

# Flodpärlmussla, kalkning och försurning i Gävleborgs län



Länsstyrelsen  
Gävleborg

Titel: Flodpärlmussla, kalkning och försurning i Gävleborgs län  
Författare: Björn Lundmark  
ISBN: 0284:5954.  
Rapportnummer: 2025:5  
Diarienummer: 2059–2025  
Utgivningsår: 2025  
Omslagsbild: Flodpärlmusslor i Mörtsjöbäcken, Sandvikens kommun

# Förord

Kalkning har pågått i Gävleborgs län sedan början av 1980-talet och ett viktigt mål för verksamheten är och har varit att behålla livskraftiga bestånd av den hotade flodpärlmusslan. Flodpärlmusslan växer sakta och det tar lång tid innan man kan se effekterna av utförda åtgärder. Därför är det viktigt med långvariga och konsekventa åtgärder, samt med en anpassad uppföljning. I denna rapport utvärderas den långvariga åtgärden kalkning med hjälp av den långvariga uppföljningen av flodpärlmussla som gjorts inom regional miljöövervakning och kalkeffektuppföljningen de senaste 30 åren.

Rapporten visar att kalkningen har positiva effekter på föryngringen av flodpärlmussla, och att föryngringen minskar eller upphör helt när kalkning avslutas.

Rapportens slutsatser är viktiga i arbetet med att bevara flodpärlmusslan, då den tydligt visar kalkningens positiva effekter för artens föryngring och fortlevnad. Flodpärlmusslan är en hotad och rödlistad art samt ingår i EU:s art- och habitatdirektiv. Sverige har således ett ansvar att bevara arten och det är tydligt att kalkningen utgör en förutsättning för att lyckas med det.

Denna rapport bör utgöra ett viktigt underlag för planering av åtgärder och fördelning av medel till åtgärder. Försurningsproblematiken får inte glömmas bort då man arbetar med andra bevarandeåtgärder för flodpärlmussla, och inte heller i arbetet med EU:s nya restaureringsförordning. Slutligen är rapporten ett viktigt underlag att beakta när kalkningsverksamhetens framtida behov fastställs.

Gävle, mars 2025

Maria von Hofsten  
Enhetschef,  
enheten för miljöanalys

# Innehåll

<b>FÖRORD</b> .....	<b>3</b>
<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>5</b>
<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>8</b>
1.1 Allmänt om flodpärlmussla .....	8
1.2 Dataunderlag.....	10
1.3 Effekter av försurning, brunifiering och klimatförändringar .....	12
1.4 Kalkning och kalkdoser .....	24
1.5 Vattenföring och högflödesprovtagning .....	31
1.6 Gruppindelning av inventerade flodpärlmusslelokaler och åldersberäkningar .....	33
1.7 Försvunna musselpopulationer .....	34
<b>2. RESULTAT</b> .....	<b>35</b>
2.1 Förekomst av glochidielarver på öringgälar .....	35
2.2 Föryngring och minsta funna flodpärlmussla .....	38
2.3 Osäkerheter med försurningsbedömningen och $\Delta$ pH .....	56
<b>3. DISKUSSION</b> .....	<b>58</b>
<b>4. TACK</b> .....	<b>67</b>
<b>5. REFERENSER</b> .....	<b>67</b>
<b>6. APPENDIX</b> .....	<b>70</b>

# Sammanfattning

I Gävleborgs län finns en stor del av Sveriges flodpärlmusslor (*Margaritifera margaritifera*), men få av populationerna har tillfredställande föryngring. En del av detta kan förklaras med försurningspåverkan. Den långlivade flodpärlmusslan är en utmärkt försurningsindikator eftersom bestånd av äldre musslor kan finnas kvar långt efter att föryngringen upphört.

I rapporten redovisas flodpärlmusslans utveckling sedan 1990-talet i länet i förhållande till påverkan av försurning och kalkning. Över 100 lokaler med flodpärlmussla har inventerats återkommande en gång per årtionde med start på 1990-talet. Kalkning har bedrivits sedan 1983 och den var omfattande fram till cirka 2001, därefter minskade kalkningen markant i länet. Majoriteten av de kalkpåverkade flodpärlmusslevatten i länet har ett lägsta pH mellan 4,5–5,5 och i så försurade vatten förväntas i princip ingen föryngring utan kalkning (Wengström & Höjesjö, 2021). Generellt sett är de okalkade flodpärlmusslevattnen betydligt mindre förningspåverkade.

Under 2010-talet uppvisar musselbestånden i okalkade vatten, föryngring (mussla <50 mm) i 23 % av bestånden medan i kalkpåverkade vattendrag konstaterades föryngring i 48 %. På 1990-talet var föryngringen över 60 % i de kalkpåverkade och 37 % i de okalkade. Utifrån längd på minsta funna flodpärlmussla estimerades ålder (födelseår), vilket jämfördes med kalkstart. Utifrån inventeringen på 1990-talet hade 47 % av de vattendragen som började kalkas mellan 1983–87 en beräknad föryngring mellan 1982–90, medan i okalkade låg föryngringen på 23 % för samma tidsperiod.

Varje årtionde har medelstorleken minskat i kalkpåverkade vattendrag medan den ökat i okalkade. Bland bestånden med minst medelstorlek (2010-talet) är fyra av fem i topp kalkpåverkade. Det är till stor del endast i kontinuerligt kalkade vattendrag som utvecklingen varit positiv, medan övriga bestånd minskar eller saknar föryngring. I den mest försurade delen av länet (södra och östra länshalvan) noterades endast föryngring i kalkpåverkade vatten under 2010-talet.

I början av 2000-talet gjordes stora neddragningar i kalkningen och många områden slutade kalkas. Det verkar finnas ett klart samband mellan neddragningar av kalkningen och en lägre andel föryngring. Andel lokaler med föryngring bland de kalkavslutade musselvatten har gått från 72 % (1990-talet) då de fortfarande kalkades till 28 % (2010-talet) då de inte längre kalkades. I den kalkavslutade gruppen har antalet tomma lokaler (där musslorna helt försvunnit) ökat drastiskt från 0 % på 2000-

talet till 17 % på 2010-talet medan övriga grupper ligger mer stabilt. Ifall kalkningen som åtgärd helt tas bort riskerar 60–70 % av bestånden vara borta inom 50 år, om nuvarande trend fortsätter.

Baserat på ålderanalyser utifrån mätta flodpärlmusslor så har föryngringen i södra länshalvan minskat sedan början av 1900-talet och den upphörde helt runt 1980. I norra länshalvan förekom föryngring till och med 1985 och sedan minskade den kraftigt, men här finns det dessutom en svag föryngring kvar i vissa okalkade vatten. Troligen har faktorer såsom flottledsrensning, mer intensivt skogsbruk och dikning succesivt minskat bestånden och föryngringen sedan 1900-talets början. Utöver habitatförstörelsen har effekterna av det sura nedfallet tillkommit under senare delen av 1900-talet. Tidigare antogs att en återhämtning skulle ske och att försurningsproblemen skulle minska så fort det sura nedfallet minskat. Att återhämtningen inte skett i större omfattning kan bero intensivare skogsbruk, brunare vatten och mer frekventa extremflöden. Flodpärlmusslans överlevnad och föryngring, tillsammans med vattenkemiska mätdata, indikerar att vattendragen fortfarande är för sura i förhållande till flodpärlmusslans krav. Det tyder på att försurningsproblematiken inte är över och att kalkning är den enda åtgärd som på kort sikt kan rädda flodpärlmusslan i dessa vatten.

Minskade kalciumhalter är sannolikt en underskattad faktor, speciellt i måttligt till svagt försurade vatten. De sjunkande kalciumhalterna orsakas av att markerna är urlakade samt en effekt av lägre svavelnedfall och att en allt större mängd kalcium binds i trädens biomassa. Kalkningen ger en pH-höjande effekt och tillför kalcium. Utifrån underlaget går det inte att särskilja om det är pH-höjningen eller kalciumtillskottet (eller båda) som ger den positiva effekten på flodpärlmusslornas föryngring. Kalkning ger dessutom positiva effekter på bakterier, nedbrytning och kiselalger vilket sannolikt ger mer föda och bättre levnadsförhållanden för musslorna. Kalkning ger dessutom mer öring (Degerman 2015), vilken är viktig för flodpärlmusslans föryngring.

Närliggande län, inte minst Västernorrland, har en betydligt högre föryngringsandel enligt miljömålsindikatorn ”vattendrag med föryngring” och de bedriver också en mer omfattande kalkning av flodpärlmusslevattnen.

Vidare påvisas vikten av att ta högflödesprov för att möjliggöra en korrekt analys av försurningsläget. De senaste årens högflödesprov visar att försurningsläget är kraftigt underskattat i länet och att många kalkningar är felaktigt avslutade. Slutligen visas att vattenförvaltningens försurningsbedömningar baserat på MAGIC-modellen överensstämmer dåligt med lägsta uppmätta pH-okalk (skillnad 0,7 pH-enheter). Detta betyder att det är betydligt surare än vad modellen visar.

Under 2010-talet har Gävleborg (även andra län) drabbats av flodpärlmussledöden. Både kalkpåverkade och okalkade vatten har drabbats, men de bakomliggande orsakerna är fortfarande okända. I rapporten spekuleras det i att mussledöden orsakas av miljöförändringar i uppströmsliggande sjöar, vilket orsakar artförändringar i kiselalgsbeståndet (flodpärlmusslans föda). Denna teoretiska förändring gör att flodpärlmusslan får en näringsfattigare föda och slutar föryngra sig och till sist svälter till döds.

# 1. Inledning

Det sura nedfallet har drabbat hela Sverige mer eller mindre men det märks mest där marken är försurningskänslig. Flodpärlmusslan lever i jonsvaga och näringsfattiga vatten (Wengström och Höjesjö, 2020). Dessa vattentyper är naturligt försurningskänsliga vattendrag. Försurningen har försämrat livsmiljön för flodpärlmusslan i länet och för att förbättra situationen bedrivs kalkning. Trots att flodpärlmusslan är ett viktigt motiv för kalkningen har ingen sammanställning av beståndsutvecklingen i kalkade vatten relativt okalkade gjorts med målsättningen att belysa effekter av kalkning och försurning.

## 1.1 Allmänt om flodpärlmussla

Flodpärlmusslans utbredningsområde sträcker sig från Skåne till Norrbotten, den förekommer i 16 län och cirka 673 vattendrag. Flest bestånd finns i norra Sverige med tyngdpunkt i Gävleborg (18 % av bestånden) och Västernorrland (25 %). Flodpärlmusslan är fridlyst sedan 1994 och klassas som starkt hotad (EN) enligt den nationella rödlistan. Den är listad i EU:s Art- och habitatdirektiv (bilaga 2 och 5) och upptagen på IUCN:s globala rödlista som hotad (EN). Havs- och vattenmyndigheten har utarbetat ett åtgärdsprogram som anger vilka åtgärder som behövs för att uppnå god bevarandestatus (Havs- och vattenmyndigheten, 2020).

Flodpärlmusslan förekommer i jonsvaga vattendrag vilka är känsliga för försurning. Även en mindre mängd surt nedfall kan resultera i en ogynnsam livsmiljö. Enligt Söderberg (2008) är försurningen ett av de större hoten i Sverige. Att flodpärlmusslan och speciellt de yngre livsstadier är känsliga för försurning är känt, men exakt vilka pH som är kritiska är oklart. En del glochidielarver fick störd funktion efter endast 5 minuters exponering av vatten med pH under 6,0 (Söderberg 2008). Samma rapport anger att pH runt 6,0 och oorganiskt aluminium runt 30–60 µg/l vid tiden för frisläppandet av glochidielarverna resulterade i endast 15–20 % av normal andel glochidier på gälarna.

Sedan 2010 rekommenderas ett pH-mål på 6,2 i kalkade vattendrag med flodpärlmussla (Naturvårdsverket 2010). Därmed anses flodpärlmusslan vara den känsligaste arten för lågt pH. Samma nivå för pH anges även i Havs- och vattenmyndighetens åtgärdsprogram från 2020. Målet innebär att pH aldrig ska vara under 6,2, även vid kraftiga höglöden. Resultaten från Wengström & Höjesjö (2021) gav inte stöd för ett så högt pH-mål. Deras resultat visade att föryngringen var bättre i kalkade vattendrag med lägsta pH 6,0–6,2 än 6,2–6,4.



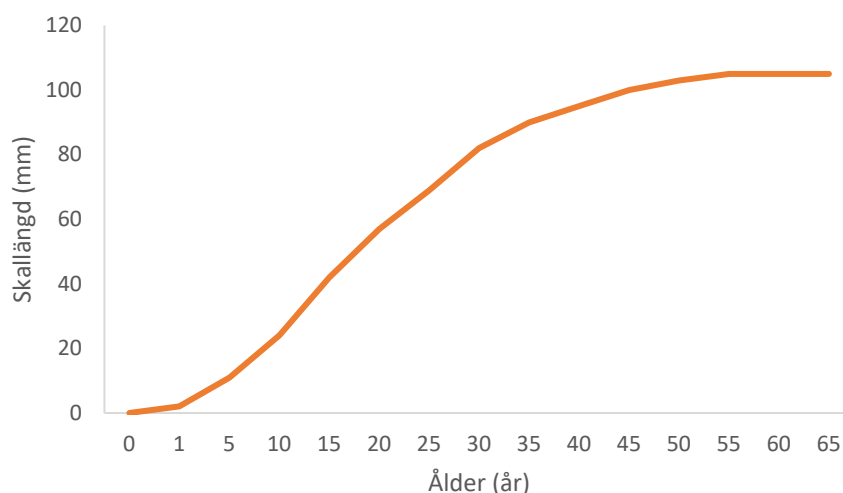
Flodpärlmusslan har en komplicerad livscykel, där larverna (glochidier) parasiterar på öring eller lax. Dessa fiskarter är således nödvändiga för reproduktionen. Musslans reproduktion beskrivs utförligt i bland annat åtgärdsprogrammet (Havs- och vattenmyndigheten, 2020).

Födan för flodpärlmusslor beror på habitat och tillgång. I små mindre näringsfattiga vattendrag består födan växtplankton, t-POM (partikulärt material från omgivningen) och bakterier. I mer näringsrika vattendrag dominerar växtplankton (flertalet källor refererade i Hajisafarali 2024). Samma studie visade att flodpärlmusslors maginnehåll var företrädesvis kiselalger (66 %) men även grönalger (20 %) och cyanobakterier 4 %. Analyser av vävnad visade på ett högre innehåll som härstammade från cyanobakterier, vilket indikerar att under vinterhalvåret äts mest cyanobakterier och under sommaren mer näringsrika kiselalger (Hajisafarali 2024).

En tysk studie (Brauns 2021) visade att unga musslors (mellan ett och tio år gamla) huvudsakliga föda bestod bentisk organisk material (BOM) och t-POM samt biofilm. När man föder upp flodpärlmusslor för utsättning i Europa matas juvenilerna med detritus insamlat från våtmarker berikat med olika algpulver. Tidigare användes gräs- och örtpulver men även inslag av malda mygglarver förekom (Brauns 2021).

Det antas att vuxna flodpärlmusslor och juveniler har samma födostorlek baserat på att gälfilamenten har samma avstånd hos både juveniler och äldre individer (Brauns 2021). Sammanfattningsvis tyder forskningen på att yngre musslor lever av mer BOM medan äldre musslor är mer inriktade på kiselalger. En studie (Wenzel 2021) på filterätande zooplankton (*Daphnia*) vilka har liknande föda som flodpärlmusslor, visade att ökad mängd bakterier i födan var negativ för överlevnad och reproduktion. Ännu mer negativt var tillsats av t-POM. Troligtvis spelar det stor roll varifrån t-POM har sitt ursprung. Det är säkert mer "näringsrikt" om det kommer från gräsbeväxta fuktängar med lövträd jämfört sura myrmarker och barrskogar.

Tillväxten för unga musslor är nästan exponentiell enligt Söderberg 2008 och referenser däri. En tio-årig mussla cirka 20 mm och en 50 mm är mellan 15–20 år (figur 1).



Figur 1. Skalllängd (mm) hos flodpärlmusslor kontra ålder (år), baserat på data hämtat från Söderberg 2008 och referenser däri.

Sedan 2011 har en oförklarlig massdöd skett i Västernorrlands, Gävleborgs, Värmlands och Västra Götalands län. Hittills har 17 vattendrag i Sverige drabbats och i några har hela populationen dött (Wengström 2019). Orsakerna är okända men är under utredning av bland annat Statens veterinärmedicinska anstalt (SVA). Det som hittills framkommit antyder att musslorna lidit av svält (Wengström 2019).

Enligt miljömålsindikatorn "Föryngring av flodpärlmussla" förekommer rekrytering (musslor <50 mm) i hälften av landets populationer, men de regionala skillnaderna är stora (Sverigesmiljomal.se). I Gävleborg har föryngring konstaterats i 38 %, medan motsvarande nivå i Västernorrland är 74 %.

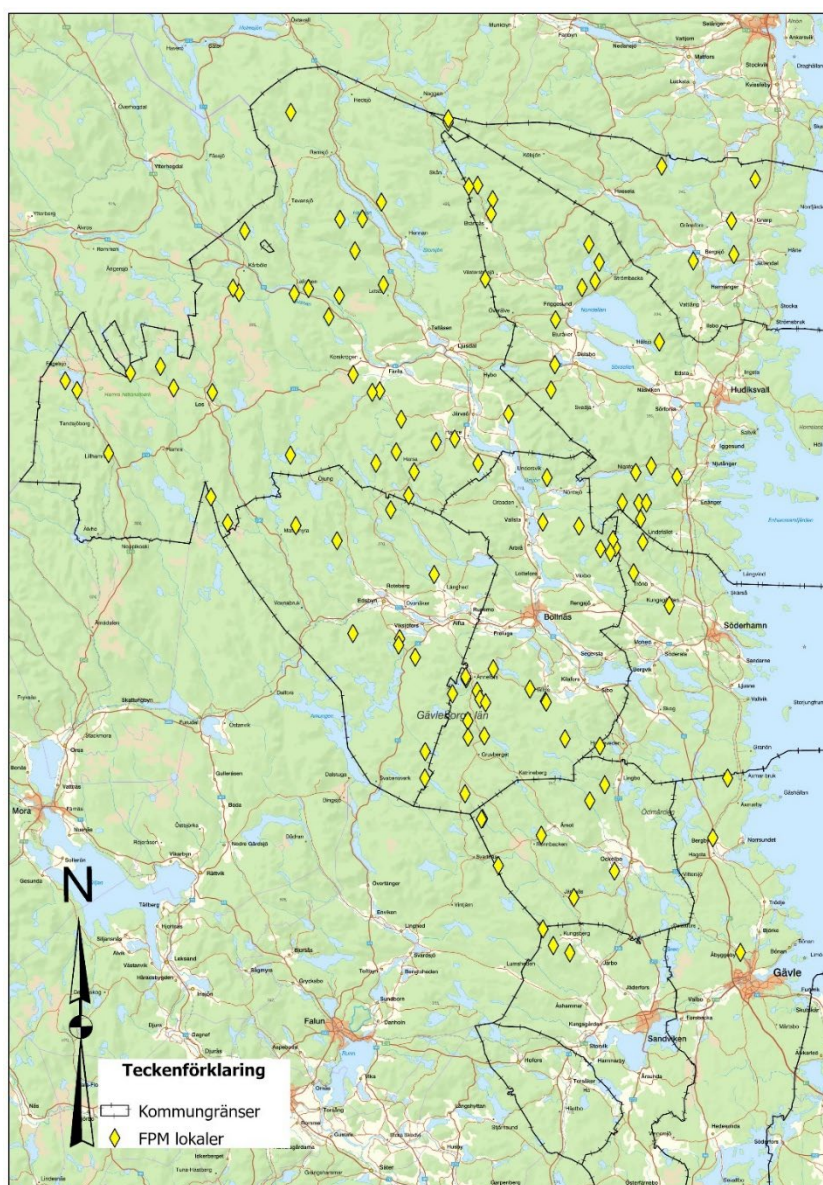
Första flodpärlmussleinventeringarna i Gävleborgs län gjordes på 1990-talet och det arbetet resulterade i flera rapporter; Granström (1993), Länsstyrelsen 1995, 1997 samt 2002. Redan 1993 beskriver Granström att i de vattendrag där det saknas föryngring är de minsta musslorna 60–80 mm. Det indikerar att föryngringen slutade någon gång mellan 1960 och 1980-talet i Bollnäs kommun (Granström 1993). Beräknar man åldern enligt tillväxten beskriven hos Söderberg (2008), är de av Granström (1993) beskrivna musslorna födda mellan 1955–1970.

## 1.2 Dataunderlag

Inom den regionala miljöövervakningen (RMÖ) och kalkeffektuppföljningen (KEU) har flertalet flodpärlmusslebestånd i länet inventerats under de senaste 30-åren (figur 2). Inventeringarna har skett med så kallad "enkel statusbeskrivning". Metoden innebär att den bästa lokalen i vattendraget inventeras och att längdmätning görs på som mest

cirka 100 musslor. Den bästa lokalen definieras utifrån individtäthet och eventuell föryngring. Lokalerna har återbesökts ungefär vart tionde år med början på 1990-talet. Resultaten presenteras i rapporten "Flodpärlmusslan i Gävleborg - En sammanställning av inventeringar utförda 1993-2018". Där utvecklingen för varje lokal redovisas.

Det finns en annan mer utförlig inventeringstyp för flodpärlmussla benämnd "statusbeskrivning" där 15-18 slumpvis utvalda lokaler (maximal längd 20 m) inom musslornas utbredningsområde inventeras och alla levande musslor räknas. Längden mäts på maximalt 15 musslor per lokal. Data från denna metod ingår inte i dataunderlaget för rapporten även om det kommenteras ibland.



Figur 2. Samtliga inventerade flodpärlmusslelokaler i Gävleborgs län 1993-2018.

Det bör noteras att det finns vissa brister med inventeringarna som påverkar hur resultatet tolkas. Lokalerna ska vara de sträckorna med högst individtäthet. Det har dock, i en del fall, upptäckts att de valda lokalerna inte varit de musseltätaste platserna. Då har, i vissa fall, lokalen bytts till en med högre täthet. Det har även hänt att lokaler inte återfunnits, varmed en ny lokal valts. Att olika lokaler inventerats gör jämförelserna mer osäkra. Det förekommer även att lokaler med hög täthet av musslor endast omfattar ett mycket litet område. Därmed ökar risken för att små musslor inte hittats trots att de funnits i vattendraget.

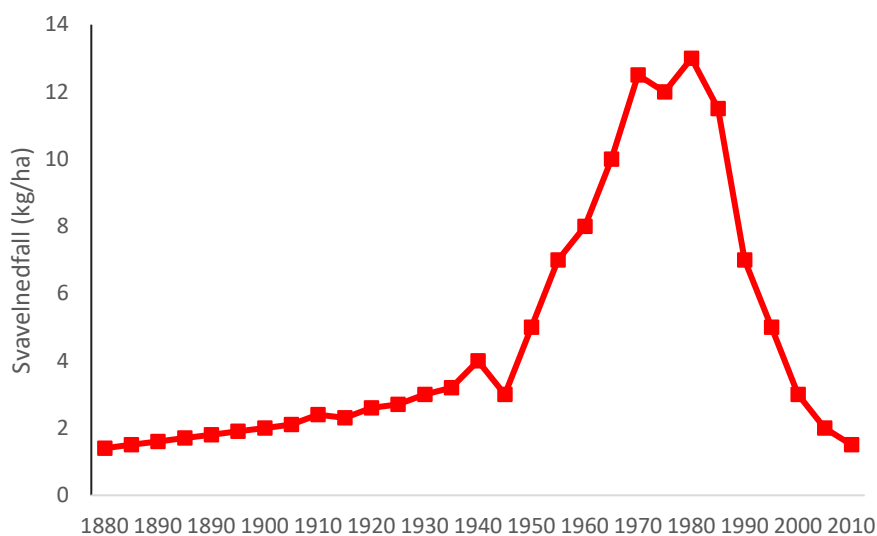
Enligt elfiskeregistret (SERS) förekommer öring i nästan alla kalkade vattendrag med flodpärlmussla. Endast flodpärlmusslelokalen i Norrån saknade öring på närliggande elfiskelokaler. Det fanns öring längre nedströms, men det kan finnas vandringshinder däremellan. I majoriteten av de okalkade flodpärlmusslelokalerna fångades också öring. Däremot har färre elfisken genomförts i okalkade vattendrag och öringförekomsten baseras oftast på ett eller två provfisken som ligger mer eller mindre långt tillbaka i tiden.

Vid utvärderingen har vattenkemi från länets kalkeffektuppföljning används och även kalkspridningsdata från 1983–2023. Det finns osäkerheter avseende spridda kalkmängder mellan 1983 och 2000, och de kalkdoser som anges kan betraktas som minimivärden. Databristen påverkar inte vilka lokaler som är okalkade respektive kalkpåverkade utan endast vilken kalkdos som erhållits och ibland vilket år kalkningen startade.

### **1.3 Effekter av försurning, brunifiering och klimatförändringar**

Försurning innebär att vattnets pH-värde minskar över tiden. Försurningen kan vara orsakad av naturliga processer eller av människans aktiviteter. I rapporten avses hädanefter alltid mänsklig påverkan när det står försurat.

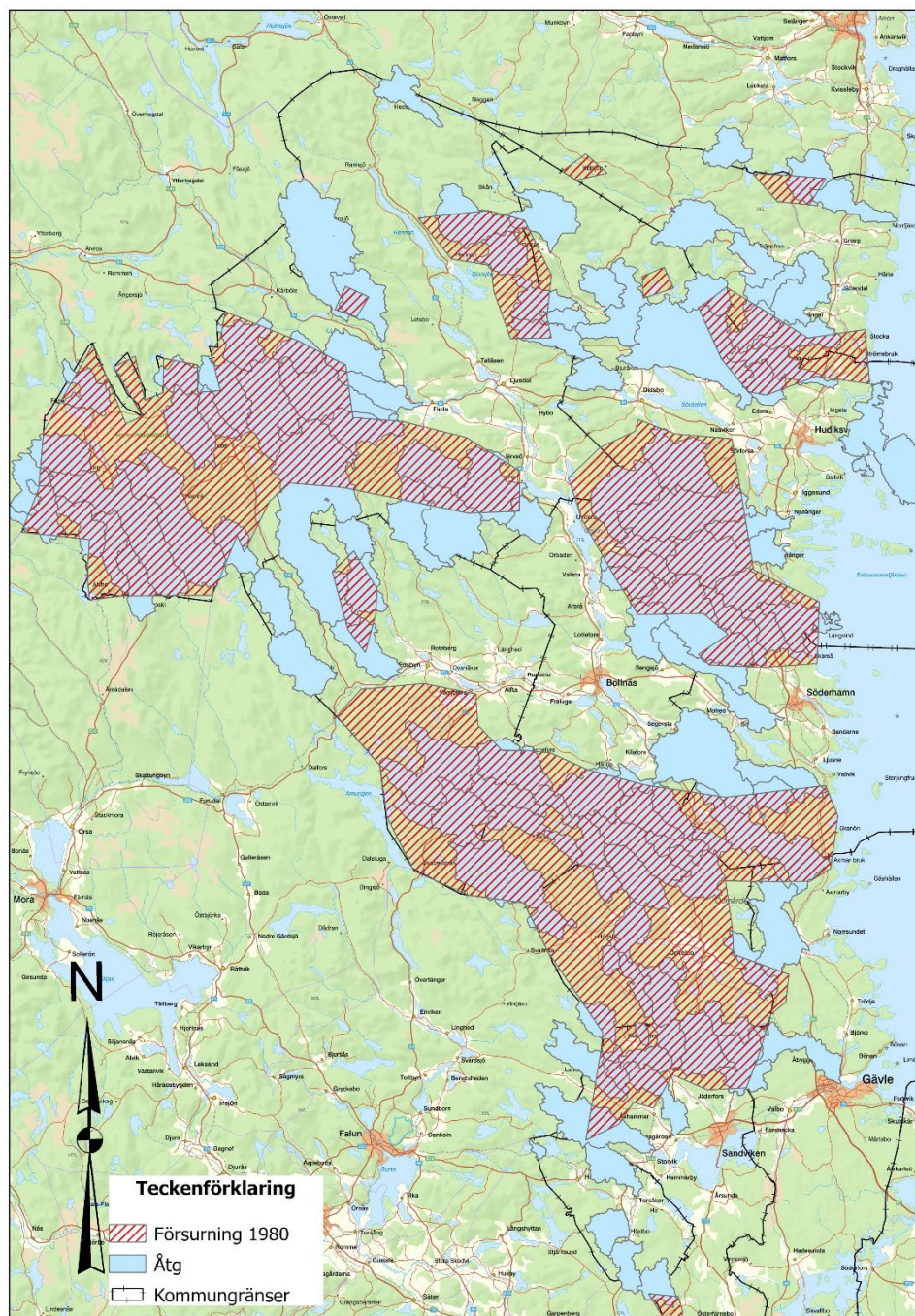
Försurningen påbörjades med det sura nedfallet orsakat av industrialiseringen och har påverkat landet sedan slutet 1800-talet. Under senare delen av 1900-talets var det som värst. Gävleborg fick jämförelsevis lite svavelnedfall, som mest runt 13 kg/ha\*år (figur 3). I delar av sydvästra Sverige var nedfallet drygt det dubbla. Det finns även en lokal variation i länet, i södra och östra delarna av länet var nedfallet betydligt större och det var lägst i nordost.



Figur 3. Modellberäknad deposition av svavel i Gävleborgs län (ungefär vid Gävle). Data från EMEP.

Flertalet vattendrag i länet är inte tydligt försurningspåverkade. De minst påverkade är låglänt belägna, kustnära eller omgivna av jordbruksmark. Mest omfattande är problemen i högt belägna, ovan eller omkring högsta kustlinjen, vattendrag i kuperad terräng med kalkfattig berggrund. I början av 1980-talet genomfördes en inventering rörande försurningsläget i länets sjöar (Länsstyrelsen 1981). Där kartlades områden där flertalet sjöar och vattendrag hade en alkalinitet under 0,1 mekv/l (figur 4), dessa områden bedömdes som försurningskänsliga. Alkalinitet är ett mått på vattnets förmåga att motverka sänkning av pH, dvs. känsligheten för försurning. Alkaliniteten är en produkt av naturgivna förutsättningar och effekten av mänsklig påverkan, främst i form av surt nedfall och omfattande skogsbruk. Eftersom flodpärlmusslan trivs i naturligt jonsvaga vatten sammanföll områden med låg alkalinitet i stort med flodpärlmusslans utbredning. Inom de områden som utpekades 1981 har i princip all kalkning därefter bedrivits. Utanför områdena bedöms de flesta vattnen som relativt opåverkade av försurning. Vattenkemiprover tagna inom till exempel RMÖ visar också detta.



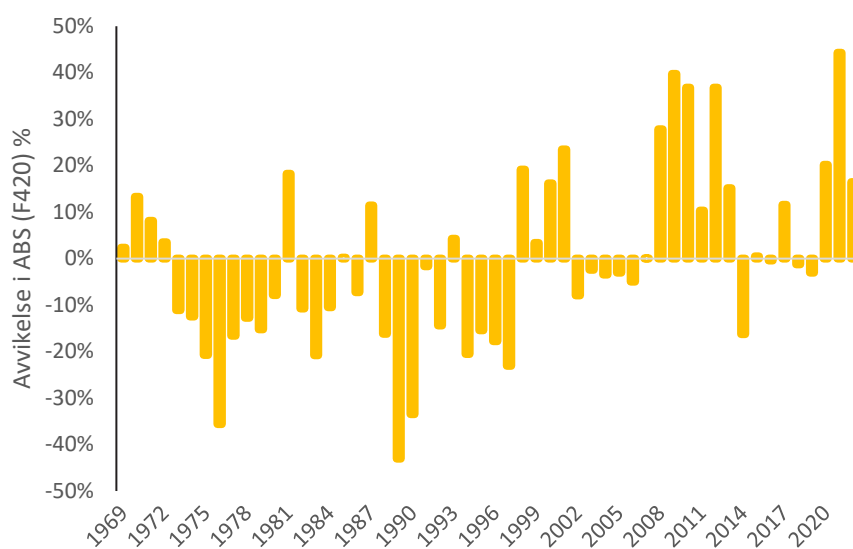


Figur 4. Karta över områden som bedömdes som försurningskänsliga runt 1980 och samtliga åtgärdsområden (Åtg) där kalkning någon gång bedrivits.

Effekterna av det sura nedfallet borde sakta klinga av men trots det mäter vi alltjämt låga pH-värden. En bakomliggande orsak är brunifieringen. Enligt Kritzberg (2020) har svenska vatten blivit brunare de senaste 50 åren beroende på att organiskt material och järn tillförs från omgivande marker. En bidragande orsak anses vara ökningen av gran. Även minskat svavelnedfall och klimatförändringar har framhållits.

Eftersom humusämnen främst tillförs vid utströmningsområden (våtmarker som kärr och sumpskogar) utgör all form av påverkan på dessa en potentiell orsak. Inte minst gäller det till följd av körskador inom det mekaniserade skogsbruket. Det organiska materialet består till del av organiska syror som sänker pH. Vattenfärgen tycks även ha en negativ effekt på flodpärlmusslan som inte sammanhänger med pH. En analys från Västernorrlands län antyder att livskraftiga populationer inte förekom om vattenfärgen överskred cirka 100 mg/l (Petersson 2019). Däremot avgav Granström (1993) att föryngring i tre av sju vattendrag förekom, där färgtal över 100 mg Pt/l uppmäts i Bollnäs kommun. Enligt samma rapport förekom det ofta flodpärlmusslor i vatten som var betydligt till starkt färgade.

Exakt hur mycket brunifieringen påverkat vattenkemin är lokalt bundet. Enligt Ahlström (2023, personlig kommunikation) har färgtalet ökat med 70–80 % i Öreälven (Västerbotten) sedan slutet av 1960-talet. En ökning av färgtalet med 100 mg/l motsvarar en minskad alkalinitet med ungefär 0,05 mekv/l. Samma ökande trend syns för Gavleån som provtagits månadsvis sedan 1969 inom den nationella miljöövervakningen (figur 5). Vattenfärgen varierar mellan åren och till följd av variationer i avrinningen. Högre avrinning medför brunare vatten. Trenden mot ett allt brunare vatten är emellertid tydlig. Två tidsperioder 2008–2013 samt 2020–2022 framstår som särskilt bruna. De brunare vattnen påverkar säkert artsammansättningen av kiselalger och andra "solberoende" mikroorganismer i sjöar och vattendrag.



Figur 5. Vattenfärg mätt som absorbans (Abs F420) i Gavleåns mynning 1969–2022 redovisat som årsmedelvärden i förhållande till medelvärdet för hela tidsperioden. Data från SLU.

Minskande halter av kalcium är ytterligare ett problem som

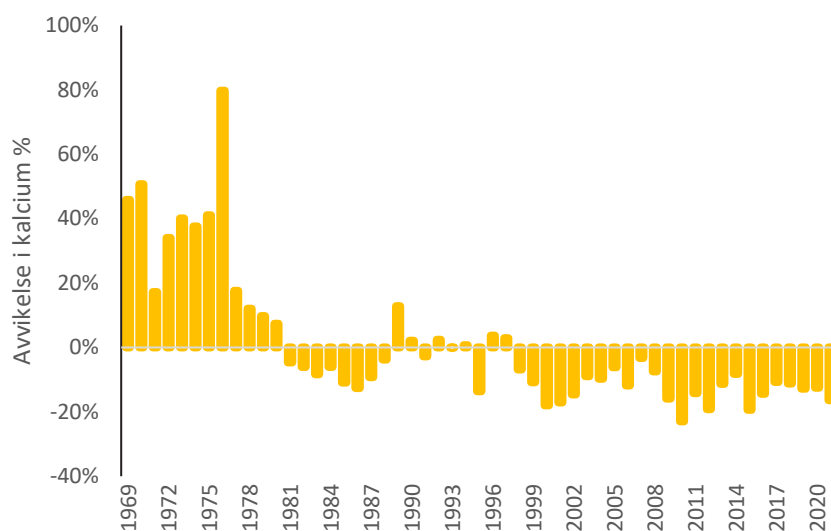
sammanhänger med nedfallet av svavel och effekter av skogsbruk. Enligt Sahlén Zetterberg och Fölster (2022) förekommer sjunkande och låga kalciumhalter i stora delar av Sverige och främst i norra Mellansverige. Enligt rapporten hade 20–30 % av vattendragen och sjöarna halter som kan vara skadligt låga för känsliga arter. Även Laudon (2021) anger att minskningen av kalcium är förvånande hög i norra Sverige (Svartberget/Krycklan).

Urlakningen av kalcium från marken ökade när det sura nedfallet ökade. Därmed höjdes kalciumkoncentrationen i avrinnande vatten. När nedfallet minskade skedde analogt en minskning av kalciumhalterna. Urlakningen ledde till en utarmning i marken, vilket brukar benämnas att markens basmättnad minskar. Denna utarmning, tillsammans med det ökade upptaget och upplagringen av kalcium i skogens biomassa, kan leda till onaturligt låga kalciumhalter. Kalcium är ett livsnödvändigt ämne som krävs för skelettupbyggnad, metaboliska reaktioner och osmotisk balans. Olika arter är olika känsliga för låga kalciumhalter. Flodpärlmusslans kalciumbehov är inte utrett, inte heller på vilket sätt låga kalciumhalter kan påverka negativt. Kiselalger, vilka betraktas som en viktig föda för flodpärlmusslan är kända för snabba artförändringar vid miljöförändringar. Det är därför troligt att förändringar i kalciumhalten påverkar kiselalgssamhället och därmed flodpärlmusslorna på ett indirekt sätt.

Daphnia har likartad föda som flodpärlmusslan och är känslig för låga kalciumhalter. Enligt Sahlén Zetterberg och Fölster (2022) ökar dödligheten hos Daphnia markant vid kalciumhalter under 0,075 mekv/l. De uppvisar då liknande symptom som flodpärlmussla drabbad av "flodpärlmussledöd" gör, nämligen ökad dödlighet och utebliven reproduktion. Flodkräftor och sötvattensmärlor uppges också vara känsliga för låga kalciumvärden och ett tröskelvärde finns mellan 0,05–0,25 mekv/l (Rukke, 2002). Yngre individer av sötvattensmärlor verkar vara känsligare än äldre (Rukke, 2002). Många vattendrag i Gävleborg med flodpärlmusslor ligger på kalciumvärden mellan 0,06–0,1 mekv/l utan kalkning vid högflöden och ungefär det dubbla vid lågflöden. Med kalktillskott blir nivåerna ibland mycket högre, uppemot 0,4 mekv/l.

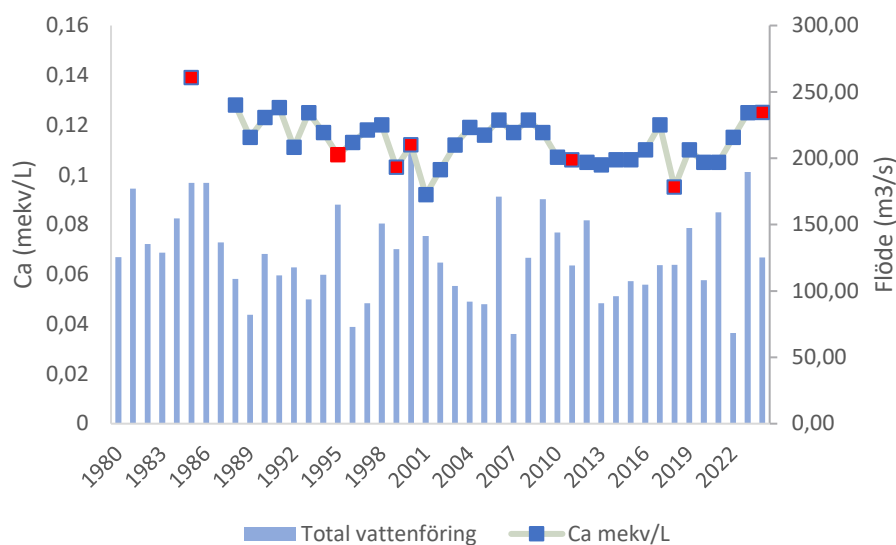
I Gavleån syns den förhöjda uttransporten av kalcium under mätseriens första tio år (figur 6). Minskningen var påtaglig i slutet på 1970-talet i samband med att svavelnedfallet reducerades. Sedan millennieskiftet ses ingen tydligt minskande trend. Det bör nämnas att kalciumhalterna i Gavleån är relativt höga och därmed inte representativa för ett typiskt okalkat flodpärlmusslevatten. Nuvarande kalciumhalt ligger runt 0,40 mekv/l räknat som årsmedelvärde.





Figur 6. Kalciumhalt i Gavleåns mynning 1969–2022 redovisat som årsmedelvärden i relation till medelvärdet för hela tidsperioden. Data från SLU.

Eftersom markerna är urlakade avger de sparsamt med kalcium till ytvattnet. Detta leder till att kalciumhalten låg i okalkade vatten (i jonsvaga områden). Kalciumhalten späds dessutom ut av höga flöden oavsett årstid. Detta avspeglar sig i sjöarnas kalciumhalt och speciellt tydligt syns det i vårproverna (april och maj). Efter en kraftig vårflod är kalciumhalten oftast lägre än föregående år och samma sak gäller efter år med hög totalnederbörd, då halten ofta är lägre, året efter än året innan (figur 7). Intressant är också höjningen av kalcium i Gosjön från 2021 och framåt, detta kan vara ett tecken på återhämtning. Samma positiva trend syns inte i de kalkade vattnen där det uppmättes rekordlåga kalciumhalter (kalkeffekten borträknad) våren 2024. Detta är också det förväntade efter det nederbördsrika 2023 och den relativt höga vårfloden 2024.



Figur 7. Kalciumhalt (mekv/L) i Gosjön 1985–2019 endast april- och majprover är redovisade, jämfört med totala årsvattenföringen (1980–2024) i Kolforsen Testeboån (m³/s). Röda datapunkter är år med kraftig vårflood. Data från SLU och SMHI.

Eftersom det saknas vattenkemiska mätdata från tiden innan försurningen går det inte att fastslå den nuvarande graden av försurning enbart baserat på vattenkemi. Den långlivade flodpärlmusslan är en utmärkt försurningsindikator eftersom bestånd av äldre musslor kan finnas kvar långt efter att föryngringen upphört. I Gävleborg har det varit en viktig faktor för att bedöma vilka vattendrag som påverkats av försurning och som därmed är i behov av kalkning. I praktiken innebär det att ett okalkat vattendrag som saknar småmusslor bedöms som försurningspåverkat ifall pH regelbundet är lägre än 6,0. För ett kalkat vattendrag görs bedömningen att kalkning fortsatt är motiverad ifall pH utan kalkning (pH-okalk) förväntas sjunka under 6,0.

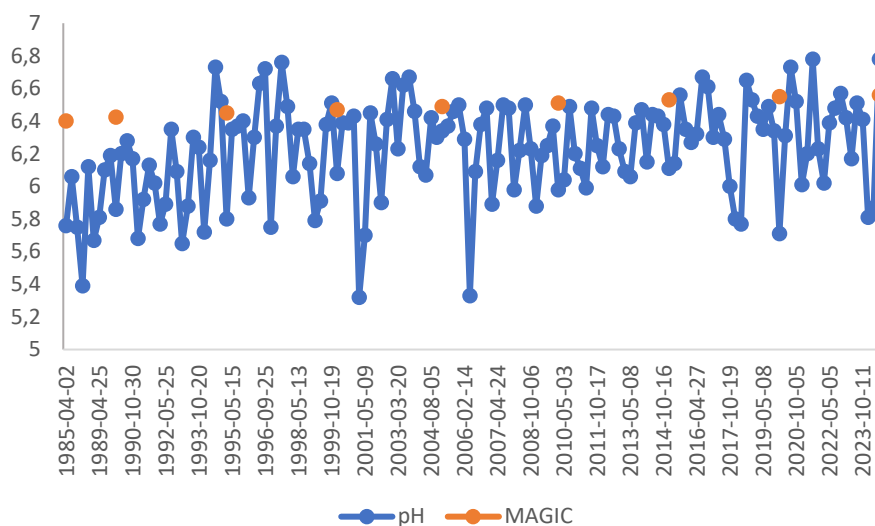
Skattningen av pH-okalk innebär en osäkerhet. Säkrast blir skattningen om den baseras på ANC (vattnets totala buffringsförmåga) och TOC (organiskt kol). En osäkrare skattning erhålls genom att först beräkna okalkad alkalinitet och därefter nyttja ett genomsnittligt samband mellan pH och alkalinitet. Det är en sådan skattning som används inom kalkningsverksamheten eftersom analyserna normalt inte innefattar samtliga parametrar som behövs för den säkrare skattningen. Oavsett vilken skattning som används för pH-okalk baseras den initialt på en beräkning av hur mycket kalciumhalten ökat till följd av kalkningen. Ökningen av kalcium motsvaras av en lika stor ökning av ANC och alkalinitet.

Vid alla provtillfällen från kalkade vattendrag görs en skattning av pH-okalk. På så vis erhålls en indikation på hur surt det skulle vara utan kalkning och kalkningens effekt på vattenkemin. Beräkningen av pH-

okalk förutsätter analys av kalcium och magnesium, vilket infördes 2014 inom kalkeffektuppföljningen i Gävleborgs län. I de flesta vattendragen i länet noterades lägsta pH-okalk i samband med skyfallet i augusti 2021.

Genom åren har olika modeller nyttjats för att skatta förindustriella nivåer på pH och buffringsförmåga. Modellernas resultat skiljer avsevärt, vilket innebär att beskrivningen av försurningens omfattning varierat beroende på vilken modell som nyttjats. Den som numera används är MAGIC-modellen som tillämpas vid klassificering av status i okalkade vattendrag enligt Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2019:25). Statusklassningen baseras på skillnaden i pH mellan nutid och förindustriell tid, vilken definieras som år 1860. Skillnaden benämns delta-pH ( $\Delta\text{pH}$ ).

Eftersom mätdata saknas för år 1860 är det omöjligt att validera MAGIC-modellen. En uppfattning om korrektheten kan erhållas genom att jämföra hur modellen klarar att återskapa pH och alkalinitet i de äldsta mätserierna från 1980-talet. Dessa finns främst från den trendövervakning av sjöar som inleddes 1983–85. Flertalet trendsjöar ingår i MAGIC-biblioteket och är således modellerade med MAGIC. Från Gävleborgs län finns bland annat Gosjön som ligger söder om Söderhamn där övervakningen började 1985. Modelleringen med MAGIC gjordes med 2013 som kalibreringsår, vilket innebär att modellen kalibrerats för att överensstämma med sjökemin för det året.



Figur 8. Uppmätt pH samt modellberäknat pH via MAGIC-modellen för Gosjön i Gävleborgs län. Uppmätta data från SLU, MAGIC-data från IVL.

Jämförelsen visar att MAGIC tydligt underskattade försurningsutvecklingen under 1980-talet (figur 8). Enligt modellen sjönk pH som mest ned till 6,4. Uppmätta värden visar emellertid att pH

minskade ned mot 5,6–5,8. Avvikelsen beror sannolikt på att sulfathalten underskattas i modellen. Av figuren framgår också att de modellberäknade pH-värdena generellt är högre än de uppmätta. Det beror på att pH är osäker att beräkna även via ANC och TOC. I Gosjön borde det främst bero på att effekten av ett förhöjt partialtryck av koldioxid underskattas.

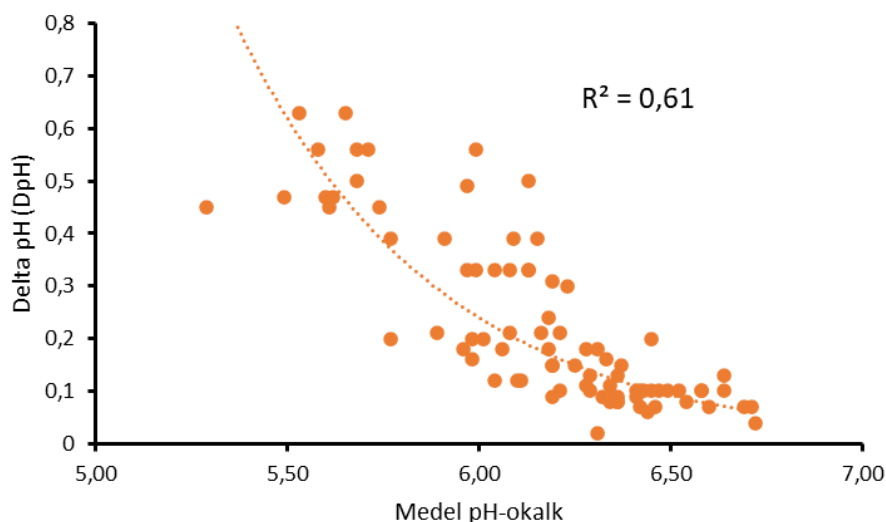
MAGIC-modellen är komplicerad och kräver, förutom vattenkemiska data, även data som beskriver marken i avrinningsområdet och hur depositionen av svavel och kväve förändrats över tid. För att förenkla hanteringen har ett bibliotek skapats där sjöar och vattendrag som modellerats med MAGIC samlats. Försurningsbedömningen innebär att det vatten som ska bedömas matchas mot det vatten som är mest likt i MAGIC-biblioteket. Förändringen i pH och buffringsförmåga hämtas således från det matchade vattnet i biblioteket och inte från det aktuella vattnet.

MAGIC-biblioteket kan även användas för att skatta kvarvarande försurning i kalkade vatten. I de skattningarna är det försurningen för det okalkade tillståndet som avses. Därmed behöver kalkningens påverkan på pH och kalcium (eventuellt även magnesium) borträknas innan matchningen mot MAGIC-biblioteket. Denna beräkning, tillsammans med proceduren med matchning, leder till osäkerheter. Dessutom tillkommer ytterligare osäkerheter till följd av att försurningsbedömningen baseras på volymvägda årsmedelvärden. Det gäller särskilt för vattendrag eftersom samtliga vattenkemiska parametrar varierar med flödet. För att få en så korrekt bedömning som möjligt behöver prov insamlas vid olika hydrologiska situationer. Speciellt viktiga är prov vid höga flöden. Flödena kan dessutom skilja avsevärt mellan åren, vilket påverkar utfallet.

Under 2010–2014 genomfördes en nationell undersökning av kalkade målvattendrag (MVU) som för Gävleborgs län innefattade 84 målpunkter (figur 11). I dessa klassades försurningen för det okalkade tillståndet med MAGIC-biblioteket (Fölster m.fl. 2018). Av målpunkterna hade 15 (18 %)  $\Delta\text{pH}$  större än 0,4. Enligt Fölster m.fl. innebär osäkerheten vid beräkningen av okalkad kemi att ytterligare 26 målpunkter kunde ha  $\Delta\text{pH} > 0,4$ . I den skattningen beaktades inte huruvida provtagningsunderlaget medgav en rimlig beräkning av volymvägda årsmedelvärden, eller om provtagningen genomfördes under en period med låg eller hög avrinning.

I figur 9 redovisas betydelsen av uppmätt pH-okalk för skattningen av  $\Delta\text{pH}$ , underlaget utgörs av samtliga målvattendrag i Gävleborgs län från MVU. Ett högt pH-okalk leder till lågt  $\Delta\text{pH}$  och vice versa. För vattendrag med medel pH-okalk under 5,75 klassades samtliga vattendrag som försurade ( $\Delta\text{pH} > 0,4$ ). Motsvarande notering vid pH över 5,75 var 4 %.

Korrelationen mellan lägsta pH-okalk och  $\Delta$ pH beror på att pH påverkas mest i ett intervall mellan ungefär 5,0 och 5,6. I det intervallet räcker det med en minskning av buffringsförmågan på ungefär 0,02 mekv/l för att  $\Delta$ pH ska överskrida 0,4 pH-enhet. Vid pH på 6,0 behöver buffringsförmågan ha minskat med ungefär 0,05 mekv/l för att  $\Delta$ pH ska uppgå till 0,4 pH-enhet.



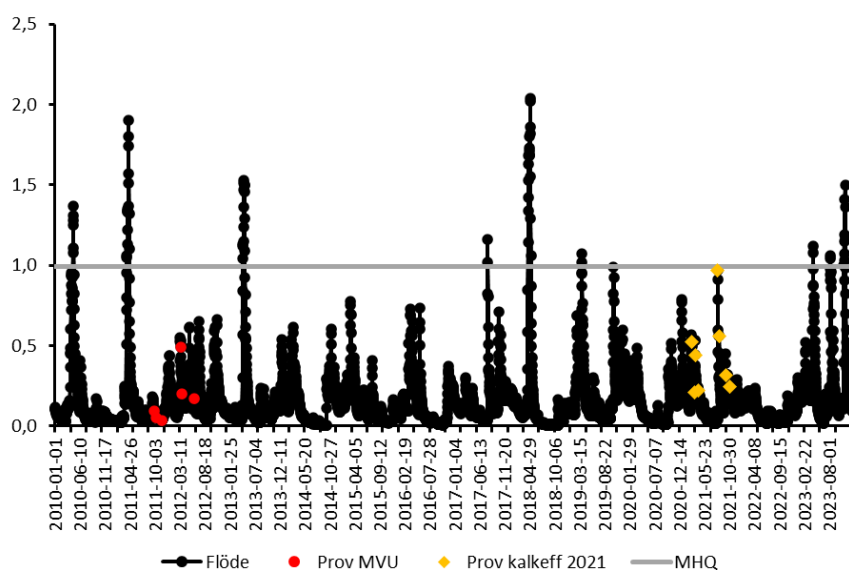
Figur 9.  $\Delta$ pH i förhållande till uppmätt pH-okalk för målvattendrag i Gävleborgs län som provtogs under åren 2010–2014 inom målvattendragundersökningen.

pH-värdets betydelse för skattningen av  $\Delta$ pH innebär att utfallet kan variera avsevärt både beroende på variationer i avrinningen och till följd av hur provtagningen genomförts. I vattendrag med stor variation i pH är det nödvändigt att provtagningen innefattar tillfällena med låga pH, dvs. vid höga flöden under vår och höst. Det innebär också att det är olämpligt att skatta  $\Delta$ pH med utgångspunkt från provtagning under år där höga flöden inte uppträder. I målvattendragundersökningen provtogs varje vattendrag vid 6 tillfällen under en period på 12 månader. Enligt instruktionerna skulle tre prover tas vid förutbestämda datum och tre i samband med höga flöden. Sammanfattningsvis betyder detta, att ingår inga högflöden bland de sex proverna får man sannolikt en försurningsbedömning där vattnet bedöms som oförsurat oavsett om det är det eller inte.

Grottsjöbäcken är ett målvattendrag med flodpärlmussla som provtogs i den andra provomgången 2011–2012. Under den tidsperioden nådde flödet som mest 60 % av ett normalt högflöde (MHQ). Det högsta provflödet (15 mars) uppgick till halva MHQ. I klartext, provperioden hade inga rejäla högflöden och när det var högflöden missades de. De tre proven från hösten 2011 togs vid flöden mellan 4 % och 9 % av MHQ. Lägsta uppmätta pH var 6,24, lägsta pH-okalk beräknades till 5,78 och

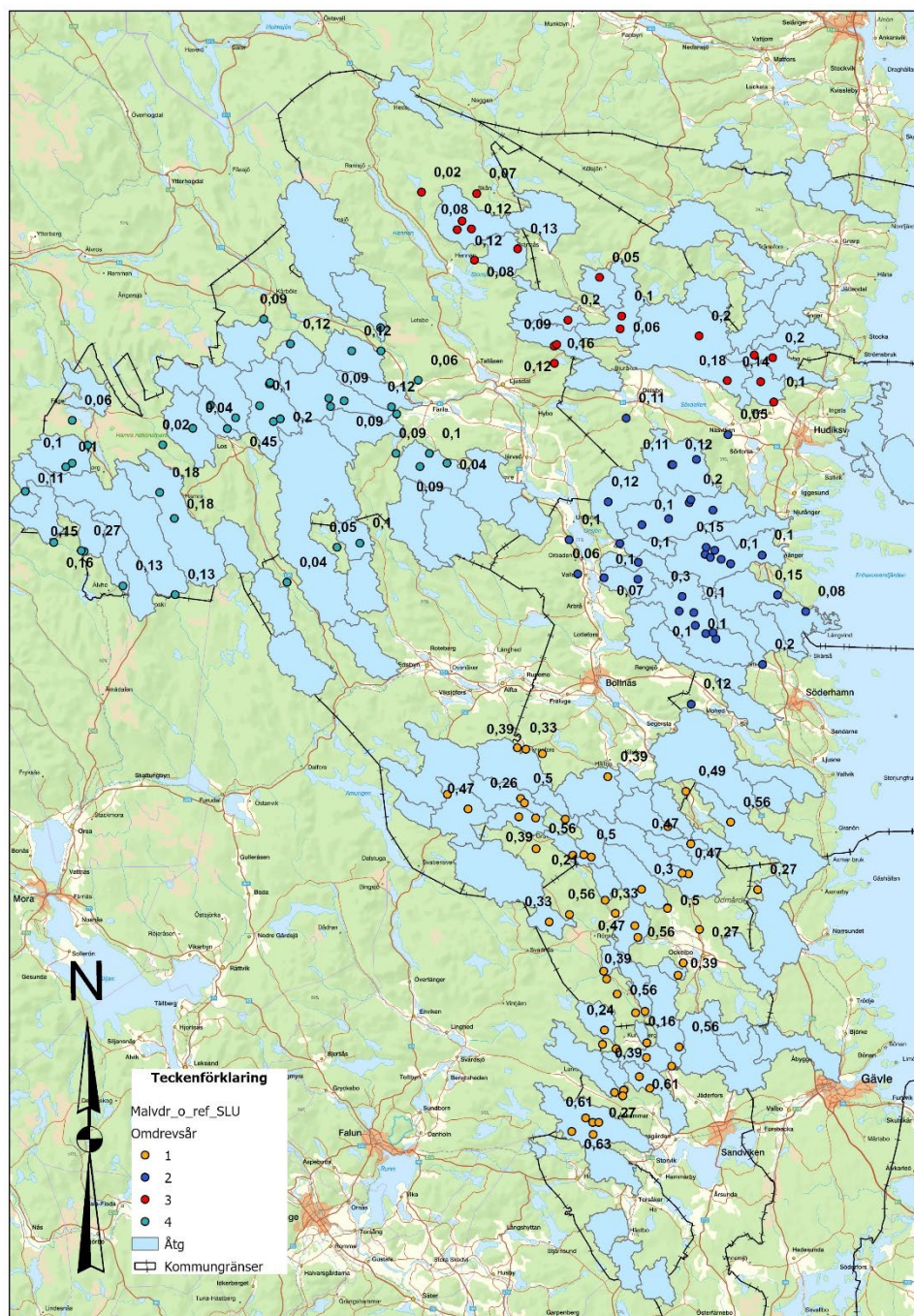
medel pH-okalk till 6,21. Matchningen mot MAGIC-biblioteket gav  $\Delta\text{pH}$  0,1 och skattningen av osäkerhet gav en sannolikhet på 0 % att  $\Delta\text{pH}$  överskred 0,4. Detta är logiskt med tanke på att det behövs en minskning av buffertkapaciteten på ungefär 0,07 mekv/l för att sänka pH från 6,6 till 6,2, dvs uppnå  $\Delta\text{pH}$  på 0,4 vid ett nuvarande pH på 6,2.

Grottsjöbäcken provtas regelbundet i den ordinarie kalkeffektuppföljningen. Under 2021 insamlades 8 prov, varav flera vid förhållandevis höga flöden under hösten (figur 10). Vid prov 18 augusti tangerades MHQ och pH uppmättes till 4,96. Vid ytterligare tre provtillfällen beräknades negativa värden för den okalkade alkaliniteten och pH-okalk som medelvärde var sannolikt runt 5,0 under 2021. Därmed är sannolikheten stor att  $\Delta\text{pH}$  skulle vara över 0,4 eftersom det endast förutsätter att buffringsförmågan minskat med 0,02 mekv/l. Exemplet med Grottsjöbäcken är inte unikt för MVU i Gävleborg. I princip alla vattendrag som provtogs i omgång 2 och 4 saknade höglödesprover. Av 15 målpunkter med  $\Delta\text{pH} > 0,4$  provtogs 11 under omgång 1, vilket innebar att de innefattade höglödesprover från vårfloden 2011.



Figur 10. Dygnsflöden i Grottsjöbäcken samt provtagningstillfällen i målvattendragsundersökningen 2011–2012 och kalkeffektuppföljningen 2021. Flödesdata från SMHI.

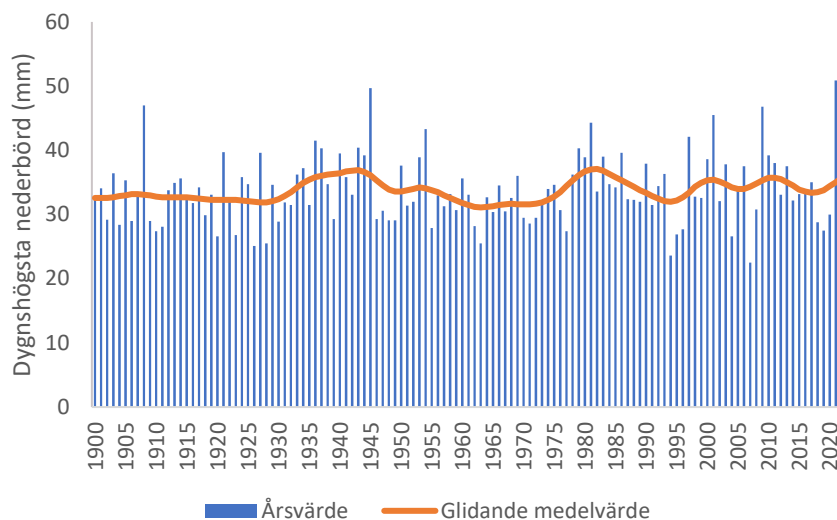




Figur 11.  $\Delta\text{pH}$  i målvattendrag för respektive provtagningsomgång (1–4) från målvattendragsundersökningen 2010–2014 samt samtliga åtgärdsområden (Åtg).

Klimatförändringarna orsakade av mänskliga aktiviteter förutspås öka väderextremer såsom skyfall och torka. De senaste åren har flera extrema nederbördstillfällen inträffat, men ökningen är inte statistiskt säkerställd enligt SMHI (figur 12, 2024a). Det beror på stora variationer mellan åren. Perioder med torka som följs av snabba flödesökningar

leder ofta till kraftiga surstötter. Det finns således en påtaglig risk att klimatförändringarna medfört fler tillfällen med låga pH-värden i framtiden.



Figur 12. Maximal dygnsnederbörd i södra Norrland per år (genomsnitt per station). Röda linjen ett glidande medelvärde för tio år. Data från SMHI 2024.

När försurningsproblematiken med surstötter i Norrland uppdagades i slutet av 1970-talet låg fokus på vårfloden. Med utgångspunkt från provtagning under 1989–1992 bedömdes 21 % av de undersökta vattendragen i Gävleborgs inland som försurningspåverkade (Ahlström et.al. 1995). Därefter har vårfloden blivit allt mindre sur på grund av högre pH i snön, men det blir fortfarande surt vid de kraftigaste vårflödena. Efter snövintrarna 2011, 2013 och 2018 uppmättes låga pH-värden i de flesta vattendragen i länet.

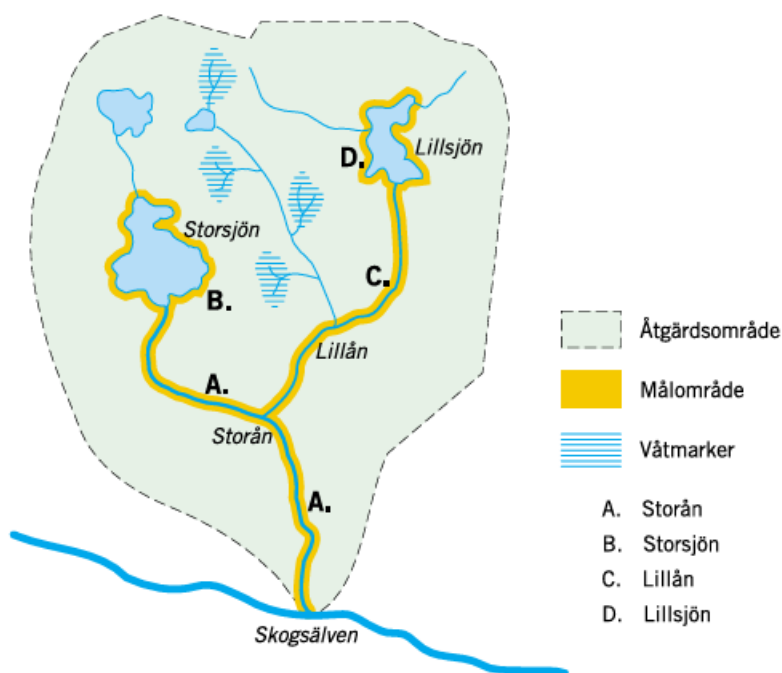
De suraste förhållandena registreras numera under sensommar och höst efter stora regnmängder som ofta föregåtts av torrare perioder. Under sådana höstepisoder sjunker pH-ökalk ner under 5,0 i många kalkade vattendrag. Det är inte osannolikt att de positiva effekterna av minskad svaveldeposition uteblivit till följd av mera skyfallsliknande regn och brunifieringen. Oberoende av orsakerna framstår pH-värden under 6,0 som alltför låga för att säkerställa flodpärlmusslans fortlevnad och föryngring.

## 1.4 Kalkning och kalkdoser

Kalkningsverksamheten är uppbyggd på så kallade åtgärdsområden (avrinningsområden) där kalkning genomförs för att höja pH och erhålla



måluppfyllelse (både biologiskt och vattenkemiskt) i målsjöar och målvattendrag (figur 13).



Figur 13. Schematisk bild över ett åtgärdsområde med målområden och kalkobjekt (sjöar och våtmarker). Från kalkhandboken 2010.

Kalkning sker i sjöar och på våtmarker (kalkobjekt) samt med kalkdoserare, men sådana saknas numera i länet. Vattnet från kalkobjekten rinner ner i målvattendraget och höjer pH. Våtmarkskalkning är negativt för våtmarkens naturliga vegetation men positivt för vattendraget tack vare jämn och långvarig tillförsel av alkalinitet. Sjöalkning ger ofta instabila effekter i nedströms liggande vattendrag.

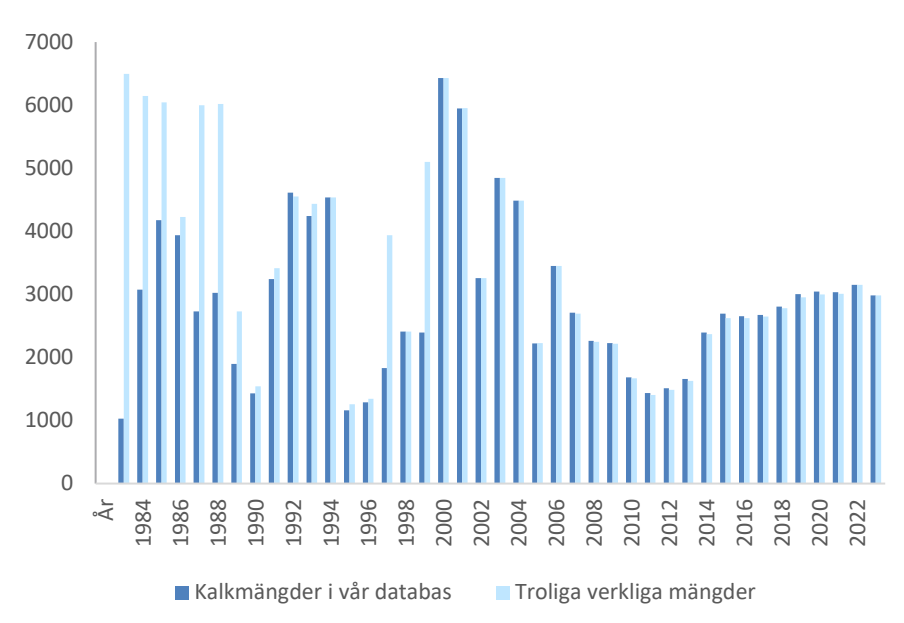
Kalkningen på våtmarker sker med helikopter, medan sjöarna kalkas med helikopter eller båt. Numera sker kalkningen årligen för att utjämna effekten. Kalkbehovet för ett målvattendrag beror på avrinningen, det vill säga vattendragets storlek, samt på hur mycket alkaliniteten behöver höjas för att pH-målet inte ska underskridas. Utifrån detta utformas en spridningsplan som anger hur mycket kalk som behövs på respektive kalkobjekt.

I Gävleborgs län har det kalkats sedan början av 1980-talet. I begynnelsen styrde huvudsakligen kommunernas intresse, omfattningen och val av objekt. Initialt var kalkningen inriktad på effekterna i sjöar som kalkades med hög dos och långa mellanrum. Som bieffekt fick nedströms

liggande vattendrag en hög kalkdos som därefter klingade av tills en ny kalkning genomfördes. Det är denna typ av kalkning bedrivits i länet under 1980- och 1990-tal.

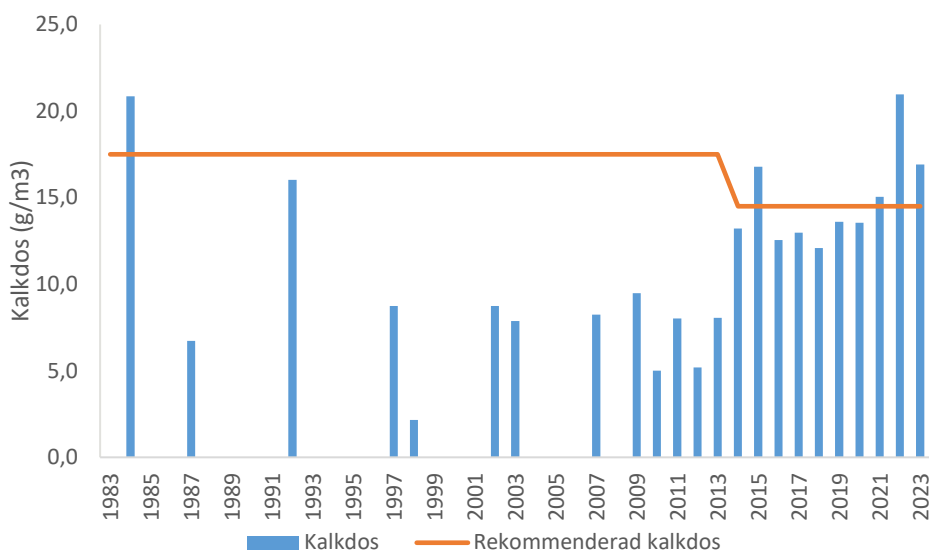
Under mitten av 1990-talet gjordes den första länsövergripande inventeringen av flodpärlmussla. Flodpärlmusslan blev sedermera ett viktigt motiv för kalkningen, men lite gjordes för att anpassa kalkningen för att uppnå pH-målen i vattendragen.

Det finns stora redovisningsbrister i hur stora kalkmängder som faktiskt spridits i länet. Mellan 1983 till 2000 verkar de faktiska mängderna vara betydligt högre än de som finns redovisade i vår databas (figur 14). Sett till beviljade statsbidrag uppgick kalkmängderna sannolikt till 3 000–7 000 ton 1983–1989, för att sedan ligga runt 4000 ton i slutet av 1990-talet.

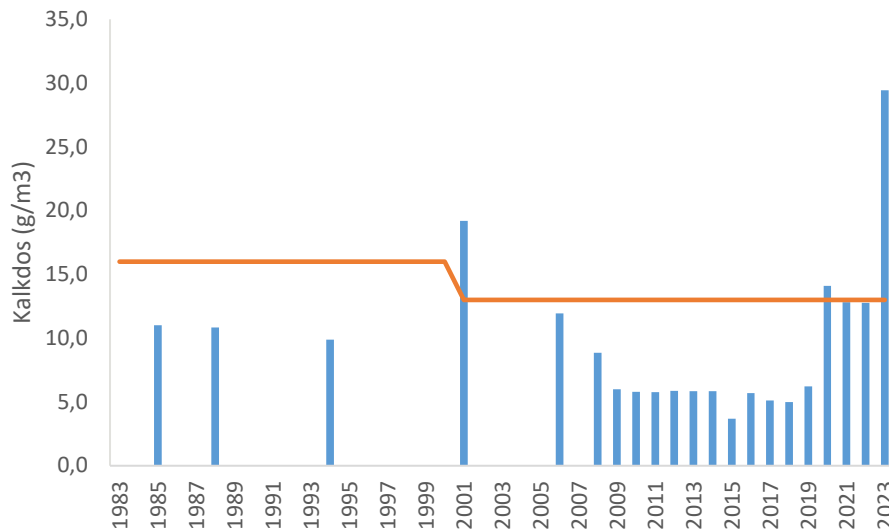


Figur 14. Kalkmängd spridd i Gävleborgs län 1983–2023.

Kalkning av våtmarker började tillämpas i större skala under slutet av 1980-talet, men inte i Gävleborgs län. I länet dominerade fortfarande sjökalkning med långa spridningsintervall. Kalkdoserna i målvattendragen fluktuerande därmed och var också mycket låga i förhållande till de rekommenderade enligt Kalkhandboken. Se exemplen Mosjöån och Finnbergsån (figur 15 och 16).



Figur 15. Kalkdos (g/m<sup>3</sup>) i Mosjön 1983–2023 i förhållande till rekommenderad vid ett pH-okalk på 4,5. Observera att den rekommenderade kalkdosen sänktes vid övergången från sjökalkning till våtmarkskalkning.



Figur 16. Kalkdos (g/m<sup>3</sup>) i Finnbergsån 1983–2023 i förhållande till rekommenderad vid ett pH-okalk på 4,5. Det höga värdet för 2023 beror på att en våtmarkskalkning startade då, och då kan man ha en hög startgiva.

Kalkdosen ger bara en fingervisning avseende kalkningens förutsättning att uppnå pH-målet. Även om dosen följer riktlinjerna avgörs resultatet till stor del av vilken kalkeffekt som uppnås. Kalkeffekten är ett mått på hur mycket tillskott av alkalinitet som uppnås i förhållande till kalkdos. Kalkeffekten beror på vilka objekt som kalkats och var de ligger inom

åtgärdsområdet. Kalkas enbart en sjö långt upp i åtgärdsområdet blir effekten försumbar längre ner i vattendraget vid snabba flödesökningar. Detta eftersom flödet ur sjön dämpas, vilket medför att tillskottet av vatten nedströms sjön späder det kalkade sjövattnet till den grad att det endast kvarstår en obetydlig alkalinitetshöjning. Rätt utförd ger våtmarkskalkning bättre och jämnare kalkeffekt vid ökande och höga flöden. Därför är den rekommenderade kalkdosen lägre vid våtmarkskalkning än vid kalkning via uppströms sjöar

De låga och ojämna kalkdoserna resulterade i låg vattenkemisk måluppfyllelse, speciellt i flodpärlmusslevattnen. Delvis berodde det på att pH-målet höjdes från 6,0 till 6,2 enligt nya riktlinjerna 2010 (Naturvårdsverket 2010). Höjningen genomfördes utan motsvarande justering av kalkmängderna.

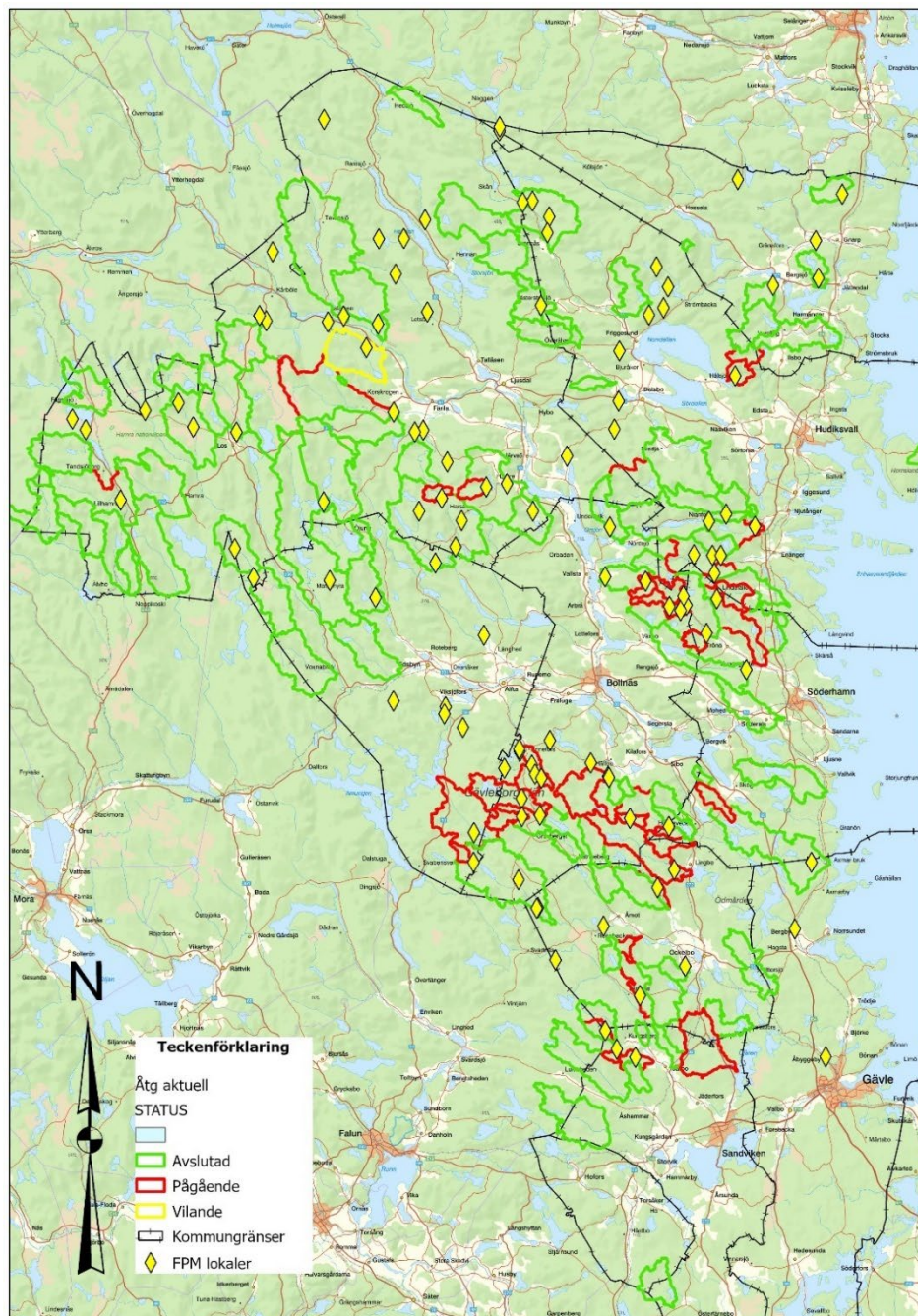
Teoretiskt avgör pH-okalk (mer korrekt okalkad alkalinitet) hur hög kalkdos som behövs för att uppnå mål-pH, vilket innebär att ett surare vatten behöver en högre kalkdos. Detta förhållande är inte tydligt för de äldre kalkningarna. En förklaring är att pH-okalk överskattades, vilket berodde på bristfällig vattenkemisk provtagning innan kalkningen påbörjades. En viktigare förklaring är att den vattenkemiska uppföljningen var så bristfällig att det inte framgick att pH-målen underskreds. Vid rapporteringen till Naturvårdsverket angav Länsstyrelsen Gävleborg en vattenkemisk måluppfyllelse på närmare 100 % för åren 2002 till och med 2008. Det är orimligt med tanke på de kalkdoser som nyttjades i förhållande till nivåerna på pH-okalk. För det var minst lika surt då som nu, det är bara att inga prover togs när det var surt.

Även om vissa kalkmängder saknas i underlaget kan man generellt säga att det kalkades med något högre dos i de suraste vattnen än de mindre sura. Doserna var däremot alltför låga i förhållande till att upprätthålla mål-pH. För exempelvis Grottsjöbäcken med ett pH-okalk på 4,5 rekommenderas en kalkdos på cirka  $15 \text{ g/m}^3$ . Det kan jämföras med en medeldos på  $3,5 \text{ g/m}^3$  som spreds under 1990-talet och cirka  $1 \text{ g/m}^3$  på 2000-talet. Fullt upplöst medför en kalkdos på  $1 \text{ g/m}^3$  ett tillskott av alkalinitet på 0,02 mekv/l. I Grottsjöbäcken sjönk den okalkade alkaliniteten till -0,08 mekv/l i augusti 2021. För att nå pH-målet på 6,0 innebär det att kalkningen behöver tillföra minst 0,11–0,12 mekv/l i alkalinitet. Den utförda kalkningen på 2010-talet gav maximalt ett femtedels tillskott av det som behövdes för att uppnå pH-målet.

Kalkningsverksamheten i Gävleborgs län fick betydande kritik av Naturvårdsverket efter granskning av den första regionala åtgärdsplanen 2004. Efter att den vattenkemiska uppföljningen förbättrats avslöjades bristerna även i form av en svag vattenkemisk måluppfyllelse. Under vårfloderna 2011 och 2013 sjönk måluppfyllelsen till 50 %. Därefter har ett

arbete med att få till en ändamålsenlig kalkning bedrivits. I vattendrag som bedömts mindre försurningspåverkade har kalkningen avslutats, men en del avslut framstår som felaktiga i och med genomgången av biologiska data inför denna rapport.

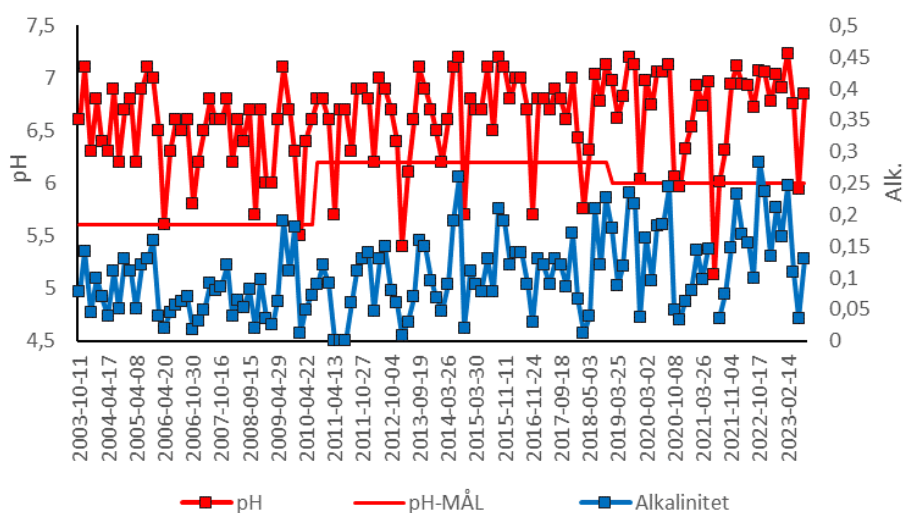
I dagsläget kalkas 30 åtgärdsområden (med 30 målsträckor) varav 22 har flodpärlmussla som motiv (figur 17).



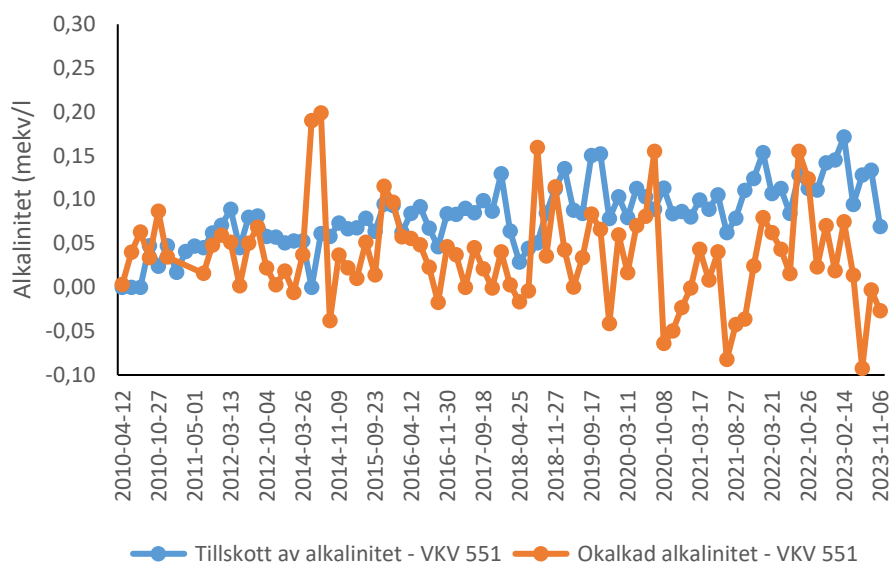
Figur 17. Samtliga flodpärlmusslelokaler (gula romber) samt kalkade åtgärdsområden, röda är aktiva, gula vilande och gröna är avslutade.



De senaste åren (2020-talet) har vattenkemiprovtagningen förbättrats ytterligare, varmed mätvärden finns tillgängliga från flertalet flödestoppar. Trots att kalkningen förbättrats underskreds pH-målen i mer än hälften av vattendragen under de nederbördsrika höstarna 2021 och 2023. Utan de genomförda förstärkningarna av kalkningen skulle utfallet varit betydligt sämre, vilket exemplifieras med Mosjöån (figur 18). I Mosjöån har kalkningen förstärkts flera gånger det senaste årtiondet. Våtmarkskalkning påbörjades 2015 men trots det underskreds pH-målet ibland. Det berodde på att några kalkobjekt gav dålig effekt, men även på att tillfällena med låga pH-ökalk provtagits. Senaste förbättringen gjordes 2022 efter att pH sjönk till 5,1 i samband med skyfallet 2021. Revideringen gav resultat under 2023 (efter ovädret Hans). Utan kalktillskott skulle pH sjunkit till ca 4,5, men kalkningen höjde pH till närmare 6 med ett tillskott av alkalinitet på 0,13 mekv/l (figur 19). Därmed fungerar kalkningen numera tillfredställande.



Figur 18. pH och alkalinitet i Mosjöån där kalkningen tidigare var för svag i förhållande till att pH-ökalk tidvis sjönk till 4,5.



Figur 19. Okalkade alkalinitet och tillskott av alkalinitet från kalkningen i Mosjön (VKV 551) 2010–2023. Tillskottet av alkalinitet har ökat till följd av bättre kalkning. Minskningen i okalkad alkalinitet är en kombination av höga höstflöden som i allt högre grad prickats vid vattenprovtagningen.

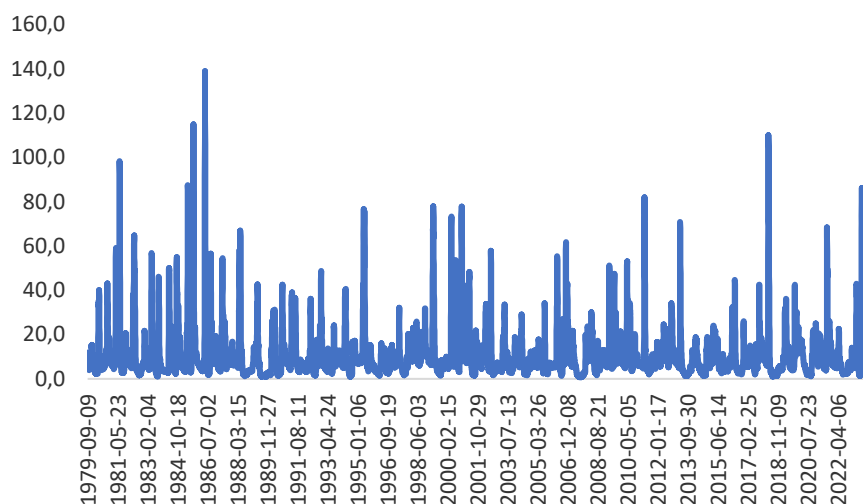
## 1.5 Vattenföring och högflödesprovtagning

Definitionen av de vattenkemiska målen (mål-pH) innebär att vattenprovtagningen ska spegla de mest kritiska situationerna. Vattenkemiskt innebär det när summan av den okalkade alkaliniteten och tillskottet av alkalinitet från kalkningen är lägst. Valet av provtagningstidpunkt behöver därför beakta både hur den okalkade alkaliniteten varierar vid olika hydrologiska situationer samt hur tillskottet av alkalinitet varierar från kalkade sjöar och våtmarker. De mest kritiska tillfällena infaller främst i samband med höga flöden, ofta i kombination med att flödet stiger. Den sistnämnda faktorn är särskilt betydelsefull i vattensystem med sjöar. Eftersom flödesökningen fördröjs i sjöarna innebär det att andelen sjövattnet minskar i nedströms vattendrag. Vanligen leder det till att den okalkade alkaliniteten sjunker och, om sjön kalkas, minskar även tillskottet av alkalinitet från kalkningen.

Genom att beakta hur flödet varierat erhålls en fingervisning avseende vilka tillfällen som varit mest kritiska sett till risken för låga pH-värden. Det finns några stationer som mäter vattenflödet i Gävleborg, exempelvis Konstdalsströmmen i Testeboån där SMHI har en mätstation.

De högsta flödena sedan början av 1980-talet uppkom till följd av snövintrarna i mitten av 1980-talet (figur 20). Sedan följde ca 15 år med mestadels måttliga flödestoppar fram till millenniumskiftet då det var

väldigt blött men utan stora toppar. Under 00-talet var vintrarna milda, vilket resulterade i låga vårflöden. Därefter inföll de stora vårfloderna 2011, 2013 och 2018. Senaste högflödet som sticker ut är i samband med skyfallen i augusti 2021 och augusti 2023.



Figur 20. Uppmätt flöde ( $m^3/s$ ) i Testeboån, Konstvalsströmmen, 1979–2023. Data från SMHI.

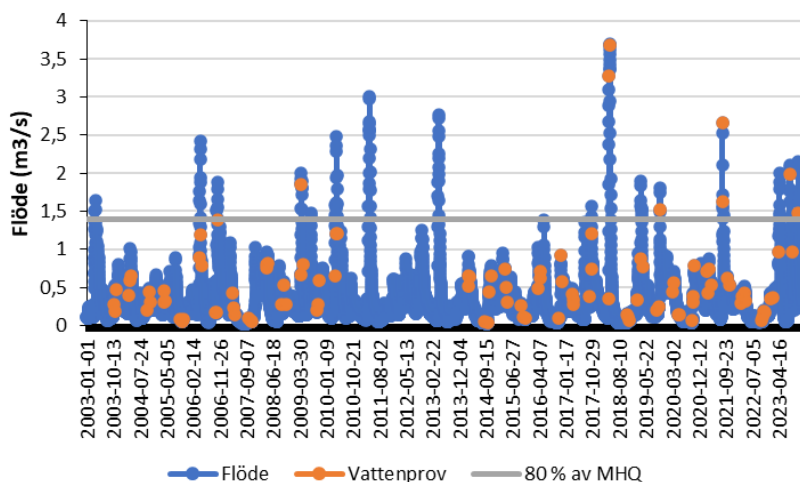
I många kalkade vattendrag var provtagningen bristfällig före 2003, eftersom fokus låg på sjöarna och därför provtogs inte vattendragen. I några kommuner och vattendrag var provtagningen bättre, men inte på nuvarande nivå.

För att bedöma i vilken grad kritiska situationer provtagits relateras varje provtagningstillfälle till flödet för respektive vattendrag. För ändamålet nyttjas dygnsflöden som SMHI modellerat med HYPE-modellen. Dessa finns tillgängliga på SMHI:s vattenwebb för 37 000 avrinningsområden. Generellt förväntas att förutsättningen för måluppfyllelse minska med ökande flöde. För enskilda vattendrag kan detta förhållande påverkas ifall det finns sjöar som dämpar flödesförändringarna. I sådana fall behöver även tillfällena med låg andel sjövattnet i provpunkten beaktas. Ifall pH-okalk varierar mellan vår och höst behöver även det beaktas. I Gävleborg innebär det att det inte räcker med att provta höga flöden på våren för att säkerställa att kalkningen fungerar.

Mosjöån får illustrera i vilken grad kritiska tillfällen förekommit och provtagits 2003–2023 (figur 21). I figuren markerar 80 % av MHQ den nivå som framhålls som kritisk av Havs- och vattenmyndigheten (Havs- och vattenmyndigheten, 2022). Under 2003–2008 insamlades få högflödesprover, men i oktober 2006 togs ett prov när flödet tangerade 80 % av MHQ. På 2010-talet provtogs flera höga flöden under våren, men inte på hösten. Den 3 maj 2018 togs prov när flödet uppgick till mer



än dubbla MHQ. Höstarna 2019, 2021 och 2023 uppträdde betydande högflöden, varav flera även provtogs.



Figur 21. Vattenflöde ( $m^3/s$ ) vid provtagning 2003–2023 (2010–13 saknas) i Mosjöån. Grå linje markerar 80 % av MHQ.

## 1.6 Gruppindelning av inventerade flodpärlmusslelokaler och åldersberäkningar

De inventerade flodpärlmusslelokalerna har delats i tre grupper; kalkpåverkade, kalkpåverkade avslut (AV) och okalkade. De avslutade har kalkats med relativt höga doser under 1980- och 1990-tal och sedan har kalkningen avslutats innan år 2005.

Lokaler som saknar musslor under alla inventeringar ingår inte i analyserna. För varje årtionde har även de lokaler som inte inventerats och de som "blivit" tomma tagits bort.

I analyserna ingår under 1990-talet 46 okalkade, 47 kalkpåverkade och noll i kalkavslutsgruppen. För 2000-talet var 43 okalkade, 53 kalkpåverkade samt tre i kalkavslut. För 2010-talet ingår 35 okalkade, 31 kalkpåverkade samt 18 kalkavslut.

Både den kalkpåverkade- och kalkavslutsgruppen är heterogen. De kalkpåverkade innehåller både lokaler som kalkats årligen till andra som kalkats oregelbundet från 1983 fram till dags dato. De kalkavslutade innehåller både vattendrag som är tydligt försurade till de som troligen inte är försurningspåverkade.

För att beräkna ålder utifrån musselstorlek har data från Söderberg (2008) använts (tabell 1). Längden är indelad i intervall, vilket motsvarar en skattad ålder. De kalkpåverkade verkar ha en något snabbare tillväxt och därför har 2 år lagts till på tillväxtkurvan. Efter denna justering

visade många kalkade lokaler samma föryngringsår +/- två år som kalkstart. Detta längd/ålder förhållande har använts för samtliga åldersberäkningar i rapporten.

**Tabell 1. Skallängd (mm) kontra ålder, data från Söderberg (2008) samt skattad förhållande mellan skallängd och ålder i kalkpåverkade vatten.**

Längd (mm)	Ålder, okalk	Ålder, kalkpåverkad
0-19	8	6
20-29	13	11
30-39	15	13
40-49	18	16
50-59	22	20
60-69	26	24
70-79	29	27
80-89	35	33
90-99	50	48
101-109	60	58

## 1.7 Försvunna musselpopulationer

Flera vattendrag förlorade hela eller stora delar av musselpopulationen mellan inventeringarna på 2000- och 2010-talet. Det är inte fastställt vad som drabbade musslorna och orsakerna kan vara flera. I de kalkavslutade vattendragen; Grossjöbäcken, Stuttjärnsån, Tygstabodån och Norralaån-Trönöån påträffades inga flodpärlmusslor under inventeringen på 2010-talet trots att det fanns musslor föregående årtionde. Finnbergsån har kalkats relativt kontinuerligt, men också detta vattendrag var utan musslor.

Enligt inventeringen i Finnbergsån verkade området ha blivit dämt, kanske av en bäverdamm, vilket kan förklara varför musslorna dött. Vid en kompletterade inventering 2018–2019 hittades levande musslor på andra lokaler i Finnbergsån, Grossjöbäcken och Norrala-Trönöån (även om många var döda även där). Dessa resultat ingår inte i analyserna.

Flodpärlmusslan försvann även i de okalkade vattendragen Lövåsbäcken, Mjusbäcken och Lillån (Wengström, 2019). I Lövåsbäcken hittades en levande mussla vid en kompletterande inventering.

## 2. Resultat

### 2.1 Förekomst av glochidielarver på öringgälar

Under våren 2006 och 2015 gjordes elfisken för att undersöka förekomst av glochidielarver på öring. Våren 2006 elfiskades totalt 17 lokaler varav 15 kalkpåverkade vattendrag (tabell 2). Ingen kalkning hade bedrivits året innan i de vattendragen elfisket där utfördes, endast i Timsån förekom kalkpåverkan 2006 (vilken påverkas av kalkning i Dalarnas län). Öring fångades på åtta lokaler varav glochidier konstaterades på två (Blecksjöån och Gopån), vilka båda var kalkpåverkade. Dessa elfisken utfördes inte på etablerade elfiskelokaler utan på nya sträckor i närheten av lokalen där musselinventeringarna utförs. Detta kan förklara de svaga fångstresultaten, vilka heller inte återfinns i SERS.

**Tabell 2. Förekomst av glochidier på öring vid elfiske våren 2006. De märkta med \* är okalkade.**

Vattendrag	Antal öringar	Öringar		Kalkdos 2005 (g/m <sup>3</sup> )	pH-okalk	Senast kalkad
		med glochidier (%)				
Blecksjöån	1	100%		0	4,7	2003
Bäckmorån	0	-		0		2000
Dånbacken 1	0	-		0	5,1	2001
Dånbacken 2	0	-		0	5,1	2001
Flugån (uppstr. Skidtj.)*	0	-				
Gopån	7	71%		0	4,6	2003
Grannäsån	9	0%		0	4,7	2004
Grossjöbacken	1	0%		0	5,5	2003
Gällsån	0	-		0	4,8	2003
Häsboån1	4	0%		0	4,6	2003
Häsboån2	26	0%		0	4,6	2003
Kölsjöån	2	0%		0	5,4	2004
Laxbacken	6	0%		0	4,7	2004
Mackskalasjöbacken	0	-				
Rötjärnsbacken	0	-		0	4,7	2003
Timsån	0	-		5	5,7	2005
Ålakarsbacken*	0	-				

Våren 2015 påträffades glochidier på 12 av 16 lokaler (tabell 3). Fem av lokalerna elfiskades även 2006; Blecksjöån, Gopån, Dånbacken, Grannäsån och Laxbacken. Vid samtliga påträffades glochidier 2015, medan glochidier endast konstaterades i de två förstnämnda 2006.

Inga okalkade vattendrag elfiskades 2015 så det går inte att jämföra andelen infekterade öringar mellan kalkpåverkade och okalkade vattendrag.

**Tabell 3. Förekomst av glochidier på öring vid elfiske våren 2015. Samtliga vattendrag är kalkpåverkade. Senast kalkad är år innan 2015. AV = är kalkavslutade innan 2005. (MD=musseldöd).**

Vattendrag	Öringar		Kalkdos 2014 (g/m <sup>3</sup> )	pH- okalk	Senast kalkad	Kom- ment- ar
	Antal öringa r	med glochidier %				
Blecksjöån	16	13%	12	4,7	2014	
Dalån	1	0%	1	5,5	2009	MD
Dånbacken	7	14%	2	5,1	2014	
Enångersån	10	0%	2	5,1	2014	MD
Finnbergsån	20	0%	6	4,7	2014	MD
Gopån	7	29%	9	4,6	2014	
Grannäsån	9	22%	7	5,1	2014	
Grottsjöbäcken	34	18%	11	4,5	2014	
Kölsjöån	0	0%	1	5,3	2014	
Laxbäcken	4	50%	4	4,7	2014	
Mosjöån	7	14%	13	4,5	2014	
Mörtsjöbäcken	7	14%	14	4,7	2014	
Stugsjöbäcken	17	35%	3	5,1	2014	
Stuttjärnsbäcken (AV)	5	0%	0	5,5	2003	MD
Tansbäcken	22	41%	10	4,9	2014	
Trönöån (AV)	34	3%	0	5,5	2003	MD
Tönsån	5	20%	2	5,5	2014	

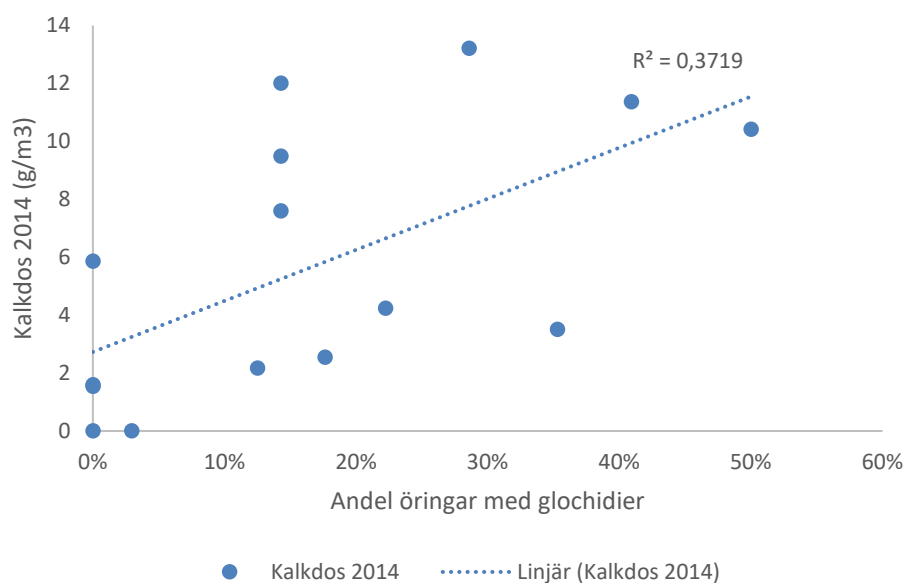
I två av de kalkade vattendragen där glochidier konstaterades 2015 uppmättes pH-värden lägre än 6,0 under perioden från hösten 2014 till våren 2015. Som lägst noterades 5,5 i Gopån. Det värdet kan vara missvisande lågt eftersom vattenkemilokalen ligger nedströms flodpärlmusslelokalen och påverkas av ett mycket surt biflöde. Den vattenkemiska provtagningen var förhållandevis bristfällig under den aktuella tidsperioden, men eftersom det inte förekom några betydande högflöden är det likväl inte troligt att några kraftiga surstötter missades.

Kalkdoserna var betydligt högre i flertalet vattendrag 2015 jämfört med 2006, då i princip ingen kalkning genomfördes. I vilken grad förbättringen till 2015 berodde på utökad kalkning är emellertid omöjligt att fastställa. Noterbart är att de tre vattendragen, Laxbäcken, Tansbäcken och Stugsjöbäcken, med högst andel infekterade öringar har

kalkats i princip kontinuerligt under 2000-talet och 2010-talet.

Innan 2015 drabbades några av de undersökta vattendragen av antingen musseldöden eller att musslorna försvann av andra orsaker. I Stuttjärsbäcken, Dalån, Enångersån och Finnbergsån påträffas inga glochidier, samtliga kalkavslutade eller kalkas med en påtagligt för låg dos i förhållande till lägsta pH-okalk. I Grottsjöbäcken (otillräcklig kalkning) och Trönöån (svagt kalkpåverkade från en uppströmsliggande våtmarkskalkning) påträffades glochidier trots att vattendragen tidigare drabbats av musseldöden.

Det verkar finnas ett svagt samband mellan kalkdos och andel öringar med glochidier (figur 22). Det ska beaktas att en hög kalkdos betyder att området är betydligt försurat, eftersom det krävs mer kalk för att nå pH-målet vid ett lägre pH-okalk. Trots detta förväntade negativa samband påträffades fler öringar med glochidier i dessa vatten.



Figur 22. Kalkdos ( $\text{g/m}^3$ ) 2014 jämfört andel öringar med glochidier.



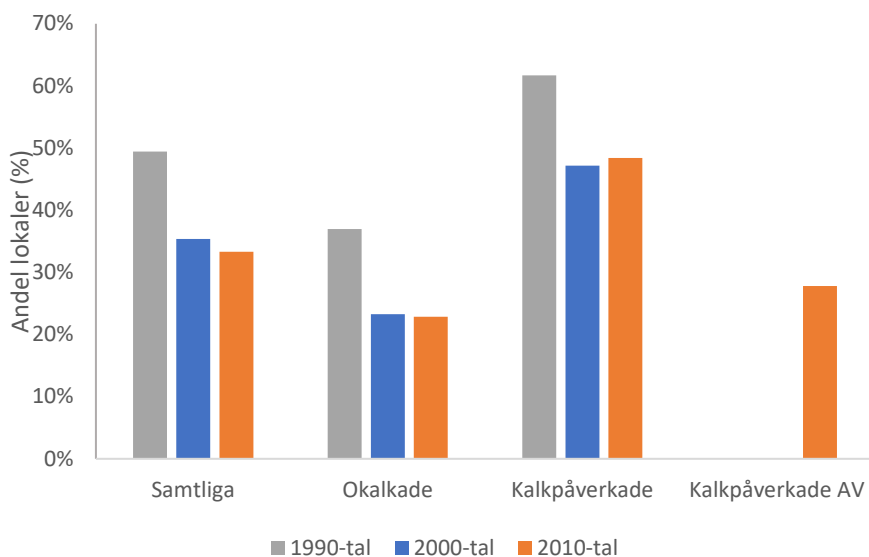
Figur 23. Bild på liten flodpärlmussla i Mörtsjöbäcken 2015.

## 2.2 Föryngring och minsta funna flodpärlmussla

Under 1990-talet inventerades 114 lokaler (en lokal per vattendrag) och på 93 påträffades flodpärlmussla. Föryngring (musslor mindre än 50 mm) konstaterades på 46 lokaler (49 %), (figur 24). I gruppen okalkade registrerades föryngring på 37 %. Bland de kalkpåverkade 47 lokalerna registrerades föryngring på 29 (62 %). Lokaler som varit tomma ingår inte i analyserna för något årtionde och de lokaler som "blivit" tomma har uteslutits från det årtionde inga musslor påträffats.

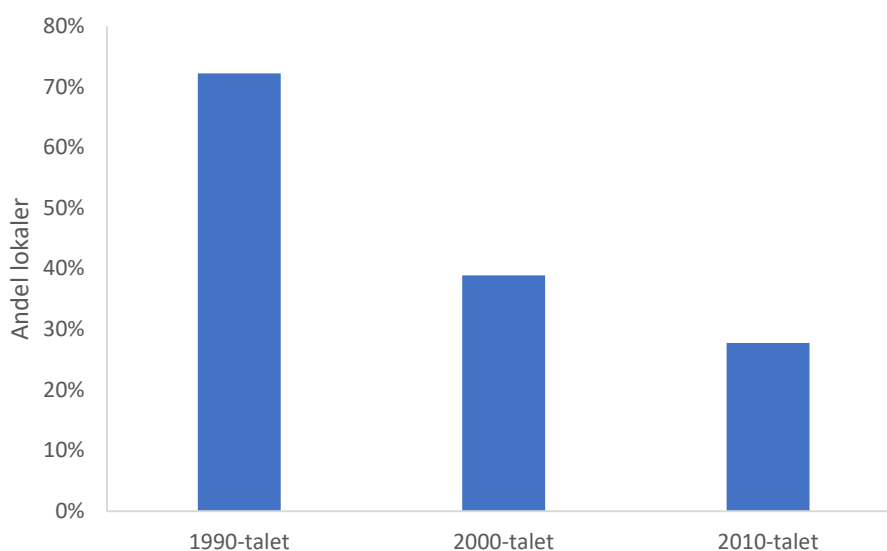
Under 2000-talet inventerades 110 lokaler varav åtta nya (samtliga okalkade) som inte inventerats på 1990-talet. Det påträffades musslor på 99 lokaler och föryngring registrerades på 45 lokaler (45 %). I de 43 okalkade vattendragen registrerades föryngring på 10 lokaler (23 %). Bland de kalkpåverkade 56 lokalerna påträffades föryngring i 25 (47 %). Två av de kalkpåverkade lokalerna hade avslutad kalkning och båda saknade föryngring.

Under 2010-talet undersöktes totalt 108 lokaler, varav 84 hyste musslor och det återfanns föryngring fanns på 28 lokaler (33 %). I de 35 okalkade vattendragen registrerades föryngring på 8 lokaler (23 %). Hos de totalt 49 kalkpåverkade lokaler hade kalkningen avslutats i 18 vattendrag och i de resterande 31 fanns föryngring hos 15 (48 %). I de avslutade fanns föryngring i fem lokaler (28 %).



Figur 24. Andel lokaler med konstaterad föryngring (musslor mindre än 50mm) på 1990, 2000 och 2010-talet fördelat på okalkade, kalkpåverkade samt tidigare kalkpåverkade men kalkavslutade (AV) lokaler.

En jämförelse över tid i de 18 lokalerna där kalkningen avslutades innan år 2005 visade att föryngringsandelen sjunkit markant sedan 1990-talet då den låg på 72 %, till 28 % på 2010-talet (figur 25).



Figur 25. Andel lokaler med konstaterad föryngring under 1990–2010-talet hos de 18 lokaler där kalkningen avslutades innan 2005.

Den genomsnittliga inventerade ytan för samtliga lokaler har i medeltal minskat från 127 kvadratmeter på 1990-talet till 100 kvadratmeter på

2000-talet och 80 kvadratmeter på 2010-talet. Lokaler där ingen föryngring har påträffats, har större yta i medeltal (m<sup>2</sup>) inventerats jämfört de där föryngring påträffats (tabell 4). Skillnaderna beträffande föryngring och tätheter beror huvudsakligen på "outliers", till exempel kalkpåverkade Rännsjöbäcken som hade 490 musslor/ m<sup>2</sup> under 2010-talet.

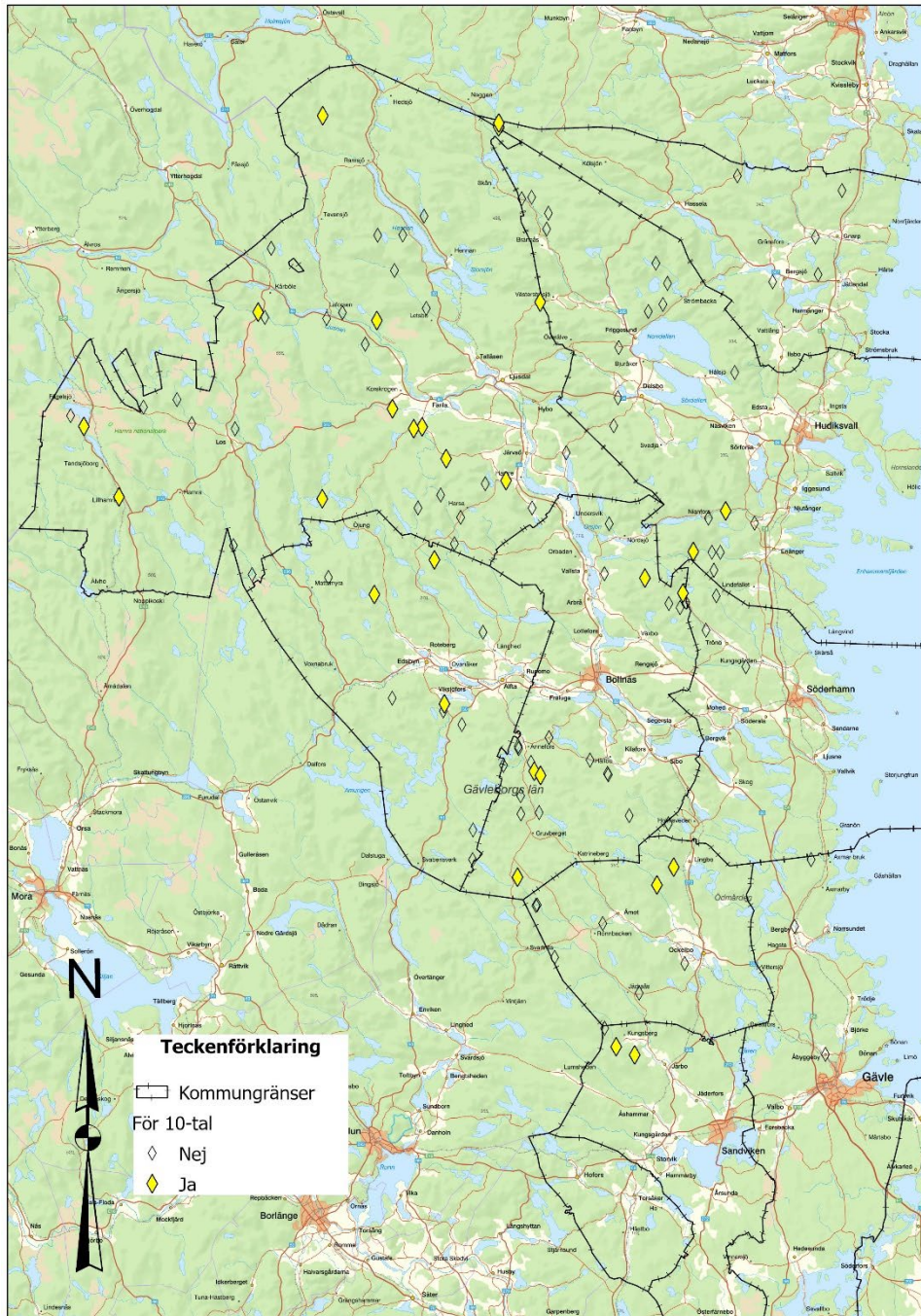
**Tabell 4. Föryngring; "Ja" eller "Nej" i förhållande till inventerad yta (m<sup>2</sup>) och individtäthet (antal/m<sup>2</sup>) under samtliga inventeringar under 1990,2000 och 2010-talet.**

	Föryngring: Ja vs yta (m <sup>2</sup> )	Föryngring: Nej vs yta (m <sup>2</sup> )	Föryngring: Nej vs täthet (ant/m <sup>2</sup> )	Föryngring: Ja vs täthet (ant/m <sup>2</sup> )
1990-tal	63,6	178,1	11,3	4,5
2000-tal	85,7	107,9	21,9	9,7
2010-tal	80,6	84,4	4,5	5,5

Under inventeringen på 2010-talet påträffades föryngring över hela länet (figur 26). I södra och östra delarna av länet förekom det endast föryngring i kalkpåverkade mussellokaler (figur 27). I norra och västra delen av länet förekom även föryngring i okalkade och kalkavslutade vattendrag.

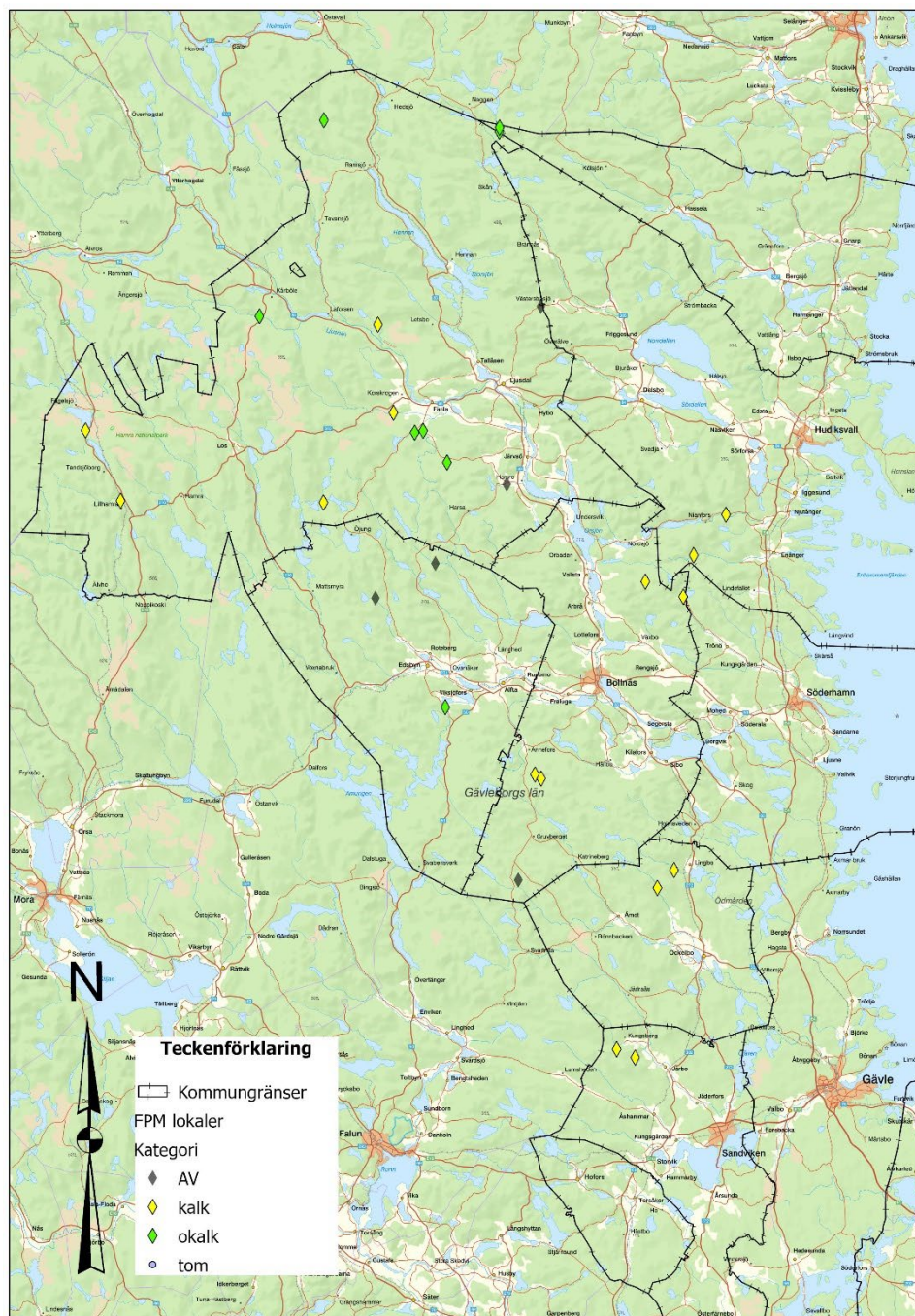


## Flodpärlmussla, kalkning och försurning i Gävleborgs län



Figur 26. Samtliga inventerade flodpärlmusslelokaler med förnygring (Ja) och utan förnygring (Nej) under 2010-talets inventering.

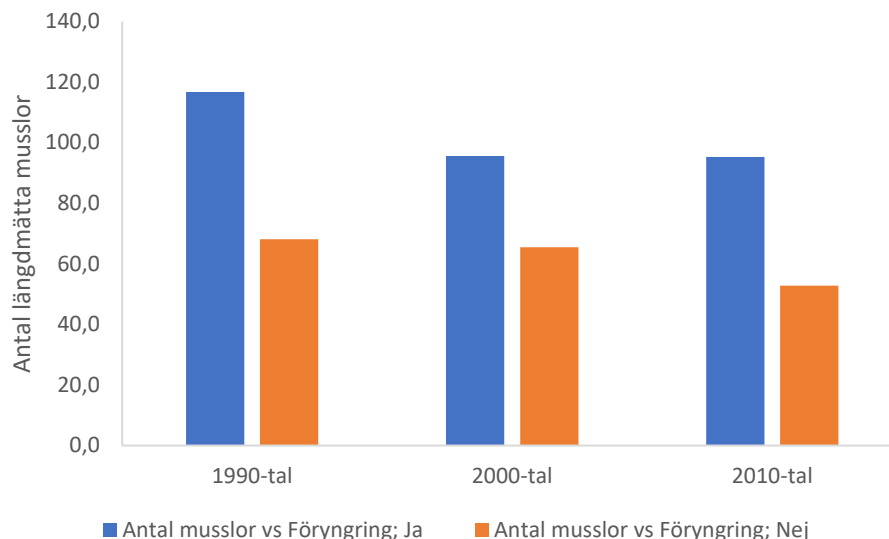




Figur 27. Flodpärlmusslelokaler med förnygring i Gävleborgs län under 2010-talets inventering fördelat på kategorierna: kalkpåverkat avslut (AV), kalkpåverkade (kalk), okalkade (okalk) samt tomma lokaler (tom).

Det verkar vara större sannolikhet att påträffa små musslor om man mäter fler musslor vid inventeringen (figur 28). Inventeringsmetoden som använts påbjuder att cirka 100 musslor ska mätas. Det lägre antalet musslor för lokalerna utan förnygring betyder att det är glesa bestånd eftersom den inventerade ytan samtidigt är större. Sammantaget

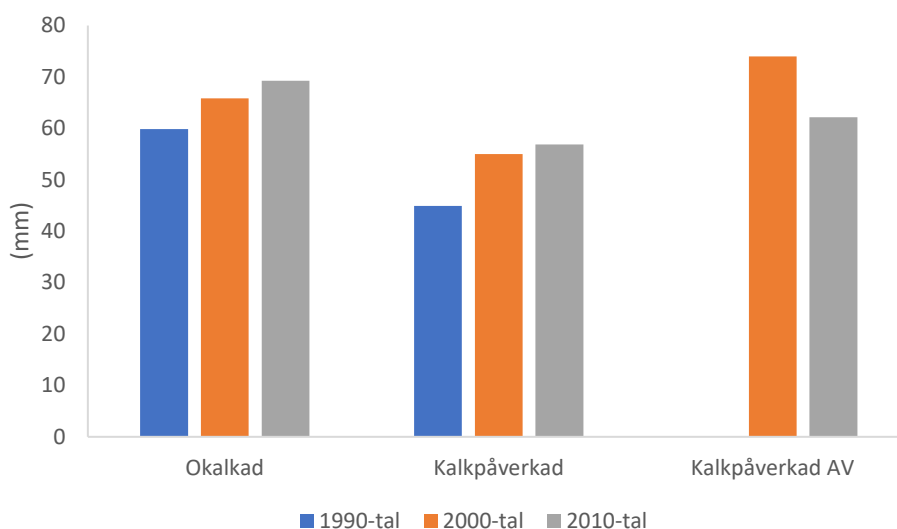
antyder detta att bestånden som inte förökar sig också är glesa bestånd.



Figur 28. Antal mätta musslor vid respektive årtionde jämfört med föryngring eller icke föryngring.

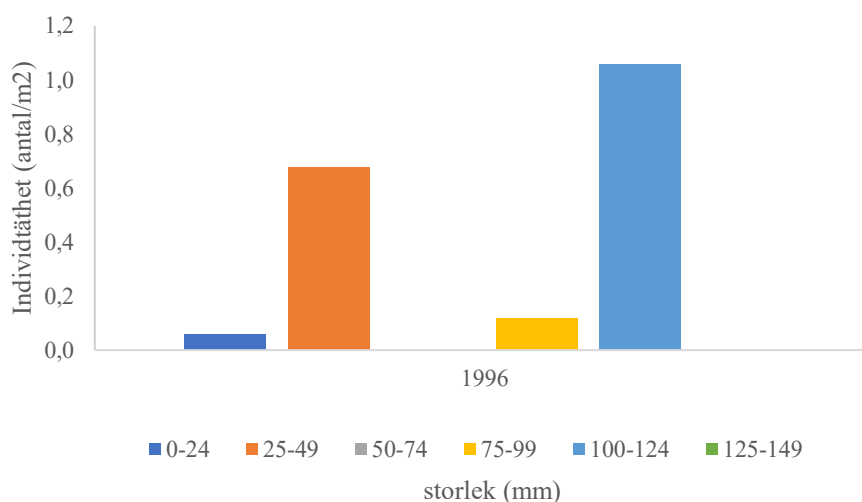
Generellt sett är föryngringen väldigt sparsam där den förekommer, oftast är det bara ett par stycken musslor under 50 mm. Detta gäller både okalkade och kalkpåverkade vatten. Endast ett fåtal vattendrag har betydande föryngring (medelstorlek för samtliga mätta musslor under 70 mm under 2010-talet): Skyttån (kalkpåverkad) Lomsjöån (okalk), Källsjöbacken (kalkpåverkad), Laxbacken (kalkpåverkad). På 1990-talet hade sex vattendrag medelstorlek under 70mm och tre av dessa var kalkpåverkade.

Minsta funna mussla indikerar när beståndet senast förökade sig. I okalkade vattendrag var medelstorleken (60mm) för minsta mussla för 1990 talet för att sedan öka till 66 mm (2000-talet) och 69 mm (2010-talet) (figur 29). Även för de kalkpåverkade var trenden ökande, från 45 mm (1990-talet) 55 mm (2000-talet) och 57 mm (2010-talet). Gruppen där kalkningen avslutats (kalkpåverkad AV) hade en medelstorlek på 62 mm på 2010-talet (på 2000-talet var det bara tre lokaler i den gruppen).



Figur 29. Minsta funna flodpärlmussla under 1990, 2000 och 2010-tal i okalkade, kalkpåverkade samt avslutade (kalkpåverkade AV).

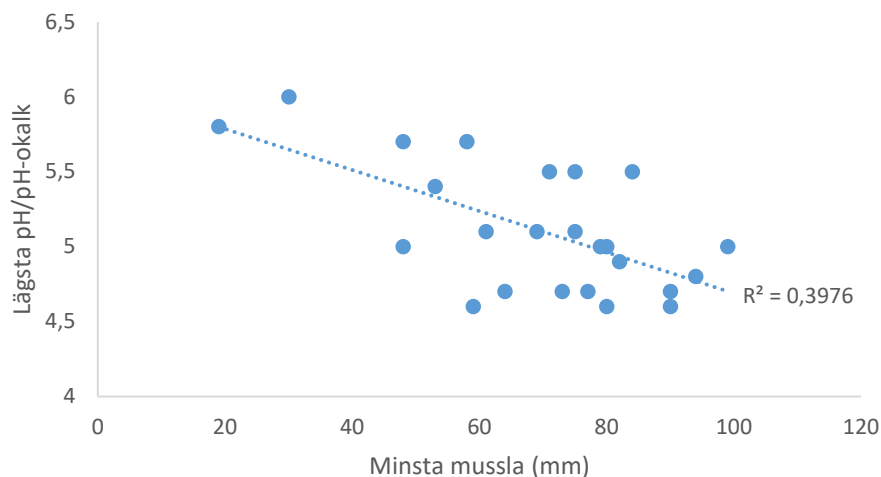
Bland de vatten där kalkningen påbörjades på 1980-talet och där föryngringen kommit igång vid 1990-talets inventering förekom ofta få musslor i storleksklassen 50–99 mm, exempelvis Mörtsjöbäcken (figur 30). Det tyder på föryngringen fungerade mycket dåligt innan kalkningen påbörjades och att den sedan kom i gång efter kalkstart. Hos de okalkade lokalerna i södra delen av länet finns inga tecken på tydliga årskullar av yngre musslor som de som syns i en del kalkpåverkade lokaler.



Figur 30. Storleksfördelning hos längdmätta flodpärlmusslor i Mörtsjöbäcken på 1990-talet (1996).

För att undersöka hur försurningsgraden korrelerar med när föryngringen slutade i länets flodpärlmusslebestånd användes minsta funna flodpärlmussla. Jämförelsen gjordes både med minsta mussla från okalkade vatten och lokaler där kalkningen inte startat reproduktionen vid inventeringen på 1990-talet. Detta för att få en uppfattning om situationen innan kalkningen påbörjades. Minsta mussla jämfördes sedan med lägsta pH/pH-okalk (2003–2024).

Det verkar finnas en korrelation mellan lägsta pH/pH-okalk och storleken på minsta mätta mussla. Det vill säga desto mer försurat ett vatten är desto större är de längdmätta musslorna (figur 31). Det ska framhållas att det är osäkert att skatta de äldre musslornas ålder då tillväxten planar ut vid högre ålder (över 90 mm). Resultaten kan tolkas som att föryngringen slutade tidigare i kraftigt försurade vatten. De bestånd som hade minsta mussla på över 100 mm hade en sista föryngring före 1950. Sambandet kan även förklaras med att de största musslorna är tåligast mot surstötter och överlever surstötarna bäst. Oavsett orsak är det rimligt att de allra jonsvagaste vattendragen i länet påverkades först och kraftigast av det sura nedfallet och att de uppvisar de numerärt minsta och äldsta bestånden om de inte kalkas. Detta eftersom de är för sura för att förvänta sig en naturlig föryngring.



Figur 31. Minsta mussla (mm) funnen vid inventeringen på 1990-talet i okalkade eller där kalkningen inte gett föryngring, i förhållande till lägsta pH/pH-okalk (2003–2024)

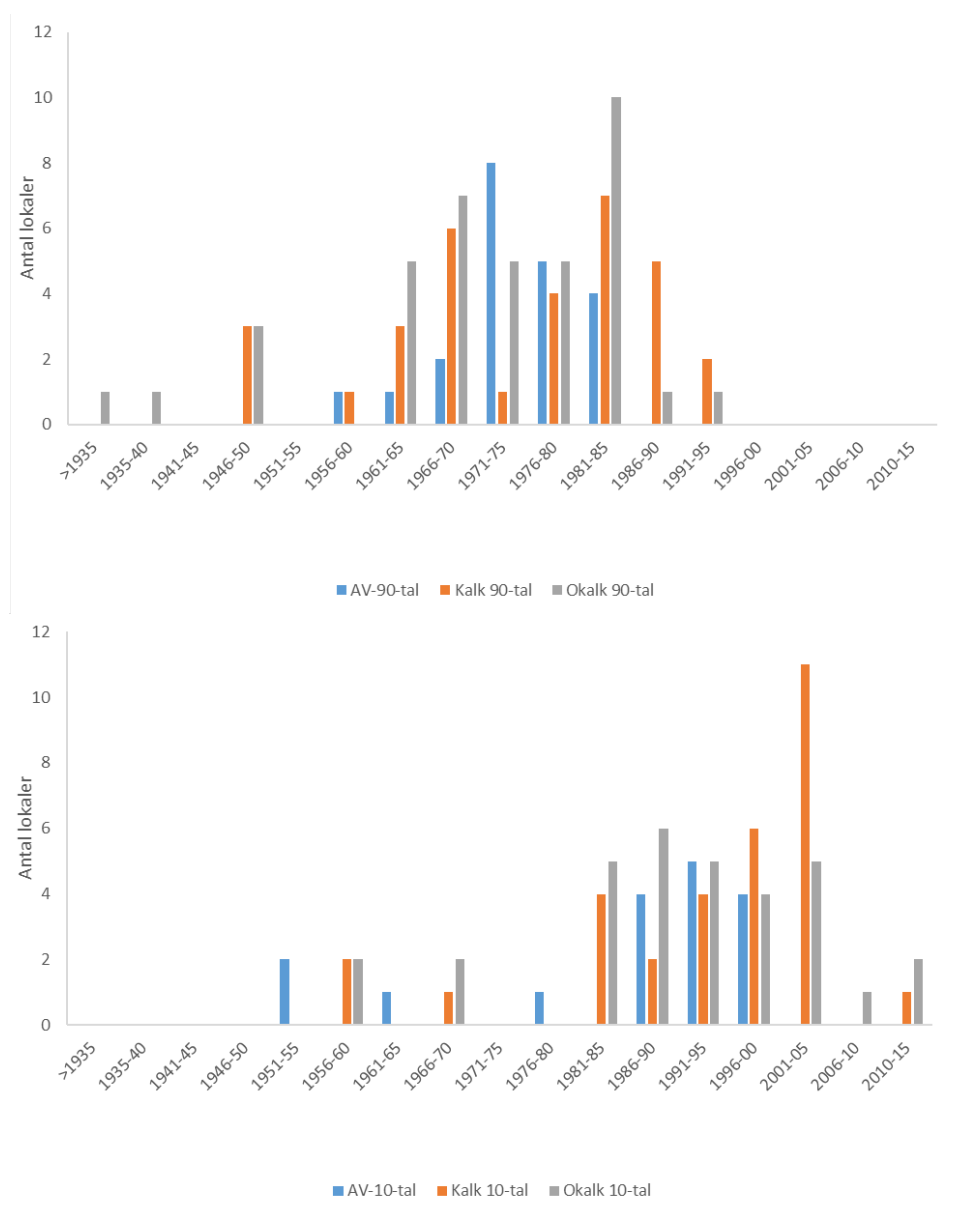
En beräkning av tidpunkten för sista föryngring baserat på minsta mätta mussla vid inventeringen på 1990-talet i kalkpåverkade lokaler som började kalkas mellan 1983–87 genomfördes. Föryngringsgränsen sattes till 1982 för att åldersskattningarna utifrån längddata är ungefärlig. När man tolkar åldersdata (utifrån minsta mussla) är det viktigt att beakta att det är svårt att hitta mindre musslor än 50mm. Detta resulterar i att minsta musslan ofta verkar vara född cirka 20 år innan inventeringen.

Allt som avviker från denna "normalfördelning" tyder på antingen god föryngring eller utebliven föryngring.

Resultatet visade att 47 % av de kalkpåverkade lokalerna (av totalt 39) hade föryngring mellan 1982–90 jämfört med de okalkade där 23 % hade föryngring (totalt 40 lokaler) under samma tidsperiod. Samma jämförelse baserad på data från 2000-talets inventeringar jämfört med föryngring under perioden 1982–2001 visar att de kalkpåverkade (kalkstartsår 1983–92) hade en föryngring på 72 % (totalt 50 lokaler) medan de okalkade låg på 50 % (totalt 40 lokaler). Detta tyder på att kalkningen kan kopplas i tid till en period med högre föryngring bland de kalkpåverkade lokalerna.

Åldersskattningarna baserat minsta mätta mussla från 1990- och 2010-talets inventering visar att det förekom föryngring relativt jämt spriden över tid för både okalkade och kalkpåverkade (Figur 32, se tabell 1 för beräkningsunderlag). Tomma eller icke inventerade lokaler har utgått, därför är underlaget något mindre för 2010-talet. Noterbart är att en svag föryngring har pågått under hela tidsperioden för de flesta vattendrag. Denna föryngring är dock mycket liten och medelstorleken ökar över tid i de flesta lokaler. De kalkpåverkade verkade ha en svacka i föryngringen i början av 1970-talet enligt 1990-talets inventering. Bland de okalkade förekom föryngring i början av 1980-talet i många lokaler.

Enligt inventeringen på 2010-talet så hade den kalkavslutade gruppen inte haft någon föryngring efter år 2000, vilket sammanfaller väl med kalkavslutet i denna grupp. De kalkpåverkade hade många lokaler med föryngring i början av 2000-talet. De okalkade har en haft relativt jämn föryngring under både 1980- och 1990-talet.



Figur 32. Antal lokaler med estimerad födelseperiod utifrån minsta mätta flodpärlmussla från inventeringen på 1990-talet (övre) och 2010-talet (nedre). AV= kalkavslutade lokaler, Kalk =kalkpåverkade samt okalkade lokaler

För att undersöka om det fanns en geografisk skillnad i när sista föryngring förekom delades lokalerna upp beroende på geografiskt läge i två grupper. Den södra gruppen (söder om Bollnäs) och den norra gruppen (norr om Bollnäs). I sammanställningen ingår de okalkade lokaler och kalkpåverkade som inte hade föryngring efter 1982 (för att utesluta kalkpåverkan). Detta betyder att kalkpåverkade lokaler (5 stycken i södra gruppen och 4 i norra gruppen) med föryngring mellan 1982–1990, baserat på inventeringen på 1990-talet utgår. Sedan redovisas utvecklingen för samma lokaler på 2010-talet. De kalkpåverkade och

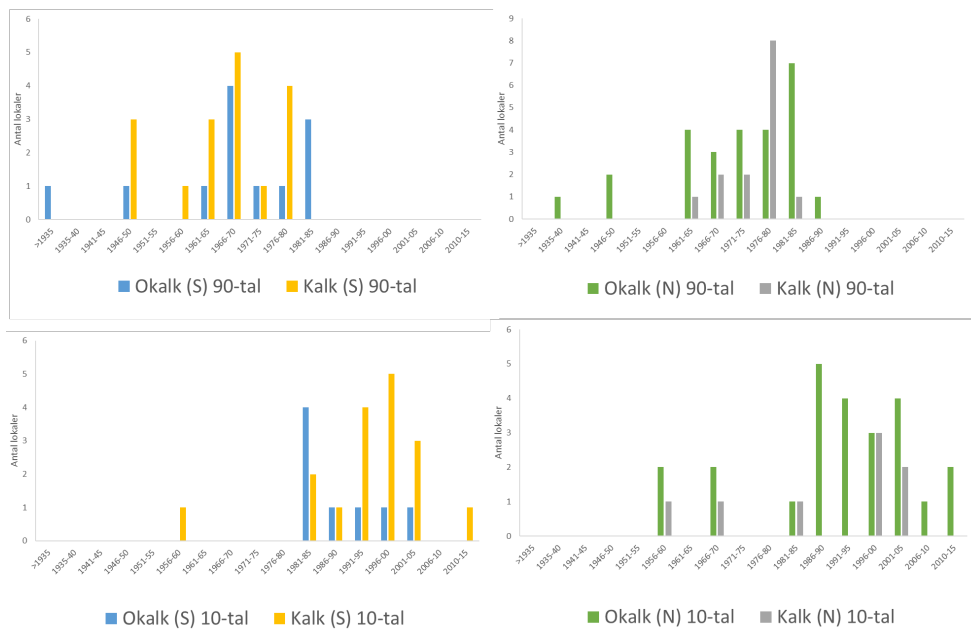


kalkavslutade är placerade i samma grupp, då underlaget är relativt litet.

Baserat på inventeringen på 1990-talet för den södra gruppen ses att både kalkpåverkade och okalkade lokaler hade sista föryngringen före 1985 (figur 33). Det verkar också som att majoriteten av lokalerna hade sin sista föryngring redan före 1970. För södra gruppen på 2010-talet ses att de okalkade har haft mycket lite föryngring efter 1985 medan bland de kalkpåverkade återfanns mer föryngring.

Den norra gruppen hade precis som den södra gruppen en "föryngringstopp" mellan 1975–1985 baserat på inventeringen på 1990-talet. För de okalkade ser man under 2010-talets inventering att föryngringen har fortsatt. De kalkpåverkade i denna grupp är få och flera har drabbats av musseldöden så dataunderlaget är litet.

Medelårtalet för sista föryngring i södra gruppen är runt 1970, medan norra länshalvan ligger närmare 1980. Baserat på inventeringen under 1990-talet.



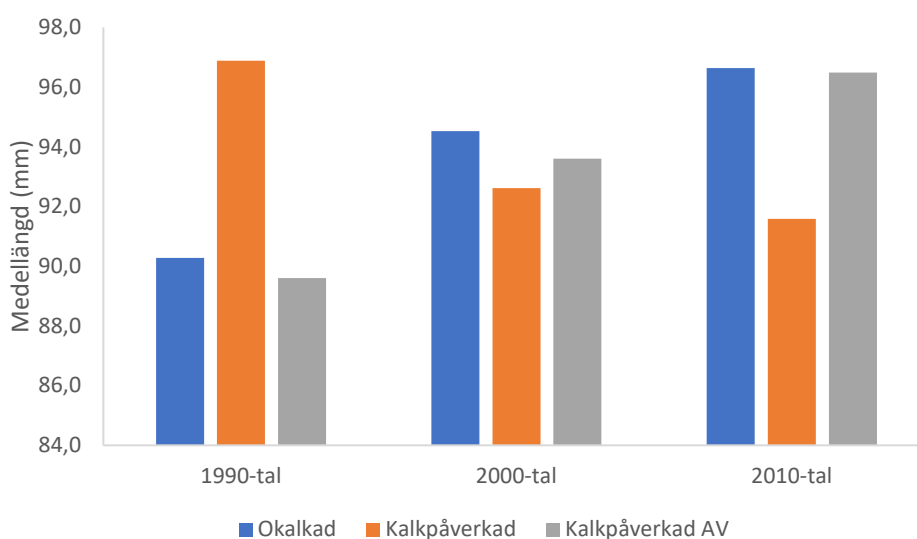
Figur 33. Antal lokaler med estimerad födelseperiod (>1935–2015) utifrån minsta mätta flodpärlmussla från inventeringen på 1990-talet (övre) och 2010-talet (nedre). Uppdelat i södra gruppen (S) (söder om Bollnäs) och norra gruppen (N) (norr om Bollnäs). Kalk =kalkpåverkade samt okalkade lokaler

För kalkpåverkade vatten var medelstorleken på minsta funna mussla 45 mm (1990-talet) och ökade till 57 mm på 2010-talet. De okalkade började på 60mm under 1990-talet och ökade till 69 mm på 2010-talet. Resultaten antyder att föryngring skett senare i kalkade vattnen. Storleksökningen i kalkade vatten kan vara en effekt av att många lokaler har kalkats med en alltför liten kalkdos i förhållande till



försurningspåverkan så att en föryngring inte möjliggjorts.

Medelstorleken för samtliga längdmätta musslor per lokal är ökande sedan 1990-talet för de okalkade och kalkpåverkade avslut (figur 34). Medan de kalkpåverkade minskar i medelstorlek. Lokaler med föryngring på 2010-talet (både okalkade och kalkpåverkade) har lägre och konstant medelstorlek (runt 85 mm) för de tre decennierna som inventerats. Lokaler utan föryngring har en ökande trend från 95 mm på 1990-talet till 102 mm på 2010-talet. Många lokaler har en ökande medelstorlek över tid, vilket innebär att beståndet blir äldre och äldre och den lilla föryngring som eventuellt sker är för liten för att föryngra beståndet.

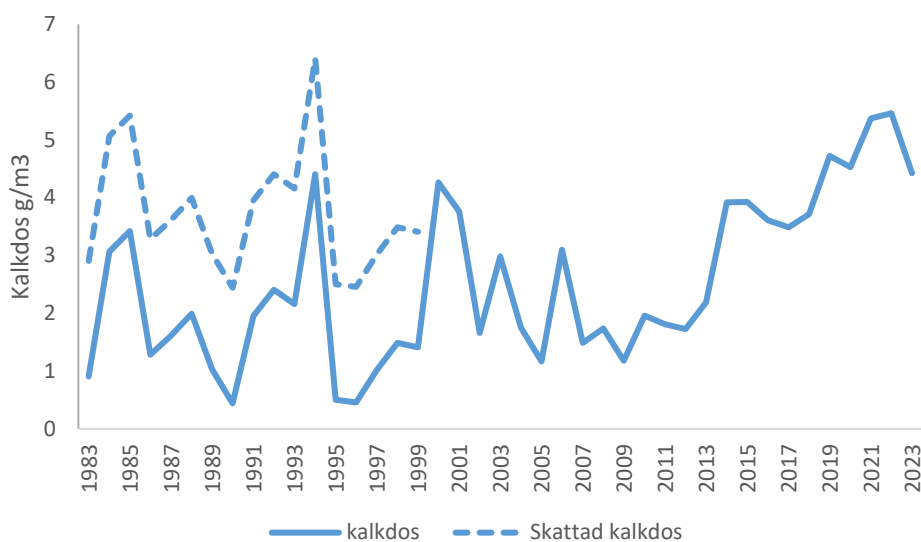


Figur 34. Medelstorlek (mm) av samtliga mäta flodpärlmusslor för okalkade respektive kalkpåverkade samt kalkavslutade lokaler under 1990, 2000 och 2010-tal.

De flesta kalkpåverkade populationerna har sänkt sin medelålder något, mest extrem är Laxbäcken som gick från en genomsnittsålder på 60 år (1990-tal) till runt 25 år (födelseperiod runt 1992 beräknad på 2010-talets inventering). Alla kalkpåverkade lokaler har dock inte sänkt sin medelålder. Tre av de kalkpåverkade lokalerna som hade föryngring före 1950 vid första inventeringen, inventerades inte på 2010-talet (så här vi vet inte utfallet). Att flera lokaler har haft sin senaste föryngring redan i början av 1900-talet tyder sannolikt på att andra orsaker än försurning står att finna till den gamla populationen. Gissningsvis är dammbyggen, dikning och flottledsrensning de mest troliga orsakerna till detta fenomen. Dessa påverkansfaktorer gör vattendragen mer försurade och sämre habitat för flodpärlmusslan.

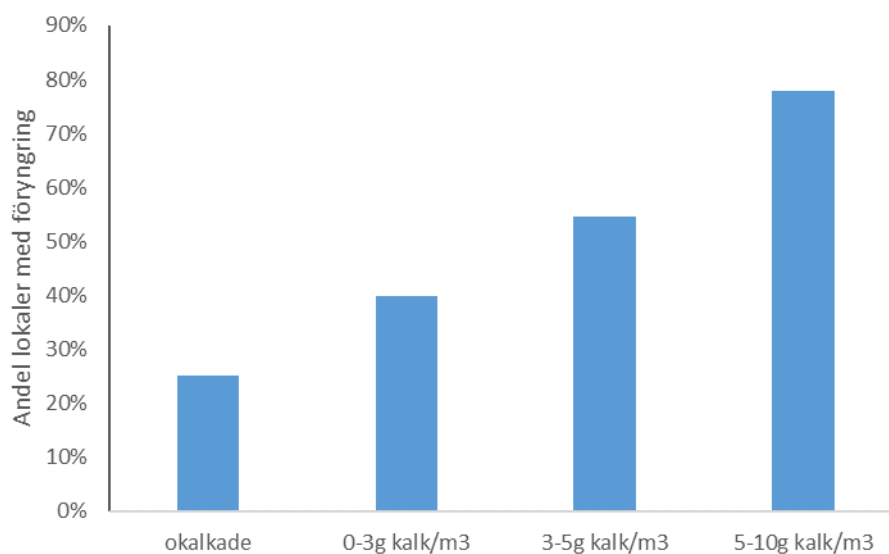
Kalkdosen för de kalkpåverkade lokalerna är svår att beräkna exakt då en

del uppgifter om spridda kalkmängder saknas för åren 1983–2000. Vad som är säkert är att kalkdoserna under 2000-talet var betydligt lägre än tidigare och senare årtionden (figur 35).



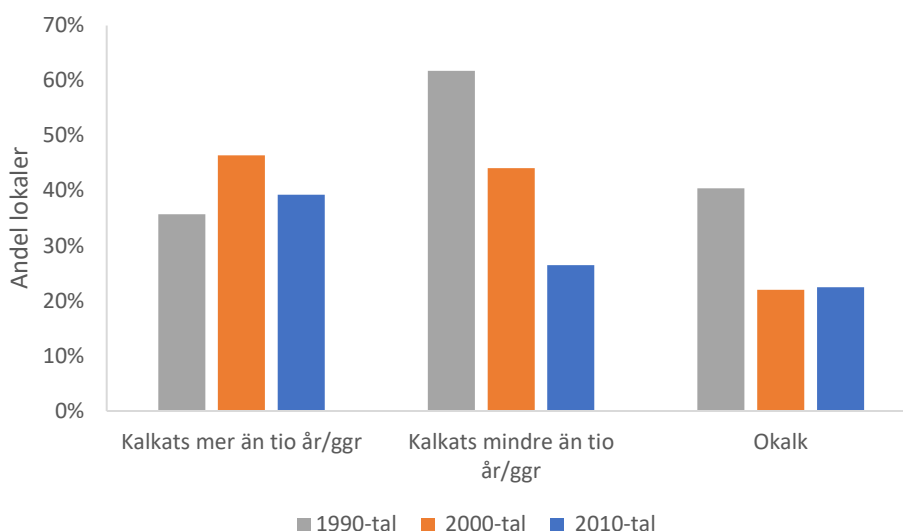
Figur 35. Genomsnittlig kalkdos (g/m<sup>3</sup>) för flodpärlmusslelokaler 1983–2023. Under 1980 och 1990 talet var dosen betydligt högre än den redovisade och därför har en skattad kalkdos infogats.

Ökade kalkdoser ökar andelen vattendrag med föryngring (figur 36). Analysen avser kopplingen mellan kalkdos och förekomst av föryngring påföljande årtionde, oavsett årtionde. För de okalkade vattendragen noterades föryngring i genomsnitt på 25 % av lokalerna för hela tidsperioden (1990-talet till 2010-talet). I vattendrag som kalkats med 0–3 g/m<sup>3</sup> uppvisade 40 % föryngring, därefter 5 % vid 3–5 g/m<sup>3</sup> och 78 % i vattendrag som kalkats med 5–10 g/m<sup>3</sup>. Som tidigare nämnts råder osäkerheter rörande exakta kalkdosen men trenden tydlig.



Figur 36. Andel lokaler med föryngring i förhållande till genomsnittlig kalkdos under föregående årtionde samt genomsnittlig andel med föryngring i okalkade vattendrag. Okalkade N=192, 0-3g/m<sup>3</sup> N= 108, 3-5g/m<sup>3</sup> N=33, 5-10g/m<sup>3</sup> N=9)

Lika viktig som kalkdosen är det att kalka kontinuerligt. De lokaler som kalkats mer än tio tillfällen under perioden 1983–2013 har högst andel föryngring på 2010-talet 39 % (figur 37). Det ska beaktas att de mest kalkade vattendragen också är de mest försurade lokalerna med ett medel av lägsta pH-okalk på 5,0. De lokaler som endast kalkades under 1980- och 1990-tal ("kalkats mindre tio tillfällen") hade först mycket hög föryngring 62 % på 1990-talet till som därefter sjunker markant, till 26 % på 2010-talet. Vattendragen som i denna grupp har samtliga avslutat sin kalkning innan 2005. Dessa lokaler är mindre något försurade och har ett genomsnittligt lägsta pH-okalk på 5,5. De hade också senare sista föryngring innan kalkning (närmare 1980-talet) än de mer försurade (runt 1975, kalkpåverkan borträknad). Föryngringstidpunkt är baserat på minsta längdmätta mussla från inventeringen på 1990-talet. Sammanfattningsvis, för att kalkningen ska ge föryngring i de mest försurade i de mindre försurade vattnen pågick föryngringen längre och sedan kom föryngringen snabbt i gång igen efter startad kalkning men när kalkning avslutades avtog föryngringen synkront.



Figur 37. Andel lokaler med föryngring jämfört antal tillfällen (år) som lokalen kalkats under perioden 1983–2013. Kalkats mer än tio år/ggr (N:31), Kalkats mindre än tio år/ggr (N:31), Okalk (N:50).

Det går inte att koppla uppmätt vattenkemi till föryngring i kalkpåverkade vattendrag, på grund av två orsaker. Bristfällig historisk vattenkemiprovtagning och att det är svårt att finna små musslor vid inventering. Ska en trovärdig sambandsanalys mellan föryngring och vattenkemi göras, måste proverna tas mellan 10–20 år innan inventeringstillfället. För det är denna tid det tar för en mussla att bli 20–50 mm och därmed kan bli funnen vid en inventering. För att matcha inventeringen på 2010-talet som huvudsakligen utfördes runt 2015–17, borde vattenkemin vara tagen 1995–2007, och detta underlag saknas. Detta eftersom vattenkemiprovtagningen för vattendrag startade runt 2003, innan dess var provtagningen oregelbunden och eventuella resultat har aldrig kommit in i databasen.

I kalkpåverkade Laxbäcken noterades tydlig föryngring med ovanligt många musslor under 50 mm på 2010-talet. Flertalet av de minsta musslorna vid inventeringen 2016 var mellan 30–45 mm långa i Laxbäcken. Detta indikerar att de är runt 15 år gamla vilket betyder att de kläcktes runt år 2000. Under den tidsperioden togs inga vattenkemiprover i vattendraget utan bara i åtgårdssjön (Holmsjön). Runt millenniumskiftet var en kalkningsintensiv period i Laxbäckens åtgärdsområde där pH och alkalinitet var mycket höga i den uppströms liggande Holmsjön (pH 7,3; alk 0,65; 2000-10-04). Trots en ojämn kalkning efter denna kalkintensiva period och många surstötter har juvenilerna överlevt fram till inventeringen. Den första uppmätta surstöten under pH 6,0 (5,9) kom våren 2006 och den kraftigaste surstöten (5,4) under vårfloden 2013. Sannolikt har många fler

höstsurstötar förekommit men dessa har inte provtagits.

Lokalerna i Grannäsån, Grottsjöbäcken, Stugsjöbäcken och Tansbäcken saknade små musslor enligt inventeringarna under 2010-talet trots att glochidier påträffades vid elfisket 2015. Den mest positiva tolkningen är att detta betyder att föryngringen kommit i gång och att småmusslor kommer att återfinnas när dessa är tillräckligt stora. En mindre positiv tolkning är att föryngringen inte fungerar trots att glochidierna förmår att infektera öringarna. En ytterligare förklaring kan vara att det fanns småmusslor i vattendragen, men att dessa inte hittades vid inventeringen av de utvalda lokalerna. I Tansbäcken återfanns föryngring vid en "statusbeskrivnings-inventering" 2022. Vid ett fältbesök (2024) i Stugsjöbäcken fanns en betydande del mindre musslor uppströms den inventerade lokalen.

Under 2024 provtogs nio vattendrag där kalkningen avslutas för att bedöma om kalkavslutet var korrekt. Sju av dessa hade ett uppmätt eller beräknat pH-okalk under 6,2 under vårfloden (tabell 5). Om pH är runt 6 på våren kommer pH under stora hösthögflöden sannolikt att gå ner mot 5,5. Kalkavslutet var således inkorrekt och detta kan därmed förklara den påtagliga nedgången av föryngring i denna grupp. Två av vattendragen (Sorgån och Svartån) hade något högre pH-värden (6,4–6,5) och dessa hade föryngring på 2010-talet till skillnad från de andra i gruppen. Norrala-Trönöån är sedan 2017 påverkad av en kalkning uppströms så den kan inte längre betraktas som kalkavslutad.

**Tabell 5. Föryngring av flodpärlmussla hos nio lokaler med avslutad kalkning innan 2005 samt lägsta uppmätta pH under vårfloden 2024. Värdena inom parentes anger pH-okalk för vattendrag som fortfarande är påtagligt kalkpåverkad. Förklaring till kolumnen "föryngring 2010-tal" - = drabbad av musseldöd (inga musslor på inventeringsplatsen, ?= ej inventerad.**

Vattendragsnamn	Föryngring 10-tal	Föryngring 00-tal	Föryngring 90-tal	Lägsta uppmätta pH våren 2024	Tidigare lägsta uppmätta pH
Bäckmorån	Nej	Nej	Nej	6,1	6,3
Flysån	Nej	Ja	Ja	6,1	5,8
Norralaån-Trönöån	-	Ja	Ja	6,8 (6,05)	6,8
Rännsjöbäcken	?	Ja	Ja	6,1	6,0
Sorgån	Ja	Nej	Ja	6,5	6,5
Stuttjärnsån	-	Ja	Ja	6,1	5,9
Svartån - Ljusdal	Ja	Ja	Ja	6,4	6,3

Tygstabodån	-	Nej	Ja	5,9	5,4
Vinnfarsån	Nej	Nej	Ja	5,5	5,7

För de okalkade flodpärlmusslelokalerna finns ingen vattenkemi förutom för ett fåtal lokaler som provtagits för att utröna försurningspåverkan och en eventuell framtida kalkning (tabell 6). De flesta vattendragen är bara högflödesprovtagna ett eller ett par år under de senaste tio åren till skillnad från de kalkade som provtagits kontinuerligt med ca sex prov per år sedan början av 2000-talet. De fyra vattendragen som provtagits har samtliga ett uppmätt pH betydligt under 6,0. Det korta provtagningsintervallet gör att det sannolikt förekommit ännu lägre pH-värden i dessa vattendrag som inte har fångats.

**Tabell 6. Uppmätta lägsta pH-värden (2014–23) i icke kalkpåverkade vattendrag med flodpärlmussla.**

Vattendragsnamn	X	Y	Lägsta uppmätta pH	Minsta mussla (10-tal) mm
Homobäcken	6875767	1572071	4,8	105
Risbäcken*	6753590	1523202	5,6	59
Svartån - Bollnäs	6791611	1517126	5,0	88**
Väst Skogtjärnbäcken	6771333	1508662	5,0	89

\*Kan vara påverkad av en kalkning som ej finns i vår databas, vattenkemi i uppströms liggande sjöar tyder på det. \*\* ej inventerade 2010-tal, siffran från 2000-tal.

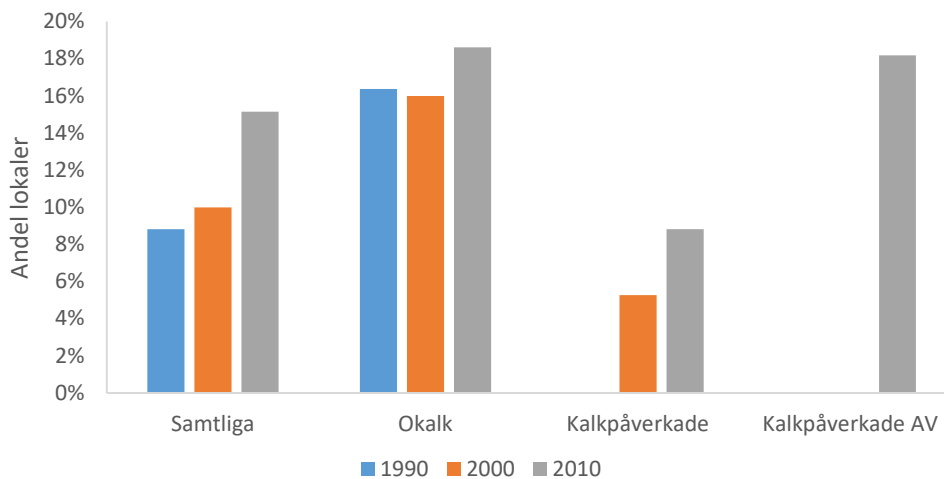
Det verkar som att försurningen kan vara ett betydande problem i en del okalkade lokaler eftersom lägsta uppmätta pH ligger under 6,0. Under 2024 har några fler okalkade flodpärlmusslevatten börjat provtas, under 2025 kommer ytterligare några fler att läggas till provtagningslistan.

Andelen tomma lokaler jämfört med samtliga lokaler ökar över tid och speciellt under 2010-talet (figur 38). Ökningen drivs av musseldöden i främst i kalkavslutade vatten men även i okalkade och kalkpåverkade vatten. I de vatten där kalkningen avslutats har 17 % blivit tomma, vilket de lokalerna inte var på 2000-talet. För okalkade vatten är andel tomma lokaler relativt konstant, det rör sig om nio lokaler som varit tomma alla tre inventeringarna.

I flertalet ”tomma” vattendrag har musslor påträffats vid en utökad undersökning, men dessa resultat ingår inte i denna utvärdering. Har



musslorna försvunnit från den inventerade sträckan innebär det att beståndet kraftigt minskat i hela vattendraget och det finns mängder av skal (figur 39)



Figur 38. Andel lokaler som saknade flodpärlmusslor vid inventeringarna på 1990, 2000 och 2010-talet fördelat på okalkade, kalkpåverkade lokaler samt kalkavslutade (Kalkpåverkade AV).



Figur 39. Mängder av döda flodpärlmusslor i Stuttjärnsån 2018.



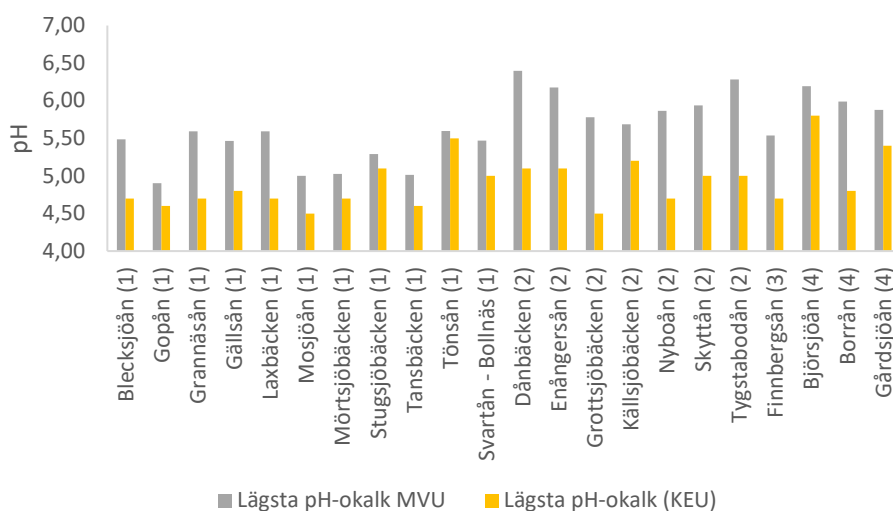
## 2.3 Osäkerheter med försurningsbedömningen och $\Delta\text{pH}$

Underlaget från målvattenundersökningen (MVU) och MAGIC används för att bedöma mänsklig försurningspåverkan. Framför allt som underlag till myndigheter för att bedöma behovsåtgärder i vatten till exempel inom vattenförvaltningen. Det är därför av största vikt att detta underlag är så tillförlitligt som möjligt. Då MAGIC kräver flera parametrar än vad som normalt analyseras inom KEU, går det inte att använda KEU-data rakt av i MAGIC.

$\Delta\text{pH}$  korrelerar relativt väl med lägsta pH/pH-okalk och jämför man lägsta pH-okalk från MVU och KEU ska de vara likvärdiga för att försurningsbedömningen ska ligga rätt. Det är en stor skillnad i dataunderlaget då KEU har uppemot 100 beräknade pH-okalk jämfört med MVU som endast har sex prov för varje vattendrag.

Jämförelsen av lägsta pH visar att MVM i samtliga fall hade betydligt högre lägsta pH-okalk (figur 40), medelskillnaden var 0,73 pH-enheter. Det framgår tydligt att de vattendrag som provtogs i omgång ett vilken hade en kraftig vårflod också har minst skillnad (0,5 pH-enheter). Omgång två som inte hade några höglödesprov i MVU hade sämst överrensstämmelse av lägsta pH-okalk, medelskillnad 1,07 pH-enheter. Lokalerna som provtogs i omgång ett (Sandviken, Ockelbo och Bollnäs kommun) är de med lägst pH-okalk både i KEU- och MVU-underlaget. De borde således vara de mest försurade vattendragen eftersom alla lokaler håller flodpärlmussla och lägsta pH borde därmed inte gå under 6,0.

Enligt MAGIC är det endast fem av mussellokalerna i länet som har  $\Delta\text{pH}$  under 0,4 (Gopån, Grannäsån, Mosjöån, Mörtsjöbäcken och Tansbäcken) resten bedöms mer eller mindre oförsurade. Den största felkällan till att resultaten avviker är att MVU-undersökningen nästan helt har missat är hösthögflödena, och det under dessa lägsta pH-okalk påträffas. Denna databrist ger en betydande underskattning av försurningen i Gävleborgs län. Inom KEU de senaste åren har fler hösthögflöden provtagits och det är huvudsakligen dessa prov som ger de extremt låga pH-okalk som redovisas. Baserat på underlaget i denna rapport bör samtliga redovisade vattendrag i figur 40 bedömas som försurningspåverkade. Detta baserat på både vattenkemi och biologi, eftersom flodpärlmusslan inte förökar sig utan kalkning i något av dessa vattendrag. Ska man jämföra med nuvarande MAGIC-resultat så sker ingen föryngring i vattendrag med  $\Delta\text{pH}$  över 0,1 utan kalkning.



Figur 40. Jämförelse av lägsta pH-okalk från MVU (2011–2014) jämfört med lägsta pH-okalk i KEU-datat 2012–2024 i flodpärlmussleförande vattendrag. 1–4 inom parentes avser provtagningsår i MVU; 1=2011, 2=2011-12, 3=2012-13, 4=2013-14.

Det finns flera stora osäkerheter när det gäller att försurningsklassa vatten med MAGIC. Modellen är mycket känslig för att höghöflödesprov ingår bland proven och hösthöghöflöden i synnerhet. Eftersom flodpärlmusslevattnen ofta har haft relativt höga pH-värden historiskt, bedöms dessa som oförsurade trots att en betydande pH- och alkalinitetssänkning har förekommit.

Eftersom det finns flera felkällor för MAGIC så vore en lösning att försurningsklassa inom vattenförvaltningen baserat på den vattenkemi som tas inom KEU, när biologi inte finns. Inom KEU fångas höghöflöden regelbundet och mängden prov gör data mer pålitligt. Det finns också en koppling till biologin med olika nivåer av mål-pH vilket nyanserar utfallet på ett sätt som inte förekommer i MAGIC.

Förekommer regelbundet pH-okalk lägre än målartens pH-mål, då är det försurat och bör kalkas om man vill säkra biologin. Det behöver inte vara svårare än så och dessutom blir det en samstämmighet mellan kalkningsverksamheten och vattenförvaltningen.

Det har nyligen tagits fram en ny försurningsbedömningsmodell baserat på MAGIC vars resultat ska utgöra bedömningsgrunder för att klassa försurningspåverkan inom vattenförvaltningen. Den nya modellen ska ha nordiska gemensamma bedömningskriterier men baseras på samma sex prov som togs i MVU-undersökningen. Enligt de första resultaten från denna nya modell är Norrland mycket mindre försurat (Gävleborg i princip helt oförsurat) och det innebär att all kalkning borde avslutas. Inga resultat i denna rapport stödjer den hypotesen.

### 3. Diskussion

Föryngringen av flodpärlmussla fungerar mycket bättre i kalkade vatten än i okalkade. Det kan framstå som något förvånande med tanke på att kalkningen i flertalet vattendrag varit undermålig i förhållande till den faktiska försurningsnivån. Men det är också så att kalkningen var ganska omfattande under 1980- och 1990-talet och det borde ha gett en betydande effekt under vissa år. Detta stöds bland annat av kalkningen gav bättre föryngring i de mindre försurade vattendragen. Man ser också en försämring av föryngringsgraden under 2010-talets inventering i kalkpåverkade vatten och den försämringen kan sannolikt kopplas till den minskade kalkningen under 2000-talet. Hade endast data använts från inventeringen på 1990- och 2000-talet hade föryngringen i kalkpåverkade vatten varit tre till fyra gånger större än i okalkade vatten.

Det är inte klarlagt om föryngringen i otillräckligt kalkade vatten endast skett år utan surstötter eller även om det sker år med surstötter. Det går inte heller att fastställa om föryngring i de ojämnt kalkade vattendragen endast skett de år som kalkning har genomförts eller om föryngringen har pågått under fler år efter kalkningen. Det är sannolikt att föryngringen skulle ha varit mycket högre om kalkningen varit mer anpassad till försurningsnivån. Detta eftersom högre kalkdoser förbättrar möjligheten till föryngring oavsett om vattnet är betydligt eller mindre försurningspåverkat. Det går inte att finna några fall där en hög kalkdos i förhållande till pH-okalkat orsakat några problem i musselpopulationen, snarare tvärtom. Det finns dock inga skäl till överkalkning om lägsta pH-okalk är känt, vilket man inte gjorde historiskt. Slutsatsen blir att en kontinuerlig kalkning med en dos anpassad till lägsta pH-okalk förbättrar förutsättningarna till föryngring flerfald, men även att en svag kalkning är bättre än ingen kalkning alls. Troligen är det bättre att kalka med full dos vartannat år jämfört med att ta halva dosen årligen, om man måste välja.

Utifrån underlaget går det inte att särskilja ifall det är kalciumtillskottet eller pH-höjningen som ger den positiva effekten vid kalkning. Troligen är det en kombination av båda effekterna, där kalciumet är viktigast i de minst försurade medan pH-höjningen är viktigast i de mest försurade. Det är också av stor vikt att kalkningen är kontinuerlig och jämn, vilket en årlig kalkning eller våtmarkskalkning åstadkommer. Det är få vatten som våtmarkskalkats i länet, men underlaget (ej redovisat) antyder att de lokaler som kalkats med denna metod har en avsevärt talrikare föryngring som sträcker sig över en längre tidsperiod. Två av de vatten som våtmarkskalkats; Skyttån och Källsjöbäcken hade båda en rekordartad hög andel små musslor under 2010-talet. Skyttån hade den minsta medelstorleken (50 mm) och Källsjöbäcken på fjärde plats (69mm)

av alla lokaler som inventerades under 2010-talet. Olyckligtvis hade man bytt lokal mellan inventeringarna i båda vattendragen. Troligtvis beror lokalbytena på att det fanns mycket få musslor när man valde plats på 1990-talet därför råkade man välja en ”dålig” lokal. När musslorna sedan föryngrade sig så kändes det förmodligen orepresentativt att inte redovisa föryngringen och en ny lokal valdes.

Man kan argumentera för att metoden att besöka endast en kort sträcka inte är representativ för hela vattendraget. Så kan det givetvis vara i enskilda fall men jämför man med de vattendrag som statusbeskrivningsundersökts så ser man ofta ett bra samband. Har vattendraget drabbats av musseldöden har den inventerade lokalen blivit tom, även om inte hela vattendraget har blivit helt tomt.

Gissningsvis är det glochidierna som är det känsligaste stadiet, alternativt när ”småmusslorna” släpper från värd fisken och ska överleva sitt första år i sedimenten. Denna gissning grundas på att glochidierna börjar fungera sämre efter endast 5 min i vatten med pH under 6,0 (Söderberg 2008). Tiden för när glochidierna frisläpps är i augusti-september i Gävleborg. Om flödena är låga under denna period ger även en kalkning med låg dos en betydande höjning av pH (och kalcium), vilket kan gynna föryngringen. Om kalkningen sker med hög dos motverkas låga pH-värden även vid höga flöden, vilket gör att föryngringen gynnas oavsett flöden. Vid kalkning med hög dos motverkas även låga pH-värden under övriga perioder, vilket sannolikt är positivt även för musslans mindre känsliga stadier. Den positiva effekt som kalkning har på hela ekosystemet kan också ha en betydande påverkan, det vill säga mer bakterier och småkryp i vattnet som sönderdelar och frigör näringsämnen, vilka sannolikt kommer småmusslorna till godo.

Kunskapsbristen är betydande avseende toleransen i olika vattentyper och under olika utvecklingsstadier. pH-målet på 6,2 är sannolikt tillräckligt högt även i de känsligaste vattentyperna och för de känsliga utvecklingsstadierna. Samtidigt bör nämnas att Norge tillämpar ett pH-mål på 6,4, men de norska vattnen har generellt mycket lägre kalciumhalter än vattnen i Sverige.

Flera relativt nya forskningsrapporter belyser de sjunkande kalciumhalterna som ett möjligt problem och det är något förvånande att halterna sjunkit så påtagligt i norra Sverige (Laudon 2021, Sahlén Zetterberg och Fölster 2022). Detta borde betyda att antingen har modellerna underskattat syranedfallet eller att vittringen går saktare än modellerat. Oavsett vilket betyder det att det sura nedfallets påverkan är större än förutspått i södra Norrland. Effekterna av sjunkande och låga kalciumhalter på flodpärlmusslor är inte utredda. De negativa effekterna av låga pH-värden och oorganiskt aluminium på fisk förstärks i vatten med låga kalciumhalter.

Flodpärlmusslans tillväxt ökar efter kalkning och en ökad tillväxt indikerar gynnsammare förhållanden. Det kan vara som följd av minskad fysiologisk stress och/eller att mer föda finns tillgänglig. Det kan också bero på att ökad tillgången på kalcium gör tillväxten mindre energikrävande. Det är också sannolikt att gynnsammare förhållanden innebär att mer energi kan allokeras till reproduktionen, dvs. bildandet av könsceller.

På grund av svag höglödesprovtagning, felaktiga antaganden, övertro på försurningsmodeller och nedskärningar i kalkningsbudgeten har många åtgärdsområden avslutats i länet. Den historiskt bristfälliga höglödesprovtagningen har också lett till de flesta kalkavslutade målvattendragen bedömts som mindre försurade än de i själva verket är. Under våren 2024 har prover tagits i en del avslutade åtgärdsområden där försurning misstänkts. Proverna visar att sju av nio hade ett lägsta pH lägre än 6,2. Eftersom hösturstötarna oftast är kraftigare så kommer pH att gå ner till minst 5,8 och troligen betydligt lägre i vissa fall i dessa kalkavslutade vattendrag. Detta betyder att försurningen sannolikt kan förklara en stor del av den låga föryngringen i länet. Västernorrlands län har liknande förhållanden som Gävleborg men en mycket mer välfungerande kalkning. Där ligger andelen mussellokaler med föryngring på 65 % medan Gävleborg har endast 38 % (2022) enligt Sveriges miljömål (antal vattendrag med föryngring av flodpärlmussla).

I kalkningshandboken rekommenderas mål-pH på 6,2 för flodpärlmussla. Men av ekonomiska och biologiska (färre kalkade våtmarker) har ett pH-mål på 6,0 tillämpats i Gävleborg sedan 2018. I vattendraget betyder detta nästan ingenting om kalkningen fungerar väl. Om det finns en väl fungerande våtmarkskalkning, ligger pH nästan ändå alltid över pH 6,2, gissningsvis underskrids det kanske med någon tiondel vart tredje år vid extremflöden. Men ovanstående gäller som sagt endast vid en väl fungerande våtmarkskalkning, använder man andra kalkningsmetoder bör pH-mål på 6,2 vara eftersträvänsvärt. Kanske vore det ur musselperspektiv ännu bättre att ha pH-mål 6,2 i Gävleborg men detta betyder att fler våtmarker måste kalkas och att färre musslevatten kan kalkas om inte kalkbudgeten ökar. Gävleborg har satsat mycket på våtmarkskalkning från och med 2013 och framtidens musselinventeringar kommer visa om detta var rätt strategi.

Underlaget visar tydligt en positiv effekt av kalkning i måttligt försurade vatten (lägsta pH-okalk mellan cirka 5,5–6,2). Eftersom dessa vattendrag har försurningskänsliga uppströms liggande sjöar som kalkades på 1980-talet, blev vattendragen indirekt kalkpåverkade. Det är fallet för nästan all kalkning under 1980- och 1990-talet. På den tiden utfördes majoriteten av all kalkning för sjöar i sjöar förutom Enångersån och

Mörtsjöbäcken. På 1990-talet tillkom Grottsjöbäcken, Blecksjöån med tillflöden, Rötjärnsbäcken, Stugsjöbäcken och Finnbergsån vilka våtmarkskalkades några enstaka gånger. Övriga musselvatten kalkades huvudsakligen som bieffekt vid sjökalkningen och det förklarar den svaga effekten på beståndet.

Man kan använda storleksfördelningen och minsta funna mussla vid första inventeringen för att skatta när föryngringen slutade. I de flesta okalkade vattendrag kom de sista stora årgångarna någon gång mellan 1960 och 1980 sedan dess handlar föryngringen endast om enstaka individer. I en del vattendragen antyder storleken på längdmätta musslor att föryngringen slutade redan vid tiden före andra världskriget, kanske ännu tidigare. De äldsta musslorna växer i princip inte och därmed är en åldersanalys baserat på storlek vanskelig. Oavsett exakt när så tyder musslornas åldersfördelning på en stark nedgång under hela 1900-talet. Troligen har flottledsrensningen, förändrat skogs- och jordbruk, dikning och dammbyggen alla försämrat förutsättningarna för flodpärlmusslan. Sedan verkar det som att försurningen har slagit undan den sista föryngringen som fanns kvar.

Man kan också använda storleksfördelningen för att se hur kalkningen har startat föryngring men också att den har slutat/avtagit kraftigt efter avslutad kalkning. I många sjökalkade flodpärlmusslevatten verkar föryngring ha ägt rum samtidigt som första kalkningen.

Många av 1980-talets sjökalkningar var uppströms i vattendrag som har ett lägsta pH på runt 6 och därmed bedöms som "nästan" oförsurade. Resultatet av kalkningen blev många fall en ökad föryngring och i vissa fall explosionsartad till exempel Rännsjöbäcken. Rännsjöbäcken har ett  $\Delta\text{pH}$  på 0,08 och ett lägsta pH-okalk på uppskattningsvis 5,7 och är bland de minst försurade bland de provtagna (kalkpåverkade) i södra länshalvan.

Rännsjöbäcken kalkades mellan 1992–2006 enligt kalkdatabasen. Här fanns det fanns en population med svag föryngring redan innan kalkning enligt storleksfördelningen av musslor vid första inventeringen 1999. Vid samma inventering påträffades fem riktigt små musslor (11–16 mm), vilket är ovanligt. En åldersskattning ger föryngringsår runt 1993. Nästa inventering var 2007 och då hade beståndet exploderat från 2 till 490 individer/m<sup>2</sup>. Den dominerade storleksklassen var 50–74 mm vilket betyder att de är cirka 15 år vilket motsvarar "födelsesår" 1994. 2015 utfördes statusbeskrivning av Rännsjöbäcken och då hade den dominerande storleksklassen växt till över 75 mm, vilket motsvarar en ålder på runt 25 år, vilket motsvarar födelse runt 1990. Minsta hittad mussla var vid statusbeskrivningen (2015) 25 mm vilket ger en ålder runt 11 år (födelseår 2004), kalkningen avslutades 2006. Inga mindre musslor hittades trots en intensiv insats. Slutsatsen blir att en mycket stor



föryngring har skett någon gång mellan 1990–94 i Rännsjöbäcken och den därefter avtagit markant.

Effekterna av minskad svaveldeposition kombinerat med ökad vattenfärg gör att pH fortfarande sjunker till låga nivåer, samtidigt som kalciumhalterna är lägre än tidigare. Detta kan vara en förklaring till den fortsatt svaga utvecklingen i okalkade vattendrag, trots minskad svaveldeposition. Kalkning med låg dos ger, i regel, en försumbar höjning av lägsta-pH. Däremot blir höjningen av kalciumhalten ofta påtaglig vid låga flöden, exempelvis under sommaren. Vilket är den period när flodpärlmusslan huvudsakligen tillväxer och då reproduktionen sker.

Betydelsen av låga pH-värden är extremt komplicerad. Inte minst gäller det varaktigheten av eventuella surstötter. Vid en surstöt ökar den fysiologiska effekten över tid tills saltbalans eller respiration når en kritisk nivå för överlevnad. Denna tid påverkas av vattnets toxicitet, musslans utvecklingsstadium samt om musslan stressas av andra miljöfaktorer. Om musslan eller glochidielarven överlever till att surstöten är över sker en återhämtning. Den fysiologiska stressen leder emellertid till en ökad energiförbrukning och därmed ett försämrat allmäntillstånd. Detta kan begränsa tillväxten, försämra reproduktionsförmågan och leda till en ökad känslighet för annan typ av miljöpåverkan. Det är känt att glochidielarvens tillväxt är sammankopplad med värdfiskens och en för låg tillväxt leder till lägre överlevnad hos småmusslorna.

Kalkningen bidrar sannolikt positivt på många nivåer för flodpärlmusslorna. Kalkningen höjer pH och alkalinitet samt ökar kalciumhalten i vattnet. Detta gynnar bakterier och nedbrytning, vilket frigör mer näringsämnen och vilket bland annat ger mer kiselalger och insektsliv i bottensedimenten. Detta i sin tur borde leda till mer föda och bättre livsmiljö för flodpärlmusslorna, vilka i sin tur kan reproducera sig mer. Det är inte utrett om den pågående oligotrofieringen (minskade fosforhalter) är ett problem i flodpärlmusslevatten. Det är oklart om fosforhalten påverkas av kalkning men enligt Fiskeristyrelsen (1981) kan kalkning påverka fosfors tillgänglighet. Ofta syns en ökning av kiselalgsproduktionen i kalkade sjöar men inte ökade fosforhalter (Henriksson 1995). Om hela näringskedjan fungerar "bättre" gynnar detta säkert även flodpärlmusslan om det produceras mer föda eller mer näringsrik föda. Glochidiernas tillväxt sammanhänger med värdfiskens tillväxt och en större småmussla har större chans att överleva (Söderberg 2008 och referenser däri). Inom kalkningen analyseras inte fosfor men med tanke på att flodpärlmusslan förekommer i näringsfattiga vatten ligger det nära till hands att tro att fosforhalterna är mycket låga. Troligen ger våtmarkskalkning en större positiv effekt på fosforhalterna än sjö- och doserarkalkning då det innefattar mer markyta och mer

småvattendrag. På de kalkade våtmarkerna ökar andelen gräs och när det bryts ner borde mängden "bra" detritus öka i vattendragen och detta kan vara en viktig föda för de små flodpärlmusslorna. Om dessa relativt små ytor med mer gräsvegetation har någon verklig betydelse är inte utrett. Det ska slutligen påpekas att flodpärlmusslan inte trivs i näringsrika vattendrag med högre fosforhalter så det är inte aktuellt med någon gödning.

Troligen produceras "flodpärlmusslans föda" huvudsakligen i uppströms liggande sjöar, åtminstone i små vattendrag. Det stöds av att det inte finns några flodpärlmusslor i små vattendrag som saknar uppströms liggande sjöar och många av de största flodpärlmussletätheterna i länet ligger nedströms lite större sjöar. Möjligen kan även detta förhållande även förklara den "mystiska" musseldöden i viss mån. Om man utgår från att vuxna flodpärlmusslors huvudsakliga föda är kiselalger, vilka produceras sjöarna och sedan följer med vattnet nedströms. Då borde det vara i sjöarna man ska leta efter förändringar om man ska hitta svaret på "flodpärlmussledöden". De flesta musselbestånd som drabbats av musseldöden i länet ligger nedströms relativt stora "klarvattenssjöar" som kalkats eller kalkpåverkats av uppströms kalkning. De flesta av dessa kalkningar har avlutats. Hypotesen är att, allt eftersom kalkeffekten i sjöarna har klingat av så har födotillgången för musslorna förändrats och försämrats. Kiselalgssamhället påverkas sannolikt av flera pågående miljöproblem såsom brunifiering, låga kalciumnivåer och fosforhalter för att nämna några. En förändring av kiselalgssamhället kan möjligen ha drabbat de större musslorna mer, medan de mindre musslorna i sedimenten har överlevt på detritus och bakterier. I kalkpåverkade Nyboån vilken drabbats av musseldöden verkar det finnas relativt små musslor kvar i sedimenten vilka kommer fram flera år efter att de äldre har dött men även dessa för en tynade tillvaro (Troschke 2024, personlig kommunikation).

De närmast uppströms belägna sjöarna i musseldödsvatten inte är påtagligt försurade (enligt vårt sätt att bedöma försurning) utan troligen har ett lägsta pH runt 6 och alkalinitet mellan 0,05–0,1 efter våromrörningen. Det finns inga tydliga vattenkemiska belägg att vattenkemin drastiskt har förändrats de senaste åren, men provtagningen är sporadisk och ofullständig. Dessutom har en provtagningsförändring skett, fram till år 2000 tog man vinterprover i sjöar. Detta för att under isen på vintern ökar kolsyran och pH-sjunker påtagligt därav, och de lägsta pH-värden uppkommer således under vintern. Efter år 2000 tas huvudsakligen prov efter våromrörningen, vilket leder till att högre pH-värden uppmätts.

I flertalet av "uppströmssjöarna" finns mer "försurade" mindre sjöar längre uppströms och surstötter från dessa kan inte uteslutas. Det finns

två faktorer som ger ”surstötar i sjöar” under vintern, det ena är kolsyran vilken kan sänka pH rejält och då speciellt vid botten. Den andra faktorn är surt vatten under isen men ovanpå det något varmare sjövattnet. Detta sura vatten kommer från tillflöden och kan vara omfattande om biflödena är försurade. Även övriga årstider kanurstötar uppträda i sjöar om det förekommer stora inflöden av surt vatten.

Om pH och fosfor- och kalciumhalten sjunker och vattnet blir brunare så uppnås sannolikt till sist en tröskel där kiselalgerna och bakterierna i sedimenten påverkas och därmed är flodpärlmusslans födotillgång påverkad. Att kiselalgssamhället reagerar kraftigt och snabbt på miljöförändringar är känt och kiselalger används inom miljöövervakningen. Enligt obduktionsprotokoll (SVA) från musseldöden i Enångersån 2013 återgavs att de försvagade/döda musslorna hade beige maginnehållet och att de möjligen hade reproduktionsproblem medan friska musslor från ett närliggande vatten hade grönt maginnehåll. De dog troligen av svält.

Wengström förslog svält som en orsak till flodpärlmussledöden i sin rapport 2019 men parasiter har också föreslagits. Troligen kan svälten pågå i flera år innan beståndet börjar dö. Ofta finns ett samband mellan svältande och stressade djur och bakterie- och parasitangrepp.

Inom Norralaåns system så har en stor andel av musslorna dött på 2010-talet. Systemet består av en huvudfåra i en dalgång och rad biflöden som tillrinner från båda sidor. Musslorna finns i många av biflödena och huvudfåran. Nästan alla biflöden har sjökalkats och kalkningen har avslutats under början av 2000-talet. För samtliga lokaler utom ett har musselbeståndet sedan kraftigt minskat. På den avvikande lokalen (Skyttån) återfinns nu tydlig föryngring och ett av länets ”yngsta” bestånd. Skyttån har till skillnad från de andra vattendragen i systemet våtmarkskalkats, vilket har gett kalkeffekt in på 2010-talet. Sedan 2017 har Skyttån återigen kalkats.

Troligen är flodpärlmussledöden inget nytt. Redan 1987 beskrevs i en elfiskerapport från Enångersån att det påträffats massor av musselkal. Även vid inventering 1996 påträffades även då mängder av skal i Enångersån/Nyboån. Även i andra vattendrag påträffades skal vid första inventeringen på 1990-talet, dessa vatten saknar idag helt flodpärlmusslor. Enligt Länsstyrelsen (1996) observerades ett stort antal döda musslor (även mycket småmusslor) påträffats under inventeringen 1996 av vattendrag i hela länet. I rapporten framlades en gissning att musslorna dött av den kalla och nederbördsfattiga vintern 95/96. Oavsett orsak tyder ovanstående på att musseldöden har pågått länge och en mycket stor del av länets bestånd av flodpärlmusslor har försvunnit under 1900-talet, vi har bara inte noterat det.

Vid översiktliga fältbesök av några vattendrag under 2024 påträffas fler skal och döda samt försvagade musslor i vattendrag som bedöms försurningspåverkade (utan kalkning eller för låg kalkdos) jämfört med bra kalkade eller "oförsurade" vattendrag. Tygstabodsjön (avslutad sista kalkning 2006, lägsta pH ner mot 5,0), mängder av skal men även levande musslor (ingen fullständig musseldöd). I kalkpåverkade Stugsjöbäcken som hade en uppmätt surstöt på 5,8 våren 2024, där påträffades enstaka döda flodpärlmusslor. Samma sak i Öratjärnsbäcken (avslutad kalkning 2008, lägsta pH på 5,5 (2024)). I Djuptjärnsbäcken som är svagt kalkpåverkad och ett lägsta pH på runt 6,0, där fanns endast levande musslor. I kalkslutade Bursån (troligen lägsta pH runt 6,0) och Mörttjärnsbäcken (Milån) (lågsta pH 5,9 våren 2024) påträffades endast levande musslor.

Baserat på fältbesök och dataunderlaget verkar det som att surstötter under 6 dödar en del vuxna flodpärlmusslor och kraftigare surstötter gör att fler dör. Men det verkar inte bli massutdöenden orsakande av direkta surstötter i Gävleborgs län utan "flodpärlmussledöden" beror troligen på något annat. Surstötter gör att några individer dör årligen och eftersom föryngring saknas tynar bestånden mer eller mindre sakta bort. Försvinnandet verkar gå fortare ju varaktigare och djupare surstötterna är. I okalkade Homobäcken med pH regelbundet under 5, där minskar bestånden uppemot 90 % per årtionde.

Sammantaget finns det många faktorer som påverkar flodpärlmusslans överlevnad och föryngring. I denna rapport har fokus legat på försurning och dess efterverkningar samt effekterna av kalkning. Även om effekterna av försurning och kalkning verkar uppenbara måste man hålla i minnet att det finns andra faktorer som kan leda till utebliven reproduktion. I några kalkade vatten har reproduktion ännu inte konstaterats. Här behöver man söka andra förklaringar än försurning.

Det är av yttersta vikt att biologiska data som denna rapport implementeras i till exempel MAGIC-modellen, eller används parallellt inom vattenförvaltningen enligt EU:s vattendirektiv. Det är uppenbart att den teoretiska modellen som anger oförsurade förhållanden trots uppmätta pH-värden under 5,0 och att flodpärlmusslan saknar föryngring eller dör inte är korrekt. Att musslorna inte kan överleva eller föröka sig i vattendrag som hyst flodpärlmussla i årtusenden är inte normalt! Ur ett förvaltningsperspektiv borde valet att av fortsätta kalkningen och rädda flodpärlmusslan självklart i förhållande till att en modell antyder oförsurade förhållande. Det är troligen även olagligt för staten att låta arter som ingår i art och habitatskyddet dö ut, när det finns åtgärder som bevisligen fungerar väl. Enligt art- och habitatdirektivet kan vissa arter behöva särskilda förvaltningsåtgärder om det finns risk att de minskar på grund av insamling eller annan

exploatering. Målet är att flodpärlmussla, liksom övriga arter som omfattas av EU:s art- och habitatdirektiv, ska ha gynnsam bevarandestatus. Enligt direktivet anses en arts bevarandestatus gynnsam när: populationsutvecklingen visar att arten på lång sikt kommer att förbli en del av sin livsmiljö, dess naturliga utbredningsområde inte minskar och sannolikt inte heller kommer att minska, tillräckligt mycket livsmiljö finns för att arten ska bibehållas på lång sikt. Nästan inga av populationerna i Gävleborg uppnår detta kriterium.

Kalkavslut har redan provats för måttligt försurade vatten (oförsurade enligt MAGIC) i Gävleborg och de negativa konsekvenserna är odiskutabla. Utebliven föryngring och i vissa fall massdöd.

I tider med minskad kalkbudget ger kalkning av källflöden en möjlighet att bevara flodpärlmusslorna i systemet. Detta för att bevara beståndet så det kan sprida sig nedströms om förhållandena förbättras. Nackdelen med kalkning av källflöden är de oftast behöver våtmarkskalkas för bästa effekt men detta uppvägs av den goda effekten av vattenkemin och sannolikt även på flodpärlmusslorna och andra vattenorganismer. Miljönyttan blir således störst vid kalkning av källflöden samt påverkan och kostnaden minst. Önskar man en optimal kalkning för flodpärlmusslor bör man även våtmarkskalka uppströms sjöarna som producerar flodpärlmusslans föda. Ofta har dessa sjöar endast sjökalkats och detta skapar en ojämn vattenkemi i sjön och troligen påverkar detta även flodpärlmusslans födotillgång negativt. En bristfällig kalkning av uppströmssjöarna leder också till en ökad risk för surstötter vilka kan vara dödliga för glochidierna. Kalkas inte dessa sjöar på ett korrekt sätt kan det leda till en ökad risk för flodpärlmussledöden och att resten av kalkningen inte ger optimala effekter.

Senaste inventeringen på 2010-talet visade på föryngring i 23 % av de okalkade vattendragen. Med hjälp av kalkningen höjdes andelen med föryngring till runt 50 %. Den föryngringen som finns är dock för liten för att vara normal, vilket leder till musseltätheterna minskar i många fall trots att viss föryngring finns. Det går naturligtvis inte att med säkerhet anta att föryngringen skulle upphöra i alla kalkade vatten, ifall kalkningen avslutades. Däremot är risken betydande att många bestånd skulle påverkas negativt, vilket skulle vara förödande med tanke på flodpärlmusslans nuvarande status i länet.

## 4. Tack

Stort tack till Johan Ahlström vilken med stor kunskap och tålamod bidragit till att denna rapport har blivit färdig. Tack även till alla kollegor som hjälpt till på ett eller annat sätt

## 5. Referenser

Ahlström, J., Degerman, E., Lindgren, G., Lingdell, P.-E. Försurning av små vattendrag i Norrland. Naturvårdsverket. Rapport 1995:4343.

Ahlström, J. (2023) personlig kommunikation.

Ahlström, J. Vattenkemiska effekter vid kalkning av rinnande vatten. Baserad på provtagning 2010–2016 inom målvattendragsundersökningen och kalkeffektuppföljningen. Havs- och vattenmyndigheten. Rapport 2021:14

Brauns, M., Berendonk, T., Berg, S., Grunicke, F., Kneis, D., Krenek, S. et al. (2021). Stable isotopes reveal the importance of terrestrially derived resources for the diet of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(9), 2496–2505. <https://doi.org/10.1002/aqc.3619>

Fiskeristyrelsen, Kalkning av sjöar och vattendrag 1977–1981. Redovisning av försöksverksamheten samt behov av fortsatta kalkningsinsatser. Nr 4. 1981

Fölster, J., K. Wallman och F. Moldan (2018). Målvattendragsundersökningen 2010–2016. Utvärdering och underlag för beslutsstöd. Institutionen för vatten och miljö, SLU. Rapport 2018:3.

Degerman, E. Petersson, E. Bergquist, B. Effekter av kalkning på fisk i rinnande vatten. Resultat från 30 års elfisken i kalkade vattendrag. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2015:23

Länsstyrelsen Gävleborg. Sjöundersökningar i Gävleborgs län- Försurningsläget 1981 och bedömning av risken för en framtida försurning.

Länsstyrelsen Gävleborg. "Flodpärlmusslan i Gävleborg - En sammanställning av inventeringar utförda 1993–2018". 2024

Granström, P. Utbredning och tillstånd hos flodpärlmusslan (*Margaritifera margaritifera* L.) i Bollnäs kommun 1993. Examensarbete



1993

Kritzberg, E. S., Hasselquist, E. M., Škerlep, M., Löfgren, S., Olsson, O., Stadmark, J., Valinia, S., Hansson, L. A., & Laudon, H. (2020). Browning of freshwaters: Consequences to ecosystem services, underlying drivers, and potential mitigation measures. *Ambio: a Journal of the Human Environment*, 49(2), 375–390. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01227-5>

Länsstyrelsen Gävleborg. Flodpärlmusslan i Gävleborg. Delinventering: Kalkpåverkade vatten. 1996

Länsstyrelsen Gävleborg. Flodpärlmusslan i Gävleborg. Delinventering: Ljusdals kommun. 1997

Länsstyrelsen Gävleborg (Granström, P). Flodpärlmusslan i Gävleborgs län. Rapport 2002:3. 2002

Länsstyrelsen Västernorrland Publikation nr 2019:9. Flodpärlmusslan i relation till vattenkemi och bottenfauna i Västernorrland.

Handbok för kalkning av sjöar och vattendrag. 2010:2 Naturvårdsverket.

Hajisafarali, M. Effect of catchment characteristics on dietary resource use and condition of freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). JYU dissertations 789. 2024

Havs- och vattenmyndigheten rapport 2020:19. Åtgärdsprogram för flodpärlmussla.

Havs- och vattenmyndigheten. Klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten (HVMFS 2019:25).

Kahlert, Bakgrundsrapport för revideringen 2007 av bedömningsgrunder för Påväxt – kiselalger i vattendrag.

Kritzberg, E.S., Hasselquist, E.M., Škerlep, M. et al. Browning of freshwaters: Consequences to ecosystem services, underlying drivers, and potential mitigation measures. *Ambio* 49, 375–390 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01227-5>

Laudon, H., Sponseller, R., Bishop, K., From legacy effects of acid deposition in boreal streams to future environmental threats. *Environ. Res. Lett.* 16 (2021) 015007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd064>

Naturvårdsverket. Handbok för kalkning av sjöar och vattendrag. 2010.

Petersson, E. Flodpärlmusslan i relation till vattenkemi och bottenfauna i Västernorrland. Länsstyrelsen Västernorrland Publikation nr 2019:9

Rukke, N A. Effects of low calcium concentrations on two common

freshwater crustaceans, *Gammarus lacustris* and *Astacus astacus*. 2002. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00637.x>.

Sahlén Zetterberg, T., och Fölster, J. Har kalciumhalterna i svenska sjöar och vattendrag nått kritiskt låga nivåer? SLU Rapport 2022:8.

Söderberg, H. Status, trender och skydd för flodpärlmusslan i Sverige. Länsstyrelsen Västernorrland, avdelningen för Kultur och Natur. Rapport 2008:12

SMHI 2024a. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-extrem-nederbord-1.29819>

SMHI 2024b. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-nederbord-1.2887>

Troschke T. 2024. personlig kommunikation.

Wengström, N. Mass Mortality Events in Freshwater Pearl Mussel (*Margaritifera margaritifera*) Populations in Sweden: An Overview and Indication of Possible Causes. 2019.

Wengström, N., Höjesjö, J. Effekter av kalkning på flodpärlmussla (*Margaritifera margaritifera*), Havs- och vattenmyndigheten. Rapport 2021:3

Wenzel A, Vrede T, Jansson M, Bergström A-K. *Daphnia* performance on diets containing different combinations of high-quality algae, heterotrophic bacteria, and allochthonous particulate organic matter. *Freshwater Biology*. 2021;66:157–168. <https://doi.org/10.1111/fwb.13626>





Flodpärlmussla, kalkning och försurning i Gävleborgs län

Vattendrag	Medelstorlek samtliga musslor			Senaste föryngring, baserat på minsta funna mussla			Föryngring baserad på medelstorlek		
	1990-tal	2000-tal	2010-tal	1990-tal	2000-tal	2010-tal	1990-tal	2000-tal	2010-tal
Andersbobäcken									
Anneforsån-Öj	106	121	118	1980	1958	1993	1935		
Bjuransbäcken				1970		1969			
Björkån	78	89	99	1984	1990	1993	1968	1973	1969
Björnsjöån	92	91	95	1989	1990	1987	1947	1958	1966
Blecksjöån	109	120	117	1969	1958	1992	1935	1928	1938
Borrån					1973	1970			
Brinnasån	55	84	103	1981	1995	2004	1977	1973	1959
Bruksån				1964	1982	2006			
Burseån	91	72	96	1964	1993	1990	1949	1979	1969
Bursån	83	77	89	1986	1993	1993	1964	1979	1984
Bäckmorån				1977	1959	1959			
Dalån	92	106		1982	1982		1945	1948	
Djupsjöbäcken	74	72		1973	1987	1997	1966	1980	
Djuptjärnsbäcken									
Dyrån	89	101	95	1980	1993	1997	1963	1948	1969
Dånäcken	91	77	81	1969	2000	2000	1945	1979	1983
Enån	63	90	80	1979	1979	2011	1971	1958	1984
Enån									
Enångersån	98	101		1983	1982		1948	1948	
Finnbergsån	97	105		1985	1986		1948	1948	
Flaxnan				1977	1995	2001			
Flugån	90	93	98	1969	1979	1990	1960	1958	1969
Gammelån	82	84	86	1982	1982	1993	1960	1973	1984
Gnarpsån									
Gopån	101	97	91	1963	1990	2000	1938	1958	1968
Grannäsån				1966	1948	1959			
Grossjöbäcken	95	96		1966	1993		1945	1958	
Grottsjöbäcker	118	117		1990			1928		
Gryckån				1971	1991	2004			
Gryssjöån				1962	1991	1993			
Gråsjöbäcken				1949	1958	1990			
Gådaån	94	93	95	1970	1982	1990	1949	1958	1969
Gårdsjöån						2001			
Gäddvikstjärnsbäcken					1979	1989			
Gällsån				1960	1973	1984			
Hamrångeån	91	85	98	1983	1980	1985	1948	1974	1970
Harsabäcken				1964	1979	1984			
Homobäcken				1949	1959	1959			
Håvaån									
Häsboån 1	91	93		1976	1983		1948	1959	
Häsboån 2	105	104	109	1948	1959	1993	1938	1949	1959
Höstbodån				1935					
Jättån				1968	1973				
Kolarsjöbäcken				1989	1986	1983			
Kvarnån									
Kvisjöbäcken 1	94	98		1991	1973		1949	1958	
Kvisjöbäcken 2	98	102		1970	1982		1949	1948	
Källsjöbäcken		48	69		1996	2004		1991	1993
Källsvedbäcker	95	97		1979	1980		1951	1959	
Kölsjöån	127	126	125	1948	1959	1993	1908	1919	1925
Laxbäcken	105	104	66	1948	1990	2005	1938	1948	1992
Lillån	80	77		1984	2000		1970	1979	
Lingån					1987	1997			
Lomsjöån	78	95	65	1975	1987	2011	1972	1959	1993
Långabäcken	86	81	86	1973	1982	1993	1964	1973	1984
Långsjöån	105	51	93	1980	2000	1996	1935	1986	1968

Flodpärlmussla, kalkning och försurning i Gävleborgs län

	Medelstorlek samtliga musslor			Senaste föryngring, baserat på minsta funna mussla			Föryngring baserad på medelstorlek		
	1990-tal	2000-tal	2010-tal	1990-tal	2000-tal	2010-tal	1990-tal	2000-tal	2010-tal
Vattendrag									
Långsjöån	105	51	93	1980	2000	1996	1935	1986	1968
Långtjärnsbäcken				1978	1958	1969			
Lövingsån	109	113		1979	2000		1937		
Mackskalabäck	123	121		1939	1973				
Malungsån	74	88	99	1981	1982	1984	1970	1973	1969
Milån	84	86	91	1984	1982	2001	1962	1973	1969
Mosjöån	114	117	117	1986	1987	2000	1931	1939	1948
Mörtsjöbäcken	81	89	91	1985	1995	2005	1963	1973	1968
Mörttjärnsbäck	112	108	108	1971	1973	1997		1948	1959
Nianån	101	97	105	1983	1987	1997	1938	1959	1959
Norråån-Trö	90	94		1977	1995		1945	1958	
Norrån					1948	1959			
Nyboån	69	97		1985	1993	2004	1972	1958	
Opplån	97	108	114	1982	1982	1997	1947	1948	
Pengerbäcken	95	95	98	1969	1979	1984	1948	1958	1969
Ramman									
Risbäcken	90	91	89	1964	1973	1997	1949	1958	1984
Rorån					1979	1984			
Rossån	69	72	76	1990	1993	2004	1972	1979	1990
Räkaån	66	69	82	1988	1993	2000	1975	1982	1983
Rännsjöbäcken	80	65		1993	1994		1972	1983	
Röttjärnsbäcken	90	93		1966	1990	1997	1945	1958	
Skyttån			51			2004			1997
Skärjån		117	117		1974	1957	1939	1947	
Sorgån	78	93	100	1989	1979	2001	1968	1958	1959
Stavsåtrabäcke	82	94	100	1986	1986	1993	1964	1958	1969
Stensjöån				1981	1980	2004			
Stenån	91	89	90	1980	2001	2004	1945	1974	1984
Stugsjöbäcken	93			1966	1959	1990	1945		
Stuttjärnsån	95	101		1980	1995		1945	1948	
Styggsjöbäcken	74	82		1991	1995		1970	1973	
Sundsjöån	78	74	83	1979	1994	2002	1968	1980	1982
Svarttjärnsbäck	110	107	101	1966	1979	2011	1935	1948	1959
Svartån - Bollnäs					1973				
Svartån - Ljusd.	86	85	89	1984	1993	2001	1962	1973	1984
Svågan	105	114	124	1983	1974	1959	1938		
Sylån									
Sågtjärnsbäcke	100	86	84	1964	1984	2001	1949	1967	1984
Sånghusån	97	82	88	1977	1993	2004	1949	1973	1984
Sörbyån	93	100	94	1973	1983	1993	1949	1959	1965
Tandsjöån		64	82		1994	2001		1983	1984
Tansbäcken	100	69		1985	1995	1992	1938	1982	
Testeboån	105	102		1948	1973		1938	1948	
Timsån	110	120		1977		1997	1929		
Tolockbäcken	101	106		1979	1982		1941	1948	
Trossnarvsbäck	70	79	91	1986	1986	1997	1973	1979	1969
Flysån	107	104	87	1984	1995	1993			
Tygstabodån	109	97		1984	1986		1939	1958	
Tönsån				1963	1959	1983			
Vallasbäcken	89	97	99	1981	1973	1984	1964	1958	1969
Vinnfarsån	103	104	105	1981	1987	1969	1939	1949	1959
Voxnan, Farfarsudden				1975					
Vålsjöbäcken	98	108	112	1971	1973	1993	1947	1948	
Väst Skogtjärnt	99	105	110	1970	1974	1984	1949	1949	1959
Västerhocklan									
Ålakarsbäcken	102	111	111	1964	1973	1989	1939		
Älpbäcken									
Ångerån	84	74	78	1984	1993	2001	1962	1979	1987





Länsstyrelsen  
Gävleborg

[www.lansstyrelsen.se/gavleborg](http://www.lansstyrelsen.se/gavleborg)