



Försurning och övergödning i Kronobergs län

Resultat från Krondroppsnetet till och med 2022/23



LUNDS
UNIVERSITET



SVENSKA
MILJÖINSTITUTET

Rapportnummer: C843

I samarbete med: Lunds universitet

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

Medel från: Kronobergs läns Luftvårdsförbund

Granskare: Karin Söderlund

Godkännare: Karin Sjöberg

ISBN: 978-91-7883-600-0

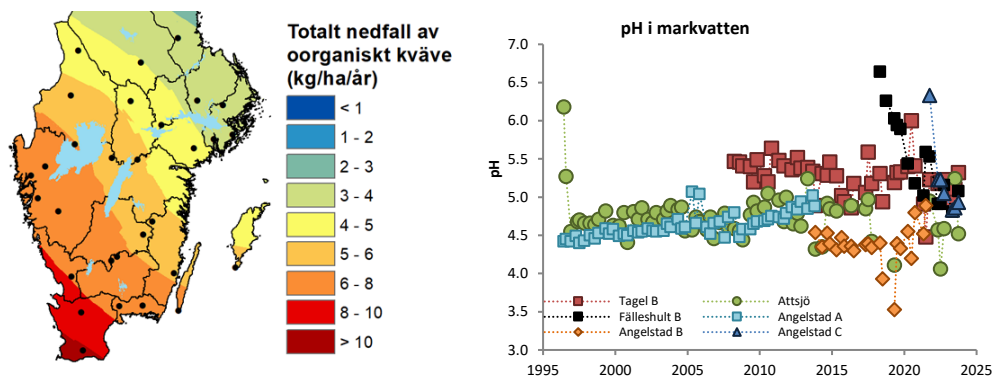
Sammanfattning

På uppdrag av Kronobergs luftvårdsförbund genomför IVL Svenska Miljöinstitutet, i samarbete med Lunds universitet, inom Krondroppsnätet (<http://www.krondroppsnatet.ivl.se/>) mätningar av atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi i Kronobergs län.

Resultaten från mätningar under det hydrologiska året 2022/23 redovisas och analyseras, tillsammans med tidigare års mätningar, i relation till försurningsläget och kvävesituationen i Kronobergs län samt i övriga delar av landet. I rapporten redovisas även andra Krondroppsnätsrelaterade aktuella projekt och händelser från 2023. I Bilaga 1 visas information om länets mätningar och mätplatser. Mätningar av atmosfäriskt nedfall och markvattenkemi har bedrivits inom Krondroppsnätet i Kronobergs län sedan 1996. Under det hydrologiska året 2022/23 gjordes mätningar på fyra platser i länet, vid granskogarna i Fälleshult, Angelstad och Tagel, samt vid tallskogen i Attsjö.

Kvävenedfallet överskrider kritisk belastning men inget nitrat läcker ut i markvattnet

Atmosfäriskt nedfall av oorganiskt kväve till barrskog i Kronobergs län har för det hydrologiska året 2022/23 beräknats till mellan 6 och 8 kg per hektar, med högst nedfall i länets sydvästra delar, se figur nedan till vänster. Den kritiska belastningsgränsen för barrskog i Sverige, 5 kg kväve per hektar och år, överskrids därmed i hela länet. Kvävenedfallet som beräknas för länets mätplats Tagel har minskat med 37% sedan det hydrologiska året 2004/05. Halterna av nitrat i markvatten är genomgående låga i ostörd skog i länet. Stormskador har dock resulterat i perioder med ökade halter av nitrat i markvattnet.



Totalt nedfall av oorganiskt kväve till barrskog i Kronobergs län under hydrologiska året 2022/23 (till vänster). pH i markvattnet vid nu aktiva mätplatser i länet (till höger). Mätningarna i markvattnet vid Angelstad har flyttats kortare sträckor, vilket visas med olika bokstäver (A, B respektive C).

Svavelnedfallet har minskat kraftigt men försurningstillståndet i skogsmarken i Kronoberg är fortsatt dåligt

Svavelnedfallet till provplatserna i länet har sedan 2001/02 minskat mellan 83-96 %. Det årliga svavelnedfallet var under 2022/23 under 0,5 kg per hektar, jämfört med 5 till 8 kg per hektar i slutet av 1990-talet.

Det sker en varierande och otillräcklig återhämtning från försurning av markvattnet i skogsmarken i länet. pH i markvattnet ligger inom vad som anses som måttlig försurning (mellan 4,4 och 5,5, figuren ovan till höger) och markvattnet har en otillräcklig syraneutraliserande förmåga (ANC). Halter av toxiskt oorganiskt aluminium är fortfarande förhöjda. Det vatten som kommer från skogsmarkerna till vattendrag och sjöar kan därför inte bidra i någon större utsträckning till återhämtningen från försurning.

För att mark och vatten ska återhämta sig från försurning, och miljömålet *Bara naturlig försurning* ska uppnås, krävs fortsatt lågt svavelnedfall, att nedfallet av kväve inte överskrider vad skogen kan ta upp samt att skogsbrukets försurningspåverkan hålls på en låg nivå.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
1 Krondroppsnetets mätningar – var, när och hur?	6
2 Kväve och övergödning	9
2.1 Lufthalter av kväve	9
2.2 Kvävenedfall	11
2.3 Kväve i markvattnet	14
3 Försurning	16
3.1 Lufthalter av svaveldioxid	17
3.2 Svavelnedfall	17
3.3 Försurningen i markvattnet	20
4 Aktuellt och notiser	25
4.1 Ny webbplats för Krondroppsnetet	Error! Bookmark not defined.
4.2 Byte av analysmetod för organiskt kväve	Error! Bookmark not defined.
4.3 Norsk-svensk försurnings- och kalkningskonferens, november 2023	Error! Bookmark not defined.
4.4 Krondroppsnetet bidrar till en nyttkommen bok om atmosfäriskt nedfall av kväve och dess effekter på skog	Error! Bookmark not defined.
4.5 Världens största skogskonferens - IUFRO-konferensen - till Stockholm 2024	Error! Bookmark not defined.
4.6 Europeisk jämförelse av mätresultat	Error! Bookmark not defined.
4.7 Skärpt lagstiftning för renare luft i Europa	Error! Bookmark not defined.
4.8 Miljötilståndet i Jämtlands fjällvärld	Error! Bookmark not defined.
4.9 Luftvårdsförbund i sydost har ny gemensam webbplats	Error! Bookmark not defined.
4.10 Vetenskapliga artiklar där resultat från Krondroppsnetet använts	Error! Bookmark not defined.
4.10.1 Ny artikel från Krondroppsnetet	Error! Bookmark not defined.
4.10.2 Påverkan på årlig stamtillväxt vid krondroppsytor	Error! Bookmark not defined.
4.10.3 Vilken roll spelar pollen i krondropp?	Error! Bookmark not defined.
4.10.4 Hur bidrar nitrifikationen i träd Kronorna till skogens kvävecykel?	Error! Bookmark not defined.
5 Tack	Error! Bookmark not defined.
6 Referensförteckning	34
Bilaga. Mätplatserna i Kronobergs län	36

FÖRSURNING OCH ÖVERGÖDNING I KRONBERGS LÄN

Resultat från Krondropps nätet till och med 2022/23

Juni 2024

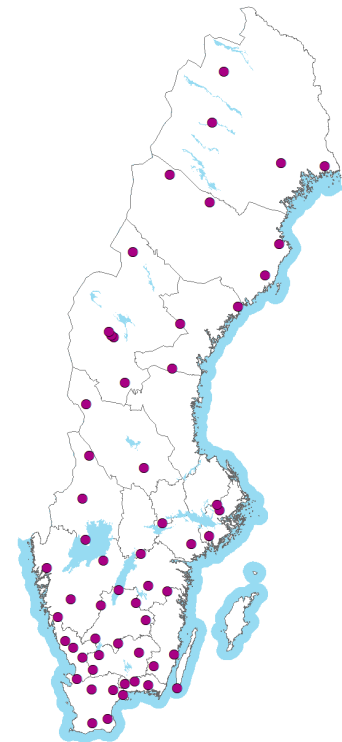
1 Krondroppsnetets mätningar – var, när och hur?

Inom Krondroppsnetet genomfördes under det hydrologiska året 2022/23 mätningar vid 57 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 övergödningproblematiken.

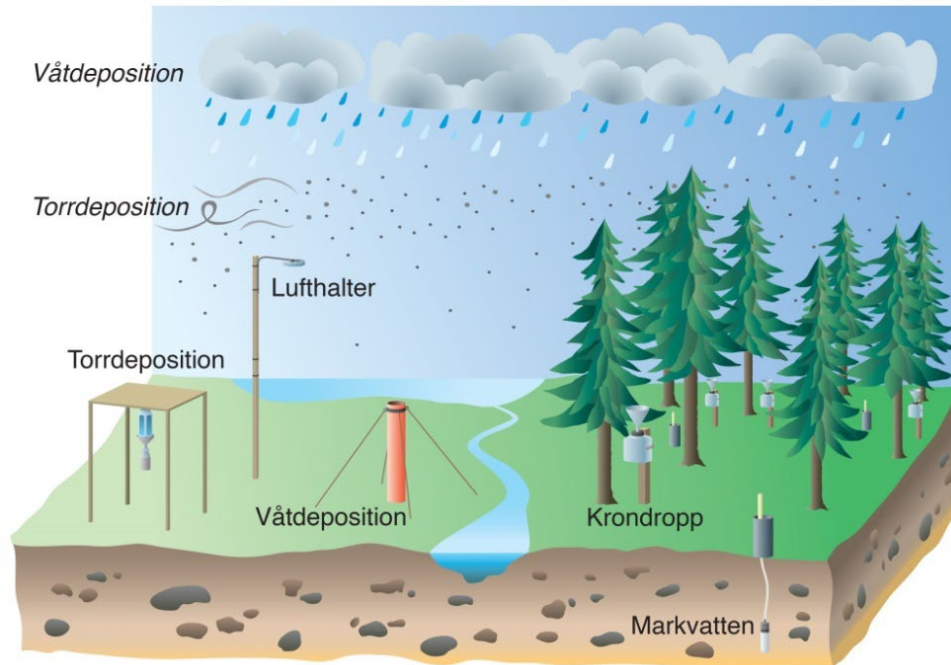
Genom åren har antalet mätplatser inom Krondroppsnetet varierat, som mest fanns i mitten av 1990-talet cirka 185 ytor. Då övervakningen sker i brukad skog har provytor flyttats vid avverkning samt efter kraftiga störningar, till exempel vid omfattande stormskador. Idag bedrivs mätningar på 57 platser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

Mätningarna bedrivs både på öppet fält och i skogen under 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 Krondroppsnetet från provtagning till kemisk analys, validering och databearbetning utförs enligt väl utarbetade rutiner, och laboratorerna innehar ackreditering för de kemiska analyserna. Detta ger en hög kvalitet på data, och garanterar att data från olika platser och från olika år är direkt jämförbara.



Figur 1. Samtliga ytor inom Krondroppsnetet 2022/23.



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 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

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.



Foto: krondropsprovtagare



markvattenutrustning

Kemin i markvattnet mäts under trädens rötter för att undersöka effekter av nedfall på skogsmarkens reaktion. Provtagningen görs med hjälp av undertryckslysimetrar som suger vatten i mineraljorden på 50 centimeters djup.

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

2 Kväve och övergödning

Utsläpp till luft av kväveoxider (NO_x), främst från transporter och industri, tillsammans med utsläpp av ammoniak (NH₃), främst från jordbruket, leder till atmosfäriskt nedfall av kväve som kan bidra till både övergödning och försurning av mark och vatten.

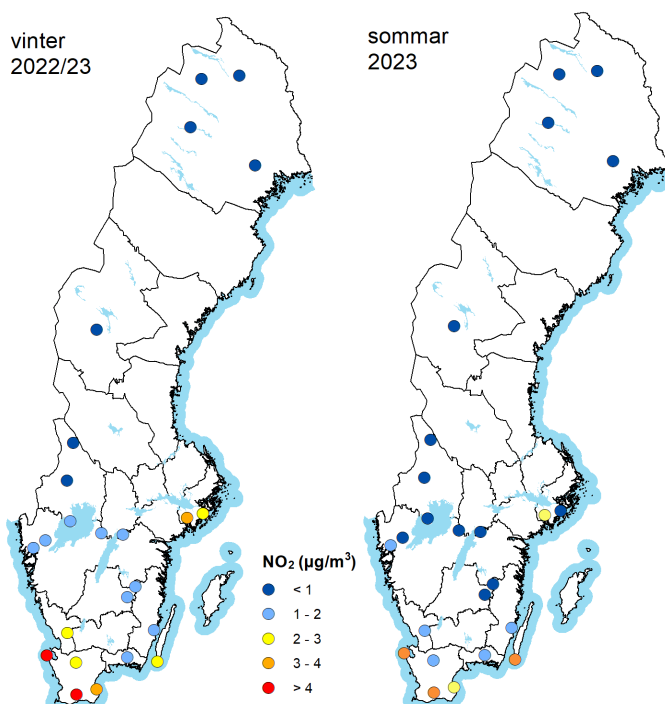
Miljökvalitetsmålet "Ingen övergödning" bedöms inte kunna nås i Kronobergs län till 2030 och trenden bedöms som neutral (Länsstyrelsen i Kronobergs län, 2024). I länet når 21 procent av sjöarna och vattendragen inte god status vad gäller näringsämnen, främst beroende på höga halter av fosfor. Nedfall av luftburet kväve bidrar dock till övergödningen. Nedfallet av kväve i länet överskrider fortsatt den kritiska belastningen för övergödning av mark i barrskog.

Ostörda skogsmarker i länet kan lagra stora mängder deponerat kväve. Mätningar i granytorna vid Angelstad och Fälleshult i de västra delarna av länet visar att störningar av skogsekosystemen, såsom exempelvis stormskador, kan göra att kväve börjar läcka ut i markvattnet. Det kväve som inte tas upp av skogsekosystemen bidrar till ett diffust läckage av kväve till grund- och ytvatten. Ett överskott av kväve kan även bidra till försurning av skogsmarken genom en nitrifieringsprocess.

2.1 Lufthalter av kväve

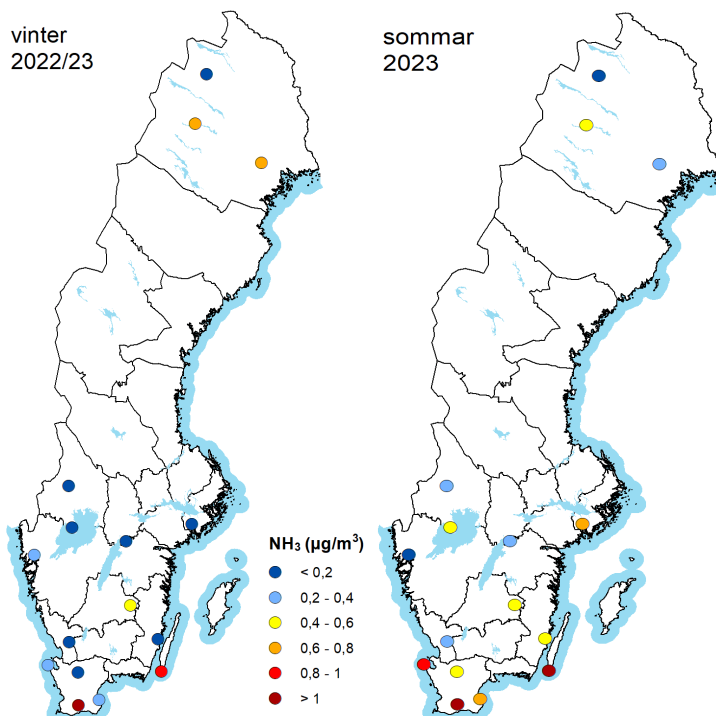
Mätningar av lufthalter i bakgrundsmiljön kan visa om luftföroreningarna över Sverige minskar i takt med rapporterade minskade utsläpp av långväga transporterade luftföroreningar från Europa såväl som från Sverige. I Kronobergs län bedrivs dock inga mätningar av lufthalter i Krondroppsnetets regi.

I Figur 3 visas lufthalterna av NO₂ under 2022/23 vid alla platser med mätningar av lufthalter inom Krondroppsnetet, uppdelat på vinter- och sommarhalvår. Lufthalterna i bakgrundsmiljön är generellt mycket lägre jämfört med halterna i tätorterna. Högst halter av NO₂ uppmättes vintertid i Skåne, vid Kullaberg, Stenshult och Stenshuvud. Relativt höga halter uppmättes även i Halland, Kalmar län och i Stockholmsregionen. Halterna av NO₂ är generellt lägre sommartid men fördelningen över landet är likartad som den på vintern.



Figur 3. Lufthalter av kvävedioxid (NO₂) som medelvärden för vinter- respektive sommarhalvår vid mätstationerna inom Krondropps nätet i Sverige. Vidare visas resultat från sju mätplatser inom det nationella mätnätet SveLod (två i Västra Götalands län, en vardera i Blekinge, Kalmar, Stockholms, Norrbottens och Värmlands län). Vinterhalvåret omfattar oktober till mars och sommarhalvåret omfattar april till september. Observera att under sommarhalvåret 2023 skedde en felaktig provpreparering av vissa NO₂-provtagare varför dessa månadshalter har uppskattats utifrån relationen till närliggande korrekta mätningar.

Ammoniak (NH₃) har en hög depositions hastighet och deponeras nära utsläppskällorna. Lufthalterna i bakgrundsmiljön blir därför generellt låga. I Figur 4 visas halterna av NH₃ under vintern 2022/23 och sommaren 2023 vid alla mätplatser inom Krondropps nätet. Högst halter uppmättes sommaren 2023 i södra Skåne samt på Ölands södra udde, sannolikt på grund av utsläpp från djurhållning och gödsling inom jordbruket. Även under vintern uppmättes högst ammoniakhalter i södra Skåne och vid Ölands södra udde. Relativt höga halter uppmättes även i Norrbottens inland. Ammoniak också kan bildas vid ofullständig förbränning av biomassa, så en möjlig förklaring är utsläpp från småskalig vedförbränning vintertid.



Figur 4. Lufthalter av ammoniak (NH₃) som medelvärden för vinterhalvåret 2022/23 respektive sommarhalvåret 2023 vid mätstationerna inom Krondroppsnetet i Sverige. Vinterhalvåret omfattar oktober till mars och sommarhalvåret omfattar april till september.

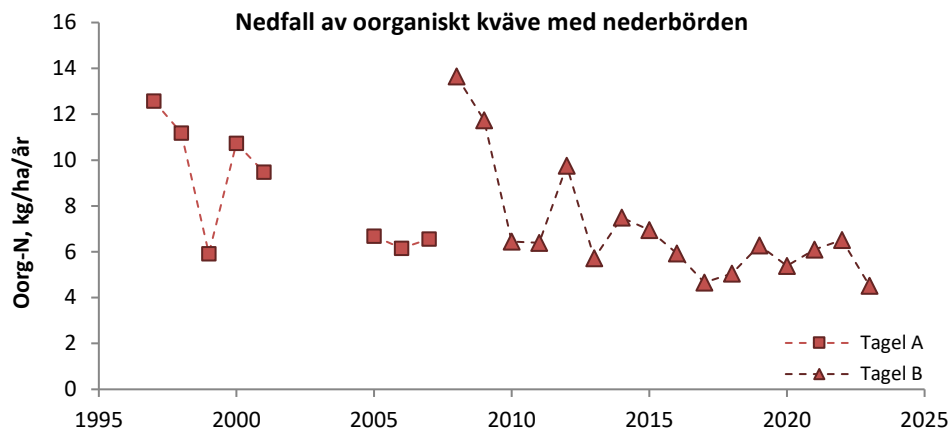
2.2 Kvävenedfall

Det går inte att beräkna totalt atmosfäriskt nedfall av kväve till skog, inkluderat både torr- och våtdeposition, baserat enbart på mätningar av krondropp. Detta beror på att en del av det deponerade kvävet tas upp direkt i trädskronorna och därför inte når insamlarna för krondropp vid marken. För att beräkna det totala nedfallet av oorganiskt kväve (summan av nitrat och ammonium) till skog krävs samlokaliserade mätutrustningar för nedfall med nederbörden till öppet fält, för nedfall som krondropp samt mätningar av torrdeposition med strängprovtagare (Karlsson m.fl., 2019, 2022; Pihl Karlsson m.fl., 2024). Denna typ av samlokaliserade mätningar finns vid elva mätplatser runt om i Sverige, dock inte i Kronobergs län, som bedrivs med finansiering från Naturvårdsverket samt enskilda Länsstyrelser och Luftvårdsförbund.

Torrdeposition av kväve följer ett geografiskt mönster över Sverige, från sydväst mot nordost (Karlsson m.fl., 2022). Utifrån detta mönster går det att uppskatta torrdeposition av kväve för alla mätplatser där det mäts våtdeposition till öppet fält. Genom att summera beräknad torrdeposition och uppmätt våtdeposition får man en skattning av det totala nedfallet av oorganiskt kväve till granskog för alla platser med mätningar på öppet fält, inklusive Tagel i norra delen av Kronobergs län.

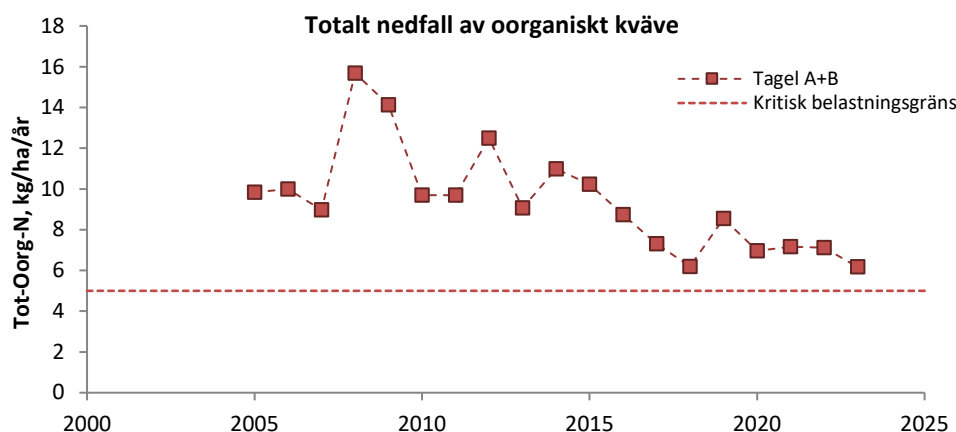
Nedfallsmätningarna på öppet fält vid Tagel har bedrivits sedan 1997. Mätningarna har flyttats en kortare sträcka vid ett tillfälle, vilket bedöms ha liten betydelse när det gäller

mätningar av nedfall på öppet fält. Det saknas dock resultat för åren 2002–2004. Vid Tagel uppmättes året 2022/23 ett nedfall som våtdeposition på öppet fält på 4,5 kg oorganiskt kväve per hektar. Detta är det lägsta nedfallet som uppmätts sedan 1997. Som högst har nedfallet med nederbörden varit 13,7 kg per hektar, Figur 5. På grund av en betydande mellanårsvariation är nedgången i nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält vid Tagel inte statistiskt säkerställt.



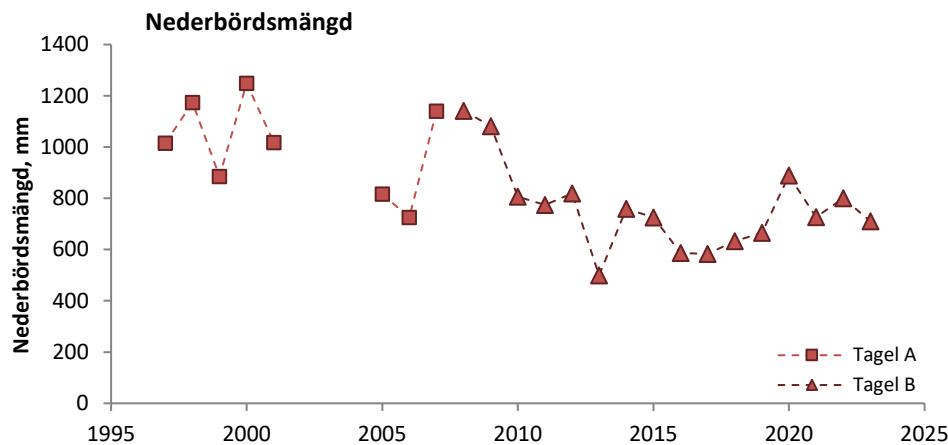
Figur 5. Årligt nedfall av oorganiskt kväve med nederbörden till öppet fält vid Tagel, baserat på hydrologiskt år. Mätningarna flyttades 1 oktober 2007, vilket indikeras med olika symboler för Tagel A och B.

Årliga värden för det totala nedfallet av oorganiskt kväve, summan av våt- och torrdeposition, till granskogen vid Tagel finns sedan det hydrologiska året 2005 (Figur 6). Det beräknade totala nedfallet av oorganiskt kväve var som högst under det hydrologiska året 2008 med 15,7 kg oorganiskt kväve per hektar och som lägst det hydrologiska året 2023 med 6,2 kg kväve per hektar. Det totala kvävenedfallet vid Tagel har minskat med 37 % sedan 2004/05 medan de rapporterade utsläppen av kväve från EU27+UK har minskat med 33 % och från Sverige med 29 % mellan 2004-2021 (CEIP, 2024). Kvävenedfallet vid Tagel överskrider fortsatt den kritiska belastningen för övergödning av mark i barrskog, som är satt till 5 kg oorganiskt kväve per hektar (Moldan m.fl., 2011).



Figur 6. Årligt beräknat totalt nedfall av oorganiskt kväve under hydrologiska år vid Tagel. Det totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog är baserat på metodik som beskrivs i Karlsson m.fl., 2019, 2022. Horisontell streckad linje indikerar kritisk belastning för kvävenedfall till barrskog, 5 kg oorganiskt N/ha.

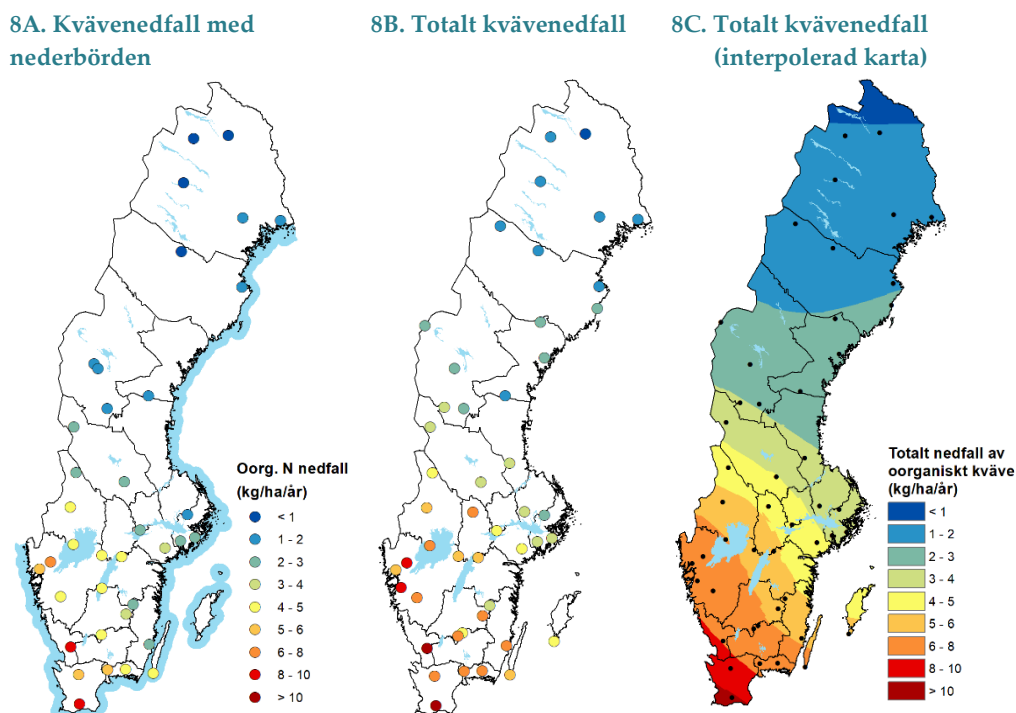
Nederbördsmängderna påverkar det atmosfäriska nedfallet och variationer i nederbörden kan därför förklara en del av tidsutvecklingen vad gäller kvävenedfallet. Nederbördsmängderna vid Tagel har under samma mätperiod minskat statistiskt säkerställt med 32 % (Figur 7).



Figur 7. Uppmätta nederbördsmängder vid Tagel, baserat på hydrologiskt år. Mätningarna flyttades 1 oktober 2007, vilket indikeras med olika symboler för Tagel A och B.

Nedfallet av oorganiskt kväve med nederbörden på öppet fält visar för det hydrologiska året 2022/23 i Figur 8A för alla platser inom Krondroppsnetet, medan det beräknade totala nedfallet av oorganiskt kväve för samma, samt några ytterligare mätplatser visas i Figur 8B. Jämfört med det totala nedfallet var kvävenedfallet med nederbörden på öppet fält tydligt lägre, mindre än 1 kg per hektar i norr, och aldrig över 10 kg per hektar i söder (Figur 8A). Det beräknade totala nedfallet av oorganiskt kväve till barrskog i Sverige under det hydrologiska året 2022/23 varierade mellan 1 och 2 kg per hektar i norr och var över 10 kg per hektar på två platser i sydväst (Figur 8B).

I Figur 8C visas en geografiskt interpolerad karta över det totala kvävenedfallet till barrskog över Sverige för det hydrologiska året 2022/23, baserat på samtliga platser med mätningar av nederbörden på öppet fält som finns i Sverige. Det totala kvävenedfallet har beräknats yttäckande för bland annat Kronobergs län. Det beräknade, årliga totala kvävenedfallet över länet varierade under det hydrologiska året 2022/23 mellan 5 och 8 kg per hektar, med högst nedfall i sydväst. Den kritiska belastningen för övergödande kväve till barrskog i Sverige, 5 kg per hektar och år överskreds därmed i hela länet under 2022/23. Det totala kvävenedfallet till barrskog över Sverige har beräknats årligen sedan 2001 baserat på samtliga platser med mätningar av nederbörden på öppet fält som funnits i Sverige respektive år. Den kritiska belastningen för övergödande kväve till barrskog har överskridits i Kronobergs län under samtliga år.



Figur 8. Nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) under det hydrologiska året 2022/23. A. Uppmätt nedfall till öppet fält. B. Motsvarande karta som A men med beräknat totalt nedfall (torr- och våtdeposition). C. geografiskt interpolerad karta. Metoden baserar sig på resultat från kombinerade mätningar av nedfall till öppet fält, nedfall som krondropp och mätningar av torrdeposition med strängprovtagare enligt metodik i Karlsson m.fl. (2019; 2022).

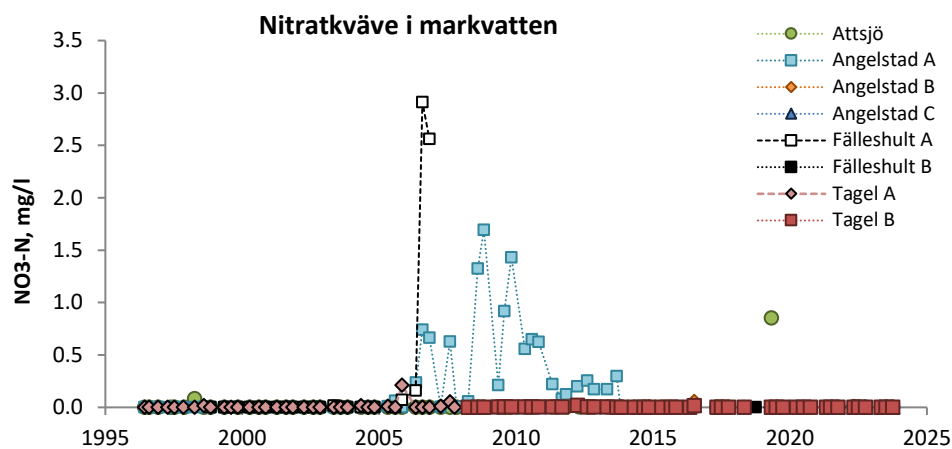
2.3 Kväve i markvattnet

I Sverige tar skogsekosystemen vanligtvis upp allt oorganiskt kväve som tillförs via deposition, i träd, i övrig vegetation samt i markens mikroorganismer (Tamm, 1991). I sydvästligaste Sverige, framför allt i Skåne och Halland, förekommer dock tillfälligt förhöjda halter av nitratkväve i markvattnet vid en del mätplatser (Akselsson m.fl., 2010; Pihl Karlsson m.fl., 2024). Även i andra delar av landet finns exempel på förhöjda halter i markvattnet, men då oftast i samband med störningar som avverkning, stormfällan eller insektsangrepp (Hellsten m.fl., 2015; Karlsson m.fl., 2018).

Markvattenmätningarna i länet har vid vissa platser flyttats kortare sträckor, vilket indikeras med olika bokstavsbe-teckningar. I motsats till nedfallsmätningarna, kan markvattenkemin variera avsevärt mellan närliggande platser. Därför analyseras tidsserier vad gäller flyttade platser separat. Detta begränsar möjligheterna till statistiska trendanalyser över långa tidsperioder.

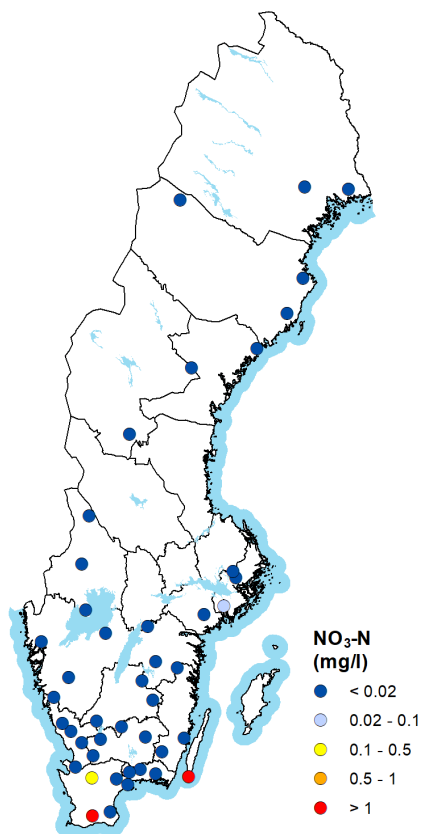
Resultaten från mätningar av nitratkvävehalter i markvatten fram till år 2023 visas i Figur 9 för alla nu aktiva och tidigare mätplatser i Kronobergs län. Resultaten visar att det inte förekommer nitrat i markvattnet vid provytor i ostörd, växande skog i Kronobergs län. Störningar, såsom stormarna Gudrun, 2005, och Per, 2007, ledde dock

under en period till tydligt förhöjda nitrathalter i markvattnet vid Angelstad och Fälleshult i länets västra delar. Vid Tagel var dock påverkan på markvattenhalterna av nitrat begränsade, trots betydande vindfällen. Resultat från de nya krondroppsytorna vid Angelstad och Fälleshult bekräftar att nitrat inte förekommer i markvattnet i ostörd granskog vid dessa platser, trots att de ligger i den del av länet som är mest utsatt vad gäller kvävenedfall. Det finns ett enstaka värde med förhöjd halt av nitrat i markvattnet vid Attsjö, men orsakerna bakom detta enda värde är inte kända.



Figur 9. Halter av nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) i markvatten i Kronobergs län fram till år 2023 för. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Vissa provtillfällen kan saknas när det varit torrt i marken. Markvattenmätningarna har vid vissa platser flyttats kortare sträckor, vilket indikeras med olika bokstavsbezeichnungar.

En sammanställning av data från samtliga nu aktiva krondroppsytor med markvattenmätningar i Sverige (Figur 10) visar att halterna av nitratkväve, angivet som median för åren 2021–2023, generellt har varit låga i hela Sverige under de senaste åren, med undantag av ett fåtal mätplatser i Skåne och vid Ölands södra udde, där medianen översteg 0,1 mg per liter. För alla provytor i Kronobergs län var medianvärdet för dessa år under detektionsgränsen. En nyligen publicerad analys (Pihl Karlsson m.fl., 2024) visade att frekvensen med förhöjda halter av nitrat vid skogliga provytor i sydvästra Sverige, som inte varit utsatta för några kända störningar, inte har förändrats under de senaste tjugo åren.



Figur 10. Koncentrationen av nitrat (NO₃-N) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnätet redovisat som medianvärde från de senaste tre årens mätningar (2021–2023). Ytor med färre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har nyligen har avverkats är inte inkluderade.

3 Försurning

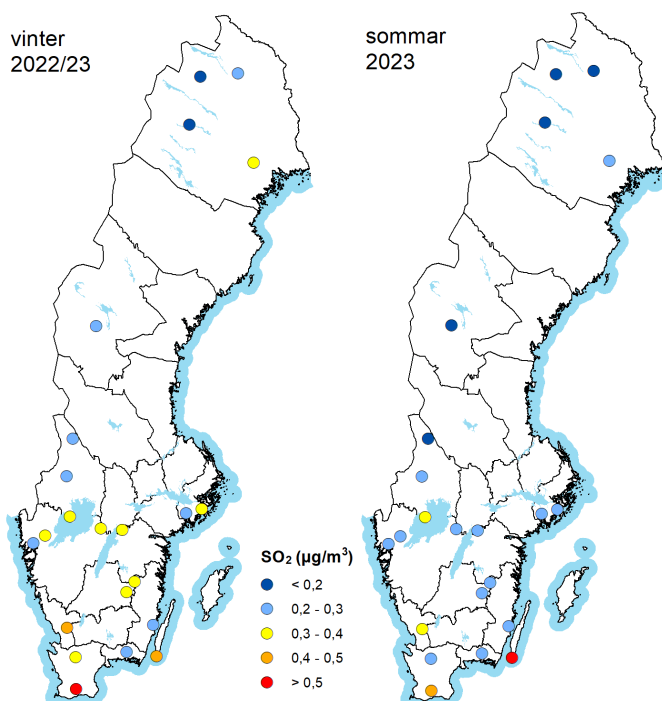
Försurning av mark och vatten orsakas av både svavel- och kvävednedfall, men även skogsbruket bidrar. Efterverkningar från tidigare högt svavelnedfall består under lång tid. Vid låga pH uppträder aluminium som en giftig trevärd jon, som kan skada fiskar och andra vattenlevande organismer samt även skada trädens rötter.

Försurningen kvarstår som ett betydande miljöproblem i Kronobergs län. Miljökvalitetsmålet "Bara naturlig försurning" bedöms inte att kunna nås till 2030 och trenden är neutral (Länsstyrelsen i Kronobergs län, 2024). Nästan hälften av länets sjöar är försurade och återhämtningen går sakta. Kommunerna i länet kalkade under budgetåret 2022 sjöar och vattendrag för 9,5 miljoner kronor.

Nedfall av svavel är en av de fyra indikatorerna för miljömålet *Bara naturlig försurning*. Nedfallet av svavel över Kronobergs län har minskat kraftigt sedan 1990-talet och ligger nu på mycket låga nivåer. Nedfall av kväve som inte tas upp av växtligheten kan bidra till försurningen. Skogsbruket bidrar genom skörd av biomassa som innebär bortförsel av buffringskapacitet. I takt med att nedfallet av svavel har minskat har skogsbrukets relativa bidrag till försurningen ökat.

3.1 Lufthalter av svaveldioxid

Det finns inga mätningar av lufthalter i Kronobergs län i Krondroppsnetets regi. I Figur 11 visas svaveldioxidhalterna under vinterhalvåret 2022/23 och sommarhalvåret 2023 vid nu aktiva mätplatser inom Krondroppsnetet. Alla uppmätta halter var låga. Under vintern 2022/23 uppmättes högst SO₂-halter vid den kustnära mätplatsen i södra Skåne, Stenshult, vid Timrilt öster om Halmstad samt vid Ottenby vid Ölands södra udde. Under sommaren 2023 var halterna generellt ännu lägre, med högsta halterna vid Ottenby och Stenshult.



Figur 11. Lufthalter av svaveldioxid (SO₂) som medelvärden för sommar- respektive vinterhalvår vid mätstationerna inom Krondroppsnetet i Sverige. Vidare visas resultat från sju mätplatser inom det nationella mät nätet SveLod (två i Västra Götalands län, en vardera i Blekinge, Kalmar, Stockholms, Norrbottens och Värmlands län). Sommarhalvåret omfattar april till september 2023 och vinterhalvåret omfattar oktober till mars 2022/23.

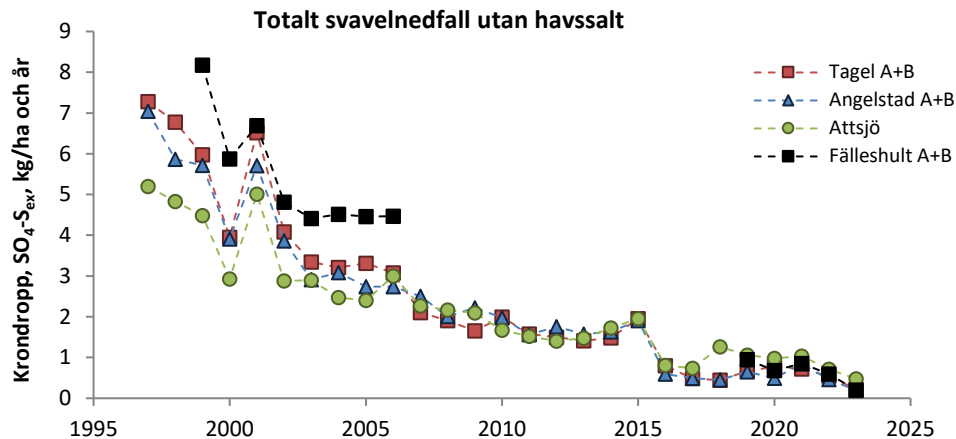
3.2 Svavelnedfall

Svavelnedfall mätt som krondropp ger ett mått på det totala svavelnedfallet till skog, inklusive torr- och våtdeposition. Svavelnedfallet till skogen i Kronobergs län har minskat kraftigt sedan mitten av 1990-talet och minskningen är statistiskt säkerställd för samtliga nu aktiva skogsytor i länet (Figur 12). Under det hydrologiska året 2022/23 varierade svavelnedfallet mellan 0,2 och 0,5 kg per hektar och år vid de fyra mätplatserna i länet. I jämförelse uppmättes vid Angelstad och Tagel under året 1997 ett svavelnedfall på 7–8 kg per hektar och år. De åtta senaste åren har svavelnedfallet vid mätplatserna i Kronobergs län varit runt eller under 1 kg per hektar och år.

FÖRSURNING OCH ÖVERGÖDNING I KRONOBERGS LÄN

Resultat från Krondroppsnetet till och med 2022/23

Juni 2024



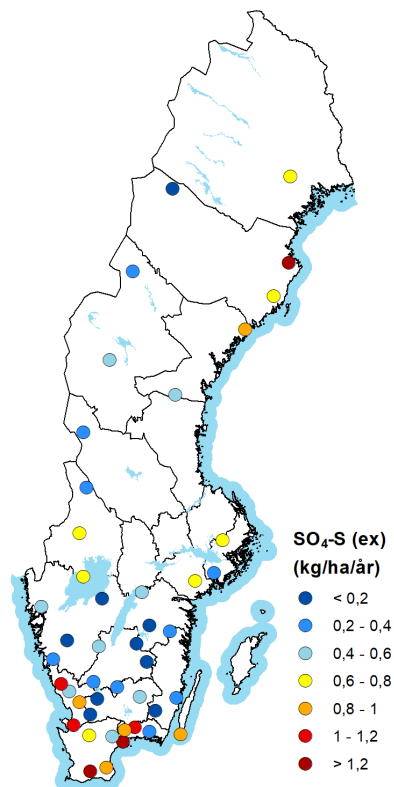
Figur 12. Årligt nedfall av svavel till aktiva provytor i Kronobergs län, mätt som krondropp. Bidraget från havssalt har exkluderats. Beräkningarna gäller hydrologiskt år, oktober-september. Mätningarna vid Tagel, Angelstad och Fälleshult har flyttats, vilket indikeras med olika symboler, A och B. Analyserna av tidsserier för nedfall för dessa platser görs dock utan hänsyn till dessa förflyttningar, eftersom de troligen har liten betydelse. Tagel, Angelstad och Fälleshult utgörs av granskog, medan provytan i Attsjö består av tallskog.

Svavelnedfallet vid länets mätplatser har sedan hydrologiska året 2000/01 minskat med 83-96 %. Dessa nedfallsminskningar kan jämföras med att utsläppen av svaveloxider (SO_x), mätt som SO_2 , har minskat mellan 2001 och 2021 med 95 % inom EU-27 + UK och med 72 % i Sverige (CEIP, 2024). Svavelnedfallet över Kronobergs län minskar således i stort sett i samma takt som minskningarna av svavelutsläppen i Europa.

Svavelnedfallet under de hydrologiska åren 2014/15 och 2015/16 påverkades av svavelutsläpp från en vulkan på Island (Hellsten m.fl., 2017). I januari 2015 sänktes halterna av svavel i fartygsbränsle på Östersjön från 1 % till 0,1 %.

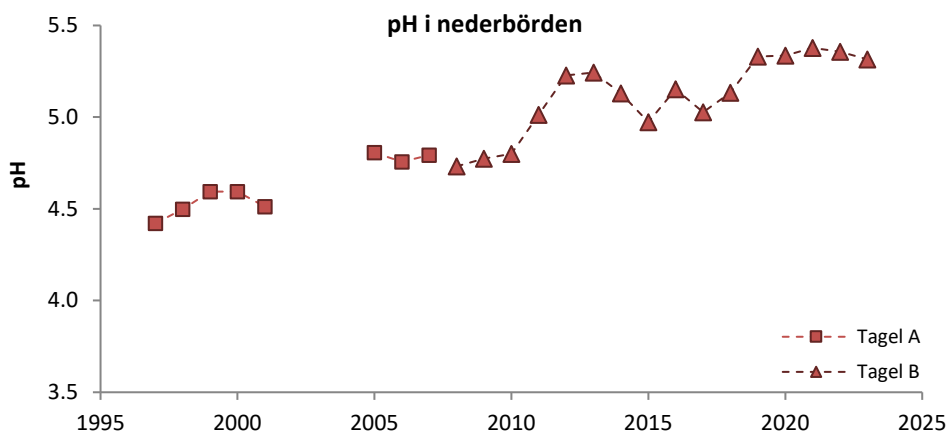
Nedfallet av svavel till granskog mätt som krondropp vid alla mätplatser i landet visas i Figur 13 för 2022/23. Det framgår att den högsta belastningen av svavelnedfallet finns i sydvästra Sverige samt vid några platser längs Norrlandskusten. Svavelbelastningen är låg och över stora delar av Sverige, inklusive delar av Kronoberg, är svavelnedfallet mätt som krondropp lägre än 0,6 kg per hektar under 2022/23. Svavelnedfallet till skogen i vissa delar av Sverige, däribland Kronoberg, är nu så lågt att det finns risk att det kan uppstå problem med metodiken för att mäta det totala nedfallet av svavel till skog i form av krondropp. Svavel är ett växtnäringämne och det finns därför en möjlighet att det uppstår brist på svavel i skogsekosystemen. Detta antyds genom att nedfallet med nederbörden till öppet fält kan vara något större jämfört med det som uppmäts som krondropp. Detta är en situation som vi tidigare konstaterat för nedfallet av oorganiskt kväve och vi har därför inom Krondroppsnetet tagit fram en ny metod för att beräkna det totala nedfallet av kväve till barrskog (Karlsson m.fl., 2019; 2022). Det pågår nu arbete inom Krondroppsnetet för att beräkna det totala nedfallet av

svavel till barrskog baserat på en liknande metod som bland annat utnyttjar mätningar med strängprovtagare.



Figur 13. Svavelnedfall (exklusive bidraget från havssalt) under 2022/23 mätt som krondropp vid alla mätplatser inom Krondroppsnetet.

Ett minskat svavelnedfall återspeglas i ett ökat pH i nederbörden. Under hydrologiska året 2022/23 uppmättes pH-värdet i nederbörden vid Tagel till 5,3 (Figur 14). Mellan 2001/02 och 2022/23 har nedfallet av försurande vätejoner (H^+) vid Tagel minskat signifikant med 95 %.



Figur 14. pH i nederbörden vid Tagel. Nederbörden mäts månadsvis och pH-värdet medelvärdesbildas för hydrologiskt år, oktober-september. Mätningarna flyttades 1 oktober 2007, vilket indikeras med olika symboler för Tagel A och B.

3.3 Försurningen i markvattnet

Markvattnets försurningsstatus beror i stor utsträckning på nuvarande och historiskt nedfall av svavel på platsen i kombination med markens buffringsförmåga. Försurningsstatusen kan även påverkas av ett överskott av kväve i skogsekosystemen, som via nitrifikation bidrar till försurning. Vidare kan nedfall av havssalt leda till att vätejoner frigörs till markvattnet via jonbyte vid markpartiklarna. Slutligen kan olika former av störningar öka halten löst organiskt kol i marken vilket kan leda till försurning (Akselsson m.fl., 2013). På längre sikt påverkar även skogsbrukets uttag av biomassa från skogen markvattnets försurningsstatus (Akselsson & Belyazid, 2018; Akselsson, m. fl. 2021). Det bedrivs ett omfattande skogsbruk i Kronobergs län.

pH är ett av de mått som kan användas för att följa markvattnets återhämtningsförlopp efter försurning. Enligt bedömningsgrunderna för försurad mark innebär ett pH under 4,4 hög surhet, medan pH 4,4–5,5 innebär måttlig surhet. Ett negativt värde på markvattnets syraneutraliserande förmåga, ANC, innebär att det inte finns någon buffringskapacitet i markvattnet. För att vattnet som rinner ut från skogsmarken skall bidra till återhämtning från försurning i sjöar och vattendrag krävs att ANC har ett betydande positivt värde. Halterna av toxiskt, oorganiskt aluminium ökar vid ett lågt pH och kan därför även det användas som ett mått på försurningspåverkan.

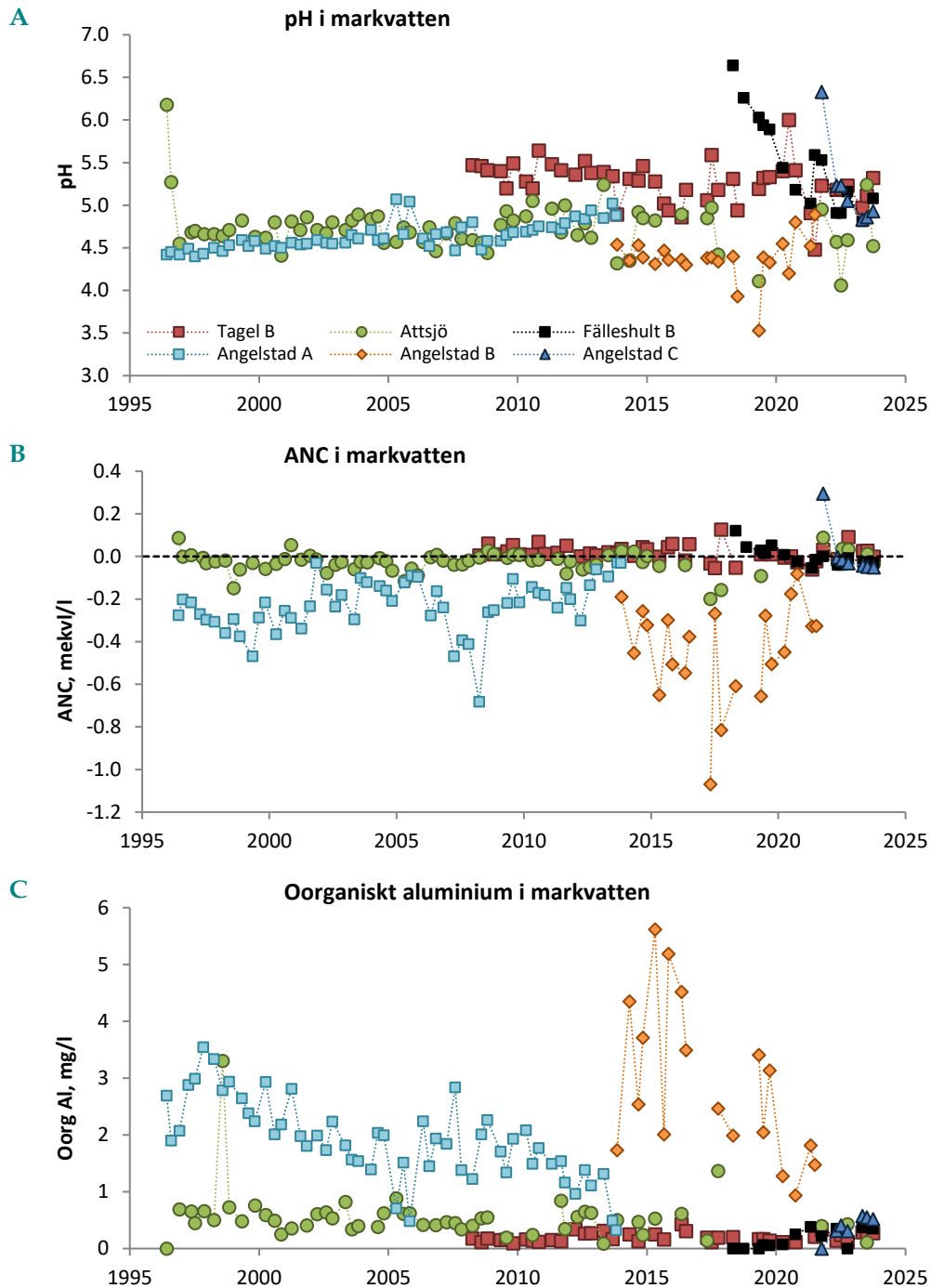
Som nämnts ovan, har markvattenmätningarna vid Tagel, Angelstad och Fälleshult under årens lopp flyttats kortare sträckor. Tidsserierna vad gäller flyttade platser analyseras separat när det gäller statistiska analyser. Etablering av nya lysimetrar vid en ny mätplats innebär alltid en viss störning i marken, vilket gör att resultaten för de första mätningarna efter en flytt får tolkas med försiktighet.

Resultaten för några olika parametrar som beskriver försurningstillståndet i markvattnet vid nu aktiva mätplatser, fram till och med 2023, visas i figurerna 15A-C.

FÖRSURNING OCH ÖVERGÖDNING I KRONOBERGS LÄN

Resultat från Krondroppsnetet till och med 2022/23

Juni 2024



Figur 15. pH (A), ANC (den syraneutraliserande förmågan) (B) och oorganiskt aluminium (C) i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Markvattenmätningarna har vid vissa platser flyttats kortare sträckor, vilket indikeras med olika bokstavsbe-teckningar.

Markvattnet på mätplatserna i Kronobergs län har i flera fall haft låga värden för pH, lågt ANC och förhöjda halter av oorganiskt aluminium. Under 2023 var det ingen mätplats där pH klart överskred 5,5.

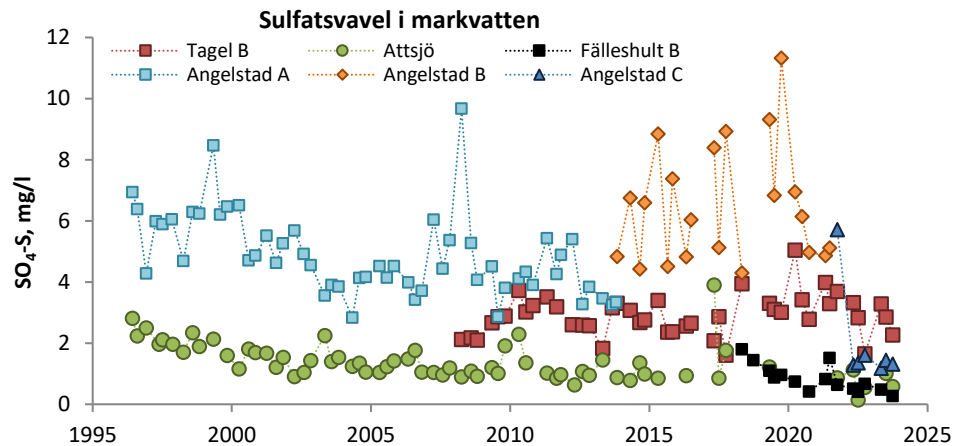
Vid Angelstad, belägen nära sjön Bolmen i länets västra del har pH i markvattnet varierat avsevärt mellan tre närliggande mätpunkter. Vid den första mätpunkten ökade pH från ett lågt startvärde till ett värde runt 5,0 när mätningarna flyttades 2013. Halterna av oorganiskt aluminium var höga men minskande vid den första mätpunkten. Vid nästa mätpunkt var pH under perioden 2013 – 2021 avsevärt lägre, i flertalet fall runt 4,4 men i vissa fall ännu lägre, till dess att mätningarna flyttades igen på grund av en avverkning. Halterna av oorganiskt aluminium var ännu högre vid den andra mätpunkten, jämfört med den första. Vid den tredje mätpunkten har pH återigen legat runt 5,0, och halterna av oorganiskt aluminium är låga. Skillnaderna i försurningsstatus mellan de närliggande mätpunkterna är svårförklarade men visar hur markegenskaperna kan variera på korta avstånd. En bidragande förklaring till de låga pH-värdena är höga kloridhalter i markvattnet vid Angelstad B.

Även vid Tagel var skillnaderna betydande mellan gamla och nya ytan, med högre pH vid den nya ytan (data för gamla ytan visas ej). Mätningarna vid Fälleshult, som återstartades 2018, uppvisar en relativt bra status i markvattnet ur försurningssynpunkt, med ett pH mellan 5,0 och 5,5, relativt positiva värden på ANC och låga halter av oorganiskt aluminium i markvattnet. Försurningstillståndet i markvattnet vid tallytan i Attsjö försämrades under 2017, med lägre pH och ANC samt något förhöjda halter av oorganiskt aluminium. Under 2018 gick det inte att provta markvatten vid något tillfälle på grund av torkan och under 2019 kunde provtagningen bara göras vid ett tillfälle. Resultaten från provtagningarna under senare år tyder dock på en viss förbättrad försurningssituation vid Attsjö, men pH är fortsatt stundtals lågt.

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, respektive överskott av kväve.

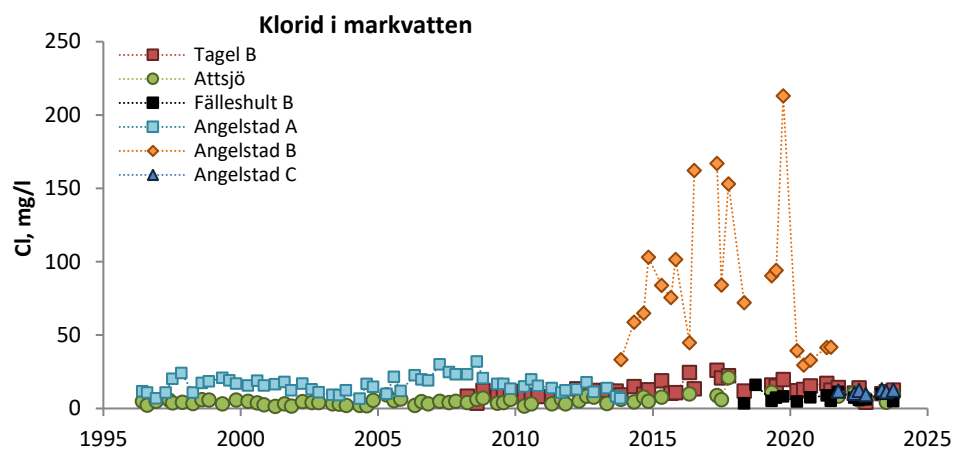
De fyra mätplatserna i länet uppvisar en varierad bild vad gäller svavelhalten i markvattnet, Figur 16. Generellt speglar tidsutvecklingen för svavelhalten i markvattnet det tidigare svavelnedfallet men ofta finns det skillnader i trenderna för svavel i nedfall och i markvattnet. Detta beror till stor del på en fördröjning som orsakas av svaveladsorption/desorption i marken. I tallskogen i Attsjö har halterna av svavel i markvattnet varit relativt låga och minskat från drygt 2 mg per liter 1996 till runt eller strax under 1 mg per liter under senare år. I Tagel B har svavelhalterna i markvattnet legat omkring 3–4 mg per liter och inte förändrats över tid. Provytan Angelstad B visar på höga halter av svavel (4–11 mg per liter). Vid den första mätpunkten vid Angelstad A minskade svavelhalterna signifikant fram till den flyttades 2013 från omkring 6 mg per liter till 3 mg per liter. Vid den nuvarande mätpunkten vid Angelstad C är svavelhalterna återigen låga. Vid den nya ytan vid Fälleshult B har halterna av svavel i markvatten varit mellan 0,4 och 1,8 mg per liter sedan mätstarten 2018. Detta är något lägre jämfört med mätvärdena vid den tidigare mätplatsen vid Fälleshult (data visas ej). Övergripande varierar halterna av sulfatsvavel

i markvattnet på liknande sätt som de olika försurningsparametrarna som beskrivits ovan.



Figur 16. Halter av sulfat i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Markvattenmätningarna har vid vissa platser flyttats kortare sträckor, vilket indikeras med olika bokstavsbezeichnungar.

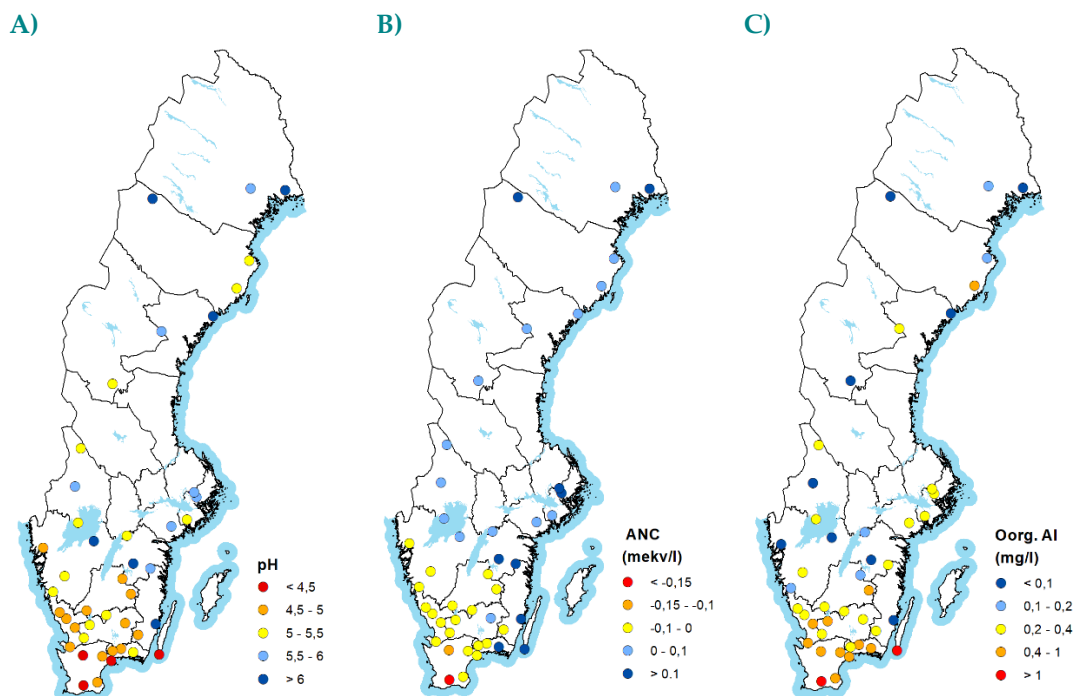
Kloridhalten i markvattnet ger en indikation på havssaltsepisoder, som kan orsaka surstötter. Främst orsakas detta av att natrium (Na^+) i havssaltet byter plats med vätejoner, som leder till sänkt pH i markvattnet, och potentiellt även i ytvattnet. Halterna av klorid i markvattnet visas i Figur 17. Vid provytan Angelstad B har halterna av klorid i markvattnet varit mycket höga och variabla. Detta kan ha bidragit till att förklara lågt pH och höga halter av oorganiskt aluminium i markvattnet vid denna provyta. Varför det varit så höga halter av klorid i markvattnet vid provytan Angelstad B, jämfört med den gamla provytan, är dock okänt.



Figur 17. Halter av klorid i markvattnet vid länets ytor. Markvattnet provtas normalt tre gånger årligen, före, under och efter växtsäsongen. Markvattenmätningarna har vid vissa platser flyttats kortare sträckor, vilket indikeras med olika bokstavsbezeichnungar.

Sammantaget visar resultaten från analyserna av markvatten i länet på en varierande och ännu otillräcklig återhämtning från försurningen.

Markvattnets pH, som median för åren 2021–2023, varierade över landet mellan 3,9 och 7,0, ANC mellan -0,18 och 0,45 och halten oorganiskt aluminium uppgick som högst till 2,3 mg/l (Figur 18). Kronobergs län tillhör de län där markvattnet är mest försurningspåverkat. Mätplatserna i Kronobergs län har medianvärden för pH på samma nivå som flertalet mätplatser i Skåne, Blekinge, Halland och Kalmar län, Figur 18A. ANC är negativt eller strax över noll för mätplatserna i Kronobergs län Figur 18B. De flesta av mätplatserna i Götaland uppvisar negativt ANC, i Svealand är ANC vanligtvis omkring noll, och i Norrland är det positivt. Även halten oorganiskt aluminium uppvisar en liknande gradient, Figur 18C.



Figur 18. pH (A), ANC (B) och Oorg Al (C) i markvattnet på 50 cm djup vid olika platser inom Krondroppsnetet. Det värde som anges är medianvärdet under de senaste tre åren (2021–2023). ANC i avrinnande vatten bör vara betydligt över noll för att motverka försurning i vattendrag och sjöar. Ytor med färre än tre mätvärden under treårsperioden, samt ytor som har avverkats är ej inkluderade.

4 Aktuellt och notiser

4.1 Ny webbplats för Krondropps nätet

Under 2024 uppdateras Krondropps nätet webbplats. Den får ett nytt utseende och delvis förändrade funktioner. Vi hoppas att detta kommer att underlätta för att hitta data, information och rapporter. Det kommer även fortsatt att finnas en speciell inloggning för provtagare med information/filmer om till exempel hur provtagningen ska ske. Adressen till den nya uppdaterade webbplatsen kommer att vara samma som tidigare, dvs: <http://www.krondroppsnetet.ivl.se/>.

4.2 Byte av analysmetod för organiskt kväve

Organiskt kväve har beräknats inom Krondropps nätet sedan mätningarna startade, med hjälp av analyser av reducerat kväve med Kjeldahl-metoden (Kjeldahl, J. (1883); SS-EN 25663). Det organiska kvävet är bundet till organiskt material, och därmed inte lika direkt tillgängligt för upptag till träd och andra växter, men det kan genomgå biokemiska processer och därigenom bli tillgängligt för växtupptag (Näsholm m.fl., 2009). Organiskt kväve är också en viktig komponent i markvattnet och i avrinningen från skogsmark. Kvantifiering av denna kväveform behövs därmed för att kunna göra kompletta kvävebalansberäkningar. Den pågående klimatförändringen gör att det är viktigt med kontinuerliga mätningar. Ändrad temperatur och förändrade nederbördsmonster kan påverka markens förmåga att binda kol och kväve, vilket resulterar i förändrade koncentrationer av organiskt kol och kväve i markvatten och avrinnande vatten. Dessa förändringar kan i sin tur ha konsekvenser för kolinbindning i skogsekosystemet och potentiellt påverka uppfyllandet av miljö kvalitetsmålen för *Ingen övergödning* och *Bara Naturlig försurning*.

Vid analys med Kjeldahl-metoden omvandlas kväveföreningar av biologiskt ursprung, såsom aminosyror, proteiner och peptider, till ammoniak som sedan analyseras fotometriskt. Resultaten blir Kjeldahl-kväve (Kj-N) som omfattar allt kväve i reducerad form, det vill säga organiskt bundet kväve, samt det ammoniumkväve som fanns från början. Genom att subtrahera uppmätt ammoniak från Kj-N ges ett värde på organiskt kväve. Totalt oorganiskt och organiskt N erhålls genom att addera Kj-N med nitrit- och nitratkväve. Den största nackdelen med Kj-N-analysen är att kemikalierna som används i analysen är mycket starka syror som används vid höga temperaturer, vilket har en negativ påverkan på arbetsmiljön och omgivningen.

Under 2023 slutade laboratoriet på IVL att göra analyser av Kjeldahlkväve, då ett värmeblock som behövdes för analysen gick sönder. Det fanns inga andra laboratorier i Sverige eller Europa som gjorde Kj-N-analys som proverna kunde skickas till, då samtliga andra laboratorier hade bytt metod till att analysera totalkväve (TN) istället (SS-EN ISO 20236:2021). Detta, i kombination med ovan nämnda arbetsmiljöproblem, gjorde att vi även inom Krondropps nätet bytte metod till TN-metoden. Vid analys av

TN görs analyserna istället genom katalytisk oxidation och de bildade kväveoxiderna detekteras genom kemiluminiscens. Precis som med Kj-N kan TN användas för att beräkna organiskt kväve, men i detta fall behöver man dra bort både ammoniumkväve och nitrat- och nitritkväve (där nitritkväve vanligen inte finns i några signifikanta koncentrationer i närvaro av syre).

En nackdel med att byta metod är att det innebär en ökad osäkerhet vid analys av tidsserier, då metoderna kan ge lite olika resultat även när båda analyserna körs på samma prov. SLU undersökte om de båda metoderna gav systematiska skillnader när de bytte metod på sitt laboratorium, och såg att den nya metoden gav något lägre värden vid låga halter, men att det inte var några systematiska skillnader vid halter högre än 3 mg/l (Wallman m.fl., 2009). Vid tolkningen av resultaten och vid trendanalys kommer detta att beaktas framgent inom Krondropps nätet.

4.3 Norsk-svensk försurnings- och kalkningskonferens, november 2023

Den 21–22 november 2023 gick Norsk-svensk försurnings- och kalkningskonferens av stapeln, i Gardemoen, Norge. Konferensen anordnas vanligen vartannat år av Miljødirektoratet i Norge och Havs- och Vattenmyndigheten (HAV). Cecilia Akselsson representerade Krondropps nätet på konferensen och höll två föredrag, ett om Krondropps nätet och ett om skogsbrukets försurningspåverkan. I föredraget om Krondropps nätet presenterade Cecilia bland annat trender för svavel- och kvävenedfall, den långsamma återhämtningen av markvattenkemin och dess känslighet för störningar. I det andra föredraget presenterade hon indikatorn för skogsbrukets försurning som bygger på ”kritiskt biomassauttag”, resultat för de senaste indikatoruppföljningarna, samt resultat från en studie där kritiskt biomassauttag jämförs med ANC i markvattnet på 26 Krondroppsytor (Akselsson m.fl., 2021). I diskussionerna efteråt blev det tydligt att Krondropps nätet är unikt i och med det stora antalet mätplatser och de långa tidsserierna. En synpunkt framkom även från norskt håll om att en indikator för försurning från skogsbruk borde övervägas även i Norge.

4.4 Krondropps nätet bidrar till en nyutkommen bok om atmosfäriskt nedfall av kväve och dess effekter på skog

Atmosfäriskt nedfall av kväve och dess effekter på ekosystemen behandlas på en global skala i en nyutkommen bok, med professorerna Enzai Du från Kina och Wim de Vries från Nederländerna som redaktörer. Boken innehåller kapitel om mätningar och modellering av kvävenedfall, biokemisk och ekologisk påverkan på främst skogsekosystemen samt kvävenedfallens betydelse för skogsbruk. I bokens olika kapitel citeras ett flertal vetenskapliga artiklar där Krondropps nätet har bidragit. Mätningar

och olika sammanställningar som tas fram inom Krondroppsnetet bidrar till att öka kunskaperna kring hur kvävenedfallet påverkar skogsekosystemen globalt.

Bok: Atmospheric Nitrogen Deposition to Global Forests - Spatial Variation, Impacts, and Management Implications. Redaktörer: Enzai Du och Wim de Vries. Academic Press, ISBN: 978-0-323-91140-5.

4.5 Världens största skogskonferens - IUFRO-konferensen - till Stockholm 2024

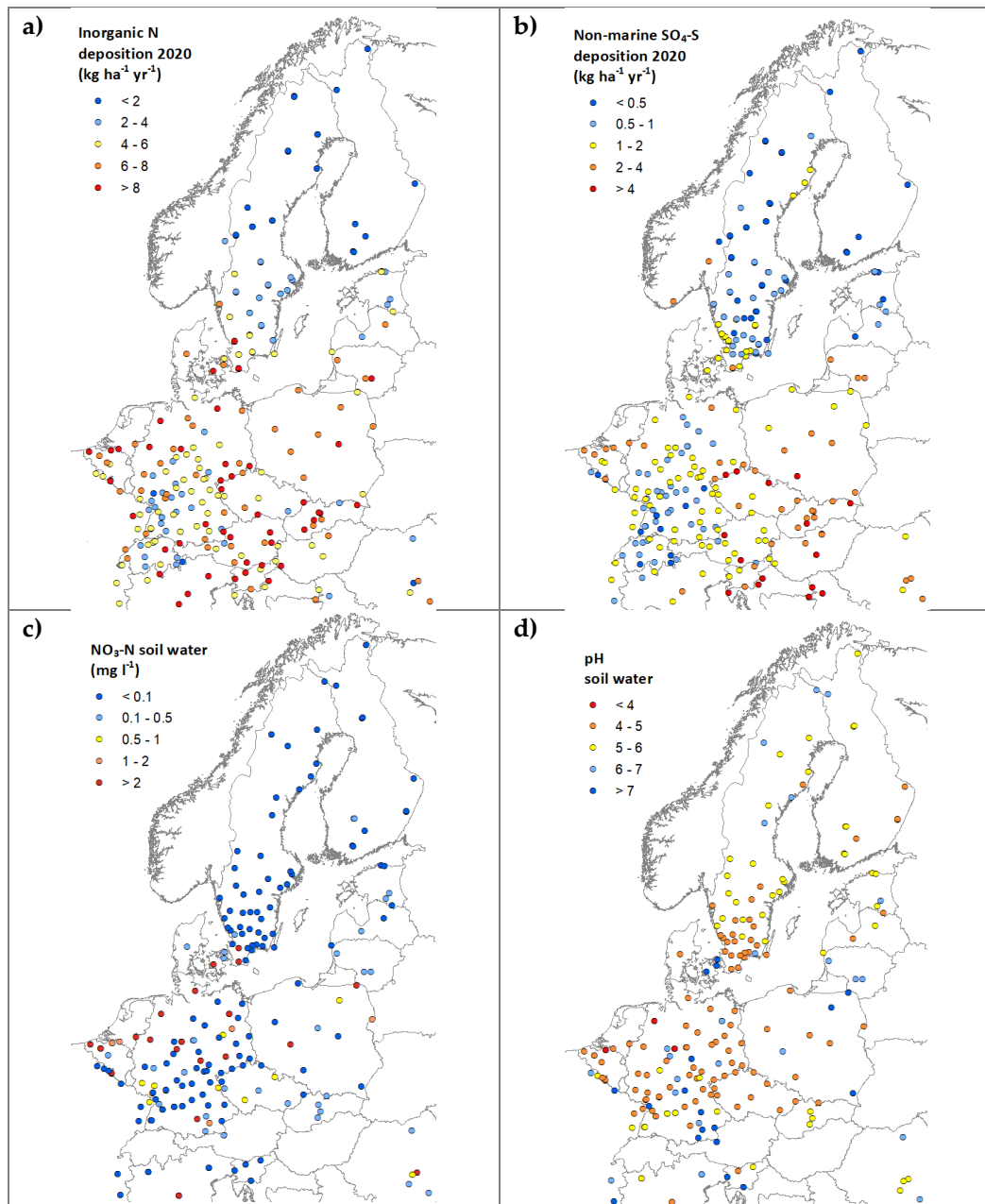
23–29 juni 2024 pågår den 26:e IUFRO World Congress i Stockholm. IUFRO World Congress är en av de största globala skogskonferenserna och den har hållits ungefär vart femte år sedan 1893. Kongressen samlar ledande forskare och toppledare från hela världen för att bidra, diskutera och samverka för en hållbar framtid inom skogsbruk, klimat och samhälle. Sverige är värd för konferensen i nära samarbete med de nordiska och baltiska länderna.

Under konferensen kommer deltagare från Krondroppsnetet vara på plats och presentera resultat från mätningarna inom Krondroppsnetet:

- I en poster presenteras resultat från beräkningar av det totala nedfallet av kväve till barrskogar i Sverige under en 20-årsperiod, 2002–2022.
- I ytterligare en poster beskrivs hur en slutavverkning av en granskog i anslutning till krondroppsytan Storskogen i Västra Götalands län ger upphov till en kraftigt ökad export av nitratkväve i avrinningen från det avverkade området.
- I en tredje poster visar vi variationen i nitrat i markvattnet efter störningar, främst i form av avverkning, från ett 10-tal krondroppsytor i en kvävedepositionsgradient över Sverige.

4.6 Europeisk jämförelse av mätresultat

I samband med att en ny artikel togs fram om resultaten inom Krondroppsnetet, se stycke 4.10.1 nedan, gjordes en europeisk jämförelse av 2020 års data för kvävenedfallet via nederbörden och svavelnedfallet som krondropp, Figur 19a-b. Det gjordes även en jämförelse av medianvärdet under 2016–2018 för NO₃-N och pH i markvattnet, Figur 19c-d. Jämförelserna illustrerar att Sverige ligger i en gradient av svavel- och kvävenedfall, från de kraftigt belastade områdena i kontinentala Europa till de mindre belastade områdena i norra Fennoskandia. Även inom det kontinentala Europa finns vissa mindre belastade områden. Problem med högt kvävenedfall är jämnt fördelat i det kontinentala Europa, medan högt svavelnedfall främst kvarstår i de östra delarna. Följdverkningarna av svavelnedfallet i form av låga pH-värden i markvattnet finns dock kvar även i västra Europa.



Figur 19. (a) Nedfall av oorganiskt kväve (N) via nederbörden under 2020, (b) Nedfall av sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$) utan havssalt under 2020, (c) nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$) i markvatten (medianvärde 2016–2018), samt (d) pH i markvatten (medianvärde 2016–2018). Data för Sverige kommer från Krondroppsnetet och data för resten av Europa kommer från ICP Forests (<http://icp-forests.net>). Markvattendata från ICP Forest utgörs av medianen för det specifika året och provtagningsdjupet varierar mellan 40-90 cm. Markvattendata från Krondroppsnetet i diagrammen utgörs av medianen för 2016–2018 och provtagningsdjupet är 50 cm.

4.7 Skärpt lagstiftning för renare luft i Europa

I februari 2024 togs ett viktigt steg för renare luft och förbättrad folkhälsa i Europa. Enligt en ny överenskommelse inom EU ska nya gränsvärden för luftkvalitet uppfyllas senast 2030.

Luftföroreningar orsakar såväl ohälsa som allvarlig sjukdom i Sverige, övriga Europa och världen över. Trots att regelverk funnits i många år är det fortfarande en lång bit kvar tills alla invånare i Europa har god luftkvalitet.

EU-parlamentet och ministerrådet har nu tagit ett första steg och nått en preliminär överenskommelse kring ett nytt luftkvalitetsdirektiv. Den slutliga omröstningen inom EU-parlamentet kommer troligen genomföras under hösten av det nya parlamentet.

Överenskommelsen innebär att nya gränsvärden för luftkvalitet ska genomföras och uppfyllas senast 2030. Överenskommelsen innehåller även möjlighet att ge förlängd tid för att nå de nya gränsvärdena, till år 2040, men även under denna tid behöver länderna arbeta aktivt med att förbättra luftkvaliteten.

När direktivet antas formellt startar en två år lång genomförandeperiod då respektive medlemsland ska föra in direktivets bestämmelser i sin nationella lagstiftning. Det nuvarande luftkvalitetsdirektivet är i Sverige genomfört genom miljöbalken, luftkvalitetsförordningen och Naturvårdsverkets föreskrifter.

En annan viktig del i överenskommelsen är att tillgång till rättslig prövning skrivs in i direktivet. Det finns dessutom skrivningar om att allmänheten ska kunna begära kompensation om de lider skada av att direktivet inte följs.

Vart femte år ska kommissionen se över om det är dags att revidera direktivet, exempelvis om det finns anledning att sänka gränsvärdena ytterligare. Översynen kan även visa på att gränsvärdena borde finnas för fler luftföroreningar.

4.8 Miljötilståndet i Jämtlands fjällvärld

Inom Krondropps nätet genomförs mätningar på hög höjd i Jämtlands fjällvärld. Under 2023 har Länsstyrelsen i Jämtlands län tagit fram en sammanställning över miljötilståndet i fjällen för Jämtlands län. Syftet med rapporten var bland annat att öka kunskapen och ge en samlad bild över den bredd av miljödata som kan användas för att beskriva miljötilståndet i fjällområdet. De faktablad som tagits fram och presenteras i rapporten bygger på resultat från regional och nationell miljöövervakning, olika inventeringar, uppföljningar och andra undersökningar som görs av fjällområdets vatten-, luft-, och landmiljöer. Krondropps nätet mätningar på hög höjd har bidragit till detta.

Rapporten kan nås via följande länk:

<https://catalog.lansstyrelsen.se/store/35/resource/148>

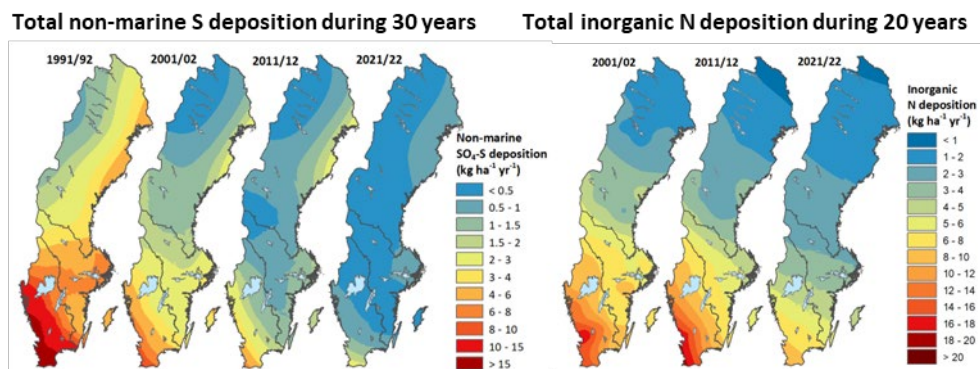
4.9 Luftvårdsförbund i sydost har ny gemensam webbplats

Luftvårdsförbunden i sydöstra Sverige: Jönköpings län, Kalmar län, Kronobergs län och Östergötlands län har en ny gemensam webbplats från och med mars 2024. Adressen till nya webbplatsen är: www.luftvardsforbundet.se. På webbplatsen finns bland annat information och rapporter om/från mätningarna inom Krondroppsnetet.

4.10 Vetenskapliga artiklar där resultat från Krondroppsnetet använts

4.10.1 Ny artikel från Krondroppsnetet

I januari 2024 publicerades en ny "basartikel" om Krondroppsnetets mätningar "Atmospheric deposition and soil water chemistry in Swedish forests since 1985 – Effects of reduced emissions of sulphur and nitrogen". Den behandlar främst resultaten från de 25 hydrologiska åren mellan 1996/97 och 2021/22. Den grafiska sammanfattningen från artikeln finns nedan, Figur 20.



Figur 20. Kartor med tio års mellanrum över totalt svavelnedfall utan havssalt (non-marine S) under en 30-årsperiod 1991/92–2021/22 samt totalt oorganiskt kvävenedfall (N) under en 20-årsperiod.

Sex viktiga slutsatser från artikeln var:

- Svavel- och kvävenedfallet i södra Sverige minskade i linje med minskade utsläpp i Europa och Sverige. I norra Sverige minskade nedfallet i mindre utsträckning än utsläppen.
- Nedfallet på öppet fält av NO₃-N minskade mer än NH₄-N i södra Sverige, vilket stämmer överens med de betydligt större utsläppsminskningarna för NO_x jämfört med NH₃.
- Svavelkoncentrationerna i markvattnet har minskat kraftigt under 25-årsperioden men i mindre utsträckning än svavelnedfallet.

- pH och ANC i markvattnet visar på att en återhämtning från försurning sker, men att den är långsam.
- Vid platser med låg ANC och lågt pH i markvattnet i början av tidsperioden var ökningen av ANC generellt större och ökningen av pH mindre. Men vid platser med högt pH och ANC över noll i markvattnet var ökningen av pH dominerande, vilket är i linje med det icke-linjära förhållandet mellan pH och ANC i markvattnet.
- Inga förändringar i frekvensen av förhöjda halter av NO₃-N i markvattnet kunde påvisas under 35-årsperioden 1985/86 till 2021/22.

Referens: Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson, P.E. 2024. *Atmospheric deposition and soil water chemistry in Swedish forests since 1985 – Effects of reduced emissions of sulphur and nitrogen. Science of the Total Environment* 913, 169734.

4.10.2 Påverkan på årlig stamtillväxt vid krondroppsytor

Trädens årliga stamtillväxt påverkas av ett stort antal olika faktorer, både i den omgivande miljön och internt inom trädet. I en studie finansierad av Naturvårdsverket genom forskningsprogrammet "Swedish Clean Air and Climate Research Program", SCAC, undersökte man vilka faktorer som är viktiga för den årliga stamtillväxten hos granskog vid 17 olika krondroppsytor i södra delen av Sverige. Man tog borrhärdor och analyserade stamdiametertillväxten under 23 år, 1990 – 2013, och jämförde med olika årliga meteorologiska faktorer, växtsäsongens längd, markvattentillgång, kvävenedfall, samt exponeringen för marknära ozon. Den statistiska analysen visade att den enda faktor som man med säkerhet kunde konstatera påverkade stamtillväxten negativt var en minskad tillgång på vatten i marken. Det fanns dock relativt starka indikationer på att ett ökat kvävenedfall kunde påverka stamtillväxten positivt, liksom även en ökad temperatur. För övriga faktorer kunde man inte konstatera någon påverkan. Variationen vad gäller årlig stamtillväxt hos individuella träd är mycket stor, och därför krävs det ett mycket stort datamaterial för att påvisa små effekter på tillväxten.

Referens: Karlsson P.E., Pleijel, H., Fowler, P., Farahat, E.A., Hans W. Linderholm, H.W., Engardt, M., Andersson, C. 2023. *Stem growth of Norway spruce in south Sweden in relation to soil moisture, nitrogen deposition, ozone exposure and meteorological variables. Forest Ecology and Management* 549, 121455.

4.10.3 Vilken roll spelar pollen i krondropp?

Effekterna av trädpollen på nederbördenskemien är inte helt klarlagda, och detta kan leda till felaktiga tolkningar av nedfallet av olika ämnen i europeiska skogar. I denna artikel undersöktes sambandet mellan depositionen i krondropp och den säsongsberoende

pollenkoefficienten (SPIn). Krondropp mättes årligen mellan 1990 och 2018 i två månader under huvudpollensäsongen vid 61 brukade bestånd av bok, ek, tall och gran, som ingår i ICP Forest samt Krondroppsnetet. SPIn för det dominerande trädsläktet mättes vid 56 närliggande platser. Pollens nettobidrag till krondroppet uppskattades i undersökningen.

I bok och granbestånd (där träden inte blommar mycket varje år), påvisades ett positivt samband mellan SPIn och kalium (K), ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$), löst organiskt kol (DOC) och löst organiskt kväve (DON) i krondropp. För bok påvisades ett negativt samband mellan SPIn och nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$) i krondropp. I ek och tallbestånd (där träden blommar mycket varje år) var SPIn mer konstant och hade ingen tydlig koppling till krondroppet.

Sammantaget bidrog pollen i genomsnitt med cirka 4–11 % till det årliga krondroppet av $\text{K} > \text{DOC} > \text{DON} > \text{NH}_4\text{-N}$, med högst bidrag i $\text{ek} > \text{bok} > \text{tall} > \text{granbestånd}$. Trädpollen påverkade krondroppets oorganiska kväveflöden både kvalitativt och kvantitativt, genom att fungera som en källa till ammoniumkväve och en sänka för nitratkväve. Slutsatsen av studien var att pollen tycks spela en mer komplex roll i näringscykeln än vad man tidigare trott.

Referens: Verstraeten, A., Bruffaerts, N., Cristofolini, F., Vanguelova, E., Neiryneck, J., Genouw, G., De Vos, B., Waldner, P., Thimonier, A., Nussbaumer, A., Neumann, M., Benham, S., Rautio, P., Ukonmaanaho, L., Merilä, P., Lindroos, A.-J., Saarto, A., Reiniharju, J., Clarke, N., Timmermann, V., Nicolas, M., Schmitt, M., Meusburger, K., Kowalska, A., Kasprzyk, I., Kluska, K., Grewling, L., Malkiewicz, M., Vesterdal, L., Ingerslev, M., Manninger, M., Magyar, D., Titeux, H., Pihl Karlsson, G., Gehrig, R., Adriaenssens, S., Ekeboom, A., Dahl, Å., Ferretti, M. & Gottardini, E. Effects of tree pollen on throughfall element fluxes in European forests. 2023. *Biogeochemistry* 165, 311–325. <https://doi.org/10.1007/s10533-023-01082-3>

4.10.4 Hur bidrar nitrifikationen i trädkronorna till skogens kvävecykel?

Guerrieri m.fl. (2024) har genomfört en studie om betydelsen av mikrobiellt driven nitrifikation i trädkronorna. Studien genomfördes på 10 skogsområden i Europa under augusti-oktober 2016, varav krondroppsytan Höka (tall) i Östergötland var en av dessa. Studien kombinerade isotopstudier med genetiska analyser för att uppskatta nitrifikationen i trädkronorna och för att identifiera mikroorganismer som kan vara involverade i denna process.

Sammanfattningsvis uppskattade Guerrieri et al. (2024) att upp till 80% av nitraten som når marken via krondropp härstammar från nitrifikation i trädkronorna. Detta motsvarar en flödes hastighet på upp till $5,8 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Nitrifikationen i trädkronorna förbrukar därmed deponerat ammonium och ökar nitratbidraget till marken. Studien visade således den omfattande biologiska omvandlingen av

atmosfäriskt reaktivt kväve i trädkronorna på europeiska skogar och dess bidrag till skogens kvävecykel.

Referens: Guerrieri, R., Cáliz, J., Mattana, S., Barceló, A., Candela, M., Elustondo, D., Fortmann, H., Hellsten, S., Koenig, N., Lindroos, A.-J., Matteucci, G., Merilä, P., Michalski, G., Nicolas, M., Thimonier, A., Turrone, S., Vanguelova, E., Verstraeten, A., Waldner, P. Watanabe, M., Casamayor, E.O., Peñuelas, J. & Mencuccini, M. 2024. Substantial contribution of tree canopy nitrifiers to nitrogen fluxes in European forests. *Nat. Geosci.* **17**, 130–136 (2024).
<https://doi.org/10.1038/s41561-023-01364-3>

5 Tack

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

Det är inte alltid lätt att ta vattenprover vilket många av våra provtagare har fått erfara. Nedan följer två exempel på hur det kan vara. Det första exemplet är en vinterbeskrivning från Maria Tillberg, som är en av de två, som provtar vid Transtrandsberget i norra Värmland och det andra är en beskrivning av ett radioinslag om hur Åke Jönsson vid Nikkaluokta i Norrbotten kan ha det under vintern. Stort tack för att ni delat med er av er vardag och återigen ett stort tack för allt arbete som ni alla provtagare gör under året.

Maria Tillberg: Här kommer en liten vardagsbeskrivning från en av oss som samlar in

"vattenprover". Först tog jag bilen upp på en skogsbilväg fram till "vindskyddet" på höjden. Man måste ha en 4-hjulsdriven bil på grund av all snö. Sen var det oplogat med 35 cm nysnö. På med längdskidor och spåra 3,5 km, mestadels nedför. Därefter på med snöskor och pulsa uppför berget mot provstationen. Det var säkert 90 cm snö och jag försökte gå i samma spår som förra gången. Sjönk ner ca 30-40 cm i varje spår ibland mycket mer! Uppgången tog drygt en timme. Samlade in alla "isprover" som vägde cirka 12 kg och drog de sen nedför berget på en barnpulka. Att ta sig ner tog nog ytterligare en timme. Nere

på "vägen" bytte jag till längdskidorna, skidade tillbaka, nu mest uppför. Gick ganska långsamt i mitt tidigare uppkörda spår, nu med last på 14kg. Allt detta tog cirka 4 timmar. Sen körde jag ner till kraftledningen för att hämta "öppet fält" samt luftprover. Klockan var 17 och det var



mörkt. På med pannlampa och snöskor och traskade in. Glömde stavarna så varje gång jag trampade igenom cirka 70-80 cm snö, så föll jag och det var inte lätt att komma upp! Fick till slut med mig alla prover och kom hem efter drygt 5 timmar. Vad gör man inte för vetenskapen! Och det är ju liksom ett ansvar att klara av utmaningen och inte missa någon hämtning! Forskningen "must go on". Nästa pyssel är att ta hand om påsarna så att de tinar och det tar något dygn. Sen fylla de små flaskorna med vattenprover, dokumentera, ta sig till posten och skicka iväg paketet till er. Hoppas ni uppskattar era behjälpliga "vattensamlare" ute i landet 😊.

Åke Jönsson är ytterligare en av de provtagare som ibland har jobbiga förutsättningar



under vintern. Åke som tar prover i Nikkaluokta åt Krondroppsnätet och i Akkarjåkkå åt SLU var med i ett inslag på Radio P4 Norrbotten. På deras hemsida stod: "Kyla ner mot 40 minusgrader stoppar inte miljöinspektör Åke Jönsson från Kiruna kommun. Han hade gett sig ut på en myr mellan Nikkaluokta

och Pirttivuopio för att ta prover, utan handskar, för att det är just denna dag, som just dessa prover ska tas runtom i landet. Men han var inte ledsen för det." Lyssna gärna på inslaget via följande länk: <https://sverigesradio.se/artikel/ake-samlar-in-prover-pa-myren-i-40-minus-basta-arbetsdagen>

6 Referensförteckning

- 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. 2024. EMEP/CEIP 2024 Present state of emission data; <https://www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata>

- 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 luftkvaliteten i Sverige av SO₂-emissioner från vulkanutbrottet på Island, 2014–2015. IVL Rapport C 234.
- 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., 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.
- Kjeldahl, J. (1883) "Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern" (New method for the determination of nitrogen in organic substances), *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22 (1): 366-383.
https://books.google.se/books?id=6ePmAAAAMAAJ&pg=PA366&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Länsstyrelsen i Kronobergs län, 2024. Regional årlig uppföljning – Kronobergs län 2024. Länsstyrelsen i Kronobergs län. <https://www.rus.se/regional-arlig-uppfoljning/>
- 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.
- Näsholm, T., Kielland, K., Ganeteg, U., 2009. Uptake of organic nitrogen by plants. *The New phytologist* 182 (1), 31-48.
- Pihl Karlsson, G, Akselsson, C., Hellsten, S., Karlsson, P.E. 2024. Atmospheric deposition and soil water chemistry in Swedish forests since 1985 – Effects of reduced emissions of sulphur and nitrogen. *Science of the Total Environment* 913, 169734.
- SS-EN 25663 Vattenundersökningar - Bestämning av Kjeldahlnitrogen - Uppslutning med selen.
- SS-EN ISO 20236:2021 Vattenundersökningar - Bestämning av totalt organiskt kol (TOC), upplöst organiskt kol (DOC), bundet kväve (TNb) och upplöst bundet kväve (DNb) efter katalytisk oxidativ förbränning vid hög temperatur (ISO 20236:2018).
- Tamm, C.O. 1991. Nitrogen in terrestrial ecosystems. *Ecological Studies* 81. Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Wallman, K. Löfgren, S. Sonesten, L. Demandt, C. From A-L. Totalkväveanalyser vid Institutionen för vatten och miljö - En genomgång av olika analysmetoder och deras betydelse för tidsserierna. SLU Uppsala: Rapport 2009:8

Bilaga. Mätplatserna i Kronobergs län

Krondroppsnätet bedriver mätningar vid fyra mätplatser i Kronobergs län (Tabell B.1).

Tabell B.1. Aktiva mätplatser i Kronobergs län 2022/23.

Lokal	Dominerande trädslag	Öppet fält	Kron-dropp	Mark-vatten
Fälleshult (G 18)	Gran		X	X
Attsjö (G 21)	Tall		X	X
Tagel (G 22)	Gran	X	X	X
Angelstad (G 23)	Gran		X	X

Undersökningarna är ett resultat av ett lagarbete där provtagning utförs av Elis Bengtsson och Erik Kristensen.

På IVL har främst Sari Blom, Nour Osman, Paula Andersson, Pia Spandow, Sara Bodholm, Camilla Hållinder-Ehrencrona, Jessica Ekström, Crina Salceanu, Pernilla Bengtsson och Karin Hallgren tagit hand om och analyserat proverna.

Databasen har skötts av Gunnar Malm.

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



Bakgrundskarta: National Geographic World Map (ESRI).

Angelstad (G 23)

Yta sydost om Bolmen med granskog. På samma sätt som för Attsjö och Tagel startade mätning av deposition och markvatten i maj 1996. Krondroppsytan vid Angelstad skadades av stormarna Gudrun och Per. Dessutom uppstod nya stormfällan vid ett antal tillfällen följande år. Krondroppsytan flyttades därför ca hundra meter åt sydost i mitten av oktober 2013. Under 2021 meddelades att denna nya yta skulle avverkades. Därför flyttades provytan under 2021 ännu en gång. Även denna gång flyttades provytan endast en kort sträcka, nu ytterligare ca 100 m åt sydost. Trädslaget är även fortsättningsvis gran. Detta nya bestånd är cirka 45 år gammalt. Den nya ytan betecknas Angelstad C.

Fotograf: Erik Kristensson



Attsjö (G 21)

Yta med 103-årig tallskog två mil öster om Växjö. Beståndet ligger i ett plant område. Liksom i Angelstad och Tagel startade mätningarna i maj 1996.

Fotograf: Elis Bengtsson

Tagel (G 22)

Yta i 98-årig granskog nordväst om Alvesta. Depositions- och markvattenmätningarna startade 1996. Mätningar på öppet fält avslutades i december 2001, men återupptogs i januari 2004. Krondropps- och markvatten- samt öppet fält-mätningarna flyttades hösten 2007, på grund av barkborreangrepp som uppkom efter stormen Gudrun. Den nya ytan ligger ca 800 m sydost om den gamla ytan i en granskog med ungefär samma ålder som den gamla.

Fotograf: Elis Bengtsson



Fälleshult (G 18B)

En granyta i västra delen av länet, ca 10 km väster om Strömsnäsbruk. Ytan ligger några hundra meter väster om den tidigare krondroppsytan vid Fälleshult som var aktiv mellan 1999 och 2008, då den avverkades efter stormskador. Den nya ytan startade upp i november 2017 och mätningarna påbörjades i december 2017. På ytan växer cirka 40 år gammal granskog, med inslag av några få tallar. Ytan är småkuperad och relativt fuktig.



Fotograf: Erik Kristensson



STOCKHOLM

Box 21060, 100 31 Stockholm

GÖTEBORG

Box 53021, 400 14 Göteborg

MALMÖ

Nordenskiöldsgatan 24
211 19 Malmö

KRISTINEBERG

**(Center för marin forskning
och innovation)**

Kristineberg 566
451 78 Fiskebäckskil

SKELLEFTEÅ

Kanalgatan 59
931 32 Skellefteå

BEIJING, CHINA

Room 612A
InterChina Commercial Building No.33
Dengshikou Dajie
Dongcheng District
Beijing 100006
China

© IVL SVENSKA MILJÖINSTITUTET AB | Tel: 010-788 65 00 | www.ivl.se