvattnets ANC. För att markvattnet ska bidra till en återhämtning från försurning i sjöar och vattendrag måste ANC ha ett värde som är klart större än noll. ANC har sedan 1996 inte förändrats statistiskt signifikant vare sig vid Humlered eller vid Stora Ek. Dock har ANC ökat statistiskt signifikant vid Humlered sedan 2001.

Under 2021 var ANC i markvattnet över noll vid alla tre mättillfällena endast vid Humlered. Vid övriga tre mätplatser, Storskogen B, Hensbacka B och Stora Ek var ANC i markvattnet under 2021 både under och över noll, Figur 20. Det lägsta värdet för ANC uppmättes i markvattnet vid Stora Ek, cirka -0,03 mekv/l, även det högsta ANC som uppmättes i markvattnet var vid Stora Ek, med cirka 0,2 mekv/l. Vid den avverkade ytan i Storskogen var ANC negativt hela 2021 som lägst med -0,16, Figur 20.



Figur 20. ANC (den syraneutraliserande förmågan) i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Mätningarna vid Hensbacka flyttades 2017 och mätningarna vid Storskogen flyttades 2018, vilket indikeras med olika symboler för Hensbacka A och B respektive Storskogen A och B. Alla provytor utgörs av granskog, förutom Humlered som är en tallskog.

Halterna av toxiskt, oorganiskt aluminium har historiskt sett varit högst vid Hensbacka och Stora Ek, runt 1,5 mg/l medan halterna vid övriga mätplatser i länet varierat runt eller under 0,5 mg/l, Figur 21. Oorganiskt aluminium i markvattnet har endast minskat statistiskt signifikant vid Stora Ek, sedan 2001 med 85 % och med 90 % sedan 1996. Under 2021 varierade halten oorganiskt aluminium vid länets fyra mätplatser mellan 0,03 – 0,74 mg/l, med högst halt vid Humlered och lägst vid Hensbacka, Figur 21. Halterna av oorganiskt aluminium har varit höga efter avverkningen vid Storskogen A i juni 2018. Även under 2021 var halterna relativt höga, cirka 0,6 – 0,7 mg/l.



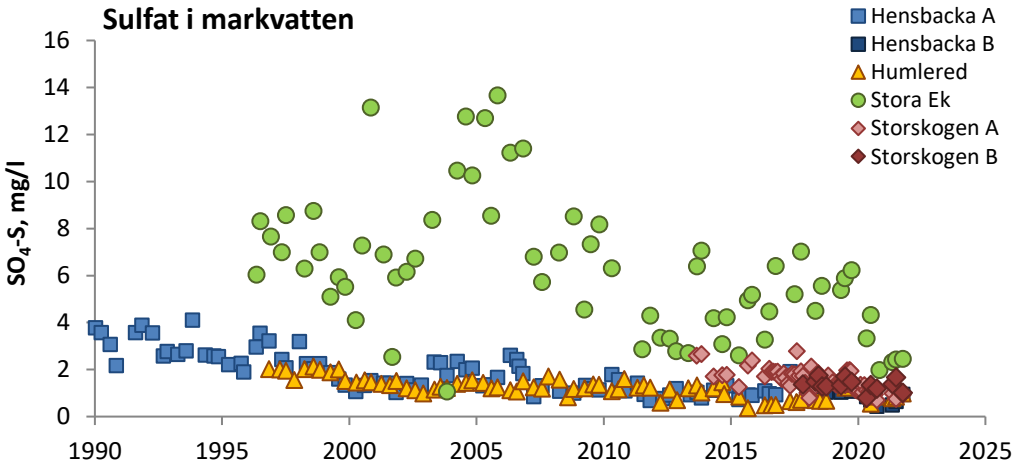
Figur 21. Oorganiskt aluminium i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Mätningarna vid Hensbacka flyttades 2017 och mätningarna vid Storskogen flyttades 2018, vilket indikeras med olika symboler för Hensbacka A och B respektive Storskogen A och B. Alla provytor utgörs av granskog, förutom Humlered som är en tallskog.

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. Normalt speglar tidsutvecklingen för svavelhalten i markvattnet det tidigare svavelnedfallet. Ofta finns dock skillnader i trenderna i nedfall och i

markvattnet vilket till stor del beror på en fördröjning som orsakas av svaveladsorption/desorption i marken, som innebär att först försurningen, och sedan återhämtningen fördröjs.

Halterna av svavel i markvattnet visas i Figur 22, halterna av klorid i markvattnet visas i Figur 23, medan halterna av nitrat redan visats i Figur 12. Vid Humlered och Stora Ek har svavelhalten i markvattnet minskat signifikant sedan 2001 (Figur 22). Utöver svavelnedfall spelar även markens egenskaper roll för svavelhalterna i markvattnet, till exempel dess buffringskapacitet samt dess förmåga att adsorbera svavel.

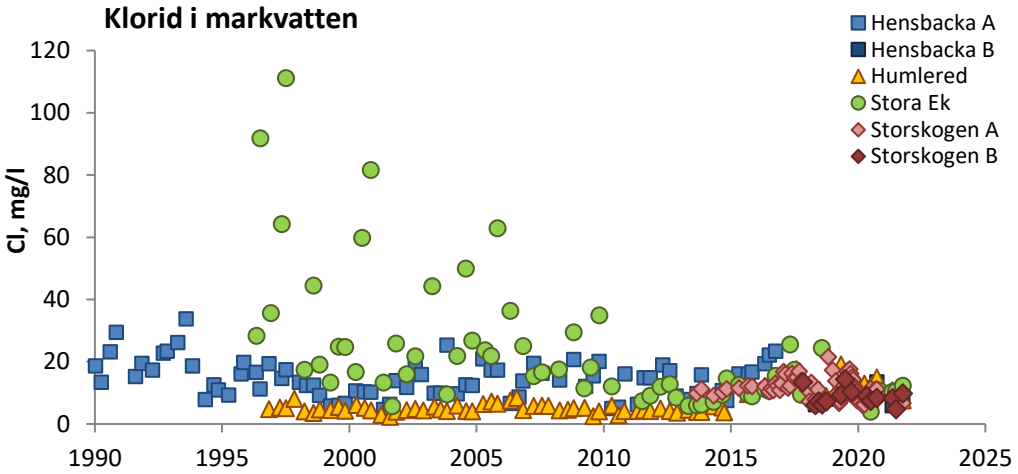
Vid Hensbacka var svavelhalterna i markvattnet upp till 4 mg per liter i början av 1990-talet, och minskade därefter till mellan 1 och 2 mg/l 2017 när mätningarna avslutades. Vid den nya ytan, Hensbacka B, har svavelhalterna varierat mellan 0,4 – 1,3 mg/l, Figur 22. I slutet av 1990-talet var svavelhalterna vid Humlered runt 2 mg/l medan de under 2021 var strax under 1 mg/l. Vid den nya ytan i Storskogen har svavelhalterna varierat 0,8–1,7 mg/l sedan mätstarten 2017, Figur 22. Vid Stora Ek var svavelhalterna under 2021, liksom tidigare år, de högsta i länet med halter strax under 2,5 mg/l. Svavelhalterna vid Stora Ek har varierat kraftigt mellan åren och halterna var som högst runt 2005, med halter över 13 mg/l, Figur 22. Att Stora Ek skiljer ut sig med högre halter av sulfat i markvattnet kan inte förklaras av ett högt svavelnedfall, eftersom svavelnedfallet vid Stora Ek har varit lägre än vid övriga mätplatser i länet, se Figur 16. Orsakerna till de höga svavelhalterna i markvattnet är inte helt fastlagda men en förklaring skulle kunna vara att det finns skillnader på markens egenskaper, till exempel dess förmåga att adsorbera svavel. Det kan även bero på att vissa svavelrika (?) mineraler vittrar. Slutligen skulle det kunna bero på att nedbrytning av alger som historiskt lagrats upp på motsvarande sätt som skett vid Norrlandskusten av så kallad ”svartmocka”.



Figur 22. Svavelhalter i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Mätningarna vid Hensbacka flyttades 2017 och mätningarna vid Storskogen flyttades 2018, vilket indikeras med olika symboler för Hensbacka A och B respektive Storskogen A och B. Alla provytor utgörs av granskog, förutom Humlered som är en tallskog.

När man ska tolka försurningstrender är det viktigt att titta på många olika parametrar, däribland kloridhalten i markvattnet, eftersom det ger en indikation på havssaltsepisoder som kan orsaka surstötar. Främst orsakas detta av att natrium (Na+) i havssaltet byter plats med vätejoner på markpartiklarna, vilket leder till sänkt pH i markvattnet, och potentiellt även i ytvattnet om inte vattnet buffras på vägen mellan mark och vattendrag. Kloridhalter i markvattnet kan bli höga vid platser som utsatts för stormar som leder till havssaltsepisoder (Akselsson m.fl., 2013).

Det västliga läget innebär att skogarna i Västra Götalands län utsatts för mycket havssalt, och att havssaltsepisoder får stora effekter på markvattenkemin. Stora Ek är den mätplats som har haft högst kloridhalter i markvattnet, över 100 mg per liter i slutet av 1990-talet, trots att den ligger längst bort från kusten, se Figur 23. Runt 2017 noterades att kloridhalterna i markvattnet vid samtliga mätplatser generellt sett hade ökat för att senare klinga av, vilket tyder på en saltepisod i länet. Under 2021 varierade kloridhalterna i länet mellan cirka 5 och 12 mg/l med lägst kloridhalt vid Storskogen B och högst vid Stora Ek, Figur 23. Kloridhalterna vid Humlered har ökat statistiskt signifikant både sedan mätstarten 1996 och under 2000-talet medan de minskat statistiskt signifikant vid Stora Ek under samma perioder.



Figur 23. Klorid i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Mätningarna vid Hensbacka flyttades 2017 och mätningarna vid Storskogen flyttades 2018, vilket indikeras med olika symboler för Hensbacka A och B respektive Storskogen A och B. Alla provytor utgörs av granskog, förutom Humlered som är en tallskog.

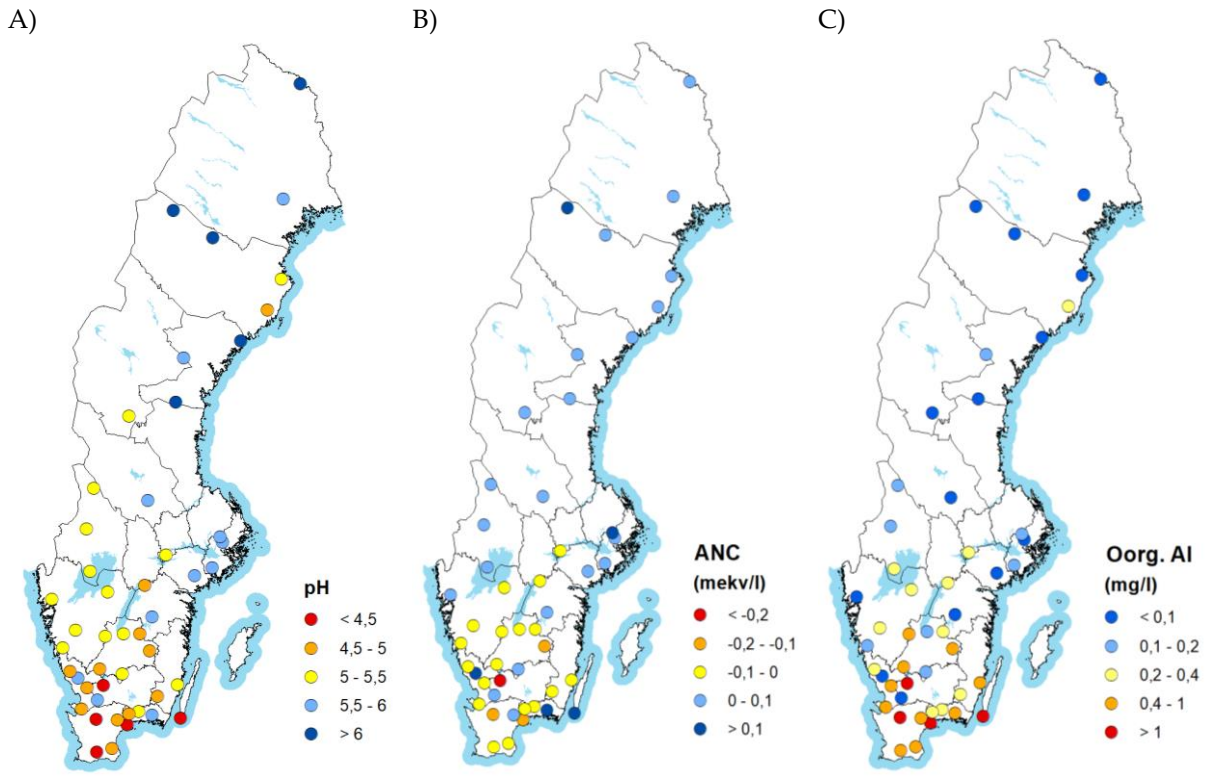
Sammantaget visar resultaten från analyserna av markvattenkemin i länet en varierande och ännu otillräcklig återhämtning från försurningen. Av de mätplatser i länet som har långa tidsserier har en signifikant återhämtning från försurning endast skett vid Stora Ek. Där har markvattnets pH och halten oorganiskt aluminium ökat medan svavelhalten minskat signifikant. Vid Humlered har inte någon tydligt signifikant återhämtning skett, dock har svavelhalten i markvattnet minskat signifikant. Även ANC har ökat signifikant i markvattnet vid Humlered sedan 2001. Havssaltseffekten runt 2017 syns tydligast vid Humlered, där den resulterade i lågt pH och ANC samt förhöjda halter av oorganiskt aluminium, men även övriga mätplatser har påverkats.

Markvattnets försurningsstatus i Västra Götalands län, jämfört med resten av landet och angivet som median för åren 2019–2021, visas i kartorna i Figur 24. Västra Götalands län tillhör de län i landet där markvattnet är försurningspåverkat, men det finns områden i landet i Skåne, Halland, Blekinge, Kronoberg och Jönköpings län där återhämtningen från försurningen tar ännu längre tid, Figur 24.

Vid samtliga fyra mätplatser i länet är pH mellan 5 och 5,5, vilket är något högre jämfört med flertalet övriga mätplatser i Götaland, Figur 24A.

ANC följer i stora drag pH-gradienten i Sverige. Medianen för ANC mellan 2019–2021 är negativt för samtliga mätplatser i länet förutom vid Hensbacka, Figur 24B. De flesta av mätplatserna i Götaland uppvisar negativt ANC, i Svealand är ANC vanligtvis omkring 0, och i Norrland är värdet positivt.

Även halten oorganiskt aluminium uppvisar en liknande gradient som pH och ANC, Figur 24C. I Västra Götalands län är medianvärdena 2019–2021 för oorganiskt aluminium under 0,4 mg per liter med högst medianhalt vid Stora Ek och Storskogen och lägst vid Hensbacka, Figur 24C.



Figur 24. pH (A), ANC (B) och halter av toxiskt oorganiskt aluminium (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). ANC i avrinnande vattnet bör vara betydligt över 0 när det når vattendragen. Ytor med mindre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats har tagits bort.

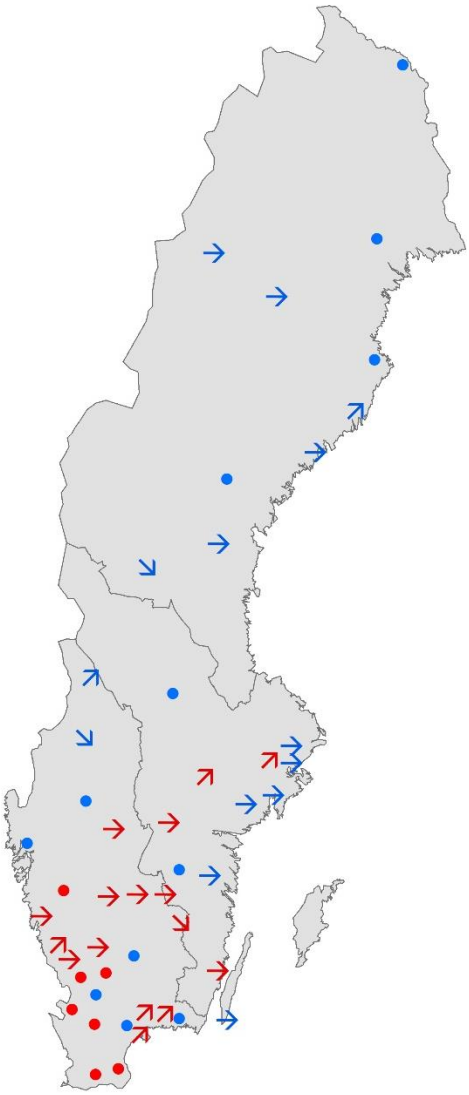
4 Aktuellt & notiser

Grankölen. Fotograf: Mattias Eriksson

4.1 Trender för ANC i markvatten 1996–2021

Tidsserier för markvattnets ANC (syraneutraliserande förmåga) från Krondroppsnätet 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 provytor inom Krondroppsnätet för perioden 1996–2017 (Naturvårdsverket 2019). Här presenteras uppdaterade resultat för perioden 1996–2021, Figur 25. Pilar upp eller ner i Figur 25 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 ökningar 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.



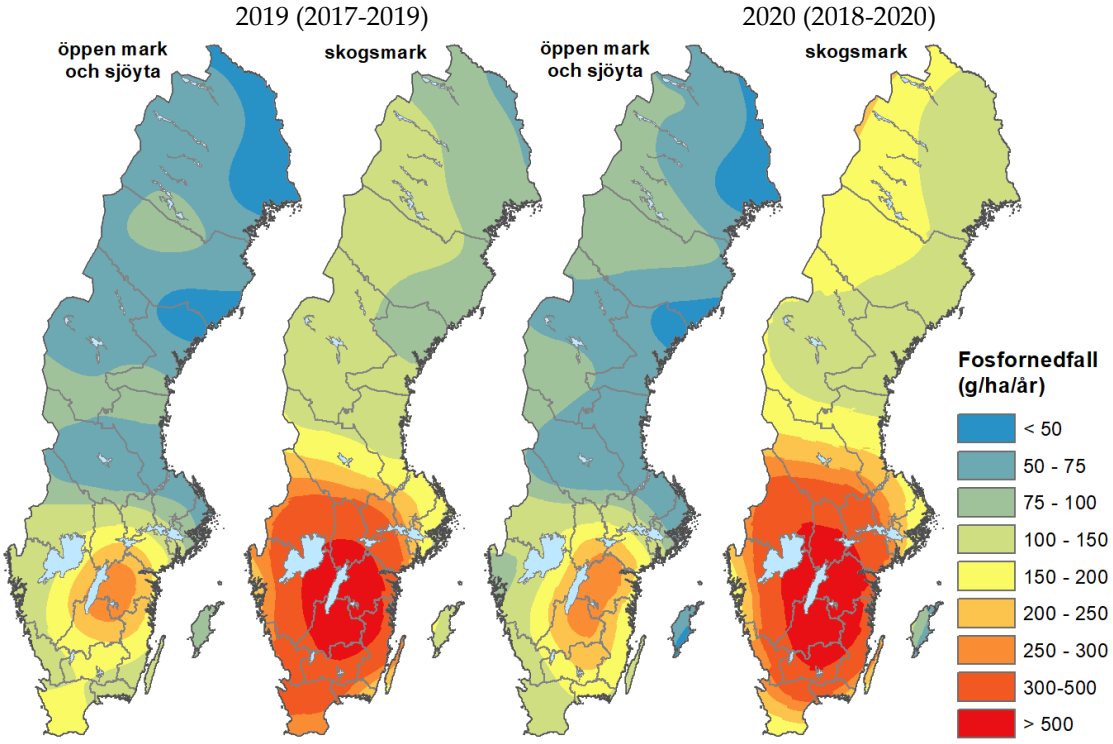
Figur 25. Nivåer och trender för ANC (syraneutraliserande förmåga) i markvattnet under rotzonen, baserat på data från Krondroppsnätet. Röda pilar/punkter indikerar att ANC<0 medan blåa pilar/punkter visar ANC>0 (beräknat som medianen för perioden 2019–2021). ANC>0 innebär att markvattnet har en buffrande 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 Krondroppsnätet beräknat atmosfäriskt nedfall av fosfor (P) till öppen mark och sjöyta samt till skogsmark för olika delar av Sverige (Karlsson, m.fl. 2021).

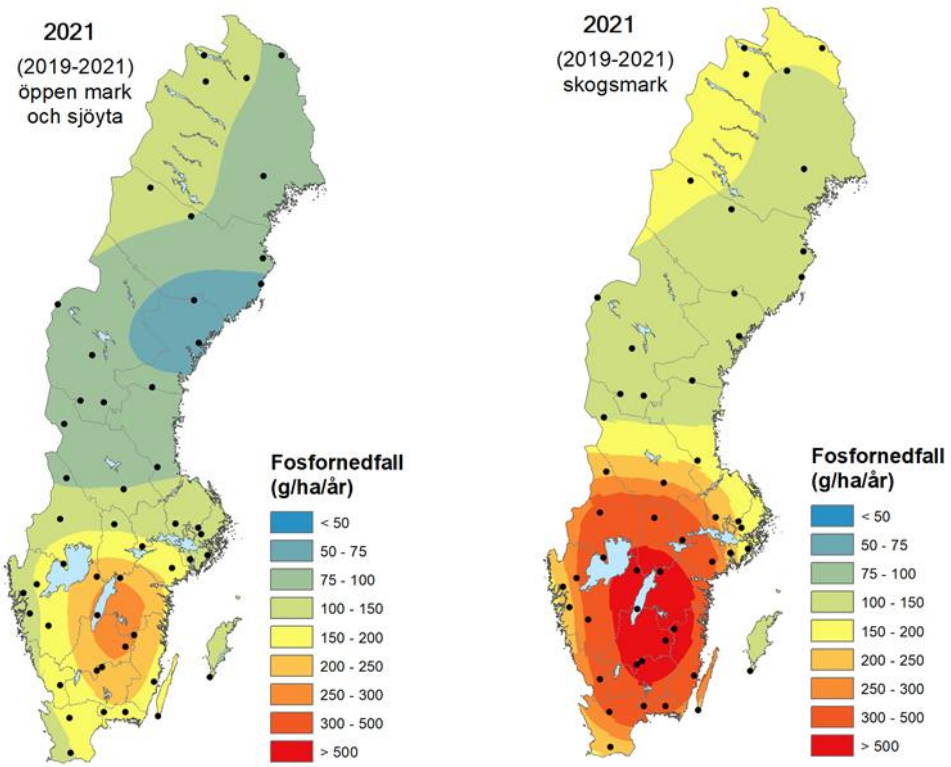
Huvuddelen av nedfallet av P sker som torrdeposition. I jämförelse med de flesta andra ämnen är nedfallet av P mycket lågt. Det låga nedfallet medför att problemen med till exempel kontamination av proverna relativt sett blir större, jämfört med för andra ämnen. Därför beräknades depositionen för ett 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 26 för åren 2019 (2017–2019) och 2020 (2018–2020).



Figur 26. 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 torrdepositionsmätningar. 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 27 visas kartor med fosfornedfallet 2021 för öppen mark och sjöyta samt för skogsmark.



Figur 27. 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 torrdepositionsmätningar. 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 1. 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 1. 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 landekosystem 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 (Krondroppsnätet), 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 28.

Figur 28. 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 kg N ha^{-1} $år^{-1}$, för barrskog och myrmark 5 kg N ha^{-1} $år^{-1}$, och för fjällvegetation 3 kg N ha^{-1} $år^{-1}$ (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 Krondroppsnätet 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 Krondroppsnätet 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 Krondroppsnätet, en studie där 26 provytor inom Krondroppsnätet 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, provytor med ANC>0 och utan överskridande hamnade i den lägsta riskklassen, och övriga provytor i den mellersta riskklassen. Studien visade på en geografisk gradient, med en koncentration av provytor i den högsta riskklassen i södra Sverige och mestadels provytor 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 provytor bryter dock det geografiska mönstret, till exempel provytor 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.

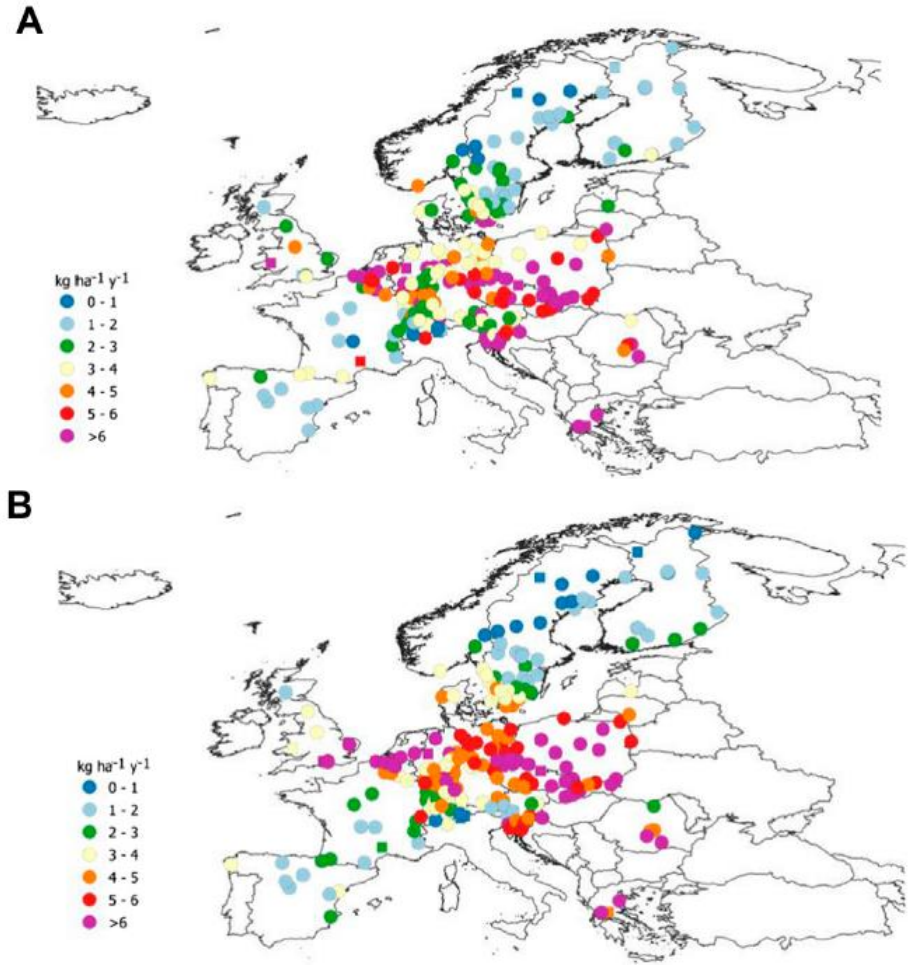
4.6.2 Artikel med en internationell jämförelse av observerad och modellerad deposition

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 Krondroppsnätets 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 29. Det sistnämnda berodde sannolikt på betydelsen av lokala källor till utsläpp, framför allt i kontinentala 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 Krondroppsnätet drivs kompletterande mätningar av torrdepositionen av kväve med hjälp av så kallade strängprovtagare.

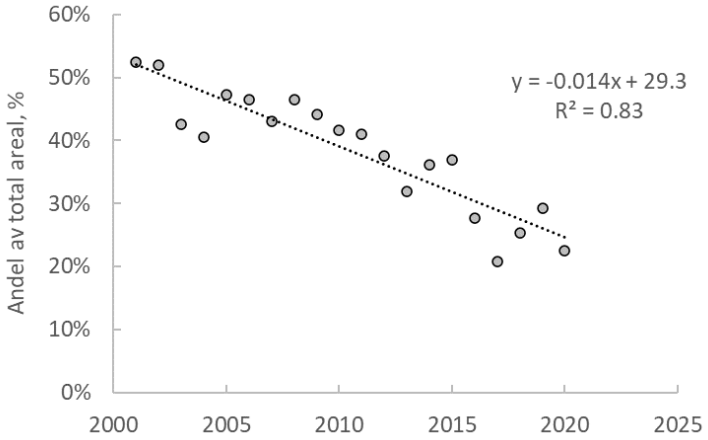


Figur 29. Årligt atmosfäriskt nedfall av sulfatsvavel, mätt som krondropp (A) och modellerat totalt nedfall av sulfatsvavel (summan av torr- och våtdeposition modellerat med EMEP-modellen) (B), i båda fallen exklusive bidrag från havssalt. Källa: Marchetto m.fl. (2021).

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 Krondroppsnätet 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 30). 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 30. 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 provytor från Krondroppsnätet, 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 bortförseln 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 Krondroppsnätet 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 Krondroppsnätets samtliga medlemmar för gott samarbete.

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 mossa, 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.

Hellsten, S., Gustafsson, M., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Karlsson, P.E., Akselsson. C. 2017. Påverkan på atmosfäriskt nedfall och luftkvalitén i Sverige av SO2-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014–2015. IVL Rapport C 234.

Hellsten, S., Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Akselsson, C. 2021. Hur påverkas mark-, grund- och ytvatten vid en skogsavverkning? - Fallstudie Storskogen i Västra Götaland. IVL Rapport C 570.

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 Västra Götalands län, 2021. Regional årlig uppföljning – Västra Götalands län 2021. Länsstyrelsen i Västra Götalands län. 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.

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 Västra Götalands län

Krondroppsnätet bedriver mätningar vid fyra mätplatser i Västra Götalands län (Tabell B1.1).

Tabell B1.1. Aktiva mätplatser i Västra Götalands län 2020/21.

Mätplats	Dominerande trädslag	Öppet fält	Sträng-prov	Kron-dropp	Mark-vatten	Lufthalter, SO_2, NO_2, NH_3
Storskogen (P 95A+B)*	Gran	X		X	X	
Hensbacka (O 35)**	Gran	X	X	X	X	X
Humlered (P 93)	Tall			X	X	
Stora Ek (R 09)	Gran			X	X	
Pjungserud (SveLoD)***		X				X
Granan (SveLoD)***		X				X

*Vid Storskogen bedrivs även mätningar av grund- och bäckvatten via separat finansiering. Krondroppsytan P95A avverkades i juni 2018.En ny krondroppsyta, P95B, etablerades under hösten 2017. ** Mätningarna på öppet fält, krondropp samt strängprov vid Hensbacka bedrivs på uppdrag av Naturvårdsverket inom den nationella miljöövervakningen, SveLoD. ***Mätningarna vid Pjungserud och Granan bedrivs på uppdrag av Naturvårdsverket inom den nationella miljöövervakningen, SveLoD, och rapporteras i denna rapport tillsammans med ytor inom Krondroppsnätet i länet, se kartan nedan. Mätningarna av lufthalter och nederbördskemi inom SveLoD sker med samma typ av utrustning som används inom Krondroppsnätet.

Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

Undersökningarna är ett resultat av ett lagarbete där provtagning utförts av Ingemar Strid, Magdalena Eriksson, Oskar Sundbaum och Håkan Magnusson.

På IVL har Paula Andersson skött kontakter med provtagare medan främst Sari Honkala, Nour Osman, Pia Spandow, Sara Bodholm, Camilla Hållinder-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.

Storskogen (P 95A+B)
En ny krondroppsyta, P95B, etablerades under hösten 2017 efter information om en kommande avverkning av P95A, vilket möjliggjorde parallella mätningar med P95A och P95B under en tid. Fotografier visar mätningar på öppet fält (överst) samt den nya krondroppsytan, P95B (underst). Provytan ligger i ett avrinningsområde på ca 420 ha där Länsstyrelsen provtagit vattenkvalitén i avrinningen sedan 1997. Den tidigare provytan P 95A var placerad i en granskog, planterad 1925. Ytan anlades i juli 2013, 22 km nordost om provytan Klippan, som Storskogen avsåg att ersätta. Mätningar som startade 2013 bestod av deposition via krondropp och markvattenkemi. Mätningar över öppet fält startade i oktober 2014. Med finansiering från Havs- och vattenmyndigheten och Länsstyrelsen i Västra Götalands län etablerades mätningar av bäckvatten, mätningar i grundvattenrör i mineraljord och i våtmark i anslutning till krondroppsytan. Dessutom startades mätningar av markvattenkemi året runt. Dessa kompletterande mätningar etablerades under 2014, 2015 och 2016. Krondroppsytan P95A avverkades i juni 2018.

Hensbacka (O 35)
I augusti 2017 flyttades krondroppsytan ca 500 meter åt sydost på grund av att det förekom en del nedfallna träd. Den nya B-ytan sluttar åt norr, med en sänka, som är något fuktigare jämfört med resten av ytan. Det är en del luckor i granbeståndet. Humuslager och blekjord utgör tunna skikt, medan rostjorden är ett bredare skikt. Skogen är troligen mellan 50 och 60 år gammal.

Den tidigare provyta med gran var planterad 1919. Marken utgjordes av sandig morän, jordmånen var podsol. Mätningarna i krondropp och på öppet fält startade 1989. Provytan för nederbörd till öppet fält flyttades i juli 2012. Markvattenmätningarna startade 1990. Lufthaltsmätningarna startade i januari 1997. Mellan 2001 och 2002 var lufthaltsprovtagaren flyttad till en plats betydligt närmare E6:an.

Mätningar med strängprovtagare vid öppet fält genomfördes 2001–2008 och återupptogs vid Hensbacka i juli 2013.

Nya ytan i Hensbacka

Humlered (P 93)
Yta med tallskog, planterad 1948. Ytan ligger på plan mark på ett sediment (grovmo). Jordmånen är podsol. Från och med december 2001 mäts, förutom markvatten, deposition via krondropp. Under senare år har skogsbestånd rakt söder om krondroppsytan avverkats.

Stora Ek (R 09)
Yta med granskog, planterad 1941, med ståndortsindex G30, där mätningarna av deposition och markvattenkemi påbörjades hösten 1995. Jordarten är sandig morän och jordmånen av övergångstyp. Ytan ligger på plan mark. Ca 5 % av ytan består av bara klipphällar. Det finns uppgifter om att ytan användes för skogsbete under 1800-talet. Under januari 2019 påverkades ytan delvis av stormskador varför den slutavverkades i slutet av oktober 2021. Innan dess flyttades krondroppsytan och markvattenmätningarna en kort sträcka
En ny yta etablerades cirka 1,5 km öster om den gamla ytan i början av februari 2022. Granskogen vid den nya ytan är cirka 40 år gammal. Fotot till höger är från den nya ytan.

Den gamla ytan

Den nya ytan

LÄNSSTYRELSEN
VÄSTRA GÖTALANDS LÄN

LUNDS UNIVERSITET

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