

Kalkningens effekt och spridning

Uppföljning och utvärdering av kalkning och försurning i Ulricehamns kommun

MARIA ÅKESSON 2020
MVEK02 EXAMENSARBETE FÖR KANDIDATEXAMEN 15 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET



Kalkningens effekt och spridning

Uppföljning och utvärdering av kalkning och
försurning i Ulricehamns kommun

Maria Åkesson

2020

Bild framsida: Jack B, unsplash.com/@nervum



LUNDS
UNIVERSITET

Maria Åkesson

MVEK02 Examensarbete för kandidatexamen 15 HP, Lunds universitet

Intern handledare: Anders Nilsson, Akvatiskt ekologi, Lunds universitet

Extern handledare: Sara Bjerenius, Miljöenheten Ulricehamns kommun

CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning

Lunds universitet

Lund 2020

Abstract

Acidification was one of the biggest environmental issues during the 20th century, especially in Sweden since acidic emissions from other regions ended up in the ground and water here. In this study, data from several lakes in Ulricehamn Municipality was analysed with consideration of acidification. Liming has been carried out in three lakes, Surströmmasjön, Vallsjön and Trehörningen, since the 1980s to counteract the consequences of acidification. The effects of liming were evaluated in terms of pH and alkalinity. Moreover, six other lakes and a few streams have also been tested throughout the years, some of which are positioned downstream from the limed lakes. The results show a significant difference of the mean pH for all limed lakes before and after liming started, furthermore the effects have spread to another lake in the case of Vallsjön. It is possible that the same goes for Surströmmasjön, although this cannot be said for certain without more data prior to the liming. In this study, I show that the positive effects are most abundant in Vallsjön, however a significant increase in pH and alkalinity can also be seen in Trehörningen all throughout the testing period.

As for the lakes that has not been limed and which are not positioned downstream from a limed lake, no significant increase in pH has occurred even though the deposition of acid emissions has decreased greatly since testing began. Here I discuss the impact of forestry, which could have slowed down the recovery since the majority of the lakes' drainage areas consist of forest. In the future, the impact of forestry on acidification will continue to increase and it is therefore important to plan acidification efforts accordingly.

Nyckelord: Försurning, kalkning, sjöar, pH, alkalinitet, skogsbruk, miljömål.

Innehållsförteckning

Abstract	5
Innehållsförteckning	7
Inledning	9
<i>Problemets omfattning</i>	9
<i>Syfte</i>	10
<i>Frågeställningar</i>	10
Bakgrund	11
<i>Källor till försurning</i>	11
<i>Kemiska parametrar</i>	12
<i>Effekter av försurning</i>	12
<i>Miljömål</i>	13
<i>Ulricehamns kommun</i>	13
<i>Forskningsläget</i>	14
Metod	15
<i>Dataunderlag</i>	15
<i>Kalkets spridning</i>	16
<i>Angränsningar</i>	17
<i>Etisk reflektion</i>	17
Resultat	18
<i>Områdesöversikt</i>	18
<i>Kalkets effekt och spridning från sjöarna</i>	20
<i>Försurning i övriga sjöar</i>	31
Diskussion	35

<i>Kalkningens biologiska effekter</i>	35
<i>Kalkningens kemiska effekt och spridning</i>	36
<i>Försurning i övriga sjöar</i>	37
<i>Skogsbruk</i>	38
<i>Miljömålet</i>	39
<i>Framtidens utmaningar</i>	40
<i>Data och metod</i>	41
Slutsats	43
Tack	45
Referenser	47

Inledning

Problemets omfattning

Under 1900-talet ökade användningen av fossila bränslen i takt med den fortgående industrialiseringen (SMHI, 2016). Ett av de stora miljöproblemen som följde med detta var depositionen av försurande ämnen som tillfördes och än idag fortsätter tillföras i mark, vattendrag och sjöar. Försurningsproblemet blev som värst under 70-talet då utsläppen var störst, men sedan dess har kurvan vänt och idag har utsläppen minskat kraftigt i Europa. Det är främst svavel, som vid förbränning omvandlas till svaveldioxid, som är den största källan till försurning. Svaveldioxid oxideras i atmosfären och omvandlas till svavelsyra (Akselsson et al., 2007; SMHI, 2016). Svavelsyra kan färdas långa sträckor från ursprungskällan och faller till mark- eller vattenytan i form av nederbörd eller med vind i form av torrdeposition (Havs- och vattenmyndigheten, 2019). Tack vare förbättrade reningsprocesser inom industrin och en övergång till mer svavelfattiga bränslen har Europas svavelutsläpp minskat med 70% och Sveriges med 90% sedan 70-talet (Havs- och vattenmyndigheten, 2019).

Mycket av det svavel som deponerades i Skandinavien kom från andra länder i Europa, vilket i kombination med en generellt låg buffringsförmåga i berggrunden gjorde att Skandinavien drabbades hårt av försurningsrelaterade problem (Akselsson et al., 2007; SMHI, 2016). Konsekvenser av detta blev en förlust av biologisk mångfald i sjöar och vattendrag då många organismer tog skada eller helt slogs ut, vilket till följd kunde leda till förändrad artsammansättning och nedsatt funktion i hela ekosystem (Naturvårdsverket, 2010). För att motverka problemen påbörjades kalkning av många sjöar och vattendrag på 70-talet, en åtgärd som fortfarande fortgår i många vatten trots de utsläppsminskningar som skett (Naturvårdsverket, 2011). Tack vare förbättrade kalkningsmetoder och de minskade utsläppen har antalet försurade sjöar minskat i landet och många kalkningsåtgärder har kunnat trappats ned eller avslutas helt. I Ulricehamns kommun i Västergötland kalkas idag tre sjöar, en process som pågått sedan 80-talet. Samtidigt följs ett antal andra, okalkade, sjöar i kommunen upp med årliga vattenprover för att övervaka och följa utvecklingen i dem. Denna studie kommer handla om vilka effekter som uppkommit av kalkningen och hur dessa eventuellt spridit sig, hur försurningen ser ut idag och vilka faktorer som påverkar vattenkemin.

Syfte

Det huvudsakliga syftet med studien är att utvärdera kalkningsåtgärderna i Ulricehamns kommun samt se vilka andra faktorer som kan påverka försurningen och hur försurningsproblematiken ser ut i dagsläget. Utöver det så kommer studien även undersöka om det går att avgöra om miljömålet 'Bara naturlig försurning' är uppnått eller vad för ytterligare forskning som behövs för att fastställa det.

Frågeställningar

Följande frågeställningar undersöks och besvaras i studien:

- Vilka effekter, så som ökning av pH och alkalinitet, har uppnåtts av kalkningen och har dessa spridit sig till sjöarna nedströms i samma avrinningsområde?
- Går det att avgöra om miljömålet Bara naturlig försurning är uppnått, när det kan tänkas bli uppnått eller vad för ytterligare underlag som behövs för att avgöra det?
- Kan markanvändningsfaktorer som skogsbruk ha påverkat vattnets kvalitet?

Bakgrund

Källor till försurning

Utöver svaveldioxid orsakar också kväveoxider, som släpps ut vid förbränning, försurande effekter i miljön (Naturvårdsverket, 2011). Kväveoxid når marken i form av nitrat, vilket är ett essentiellt näringsämne för vegetationens tillväxt. När växter tar upp nitrat neutraliseras syran och vegetation kan därmed fungera som en naturlig buffert för kväve, men bara tills den uppnått en mättnadsnivå, s.k. kvävemättnad, och inte kan tillgodogöra sig mer av ämnet. Ytterligare nitrat som tillförs skapar då en försurande effekt i mark och vatten och bidrar dessutom till övergödning (Naturvårdsverket, 2011).

Även då kvävemättnad ännu inte är uppnådd kan nitrat indirekt bidra till försurning genom sin gödande effekt som leder till ökad tillväxt (Naturvårdsverket, 2011). Detta beror på att växande träd tar upp olika näringsämnen i form av baskatjoner och släpper ifrån sig vätejoner som försurar miljön. Om trädens naturliga livscykel får fortgå - där de växer, dör, faller till marken och förmultnar – återförs de upptagna näringsämnena till marken och den försurande effekten balanseras ut. Detta förlopp avbryts då träden fälls och forslas bort tillsammans med de näringsämnena de tagit upp (Naturvårdsverket, 2011).

Med tanke på den stora minskningen av svavel- och kvävehaltiga utsläpp som skett hittills har skogsbruket kommit att spela en allt större roll i den försurning som fortfarande sker och för sjöarnas återhämtning (Akselsson & Belyazid, 2018; Akselsson et al., 2007). Det finns en risk att det alltmer intensiva skogsbruket och den ökade efterfrågan på biomassa och biobränsle saktar ner eller till och med hämmar återhämtningen från försurning orsakad av atmosfärisk deposition (Moldan et al., 2017). I framtiden beräknas skogsbrukets påverkan på försurning öka till följd av varmare klimat och större efterfrågan på biomassa (Naturvårdsverket, 2019). Beroende på vilket typ av träd som skogen består av, vilken typ av skövlingsmetod som används och hur försurningskänsligt området är så kan skogsbrukets påverkan variera (Akselsson et al., 2007). Askåterföring i marker som bedöms vara försurningskänsliga och där större uttag av träd gjorts är en åtgärd som i viss mån kan motverka den försurande effekten (Naturvårdsverket, 2019).

Kemiska parametrar

pH-värdet är det som främst studeras vad gäller försurning, men även andra parametrar är av intresse, exempelvis alkalinitet. Alkalinitet är en indikator på hur väl vattnet kan motverka och neutralisera försurning, dess så kallade buffertförmåga (Futter et al., 2014; Henriksen, 1979). Måttet på alkalinitet avgörs i stor utsträckning av vilken typ av berggrund som finns i området och hur lättvittrad den är. I Sverige är berggrunden oftast svårvittrad vilket innebär en sämre buffertförmåga och att de svenska sjöarna är extra känsliga för försurning (Henriksen, 1979; Naturvårdsverket, 2010). Eftersom lägre alkalinitet innebär sämre buffertförmåga i vattnet kan en minskning i alkalinitet vara en första indikator på att ett vatten håller på att försuras. Om värdet på alkaliniteten är noll har vattnet inte längre någon motståndskraft mot försurning och då kan pH-värdet falla (Henriksen, 1979). Vid pH 5,4 är alkaliniteten noll och ett vatten anses vara försurningskänsligt när alkaliniteten understiger 0,1 mekv/l (Grahn, 2018). Surheten i sjöar och vattendrag kan variera mycket under året, främst på grund av snö- och ismältning samt nederbörd vilket innebär surare förhållanden under våren (Wigington et al., 1992). En orsak till det är att grundvattennivån är högre än normalt, vilket gör att nederbörd rinner genom ytligare och surare jordlager för att slutligen hamna i sjöar och andra vatten (Nationalencyklopedin, u.å.-a). På våren sker också djurens och växternas reproduktion och därför är naturen extra känslig för försurning då. Det räcker att vattnet är försurat under korta perioder för att många organismer ska ta skada av det (Nationalencyklopedin, u.å.-a).

Effekter av försurning

En minskning av pH-värdet i en sjö eller vattendrag får en mängd spridda konsekvenser. Bland annat ökar halten av lättlösligt aluminium i marken, vilket även sprider sig till vattnet och orsakar skada för en mängd organismer (Havs- och vattenmyndigheten, 2018). Yngel och vuxen fisk är mest känsliga för aluminium, särskilt lax och mört, medan rommen tar mest skada av pH-sänkningen. Ett försurat vatten kan orsaka nedbrytning av rommens äggskal och förstöra kläckningen. Försurning påverkar också fiskars upptag av joner, deras osmoreglering, negativt. Andra arter som drabbas utöver fiskarter är bl.a. den hotade flodpärlmusslan och flodkräftan, vilka har svårt överleva och fortplanta sig om pH är under 6,2 respektive 6,0 (Havs- och vattenmyndigheten, 2018).

Miljömål

Ett av Sveriges 16 miljö kvalitetsmål handlar om att uppnå 'Bara naturlig försurning'. Detta innebär att "de försurande effekterna av nedfall och markanvändning ska underskrida gränsen för vad mark och vatten tål" och målet generellt innehåller fyra olika preciseringar (Naturvårdsverket, 2019). Bland annat att påverkan genom atmosfäriskt nedfall ej ska medföra att den kritiska belastningen för försurning av vatten överskrids, samt att den försurande påverkan från skogsbruket ska motverkas (Naturvårdsverket, 2019). I dagsläget har inte miljömålet uppnåtts på ett nationellt plan, men utvecklingen går åt rätt håll, mycket tack vare de minskade utsläppen. Det krävs dock fortfarande åtgärder för att de drabbade sjöarna och vattendragen ska kunna återhämta sig helt, samtidigt som nya problem följer med framtiden (Naturvårdsverket, 2019).

Ulricehamns kommun

I Ulricehamns kommun kalkas sjöarna Surströmmasjön, Vallsjön och Trehörningen. Alla tre sjöar har kalkats sedan 80-talet och kalkningsarbetet fortgår än idag. Länsstyrelsen i Västra Götaland utför själva kalkningsarbetet som genom åren skett både med doserare, flyg och båt. Länsstyrelsen sköter även provtagningen i sjöarna som sker två gånger per år, oftast vid tidig vår och sen höst. De har även utfört provtagning i vissa andra närliggande sjöar och vattendrag, dock inte lika kontinuerligt och ej under lika många år. Detta gäller Rännavägssjön och Kolarebäcken. Provtagningen mäter bl.a. pH-värde och alkalinitet i vattnet.

Tabell 1: Sjöar som kalkas, deras storlek, startdatum för kalkning, storlek på avrinningsområdet, vattenvolym, sjöarnas omsättningstid och medeldjup. Sjöstorlek och sjöns omsättningstid påverkar mängden kalk som behövs. Förhållandet mellan sjöstorlek och avrinningsområdets storlek är relevant eftersom markanvändningen redovisas per avrinningsområde.

Sjö	Storlek (km ²)	Kalkning start	Avrinningsområdets storlek (km ²)	Vattenvolym (m ³)	Omsättningstid (år)	Medeldjup (m)
Surströmmasjön	0,1	1983-09-15	13,4	477 000	-	4,1
Vallsjön	0,3	1987-07-15	23,3	939 000	-	2,9
Trehörningen	2,0	1986-10-15	5,9	2206 000	0,957	1,4

Utöver de sjöar som kalkas tar också Ulricehamns kommun två gånger per år vattenprover i sex andra sjöar och i två punkter i Jälmån. Vissa av dessa sjöar ligger i anslutning till de som kalkas och vissa av dem ligger i helt skilda avrinningsområden. Oxasjön, Lindhultasjön och Jälmån Grönahög ligger nedströms kalkade sjöar. Björnsjön, Påbosjön, Lillö sjö, Rydsjön och Jälmån Tokared ligger antingen uppströms eller är helt skilda från kalkade sjöar. Med de mätvärden som finns från dessa vatten kan en jämförelse göras dels mellan de kalkade sjöarna och de som ligger i direkt anslutning till dem, samt mellan de sjöar som ej är kopplade till ett kalkningsobjekt.

Forskningsläget

Försurning har ansetts vara ett av de största miljöproblemen i Sverige under senare halvan av 1900-talet (Naturvårdsverket, 2011). Dessutom har Sverige varit särskilt hårt drabbat eftersom utsläpp från andra delar av Europa färdats långt och deponerats i Sverige (Akselsson et al., 2007). Mycket forskning har därför gjorts på området, samtidigt som påkostade åtgärder relativt tidigt satts in för att motverka effekterna, framför allt kalkning (Naturvårdsverket, 2011). Idag, när utsläppen av svaveldioxid och kvävedioxid minskat mycket, fokuserar forskningen desto mer på andra faktorer som spelar roll i det fortsatta arbetet mot försurning. Skogsbrukets påverkan är något som undersöks mer idag och vars roll förväntas öka i framtiden. Även klimatförändringarna förväntas ha effekter på försurningen och det är av stor vikt att forska vidare på det området (Moldan et al., 2013; Naturvårdsverket, 2011; Wright et al., 2006).

Metod

Dataunderlag

Den här studien grundar sig på data som dels har samlats in av Ulricehamns kommun, dels av Länsstyrelsen i Västra Götaland. Ett antal sjöar och vattendrag i Ulricehamns kommun ingår i studien, både kalkade och okalkade. Länsstyrelsen har bidragit med data från de tre sjöar som kalkats under många år samt några okalkade sjöar och vattendrag. Kommunen bidrar med data från sex okalkade sjöar och två punkter i vattendraget Jälmån. Den data som använts och analyserats här visar främst förändringar i pH men till viss del även alkalinitet. För statistisk analys användes SPSS och Excel. SPSS användes för att ta reda på om datamaterialet för sjöarna var normalfördelat genom Shapiro-Wilk Test for Normality och utifrån det resultatet ta fram antingen Pearson's korrelationskoefficient (normalfördelade data) eller Spearman's rangkorrelationskoefficient (ej normalfördelade data) för att undersöka hur pH respektive alkalinitet förändrats – om värdena ökar, ligger still eller minskar med tiden. I de fall då Pearson's korrelationskoefficient togs fram redovisas korrelationskoefficienten (r), antalet värden (N) och p -värdet (p). För Spearman's rangkorrelationskoefficient redovisas samma värden men korrelationskoefficienten visas som ' ρ '. Med samma statistiska metod undersöktes det även om pH och alkalinitet korrelerar. Trenden eller korrelationen ansågs signifikant om $p < 0,05$. Excel har främst använts för att göra grafer, diagram och enklare dataanalyser, exempelvis t -test.

SMHI och Havs- och vattenmyndighetens datatjänst 'Modelldata per område' användes för att kartlägga sjöarnas avrinningsområden och hur sjöarna och vattendragen ligger i förhållande till varandra (SMHI och Havs- och vattenmyndigheten, u.å.). Även data över markanvändning i avrinningsområdena kom från samma datatjänst. SMHI's data från 'Sjölyftet' (2018) användes för att ta fram sjöarnas volym. Skogsstyrelsens kartdatatjänst 'Skogliga grunddata' användes för att överse avverkningar i sjöarnas närområden (Skogsstyrelsen, u.å.). 'Vattenkartan' från Vatteninformationssystem Sverige (VISS) användes för att överblicka sjöarna och länsstyrelsens övervakningsstationer som ligger i anslutning till dem, samt för att lokalisera åtgärder som gjorts, exempelvis askåterföring, och för att skapa kartor (Vatteninformationssystem Sverige, u.å.). Utöver vad som står på VISS hemsida kan fler åtgärder ha utförts som ej är registrerade. VISS användes även för att ta

reda på storleken på sjöar och längden på bäckar och åar. Nationella kalkdatabasen är en hemsida som drivs av Länsstyrelserna, Havs- och vattenmyndigheten och Naturvårdsverket och där all data från Sveriges kalkningsverksamhet finns, exempelvis kalkningsobjekt, kalkdatum, kalkningsmotiv (skyddsvärda arter) metod och kalkdos (Nationella kalkdatabasen, u.å.). Hemsidan har använts för att hämta denna typ av information.

I vissa av analyserna av den data som kommer från Ulricehamns kommun och Länsstyrelsen i Västra Götaland har ett urval gjorts att endast använda prover tagna på våren. Det beror på att pH oftast är som lägst då, samt att det är då många organismers reproduktion sker (Nationalencyklopedin, u.å.-a). Därför är det intressant att se hur utvecklingen sett ut just på våren då pH-värdet ofta nått sin lägstanivå. I de fall då alla värden analyserats, det vill säga även de prover som tagits på hösten, står detta tydligt utmarkerat.

Kalkets spridning

Eftersom mängden data skiljer sig mycket mellan sjöarna har inte samma metod används för att analysera kalkets spridning. För Surströmmasjön och Vallsjön finns två respektive en sjö nedströms från den kalkade sjön för vilka det också finns en större mängd data. För dessa två kalkade sjöar har följande metod använts: Ett medelvärde för pH över 4-10 år innan kalkningen påbörjades togs fram. Beroende på hur mycket data som fanns tillgänglig från åren innan kalkningen så varierade antalet värden. För Surströmmasjön, Oxasjön och Rännavägssjön fanns 4-5 värden, för Vallsjön och Lindhultasjön fanns tio värden var. Sedan togs ett medelvärde fram för samma antal år efter att kalkningen startats, så att det för varje sjö fanns två medelvärden - ett före och ett efter kalkstart. Dessa värden jämfördes sedan med varandra för att se hur pH-värdet förändrats/ej förändrats. Genom ett oberoende t-test kunde signifikansen av skillnaden avgöras. Detta visualiserades på tydligast sätt genom att visa alla värden för de båda avrinningsområdena i varsitt stapeldiagram.

När det gäller den tredje kalkade sjön, Trehörningen, fanns ingen data över sjöar nedströms från den. Däremot rinner Gunntorpaån, vilken startar i Trehörningen, in i Jälmån, för vilken det finns data från två provpunkter men endast för år 2000 och framåt. En jämförelse gjordes mellan punkterna i Jälmån, som är belägna före och efter att Gunntorpaån runnit in i ån och signifikansen av skillnaden i pH mellan dem undersöktes med ett Mann-Whitney U-test eftersom ett Shapiro-Wilks-test visade att datan ej var normalfördelad. Uppströms från Jälmån ligger också Rydsjön och Lillö sjö, vilka också kunde jämföras med Trehörningen och Jälmån. Kalkningens effekt i Trehörningen analyseras på samma sätt som för Surströmmasjön och Vallsjön och ett t-test avgjorde signifikansen av skillnaden i pH före och efter kalkstart.

Avgränsningar

- Studien begränsades till Ulricehamns kommun och utgick ifrån de förutsättningar och åtgärder som finns där.
- Analysen skedde endast utifrån det material som fanns att tillgå digitalt. Viss del av datamaterialet finns bara i fysisk form och på grund av rådande omständigheter med Covid-19 och myndigheternas rekommendation att undvika onödiga resor gick det ej att ta del av det.
- Endast kemiska parametrar, som pH och alkalinitet, undersöktes. Tillräckliga data fanns inte för andra aspekter som hade kunnat vara av intresse, exempelvis fiskbestånd etc.
- Endast försurning i vatten kommer undersöktes utifrån miljömålet och inte försurningens påverkan på rörledningar och arkeologiska föremål som också ingår i målets definition.

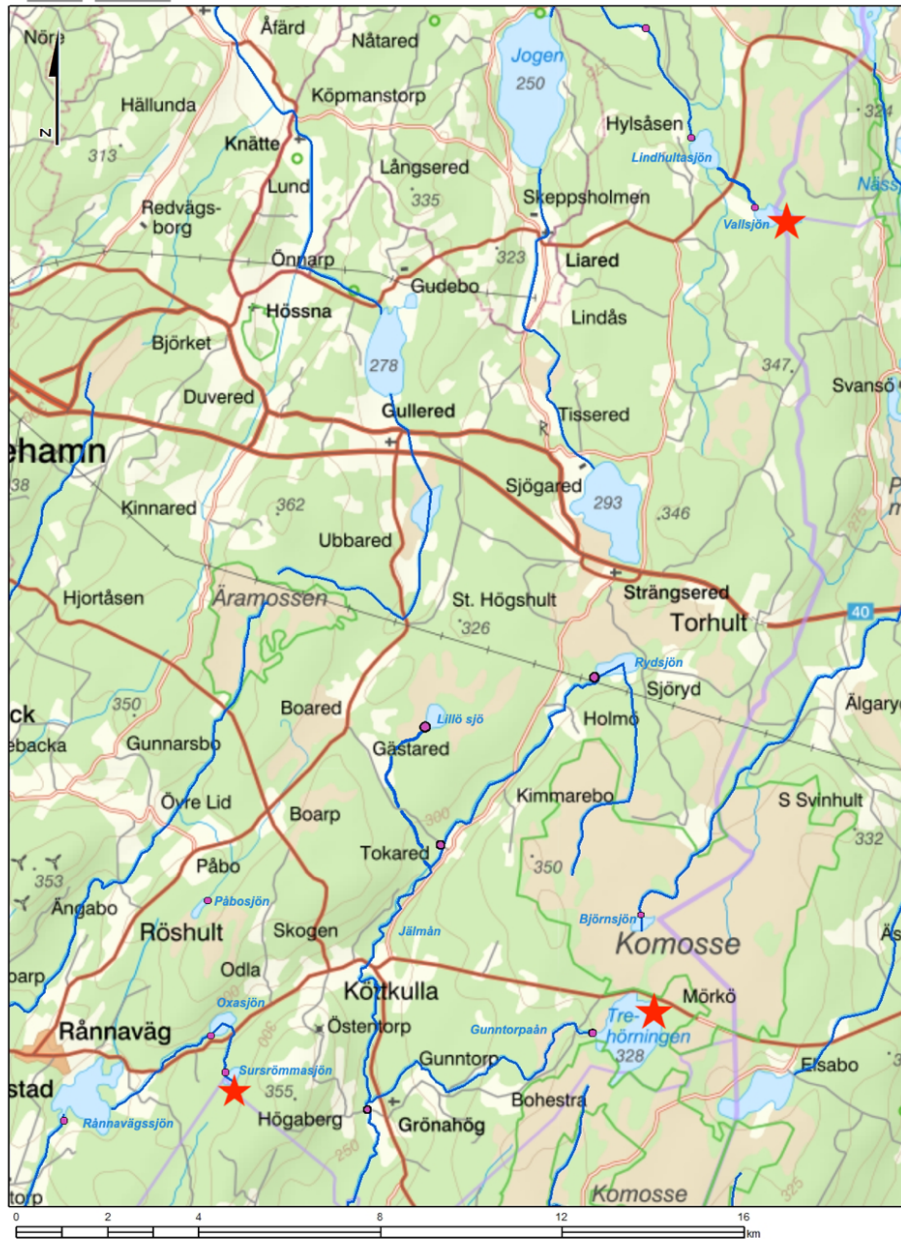
Etisk reflektion

Denna studie görs för och med hjälp av underlag från en kommun, vilket innebär att den kan komma att användas av kommunen och möjligtvis också spela en roll i deras kommande arbete med försurning. Beroende på hur studien eventuellt kommer att användas eller tolkas så finns det en chans att den kommer att påverka exempelvis om mer eller mindre resurser läggs på kalkning och andra åtgärder i framtiden, samt hur miljöproblemet i fråga kommer att prioriteras. Vad gäller kalkning är det viktigt att ha i åtanke dess miljöskadliga inverkan som uppkommer vid brytningen (Naturvårdsverket, 2002)

Resultat

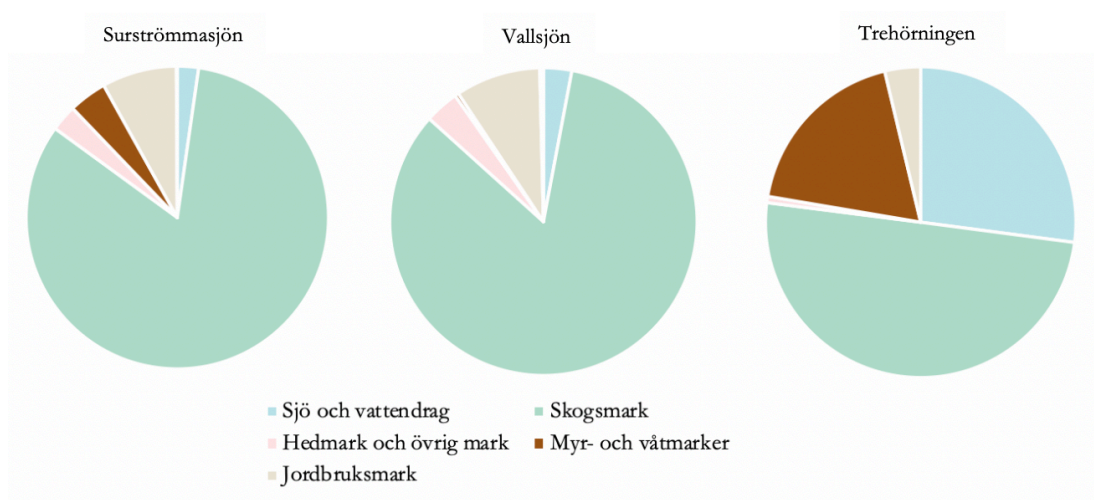
Områdesöversikt

Figur 1 är en karta över sjöarna i Ulricehamns kommun som ingår i denna studie. Sjöar markerade med en stjärna är de som kalkas: Surströmmasjön, Vallsjön och Trehörningen. På kartan syns även sjöarna som ligger nedströms de som kalkas samt de sjöar som ligger i andra avrinningsområden men som fortfarande provtas. Kartor i mindre skala finns under varje sjös resultatdel.



Figur 1: Karta över område med kalkningsobjekten Surströmmasjön, Vallsjön och Trehörningen markerade med stjärnor. Lila cirklar markerar provtagningspunkter. För tydligare överblick, se resultat över respektive sjö. Bildkälla: VISS.

Figur 2 visar fördelningen av markanvändning i sjöarnas avrinningsområden. På vissa platser har länsstyrelsen markerat möjlighet till askåterföring eftersom uttag av grot sker eller planerar att genomföras. Askåterföringen kan enligt VISS ha effekt på hela avrinningsområden, men det framgår endast att åtgärderna än så länge bara är på idéstadiet och det är oklart om de är genomförda ännu. Platserna i fråga ligger i Surströmmasjöns avrinningsområde och i området kring Gunntorpaån som rinner mellan Trehörningen och Jälmån, samt i Rydsjöns och Lillö sjös avrinningsområde.



Figur 2: Markanvändning i Surströmmasjön, Vallsjön och Trehörningens avrinningsområden.

Kalkets effekt och spridning från sjöarna

Surströmmasjön

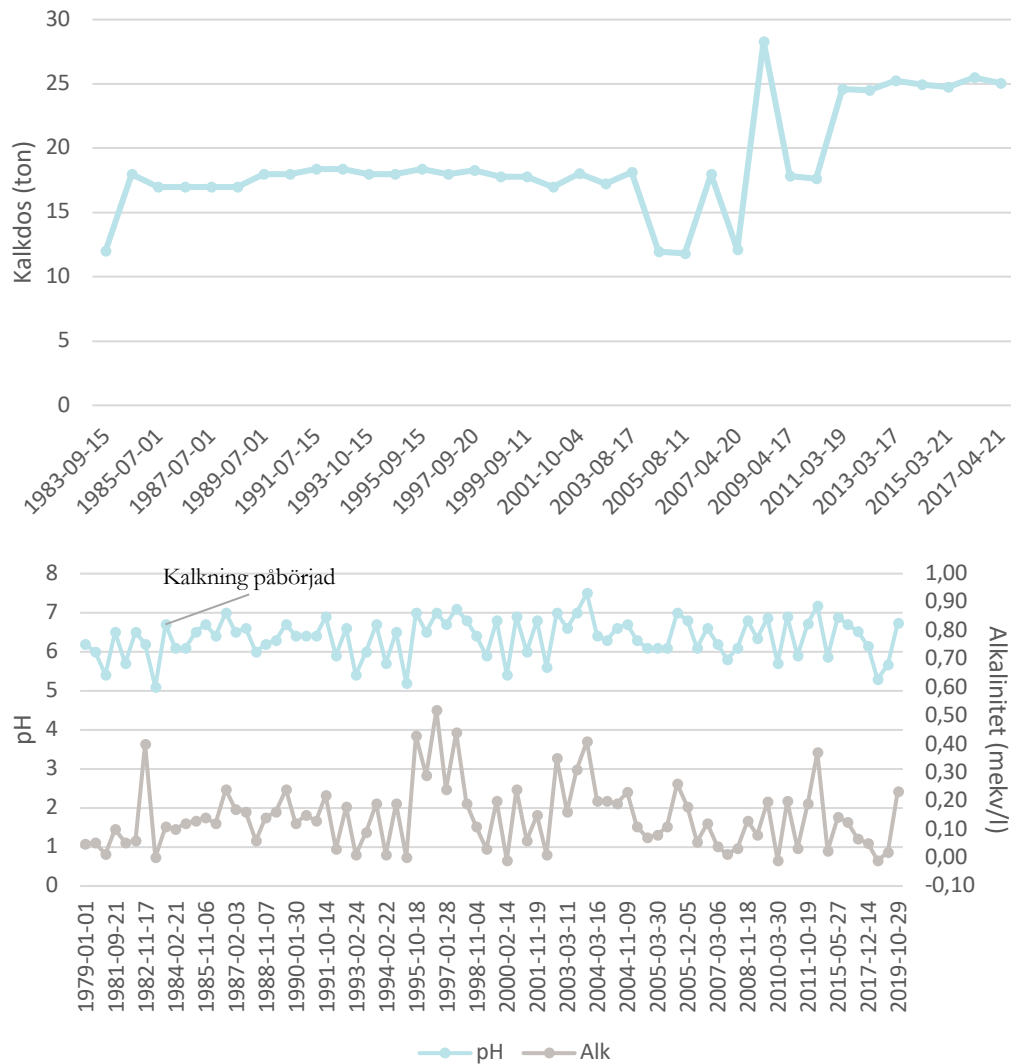
Surströmmasjön är den minsta av de kalkade sjöarna. Sjön rinner via en ca 1,3 km lång bäck till Oxasjön, som sedan går via Oxasjöån (ca 2,9 km) in i Rånnavägssjön (figur 3). Från Surströmmasjön till Rånnavägssjön är det alltså 4,2 km exklusive sträckan som utgörs av Oxasjöns yta. För de tre sjöarnas utlopp finns provpunkter med data sedan 70-talet. Det finns ytterligare en provpunkt i en ej namngiven bäck precis innan Oxasjön, men från den finns data bara från 2006 och framåt. Anledningen att man börjat prova även där är troligtvis på grund av att det finns ett bestånd med flodkräftor i bäcken (Nationella kalkdatabasen, u.å.).



Figur 3: Karta över Surströmmasjön, Oxasjön och Rånnavägs-sjön. Lila cirklar markerar provtagningspunkter. Bildkälla: VISS.

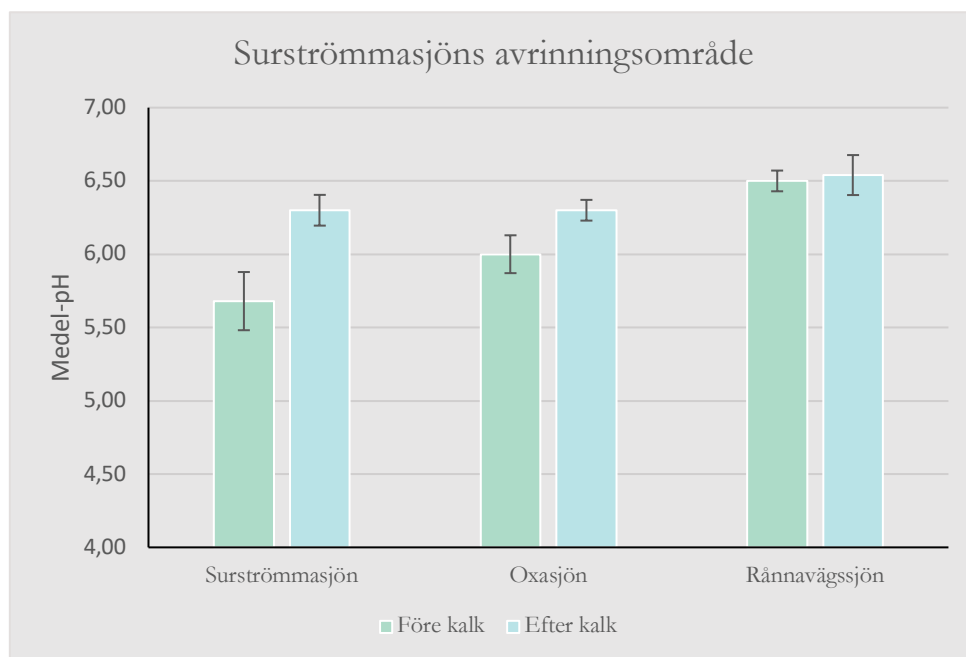
Surströmmasjön kalkades första gången 1983 och de första 10 åren skedde kalkningen med doserare innan man gick över till att kalka med flyg. Kalkningen skedde fram till 2005 på hösten men därefter har den skett på våren sent i mars-april. I några fall har kalkningen skett innan provtagningen på hösten och i andra fall efter, vilket kan ha haft påverkan på provtagningens resultat.

Figur 4 visar hur kalkdosen har varierats under åren samt hur pH och alkalinitet fluktuerat. För att lättare kunna göra jämförelser mellan kalkdos och pH respektive alkalinitet, samt för att få en överblick av hur värdena varierar under året innehåller den understa grafen mätvärden från hela året. Det finns ett starkt positivt samband mellan pH och alkalinitet ($r = 0,875$, $N=82$, $p<0,001$) över perioden. Dock finns ingen positiv trend för pH ($r=0,118$, $N=82$, $p=0,291$) eller alkalinitet ($r=-0,004$, $N=82$, $p=0,974$) över tid om man ser till hela året.



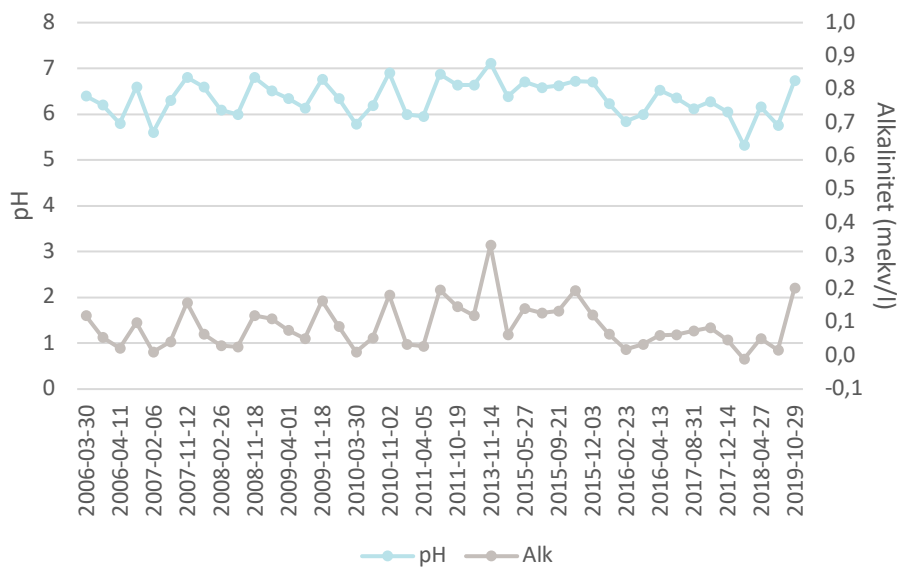
Figur 4: Överst: Kalkdos i Surströmmasjön 1983-2017. Under: pH och alkalinitet i Surströmmasjön 1979-2019.

Genom att endast titta på värdena från våren, då vattnet är som surast, kan kalkningens effekt tydligare ses. Tack vare den kontinuerliga provtagningen under många år går det dessutom att följa kalkets spridning i avrinningsområdet väl. Figur 5 visar skillnaden i pH före och efter att Surströmmasjön börjat kalkas, samt skillnaden i pH som uppstått i Oxasjön och Rånnavägssjön. Det finns en signifikant förändring i Surströmmasjön ($p < 0,05$). För Oxasjön finns en visuell skillnad i figur 5, men den är ej signifikant ($p = 0,09$). I Rånnavägssjön var skillnaden i pH minst och ej signifikant ($p = 0,8$).



Figur 5: Medel-pH före och efter kalkstart i Surströmmasjön, samt i Oxasjön och Vallsjön, med felstaplar som visar standardfel.

För bäcken som går från Surströmmasjön har prover tagits 3-4 gånger per år 2006-2019, både under vår och höst. Det finns alltså en större mängd data men under en kortare period än för de andra sjöarna och vattendragen. Figur 6 visar variationen i pH och alkalinitet under tidsperioden. Värt att notera är att topparna i diagrammet i de allra flesta fall visar prover som tagits senare under året, främst under hösten, medan dalarna främst visar vårvärdena tagna i januari – april. Snittet för pH för hela året ligger på 6,34 och om man endast tittar på de tidiga vårvärdena (januari-april) ligger det på 6,14. Ingen signifikant trend fanns för pH ($r=-0,45$, $N=43$, $p=0,766$) eller alkalinitet ($r=0,074$, $N=43$, $p=0,639$) för alla värden, men däremot en positiv korrelation mellan alkalinitet och pH ($\rho=0,975$, $N=43$, $p<0,001$).

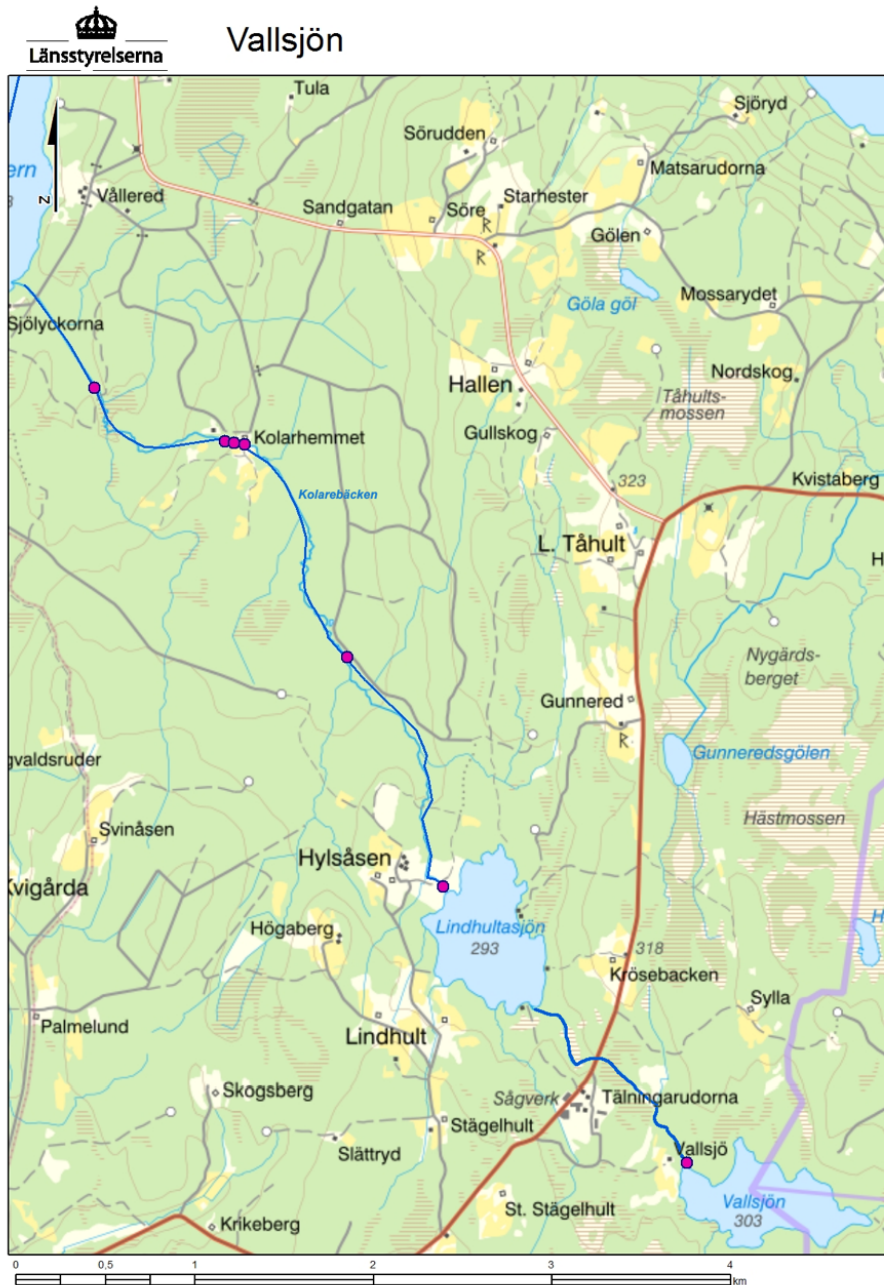


Figur 6: pH och alkalinitet för bäck från Surströmmasjön, 2006-2019.

Bäcken är ett av målområdena för kalkningen av Surströmmasjön på grund av att den hyser skyddsvärda och försurningskänsliga arter som flodpärlmussla, flodkräfta, lax och mört.

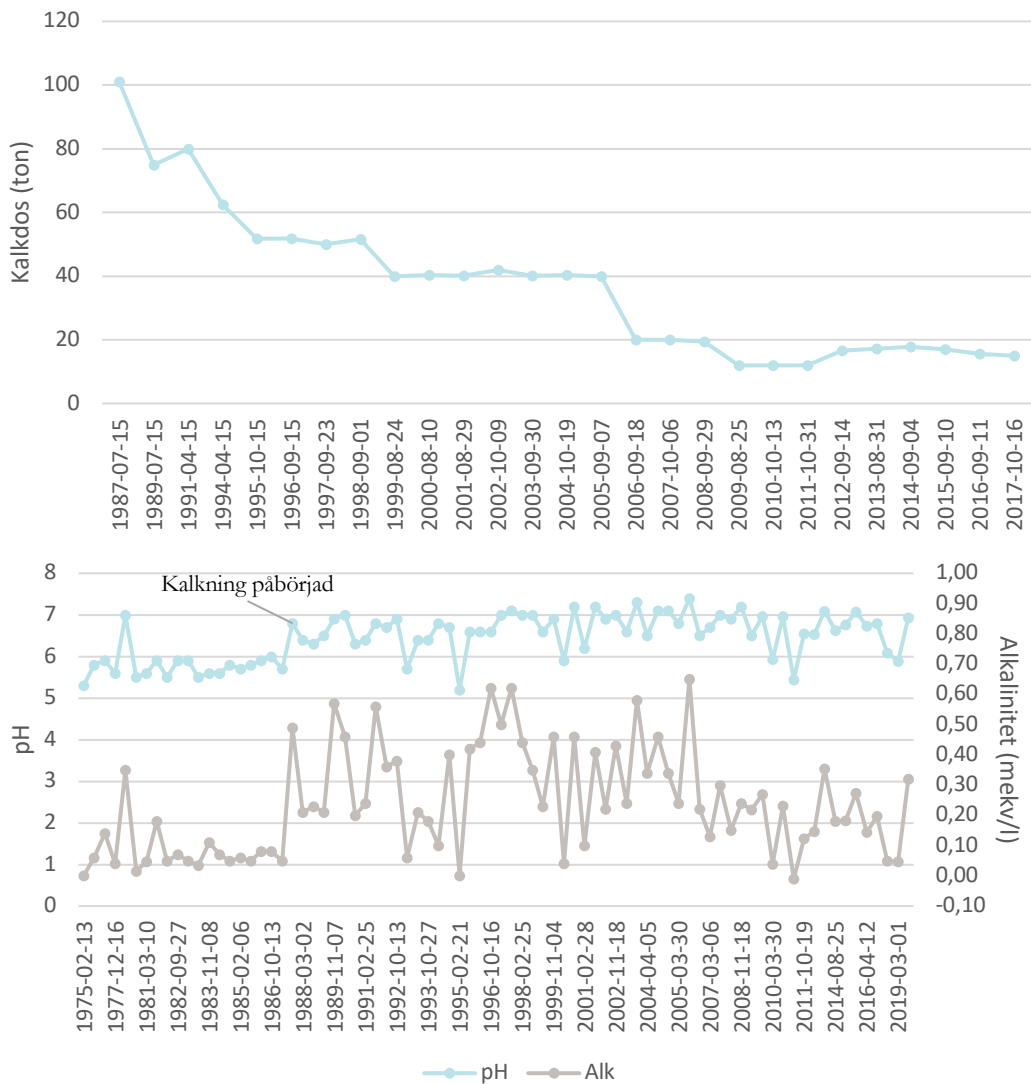
Vallsjön

Vallsjön rinner via ett ca 1,5 km långt vattendrag till Lindhultasjön, som sedan via Kolarebäcken rinner till sjön Vällern. Från Lindhultasjön till provpunkten i Kolarebäcken är det ca 4,5 km. I både Vallsjön och Lindhultasjön har vattenprover tagits sedan 70-talet, men endast 1998-2003 och 2009-2012 för Kolarebäcken. Kolarebäcken blev 1998 klassad ett Natura 2000-område, främst på grund av dess stora bestånd av flodpärlmussla och det är troligtvis därför som viss data finns (Länsstyrelsen Västra Götalands län, 2005). Den är också ett målområde för kalkningen av Vallsjön på grund av att den innehåller samma skyddsvärda arter som bäcken från Surströmmasjön. Inga tillgängliga data finns för sjön Vällern.



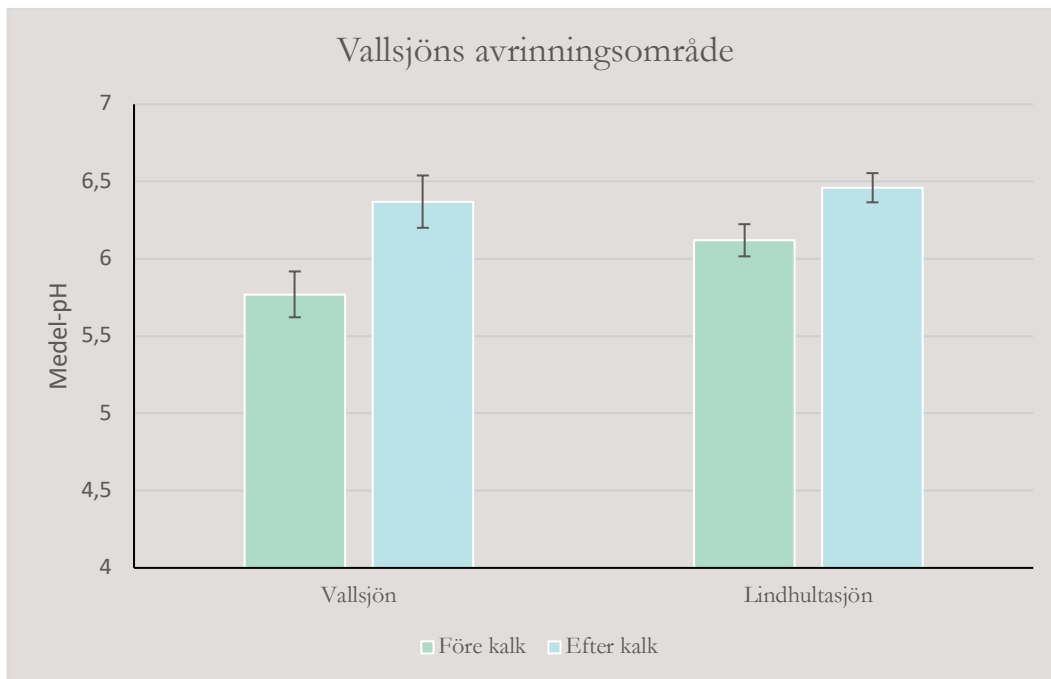
Figur 7: Karta över Vallsjön, Lindhultsjön och Kolarebäcken. Lila cirklar markerar provtagningspunkter. Bildkälla: VISS.

Figur 8 visar dels årlig kalkdos för Vallsjön sedan kalkstart, dels pH och alkalinitet för hela året under hela mätperioden. Vid första kalkningen 1987 användes 101 ton kalk och de senaste åren har dosen legat mellan 10 – 20 ton. Överlag finns en positiv trend för pH-värdet ($\rho=0,511$, $N=81$, $p<0,001$) och alkaliniteten ($\rho=0,252$, $N=80$, $p<0,05$) över tid. Det finns också en positiv korrelation mellan pH och alkalinitet ($\rho=0,845$, $N=80$, $p<0,001$).



Figur 8: Överst: Kalkdos för Vallsjön i ton 1987-2017. Under: pH och alkalinitet för Vallsjön 1975-2019.

För figur 9 har samma metod som för Surströmmasjön (figur 5) använts, förutom att kalkningen påbörjades senare i Vallsjön och därför kunde tio år innan respektive efter att kalkningen påbörjats jämföras. I detta fall finns endast två sjöars data att använda, Vallsjön och Lindhultasjön. Grafen visar att kalkningens effekt på pH-värdet är som störst i Vallsjön och att skillnaden är signifikant ($p < 0,05$) men att det även setts en signifikant förbättring i Lindhultasjön efter att kalkningen påbörjats ($p < 0,05$). Även för Lindhultasjön syns en positiv trend för pH ($\rho = 0,335$, $N = 72$, $p < 0,05$) och alkalinitet ($\rho = 0,512$, $N = 72$, $p < 0,001$). Utifrån resultatet går det inte att säga om någon positiv effekt av kalkningen setts även i Kolarebäcken som rinner från Lindhultasjön, men enligt Kolarebäckens bevarandeplan fastslås det att kalkningen haft en positiv inverkan på försurningen i bäcken (Länsstyrelsen Västra Götalands län, 2005). Kolarebäckens pH-värde under våren de år som finns tillgängliga ligger i snitt på 6,78.



Figur 9: Medel-pH före och efter kalkstart i Vallsjön samt i Lindhultasjön med felstaplar som visar standardfel.

Trehörningen

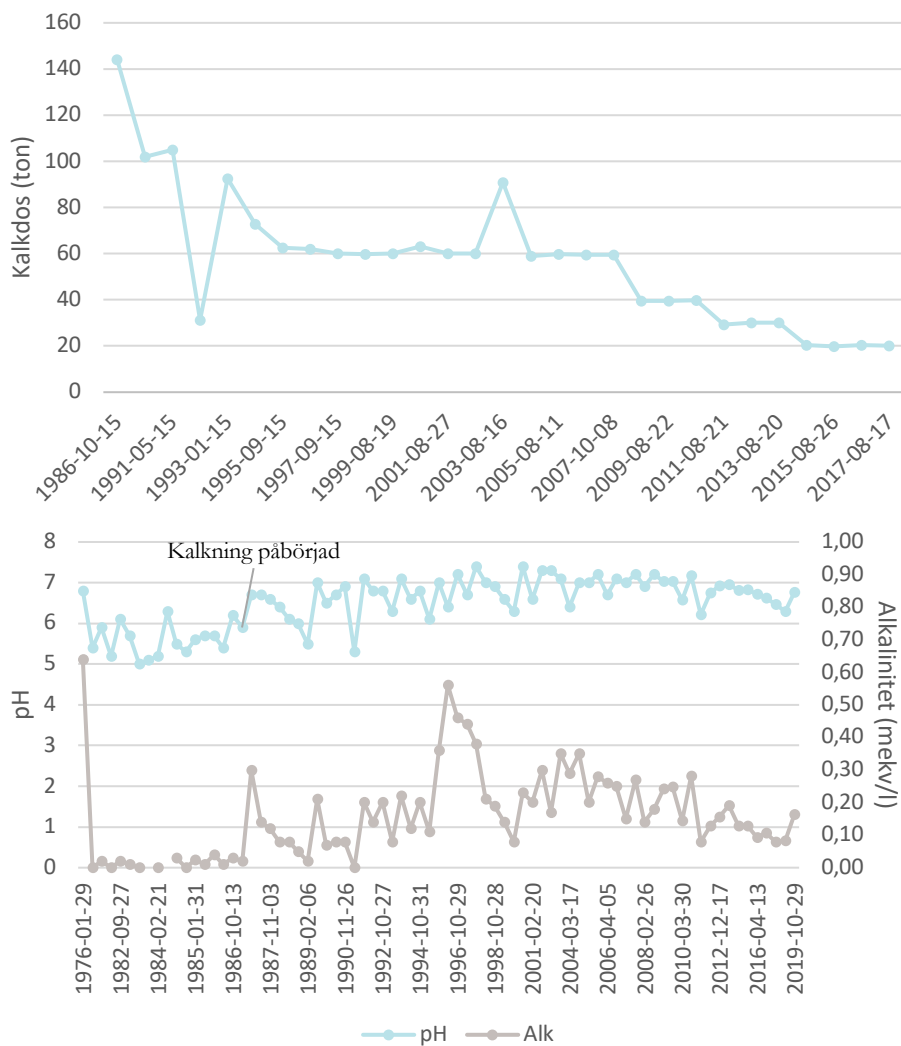
Från Trehörningen rinner Gunntorpaån i ca 7 km innan den rinner in i Jälmån (figur 10). I Jälmån finns två provpunkter, före och tillrinningen av Gunntorpaån. Det finns även provpunkter i utloppen till Rydsjön och Lillö sjö som ligger uppströms från Jälmån. Inga av sjöarna nedströms Trehörningen ligger inom kommunens gränser och därför går det ej att studera kalkets spridning på samma sätt som för de andra kalkade sjöarna.



Figur 10: Del av Trehörningens avrinningsområde. Pilarna visar provtagningspunkter. Bildkälla: VISS.

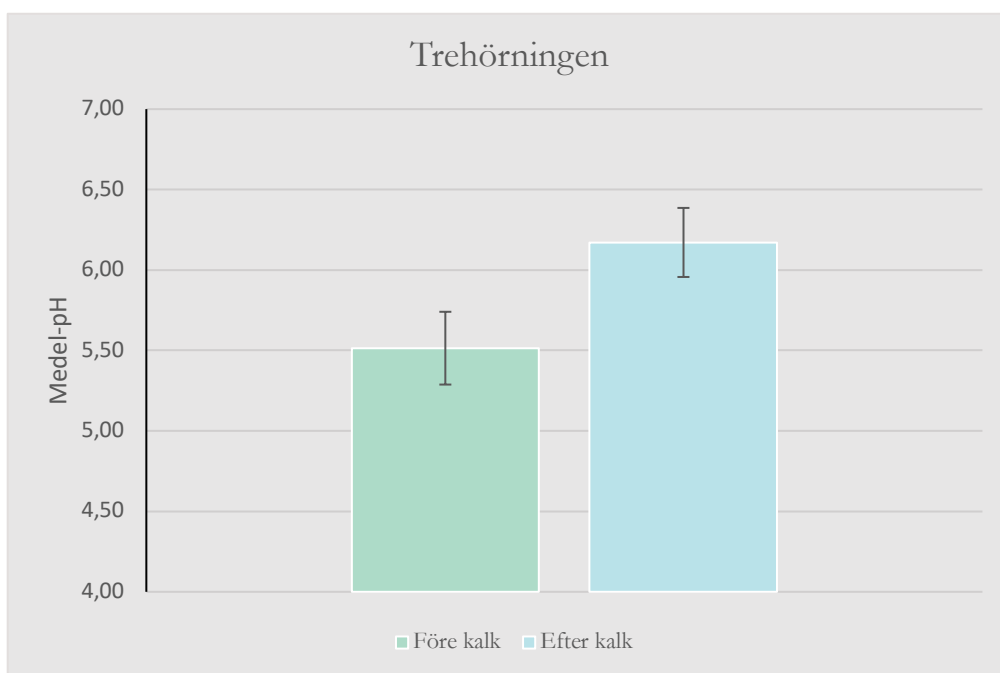
Kalkningen i sjön, som pågått sedan oktober 1986, började med en dos på 144 ton och sedan dess har den minskat mycket under årens lopp.

Figur 10 visar hur kalkdosen har sett ut under åren, samt hur pH-värdet sett ut under hela mätperioden. Trehörningen visar en positiv trend i dess pH-värde ($\rho=0,735$, $N=66$, $p<0,001$) och alkalinitet ($\rho=0,636$, $N=64$, $p<0,001$) över tid trots att kalkdosen minskat. Även i detta fall finns en positiv korrelation mellan pH och alkalinitet ($\rho=0,816$, $N=75$, $p<0,001$).



Figur 11: Överst: Kalkdos för Trehörningen i ton 1986-2017. Under: pH och alkalinitet i Trehörningen 1976-2019.

För Trehörningen ökade medel-pH med 0,66 enheter före och efter kalkning, ett värde som baseras på prover från sex år innan och sex år efter att kalkningen påbörjats (figur 12). Skillnaden i pH är dock ej signifikant ($p=0,057$). Tyvärr går denna analys endast att göra för Trehörningen och inte punkten nedströms i Jälmån eftersom mätning bara pågått där sedan år 2000. Det går däremot att göra en jämförelse mellan de två provpunkterna i Jälmån som ligger upp- och nedströms punkten där Gunntorpaån, runnit in i ån. Medelvärdet under våren de senaste 20 åren ligger på 6,40 (uppströms) och 6,55 (nedströms) men skillnaden är ej signifikant enligt ett Mann-Whitney-test ($p=0,339$). För hela året ligger snittet på 6,34 (uppströms) och 6,58 (nedströms) ($p=0,057$).



Figur 12: Medel-pH före och efter kalkstart i Trehörningen med felstaplar som visar standardfel.

Försurning i övriga sjöar

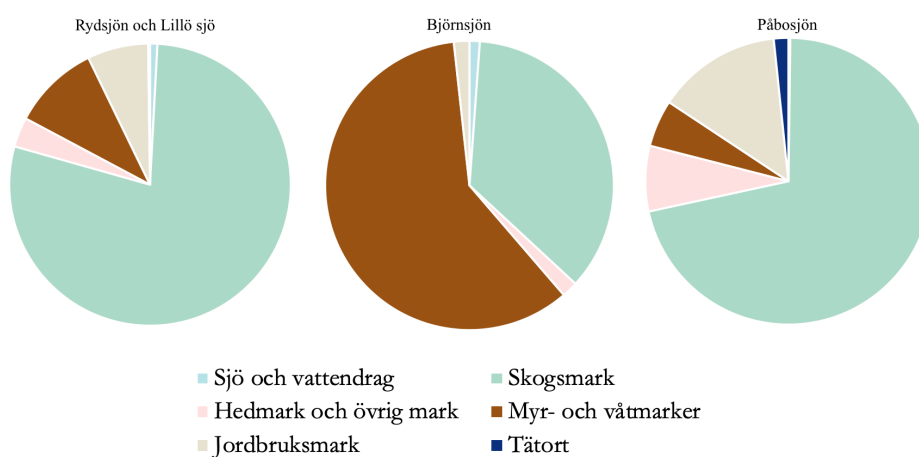
Utvecklingen i de sjöar som inte kalkas och som inte heller ligger nedströms från en kalkad sjö varierar. Sjöarna i fråga är Björnsjön, Påbosjön, Rydsjön och Lillö sjö. Tabell 2 visar grundinformation om sjöarna och deras avrinningsområden, samt medel-pH och alkalinitet under hela provtagningsperioden.

Tabell 2: Information om referenssjöarna och deras avrinningsområden. I tabellen visas sjöarnas storlek, storlek på avrinningsområdet och vattenvolymen. Medel-pH och medel-alkalinitet visas för hela provperioden.

Sjö	Storlek (km ²)	Avrinningsområdets storlek (km ²)	Vattenvolym (m ³)	Medel-pH	Medel-alk
Björnsjön	0,12	10,5	156 000	5,08	0,013
Påbosjön	0,067	43,0	151 000	5,92	0,059
Rydsjön	0,32	62,4	384 000	6,00	0,14
Lillö sjö	0,19	62,4	320 000	5,98	0,074

För samtliga av dessa sjöar finns ingen ökande trend vad gäller pH. Värdena har fluktuerat under åren, men överlag har ingen generell ökning skett sedan provtagningen påbörjades.

Figur 13 visar fördelningen av olika typer av markanvändning som finns i avrinningsområdena. Rydsjön och Lillö sjö ligger i samma avrinningsområde. Eftersom storleksförhållandet mellan sjön och avrinningsområdet varierar är det i vissa fall relevant att även kontrollera andra kartor för att se mer lokala förhållanden.



Figur 13: Avrinningsområdenas markanvändning för Rydsjön och Lillö sjö, Björnsjön och Påbosjön.

Björnsjön

Den sjö som generellt har surast pH över tid är Björnsjön. Figur 14 visar hur pH-värdet har fluktuerat en del över tid men att det generellt varit relativt lågt, i snitt har det legat 5,08. För sjöns alkalinitet finns en positiv trend ($\rho=0,535$, $N=25$, $p<0,01$), dock har den aldrig överskridit 0,1mekv/l. Vid flertalet tillfällen uppmättes alkaliniteten till noll, vilket innebär att sjön saknar buffringsförmåga (Grahm, 2018). Ingen signifikant ökning av pH har skett ($\rho=0,313$, $N=26$, $p<0,12$). Björnsjön ligger norrut från Trehörningen men i ett annat avrinningsområde mitt i Komosse naturreservat (figur 10). Avrinningsområdet består till 60% av myr- och våtmarker och 36% av skogsmark (figur 13).

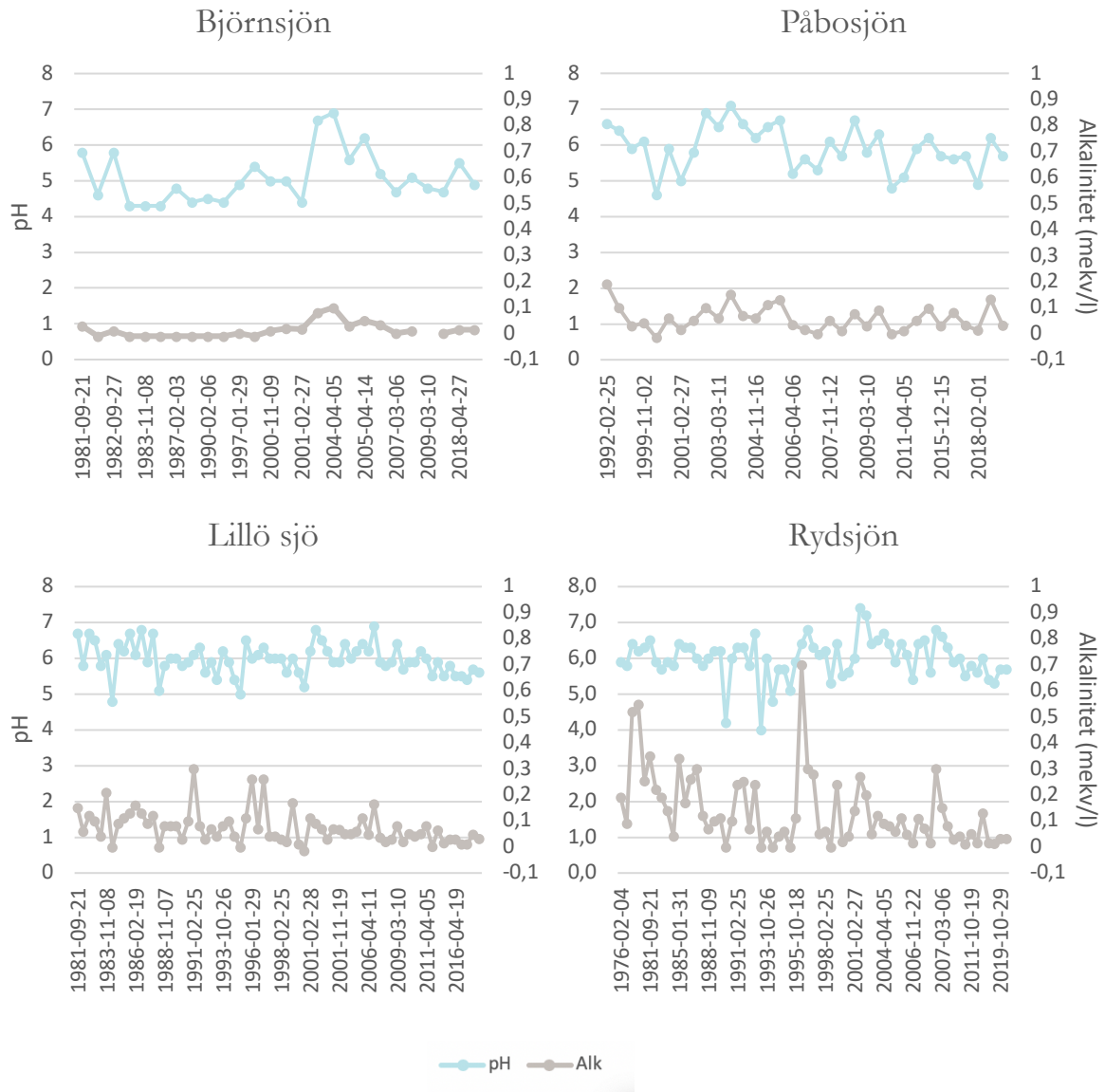
Påbosjön

Påbosjön ligger norrut från Oxasjön (figur 3) i ett annat avrinningsområde. Markanvändningen i avrinningsområdet består till 71% av skogsmark, 14% av jordbruksmark och 5% myr- och våtmarker. Dock är Påbosjön en liten sjö, den minsta i denna studie, som ligger i ett relativt stort avrinningsområde. Vattenkartan från VISS och Skogsstyrelsens karta ger en tydligare bild av hur Påbosjön ligger, med mycket skog där avverkningar skett och en större mosse intill. Ingen signifikant trend kan ses för pH ($r=-0,255$, $N=33$, $p=0,153$) eller alkalinitet ($r=-0,226$, $N=34$, $p=0,199$).

Lillö sjö och Rydsjön

Området kring Lillö sjö och Rydsjön består till 79% av skogsmark, 10% myr- och våtmarker och 7% jordbruksmark. Lillö sjö ligger i anslutning till en mosse och är för övrigt främst omgiven av skogsmark. För sjön finns en negativ trend i alkalinitet ($\rho=-0,256$, $N=68$, $p<0,05$) men ingen signifikant trend för pH ($r=-0,21$, $N=68$, $p=0,086$). Skogsstyrelsens karttjänst visar att avverkningar skett direkt intill sjön de senaste 3-10 åren.

Rydsjön ligger också delvis intill myrmark. Det finns även bebyggelse och skogsmark med avverkningar som utförts de senaste tre åren intill. Även för Rydsjön har en negativ trend i alkalinitet skett under åren ($\rho=-0,468$, $N=67$, $p<0,001$), men ingen trend för pH ($\rho=-0,069$, $N=67$, $p=0,58$). Båda sjöarna rinner separat in i Jälmån uppströms från den norra provpunkten i ån. De senaste 20 åren har pH under hela året legat i snitt på 5,96 (Lillö sjö) och 6,10 (Rydsjön).



Figur 14: Grafer som visar pH och alkalinitet under hela året för Björnsjön, Påbosjön, Lillö sjö och Rydsjön.

Diskussion

Kalkningens biologiska effekter

Kalkningens positiva effekt kan i denna studie tydligast påvisas i Vallsjön, där en positiv trend finns för både pH och alkalinitet, samt en signifikant ökning av pH i den nedströms liggande Lindhultasjön. Att vårens pH-värden i snitt ökat från 5,77 till 6,37 innebär att organismer som är känsliga för pH under 6,0 klarar sig bättre, exempelvis flodpärlmusslan och flodkräftan (Lingdell & Engblom, 2009). Det finns även flertalet bottenlevande organismer, så kallad bottenfauna, som förekommer betydligt mer frekvent när pH inte understiger 5,6. Både fisk- och bottenfaunaarter kan helt slås ut vid så låga värden (Lingdell & Engblom, 2009). För de vårvärden som togs innan kalkningen i Vallsjön låg pH på 5,6 eller lägre vid hälften av provtillfällena, medan pH understeg 5,7 vid endast ett av tio provtillfällen efter att kalkning påbörjats. Att dessa värden gäller just för våren har betydelse eftersom reproduktionen ofta är den del av livscykeln hos organismer som är känsligast för lägre pH (Degerman et al., 2015). Utifrån andra studier (Lingdell & Engblom, 2009), men även de grafer som visar pH och alkalinitet för hela året (figur 4, 8 och 11), går det att konstatera att pH och alkalinitet är som lägst på våren, vilket innebär att förhållandena i vattnet rimligtvis är ännu bättre under resten av året. För alla kalkade sjöar gäller att trots att pH fortsätter fluktuera årligen så har antalet sura episoder minskat till följd av kalkningen.

Förekomsten av sura episoder har minskat framförallt i Trehörningen och Vallsjön. I Trehörningen har pH understigit 6,0 endast tre gånger sedan kalkstart, senast var 1991. För Vallsjön har det skett fem gånger utspritt över hela mätperioden. Att pH understiger 6,0 såpass sällan innebär att akvatiska organismer hinner återhämta sig mellan störningarna och resiliensen ökar i ekosystemet (Lingdell & Engblom, 2009). För fiskar är det framför allt rommen som tar skada vid låga pH-värden, eftersom den ej kan kläckas vid för sura förhållanden (Naturvårdsverket, 2010).

Ett stabilare högt pH minskar halten oorganiskt aluminium i vattnet (Degerman et al., 2015). Det finns en direkt korrelation mellan pH och oorganiskt aluminium, som är relativt svårslösligt vid pH över 6,0 och därför ej påverkar organismer i samma utsträckning som när vattnet är surare (Andren & Rydin, 2009; Gensemer & Playle, 1999). Fisk tar stor skada av förhöjda halter aluminium eftersom det påverkar syreupptagningsförmågan och saltbalansen, vilket leder till sämre tillväxt och överlevnad (Degerman et al., 2015). Mört och lax är de fiskarter som är känsligast för

aluminium (Degerman et al., 2015). I denna studie hör lax och mört i flera fall till de arter man avser skydda med kalkningen, så genom att pH ligger mer stabilt över 6,0 har kalkningen lyckats väl i detta avseende.

För att mer exakt avgöra de biologiska effekterna skulle fler studier och mer dataunderlag behövas. I nuläget kan kalkningens påverkan på organismer endast diskuteras utifrån den data som ingår i denna studie, vilket är pH och alkalinitet. En studie med bottenfaunaprov i de kalkade sjöarna hade varit relevant för att få en mer exakt bild av kalkningens effekt på det akvatiska livet, samt kanske inventeringar av exempelvis flodpärlmussla och flodkräfta i de målområden som finns utöver de kalkade sjöarna, det vill säga Kolarebäcken och bäcken från Surströmmasjön.

Kalkningens kemiska effekt och spridning

I Surströmmasjön syns ingen signifikant ökning av pH eller alkalinitet om man ser till värdena från hela året. Däremot finns en signifikant skillnad för vårens värden uppmätta innan och efter kalkstart, vilket ändå tyder på att kalkningen haft en positiv effekt i sjön. Att kalkningen påbörjades med doserare kan ha påverkat – för de andra sjöarna användes i början en betydligt högre kalkdos vilket gav en mer märkbar effekt. För den nedströms liggande Oxasjön syns ingen signifikant skillnad mellan innan och efter kalkstart, dock är det möjligt att en skillnad hade setts om fler mätvärden funnits för åren innan kalkstart. I detta fall fanns endast fyra, vilket ger ett litet statistiskt underlag. För Rånnavägssjön syns ingen effekt av kalkningen, men den hade också högst pH i snitt innan kalkningen påbörjades samt att avståndet till den kalkade sjön var längst (figur 3 och 5). Skiftningarna i Surströmmasjöns pH-värde verkar tyda på att sjön utsätts för surare vårflöden än de andra sjöarna, eller åtminstone att sjön saknar buffringsförmågan som krävs för att motstå surstötarna. Vid många tillfällen understiger alkaliniteten 0,1 mekv/l vilket innebär att sjön är försurningskänslig (Grahm, 2018).

För Vallsjön och Trehörningen kalkades det till en början vartannat eller vart tredje år och då med en större dos än vad som användes när man sedan började kalka kontinuerligt en gång per år. Det är även dessa två sjöar som sett en positiv trend i pH sedan man började mäta. För Surströmmasjön har kalkdosen legat på en betydligt jämnare nivå jämfört med de andra sjöarna, den har endast varierat mellan 12-28 ton, medan variationen för Vallsjön och Trehörningen varit 12-101 respektive 20-144 ton. Detta skulle delvis kunna förklara varför även pH-värdet och alkaliniteten legat på en jämnare nivå för Surströmmasjön. För Vallsjön och Trehörningen har pH vid fler tillfällen än för Surströmmasjön legat över 7,0, vilket överskrider neutralt pH. Sådan överkalkning är ofta oundviklig och sker för det mesta för att undvika att pH ska understiga gränsvärdet innan nästa kalkning görs (Naturvårdsverket, 2011). Att Surströmmasjön inte sett någon positiv trend för pH eller alkalinitet skulle alltså kunna

bero på att värdena mer sällan överstigit vad som är naturligt. Värt att notera är dock att Surströmmasjöns pH vid 13 provtillfällen sjunkit under 6,0 sen kalkningen påbörjades, medan detsamma skett vid sex tillfällen för Vallsjön och tre gånger för Trehörningen. Det kan därför tolkas att kalkningen varit mer effektiv i Vallsjön och Trehörningen.

Trehörningen har haft en positiv utveckling av pH och alkalinitet, men det går inte utifrån denna studie att säga hur kalkningens effekt spridit sig. En viss skillnad finns i de provpunkter som ligger i anslutning till Jälmån – Lillö sjö, Rydsjön samt punkten uppströms och nedströms Gunntorpaåns tillrinning. pH är i snitt högst i punkten nedströms Gunntorpaån, det vill säga där Trehörningen kalkningseffekt eventuellt skulle kunna haft påverkan. Skillnaden mellan punkterna i Jälmån är dock ej signifikant och värdena är bara från de senaste 20 åren, så troligtvis spelar andra faktorer, exempelvis markanvändning eller naturlig variation, en större roll i detta fall. Om data funnits för punkterna innan kalkstarten i Trehörningen hade mer kunnat sägas med säkerhet.

Att kalkdosen kunnat minska i Vallsjön och Trehörningen tyder på att kalkningen effektiviserats och att ett högre pH kunnat upprätthållas med en mindre mängd tillförd kalk (Degerman et al., 2015). Det kan delvis också bero på de minskade utsläppen av försurande ämnen som skett sedan provtagningen och kalkningen påbörjades. I och med att pH ej ökat signifikant i de okalkade sjöarna, trots att markanvändningen och den geografiska platsen i vissa fall varit liknande, beror ökningen av pH och alkalinitet i de kalkade sjöarna med största sannolikhet på just kalkningen.

Försurning i övriga sjöar

För de okalkade sjöarna finns ingen signifikant ökning av pH eller alkalinitet över perioden som provtagits. En minskning av alkalinitet går att se i Rydsjön och Lillö sjö medan en viss ökning skett i Björnsjön. Avsaknaden av ökning i pH och alkalinitet tyder på att minskningen av försurande utsläpp inte haft effekt, eller att andra faktorer saktat ner återhämtningen. I Björnsjöns fall spelar med stor sannolikhet markanvändningen roll i sjöns låga pH, 60% består av myr- och våtmark och 36% av skog. Mossar är naturligt sura (Nationalencyklopedin, u.å.-b), vilket sannolikt är anledningen till Björnsjöns låga pH. För resterande okalkade sjöar består markanvändningen främst av skog, vars påverkan diskuteras nedan. Från graferna i figur 14 syns att pH ofta ligger under 6,0, vilket medför de konsekvenser för akvatiska organismer som redan diskuterats.

Skogsbruk

Skogsbruket kommer spela en större roll i försurningsproblemet i framtiden, i och med att depositionen av försurande ämnen fortsätter minska och skogsbruket alltmer intensifieras, vilket gör dess relativa påverkan större (Akselsson et al., 2007; Naturvårdsverket, 2016). En stor del av försurningsproblematiken idag och även en stor del av miljömålet handlar om skogsbruk (Naturvårdsverket, 2019). I avrinningsområdena till de sjöar som kalkas och sjöarna i anslutning till dem består majoriteten av markanvändningen av skog: Surströmmasjön 83%, Vallsjön 84% och Trehörningen 50% (figur 2). För övriga sjöar gäller: Björnsjön 36%, Påbosjön 71% och Lillö sjö och Rydsjön 79% (figur 13). Detta är därför en aspekt som potentiellt kan ha påverkan på sjöarnas återhämtning (Akselsson et al., 2007).

Skogsbruk har som störst påverkan på försurningen då grenar och toppar forslas bort utöver stammen, så kallat grot (grenar och toppar) (Naturvårdsverket, 2019). Det beror på att en mindre mängd av de baskatjoner och näringsämnen som trädet tagit upp blir kvar i marken än om endast stammen skördas. Skogsbruket överlag och grotuttag i synnerhet förväntas öka i framtiden i och med att efterfrågan på biobränsle blir större och grot används främst för energiproduktion (Naturvårdsverket, 2019). När grotuttag görs i större områden skog kan dess försurande inverkan motverkas med askåterföring, det vill säga att den aska som uppstår i energiutvinningen av träden återförs till där de skördades, vilket också återför baskatjonerna (Naturvårdsverket, 2019). På tre platser som ingår i denna studie finns askåterföring utmarkerat som en potentiell åtgärd, vilket påvisar skogsbrukets betydelse för försurningen i området.

Det går inte utifrån den här studien att säga till vilken grad just dessa sjöar och vattendrag är påverkade av skogsbrukets försurning. Det är dock möjligt att skogsbruket påverkat de okalkade sjöarnas långsamma återhämtning. Akselsson och Belyazid (2018) visar på att en kritisk gräns för skogsbrukets bortförsl av baskatjoner, ett så kallat kritiskt baskatjonuttag, kan användas som indikator för skogsbrukets eventuellt försurande effekt. Enligt deras studie ligger Ulricehamns kommun i ett område i vilket gränsen riskerar att överskridas vid grotuttag för granskog i vissa avrinningsområden. Grotuttag utan askåterföring kan då bromsa återhämtningen för försurningsdrabbade sjöar. De okalkade sjöarna i denna studie uppvisar ingen signifikant ökning av varken pH och ej heller alkalinitet i de flesta fall, så en viss påverkan från skogsbruk är möjligt.

Just nu pågår ett forskningsprojekt inom Krondroppsnätet i Storskogen i Västergötland, ca 6 mil från Ulricehamn, där en avverkning som täcker större delen av ett avrinningsområde studeras utifrån dess effekt på mark- och vattenkemin (Pihl Karlsson et al., 2017). Även om projektet fortfarande pågår kunde en tydlig ökning av nitrathalten i mark och vatten ses med start ett halvår efter avverkningen. När forskningen kring projektet är färdigställd hade det varit relevant för Ulricehamns

kommun att ta del av resultaten och jämföra med kommunens situation kring avverkningar.

Miljömålet

Det är tydligt utifrån resultatet att kalkningen gjort att Ulricehamns kommun kommit närmare att uppnå miljömålet Bara naturlig försurning. Det går att se en signifikant skillnad i medel-pH före och efter att kalkningen påbörjades i alla tre kalkade sjöar. För att bedöma om miljömålet är uppnått eller ej behövs en metod för att avgöra vad som är naturlig och vad som är antropogen försurning. För att kunna avgöra detta behöver man veta hur pH-nivån såg ut innan det atmosfäriska nedfallet av försurande ämnen började öka på grund av mänskliga utsläpp (Naturvårdsverket, 2010). Med andra ord behövs ett förindustriellt värde för pH, något som tyvärr inte finns tillgängligt för den här studien. Med rätt data och kompetens går det att ta reda på detta genom att använda sig av verktyget MAGIC-bibliotek (Model of Acidification of Groundwater in Catchments), där data över olika parametrar matas in och sjön som undersöks matchas ihop med en annan sjö som anses vara mest lik (Svenska Miljöinstitutet, 2020). I biblioteket har tusentals sjöar analyserats med modellverktyget MAGIC för att ta reda på hur den förindustriella vattenkemin sannolikt såg ut. Sjöar i samma geografiska område med liknande kemiska värden är troligtvis också försurningsdrabbade på en jämförbar nivå. För att använda sig av verktyget behövs data över en mängd parametrar som rör vattenkemin, men det räcker med data från ett år (Svenska Miljöinstitutet, 2020). När sjöns förindustriella pH-värde är känt går det också att ta fram skillnaden, ΔpH , gentemot idag och på så sätt se hur stor den mänskliga effekten varit på sjön.

Att jämföra förindustriella och moderna värden för pH kan ge en indikation om hur försurningsdrabbad en sjö är. I jämförelsen är det dock viktigt att ha i åtanke att det kanske inte är möjligt att uppnå samma vattenkemi igen, eftersom människan påverkat och fortsätter påverka miljön i hög grad (Martyn et al., 2014). Martyn et al. (2014) påpekar att även om svenska sjöar inte är tillbaka på preindustriella nivåer så pågår trots allt en långsam återhämtning, något som även går att se i resultatet till denna studie. Trots att ingen jämförelse med förindustriellt pH eller alkalinitet kan göras här så går det ändå att se att sjöarna Vallsjön och Trehörningen sakta återhämtar sig i och med att pH och alkalinitet ökar med tiden tack vare kalkningen.

Statusklassificering

Inom miljömålet ingår att sjöar och vattendrag ska ha uppnått minst god status gällande försurning (Naturvårdsverket, 2019). En sjö anses vara försurningsskadad om pH minskat med 0,4 enheter jämfört med 1860 (Naturvårdsverket, 2019). För att klassificera en sjö eller ett vattendrag används även här verktyget MAGIC eller MAGIC-bibliotek. Enligt Naturvårdsverkets dokument Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag (2007, bilaga A) är de värden som behövs:

- pH, SO₄, Cl, Ca, Mg och DOC (dissolved organic carbon) eller TOC (total organic carbon).
- sjöns koordinater
- sjöns avrinning i m/år.

Värdena behövs för ett år efter 1990, men kan också göras på ett medianvärde från flera år för en mer noggrann bedömning om sjön är nära ett gränsvärde. Sjöar som kalkats måste korrigeras för den påverkan som kalkningen medfört. En sjö uppnår god status om pH skiljer sig från det beräknade förindustriella värdet med mindre än 0,4 enheter (Naturvårdsverket, 2007). Klassificering av sjöarna som ingår i denna studie har inte gjorts eftersom vissa parametrar saknas, det handlar om SO₄, Cl, Mg och DOC/TOC. Värden för Ca finns inte heller för de senaste åren. Med några ytterligare prover från varje sjö, samt att avrinningen fås genom en avrinningskarta från exempelvis SMHI (SMHI, u.å.), kan dock en statusklassificering göras.

Framtidens utmaningar

Ett varmare klimat till följd av de pågående klimatförändringarna kan komma att gynna skogsbruket tack vare en längre tillväxtperiod (Skogsstyrelsen, 2019), vilket kan leda till ett större upptag av baskatjoner från marken, men även ett större upptag av kväve (Wright et al., 2006). Större uttag av biomassa kan minska kväveläckaget och dess påverkan på försurning i framtiden, både på grund av fortsatt minskad kvävedeposition och ökat upptag av träden (Naturvårdsverket, 2016). Dock beräknas skogsbruket trots detta på sikt påverka försurningen negativt på grund av bortförelsen av baskatjoner (Naturvårdsverket, 2016).

Inom Naturvårdsverkets forskningsprojekt CLEO (Climate Change and Environmental Objectives) har det räknats på klimatförändringens effekt på bland annat miljömålet Bara naturlig försurning (Naturvårdsverket, 2016). Ett varmare klimat kan leda till ökad vittring av berggrunden med ökad tillgång till baskatjoner som följd, vilket potentiellt hade kunnat påskynda återhämtningen hos sjöar. I CLEO har möjligheten att nå miljömålet studerats utifrån olika scenarion för hur temperatur och nederbörd förändras kombinerat med olika grader av intensifiering av skogsbruket. Utifrån studien kunde konstateras att för samtliga scenarion så fortsätter

återhämtningen hos sjöarna på kort sikt till 2030 och buffringsförmågan ökar mest hos försurningskänsliga sjöar. För scenarion med ett mer intensivt skogsbruk kommer en svag återförsurning ske efter 2050, medan återhämtningen snarare planas ut vid ett scenario med samma skogsbruksintensitet som idag. Beroende på hur klimatet kommer se ut i framtiden, med olika grader av förändrad nederbörd, temperatur och eventuellt intensifierat skogsbruk, finns det risk för långsammare återhämtning från försurning eller till och med viss återförsurning (Naturvårdsverket, 2016). Viktigt att ha i åtanke är dock att många faktorer spelar in i hela problematiken och det går inte att säga med säkerhet hur det kommer att se ut, särskilt inte för en specifik plats eller avrinningsområde, men studien visar dock att det finns en risk att enskilda sjöar komma att påverkas negativt på sikt även med ett oförändrat skogsbruk (Naturvårdsverket, 2016).

Det finns även andra potentiella följder av klimatförändringarna som kan ha påverkan på försurningen. Ett exempel är att frekvensen av granbarkborreattacker väntas öka till följd av ett varmare klimat med ökad mängd torkperioder, samt fler stormskador (Jönsson & Barring, 2011; Marini et al., 2017). I en studie gjord i sydvästra Sverige, mellan Göteborg och Borås, ledde en granbarkborreattack till förhöjda halter nitrat och därmed sänkt pH och buffringsförmåga i markvattnet, vilket ledde till försurning (Karlsson et al., 2018). Försurningen höll i sig i fem år innan mätningarna avbröts (Karlsson et al., 2018).

Med tanke på att sjöarna i Ulricehamns kommun som ingår i den här studien varit drabbade eller fortfarande i viss mån är drabbade av försurning, samt med tanke på att samtliga sjöar har minst 50% skogsmark i sitt avrinningsområde, så är det viktigt att fortsätta provtagningen framöver. Det hade även varit av intresse att utvärdera om skogsbruket i närområdena kring sjöarna kan tänkas ha påverkan på deras återhämtning, både redan idag och i framtiden. Ett klimatanpassat skogsbruk kan skona både naturen från diverse skador som diskuterats här, men kan även ha positiva ekonomiska effekter i form av minskad risk för skadad skog samt andra kostsamma problem som försurning för med sig.

Data och metod

Vissa av värdena som kommunen provtagit kan ha påverkats av faktorer som att proven innehåller mycket smältvatten från snö och is. För flera av de värdena för referenssjöarna som sticker ut i graferna finns kommentarer i datamaterialet från de som tagit proven, exempelvis att smältvatten från is kan ha givit ovanligt sura värden som påverkat både pH och alkalinitet. Sådana avvikande värden som beror på yttre faktorer kan påverka vilka medelvärden som tagits fram, vilket kan ha betydelse särskilt i de fall då färre mätvärden fanns tillgängliga. Detsamma kan tänkas gälla även för länsstyrelsens värden, deras data innehöll dock inga kommentarer.

För att få ännu säkrare värden hade fler prover per sjö och tillfälle behövts, vilket också tagits vid några tillfällen. Ett exempel är två vattenprov som togs samma dag (2004-04-05) men på olika platser i Björnsjön, ett från sjökanten och ett från en bro. pH för proven var 5,6 och 6,9, alltså en betydlig skillnad. För att få en klarare bild av hur vattenkemin i en sjö ser ut och hur den utvecklas hade det därför varit relevant med fler prover.

När kalkningen och provtagningen skett i förhållande till varandra kan ha påverkat hur värdena ser ut för de kalkade sjöarna. Datum för kalkning och provtagning skiftar mycket, men i vissa fall har vattenprov tagits strax efter en kalkning och i andra fall har prov tagits relativt nära innan en kalkning. Hur stor inverkan denna aspekt haft på mätvärdena är oklart eftersom många andra faktorer också spelar in.

Slutsats

Sammanfattningsvis kan konstateras att kalkningen haft avsedd effekt i särskilt Vallsjön och Trehörningen, där höjningen av pH innebär att förutsättningarna för akvatiska organismer avsevärt förbättrats. Trots bristen på signifikant pH-ökning i Surströmmasjön kan kalkningens effekt påvisas genom att jämföra vårens pH-medelvärden före och efter kalkstart - för alla tre sjöarna syns då en signifikant skillnad. För Vallsjön har kalkningens effekt på pH dessutom spridit sig till den nedströms liggande Lindhultasjön.

Ingen ökning av pH gick att se i de okalkade sjöarna, trots en stor minskning av försurande utsläpp sedan mätningarna startades. Skogsbruket, som är påtagligt i de flesta avrinningsområdena, kan ha haft inverkan på den långsamma återhämtningen. Påverkan från skogsbruk förväntas öka i framtiden och har konsekvenser för miljömålet Bara naturlig försurning. Uppfyllandet av miljömålet har ej kunnat avgöras i denna studie, men genom att utföra ytterligare undersökningar kan förindustriella referensvärden för sjöarna tas fram och en bedömning göras.

Tack

Jag vill först och främst rikta ett stort tack till mina vänner som har stöttat mig varje dag, som peppat mig och hjälpt mig och ibland bara lyssnat på mitt gnäll när det behövts. Ännu ett tack till min handledare Anders Nilsson som guidat mig igenom statistisk analys-djungeln, som gett bra feedback och svarat på en mängd frågor, samt till min grupphandledare Anders Persson som kommit med många kloka tips. Tack också till miljöenheten på Ulricehamns kommun och särskilt till Sara Bjerenius och Joanna Miklos-Svan för att jag fått möjligheten att göra denna studie och för hjälp med bakgrundsinfo och data.

Sist men inte minst vill jag också visa min uppskattning till godisautomaten på Ekologihuset i Lund, som försett mig med ett oräkneligt antal chokladbollar.

Referenser

- 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., Westling, O., Sverdrup, H., Holmqvist, J., Thelin, G., Uggla, E., & Malm, G. (2007). Impact of harvest intensity on long-term base cation budgets in Swedish forest soils. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*(7), 201-210. doi:10.1007/s11267-006-9106-6
- Andren, C. M., & Rydin, E. (2009). Which aluminium fractionation method will give true inorganic monomeric Al results in fresh waters (not including colloidal Al)? *Journal of Environmental Monitoring*, 11(9), 1639-1646. doi:10.1039/b902846c
- Degerman, E., Petersson, E., & Bergquist, B. (2015). *Effekter av kalkning på fisk i rinnande vatten (Havs- och vattenmyndighetens rapport 2015:23)*. Hämtad från <https://www.havochvatten.se/download/18.2daa1277152c4afdb30da92/1455092993769/rapport-2015-23-kalk-elfiske.pdf>
- Futter, M. N., Valinia, S., Lofgren, S., Kohler, S. J., & Folster, J. (2014). Long-term trends in water chemistry of acid-sensitive Swedish lakes show slow recovery from historic acidification. *Ambio*, 43, 77-90. doi:10.1007/s13280-014-0563-2
- Gensemer, R. W., & Playle, R. C. (1999). The bioavailability and toxicity of aluminum in aquatic environments. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29(4), 315-450. doi:Doi 10.1080/10643389991259245
- Grahn, P. (2018). *Definition vattenanalysparametrar*. Hämtad från https://www.lansstyrelsen.se/download/18.42c2c9ca162f6e008c818f06/1526068376848/Definition_vattenanalysparametrar.pdf [2020-04-24]
- Havs- och vattenmyndigheten. (2018). *Biologiska effekter av försurning*. Hämtad från <https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/miljopaverkan/forsurning-av-sjoar-och-vattendrag/biologiska-effekter-av-forsurningen.html> [2020-05-18]
- Havs- och vattenmyndigheten. (2019). *Försurning av sjöar och vattendrag*. Hämtad från <https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/miljopaverkan/forsurning-av-sjoar-och-vattendrag.html> [2020-03-28]
- Henriksen, A. (1979). A simple approach for identifying and measuring acidification of freshwater. *Nature*, 278(5704), 542. Hämtad från <http://ludwig.lub.lu.se/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=61739096&site=eds-live&scope=site>

- Jönsson, A. M., & Barring, L. (2011). Future climate impact on spruce bark beetle life cycle in relation to uncertainties in regional climate model data ensembles. *Tellus Series a-Dynamic Meteorology and Oceanography*, 63(1), 158-173. doi:10.1111/j.1600-0870.2010.00479.x
- Karlsson, P. E., Akselsson, C., Hellsten, S., & Karlsson, G. P. (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. doi:10.1016/j.foreco.2018.04.021
- Lingdell, P. E., & Engblom, E. (2009). *Vad säger bottenfaunan? (Naturvårdsverkets rapport 5634)*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/91-620-5634-4.pdf>
- Länsstyrelsen Västra Götalands län. (2005). *Bevarandeplan för Natura 2000-område SE0530059 Kolarebäcken (511-35246-2005)*. Hämtad från <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.2e0f9f621636c844027348b4/1528974704107/kolarebacken-se0530059.pdf>
- Marini, L., Okland, B., Jonsson, A. M., Bentz, B., Carroll, A., Forster, B., . . . Schroeder, M. (2017). Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography*, 40(12), 1426-1435. doi:10.1111/ecog.02769
- Martyn, N. F., Salar, V., Stefan, L., Stephan, J. K., & Jens, F. (2014). Long-term trends in water chemistry of acid-sensitive Swedish lakes show slow recovery from historic acidification. *Ambio*, 43, 77. doi:doi.org/10.1007/s13280-014-0563-2
- Moldan, F., Cosby, B. J., & Wright, R. F. (2013). Modeling Past and Future Acidification of Swedish Lakes. *Ambio*, 42(5), 577-586. doi:10.1007/s13280-012-0360-8
- Moldan, F., Stadmark, J., Folster, J., Jutterstrom, S., Futter, M. N., Cosby, B. J., & Wright, R. F. (2017). Consequences of intensive forest harvesting on the recovery of Swedish lakes from acidification and on critical load exceedances. *Science of the Total Environment*, 603, 562-569. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.06.013
- Nationalencyklopedin. (u.å.-a). Förurning. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/förurning> [2020-05-04].
- Nationalencyklopedin. (u.å.-b). Myr. Hämtad från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/myr>
- Nationella kalkdatabasen. (u.å.). Hämtad från <https://kalkdatabasen.lansstyrelsen.se/> [2020-05-23]
- Naturvårdsverket. (2002). *Kalkning av sjöar och vattendrag (Handbok 2002:1)*. Hämtad från <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-0115-2.pdf>
- Naturvårdsverket. (2007). *Status, potential och kvalitetskrav för sjöar, vattendrag, kustvatten och vatten i övergångszon (Handbok 2007:4)*. Hämtad från www.havochvatten.se/download/18.276e7ae81443563a750483d/13952456

- [42661/nv-handbok-2007-4-status-potential-och-kvalitetskrav-620-0147-6.pdf](#)
- Naturvårdsverket. (2010). *Handbok för kalkning av sjöar och vattendrag (Handbok 2010:2)*. Hämtad från <https://www.havochvatten.se/download/18.304994b6159ebdae8ba84ac3/1485956088365/handbok-for-kalkning-av-sjoar-och-vattendrag-isbn-978-91-620-0165-0.pdf>
- Naturvårdsverket. (2011). *Nationell plan för kalkning 2011–2015 (Rapport 6449)*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6449-5.pdf>:
- Naturvårdsverket. (2016). *Klimatförändringen och miljömål (Rapport 6705)*. Hämtad från <https://www.cleoresearch.se/download/18.7e136029152c7d48c20412/1456318392115/CLIO+slutsyntes.pdf>
- Naturvårdsverket. (2019). *Bara naturlig försurning – underlagsrapport till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019 (Rapport 6860)*. Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6860-8.pdf?pid=23954>:
- Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C., & Karlsson, P. E. (2017). *Försurning och övergödning i Västra Götalands län*. Hämtad från <https://www.ivl.se/download/18.4447c37f16fa0999d19188a/1580287718103/C401.pdf>
- Skogsstyrelsen. (2019). *Klimatanpassning av skogen och skogsbruket (Rapport 2019/23)*. Hämtad från <https://skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/publikationer/2019/rapport-2019-23-klimatanpassning-av-skogen-och-skogsbruket.pdf>
- Skogsstyrelsen. (u.å.). Utförd avverkning [Karta]. Hämtad från <https://kartor.skogsstyrelsen.se/kartor/?startapp=skogligagrunddata#>
- SMHI. (2016). Svaveldioxid. Hämtad från <http://www.smhi.se/reflab/om-luftfororeningar/luftfororeningar/svaveldioxid-1.19621> [2020-05-03]
- SMHI. (2018). Sjölyftet. Hämtad från <https://www.smhi.se/data/hydrologi/sjoar-och-vattendrag/sjolyftet-1.11018>
- SMHI. (u.å.). Avrinningskartor. Hämtad från <https://vattenwebb.smhi.se/avrinningskartor/>
- SMHI och Havs- och vattenmyndigheten. (u.å.). Modelldata per område [Karta]. Hämtad från <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>
- Svenska Miljöinstitutet. (2020). MAGIC-biblioteket. Hämtad från <https://magicbiblioteket.ivl.se/> [2020-05-17]
- Vatteninformationssystem Sverige. (u.å.). Vattenkartan [Karta]. Hämtad från <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=1589fd5a099a4e309035beb900d12399>
- Wigington, P. J., Davies, T. D., Tranter, M., & Eshleman, K. N. (1992). Comparison of Episodic Acidification in Canada, Europe and the United-States.

Environmental Pollution, 78(1-3), 29-35. doi:Doi 10.1016/0269-7491(92)90006-V

Wright, R. F., Aherne, J., Bishop, K., Camarero, L., Cosby, B. J., Erlandsson, M., . . . Rogora, M. (2006). Modelling the effect of climate change on recovery of acidified freshwaters: relative sensitivity of individual processes in the MAGIC model. *Science of the Total Environment*, 365(1-3), 154-166.
doi:10.1016/j.scitotenv.2006.02.042



LUNDS
UNIVERSITET

WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund