Nr C 401
Juni 2019

Försurning och övergödning i Västra Götalands län

Resultat från Krondroppsnätet till och med 2017/18

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

ivl SVENSKA MILJÖINSTITUTET

I samarbete med: Lunds universitet

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: Louise Karlsson
Rapportnummer C 401
ISBN 978-91-7883-053-4
Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2019
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

Förord

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 28 år. I denna rapport redovisas resultaten från mätningar under det hydrologiska året 2017/18. Ett hydrologiskt år omfattar mätningar från och med oktober till och med september påföljande år. Samtliga tidigare mätningar, inklusive avslutade mätlokaler, visas i föregående års Krondroppsnätsrapport.

Årets mätningar ger tillsammans med tidigare års mätningar en bra bild över försurningsläget och kvävesituationen i Västra Götalands län. Vidare redovisas resultaten i förhållande till övriga svenska mätningar inom Krondroppsnätet. I rapporten redovisas även andra relaterade projekt samt aktuella händelser från 2018, som är relevanta ur Krondroppsnätets synvinkel. I Bilaga 1 visas information om länets mätningar och mätplatser.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 5

1 Krondroppsnätets mätningar – var, när och hur? 6

2 Kväve och övergödning 9

2.1 Minskar lufthalterna av kväve? 10
2.2 Utsläppen av kväve minskar – men minskar nedfallet? 12
2.3 Tar skogen upp allt kväve? 14
2.4 Regional miljömålsuppföljning - hur används mätningarna av kväve i nedfall och markvatten bäst? 16

3 Försurning – fortfarande ett problem? 17

3.1 Minskar lufthalterna av svaveldioxid ytterligare? 18
3.2 Fortsätter svavelnedfallet att minska? 19
3.3 Hur går återhämtningen från försurningen? 21
3.4 Regional miljömålsuppföljning - hur används de försurningsrelaterade mätningarna bäst? 25

4 Aktuellt & notiser 27

4.1 Sommarens torka 28
4.2 Sommarens bränder 29
4.3 Fördjupad utvärdering 2019 30
4.4 Aktuell forskning/specialprojekt som berör Krondroppsnätet 31

4.4.1 Hur stor är depositionen av fosfor till Östersjön? 31
4.4.2 Högt nedfall av svavel och kväve på hög höjd i norra Sverige 31

4.5 Vetenskapliga artiklar 2018 31
4.6 På gång – aktuella projekt och utvärderingar 32

4.6.1 Delar av Naturvårdsverkets verksamhet inom programområde Luft utvärderas igen 32
4.6.2 Specialrapport - länsvis total deposition av kväve och svavel 32
4.6.3 Andelen torrdeposition till provtagningsutrustning för nederbörd undersöks 32
4.6.4 Kväveutlakning till ytvatten efter avverkning? 33

5 Tack 33

6 Referenser 33

Bilaga 1. Mätplatserna i Västra Götalands län 35

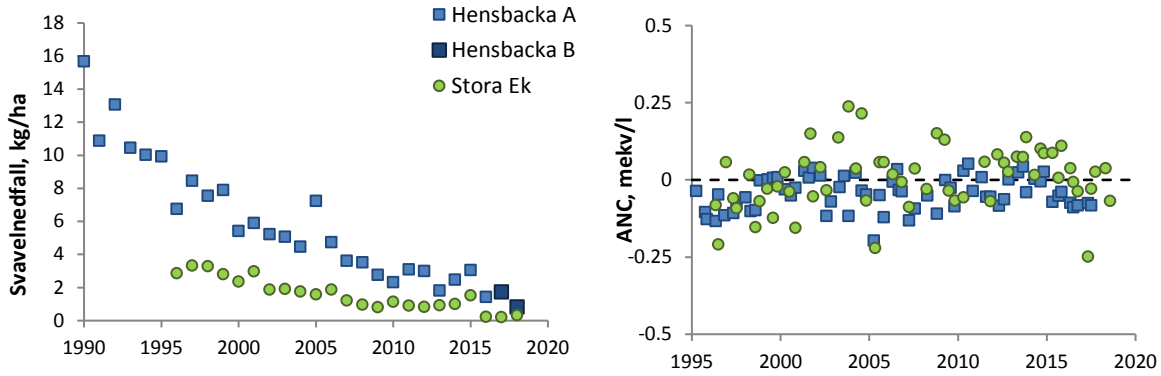
Sammanfattning

Västra Götalands län har långa mätserier inom Krondroppsnätet, som mest 28 år. Under det hydrologiska året 2017/18 gjordes mätningar på fyra platser i länet, en tallyta och tre granytor.

Lågt svavelnedfall men långsam återhämtning från försurning

Svavelnedfallet är den starkaste bidragande faktorn till försurningen av mark- och ytvatten i sydvästra Sverige. Nedfallet har dock minskat kraftigt de senaste decennierna i hela Sverige, och kraftigast har minskningen varit i sydväst. Vid Hensbacka, i västra delen av länet, har nedfallet av svavel (exklusive havssaltsbidrag) minskat från nivåer på upp till 16 kg per hektar i början på 1990-talet till mindre än 1 kg per hektar under 2017/18, vilket är det lägsta värdet i tidsserien. Även vid de övriga mätplatserna i länet var nedfallet under det senaste året mycket lågt, 0,3–1 kg per hektar.

Högt försurande nedfall under många år återspeglas i surt markvatten utan buffringskapacitet och låga pH. Den syraneutraliserande förmågan (ANC) i markvattnet är fortfarande tydligt negativ vid två av mätplatserna i länet, och vid de övriga två mätplatserna är ANC omkring noll. Trots en tydlig minskning av svavelnedfallet har ANC bara ökat vid en av platserna, Hensbacka. Vid Storskogen, med endast 5 års mätningar, har ANC till och med minskat. En trolig förklaring är att en saltepisod har inträffat i länet under de senaste åren. Korta perioder med mycket nedfall av havssalt kan leda till ännu surare markvatten, vilket syns tydligt i flera av mätserierna. En analys av trenderna för samtliga mätplatser i södra Sverige visar att det finns många ytor utan signifikant återhämtning från försurning, och i de fall där återhämtning kan påvisas är den långsam. För att mark och vatten ska återhämta sig och miljömålet *Bara naturlig försurning* ska uppnås krävs fortsatt lågt svavelnedfall, att nedfallet av kväve inte överskrider vad skogen kan ta upp och att skogsbrukets försurningspåverkan hålls på en låg nivå.



Svavelnedfall och syraneutraliserande förmåga (ANC) i markvattnet vid den västligaste mätplatsen i länet, granskogen vid Hensbacka, samt i granskogen vid Stora Ek längre österut. Vid Hensbacka B var marken för torr för provtagning av markvatten under 2018.

Mycket kväve i markerna ger höga markvattenhalter vid störningar

Det totala nedfallet av oorganiskt kväve till skog i Västra Götalands län har beräknats ligga i intervallet 5–10 kg per hektar för det hydrologiska året 2017/18. Kvävenedfallet över öppet fält vid Hensbacka var i början på 1990-talet över 20 kg kväve per hektar och år. Sedan dess har nedfallet minskat med 43 % och numera ligger nedfallet på omkring 6–8 kg per hektar, vilket dock fortfarande överskrider den kritiska belastningsgräns som har satts för granskog i Sverige, 5 kg kväve per hektar och år. Det beräknade totala kvävenedfallet vid Hensbacka (sedan 2001) visar dock ännu inte på någon statistiskt säkerställd nedgång.

Under det hydrologiska året 2017/18 var halterna av nitratkväve i markvattnet generellt mycket låga vid mätplatserna i länet. Tidigare års mätningar har visat att markvattnet har haft förhöjda nitrathalter vid ett fåtal tillfällen i ostörda skogar, vilket syns tydligast vid Hensbacka. Detta innebär en risk för kväveutlakning till sjöar och vattendrag, och därmed en negativ påverkan på miljömålet *Ingen övergödning*. Om kvävet inte tas upp av skogsekosystemet, utan istället läcker ut från markprofilen i form av nitratkväve, bidrar det även till försurning av markvatten och potentiellt även ytvatten. Att skogen mår bra och fortsätter ta upp kväve är alltså viktigt, inte bara för miljökvalitetsmålen *Levande skogar*, *Begränsad klimatpåverkan* och *Ingen övergödning*, utan även för *Bara naturlig försurning*.

1 Krondroppsnätets mätningar – var, när och hur?

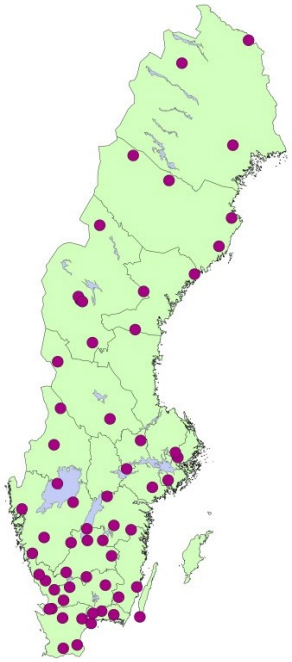
Fotograf: Gunilla Pihl Karlsson

Inom Krondroppsnätet genomfördes under det hydrologiska året 2017/18 mätningar vid 59 provytor i skog och på öppet fält fördelade över hela landet. Här mäts lufthalter, våtdeposition, torrdeposition, krondropp och markvattenkemi. Ett stort antal ämnen och parametrar mäts, däribland svavel- och kväveföreningar, som har stor betydelse för försurnings- och övergödningsproblematiken.

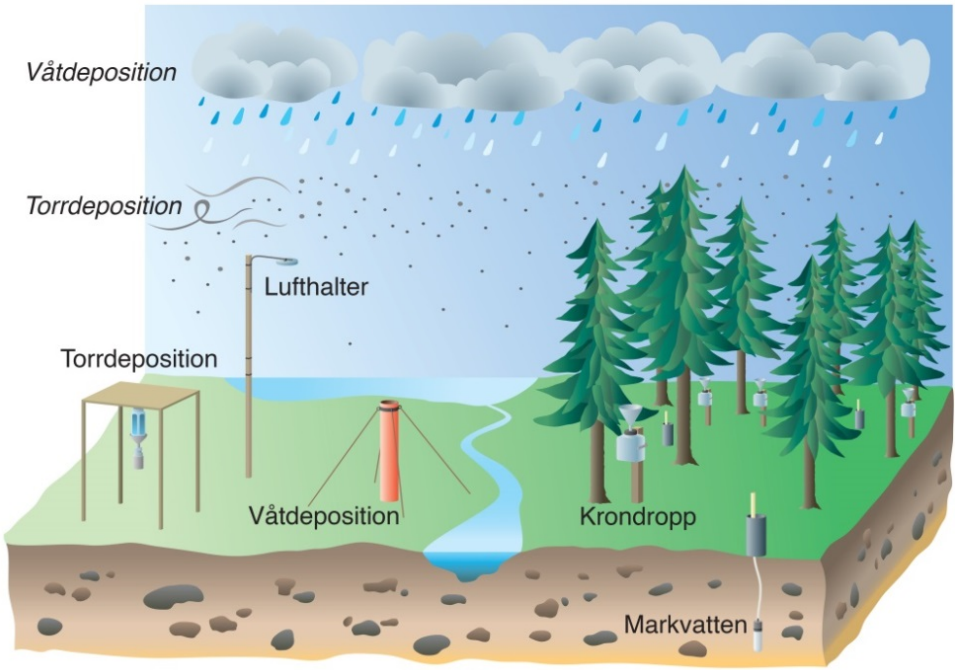
Genom åren har antalet mätplatser inom Krondroppsnätet varierat, som mest fanns i mitten av 1990-talet cirka 185 ytor. Då övervakningen sker i brukad skog har ytor flyttats vid avverkning samt efter kraftiga störningar, till exempel vid omfattande stormskador. Idag bedrivs mätningar på 59 platser i Sverige, 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 2017/18.



Figur 2. Inom Krondroppsnätet mäts lufthalter, våt- och torrdeposition samt markvattenkemi. Nedfallet mäts dels på öppet fält och 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 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: krondroppsprovtagare

markvattenutrustning

Mätningar på öppet fält

Våtdeposition av flera olika ämnen mäts med nederbördsprovtagare på öppet fält, där även torrdeposition mäts med hjälp av strängprovtagare. Likaså mäts lufthalterna av svaveldioxid, kvävedioxid, ammoniak och ozon på öppet fält 3 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

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

2 Kväve och övergödning

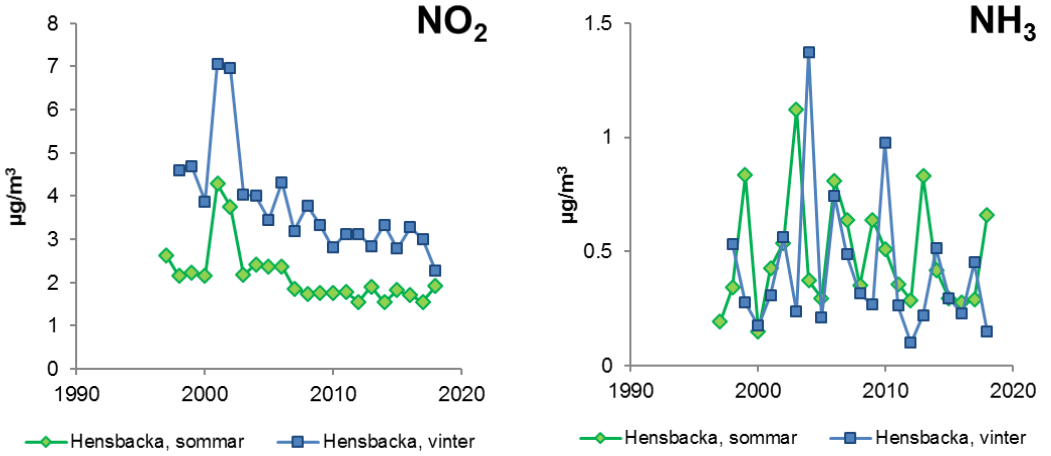
Fotograf: Sofie Hellsten

Kvävenedfallet kan påverka både markvegetation och vattenkvalitet. Utsläpp 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.

2.1 Minskar lufthalterna av kväve?

Lufthalterna av olika kväveformer kan ge en första indikation på om kvävebelastningen förändras. I Västra Götalands län finns värdefulla, långa tidsserier av lufthalter av kvävedioxid (NO_2) och ammoniak (NH_3) på månadsbasis, Figur 3. Vid Hensbacka påbörjades mätningarna 1997. Åren 2001 och 2002 var mätningarna placerade på en plats belägen avsevärt närmare den starkt trafikerade E6:an. Dessa år undantas därför i de statistiska beräkningarna. Lufthalterna av NO_2 har minskat på ett statistiskt säkerställt vis, både under sommar- och vinterhalvåret, med 33 respektive 42 %. Under mätperioden (1997–2018) har årsmedelhalterna av NO_2 baserat på kalenderår vid Hensbacka minskat med 42 %. De rapporterade utsläppen av NO_x (som NO_2) från EU-28 har under perioden 1997–2016 minskat med 48 % och från Sverige under motsvarande period med 46 % (CEIP, 2019). Lufthalterna av NO_2 vid Hensbacka har således minskat i ungefär samma takt som minskningen av rapporterade utsläpp av NOx.

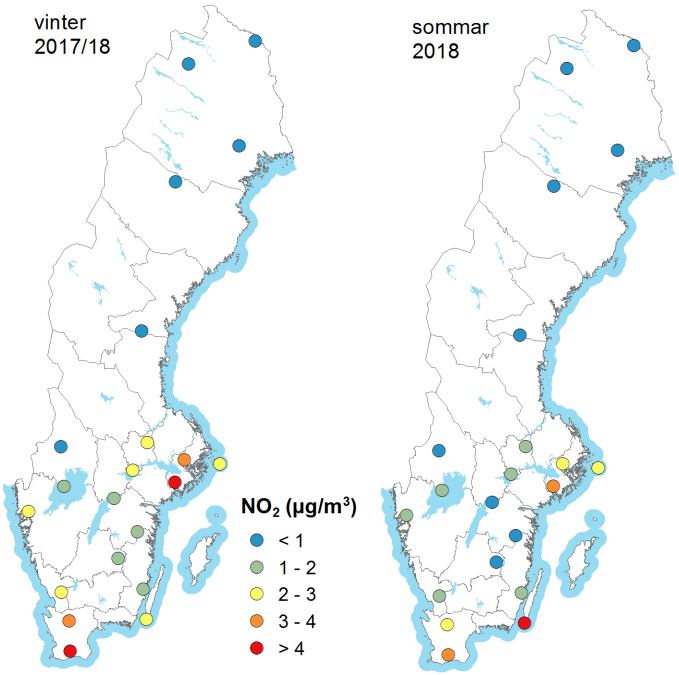
Ammoniak (NH_3) deponeras ofta relativt nära utsläppskällan på grund av att det har en hög depositionshastighet. NH_3 förekommer därför sällan med höga halter i luften. Under sommaren 2018 var halterna av NH_3 högre än under vintern, men generellt sett har lufthalterna av NH_3 varit ungefär på samma nivå, vinter- som sommartid vid Hensbacka. Under mätperioden (1997–2018) har inga statistiskt säkerställda förändringar av halten av NH_3 i luften påvisats vare sig på halvårs- eller årsbasis. Samtidigt har de rapporterade utsläppen av NH_3 från EU-28 minskat med 17 % under 1997–2016 och från Sverige under motsvarande period med 15 % (CEIP, 2019).



Figur 3. Lufthalter av kvävedioxid (NO_2) och 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 visar sig i förhöjda halter av NO_2. NO_2–halterna minskade signifikant sedan mätstarten under både sommar- och vinterhalvår vid Hensbacka. För NH_3 har inga statistiskt säkerställda förändringar noterats.

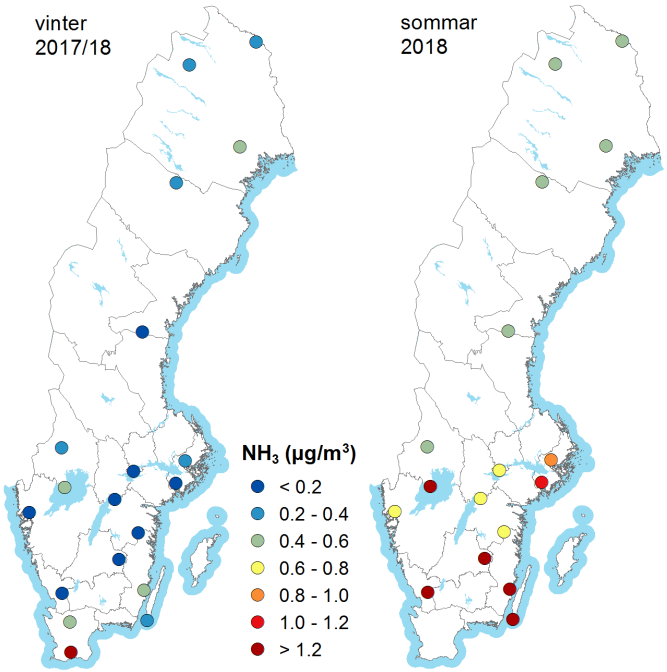
I Figur 4 visas halterna av NO_2 under vintern 2017/18 (oktober-mars) och sommaren 2018 (april-september) vid alla mätplatser inom Krondroppsnätet. Under vintern uppmättes högst halter av NO_2 i Skåne- och Stockholmsregionen följt av Halland och Ölands södra udde och lägst halter uppmättes i norra halvan av

Sverige. När det gäller lufthalter av kvävedioxid under sommartid var mönstret över landet likartat, men uppmätta halter är generellt lägre under sommaren.



Figur 4. Lufthalter av kvävedioxid (NO_2) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid mätstationerna inom Krondroppsnätet i Sverige. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

I Figur 5 visas halterna av ammoniak under vintern 2017/18 och sommaren 2018 vid alla mätplatser inom Krondroppsnätet. Högst halter uppmättes sommaren 2018 i södra Götaland och sydöstra Svealand. Under vintern uppmättes högst ammoniakhalter vid Stenshult på Romeleåsen i Skåne. Under vintern förekommer under vissa månader ibland även höga halter av ammoniak i norra Sverige. Vi har ännu inte hittat någon uppenbar förklaring till dessa höga halter under vintern.



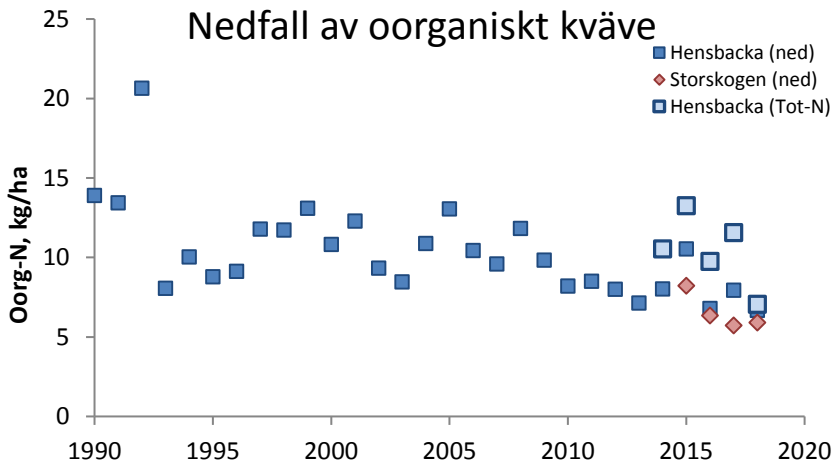
Figur 5. Lufthalter av ammoniak (NH_3) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid mätstationerna inom Krondroppsnätet i Sverige. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

2.2 Utsläppen av kväve minskar – men minskar nedfallet?

Nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden, vilket huvudsakligen motsvarar våtdepositionen, har vid Hensbacka varierat mellan 6 och 21 kg per hektar och år under mätperioden, Figur 6. Under det hydrologiska året 2017/18 uppmättes ett nedfall på 5,9 kg oorganiskt kväve per hektar på öppet fält vid Storskogen och 6,7 kg per hektar vid Hensbacka. Nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden har minskat signifikant med 42 % vid Hensbacka under 20-årsperioden 1999–2018. Som jämförelse har de rapporterade utsläppen av kväveoxider minskat med 48 % från EU-28 respektive 46 % från Sverige under 20-årsperioden 1997–2016, och ammoniak har minskat med 17 % från EU-28 respektive 15 % från Sverige under motsvarande tidsperiod (CEIP, 2019).

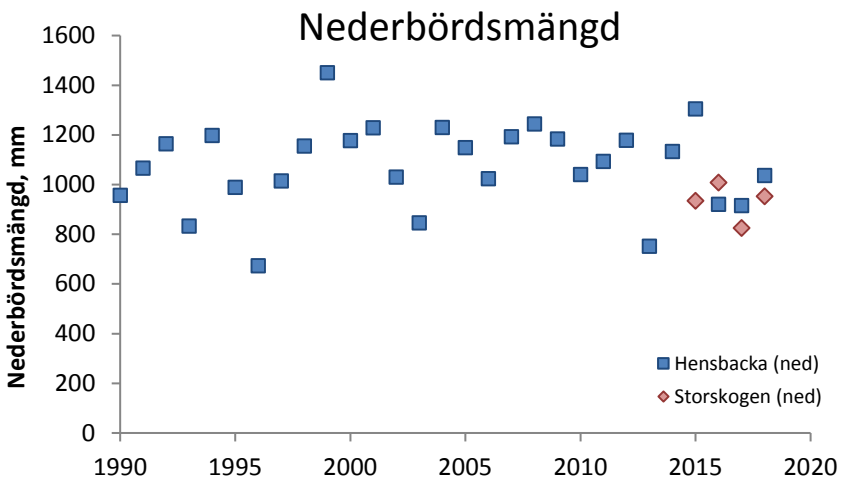
Tidigare har det varit svårt att med mätningar visa att kvävenedfallet i Sverige har minskat i motsvarande grad som minskningen av rapporterade utsläpp av kväve (t.ex. Hansen m.fl., 2013). Detta kan ha flera olika förklaringar. Dels spelar nederbördsmängderna roll för storleken på kvävenedfallet. Vidare kan generella förändringar i atmosfärens kemiska sammansättning spela roll för hur långt och med vilken effektivitet som utsläpp av föroreningar från kontinentala och södra Europa transporteras till Sverige. Slutligen finns det svårigheter med att mäta kvävenedfall till skog via krondropp, på grund av den interncirkulering av kväve som sker i trädkronorna, vilket beskrivs i kapitel 1. På grund av de senaste årens relativt låga kvävenedfall är det, för vissa mätplatser och större områden, lättare att visa på ett minskat kvävenedfall över Sverige.

Vid provytan Hensbacka, belägen i de västra delarna av länet, finns all den mätutrustning som krävs för att uppskatta det total nedfallet av kväve till skog, vilket inkluderar nedfall med nederbörden till öppet fält, krondropp samt mätningar av torrdeposition med strängprovtagare. Vid Hensbacka beräknades det totala kvävenedfallet under 2017/18 till 7,0 kg per hektar. Detta är något högre jämfört med nedfallet enbart i nederbörden på öppet fält (Figur 6). Torrdepositionen vid Hensbacka har beräknats till 0,4 kg under 2017/18. Resultaten från beräkningarna av det totala nedfallet av kväve till skog, baserat på mätningarna med strängprovtagare, redovisas för hydrologiskt år endast från och med 2014. Före 2014 finns beräkningar endast för kalenderår (Karlsson m.fl., 2018a). Det beräknade totala kvävenedfallet vid Hensbacka (sedan 2001) visar ännu inte på någon statistiskt säkerställd nedgång.



Figur 6. Årligt nedfall av oorganiskt kväve vid Hensbacka och Storskogen, baserat på hydrologiskt år. Dels visas kvävenedfallet med nederbörden på öppet fält för alla tillgängliga mätår och dels visas det totala oorganiska kvävenedfallet (torr- och våtdeposition) för de hydrologiska åren 2013/14–2017/18 vid Hensbacka.

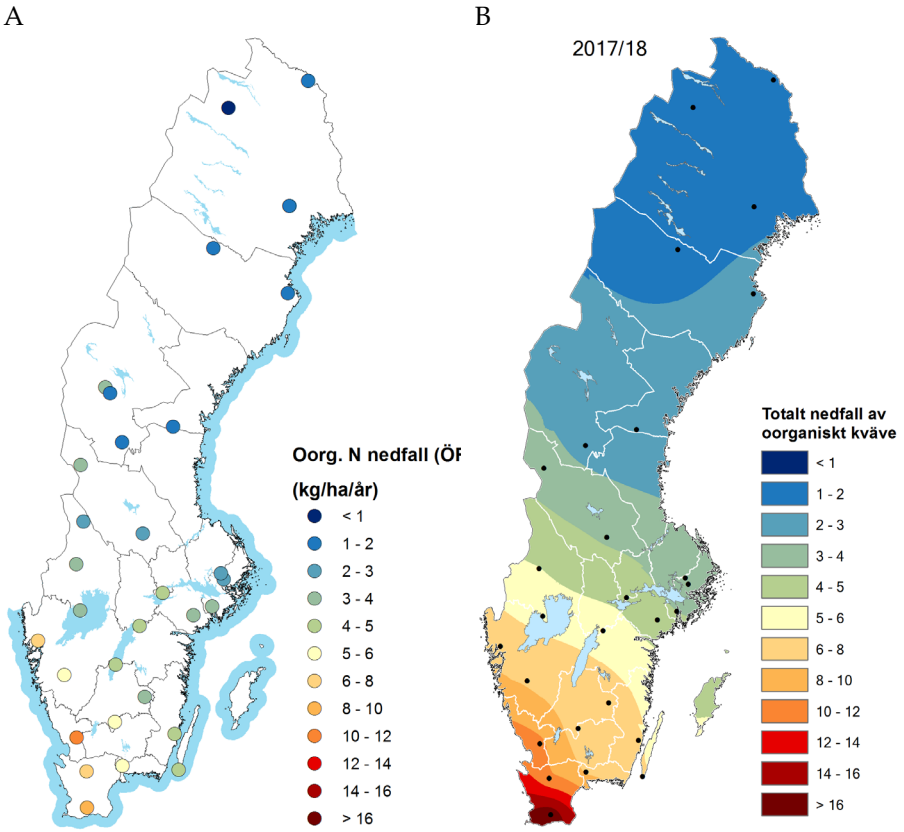
Nedfallet av kväve varierar mellan olika år och mätplatser, till viss del beroende på variation i nederbördsmängder. Nederbördsmängderna vid Hensbacka har varierat mellan 670 och 1450 mm sedan 1989/90, se Figur 7. Under det hydrologiska året 2017/18 var nederbörden 1040 mm, och vid Storskogen var den något lägre, 950 mm. Det finns ingen statistiskt säkerställd förändring av nederbördsmängden vid Hensbacka.



Figur 7. Uppmätta nederbördsmängder vid Hensbacka och Storskogen.

I Figur 8 visas en karta över det uppmätta kvävenedfallet med nederbörden till öppet fält respektive en geografiskt interpolerad karta över det beräknade totala nedfallet av kväve till barrskog under 2017/18 för hela landet. Metoden för att beräkna det totala nedfallet av kväve till barrskog beskrivs i rapporten Karlsson m.fl. (2018a). Det beräknade årliga totala kvävenedfallet över Västra Götalands län låg i intervallet 5–10 kg per hektar. Den kritiska belastningen för övergödande kväve till gran- och tallskog i Sverige, 5 kg per hektar och år (Moldan m.fl., 2011) överskreds i hela Västra Götalands län under 2017/18, Figur 8, och har gjort så under mycket lång tid. Mätresultat från alla tidigare mätningar vid olika platser i Västra Götalands län visades i föregående års Krondroppsnätsrapport för (Pihl Karlsson m.fl., 2018).

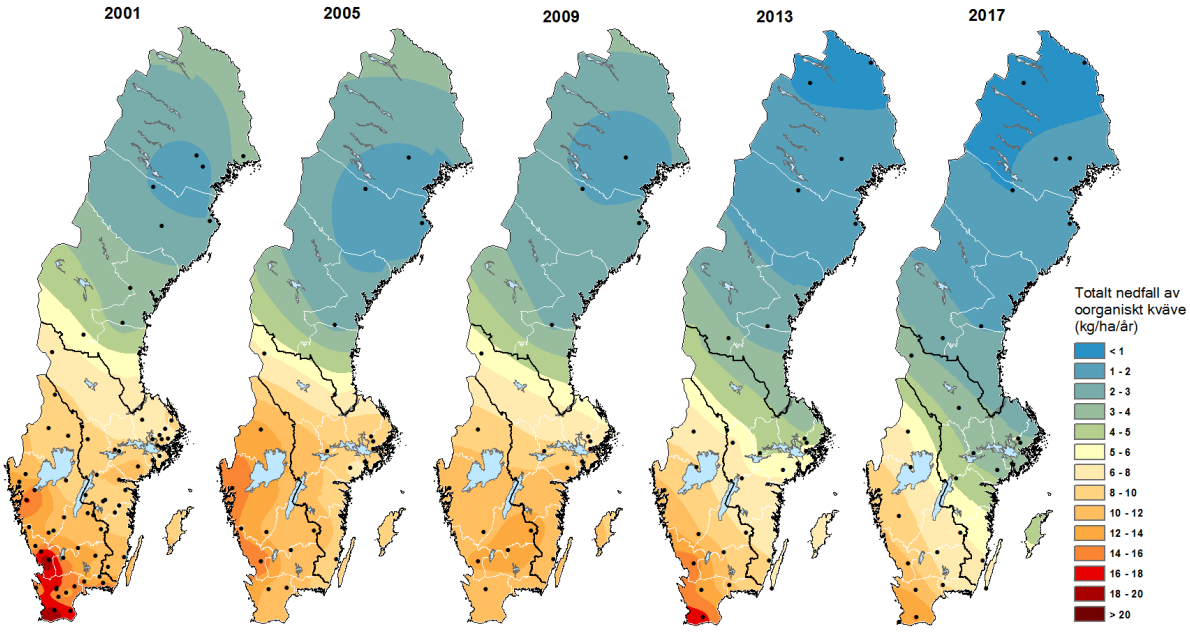
Totaldepositionen av oorganiskt kväve i Sverige under det hydrologiska året 2017/18 varierade mellan 1 kg per hektar och år i norr och 20 kg per hektar och år i sydväst, Figur 8B, vilket är betydligt högre än nedfallet på öppet fält, Figur 8A, framför allt i södra Sverige. Totaldepositionen överskred den kritiska belastningen för övergödande kväve i hela Götaland och södra halvan av Värmland under det hydrologiska året 2017/18.



Figur 8. Nedfall av oorganiskt kväve (NO_3 + NH_4) under det hydrologiska året 2017/18. A. Uppmätt nedfall till öppet fält. B. En geografiskt interpolerad karta över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition). 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. (2018a). Interpolering har gjorts med Kriging-metodik.

Totaldepositionen av kväve finns beräknad för alla kalenderår sedan 2001 (Karlsson m.fl., 2018a samt http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/). I Figur 9 visas kartor över totaldepositionen av kväve för perioden 2001–2017 med fyra års intervall. En trendanalys visade att det beräknade totala kvävenedfallet till barrskog i sydvästra Sverige (dit Västra Götalands län räknades i dessa analyser) minskade signifikant under perioden 2001–2017 med 26 % (http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/).

Det beräknade totala kvävenedfallet vid Hensbacka har sedan 2001 (kalenderår) varierat mellan 7 kg per hektar och år och 16 kg per hektar och år. Under 2008–2013 mättes inte torrdepositionen med strängprovtagare vid Hensbacka. En trendanalys baserat på resultaten från mätningarna och beräkningarna av det totala kvävenedfallet till barrskog som gjorts vid Hensbacka för kalenderåren 2001–2007 och 2014–2018 visar ännu inte på någon statistisk säkerställd nedgång. Detta kan till viss del bero på att vissa dataunderlag saknas på grund av det långa uppehållet i mätserien för mätningarna med strängprovtagare.



Figur 9. Nedfall av totalt oorganiskt kväve (NO_3 + NH_4) under kalenderåren 2001, 2005, 2009, 2013 samt 2017. Geografiskt interpolerade kartor över beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition). 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. (2018a). Interpolering har gjorts med Kriging-metodik.

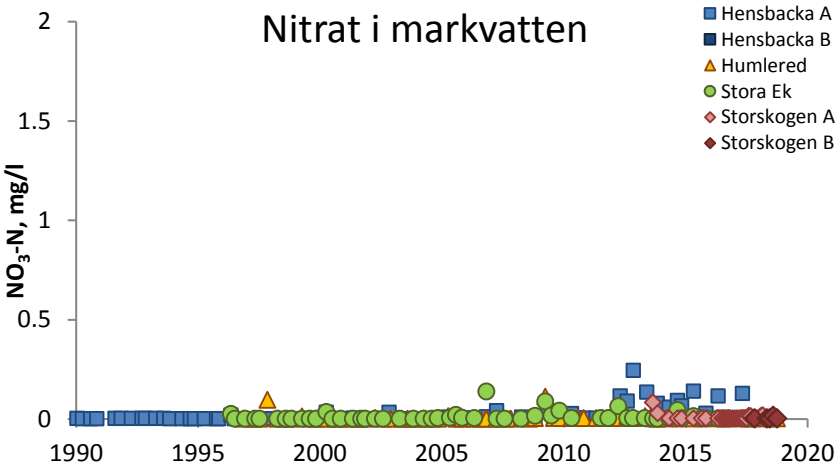
2.3 Tar skogen upp allt kväve?

I Sveriges skogar tas vanligtvis nästan allt oorganiskt kväve upp av träd, övrig vegetation och mikroorganismer, med mycket låg utlakning som följd (Tamm, 1991). I sydvästligaste Sverige, framför allt i Skåne och Halland, har dock kraftigt förhöjda halter av nitratkväve uppmätts i markvattnet på ett flertal mätplatser genom åren (Akselsson m.fl., 2010). Även i andra delar av landet finns exempel på förhöjda halter inom Krondroppsnätet, men då oftast efter störningar såsom avverkning, storm eller insektsangrepp (Hellsten m.fl., 2015; Karlsson m.fl., 2018b).

Under 2018 var nitrathalterna i markvattnet i ostörd skog generellt låga på mätplatserna i Västra Götalands län, Figur 10. I Humlered uppmättes inga halter över detektionsgränsen, och även i Storskogen och Stora Ek var halten mycket låg, under eller nära detektionsgränsen. I Hensbacka B var marken för torr under 2018, så där finns inga markvattenmätningar. Även höstmätningen i Stora Ek uteblev på grund av torkan. Vid den tidigare ytan vid Hensbacka har det ibland förekommit förhöjda halter av nitrat i markvattnet (upp till 0,3 mg per liter), se Figur 10. De förhöjda halterna beror troligtvis på störningar i form av stormskador och nedfallna träd. På senare år, i synnerhet under 2017, har det förekommit en del nedfallna träd på ytan, och detta var

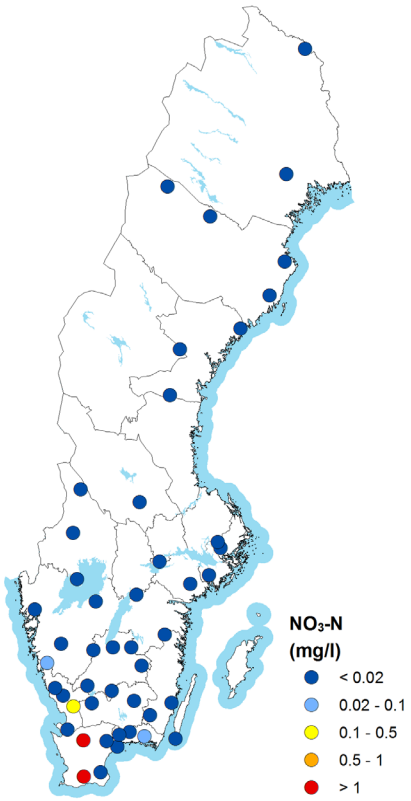
anledningen till att ytan flyttades under hösten 2017. Vid en tidigare yta i länet, Klippan, ökade halterna av nitrat i markvattnet dramatiskt, upp till närmre 20 mg/l, efter ett angrepp av granbarkborre 2008 (Karlsson m.fl., 2018b).

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 skogar som drabbats av störningar i form av stormskador eller barkborreangrepp.



Figur 10. 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.

En sammanställning av data från samtliga nu aktiva Krondroppsytor i Sverige visar att nitratkvävehalterna (angivet som median för åren 2016–2018) generellt har varit låga i hela Sverige under denna tidsperiod, med undantag av två mätplatser i Skåne, Stenshult och Hissmossa, där medianen översteg 1 mg per liter, vilket innebär en kraftig förhöjning, Figur 11. För samtliga fyra ytorna med växande skog i Västra Götaland var medianvärdet under detektionsgränsen, precis som på merparten av mätplatserna i Sverige.



Figur 11. Koncentrationen av nitratkväve (NO_3-N) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnätet redovisat som medianvärde från de senaste tre årens mätningar (2016–2018). Ytor med mindre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats eller gödslats har tagits bort.

2.4 Regional miljömålsuppföljning - hur används mätningarna av kväve i nedfall och markvatten bäst?

Regional miljömålsuppföljning utgör ett instrument för att utvärdera om den samlade miljöbelastningen från lokala utsläpp av föroreningar tillsammans med långdistanstransporterade föroreningar ligger inom ramen för vad som kan anses som acceptabelt.

Ett minskat kvävenedfall är viktigt för flera olika miljökvalitetsmål: *Ingen övergödning*, *Bara naturlig försurning*, *Levande sjöar och vattendrag*, *Grundvatten av god kvalitet*, *Myllrande våtmarker*, *Levande skogar* och *Storskalig fjällmiljö*. Kväveutsläppen har dock visat sig vara svårare att minska än till exempel svavelutsläppen (Pihl Karlsson m.fl., 2011). Det är därför viktigt att följa upp hur kvävenedfallet utvecklas, vilket ledde till att en ny indikator utvecklades och infördes under 2018, *Nedfall av kväve till barrskog*. Indikatorn gäller för miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning*, men kan även användas vid utvärdering av övriga ovan nämnda miljökvalitetsmål.

Inom Krondroppsnätet beräknas från och med 2018 totalt nedfall av oorganiskt kväve till barrskog, vilket beskrivits ovan. Beräkningar har gjorts även bakåt i tiden, så att tidsserier finns från 2001. Resultaten från dessa beräkningar används för utvärdering av indikatorn *Nedfall av kväve till barrskog*. Nedfall av kväve har ingått i tidigare indikatorer för andra miljömål, men har då baserats på nedfall med nederbörden på öppet fält. Det totala nedfallet är avsevärt högre än nedfallet på öppet fält, upp till dubbelt så högt vid vissa platser, och totalt kvävenedfall ger därmed en mer rättvisande bild av tillståndet vad gäller kvävebelastning av skog. Det beräknade totala kvävenedfallet i granytan vid Hensbacka visar dock ännu inte på någon statistiskt säkerställd nedgång (sedan 2001).

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. 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. Det finns ingen miljömålsindikator som direkt följer upp nitratkvävehalter i markvatten, men det är ändå en viktig pusselbit vid utvärdering av främst miljökvalitetsmålen *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning*, och nitrathalter i markvatten följs därför upp i fördjupade utvärderingar (Naturvårdsverket, 2015: Havs- och vattenmyndigheten, 2019) och ofta även i regionala miljömålsuppföljningar (Länsstyrelsen Västra Götalands län, 2018). Mätningar från Krondroppsnätet utgör underlagsmaterialet vid dessa utvärderingar.

I de delar av Sverige som tagit emot mest kvävenedfall, främst Skåne och Halland, har förhöjda halter av nitratkväve i markvattnet uppmätts på ett flertal platser inom Krondroppsnätet genom åren. Detta är ett tydligt tecken på att det finns mer kväve än vad ekosystemet kan ta hand om, och indikerar en risk att skogsmark kan börja bidra mer till utlakningen av oorganiskt kväve. I Västra Götalands län var nitratkvävehalterna i markvattnet låga på samtliga tre mätplatser där markvattenprov kunde tas under det hydrologiska året 2017/18. De periodvis förhöjda halterna vid bland annat Hensbacka tidigare under mätserierna visar att kväveomsättningen i marken är mycket känslig för störningar.

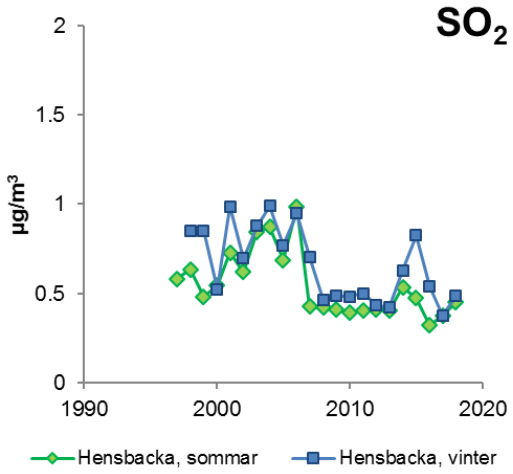
3 Försurning – fortfarande ett problem?

Fotograf: Cecilia Akselsson

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 svavel (SO_x) från industrin och förbränning av kol och olja är den största orsaken till försurning av mark och vatten i Sverige. Vid låga pH omvandlas aluminium till 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 metaller, t.ex. kadmium och bly, blir mer lättrörliga i marken och kan läcka ut till ytvattnet.

3.1 Minskar lufthalterna av svaveldioxid ytterligare?

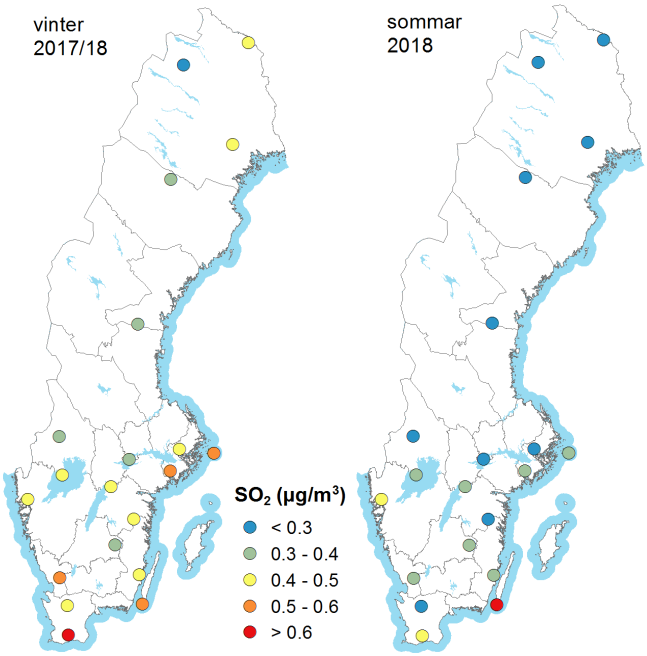
Liksom för kväveoxider finns det långa värdefulla tidsserier av lufthalter av svaveldioxid (SO_2) på månadsbasis inom länet. Vid Hensbacka mäts lufthalterna av SO_2 månadsvis sedan år 1997, Figur 12. Lufthalterna av SO_2 har minskat på ett statistiskt säkerställt vis, både under sommar- och vinterhalvåret, med 35 respektive 47 %. Under kalenderårsperioden 2001 till 2018 har lufthalterna av SO_2 vid Hensbacka minskat med 45 %. Som jämförelse har de rapporterade utsläppen av oxiderat svavel från EU-28 under perioden 2001–2016 minskat med 79 % och från Sverige under motsvarande period med 60 % (CEIP, 2019).



Figur 12. Lufthalter av svaveldioxid (SO_2) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår för Hensbacka sedan 1997. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars. Signifikant minskning både sommar- och vinterhalvårsmedelvärden.

Lufthalterna av SO_2 under sommaren 2014 och vintern 2015 påverkades av omfattande svavelutsläpp från ett vulkanutbrott på Island (Hellsten m.fl., 2017). Dessutom sänktes halterna av svavel i fartygsbränsle 1 januari 2015 från 1 till 0,1 procent, vilket bör ha påverkat lufthalterna av svavel över hela södra Sverige. Det är svårt att direkt utvärdera de kombinerade effekterna av dessa händelser. Möjligen skulle en statistisk analys av månadsvisa data i relation till väderförhållanden och vindriktning m.m. kunna reda ut i vilken mån sänkta svavelhalter i fartygsbränsle bidragit till att minska lufthalterna av SO_2 i Västra Götalands län.

I Figur 13 visas halterna av SO_2 under vintern 2017/18 och sommaren 2018 vid övriga mätplatser inom Krondroppsnätet. Under vintern 2017/18 uppmättes högst SO_2-halter vid de kustnära mätplatserna i södra och mellersta Sverige. Även i norra Sverige var halterna av SO_2 relativt höga under vintern 2017/18 vilket eventuellt kan bero på småskalig vedeldning. Under sommaren 2018 var halterna generellt lägre, allra högst halter uppmättes vid Ottenby på södra Öland, troligen orsakat av fartygstrafiken i området.

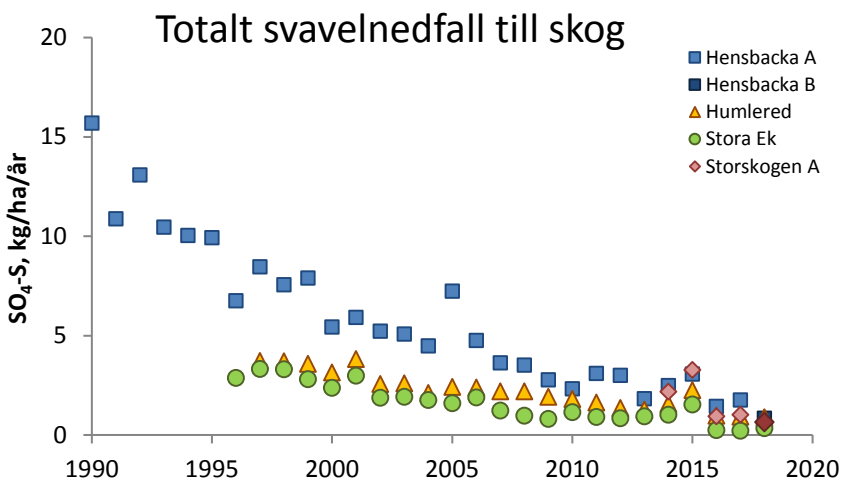


Figur 13. Lufthalter av svaveldioxid (SO_2) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid mätstationerna inom Krondroppsnätet i Sverige. Sommarhalvåret omfattar april till september och vinterhalvåret omfattar oktober till mars.

3.2 Fortsätter svavelnedfallet att minska?

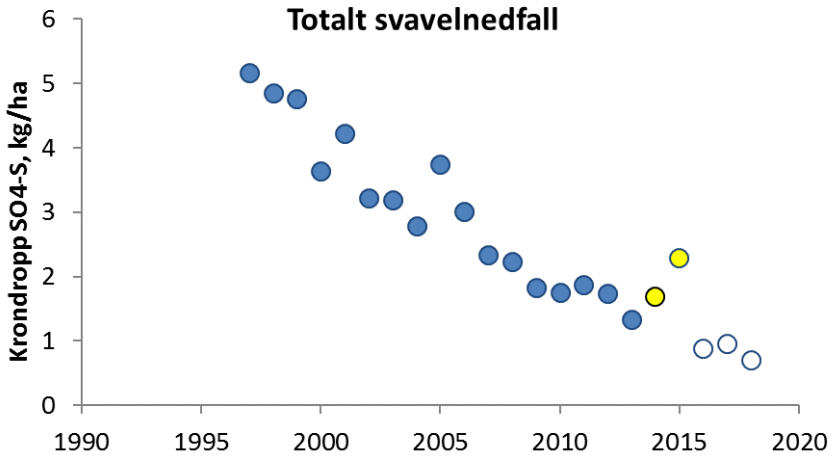
Svavelnedfallet via krondropp ger ett bra mått på det totala svavelnedfallet till skog, eftersom det inte sker något betydande upptag direkt i trädkronorna. Svavelnedfallet till skogen i länet har minskat kraftigt och minskningen är statistiskt säkerställd för de tre aktiva skogsytorna i länet med långa tidsserier (22–29 år). Vid Storskogen är tidsserien för kort, endast 5 år, för att kunna dra några statistiska slutsatser om svavelnedfallet. Under det hydrologiska året 2017/18 uppmättes det lägsta nedfallet någonsin vid två av skogsytorna med långa mätserier, Figur 14. Svavelnedfallet 2017/18 varierade mellan 0,3 kg per hektar vid granytan Stora Ek i de nordostliga delarna av länet och 0,9 kg per hektar i tallytan vid Humlered längre söderut.

Vid Hensbacka finns den längsta aktiva mätserien i länet, 29 år. Där har svavelnedfallet utan havssaltsbidrag minskat med 96 % sedan mätstarten 1989/90, Figur 14. Vid Stora Ek och Humlered har svavelnedfallet minskat med 94 respektive 78 % sedan mätstarten 1995/96 och 1996/97. Om man bara ser till 2000-talet (1999/00–2017/18) har svavelnedfallet vid mätplatserna i Västra Götalands län minskat med mellan 71 och 88 %. Detta kan jämföras med att under kalenderårsperioden 2000–2016 har emissionerna av SOx, mätt som SO_2, från EU-28 minskat med 79 % och från Sverige med 61 % (CEIP, 2019).



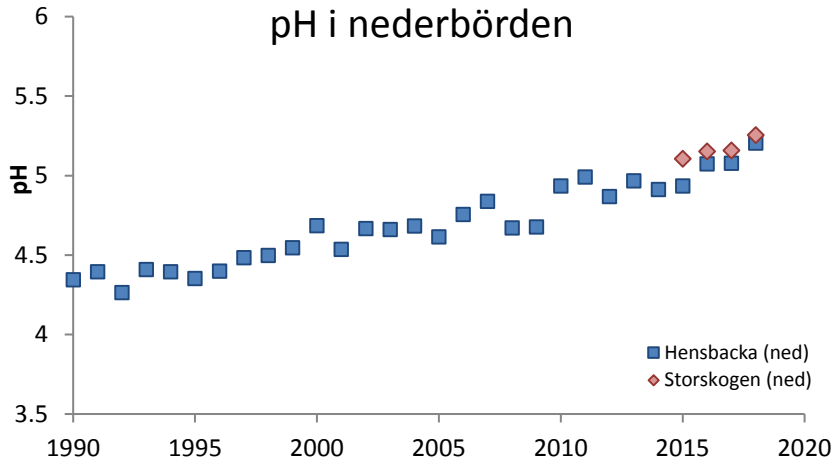
Figur 14. Årligt nedfall av svavel till aktiva provytor i Västra Götalands län. Bidraget från havssalt har exkluderats. Beräkningarna gäller hydrologiskt år, oktober–september. Mätningarna vid Hensbacka flyttades 2017, vilket indikeras med olika symboler för Hensbacka A och B. Alla provytor utgörs av granskog, förutom Humlered som är en tallskog.

Som nämnts ovan sänktes den 1 januari 2015 gränsen för högsta tillåtna svavelhalt i fartygsbränsle, från 1,0 till 0,1 % svavel. Dessförinnan sänktes gränsen från 1,5 till 1,0 % till år 2010. För att analysera om svavelnedfallet till skogarna i Västra Götaland minskat som ett resultat av dessa begränsningar har årliga data för nedfall av svavel som krondropp analyserats för tre platser i Västra Götalands län, Hensbacka, Humlered och Stora Ek, med kontinuerliga mätserier under perioden 1996/97–2017/18, Figur 15. Medelvärdet för de tre platserna under perioden 1996/97–2012/13 har markerats med blå symboler. Dessa år representerar perioden före den senaste sänkningen av svavelhalten i fartygsbränslet. Medelvärdet för de hydrologiska åren 2013/14 och 2014/15 har markerats med gult då svavelnedfallet under dessa år var påverkade av ett vulkanutbrott på Island som pågick mellan den 31 augusti 2014 till 27 februari 2015 (Hellsten m.fl., 2017). Medelvärdet för åren 2015/96–2017/18 har markerats med vitt och representerar perioden efter den senaste sänkningen av svavelhalten i fartygsbränsle. Minskningen av svavelnedfallet förefaller följa ett linjärt förlopp, Figur 15, vid de tre platserna i länet och mätvärdena för åren 2015/16–2017/18 ligger i linje med tidigare minskning. Det finns därför i denna analys inga tydliga tecken på att minskat svavelinnehåll i fartygsbränsle direkt har påverkat svavelnedfallet till skog i Västra Götalands län.



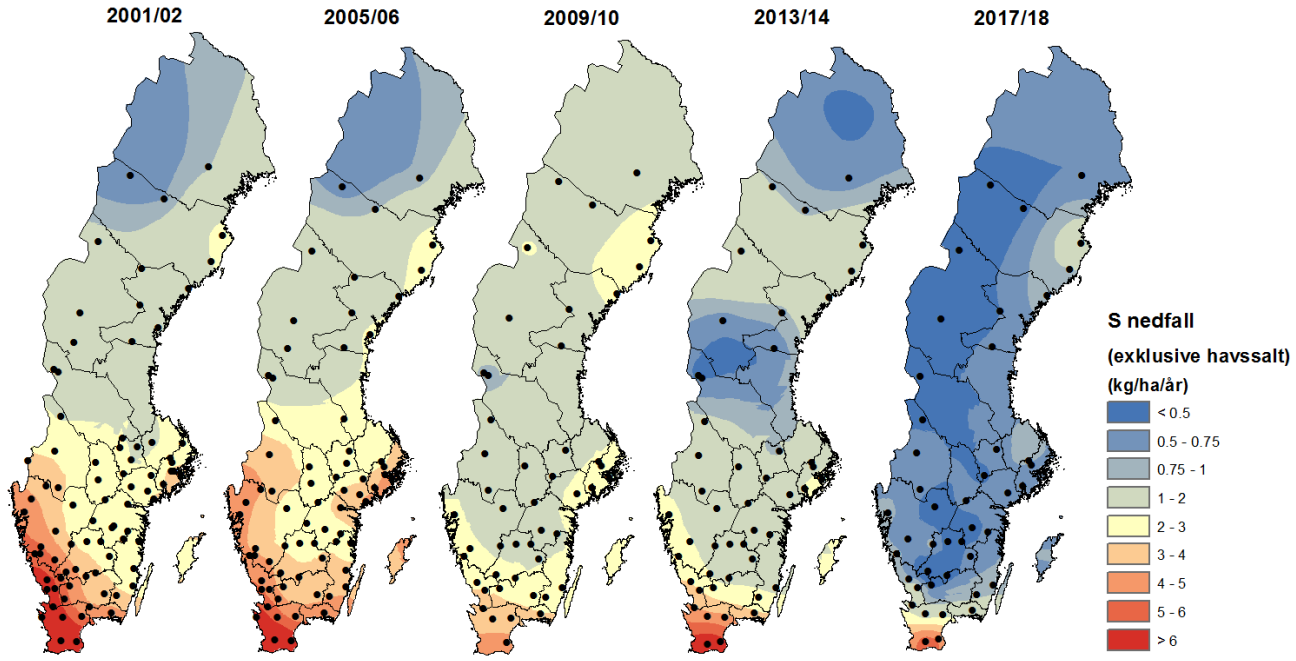
Figur 15. Årliga medelvärden för nedfall av svavel (SO4-Sex) mätt som krondropp för tre platser i med långa mätserier i Västra Götalands län; Hensbacka, Humlered och Stora Ek, under 1996/97–2017/18. Vid Humlered växer tall, medan det vid de övriga platserna är gran. Mätningarna vid Hensbacka flyttades en kortare sträcka 2017. Mätningarna 1996/97–2012/13 är markerade med blå symboler. Dessa mätningar utgör år före sänkningen av svavelhalten i fartygsbränsle. De hydrologiska åren 2013/14 och 2014/15 är markerade med gult då de är påverkade av vulkanutbrottet på Island (31 augusti 2014 – 27 februari 2015). Åren 2015/16–2017/18 är markerade med vitt och inträffar efter den senaste sänkningen av svavelhalten i fartygsbränslet.

Främst som en följd av ett minskat svavelinnehåll har nederbördens pH vid Hensbacka ökat från omkring 4,4 till omkring 5 mellan 1989/90 och 2017/18 (Figur 16). Försurningsbelastningen via nederbörden har därför minskat.



Figur 16. pH i nederbörden vid Hensbacka och Storskogen. Nederbörden mäts månadsvis och pH-värdet medelvärdesbildas för hydrologiskt år, oktober–september.

Nedfallet av svavel till granskog i Sverige visas i Figur 17 för vart fjärde år sedan 2001/02. Det framgår att den högsta belastningen av svavelnedfallet har varit i sydvästra Sverige, inklusive Västra Götalands län. Skillnaderna har dock minskat med åren och under 2017/18 hade Västra Götaland en svavelbelastning jämförbar med de norra delarna av Sverige. I kartan ser man även de förhöjda svavelhalterna på grund av vulkanutbrottet på Island under 2013/14.



Figur 17. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) med fyra års mellanrum under perioden 2001/02–2017/18 i krondroppet vid mätstationerna (grandominerade) inom Krondroppsnätet i Sverige. Interpolering har gjorts med Kriging-metodik.

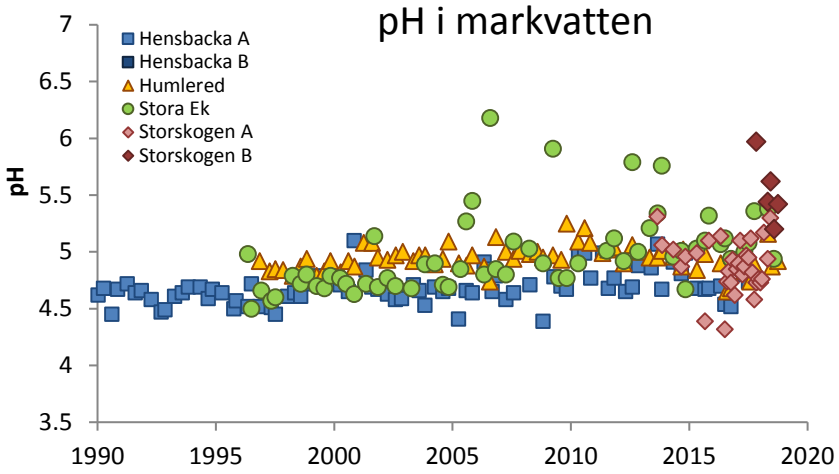
3.3 Hur går återhämtningen från försurningen?

Markvattnets försurningsstatus vid Krondroppsnätets mätplatser beror till stor del 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: överskott av kväve som inte tas upp av vegetationen, havssaltsnedfall som leder till jonbyte samt olika former av störningar i marken som kan öka halten löst orga-

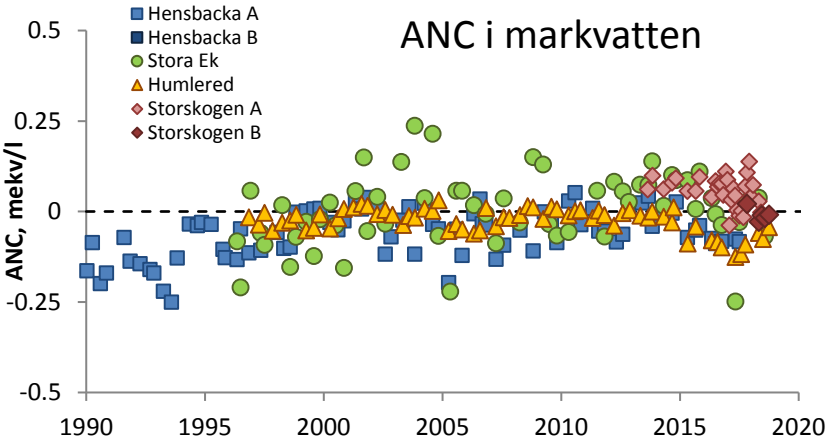
niskt kol i marken (Akselsson m.fl., 2013). På längre sikt påverkar även skogsbruket markvattnets försurningsstatus (Akselsson m.fl., 2018). Västra Götaland tillhör den del i sydväst som har tagit emot ett högt nedfall av svavel och kväve, och är därmed ett av de mest försurningsdrabbade länen. Närheten till havet gör även att havssaltsepisoder har stor påverkan på markvattnets försurningsstatus.

Liksom tidigare år hade markvattnet på mätplatserna i Västra Götalands län under 2018 generellt låga värden för pH, lågt ANC (syraneutraliserande förmåga) och förhöjda halter av oorganiskt aluminium, Figur 18–20. Markvattnets pH var omkring 5 i Humlered (4,9–5,2), Stora Ek (4,9–5,4) och Storskogen A (4,7–5,3), Figur 18. Mätplatsen vid Storskogen B hade högst pH-värde i markvattnet (5,2–5,6). Vid Hensbacka B kunde ingen provtagning göras för det var för torrt i marken.

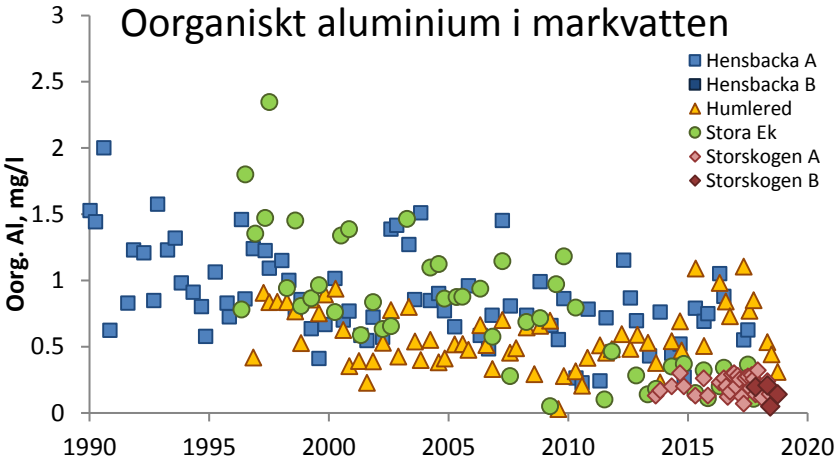
Vid två av ytorna, Storskogen B och Humlered, var markvattnets ANC negativt vid samtliga mättillfällen under året, vilket innebär att avrinnande vatten från rotzonen inte har någon syrabuffrande förmåga, Figur 19. Vid Stora Ek och Storskogen A var ANC omkring 0, så inte heller där har markvattnet någon större syrabuffrande förmåga. Mest negativt var ANC i Humlered. Det var även vid denna mätplats som halterna av oorganiskt aluminium var som högst, upp till 0,5 mg per liter, Figur 20.



Figur 18. pH 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, exempelvis saknas mätvärden helt från Hensbacka B under 2018.

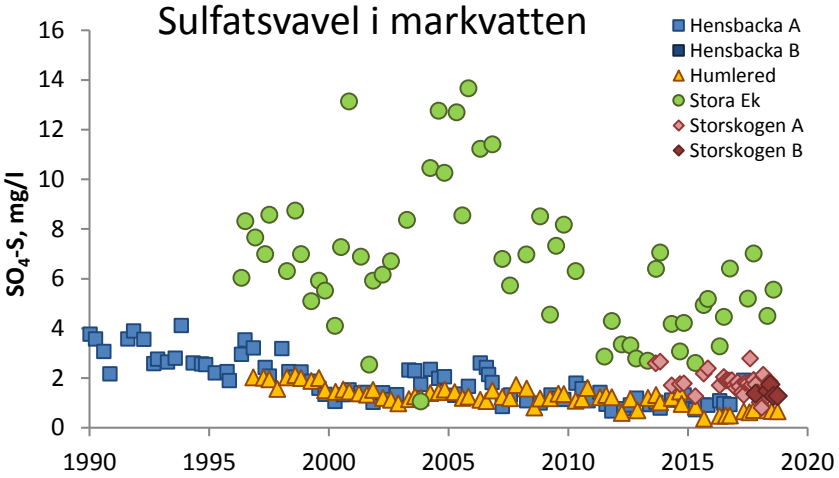


Figur 19. ANC (den syraneutraliserande förmågan) i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken, exempelvis saknas mätvärden helt från Hensbacka B under 2018.



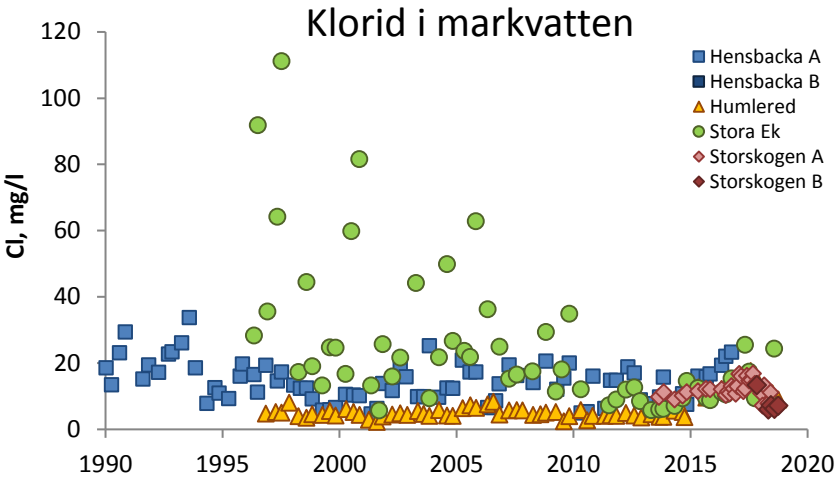
Figur 20. Oorganiskt aluminium i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken, exempelvis saknas mätvärden helt från Hensbacka B under 2018.

För att förstå de långsiktiga trenderna för markvattnets försurningsstatus är tidstrender för svavel-, klorid- och nitratkvävehalter i markvattnet en bra utgångspunkt, som mått på svavelnedfall, havssaltsepisoder med efterföljande jonbyte, och överskott av kväve (se ovan). De tre mätplatser i länet där mätningar pågått i mer än 20 år, Hensbacka, Humlered och Stora Ek, uppvisar en signifikant minskning av svavelhalten i markvattnet, Figur 21, som följd av minskningen i svavelnedfall (avsnitt 3.2). Kraftigast är minskningen i Hensbacka, där halten har minskat med 73 %. Svavelhalten i markvattnet var högst vid Stora Ek, och halterna har varierat kraftigt under mätperioden. Att Stora Ek skiljer ut sig med högre halter, kan inte förklaras av högre svavelnedfall där jämfört med länets övriga mätplatser, eftersom svavelnedfallet vid Stora Ek har varit lägre än vid de övriga mätplatserna, se Figur 14. Istället beror skillnaden troligtvis på markens egenskaper, till exempel dess buffringskapacitet samt dess förmåga att adsorbera svavel. Vid Storskogen var halterna lägre än vid Stora Ek, men de båda mätplatserna vid Humlered och Hensbacka har haft svavelhalter på en ännu lägre nivå. Humlered är den yta i Västra Götalands län där halten för närvarande är lägst. Samtliga tidigare mätningar, inklusive avslutade mätlokaler, visas i föregående års Krondroppsnätsrapport (Pihl Karlsson m.fl., 2018).



Figur 21. 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, exempelvis saknas mätvärden helt från Hensbacka B under 2018.

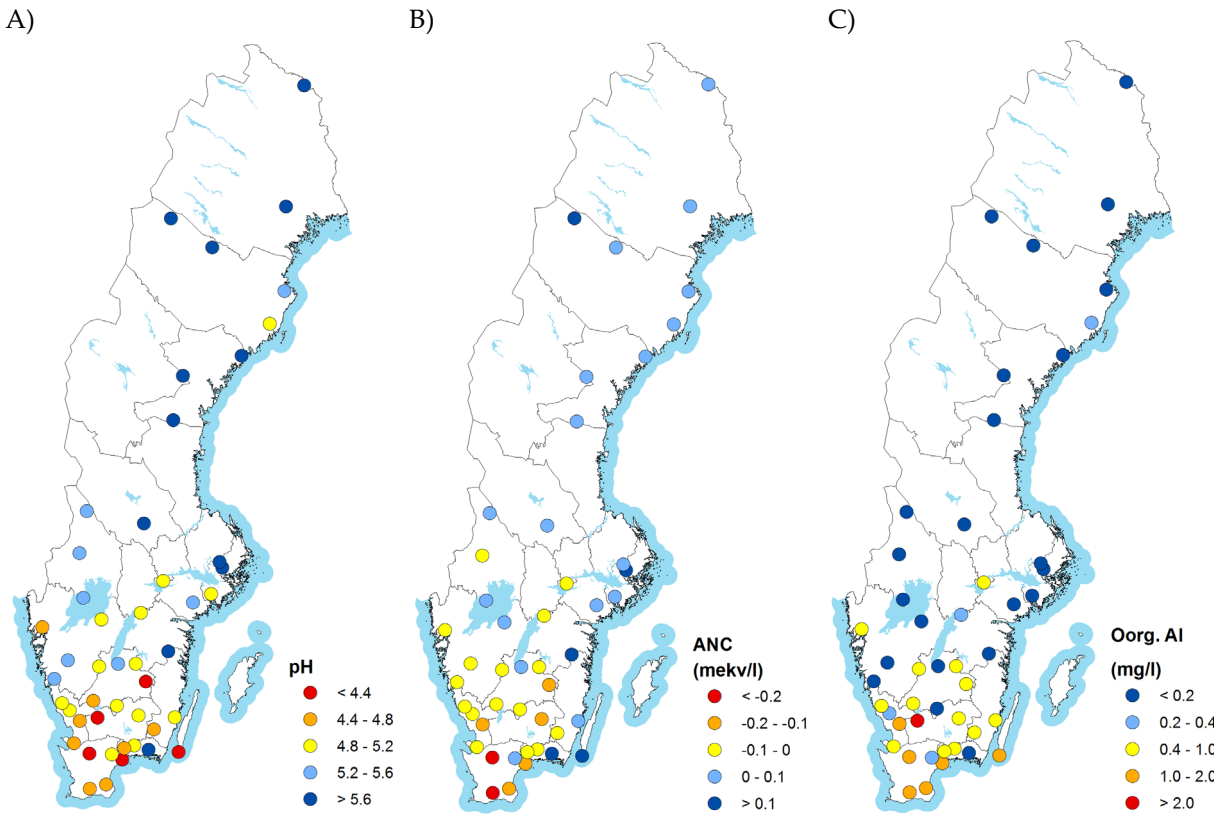
Det västliga läget innebär att skogarna i Västra Götalands län kan utsättas för havssaltsepisoder, som får effekter på markvattenkemin. Stora Ek är den mätplats som har haft högst kloridhalter i markvattnet, över 100 mg per liter i slutet av 1990-talet, trots att den ligger längst bort från kusten, se Figur 22. Runt 2017 noterades att kloridhalterna i markvattnet vid samtliga mätplatser generellt sett hade ökat. Detta tyder på en saltepisod i länet som sedan 2018 har klingat av.



Figur 22. 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, exempelvis saknas mätvärden helt från Hensbacka B under 2018.

Av de tre mätplatserna som har långa tidsserier har en signifikant återhämtning från försurning skett på två platser, Hensbacka och Stora Ek. Markvattnets pH ökade och halten oorganiskt aluminium minskade signifikant på båda platserna, medan ANC ökade enbart i Hensbacka. Varken i Humlered eller i Storskogen har någon signifikant återhämtning skett, och i Storskogen har ANC till och med minskat. Havssaltseffekten runt 2017 syns tydligast i Humlered, där den resulterade i lågt pH och ANC samt förhöjda halter av oorganiskt aluminium, men även övriga mätplatser har påverkats. Den försurande effekten av kväve syns tydligt i Hensbacka, där nitrathalten var något förhöjd under perioden 2012–2017, samtidigt som både ANC och pH-halten i markvattnet sjönk.

Markvattnets försurningsstatus i Västra Götalands län jämfört med resten av landet, angivet som median för åren 2016–2018, visar att Västra Götalands län tillhör de län där markvattnet är relativt mycket försurningspåverkat, på grund av ett högt svavelnedfall under flera decennier i denna del av landet, Figur 23. En av de fyra mätplatserna med växande skog i länet, Hensbacka, har medianvärdet 4,7 för pH, vilket innebär samma nivå som flertalet mätplatser i Skåne, Halland och Blekinge, Figur 23a. Även vid Hensbacka är medianvärdet för markvattnets pH lågt, 4,9, liksom vid Stora Ek där medianvärdet är 5,1. Norr om Västra Götalands län har de flesta mätplatser medianer över eller omkring 5. Gradienten för medianen för markvattnets ANC de tre senaste åren följer i stora drag pH-gradienten i Sverige. ANC är negativt för samtliga mätplatser i Västra Götalands län, med undantag av Stora Ek där ANC är något över 0, Figur 23b. De flesta av mätplatserna i Götaland uppvisar negativt ANC, i Svealand är ANC vanligtvis omkring 0, och i Norrland är det positivt. Även halten oorganiskt aluminium uppvisar en liknande gradient, Figur 23c. I Västra Götalands län är medianvärdena 2016–2018 för oorganiskt aluminium mellan 0,2 och 0,8 mg per liter.



Figur 23. 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 (2016–2018). 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 eller gödslats har tagits bort.

3.4 Regional miljömålsuppföljning - hur används de försurningsrelaterade mätningarna bäst?

Den sammanlagda effekten av svavelnedfall, kvävenedfall och skogsbruk är avgörande för hur återhämtningen från försurningen går, och alla dessa tre påverkansfaktorer är därmed viktiga vid uppföljningen av miljökvalitetsmålet *Bara naturlig försurning* (Naturvårdsverket, 2019a, 2019b). Krondroppsnätet är centralt för utvärdering av svavel- och kvävenedfall. För indikatorn *Nedfall av svavel*, som enligt definitionen avser summan av vått och torrt nedfall till granskog, utgör Krondroppsnätets 36 mätningar i granskog i Sverige, varav 4 i Västra Götalands län, ett robust underlag. För närvarande används dock endast mätningar från öppet fält från Krondroppsnätet och andra miljöövervakningsnät (LNKN, IM) i den årliga nationella uppföljningen samt i de fördjupade utvärderingarna (Naturvårdsverket, 2019a, 2019b), vilket innebär en underskattning av nedfallet, framför allt för äldre data då torrdepositionen var ännu högre än idag. I regionala miljömålsuppföljningar används dock svaveldeposition via krondropp, till exempel i Västra Götalands län (Länsstyrelsen, 2018). På granytorna i Västra Götalands län, som har mätserier från 2001, har svavelnedfallet minskat signifikant, och minskningen uppgår till mellan 79 och 86 %.

Kvävenedfall utgör inte en indikator för *Bara naturlig försurning* i nuläget, men är viktig för uppföljning av miljökvalitetsmålet. Eftersom kvävenedfall ingår som indikator för *Ingen övergödning* kan utvärderingen av denna indikator, som baseras på mätningar och beräkningar av totaldeposition inom Krondroppsnätet, användas även inom försurningsmålet (se ovan).

Återhämtning från försurning återspeglas i försurningsutvecklingen i mark och vatten. Från och med 2018 finns ingen indikator för försurad mark, den enda indikatorn för återhämtning är *Försurade sjöar*. Försurad skogsmark är ändå viktig att följa upp, dels för att följa utvecklingen i marken i sig, dels för att återhämtning i marken är viktig för återhämtningen av sjöar och vattendrag. Därför följs tillståndet både i fasta marken och i markvatten upp i fördjupade utvärderingar (Naturvårdsverket 2015, 2019a) och regionala miljömålsuppföljningar.

Markkemi följs upp inom Markinventeringen, nationellt samt uppdelat på Norrland, sydvästra och mellersta/östra Sverige. Enligt den fördjupade utvärderingen från 2015 (Naturvårdsverket, 2015), ökade andelen skogsmark med hög eller mycket hög surhetsgrad från mitten av 1980-talet till 2005 i sydvästra Sverige. Därefter minskade andelen till 2011, till nästan samma nivå som i början av tidsserien. Tolkningen av denna utveckling försvåras dock av att metodiken var annorlunda i början av tidsserien. I den senaste fördjupade utvärderingen (Naturvårdsverket, 2019a) har utvecklingen i mark presenterats på ett annat sätt. I stället för att slå ihop olika försurningskriterier för att ta fram andel försurad skogsmark i olika klasser, har två bedömningar av andel försurad skogsmark gjorts, en baserad på pH i C-horisonten och en baserat på basmättnad i B-horisonten. Andel försurad skogsmark baserat på pH i C-horisonten har ökat signifikant mellan 1993 och 2014, vilket visar på att det blivit surare i denna horisont. En möjlig förklaring som anges är att sulfatjoner mobiliserats nedåt i markprofilen. Andel försurad skogsmark baserat på basmättnad i B-horisonten visar tvärtom på tendenser till minskad andel försurad skogsmark under samma period, dock ej signifikant, och de senaste åren har andelen ökat. Uttag av biomassa från skogen anges som en potentiell förklaring till att det inte skett någon signifikant förbättring av surhetstillståndet i B-horisonten enligt detta kriterium, trots kraftigt minskat surt nedfall.

I de fördjupade utvärderingarna från 2015 och 2019, samt i den regionala utvärderingen för Västra Götalands län från 2018, används även markvattenkemi från Krondroppsnätet i bedömningen av återhämtning från försurning. Markvatten från 50 m djup antas motsvara vatten som lämnat rotzonen, och kan därmed ses som en viktig länk mellan fast mark och ytvatten. En annan fördel med markvattenkemin är att mätningarna görs på exakt samma platser, tre gånger per år, vilket ju inte är möjligt vid markprovtagning. Detta innebär att, även om det är stor variation på korta avstånd i marken, så är tidsserierna för markvattenkemi robusta.

I de fördjupade utvärderingarna 2015 och 2019 studerades nivåer och trender för ANC i markvatten på Krondroppsnätets mätplatser. ANC (median för tidsperioden) var i de flesta fall under 0 i sydvästra Sverige. I mellersta/östra Sverige var det vanligare med ANC över 0 och i norra Sverige var ANC positivt på samtliga mätplatser. Detta stämmer överens med nedfallsgradienten, med minskande nedfall från sydväst till norr. I den fördjupade utvärderingen från 2015 analyserades trenderna för ANC (den syraneutraliserande förmågan) för perioden 1996–2013. I den sydvästra delen av Sverige visade drygt 40 % av platserna på en signifikant återhämtning medan resten inte visade på någon signifikant förändring. I den senaste fördjupade utvärderingen utvärderades en längre period, 1996–2017, och denna analys visade på återhämtning på en tredjedel av platserna i sydvästra Sverige. Även i mellersta/östra Sverige och Norrland skedde återhämtning på ungefär en tredjedel av platserna. Vid två av platserna i sydvästra Sverige skedde en signifikant minskning av ANC, i Jönköpings län och Värmland. På Värmlandslokalen är förklaringen ökat havssaltspåslag under de senaste åren, som lett till en minskning av ANC, och det är troligt att ANC ökar igen om inte den ökade havssaltspåverkan fortsätter. Vid de tre platserna i Västra Götalands län, som ingick i den fördjupade utvärderingen för 2019, Hensbacka, Stora Ek och Humlered, har ANC ökat signifikant vid Stora Ek (1996–2017), men vid de övriga två mätplatserna kunde inga signifikanta förändringar i ANC påvisas under motsvarande tidsperiod.

4 Aktuellt & notiser

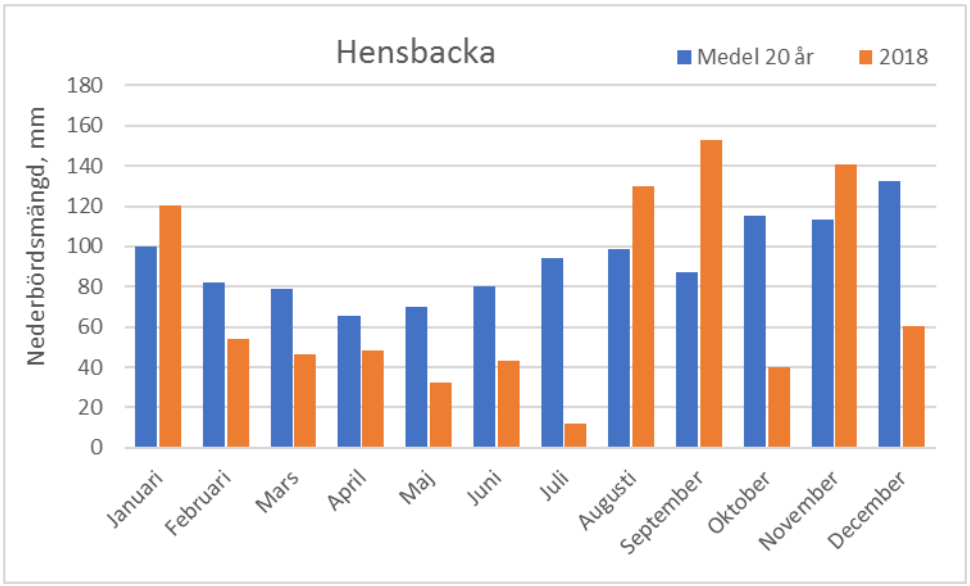
Fotograf: Louise Karlsson

4.1 Sommarens torka

Enligt SMHI fick hela Sverige en varm och solig sommar 2018. I större delen av Götaland och Svealand var det den varmaste sommaren som hittills uppmätts. Det var även en av de tio soligaste somrarna som registrerats och förutom i delar av norra Norrland var den i allmänhet torr. I det följande beskrivs vädret under sommaren 2018, baserat på utdrag från SMHI.

Maj 2018 blev rekordvarm och rekordsolig i stora delar av landet. Över norra Norrland passerade dock periodvis områden med moln och nederbörd. Juni bjöd på varierat väder med rekordvärme i söder men relativt svalt väder i norr. Nederbördsmängderna i juni var låga, utom i norra Norrland. Under juli steg temperaturerna i hela landet och det blev på många håll en av de varmaste julimånaderna som registrerats. Stora delar av juli dominerades av långvarig torka i större delen av Sverige. I mitten av månaden utbröt svåra skogsbränder i mellersta Sverige. I slutet av månaden förekom åska och lokalt kraftiga regnskurar. Inledningen av augusti var också mycket varm. Ostadigt väder kom dock att prägla månaden efter den 10 augusti och innebar regn på de flesta håll. I sydöstra Götaland var dock augusti länge mycket torr men kraftigt regn i slutet av månaden gjorde att det nederbördsmässigt till slut blev en ganska normal månad.

Generellt bland Krondroppsnätets mätplatser på öppet fält var det torrast under maj och juli 2018 jämfört med mätplatsernas 20-årsmedelvärde för perioden 1998–2017. Även i Västra Götalands län var det lägst nederbördsmängd under maj och juli 2018 jämfört med medelvärdet för de senaste 20 åren, se Figur 24. Men det var främst under juli som den värsta torkan inträffade vid Hensbacka.

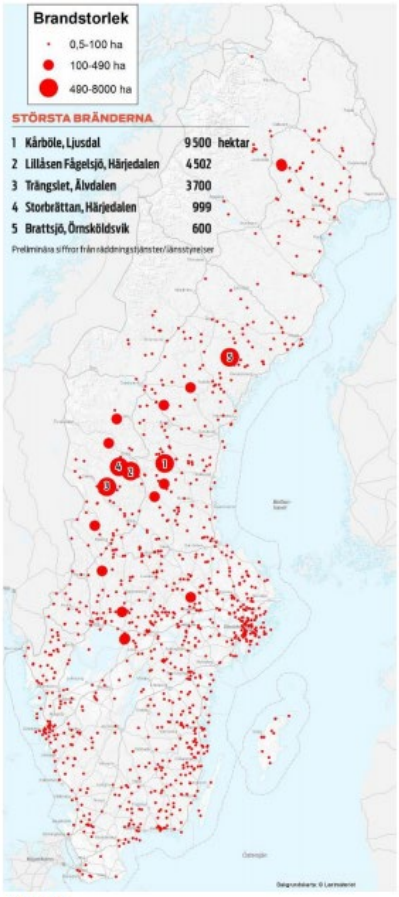


Figur 24. Nederbördsmängden under januari – december 2018 jämfört med månadsvis medelvärde för perioden 1998–2017 vid Hensbacka i Västra Götalands län.

Att sommaren 2018 präglades av lite nederbörd och torka märktes även tydligt i markvattenmätningarna i Västra Götalands län genom att vatten inte kunde tas från Hensbacka B under 2018, och vid Stora Ek var marken för torr för provtagning under hösten. Utöver denna effekt på själva provtagningen kan torkan på sikt ha stor påverkan på markvattenkemi. Vattentillgången har stor påverkan på trädtillväxt, nedbrytning och vittring, processer som i sin tur har stor påverkan på markvattenkemin. Nettoeffekten är svår att bedöma och kan variera geografiskt. Minskad tillväxt bidrar till ökade halter av olika näringsämnen i markvattnet på grund av minskat upptag, medan minskad nedbrytning och vittring påverkar i andra riktningen, och vilka processer som påverkar mest beror på platsspecifika egenskaper.

Torka kan även öka risken för insektsangrepp och skogsskador (Seidl m.fl., 2017), vilket har en direkt påverkan på markvattenkemin (Karlsson m.fl., 2018b). Den direkta effekten av temperaturökningen på de olika processerna har också stor betydelse. Effekter av förändringar i dessa processer på näringsomsättningen kan enklast påvisas med markvattenkemiska mätningar, och dessa är därmed viktiga för att följa upp både återhämtning från försurning och kväveutlakning från skogsmark i ett förändrat klimat.

4.2 Sommarens bränder



Källa: MSB.

Under sommaren 2018 brann cirka 25 000 hektar skog totalt i Sverige. Bränderna var många och utspridda i hela landet (se karta, till vänster, som beskriver brändernas utbredning i början av sommaren 2018). Bränderna och dess förlopp har beskrivits i en rapport från statens offentliga utredningar (SOU, 2019). Skogsbränderna startade redan i maj. I Västmanlands län fanns i början av juni elva skogs- och markbränder i länet av varierande storlek. Samtidigt pågick även några större bränder i Värmland. Under helgen 14–15 juli bröt flera bränder ut som efterhand tillsammans täckte drygt 18 000 hektar. Värst drabbade var Gävleborgs, Jämtlands och Dalarnas län. Från slutet av maj till mitten av juli hade en uttorkning av de djupare marklagren pågått nästan oavbrutet, särskilt i Götaland och Svealand. I slutet av juli förbättrades situationen i Gävleborgs, Dalarnas och Jämtlands län. Bränderna fortsatte in i augusti men var inte på samma höga nivå som under juli. Data över brändernas slutliga utbredning kommer att finnas tillgänglig via MSB under försommaren 2019.

Påverkades nedfallet av bränderna?

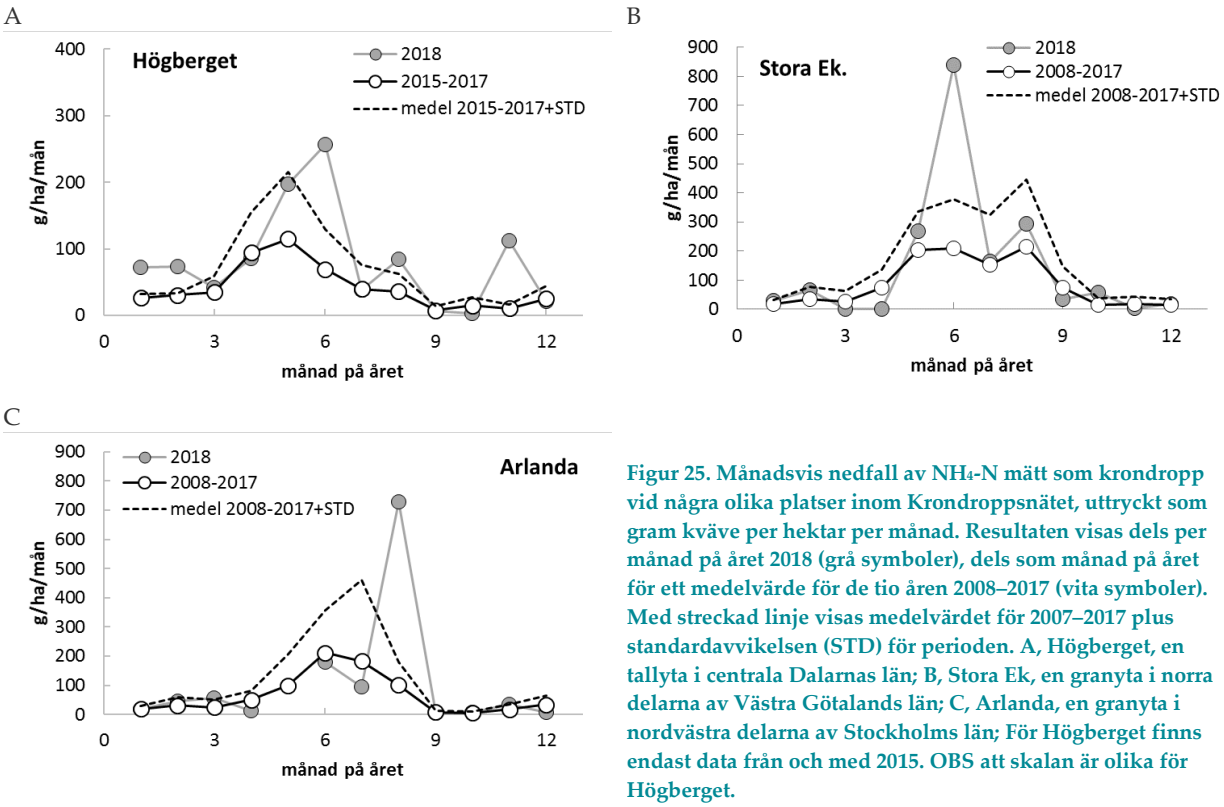
Vid skogsbränder med ofullständig förbränning kan det bildas ammoniak, NH_3, som först uppträder som en gas. NH_3 har en hög depositionshastighet och transporteras därför inte långt. I luften kan dock NH_3 reagera med sura ämnen såsom sulfat, nitrat och klorid och bilda partikelbundet ammonium, NH_4, som kan transporteras långa sträckor (Karlsson m.fl., 2013). Partikelbundet NH_4 fångas effektivt upp av kronorna hos barrträd. Andra ämnen som också förekommer i luften vid bränder är kalium och kalcium samt fosfor.

Månadsvis nedfall av NH_4-N mätt som krondropp visas i Figur 25 för några olika platser inom Krondroppsnätet. Resultaten visas dels per månad på året 2018 (grå symboler), dels per månad på året som ett medelvärde för de tio åren 2008–2017 (vita symboler). Vid en del mätplatser fanns det ett tydligt förhöjt nedfall av NH_4-N antingen under perioden maj-juni (Figur 25 A, B) eller under juli/augusti (Figur 25 C), medan det vid andra platser inte finns någon tydlig förhöjning av nedfallet.

NH_4 kan dock även transporteras i luften mycket långa sträckor från andra länder. För att säkerställa att de förhöjda nedfallet av NH_4 som krondropp under sommarmånaderna 2018 som visas i Figur 25 verkligen kom från skogsbränderna krävs därför ytterligare analyser av den förorenade luftens ursprung, så kallade trajektorier.

Träden kan ta upp en viss andel av det kväve som deponeras direkt i trädkronorna, utan att det når provsamlarna för krondropp vid marken. Det betyder att det nedfall av NH_4-N som vi analyserar här måste vara

av en betydande storlek, så att det överskrider den kapacitet som träden har för ett direkt upptag av kväve till trädkronorna.



Figur 25. Månadsvis nedfall av NH_4-N mätt som krondropp vid några olika platser inom Krondroppsnätet, uttryckt som gram kväve per hektar per månad. Resultaten visas dels per månad på året 2018 (grå symboler), dels som månad på året för ett medelvärde för de tio åren 2008–2017 (vita symboler). Med streckad linje visas medelvärdet för 2007–2017 plus standardavvikelsen (STD) för perioden. A, Högberget, en tallyta i centrala Dalarnas län; B, Stora Ek, en granyta i norra delarna av Västra Götalands län; C, Arlanda, en granyta i nordvästra delarna av Stockholms län; För Högberget finns endast data från och med 2015. OBS att skalan är olika för Högberget.

4.3 Fördjupad utvärdering 2019

I januari 2019 publicerades Fördjupad utvärdering av miljömålen 2019 (Naturvårdsverket, 2019b). Den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019 är en del i en systematisk och regelbunden uppföljning av miljöpolitiken och miljökvalitetsmålen. Den ska fungera som underlag för regeringens politik och prioriteringar. Data från Krondroppsnätet har utgjort en del av de underlagsdata som användes i den fördjupade utvärderingen 2019.

Krondroppsnätets data används för två miljömålsindikatorer, indikatorn ”Nedfall av svavel” och den nyutvecklade indikatorn ”Nedfall av kväve till barrskog”. Den förra ingår främst i miljökvalitetsmålet *Bara naturlig försurning* men används även för utvärdering av miljökvalitetsmålen *Levande skogar* och *Ett rikt växt- och djurliv*. Den senare ingår främst i miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning* men används även för utvärdering av miljökvalitetsmålen *Bara naturlig försurning*, *Levande sjöar och vattendrag*, *Grundvatten av god kvalitet*, *Myllrande våtmarker*, *Levande skogar* och *Storslagen fjällmiljö*.

Markvattenkemiska data ingår inte i någon indikator i nuläget, men har liksom vid tidigare fördjupade utvärderingar använts för både utvärdering av *Bara naturlig försurning* och *Ingen övergödning*. För försurningsmålet har nivåer och trender för ANC i markvatten illustrerats i en karta. För *Ingen övergödning* har situationen i Sverige vad gäller nitratkväve i markvattnet beskrivits, som ett mått på risken för ökad utlakning av kväve från skog.

4.4 Aktuell forskning/specialprojekt som berör Krondroppsnätet

4.4.1 Hur stor är depositionen av fosfor till Östersjön?

Med finansiering från Havs- och vattenmyndigheten och inom ramen för SMED-Vatten har forskare verksamma inom Krondroppsnätet inventerat kunskapsläget vad gäller deposition av fosfor (P) till havsområden och andra vattenytor, med en särskild inriktning på Östersjön, (Karlsson & Pihl Karlsson, 2018).

De viktigaste källorna till förekomsten av fosfor i luften är markpartiklar, marina aerosoler, primära biologiska partiklar, aska från vulkaner, partiklar från biomassabränder, förbränning av olja och kol, och utsläpp från fosfatfabriker. Små aerosoler som bildas vid skogs- och gräsbränder kan ha en särskilt hög halt av fosfor. Inom HELCOM använder man för närvarande ett konstant årligt värde över hela Östersjön för nedfallet av totalt fosfor av 5 kg fosfor per km^2. Detta värde baseras främst på mätningar av bulkdepositionen av fosfor inom de olika medlemsländerna. En sammanställning av tillgängliga svenska mätningar, från den svenska miljöövervakningen inklusive Krondroppsnätet, vid platser inom 50 km från kustlinjen vid Östersjön och Kattegatt under åren 2013–2017, visar på en deposition med nederbörden till öppet fält vid dessa platsen på mellan 11,9 och 25,6 kg fosfor per km^2 och år. Dessa resultat, tillsammans med liknande resultat från andra länder, visar på att nuvarande värde som används inom HELCOM för det årliga nedfallet av fosfor till Östersjön, 5 kg fosfor per km^2, sannolikt är för lågt satt.

Rapporten finns tillgänglig på SMED-Vattens hemsida: http://www.smed.se/vatten.

4.4.2 Högt nedfall av svavel och kväve på hög höjd i norra Sverige

På uppdrag av Naturvårdsverket har IVL Svenska Miljöinstitutet sammanställt, beskrivit och analyserat mätningar av lufthalter och deposition av olika försurande och gödande ämnen på hög höjd i norra Sverige. Med hög höjd avses mätningar vid trädgränsen och uppåt. Mätningarna påbörjades vid vissa platser redan under hösten 1994, och totalt har mätningar bedrivits vid 14 platser. Idag återstår mätningar på hög höjd endast vid två platser i Jämtlands län.

Mätningarna visade att belastningen vad gäller nedfall av svavel och kväve ökar med ökad höjd över havet. Nedfallet av svavel och kväve är högre på kalfjället på mycket hög höjd jämfört med områden på lägre höjd vid trädgränsen. Det finns inte några stora skillnader i nedfall mellan Jämtlandsfjällen och de nordliga fjällen i Västerbotten och Norrbotten. Mätningar av lufthalter på hög höjd i norra Sverige har starkt bidragit till att påvisa tillfälliga passager av starkt förorenad luft över norra Sverige, till exempel av starkt förorenade luft från storskaliga bränder i Ryssland och av svavelhaltig luft från vulkanutbrott på Island.

Rapporten Karlsson m.fl. 2019 finns att ladda ner på IVL:s hemsida.

4.5 Vetenskapliga artiklar 2018

Under 2018 har ett flertal artiklar med anknytning till Krondroppsnätet publicerats.

- **Yu m.fl., (2018**) har använt data från Klintaskogen för att utveckla ForSAFE-modellen genom att lägga till fosforcykeln, vilket kan förbättra modelleringsresultaten framför allt i skogsområden med hög kvävebelastning, där fosfor kan begränsa tillväxten.
- **Karlsson m.fl. (2018b),** visade på hög nitratkväveutlakning följt av minskning av pH och ANC i markvattnet vid en krondroppsyta, Klippan utanför Göteborg, efter att ett angrepp av granbarkborre dödat granarna, där de flesta träden dock stod kvar upprätta.

- **Johnson m.fl. (2018),** analyserade förändringar av markvattenkemin under perioden 1996–2012 i 171 skogar från 10 europeiska länder. Resultaten visade på en kraftig minskning av sulfathalten i markvattnet som kunde relateras till emissionsminskningarna i Europa under samma period.

4.6 På gång – aktuella projekt och utvärderingar

4.6.1 Delar av Naturvårdsverkets verksamhet inom programområde Luft utvärderas igen

Som tidigare rapporterats har Naturvårdsverket aviserat att delar av Programområde Luft (PO Luft) kommer att utredas i god tid innan nästkommande programperiod. Utvärderingen syftar till att hitta förslag på effektivisering/samordning av verksamheterna Luft- och nederbördskemiska nätet (LNKN), EMEP, Krondroppsnätet och MATCH-modellering. Modelleringens möjligheter och begränsningar kommer då att belysas. Under programperioden planeras även att bland annat se över möjligheterna att samordna nationella mätningar med annan övervakning.

Naturvårdsverket har utsett två internationella utredare, Christopher Evans och Alan Radbourne från ”Centre for Ecology and Hydrology” i Bangor, Wales, UK. Christopher Evans och Alan Radbourne har under april 2019 bland annat träffat Krondroppsnätets projektledningsteam som ett led i utredningen.

4.6.2 Specialrapport - länsvis total deposition av kväve och svavel

Under hösten 2019 kommer en specialrapport inom Krondroppsnätet. Planen är att rapporten ska innehålla länsvisa tidsserier för totalt svavel- respektive oorganiskt kvävenedfall för kalenderåren 2001–2018.

4.6.3 Andelen torrdeposition till provtagningsutrustning för nederbörd undersöks

Försöket ”Rör Under Tak” (RUT) med mätningar av torrdepositionen till mätutrustningen på öppet fält fortsätter. Mätningarna påbörjades sommaren 2017 vid de 10 platser som idag har en strängprovtagare. Mätningen under tak jämförs med den vanliga WoF-provtagaren på öppet fält, som är ny sedan 2013, för att få ett mått på torrdepositionsandelen. Syftet med projektet är att minska osäkerheterna i uppskattningarna av våtdepositionen baserat på nederbördsmätningarna för en mängd parametrar. Krondroppsnätet har nu fått finansiering från Naturvårdsverket för ytterligare mätningar fram till och med september 2019. Projektet är ursprungligen planerat att pågå under tre år fram till 2020.

4.6.4 Kväveutlakning till ytvatten efter avverkning?

Med finansiering från Havs- och vattenmyndigheten och Länsstyrelsen i Västra Götaland bedrivs utökade mätningar av mark-, grund- och bäckvatten inom ett 7 ha stort avrinningsområde vid Krondroppsytan Storskogen, mellan Alingsås och Borås, Figur 26. Referensmätningar har bedrivits under fyra år inför en avverkning av större delen av avrinningsområdet som ägde rum i juni 2018. Fortsatta mätningar visar på en tydlig ökning av halterna av nitrat i mark-, grund- och bäckvatten, med start ungefär ett halvår efter avverkningen. Med nuvarande finansiering kommer mätningarna att fortsätta under ytterligare drygt ett år. Målet är att kvantifiera storleken på det ökade läckaget av kväve ut ur avrinningsområdet efter avverkning.

Figur 26. Fotografier av området vid Krondroppsytan Storskogen, före och efter avverkning. Foto: Per Erik Karlsson.

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

Hansen, K., Pihl Karlsson, G., Ferm, M., Karlsson, P.E., Bennet, C., Granat, L., Kronnäs, V., von Brömssen, C., Engardt, M., Akselsson, C., Simpson, D., Hellsten, S. & Svensson, A. 2013. Trender i kvävenedfall över Sverige 1955–2011. IVL Report B2119.

Havs- och vattenmyndigheten, 2019. Ingen övergödning. Fördjupad utvärdering av miljökvalitetsmålen 2019. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2019:1

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 SO_2-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014–2015. IVL Rapport C 234.

Johnson, J., Graf Pannatier, E., Carnicelli, S., Cecchini, G., Clarke, N., Cools, N., Hansen, K., Meesenburg, H., Nieminen, T.M., Pihl Karlsson, G., Titeux, H., Vanguelova, E., Verstraeten, A., Vesterdal, L., Waldner. P. & Jonard, M. 2018. The response of soil solution chemistry in European forests to decreasing acid deposition. *Global Change Biology*. 2018;1–17. DOI: 10.1111/gcb.14156

Karlsson, P.E., Martin Ferm, Hans Tømmervik, Lars R. Hole, Gunilla Pihl Karlsson, Tuija Ruoho-Airola, Wenche Aas, Sofie Hellsten, Cecilia Akselsson, Teis Nørgaard Mikkelsen, and Bengt Nihlgård. 2013. Biomass burning in eastern Europe during spring 2006 caused high deposition of ammonium in northern Fennoscandia. Environmental Pollution, 176, 71–79.

Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C. 2018a. Utveckling av en indikator för totalt nedfall av kväve till barrskog inom miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning*. IVL Rapport C286.

Karlsson, P.E., Akselsson, C., Hellsten, S., Pihl Karlsson, G., 2018b. 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., 2018. Deposition av fosfor till Östersjön - Kunskapsläge och möjligheter till löpande mätningar. SMED Rapport Nr 18, 2018

Karlsson, P.E., Ferm, M., Pihl Karlsson G., och Hellsten, S. 2019. Halter och deposition av luftföroreningar på hög höjd i norra Sverige. IVL Rapport C392.

Länsstyrelsen Västra Götalands län, 2018. 2018 Miljömålsbedömning – Västra Götalands län, Rapportnr: 2018:58, Länsstyrelsen i Västra Götalands län, Miljöskyddsavdelningen.

Moldan, F m.fl., 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, 2015. Mål i sikte. Analys och bedömning av de 16 miljökvalitetsmålen i fördjupad utvärdering. Volym 1. Naturvårdsverket rapport 6662.

Naturvårdsverket, 2019a. Bara naturlig försurning – underlagsrapport till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019, Naturvårdsverket rapport 6860.

Naturvårdsverket, 2019b. Fördjupad utvärdering av miljömålen 2019. Med förslag till regeringen av myndigheter i samverkan. Arkitektkopia AB, Bromma

Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S., Karlsson, P.E., 2011. Reduced European Emissions of S And N – Effects On Air Concentrations, Deposition And Soil Water Chemistry In Swedish Forests. Environmental Pollution 159: 3571–3582.

Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S., Karlsson, P.E., 2018. Tillståndet i skogsmiljön i Västra Götalands län - Resultat från Krondroppsnätet till och med 2016/17. IVL Rapport C313.

Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T.A. och Reyer, C.P.O., 2017. Forest disturbances under climate change. Nature Climate Change 7: 395–402.

SOU 2019:7. Skogsbränderna sommaren 2018. Betänkande av 2018 års skogsbrandsutredning.

Tamm, C.O., 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. Ecological Studies 81. Springer Verlag, Berlin, Germany.

Yu, L., Zanchi, G., Akselsson, C., Wallander, H., Belyazid, H., 2018. Modeling the forest phosphorous nutrition in a southwestern Swedish forest site. Ecological Modelling 369, 88–100.

Websida:

CEIP, 2019. Emissionsdata är hämtade från:
http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/reported_emissiondata/

Bilaga 1. Mätplatserna i Västra Götalands län

Fotograf: Per Erik Karlsson

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

Tabell B1.1. Aktiva mätplatser i Västra Götalands län 2017/18.

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	

*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.

Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

Undersökningarna är ett resultat av ett lagarbete där provtagning utförts av Ingemar Strid, Magdalena Eriksson, Linnéa Åsedahl och Håkan Magnusson och Lars Andersson.

På IVL har Paula Andersson skött kontakter med provtagare medan främst Louise Björnberg, Camilla Hållinder-Ehrencrona, Jessica Ekström, Paula Andersson, Sari Honkala och Vania Andersson 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 provyta i granskog, planterad 1925. Ytan anlades i juli 2013 och är belägen mellan Alingsås och Borås, 22 km nordost om provytan Klippan, som Storskogen avsåg att ersätta. Mätningar består av deposition via krondropp och markvattenkemi. Mätningar över öppet fält startade i oktober 2014. Jordlagret på ytan är relativt tunt. Provytan ligger i ett avrinnings-område på ca 420 ha där Länsstyrelsen provtagit vattenkvalitén i avrinningen sedan 1997. 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 kron-droppsytan. Dessutom startades mätningar av markvattenkemi året runt. Dessa kompletterande mätningar etablerades under 2014, 2015 och 2016. Krondroppsytan P95A avverkades i juni 2018.- En ny krondroppsyta, P95B, etablerades redan under hösten 2017, vilket möjliggjorde parallella mätningar under en tid. Fotografier visar mätningar på öppet fält (överst) samt den nya krondroppsytan, P95B (underst).

Hensbacka (O 35)
Provyta med gran planterad 1919. Marken utgörs av sandig morän, jordmånen är podsol. Ytan är lokaliserad i den nedre delen av en sluttning åt norr. 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 genomfördes 2001–2008 och återupptogs vid Hensbacka i juli 2013.

På senare år, i synnerhet under 2017, har det förekommit en del nedfallna träd och ytan flyttades därför ca 500 m åt sydost i augusti 2017. Den nya ytan sluttar åt norr, med en sänka, som är något fuktigare jämfört med resten av ytan. Det är en del luckor i trädbeståndet. Humuslager och blekjord utgör tunna skikt, medan rostjorden är ett bredare skikt.

Gamla ytan i Hensbacka

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.

LÄNSSTYRELSEN
VÄSTRA GÖTALANDS LÄN

LUNDS UNIVERSITET

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