Hertsångersälvens avrinningsområde

– perspektiv på försurningsrisker, metallbelastning, vattenbalans och anpassningar inför klimatförändringar



KLIVA

EUROPEISKA UNIONEN

Interreg Botnia-Atlantica

Europeiska regionala utvecklingsfonden

Hertsångersälvens avrinningsområde

– perspektiv på försurningsrisker, metallbelastning, vattenbalans och anpassningar inför klimatförändringar

Datum: 2023-03-24

Länsstyrelsen Västerbotten, Storgatan 71 B, 901 86 Umeå

www.lansstyrelsen.se/vasterbotten, vasterbotten@lansstyrelsen.se, 010-225 40 00

Huvudansvarig för sammanställningen är Jan Åberg vid miljöanalysenheten, Länsstyrelsen i Västerbotten. Innehållet i rapporten har granskats och utformats i samverkan medarbetare i projektet KLIVA:

Miljökvalitetsnormer, miljömål och globala mål kopplade till arbetet inom modellområdet Hertsångersälven

Arbetet med att samla kunskap om Hertsångersälvens avrinningsområde är en del av en internationell samverkan för att öka kunskapen om förvaltningen av så kallade sura sulfatjordar, som bidrar till vattenkemiska miljöproblem i många kustregioner runt om i världen. Arbetet har relevans ända från det lokala perspektivet till det globala, med beröring mot såväl de nationella miljömålen som de globala Agenda 2030 målen. Ur ett lokalt perspektiv belyser problemen med sura sulfatjordar inte minst hur behovet av produktiv jordbruksmark och skogsmark kan avvägas på bästa sätt mot behovet av robusta och rika ekosystem.

För de områden där sura sulfatjordar bidrar till både fiskdöd och kraftig metallbelastning till sötvatten och hav, bör målsättningen vara att minska miljöproblemen, samtidigt som en lokalt hållbar produktion genom jord- och skogsbruk kan behållas och utvecklas. Arbetet i KLIVA-projektet och modellområdena Hertsångersälven (i Västerbotten) och Toby å (i Österbotten) tar sin utgångspunkt i Agenda 2030-mål nr 12, delmål 12.2 ”Hållbar förvaltning och användning av naturresurser”, och den avgörande betydelsen av ekonomisk och social hållbarhet, för att kunna nå målen som kan kopplas till ekologisk hållbarhet (framförallt målen: 6 Rent vatten och sanitet för alla, 15 Ekosystem och biologisk mångfald, 13 Bekämpa klimatförändringen och 14 Hav och marina resurser). I arbetet inom Hertsångersälven har de sociala aspekterna berörts bland annat genom att i samarbete med Åbo akademi ta fram underlag kring hur ekosystemtjänsterna i området nyttjas av olika sakägare och intressegrupper.

Miljökvalitetsnormen för Hertsångersälvens vattenförekomster är god ekologisk status. Utifrån det nuvarande läget bedöms denna norm i många fall vara mycket svår att uppnå inom den utsatta tidsfristen. De sura sulfatjordarna skapar inte bara stark försurning, utan också kemiska problem som bidrar till att statusen i ett flertal vattenförekomster är sämre än god med avseende på det prioriterade ämnet kadmium och det särskilt förorenande ämnet zink[1]. Utöver det bidrar de sura sulfatjordarna till särskilt svår försurning efter perioder av stark torka, vilket i sin tur gör att miljöproblemet riskerar att förvärras av klimatförändringar.

Arbetet i Hertsångersälven berör i hög grad det så kallade generationsmålet som pekar på att dagens samhälle inte bör lämna miljöproblem till kommande generationer. Om de sura sulfatjordarna förvaltas på ett effektivt sätt, med rätt åtgärder på rätt plats, finns goda chanser till att kommande generationer faktiskt kommer uppleva färre problem än idag från sura sulfatjordar. Arbetet leder till att nå miljömålen: Ett rikt odlingslandskap, Levande skogar, Ett rikt växt och djurliv, Levande sjöar och vattendrag, Bara naturlig försurning, Hav i balans samt levande kust och skärgård, och Ingen övergödning.

1 Följande vattenförekomster har klassningen uppnår ej god med avseende på både kadmium och zink: Flarkån WA80175138, Flarkån WA16326062, Hertsångersälven WA71754969, Jomarksbäcken WA82506916, Kålabodaån WA99370807, Vebomarksån WA38125073, Vebomarksån WA53802476. Källa: https://viss.lansstyrelsen.se.

Sammanfattning av rapportens innehåll

I denna rapport redovisas några av de slutsatser som har dragits av svensk-finska projektet KLIVA:s undersökningar inom Hertsångersälvens avrinningsområde. Rapporten berör försurningsrisker, metallbelastning och vattenbalans, och resonerar kring klimatförändringsscenarios och potentialen för anpassningar inför klimatförändringar.

Det övergripande resultatet är att de sura sulfatjordarna inom Hertsångersälven avrinningsområde innebär ett stort miljöproblem, som kan komma att förvärras av mindre markfuktighet och lägre vattenföring på sommaren. De miljöåtgärder som har potential att dämpa de negativa ekologiska effekterna från sura sulfatjordar har troligen potential att också minska riskerna för klimatrelaterade skadeverkningar i jord- och skogsbruk inom avrinningsområdet.

Innehållsförteckning

1 Inledning....5
2 Material och metoder....7
2.1 Modellområdet Hertsångersälven....7
2.2 Utförda arbeten....7
3 Resultat....9
3.1 Utbredningen av sura sulfatjordar....9
3.2 Vattenkemisk karaktär i huvudfåran och större biflöden....10
3.3 Försurning och sulfatbelastning....12
3.4 Metallbelastning....14
3.5 Fiskförekomsternas komplexitet kopplat till surstötar....18
3.6 Klimatförändringar och kopplingar till vattenbalans....22
3.6.1 Övergripande scenario....22
3.6.2 Risken för torka....23
3.6.3 Påverkas försurningsriskerna vid fortsatta klimatförändringar?....27
3.7 Karaktärisering av torkan år 2018....28
4 Möjligheter till anpassning....30
4.1 Effekter av mer våtmarker....30
4.2 Potentialen för anpassning av diken....31
4.3 Potentialen för anpassning av sänkta sjöar....33
4.4 Potentialen för anpassningar som gynnar både ekosystemen och jord- och skogsbruket....35
4.5 Checklista för åtgärder kopplade till sura sulfatjordar....36
5 Referenser....37
5.1 Kemidata....37
5.2 Övriga referenser....37
Bilaga 1 - Modell för oorganiskt aluminium....39
Bilaga 2 – områdesdata från SMHI:s vattenwebb....41
Bilaga 3 – Hertsångersälvens 63 sänkta sjöar....42

1 Inledning

Klimatförändringar är redan idag statistiskt signifikanta i Sverige. Sedan slutet av 1800-talet märks bland annat ökad medeltemperatur (ca 2 grader), längre vegetationsperiod (två till fem veckor) och en klimatdriven havsnivåförändring på ca 15 cm[2]. En annan statistiskt signifikant förändring är ökad maximal dygnsnederbörd på vintern. Modellområdet Hertsångersälven, som denna rapport fokuserar, är beläget i norra Norrland, där den sistnämnda klimatförändringen är särskilt tydlig, enligt SMHI[3]. Kopplat till detta har just extrema nederbördsmängder nyligen orsakat omfattande skador på både byggnader och vägar inom Hertsångersälvens avrinningsområde, och i andra delar av Västerbottens kustland[4].

Från Hertsångersälven och Västerbotten kustland finns också aktuella exempel på hur akvatiska och terrestra ekosystem har skadats av extremt väder. Den extrema torkan år 2018 ledde till skador på växande skog[7], och missväxt på stora arealer åkermark[8]. Därtill orsakade torkan svåra förhållanden för vattenlivet i ett stort antal sjöar och vattendrag i Västerbottens kustland – inte bara för att många vattendrag torkade ut (Figur 1), utan också pga av att markens djupare skikt oxiderades vilket i vissa områden ledde till bildning av svavelsyra och omfattande fiskdöd (denna effekt är kopplad till sura sulfatjordar, och beskrivs utförligare med start från sidan 12 i denna rapport).



Figur 1: Högforsån, som ingick i KLIVA:s föregångsprojekt FLISIK, var ett av många vattendrag i Västerbotten som torkade ut år 2018. Avrinningsområdet är ca 3400 hektar. SMHI:s beräkningar visar att sommarvattenföringen i norra Norrland i slutet av århundradet riskerar att blir lägre än i dagens klimat, samtidigt som markfuktigheten på sommaren riskerar att i medeltal vara lägre än år 2018 (se kap 3.6).

Klimatförändringar har en så genomgripande påverkan i samhället, att kunskapen om hur effekterna bör hanteras behöver stärkas hos alla aktörer. Frågorna som behöver hanteras är oftast både sektorsöverskridande och gränsöverskridande. Det svensk-finska samarbetsprojektet KLIVA har tagit fasta på detta genom en bred samverkan mellan såväl myndigheter som akademiska institutioner i Sverige och Finland. Huvudfokus för arbetet har varit att samverka kring frågor som berör klimatförändringarnas effekter på hydrologiska processer och ekosystem, kopplat till den regionala produktionen av förnyelsebara råvaror. Projektet har särskilt beaktat kopplingarna mellan de akvatiska ekosystemen och förutsättningarna för jord-och och skogsbruket i områden i Västerbotten och Österbotten med sura sulfatjordar.

2 https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer

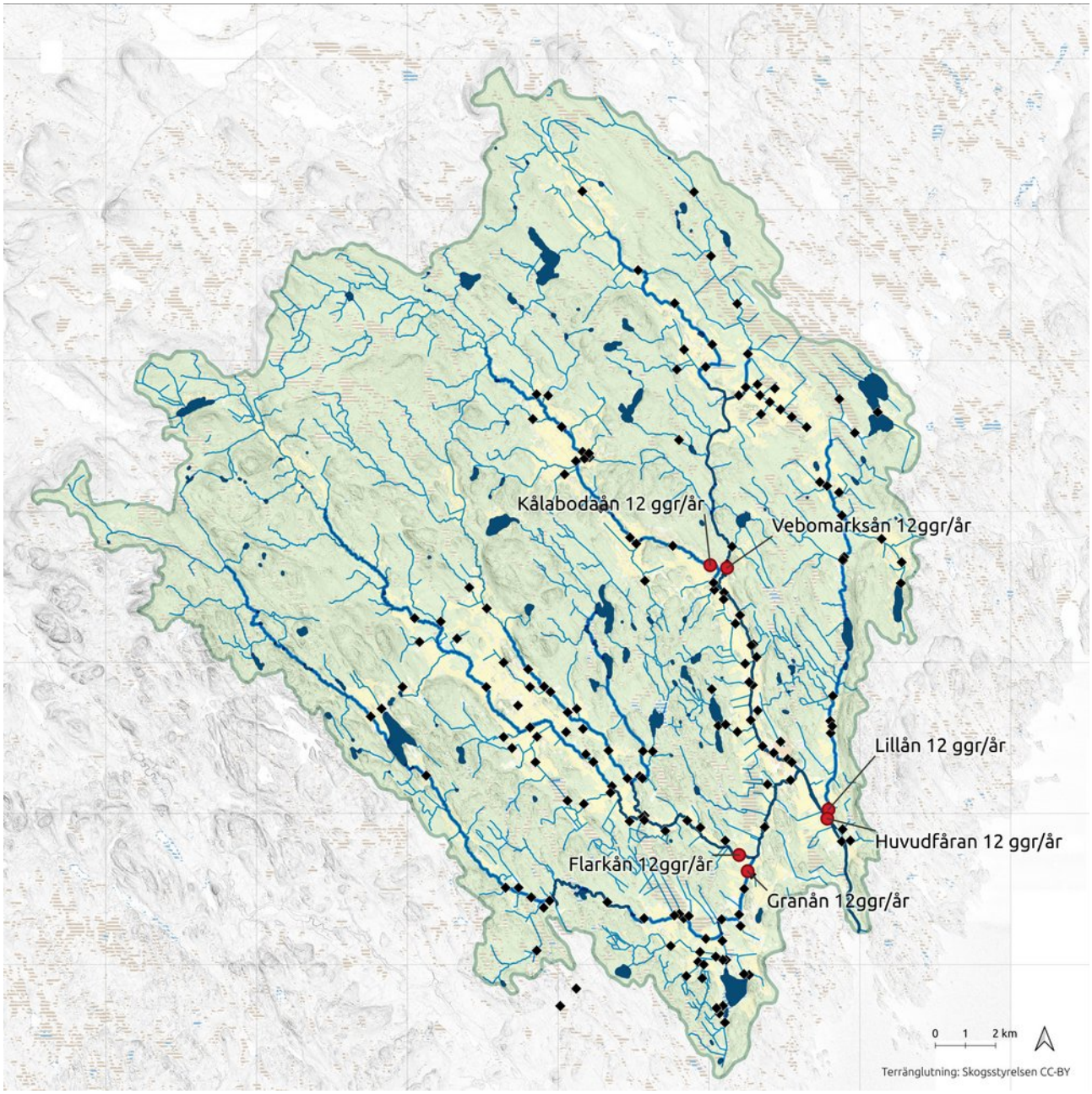
3 ”Det finns en trend att maximal dygnsnederbörd vintertid ökar i alla landsdelar. Tydligast är detta för norra Norrland.” https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-extrem-nederbord-1.29819

4 Enbart snökanonen som drog in över i Västerbottens kustland den 21-23 januari år 2020, bidrog en att ett stort antal byggnader raserades (https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasterbotten/folj-det-senaste-om-snoovadret). . Senare samma år, i början av november 2020, bidrog ett enda kraftigt skyfall över samma område till skador för ca 40 miljoner kr, enbart på trafikverkets del av vägnätet (https://sverigesradio.se/artikel/7601471)

7 https://via.tt.se/pressmeddelande/skogen-fortsatt-forsvagad-efter-torkan-2018?publisherId=415163&releaseId=3273122

8 https://www2.jordbruksverket.se/download/18.21625ee16a16bf0cc0eed70/1555396324560/ra19_13.pdf

Länsstyrelsen i Västerbotten har varit en av KLIVA-projektets nio projektpartners från Sverige och Finland. Projektet har ingått i EU-programmet Interreg Botnia-Atlantica och huvudsakligen jobbat i två avrinningsområden, västerbottniska Hertsångersälven och österbottniska Toby å. Denna rapport beskriver resultat som är kopplade till Hertsångersälven i Västerbotten.



Figur 2: Hertsångersälvens avrinningsområde, de fem huvudbiflödena Granån, Flarkån, Kålabodaån, Vebomarksån och Lillån, samt de huvudsakliga provpunkterna för vattenkemi inom Hertsångersälven i KLIVA-projektet. Röda provpunkter indikerar stationer med regelbunden provtagning (en översikt av data ges i avsnittet 3.2 med start på sidan 10), svarta kvadrater i kartan representerar provtagningen hösten 2020 och 2017 (jfr Figur 9).

2 Material och metoder

2.1 Modellområdet Hertsångersälven

Hertsångersälvens avrinningsområde (SMHI:s huvudavrinningsområde nr 23) är beläget mellan huvudavrinningsområdena Rickleån (24) och Mångbyån (22) i Västerbottens län. Avrinningsområdets yta av 506 km², med en markfördelning enligt följande: ca 80% skogsmark, ca 12% åkermark, ca 2%våtmarker och myrmarker, ca 1% öppna vattenytor, samt ca 5% övrig mark.

Medelflödet (MQ) i Hertångersälvens mynning i Gumbodafjärden är ca 5,8 m³/s, och maxflödet, MQ50, har beräknats till 67,2 m³/s.

Hertsångersälvens fem största biflöden är Granån (93 km²), Flarkån (147 km²), Kålabodaån (79 km²), Vebomarksån (98 km²) och Lillån (50 km²) (Figur 2). I Ånäset sammanflödar de två huvudgrenarna Granån+Flarkån (248 km²) och Vebomarksån+Kålabodaån (194 km²). Tillsammans bildar dessa Hertångersälvens ca 6 km långa huvudfåra. Lillån är det mest kustnära biflödet, som flödar in i Hertsångerälvens huvudfåra knappt 2 km nedströms Ånäset.

2.2 Utförda arbeten

Här nedan följer en kortfattad redogörelse av material och metoder för den del av KLIVA-projektet som berört Hertsångersälven:

1. Vattenkemiska provtagningar en gång per månad i Hertsångersälvens fem biflöden (Figur 2, sidan 6). Alla analyssvar har lagrats i databasen MVM och är därmed fritt tillgängliga via MVM:s hemsida (direktlänk till stationernas data finns i kap 5, sidan 37)
2. Kemisk översiktsprovtagning den 27 oktober 2020, i 192 st provpunkter inom Hertsångersälven. Proverna analyserades av Synlab i Umeå med avseende på pH och konduktivitet.
3. Samverkan med lokala sakägare för att ge information (föredrag m.m.) och erhålla information (lokal ekologisk kunskap och andra erfarenheter), samt genom fältbesök och dialoger i övrigt.
4. Samverkan med projektpartners för att tolka data och insamlad information.
5. Sammanställning och bearbetning av data och information, litteraturstudier för att komplettera projektets data, samt syntes genom denna rapport
6. Handledning av examensarbetet ”Long-Term Impact of Drought on Acid Sulfate Soil Leaching, a Study of Nine Catchment Areas in Sweden and Finland” (Åström 2022)
7. Samverkan med SMHI gällande:
    - ”Klimatpåverkan i Hertsångersälvens avrinningsområde, enligt RCP scenarierna” (Zábori och Vallot 2020)
    - ”Modellering av grundvattennivåer och hydrologiska effektstudier i Hertsångersälvens avrinningsområde − enligt RCP-scenarier” (Zábori, Temnerud, och Vallot 2020)
    - ”Tillrinningsregim i Hertsångersälven” (Zábori 2022)

KLIVA-projektet samverkade därtill också med SMHI (Hjerdt 2022) för att beräkna uthålligheten för två simulerade scenarios: scenario 1996 (ett år med mycket liten vårflod följt av normala temperaturer) och scenario 2018 (ett år med hög vårflod följt av höga temperarturer). Uthålligheten i respektive scenario beräknades med S-HYPE utifrån ett hypotetisk uppehåll i nederbörden som startade den 1 maj. Uthållighet definierades därefter i enlighet med följande:

- antalet dagar som marken kan släppa ifrån sig vatten till växter (antal dagar innan markfuktigheten är för låg för upptag av växter, i detta fall definierat som en markfuktighet på 50 mm från markytan till grundvattenytan)
- antalet dagar som ett enskilt delavrinningsområde bidrar med ytvattenflöde (antal dagar innan den lokala avrinningen stannar upp).
- antalet dagar som vattenföring pågår i avrinningsområdets utloppspunkt (antal dagar innan av tillskottet av avrinning från samtliga avrinningsområden uppströms avstannar).

I avrinningsområden som enbart består av hällmarker eller hårdgjorda ytor är uthålligheten låg, eftersom det saknas magasin som lagrar eller bromsar upp nederbördens väg till vattendraget. Ett avrinningsområde med hög uthållighet kännetecknas av att vatten lagras i t.ex. torv eller annan vattenhållande jord, samt sjöar eller djupa jordlager med hög permeabilitet (oftast isälvsmaterial, som även utgör värdefulla grundvattenmagasin). I vattendrag med hög uthållighet tar det längre tid innan vattnet tar slut i händelse av torka, vilket både gynnar vattenlevande organismer och skapar säkrare förutsättningar för vattenuttag för dricksvatten eller bevattning.

3 Resultat

3.1 Utbredningen av sura sulfatjordar

Aktiva och potentiellt sura sulfatjordar kommer från samma geologiska bildningsmiljö, men har i övrigt ett flertal egenskaper som skiljer dem åt (Figur 3); den mest praktiska tekniska användningen av begreppen utgår från att potentiellt sur sulfatjord ursprungligen är i stort sett pH-neutral, medan aktivt sur sulfatjord har ett pH som är lägre än 4 (Becher, Sohlenius, och Öhrling 2019).

Sulfatjordarna inom Hertsångersälvens avrinningsområde kan återfinnas på höjder upp mot ca 80 meter över havet (vänstra kartan i Figur 4). Detta betyder att vattenkemisk påverkan från sur sulfatjord kan förekomma i vattendragen uppemot ca 25-30 km uppströms havet. En stor andel av de aktiva sulfatjordarna finns på åkermark (röda områden i Figur 4). Samtidigt finns även ganska stora arealer åkermark som inte innehåller sura sulfatjordar (gula områden i Figur 4).

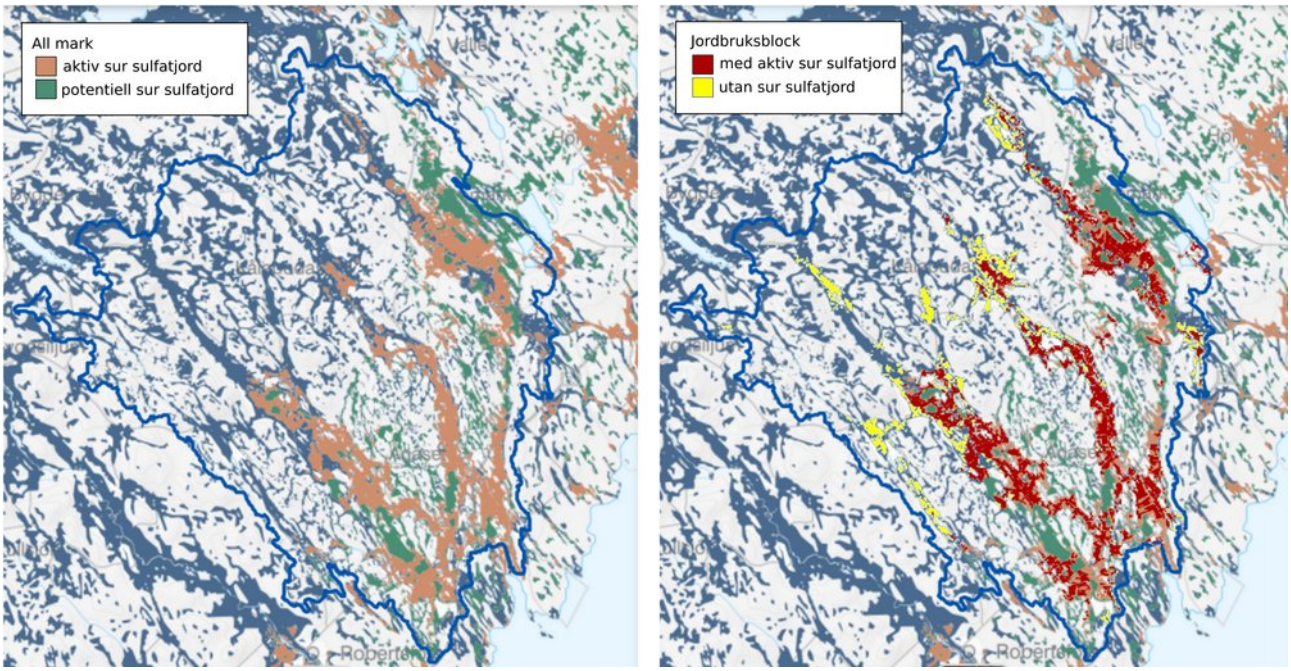


Två typer av sur sulfatjord:

Aktivt sur sulfatjord (SSJ)
- oxiderad, med rost/fällningar
- vanligen pH-värden under 4
- eventuellt svart färginnehåll har genom oxideringen omvandlats till ljusgrå nyanser.

Potentiellt sur sulfatjord (PSSJ)
- syrefri (icke-oxiderad)
- under lägsta grundvattenytan
- pH omkring 7
- ofta svartfärgad i Norrland men även ofärgade varianter påträffas

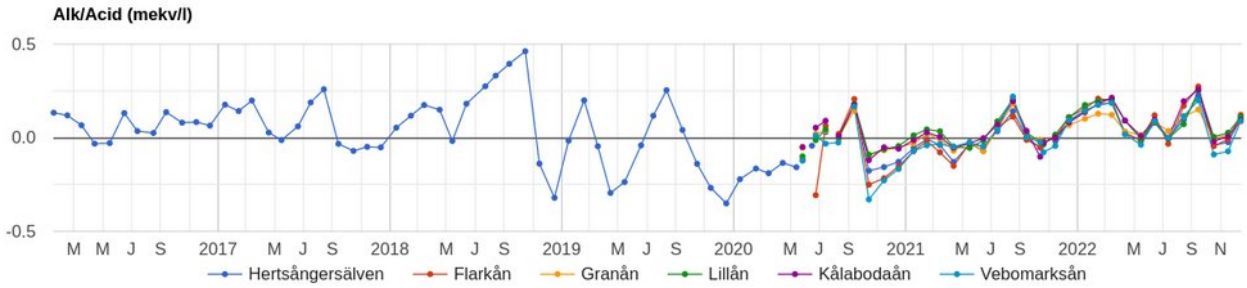
Figur 3: Potentiellt sur sulfatjord omvandlas till aktivt sur sulfatjord vid torrläggning. Bilden visar en jordprofil som innan dikning hade nära neutralt pH från ytan och nedåt. De neutrala pH-värdena finns idag endast under grundvattenytan som ligger djupare än 1 meter under markytan. Foto: Jan Åberg



Figur 4: Till vänster: utbredningen av aktiva och potentiellt sura sulfatjordar inom Hertsångersälvens avrinningsområde. Till höger: jordbruksblock med och utan aktiv sur sulfatjord. Underlag från SGU och Länsstyrelsen i Västerbotten. Nedan: exempel på egenskaper hos de två huvudtyperna av sur sulfatjord.

3.2 Vattenkemisk karaktär i huvudfåran och större biflöden

Hertsångersälvens vatten visar ibland en viss bufferförmåga mot tillskott av syror. Under sådana perioder är parametern alkalinitet/aciditet (alk/acid) större än noll (Figur 5). Under andra perioder försvinner dock bufferförmågan och övergår i aciditet (negativa värden i Figur 5). I mätserien åren 2016-2022 märks en tydligt ökad aciditet efter 2018 års torka (från december 2018 i Figur 5). Genom mätningarna i de fem biflödena kan det fastslås att den största aciditeten kom från Vebomarksån och Flarkån (provpunkternas geografiska position visas i Figur 2).



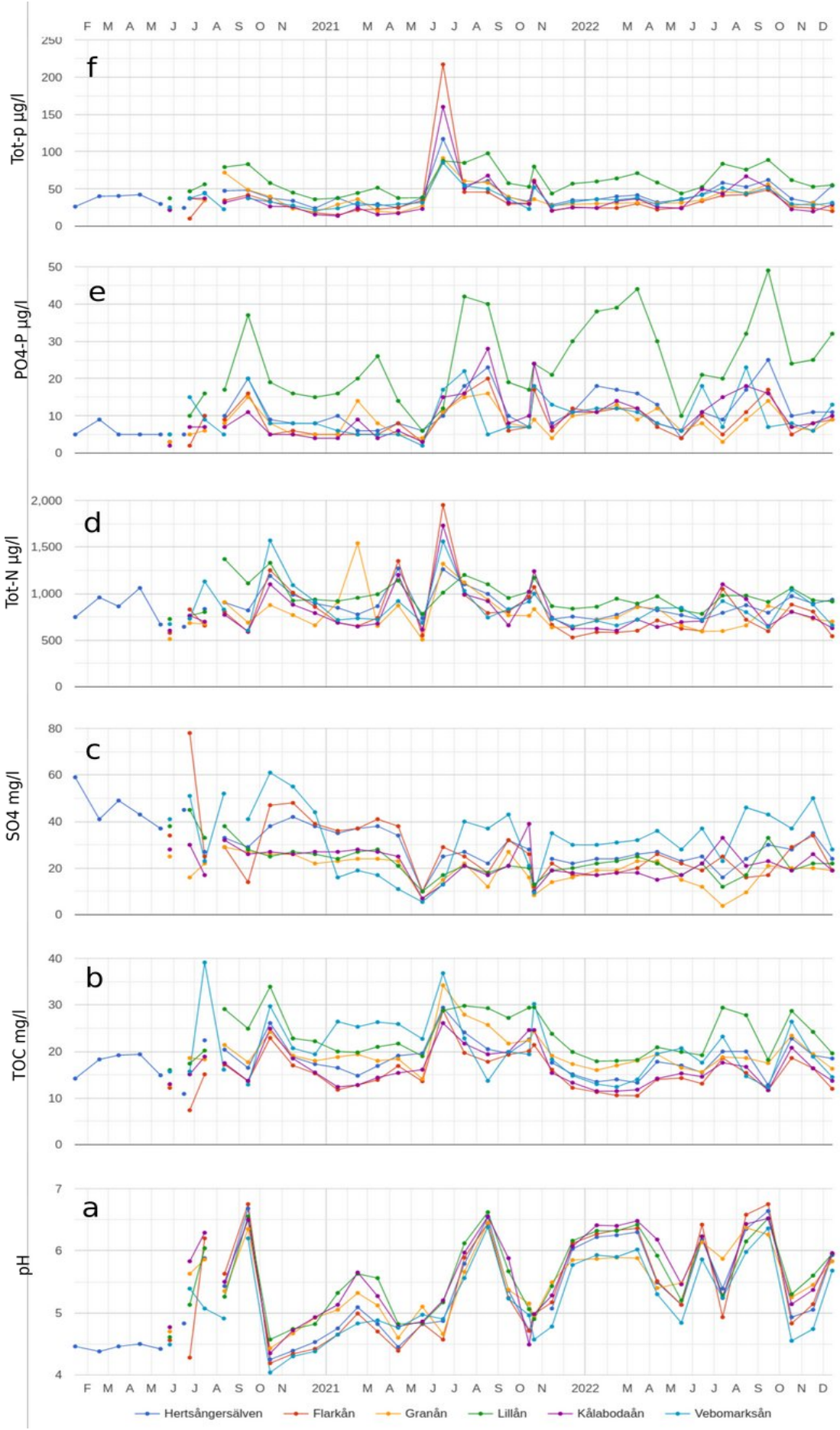
Figur 5: Alkalinitet och aciditet i Hertsångersälven och de fem största biflödena (Positionerna för provtagningsstationerna visas i Figur 2)

De lägsta pH-värdena i biflödena sammanfaller ganska väl med perioderna med hög aciditet. Det lägsta pH-värdet hittills (pH 4,0) uppmättes i Vebomarksån (Figur 6a). Under perioder med hög alkalinitet kan pH-värdena nå nästan neutrala förhållanden (t.ex. pH 6,75 i Flarkån i september 2022; se Figur 6a).

Sulfathalterna har under större delen av perioden 2020-2022 varierat inom intervallet 10-60 mg/l (Figur 6c). Den allra högsta sulfathalten uppmättes i Flarkån (juni 2020), men de bör också noteras att från mitten av år 2021 uppmättes de högsta sulfathalterna nästan alltid i Vebomarksån (Figur 6c). Den allra lägsta halten sulfat under perioden 2020-2021-2022 uppmättes i Granån i juli 2022 (Figur 6c).

Halterna av totalt organiskt kol (TOC) har varierat ganska stort mellan de fem biflödena. Relativt höga halter av TOC (20-40 mg/l) återkom i Vebomarksån, Lillån och Granån, medan Flarkån och Kålabodaån oftast hade halter under 20 mg/l (Figur 6b). De generellt höga TOC-halterna i juni 2021 kan med stor sannolikhet kopplas till jorderosion under en episod med kraftig nederbörd. Jordbruksmarkerna var i detta fall troligen den mest bidragande orsaken till erosionen; år 2021 var nämligen vårbruket ovanligt sent på många gårdar, vilket innebar att stora arealer jordbruksmark var nyligen bearbetad eller nyligen insådd när skyfallen inträffade. De höga TOC-halterna i juni 2021 sammanföll med ökade halter av totalt kväve och totalt fosfor (Figur 6d och Figur 6f) vilket indikerar att erosionen i juni 2021 bidrog med förluster av såväl kol och kväve, som fosfor från avrinningsområdet.

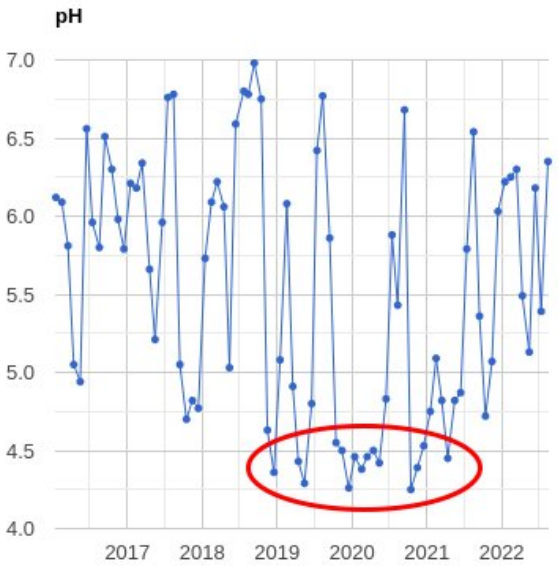
För mer detaljer om vattenkemin kopplat till försurning och metallbelastning se kapitel 3.3 och 3.4.



Figur 6: Vattenkemisk karaktärisering av Hertsångersälvens fem biflöden åren 2020, 2021 och 2022. Data från MVM (2023)

3.3 Försurning och sulfatbelastning

Försurningen i Hertsångerälven domineras av svavelsyran som lakas ut från sura sulfatjordar. Urlakningen är dock inte konstant. När grundvattnets nivå är låg, stannar urlakningen i stort sett upp, så att pH-värdena blir nära neutrala i Hertsångersälvens huvudfåra (Figur 7). Samtidigt är det i detta läge som de sulfider som finns i sura sulfatjordar (t.ex. järnmonosulfid, FeS), exponeras för syre och oxideras till sulfater (SO_4). När sulfaterna därefter exponeras för vatten bildas svavelsyra (H_2SO_4). Under perioder med mycket nederbörd spolas sedan ett kraftigt försurat vatten ut i diken och vattendrag.



Figur 7: Variationer i pH i Hertsångersälvens huvudfåra från januari 2016 till augusti 2022. Efter torkan år 2018 inträdde en *drygt två* år lång period med återkommande mycket låga pH-värden. Datakälla: Miljödata-MVM (2022).

År 2018 var en ovanlig torr sommar, vilket ledde till en extra kraftig oxidation av de sura sulfatjordarna i Hertsångersälvens avrinningsområde. När vattennivåerna i Hertsångersälven steg i slutet av 2018 inleddes en drygt två år lång period med mycket kraftigare försurning än de föregående åren (Figur 7). Under denna period skedde en radikal försämring av livbetingelserna för många vattenlevande djur i Hertsångersälven och dess biflöden.

Det tillgängliga förrådet av sulfat i den översta metern av sulfatjorden kan uppgå till ca 900-2400 ton sulfat per hektar[9]. Den högsta urlakningen från kärnområden är dock sällan mer än ca 250 mg/l (jfr Figur 9) – detta motsvarar en urlakning med 0,9 ton sulfat/ha/år, vilket i många fall mindre än en tusendel av det tillgängliga förrådet i den översta metern av markprofilen[10].

Den årliga atmosfäriska depositionen av sulfat i norra Sverige bidrar i dagsläget till att halten av sulfat teoretiskt sett ökar med ca 0,5 mg/l i sjöar och vattendrag, inklusive Hertsångersälven[11]. Årsmedelhalterna av sulfat i Hertsångersälven under perioden 2017-2021, var dock mycket högre än så, med halter mellan 22-51 mg/l (Tabell 1) – vilket motsvarar ca 41-101 gånger det årliga atmosfäriska nedfallet av sulfat. Under perioden 2017-2021 var totala transporten av sulfat i Hertsångersälvens mynning mellan 4 355 och 10 765 ton sulfat per år (8,6-21,3 ton/km²/år) (Tabell 1).

Tabell 1. Medelhalter och flöden a av sulfat i Hertsångersälven under perioden 2017-2021.

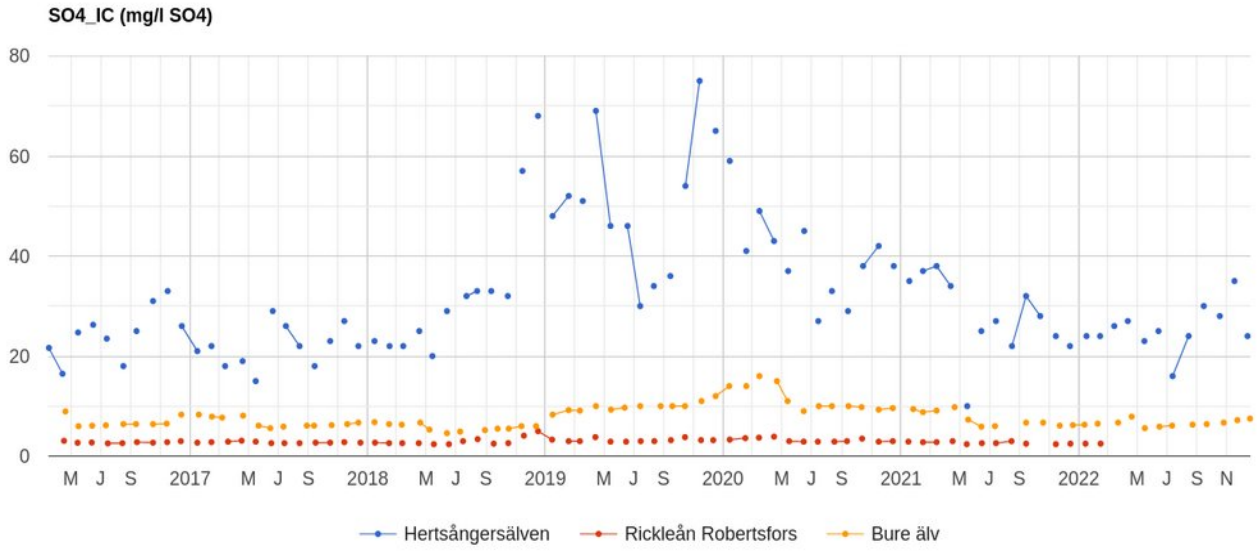
År	Sulfat (mg/l)	Q (m³/s)	Ton/år	Ton/km²/år
2017	22	6,32	4355	8,6
2018	33	4,51	4697	9,3
2019	51	5,36	8542	16,9
2020	40	8,51	10765	21,3
2021	28	9,16	8046	15,9

9 Halten svavel i sur sulfatjord kan uppgå till 2-4 g/kg, vilket motsvarar 300-600 ton svavel och 900-2400 ton sulfat, per hektar av den översta metern av markprofilen.

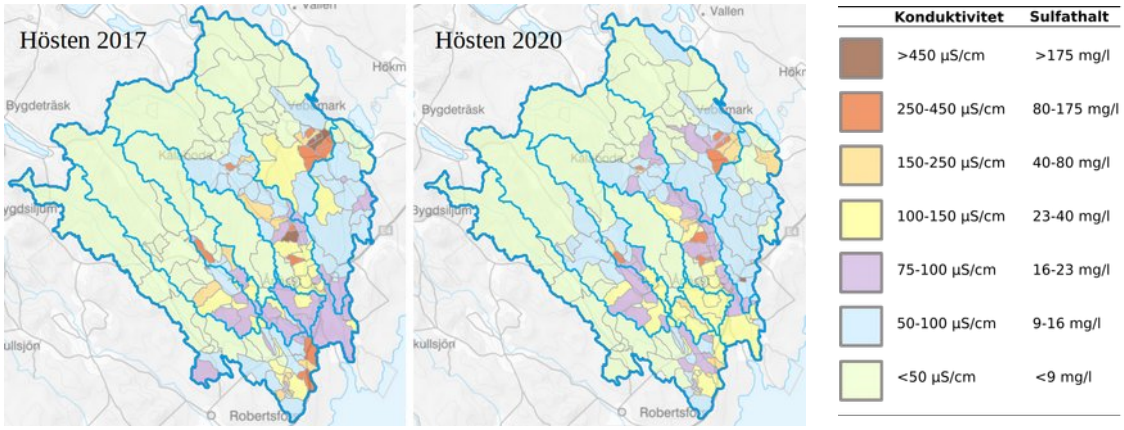
10 Medelårsavrinningen är 362 mm (SMHI-data), vilket motsvarar 3620 m³ avrinnande vatten/ha. Vidare är 250 mg/l = 250 g/m³, vilket innebär att innehållet av sulfat i 3620 m³ är 905 000 gram, eller 0,905 ton.

11 Omräknat från nedfallet 0,71 kg S/ha, källa https://sverigesmiljomal.se/miljomalen/bara-naturlig-forsurning/nedfall-av-svavel/#0). Omräkning till SO4/ha → 0,71 x (96/32) → 0,213 ton SO_4/km², eller 109 ton SO_4 per år från hela avrinningsområdet som är 50 600 ha.

Sulfathalten i Hertsångersälvens huvudfåra har under de senaste åren pendlat mellan ca 15 och 75 mg/l (Figur 8). Detta är ca 5-25 ggr högre än medelvärdet för Rickleån i Robertsfors under samma period (Figur 8). Sulfathalterna varierar också i stort grad mellan Hertsångersälvens olika biflöden. I diken som får det mesta av sitt vatten från sura sulfatjordar kan halterna stiga uppemot 750 mg/l[10], medan sulfathalterna i delavrinningsområden som saknar sura sulfatjordar kan ha halter ner mot 1-2 mg/l. Den geografiska variationen i sulfathalt mellan olika delavrinningsområdena inom Hertsångerälven redovisas i Figur 9.



Figur 8: Hertsångersälven uppvisade sulfathalter inom intervallet 15-35 mg/l från 2016 fram till slutet av torkan i november 2018. Efter torkan uppmättes toppar uppemot 70-75 mg/l. Rickleåns halter låg mestadels omkring 2-3 mg/l, eller ca 5-25 ggr lägre än i Hertsångersälven. Rickleåns högsta halt, 5 mg/l, uppmättes i december 2018. I Bureälven låg halten under 10 mg/l under större delen av perioden, men ökade till 16 mg/l den 16 mars 2020. Datakälla: Miljödata-MVM (2023).



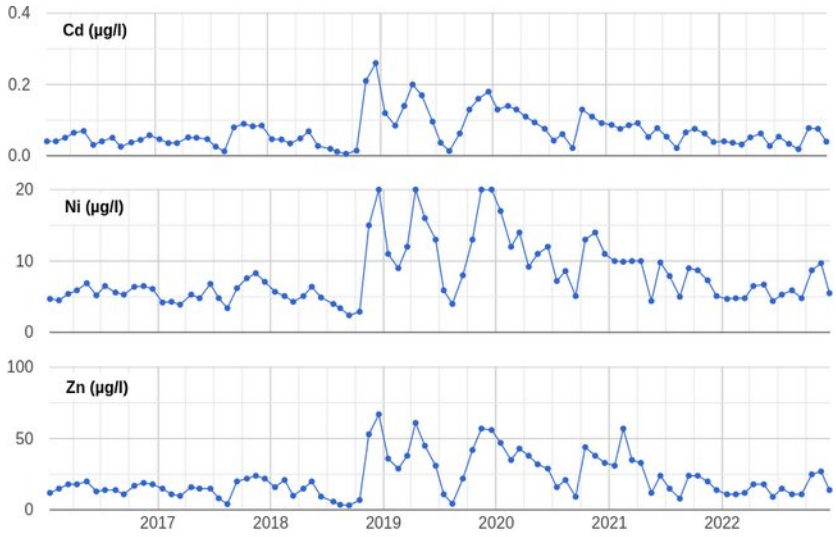
Figur 9: Skillnader i konduktivitet och beräknad sulfathalt mellan olika delavrinningsområden inom Hertsångersälven. Kartan baseras på ca 180 fältmätningar av konduktivitet, som utfördes under en och samma dag vid normalt högflöde hösten 2017 och extremt högflöde hösten 2020. Sulfathalten beräknades i enlighet lokal konduktivitetsmodell (Åberg 2019b)**.**

10 Dike D8 i torrlagda Västervikssjön, ett par mil söder om Hertsångersälven, se Tabell 5 i Bilaga 1.

3.4 Metallbelastning

Höga metallkoncentrationer i Hertsångersälven är till allra största del korrelerad till de sura sulfatjordarna (Åberg 2019b). Nickel, kadmium och zink är några exempel på ämnen som finns i förhöjda koncentrationer (Figur 10).

Under perioden 2016-2022 i Hertsångersälven, var halterna kadmium, nickel och zink särskilt höga de första åren efter torkan år 2018 (Figur 10). Kopplat till detta, samt delvis även variationer i vattenföring, uppvisade den totalt metalltransporten relativt stora skillnader mellan olika år (Figur 11). Det bör också noteras att metalltransporten per km² var betydligt högre i Hertsångersälven än i närliggande Rickleån, som påverkas endast marginellt av sura sulfatjordar (Figur 11).



Figur 10: Halter av kadmium (Cd), nickel (Ni) och zink (Zn) i Hertsångerälvens huvudfåra under perioden 2016-2022. Data från MVM (2023).

Trots att åtminstone kadmium och zink tidvis uppträder i halter som bedöms kunna vara biologiskt skadliga i flera av vattenförekomsterna i Hertsångersälven[12] bidrar dessa sannolikt inte till akut fiskdöd i Hertsångersälven. Däremot skadar de troligen andra vattenlevande organismer, vilket i sin tur ger effekter i de näringskedjor som indirekt påverkar fiskpopulationer[13]. Det ämne som är tydligast kopplat till fiskdöd är istället oorganiskt aluminium (läs mer om hur fiskarna påverkas på sidan 18).

Oorganiskt aluminium har i denna rapport beräknats med hjälp av parametrarna pH och totalt aluminium i enlighet med modellen som beskrivs i Bilaga 1 (sidan 39). Att använda beräknade halter motiveras av att modellen har en mycket hög förklaringsgrad för Hertsångersälven och liknade vattendrag i Västerbotten med hög aciditet från svavelsyra (justerat R^2-värde = 0,977).

12 Följande vattenförekomster har klassningen *uppnår ej god* med avseende på både kadmium och zink: Flarkån WA80175138, Flarkån WA16326062, Hertsångersälven WA71754969, Jomarksbäcken WA82506916, Kålabodaån WA99370807, Vebomarksån WA38125073, Vebomarksån WA53802476. Källa: https://viss.lansstyrelsen.se

13 Ett närliggande exempel kommer från tiden då fabriker i Robertsfors släppte ut metaller i Rickleån. Under den perioden slogs reproduktionen av lax och öring ut, trots att metallerna inte var akut giftiga för fiskarna. Däremot var metallerna giftiga för den grupp insekter som fiskynglen behövde för att klara sin uppväxt (Södergren 1974)

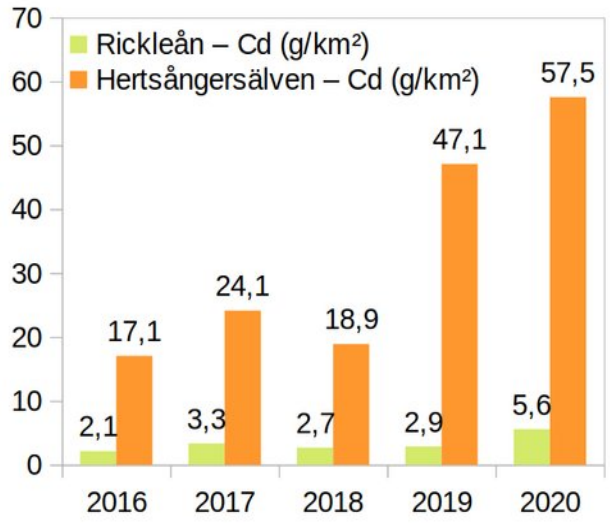
I Hertsångersälvens huvudfåra skedde en tiodubbling av halten oorganiskt aluminium efter torkan 2018:

- Medelhalten för perioden januari 2016 till och med oktober 2018 (innan torkan) beräknades till 54 µg/l (n=34; median=16; min=1,1 max=297),
- Medelhalten för december 2018 till juni 2021 (efter torkan) beräknades till 500 µg/l, dvs i stort sett en tiodubbling (n=32; median=421; min=2,4; max=1541).

Den högsta beräknade halten av oorganiskt aluminium i Hertsångersälvens huvudfåran, 1541 µg/l, inträffade i januari 2020 (Figur 12)

För Hertsångersälvens fem huvudbiflöden beräknas den biologiskt kritiska halten 100 µg/l oorganiskt aluminium (se kap 3.5) ha överskridits vid flera tillfällen sedan starten av de månatliga mätningarna i maj 2020 (Figur 12). Under exempelvis högflödet den 15 oktober 2020 beräknades halten ligga omkring 422 µg/l i Lillån – som vid den tidpunkten hade den lägsta halten av de fem biflödena – medan den beräknades till hela 1996 µg/l i Vebomarksån (Tabell 3).

Under år 2022 verkar försurning-seffekterna av torkan 2018 slutligen ha klingat av, med halter av oorganiskt aluminium som påminner om perioden 2016-2018. Skillnaden mellan de fem biflödena är dock alltjämt ganska stor, där både Flarkån och Vebomarksån beräknades ha haft värden uppemot 200 µg/l, medan både Granån och Lillån beräknas haft halter under 100 µg/l från november 2021 och framåt (Tabell 3).



Figur 11: Metalltransporten varierar mycket mellan olika år. Samma mönster som ovan gäller även för nickel, zink, mangan m.fl. metaller som i Hertsångersälven korrelerar med sulfatbelastningen från sura sulfatjordar.

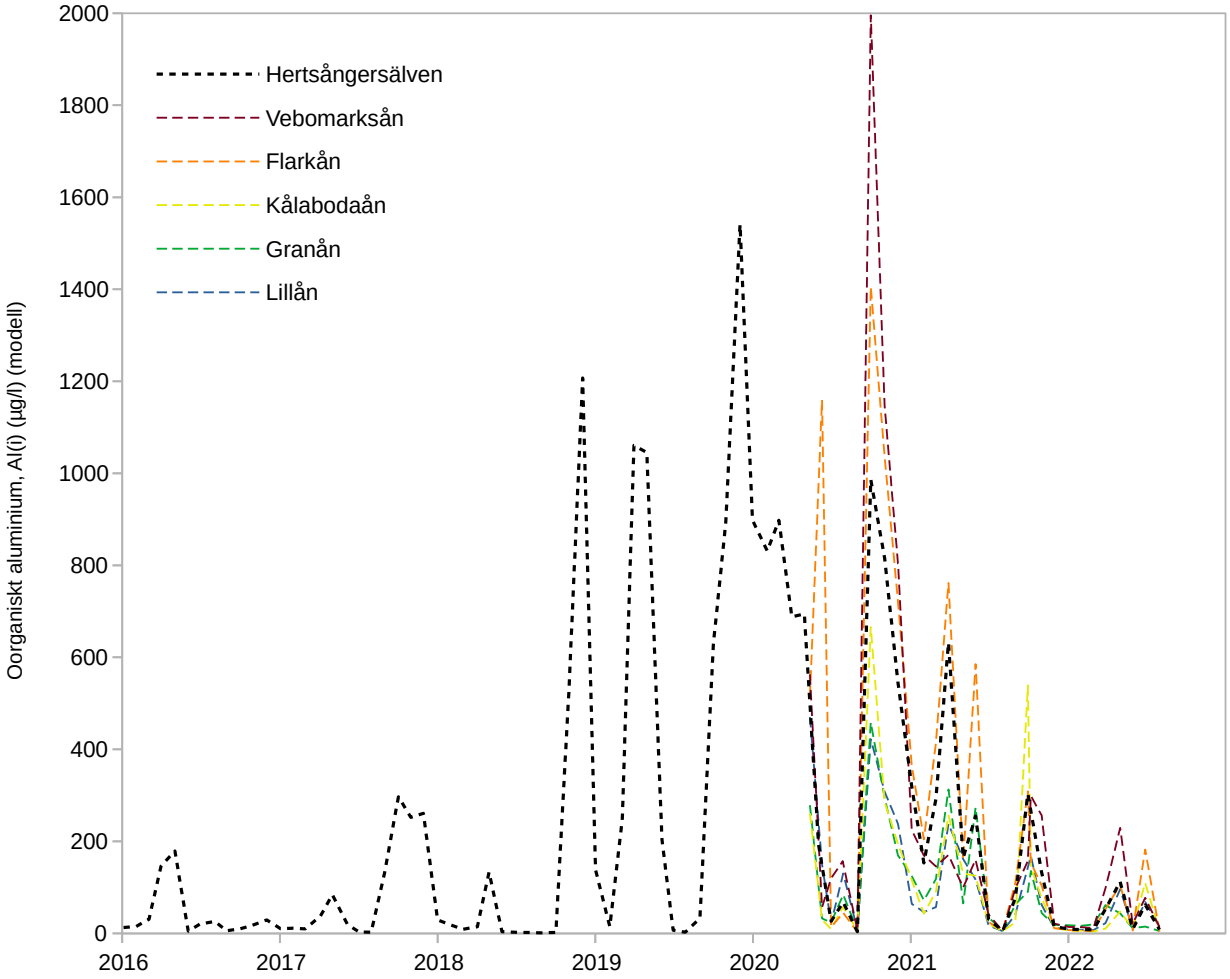
En milligram per liter av ett ämne i Hertsångersälven motsvarar ca 300 000 kg per år

Tabell 2. Årsmedelhalter och årsmedelflöden av aluminium för Hertsångersälven.

År	Al (mg/l)	Q (m³/s)	Ton/år	Ton/km²/år
2017	0,8	6,32	157	0,3
2018	0,9	4,51	125	0,2
2019	1,8	5,36	303	0,6
2020	1,8	8,51	484	1,0
2021	1,1	9,16	329	0,7

Medelflödet Q (m³/s) och medelkoncentrationen i mg/l (g/m³) används för beräkna flöden av massa. Genom att multiplicera dessa två faktorer erhålls antalet gram per sekund, som i sin tur multipliceras med antalet sekunder per år (31 557 600). Antalet gram per år divideras slutligen med antalet gram per ton (1 000 000). Beräkningen av aluminiumtransporten för år 2017 i Tabell 2, ser ut enligt följande:

(0,8 g Al/m³ • 6,32 m³/s • 31 557 600 s/år) / 1 000 000 = 157 ton/år



Figur 12. Oorganiskt aluminium i Hertsångersälven under perioden januari 2016 till augusti 2022, samt dess dem huvudbiflöden under perioden maj 2020 till augusti 2022. Värdet för oorganiskt aluminium har beräknats med hjälp av parametrarna pH och totalt aluminium i enlighet med modellen som beskrivs i Bilaga 1 (sidan 39). För exakta siffror och datum från maj 2020, se Tabell 3.

Tabell 3. Oorganiskt aluminium i Hertsångersälven och dess fem huvudbiflöden under perioden maj 2020 till augusti 2022. Halter under 100 µg/l markeras med blå till gul färg, medan halter över 100 µg/l markeras från gult till rött. Värdet för oorganiskt aluminium har beräknats med hjälp av parametrarna pH och totalt aluminium i enlighet med modellen som beskrivs i Bilaga 1 (sidan 39).

Provdatum	Granån	Flarkån	Kålabodaån	Vebomarksån	Lillån	Hertsångersälven
2020-05-27	279	516	261	563	470	
2020-06-16						193
2020-06-24	32	1159	30	56	150	
2020-07-15	24	14	9	120	22	26
2020-08-11				157		
2020-08-12	84	45	58		130	68
2020-09-14	6	3	5	7	7	4
2020-10-15	459	1405	666	1996	422	986
2020-11-16	295	1038	286	1147	308	816
2020-12-17	170	721	194	804	238	545
2021-01-18	124	364	116	225	64	318
2021-02-15	72	204	43	169	46	153
2021-03-15	118	414	91	146	57	293
2021-04-13	313	762	256	170	238	632
2021-05-17	65	160	131	100	162	164
2021-06-15	274	585	125	160	117	255
2021-07-15	35	24	21	41	17	31
2021-08-17	6	6	4	5	5	5
2021-09-15	63	110	24	98	41	77
2021-10-14	90	309	539	157	143	303
2021-10-21	135	154	145	299	168	
2021-11-15	44	104	77	256	62	131
2021-12-14	19	11	13	21	13	15
2022-01-17	18	7	6	14	8	9
2022-02-14	16	6	6	14	8	8
2022-03-15	19	6	4	12	7	8
2022-04-12	61	53	10	98	22	53
2022-05-16	44	105	47	229	96	112
2022-06-14	11	6	11	21	11	9
2022-07-13	15	182	110	77	68	62
2022-08-15	5	4	7	14	14	8

3.5 Fiskförekomsternas komplexitet kopplat till surstötar

Låga pH-värden försvårar livbetingelserna bland annat för de vattendjur som har gälar (fiskar, grodyngel, vissa vatteninsekter m.fl.). Orsaken till det är att syrorna i vattnet omvandlar aluminium till en löst form som sätter sig som en fällning på gälarna, vilket i sin tur leder till sämre syreupptagningsförmåga – och i förlängningen kvävning. Nedanstående exempel från Lövånger år 1933 beskriver hur fiskarna i en mycket fiskrisk sjö påverkades under en surstöt från sura sulfatjordar som just torkat upp pga en kraftig sjösänkning:

> *”Vid undersökning fann J., att fiskarnes gälhålor voro fyllda av slem, och att det var detta,som kvävde dem, visade ett av honom företaget experiment. Han plockade upp några halvdöda abborrar, rensköljde deras gälar och släppte dem i vattnet, då de genast kvickt simmade bort. Till en början syntes de stora fiskarna mera motståndskraftiga, men så en dag kunde han från båten eller vadande ut i vattnet med händerna ta upp ansenliga gäddor samt stor braxen, som låg och flämtade i vassen.”* Citatet är hämtat från Lövångersbokens kapitel ”Fiskar” (Holm 1942), och handlar om massfiskdöden som skedde efter Gärdefjärdens sänkning år 1933.

En rimlig tolkning av forskningen är att 100 µg/l oorganiskt aluminium i de flesta fall kan vara en starkt skadlig halt för fisk om den pågår långvarigt (Laudon m.fl. 2005; Andrén 2012). Det är samtidigt viktigt att notera att flera olika andra faktorer påverkar hur olika fiskarter uppträder i försurade områden av den typ som Hertsångersälven representerar. Dessa faktorer är exempelvis att:

- surt vatten med humus ökar fiskarnas tålighet mot aluminium (Laudon m.fl. 2005);
- yngel och små fiskar är känsligare än vuxna fiskar (vilket t.ex. framgår av citatet ovan);
- t.ex. öring kan utveckla genetiska anpassningar till sura förhållanden (Dalziel m.fl. 1995);
- vissa arter är generellt tåliga mot surt vatten (gäddor är t.ex. tåligare än karpfiskar);
- vissa arter överlever bättre för att deras yngel utvecklas under perioder som vanligtvis inte är sura (föryngringen av mört kan t.ex. fungera förvånansvärt bra eftersom rommen läggs efter vårflodens surstöt och att ynglen kan hinna simma till skyddade miljöer innan surstöten på hösten);
- vissa andra arter är känsliga för att deras rom ligger i vattendraget en lägre period (t.ex. öring och lake, vars rom ligger i vattendraget under vintern).

Förekomsten av olika fiskarter i Hertångerälvens avrinningsområde påverkas också av att det finns en stor geografisk variation i försurningen. Flera områden är t.ex. helt opåverkade av sulfatjordsförsurning. Detta förklarar varför den försurningskänsliga braxen kan överleva i Aron-Olsaträsket, Labbträsket och Broträsket, och varför det finns mört i Ultervattnet, Trehörningen, Holmsjön och båda Risvattnet-sjöarna (Figur 13). Även de reproducerande bestånden av öring, i delar av Granåns, Flarkåns och Kålabodaåns översta lopp, kan förklaras av att påverkan från sura sulfatjordar är i stort sett obefintlig. De nedersta loppen av samtliga biflöden till Hertsångersälven är däremot i medeltal mycket kraftigt påverkade av sura sulfatjordar, särskilt vid höga vattenflöden och efter torra somrar. Dessa områden är därför, kemiskt sett, mycket sämre miljöer för fiskarna (Figur 13, Figur 14). Inte desto mindre finns ett flertal observationer av försurningskänslig fisk även

i de sulfatjordspåverkade delarna av Hertsångersälvens avrinningsområde. Här nedan listas några av dessa:

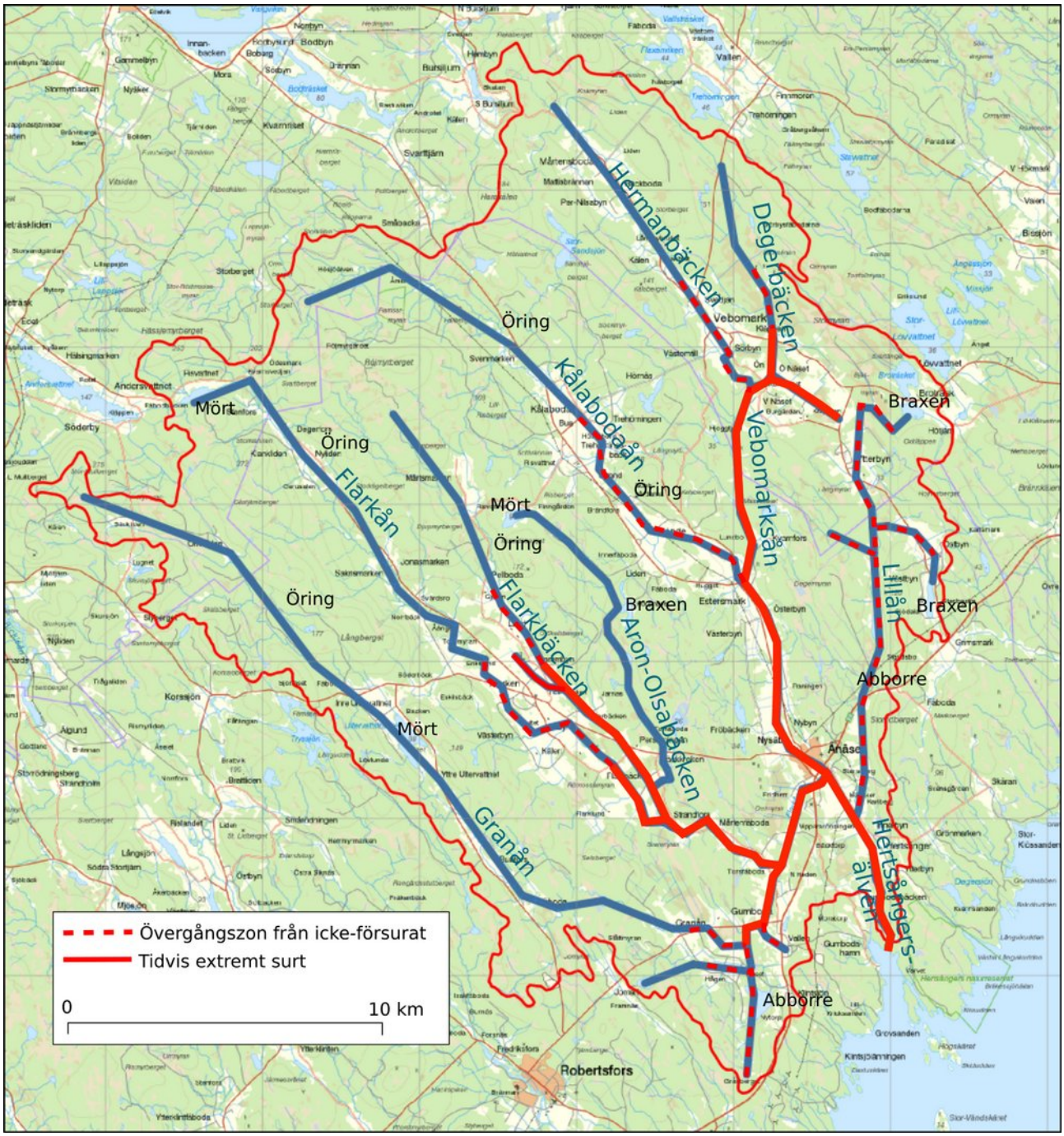
- **Lake**: Vid lågflöde på hösten 2014 fångades ett flertal lakar i både i Flarkån och Kålabodaån i höjd med Ånäset; därtill även två lakar i Granån vid Buafors (Åberg 2019b). Två år senare, i början av september år 2016, dominerades Hertsångersälvens DNA-profil av just lake (Naturhistoriska riksmuseet 2016).Våren 2018 fanns däremot inga DNA-spår av lake i Hertsångersälvens huvudfåra, vilket kan tyda på att förekomsten av lake är kopplad till migration på hösten, kanske från havet. Våren 2018 fanns DNA från lake i Fröbäcken, som får sitt vatten från den relativt fiskrika Holmsjön, och som mynnar i Kålabodaån strax uppströms Ånäset (Hellström m.fl. 2018).
- **Flodnejonöga**: DNA-provet våren 2018 visade ”riklig” (4 på en skala 1-4) mängd DNA från nejonöga i Hertsångersälvens huvudfåra (Åberg 2019a). Enligt muntliga uppgifter har nejonöga påträffats vid ett byte av en vägtrumma i Hermanbäcken i Vebomark.
- **Öring:** DNA-spår av öring fanns Hertsångersälvens huvudfåra såväl hösten 2016 (Naturhistoriska riksmuseet 2016) som våren 2018 (Åberg 2019a). Detta kan tyda på förekomst av havsöring, eftersom öringyngel sannolikt varken överlever eller hittar föda i de nedre loppen av Kålabodaån, Flarkån och Lillån. En öring observerades hösten 2014 utanför en provfiskeryssja i Kålabodaån i höjd med Gubbgårdarna (Peter Lilja, muntl.).
- **Mört**: Två mörtar fångades i en provfiskeryssja i Flarkån vid Strandfors i september år 2014 (Åberg 2019b). Mört-DNA har därtill kunnat kopplas till Hertsångersälvens huvudfåra, dock med en mycket liten andel i Hertsångersälvens DNA-profil år 2018, jämfört med Rickleåns och Dalkarlsåns DNA-profiler vid samma tid (Åberg 2019a). Nätprovfiske i Hertsångersälvens estuarie (Gumbodafjärden) år 2014 gav också fångst av mört, fast i betydligt mindre mängd än i Rickleåfjärden och Dalkarlsåfjärden/Bygdeåfjärden som provfiskades samtidigt (Åberg 2019b). Mört-DNA har också kunnat kopplas till Båtsjön och Klintsjön våren 2018, och i det fallet var andelen liten i förhållande till gädda och abborre (Hellström m.fl. 2018), vilket antyder att mörtens reproduktion var negativt påverkad i både Båtsjön och Klintsjön (dvs redan innan effekterna av torkan år 2018) Normalt sett brukar mörten dominera biomassan i denna typ av näringsrika sjöar som Båtsjön och Klintsjön representerar.
- **Stensimpa**: Våren 2018 dominerades DNA-profilen för Hertsångersälven av stensimpa (Hellström m.fl. 2018) vilket är ett förvånande resultat för ett så kraftigt försurat vatten, men däremot normalt för icke-försurade vatten som t.ex. Rickleån. Resultatet bedöms dock som trovärdigt eftersom ett tydligt inslag från Stensimpa också fanns i DNA-prov som togs år 2016 i Hertsångersälvens huvudfåra (Naturhistoriska riksmuseet 2016). Våren 2018 fanns svaga DNA-spår av stensimpa också i Båtsjön och Klintsjön (Hellström m.fl. 2018), vilket även det var förvånande, men i linje med andra observationer som visar att stensimpan inte enbart förekommer i forsar utan också i sjöar.

Sammantaget visar dessa olika observationer att så länge aluminiumhalterna inte är kritiskt höga (framförallt vid låg vattenföring), så överlever en del av de fiskar som ”råkar” simma även till de mest försurningspåverkade vattendragen. De omgivande icke-försurade vattenmiljöerna, fungerar som rekryteringsområden för dessa fiskar. Akut giftiga nivåer av oorganiskt aluminium (för fiskar) återkommer relativt ofta i de nedre delarna av Hertsångersälvens avrinningsområde, vilket leder till att de fiskbestånd som trots allt kan etableras blir svaga. De fiskfattiga och fisktomma sträckorna

vid provfisket år 2014 i Hertsångersälvens avrinningsområde (Åberg 2019b) sammanfaller t.ex. väl med de sträckor som har de allra lägsta pH-värdena (och högsta halterna av oorganiskt aluminium) (Figur 13).

Slutligen är det också viktigt att notera att extremt torra somrar kan förskjuta den ekologiskt sköra situationen till långvarigt ännu sämre förhållanden. Den svåra torkan år 2018 ledde exempelvis till ett kemisk omslag som pågick i flera år (jämför t.ex. Figur 12 och Tabell 3). Effekten på fiskbestånden av denna händelse studerades inte specifikt inom KLIVA-projektet, men genom observationer från andra projekt kan vissa slutsatser dras ändå:

- Det relativt fiskrika sulfatjordsvattendraget Dalkarlsån några mil söder om Hertsångersälven studerades med hjälp av eDNA både före och efter torkan 2018. Resultatet visade att det ini-



Figur 13: Schematisk uppskattning av hur surstötar (tidvis extrem försurning) från sura sulfatjordar påverkar de större vattendragen, samt exempel på fiskförekomster.

tialt rika mörtbeståndet minskade mycket kraftigt, med trolig koppling till de surare förhållandena (Åberg 2019a).

- DNA-prov våren 2019, gjordes strax uppströms Lillåns utlopp mot Hertsångersälven, med syfte att följa upp det spår av harr, som upptäcktes där våren 2018. Inget spår av harr fanns kvar, men däremot ett spår som dominerades av abborre (ca 80% av träffarna), följt av mindre mängder gädda, gärs och mört (Åberg, opublicerade data).
- Enligt muntliga uppgifter till KLIVA-projektet ska fiskbeståndet i Klintsjön ha minskat kraftigt efter de surare förhållanden som inleddes i november 2018, men i övrigt saknas till stor del säkra uppgifter på effekterna på fiskbestånden.

Sammantaget tyder detta på att torkan år 2018 ledde till att de fiskfattiga sträckorna i Hertsångersälven bredde ut sig längre uppströms, och att fiskbestånden i Gumbodafjärden påverkades mera negativt än jämfört med perioden innan. Det är också troligt att den uppvandring av lake, flodnejonöga och eventuellt havsöring, som fram till 2018 skedde från havet, kan ha påverkats negativt under åren 2019-2021 pga den extrema kemin i vattnet. Från och med hösten 2022 är de kemiska förhållandena återigen på ungefär samma nivå som innan torkan.

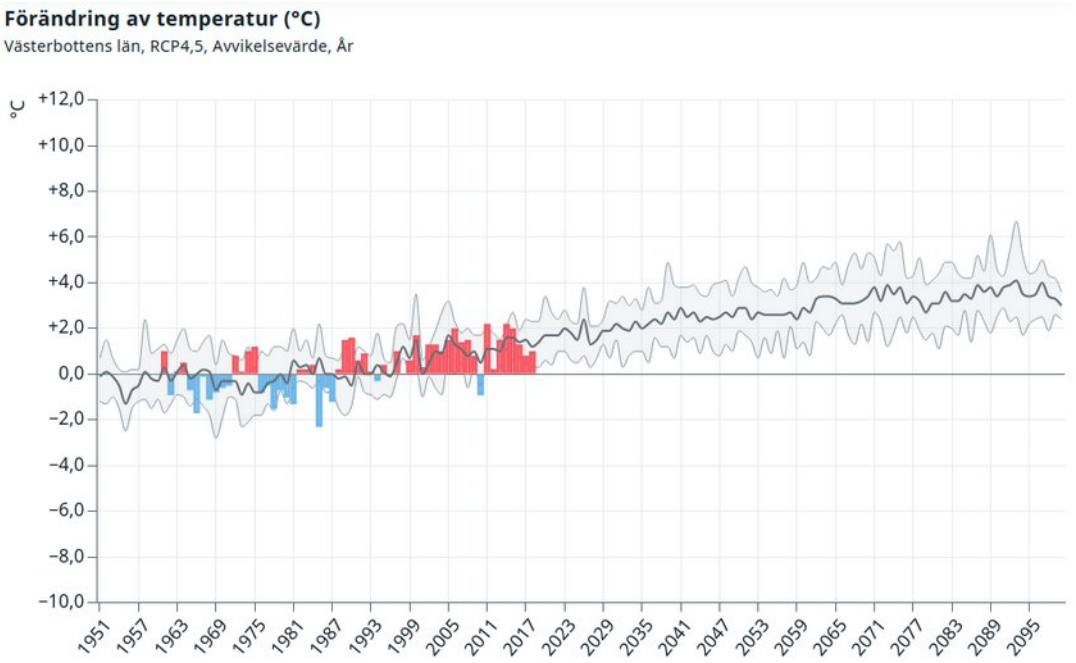


Figur 14: Kålabodaån i Estersmark mellan Brände och Ånäset representerar en av de sträckor inom Hertsångersälvens avrinningsområde där det saknas livskraftiga fiskbestånd. Foto: Jan Åberg 2018.

3.6 Klimatförändringar och kopplingar till vattenbalans

3.6.1 Övergripande scenario

RCP1,9 är det utsläppsscenario som ligger i linje med målsättningen med Parisavtalet (max 1,5 graders global uppvärmning). En effektiv global klimatpolitik för att nå detta mål har hittills inte kunna genomföras, och den nuvarande utsläppstrenden pekar snarare mot ett scenario som hamnar på RCP4,5. Om emissionerna av växthusgaser fortsätter i linje med scenarierna RCP4,5 eller RCP8,5 beräknas medeltemperaturen fram till år 2100 ha stigit med 5-8 grader för januari och 3-4,5 grader för juli inom Hertsångersälvens avrinningsområde (SMHI 2022).



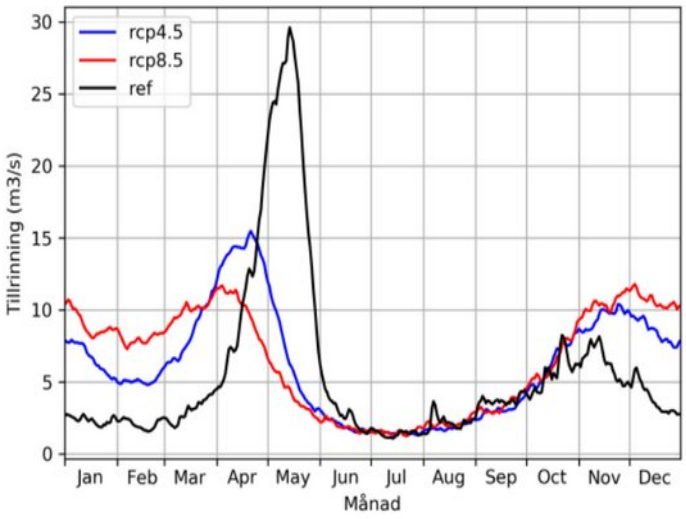
Figur 15: Beräknad förändring av medeltemperaturen i Västerbottens län, för utsläppsscenariot RCP4,5 under åren 1951–2100 jämfört med referensperioden (medelvärdet för 1971–2000). Den grå linjen visar medelvärdet av flera klimatmodeller, medan det grå fältet omkring visar variationsbredden mellan den 10:e och 90:e percentilen. Staplarna visar historiska data. Källa SMHI: https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/vasterbottens_lan/medeltemperatur/rcp45/2071-2100/year/anom

Både RCP4,5 och RCP8,5 leder enligt SMHI:s beräkningar till att tillrinningen på vintrarna kommer att öka i Hertsångersälven, medan tillrinningen på våren kommer att minska (Figur 16). Ökningen på vintern orsakas av mer nederbörd och att nederbörden mer sällan ackumuleras som snö, medan minskningen på våren orsakas av mindre kraftig vårflod (Zábori och Vallot 2020). Variationerna mellan de olika ingående modellerna var ganska stora betydligt vilket dels pekar på att det finns osäkerheter för de beräknade medelförändringarna (Zábori och Vallot 2020). Största osäkerheterna beräknas för sommarperioden (Zábori och Vallot 2020) vilket i sin tur innebär att det faktiska utfallet för sommarperioden löper störst risk att få ännu mer negativa effekter än beräknat.

Säkra prognoser för extremväder är ännu inte möjliga att beräkna[13]. Trots det går det att dra kvalificerade slutsatser kring att ett *klimat* med varmare jordyta leder till varmare värmeböljor, att av-

13 Tom Palmer, professor vid Oxford, säger till BBC: "We need a commitment and vision with the magnitude of CERN (Europe's major physics research centre) if we are to build climate models that can accurately simulate the extremes of climate like the Canadian heatwave." https://www.bbc.com/news/science-environment-57863205

dunstningen och rörelserna i atmosfären ökar, samt att luften kan innehålla mer vatten, vilket i sin tur kan leda till kraftigare skyfall[14].



Figur 16: Medelvärden för den totala tillrinningens årsdynamik i Hertsångersälvens mynning i havet. Svart linje representerar referensperioden 1963-1992 och de två övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069-2098 i två olika utsläppsscenarion (begränsningar av utsläppen: RCP 4,5. Fortsatt ökade utsläpp: RCP 8,5). Figuren har tagits fram av SMHI (Zábori, Temnerud, och Vallot 2020)

3.6.2 Risken för torka

Via webbplatsen *fördjupad klimatscenariotjänst* (SMHI 2022) nås SMHI:s statistiska analyser av variationen mellan de olika klimatmodellerna[15]. Detta verktyg visar bland annat att risken är stor att markfuktigheten i Hertångersälvens minskar med ca 10% eller mer för såväl juni, som juli och augusti i slutet av århundradet (Figur 18). Det scenariot kan i sin tur sättas i relation till SMHI:s rapport ”Sommaren 2018 - en glimt av framtiden?”. Denna visar att markfuktighet på sommaren för norra Sverige i slutet av århundradet, *i medeltal* riskerar att upplevas som torrare än den mycket torra sommaren 2018 (Sjökvist, Abdoush, och Axén 2019). Orsaken till detta uppges i första hand vara förlängd växtsäsong och ökad avdunstning, snarare än minskad nederbörd. Även avrinningen beräknas bli lägre på sommaren i Hertsångerälvens avrinningsområde, liksom stora delar av övriga norra Sverige (Figur 17).

Högtrycksblockeringar på grund av låg markfuktighet
Den torra sommaren år 2018 orsakades av en så kallad högtrycksblockering, som förstärktes och bibehölls av att den låga markfuktigheten minskade avdunstningen, och därmed avkylningen av atmosfären. Att den beräknat lägre markfuktigheten i framtiden kan utgöra en risk för fler högtrycksblockeringar är därför en rimlig hypotes, som dock återstår att undersöka ytterligare innan säkra slutsatser kan dras (Sjökvist, Abdoush, och Axén 2019).

14 IPCC skriver t.ex. i pressmeddelandet till IPCC AR6 Synthesis Report 2023: ”More than a century of burning fossil fuels as well as unequal and unsustainable energy and land use has led to global warming of 1.1°C above pre-industrial levels. This has resulted in more frequent and more intense extreme weather events that have caused increasingly dangerous impacts on nature and people in every region of the world”. https://ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/press/IPCC_AR6_SYR_PressRelease_en.pdf

15 https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/hyd/hertsangersalven/nederbord/rcp45/2071-2100/year

Avrinningsområdenas förmåga att behålla markfukt och flödande vattendrag vid torka (den så kallade *uthålligheten*) styrs av både vädret (både före och efter att torkan inleds) och av faktorer som är specifika för varje avrinningsområde. Resultatet i sin helhet, gällande uthålligheten i Hertsångersälven och andra avrinningsområden, redovisades av SMHI (Hjerdt 2022); och här nedan redovisas de punkter som bedömdes vara mest relevanta för Hertsångersälvens avrinningsområde:

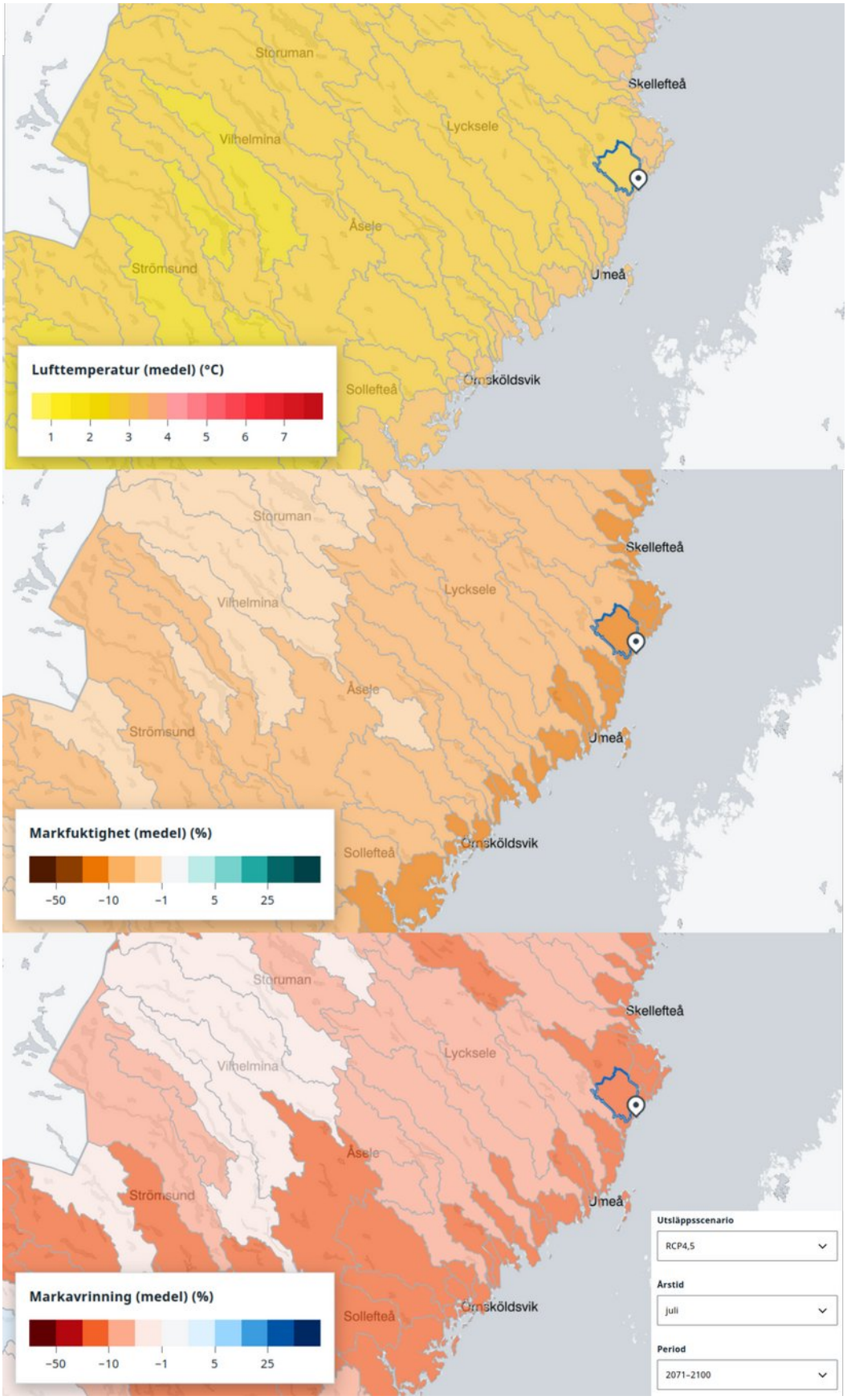
- Högre uthållighet för markfuktighet kan förväntas om det finns mer vatten när torkan startar. Men trots att markfuktigheten var hög när torkan inleddes år 2018, blev uthålligheten sämre än för år 1996. Detta förklarades av att temperaturerna var högre under sommaren 2018, vilket gav högre avdunstning 2018 och snabbare uttorkning av rotzonen jämfört med år 1996. Höga temperaturer är alltså en mer avgörande faktor att än den initiala markfuktigheten.
- Uthålligheten i vattenföringen återspeglar en mer komplex inblandning av olika grund- och ytvattenmagasin, jämfört med uthålligheten för markfuktighet. Den nederbördsrika vintern 2017-2018 gav en kraftig påfyllning av grund- och ytvattenmagasin i samband med snösmältningen, samtidigt som de högre temperaturerna inte påverkade grundvattenmagasinen i lika hög grad som markvattenmagasinen. Sammantaget ledde detta till att år 2018 hade högre beräknad uthållighet för vattenföring än år 1996. Den avgörande faktorn för sämre uthållighet för vattenföringen år 1996 var alltså att påfyllnaden av magasinen under vintern och våren var mycket låg.

Sammantaget kan analysen av uthålligheten tolkas enligt följande:

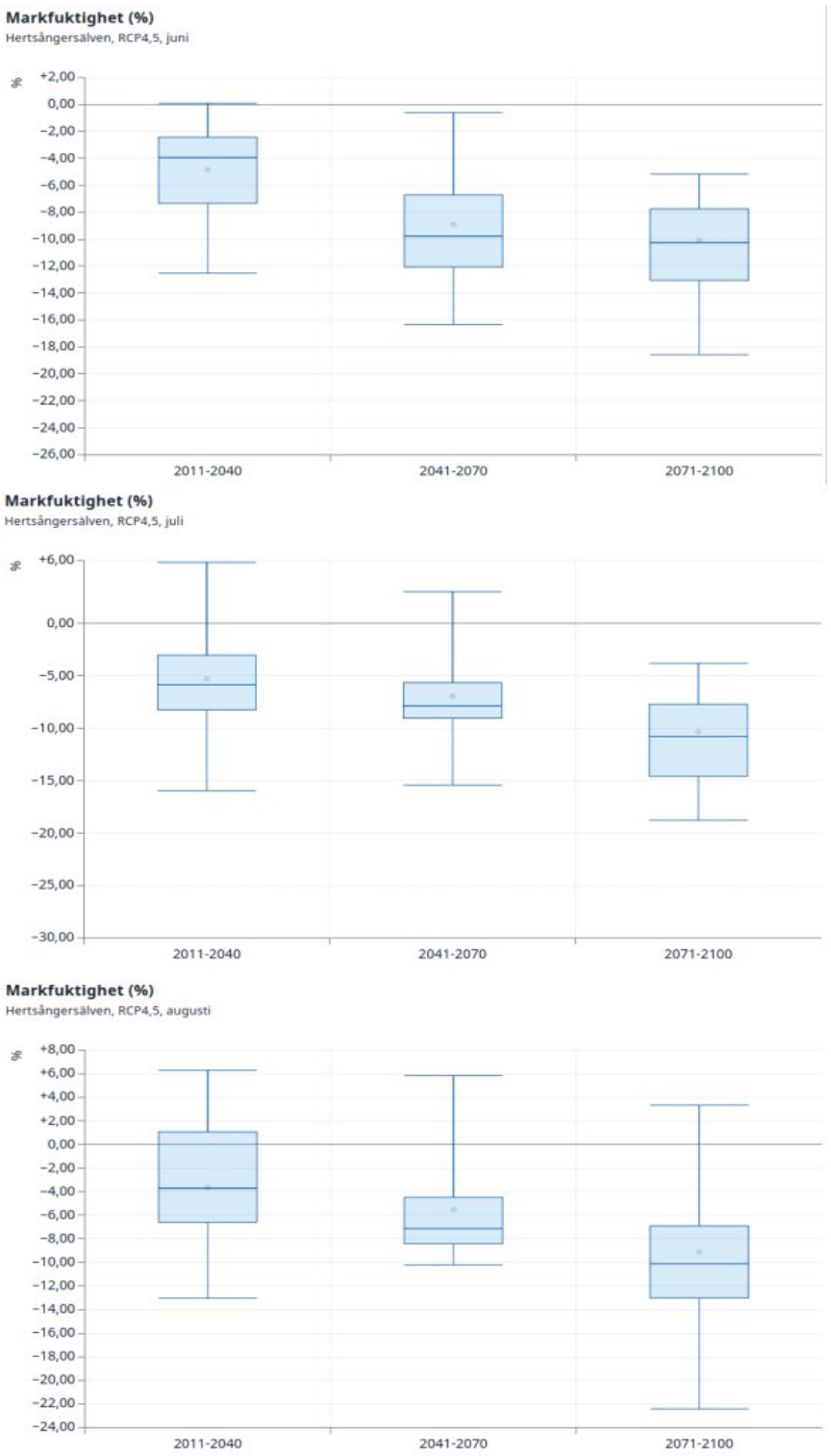
Markfuktighetens relativt dåliga uthållighet vid torka på sommaren riskerar att utvecklas till ett påtagligt problem för jord- och skogsbruket i Hertsångersälvens avrinningsområde i slutet av århundradet. I rapporten ”Sommaren 2018 - en glimt av framtiden?” förutspås att markfuktigheten i medeltal kan komma att bli minst lika låg som år 2018 (Sjökvist, Abdoush, och Axén 2019).

Risken är därmed stor att omfattande anpassningar kommer att krävas för att förhindra återkommande dåliga skördar från jordbruksmarkerna i slutet av århundradet, och för att minska risken för skogsbränder och torkrelaterade skador på växande skog.

För jordbruket kan den beräknat ökande vinternederbörden komma bli en avgörande tillgång. Vattenflödena på vintern är, åtminstone teoretiskt sett, möjliga att magasinera i landskapet för att dämpa bristen på vatten på sommaren. Om den ökade magasineringen i landskapet utförs genom att både bygga konstgjorda bevattningsmagasin och restaurera sänkta sjöar och utdikade våtmarker, ökar dessutom chansen att vattendragens vattenföring på sommaren minskar ännu mindre i förhållande till markfuktigheten (än vad SMHI:s uthållighetsanalys visar). Läs mer om möjliga anpassningar i kapitel 4.



Figur 17: Lufttemperatur, markfuktighet och markavrinning i juli för perioden 2071-2100, vid utsläppsscenariot RCP4,5. Hertsångersälvens avrinningsområde är markerat i kartan. Källa: SMHI https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/



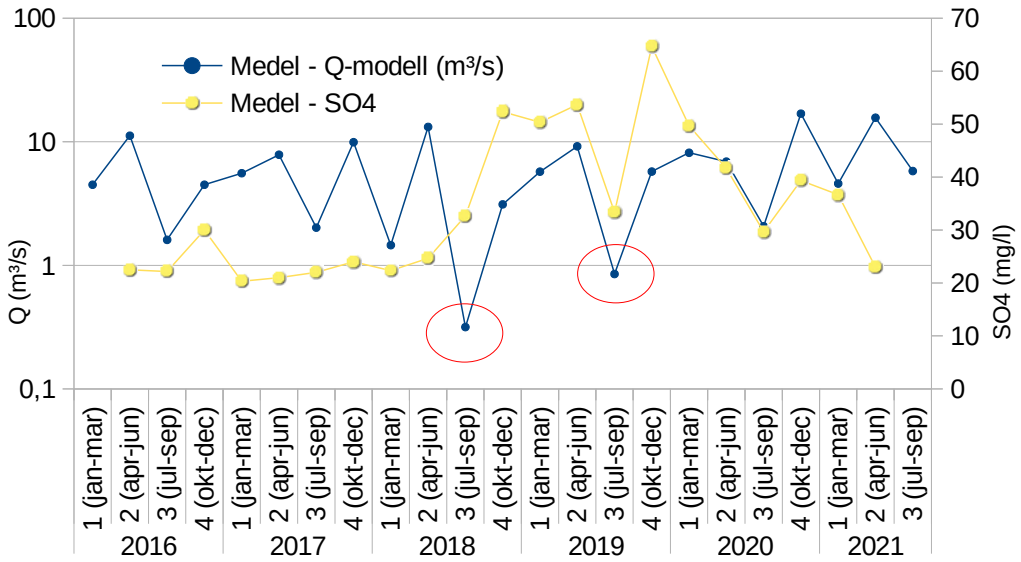
Figur 18: Förändring av markfuktigheten inom Hertsångersälvens avrinningsområde i utsläppsscenariot RCP 4,5. Spridningen för de ingående klimatmodellernas resultat anges som maximum och minimum, 25:e och 75:e percentilerna (fyrkanten) och medianvärdet (horisontell linje i fyrkanten). Källa för graferna: https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/

3.6.3 Påverkas försurningsriskerna vid fortsatta klimatförändringar?

Trots omfattande bildning av aktiva sulfatjordar de senaste 100 åren, finns ännu mycket stora arealer med potentiellt sura sulfatjordar i Hertsångersälvens avrinningsområde (jfr Figur 4 på sidan 9). Om dessa områden torrläggs genom nydikning eller torrare klimat riskerar försurningen att öka. Om potentiellt sura sulfatjordar däremot behålls opåverkade av dikning, samtidigt som grundvattennivåerna i övrigt inte förändras, ökar chansen att försurningen långsamt minskar på grund av att förrådet av sulfat tar slut.

Att förråden av sulfat i aktivt sura sulfatjordar ökar efter torka, och minskar vid långvariga högflöden, kan påvisas av exempelvis att förhållandet mellan vattenföringen och sulfathalten förändras (Figur 19). Examensarbetet som utfördes i samverkan med KLIVA indikerade därtill att denna typ av cykler kan pågå i flera decennier utan att de högsta sulfathalterna minskar på ett avgörande sätt (Åström 2022). Utifrån de uppmätta förråden av svavel i sulfatjordar och den uppmätta urlakningen till vattnet, kan teoretiska urlakningstider beräknas. I kärnområden av sulfatjord kan sådana beräkningar visa att förråden räcker uppemot 1000 år, eller ännu längre (se beräkning i avsnitt 3.3).

En rimlig slutsats blir därför att försurningsriskerna med stor sannolik kan komma att öka om klimatförändringarna leder till mer torka. RCP4,5-scenariot för markfukt indikerar mycket tydligt att den risken inte kan bortses ifrån, eftersom markfuktigheten på sommaren för norra Sverige i slutet av århundradet, *i medeltal* beräknas att vara lägre än under den extremt torra sommaren 2018 (Sjökvist, Abdoush, och Axén 2019).

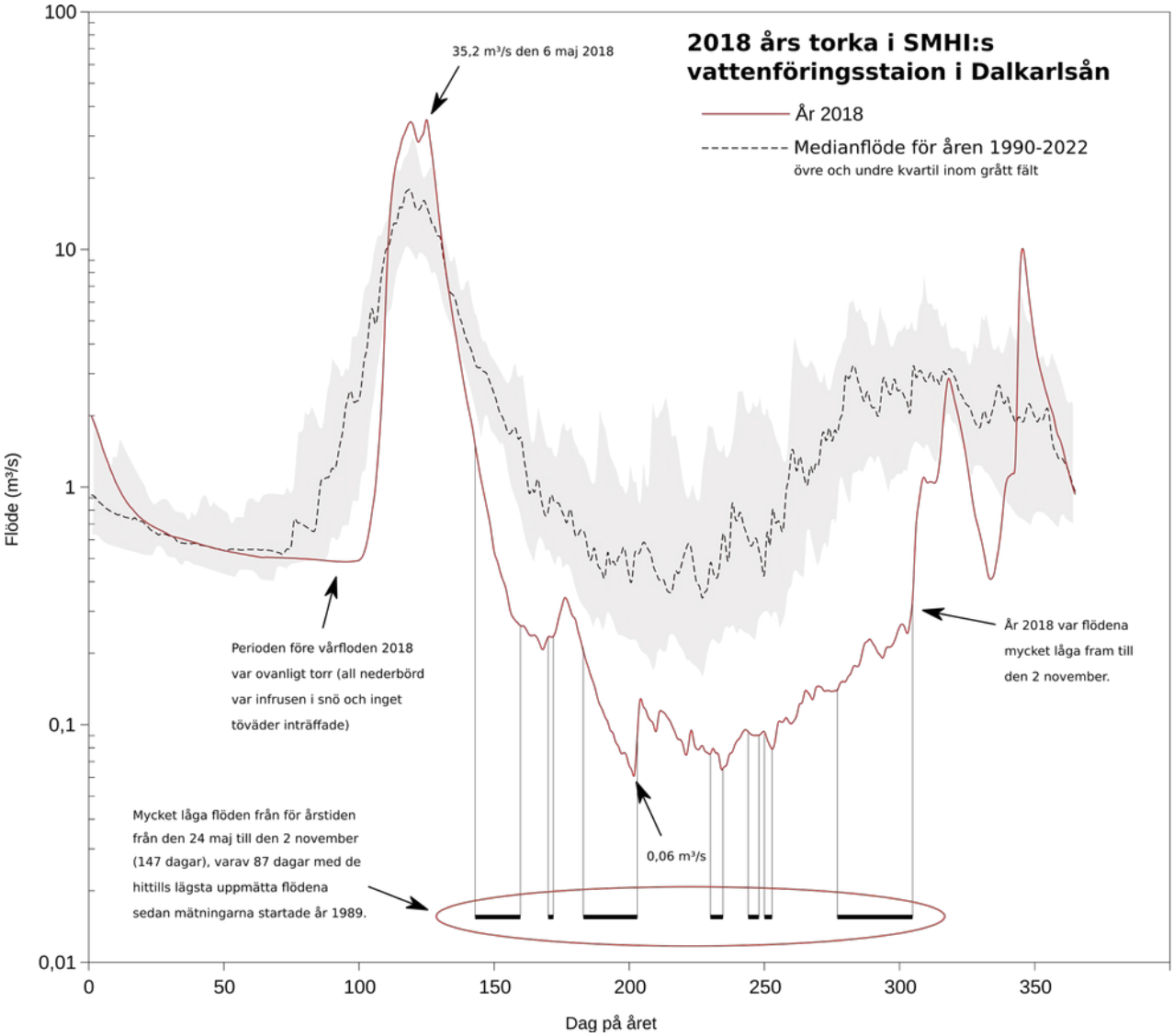


Figur 19: Ytligt grundvatten vid höga flöden bidrar generellt sett till höga sulfat- och metallhalter, men det tillgängliga förrådet är också en viktig faktor som påverkar koncentrationerna. Det tillgängliga förrådet ökade under torkan perioden jul-sept 2018 (inringad), och samma period 2019 (också inringad). Det tillgängliga förrådet minskade vid långvariga höga flöden – i detta fall från oktober 2019 och framåt, när kvoten Q/SO4 ökade påtagligt.

3.7 Karaktärisering av torkan år 2018

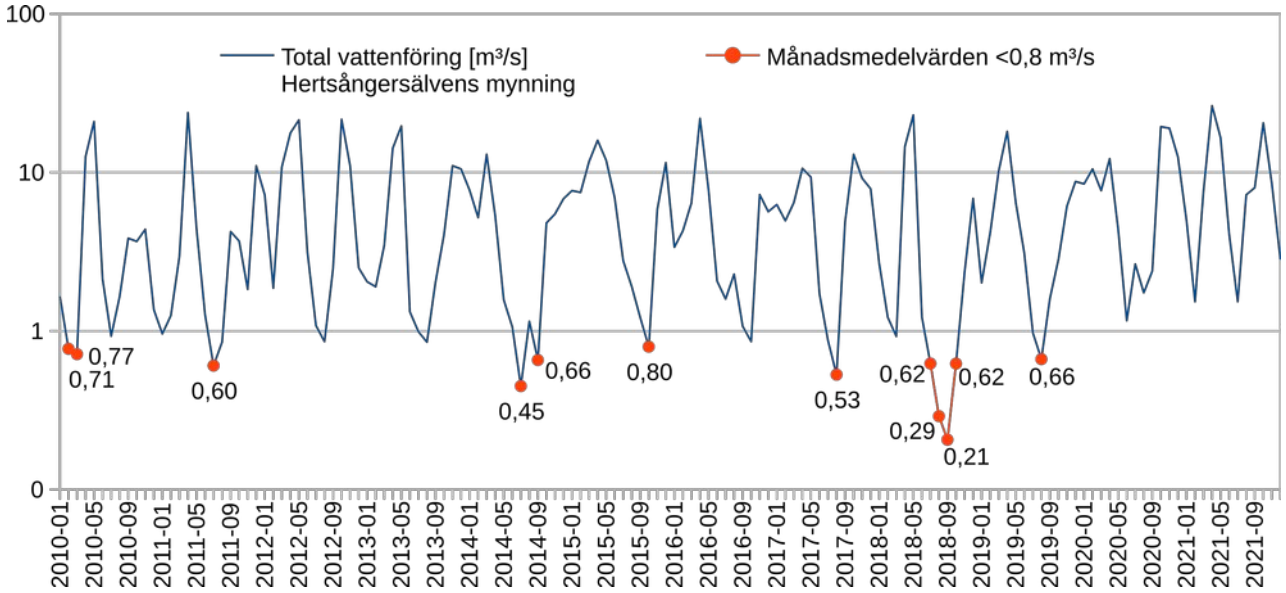
År 2018 var vattennivån mycket låg i de flesta vattendrag i Västerbottens kustland. Exempelvis behövde vattenkraftverken i både Rickleån och Bureälven stängas av på grund av vattenbrist[16]. Ett flertal vattendrag torkade ut (bilder på detta finns i Figur 1, Figur 22 och Figur 23)

Hertsångersälvens närmaste vattenföringsstation, i Dalkarlsån ca 20 km söder om Hertsångerälvens mynning, visade att 2018 års vattenföring var mycket låg för årstiden från den 24 maj till den 2 november, och att 87 av de observerade datumen under perioden hade den hittills lägsta vattenföringen sedan år 1989 då mätningarna påbörjades (Figur 20). Den modellerade vattenföringen i Hertsångersälven från SMHI:s vattenwebb indikerade liknande förhållanden; med lägsta vattenföringen under den modellerade perioden (2010-2022), och därtill den i särklass längsta sammanhängande perioden av lågflöde (Figur 21).



Figur 20: Visualisering av 2018 års torka i SMHI:s vattenföringsstation i Dalkarlsån. Perioder under 2018 som var torrast hittills uppmätt i Dalkarlsån (sedan år 1989): 24 maj-10 juni, 20-22 juni, 3-23 juli, 19-24 augusti, 29 augusti, 2-6 september, 8-11 september, 5 oktober-2 november. Data: https://vattenwebb.smhi.se/station/

16 Sigge Brännström som bott hela sitt liv vid Bureälven hade aldrig sett så lite vatten rinna förbi sitt hus ”– Det här är då det lägsta jag har sett” sade han till SVT:s reporter (Publicerad 2 oktober 2018)



Figur 21: Den modellerade vattenföringen i Hertsångersälven visade att år 2018 hade den lägsta vattenföringen under den modellerade perioden (2010-2022), och därtill den i särklass längsta sammanhängande perioden av lågflöde (4 månader med månadsmedelflöde <0,8 m³/s.) Data från SMHI:s vattenwebb: https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/



Figur 22: Stenträskbäcken i Rickleåns övre lopp år 2018. Foto Mattias Sundqvist.



Figur 23: Täfteån strax nedströms Täfteträsket år 2018. Foto: Lars Björkelid

4 Möjligheter till anpassning

I takt med fortskridande klimatförändringar beräknas bland annat skyfallen bli ännu kraftigare, samtidigt som risken också ökar för minskad markfuktighet (läs mer om det i kap 3.6). Exempel på troliga konsekvenser är:

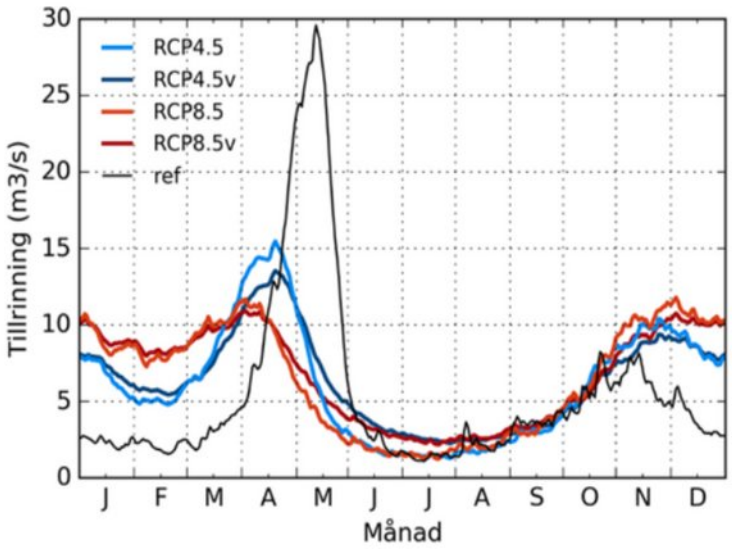
- när skyfallen blir kraftigare ökar erosionen och risken för näringsförluster från åkrar, och risken för översvämningar och bortspolade vägtrummor och broar.
- när markfukten minskar ökar risken för skogsbränder, och risken för dålig etablering av insådda grödor och missväxt på jordbruksmark.

Våtmarker och andra vattenbromsande strukturer kommer att göra skillnad vid sådan utveckling, eftersom de både dämpar flödestoppar och ökar lågflödena vid torka, och därtill troligen också dämpar klimatförändringarnas negativa effekter på de akvatiska ekosystemen. Att bromsa upp nederbörden som faller på vintern, kan också komma att bli avgörande för att skapa tillgång till vatten på sommaren för bevattning.

4.1 Effekter av mer våtmarker

Inom ramen för KLIVA-projektet simulerade SMHI effekten av att öka våtmarksandelen med 10% inom Hertsångersälven (motsvarande 114 hektar mer våtmarker än idag), samtidigt som utsläppen av växthusgaser fortsatte i enlighet med scenarierna RCP 4,5 och 8,5 (Zábori 2022). Resultatet indikerade dämpat högflöde på våren och en statistiskt signifikant ökning av tillrinningen på sommaren (Figur 24).

Liknande beräkningar gjordes också för Toby å, av SYKE, Finlands motsvarighet till SMHI. I simuleringen ökades andelen våtmarker i form av så kallade rördammar. Resultaten pekade på minskade flödestoppar och ökade lågflöden (Korppoo 2022).



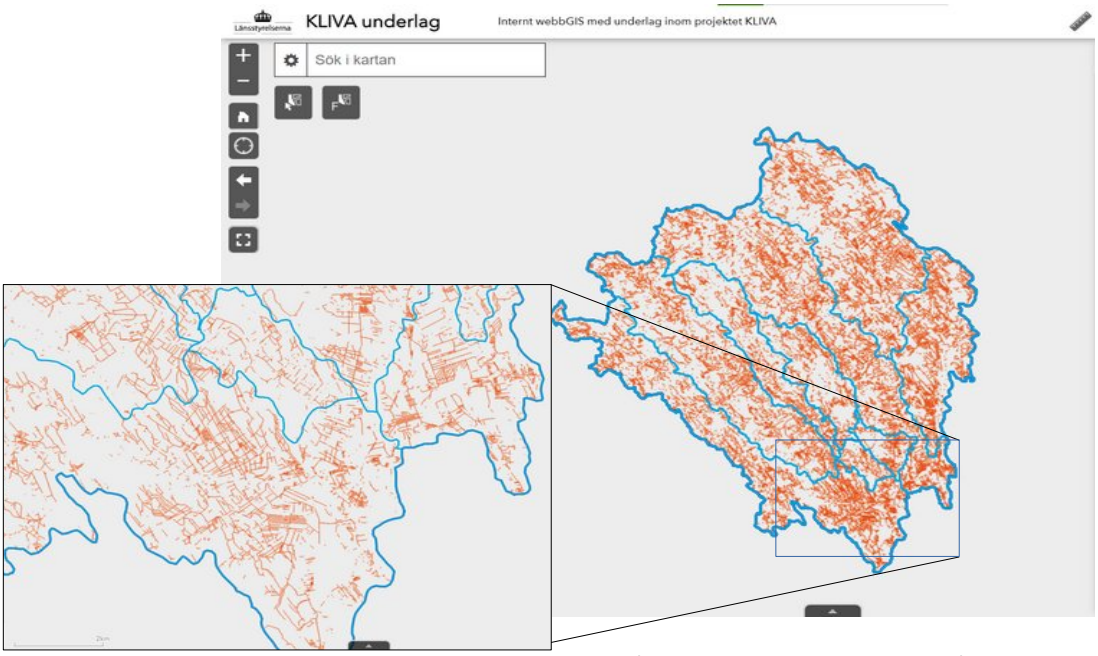
Figur 24. Simuleringar av effekter på tillrinningen i slutet av århundradet, vid 10% ökning av våtmarkerna i Hertsångersälvens avrinningsområde. Den mörkblå linjen RCP4.5v visar effekten av 10% mer våtmarker i utsläppsscenariot RCP4.5. Den mörkröda linjen visar RCP8.5v visar effekten av 10% mer våtmarker i utsläppsscenariot RCP8.5.

4.2 Potentialen för anpassning av diken

Dikena inom Hertsångersälvens avrinningsområde syftar generellt sett till snabbare avrinning. Potentiellt negativa bieffekter av detta är lägre uthållighet för markvattenmagasin och grundvattenmagasin (jfr kap 3.6.2), samt kraftigare flödestoppar och lägre lågflöden i vattendragen. Kartan över dikenas totala utbredning (Figur 25) visar hur systematisk dikningen har varit inom Hertsångersälvens avrinningsområde. Den totala längden på dikena är ca 2564 km (Tabell 4).

Den stora omfattningen av dikning indikerar att vattenbromsande åtgärder i dikessystem har potential att bland annat minska risken för uttorkning av vattendragen. Att i stor skala bromsa upp flödena i Hertsångersälven dikessystem beräknas också kunna öka grundvattenmagasineringen (Zábori, Temnerud, och Vallot 2020).

Så kallade rördammar är ett exempel på en vattenbromsande åtgärder som – rätt utformade – inte påverkar skogsmarkens produktionsförmåga[17] (Figur 26 och Figur 27). Samma sak gäller så kallad reglerbar dränering som bygger på att dräneringssystemen i marken utformas så att vatten kan tillsättas eller bortföras från åkermarken med stor precision (Dalhem m.fl. 2019); detta medför i sin tur att markfuktigheten kan behållas längre vid torka



Figur 25: Dikessystemens totala omfattning inom Hertsångersälvens avrinningsområde. Data från Skogsstyrelsen.

Tabell 4. Den totala längden på dikena i Hertsångersälven är ca 2564 km.

Delavrinningsområde	Längd diken (km)
Kålabodaån	568
Granån	492
Flarkån	674
Lillån	308
Vebomarksån	503

17 KLIVA ordnade ett seminarium om rördammar: Två av föredragen spelades in och lades upp på youtube: https://www.youtube.com/watch?v=blpDwj8pAGg, https://www.youtube.com/watch?v=Rj2cixms1ws



Figur 26: Rördamm i närheten av Raseborg i södra Finland. Dammen har flera funktioner: 1) jämnar ut vattenflödet, 2) fångar partikelbunden näring 3) ligger uppströms åkermark och kan därmed användas som bevattningsdamm 4) biologisk mångfald: dammen hyser bla grodor och har används av älg som badplats under varma sommardagar. Foto: Jan Åberg 2022.



Figur 27: Det nedre inloppsrörets utformning motverkar att grenar och annat skräp täpper till inloppet. Det nedre röret har gjorts så trångt att nivån i dammen höjs upp till det övre röret vid höga flöden. Det övre inloppsröret är utformat så att det klarar extremflöden. Foto: Jan Åberg 2022.

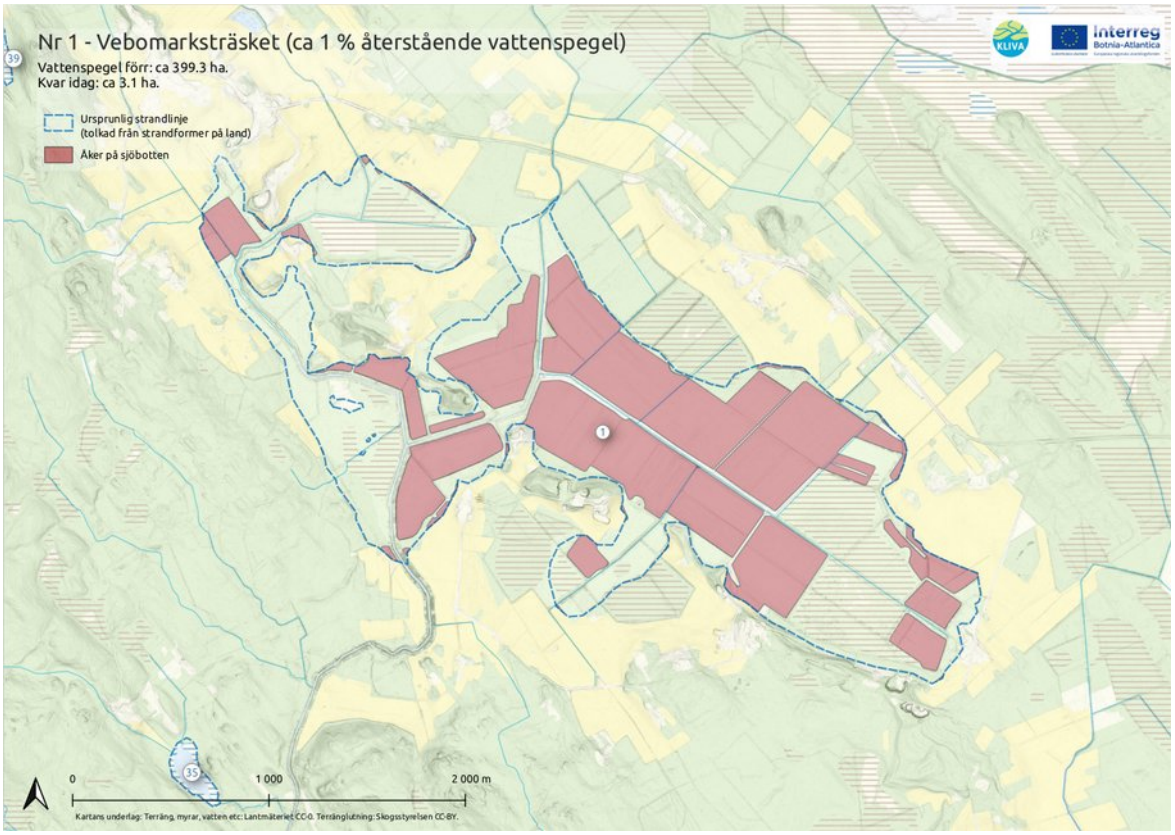
4.3 Potentialen för anpassning av sänkta sjöar

Inom Hertsångersälvens avrinningsområde finns idag ca 65% mindre sjöyta än tiden innan sjöarna började sänkas; den tidigare vattenytan var ca 1584 ha, medan ytan idag är ca 674 ha (underlaget till detta resultat redovisas per sjö, totalt 63 st sänkta sjöar, i bilaga 3, samt i Figur 29 och Figur 30).

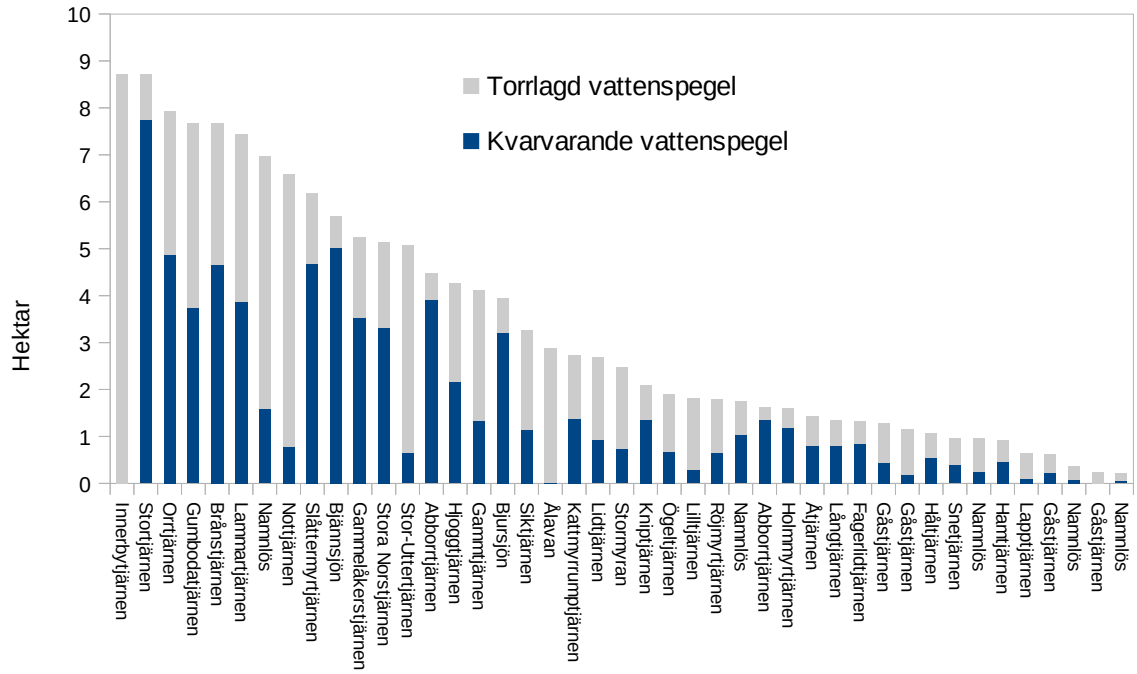
På grund av att sjöarna generellt sett var grunda redan innan de sänktes, går det också att dra slutsatsen att den totala minskningen av sjövolymen troligen är proportionellt sett större än den förlorade ytan, dvs volymminskningen är troligen större än 65%. En grov beräkning av volymminskningen kan göras enligt följande: Om den totala sjöytan 1584 hektar antas ha sänkts med i medeltal en meter motsvarar det en volym på 15,84 miljoner m³ ytvatten.

Den stora omfattningen av sjösänkningar i Hertsångersälvens avrinningsområde indikerar att det finns många vattennivåbestämmande punkter inom avrinningsområdet som – tekniskt sett – är enkla att modifiera för att öka magasineringen av ytvatten och grundvatten. Höjningar av nivåerna i sänkta sjöar är oftast ändå komplicerade på grund av de målkonflikter som kan finnas. Exempelvis är ca 32% av den minskade sjöytan idag åkermark (ca 292 ha, varav Vebomarksträsket 191 hektar och Klintsjön 83 hektar).

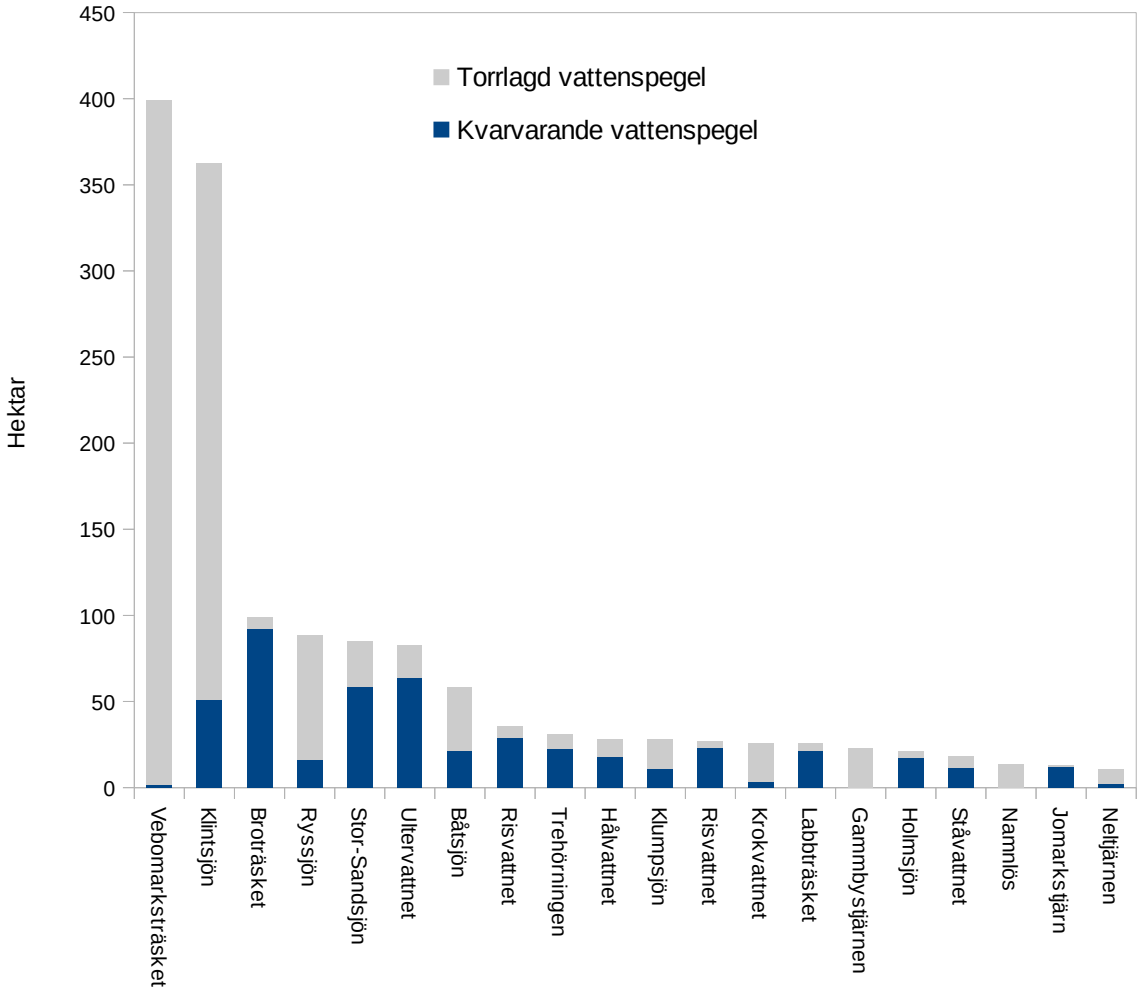
Den framtida utmaningen kopplat till förvaltningen av sänkta sjöar kommer i slutänden troligen att landa i avvägningen mellan behovet av torrläggning för jord- och skogsbruk och behovet behålla mer vatten i landskapet på sommaren (för bevattning och för att bibehålla eller stärka ekosystem).’ De två teknikerna rördammar och reglerbar dränering (som beskrivs närmare i avsnittet om diken på sidan 31) är exempel på lösningar som kan bidra till att lösa sådana målkonflikter, eftersom de ökar magasineringen av vatten, samtidigt som den totala nyttan för produktionen snarare ökar än minskar.



Figur 28: Vebomarksträsket är den största torrlagda sjön i Hertångersälvens avrinningsområde. (i bilaga 3 redovisas samma typ av kartor för var och en av de 63 sänkta sjöarna).



Figur 29: Sänkta sjöar mindre än 10 hektar i Hertsångersälvens avrinningsområde.



Figur 30: Sänkta sjöar större än 10 hektar i Hertsångersälvens avrinningsområde.

4.4 Potentialen för anpassningar som gynnar både ekosystemen och jord- och skogsbruket

Nedan ges exempel på några resonemang som berör möjliga synergieffekter mellan vattenvårdande åtgärder och åtgärder som gynnar produktion i jordbruksmark.

- **Reglerbar dränering som ger bättre vattenkvalitet:** Högre och jämnare skördar är möjligt med reglerbar dränering. Tekniken förbättrar samtidigt det avrinnande vattnets kvalitet i sura sulfatjordar. Denna teknik är studerad och dokumenterad i flera projekt i Finland, men resultaten pekar också på att det kommer att krävas god tillgång på magasinerat ytvatten för att motverka effekter av extrem torka. Att enbart pumpa vatten från diken eller närliggande vattendrag kommer i många fall att snabbt leda till att vattendragen torkar ut.
- **Återföring av eroderad jord minskar behovet av gödsel, och gynnar vattenlivet:** Sedimentationsdammar/slamfällor/fosforfällor etc som byggs i dikessystemen fångar upp en viss andel av erosionen och näringsläckaget från åkermarken. Slammet som samlas i dammarnas djuphålor kan vara så näringsrikt att det kan spridas som jordförbättringsmedel. Vattenlivet gynnas samtidigt av att fler akvatiska miljöer skapas i landskapet.

Åtgärder som gynnar vattenlivet kan också bidra till att skydda skogsbilvägnätet och säkra tillgången på vatten vid brandbekämpning:

- **Anpassningar som säkrar vattentillgången för brandbekämpning, eller minskar slamtransporten från skogen**, kan utformas så att de också bidrar till att skydda också broar och infrastruktur vid skyfall, samtidigt som vattenlivet gynnas: SMHI:s och SYKE:s analyser visar sammantaget att våtmarker, rördammar och andra vattenbromsande strukturer i landskapet minskar flödestopparnas styrka, vilket därmed t.ex. minskar risken för översvämningar och raserade vägar pga erosion. Rätt utformade bidrar magasinen till att reducera flödesenergin i vattendragen i samband extrem nederbörd eller snösmältning. Magasinen kan därtill också nyttjas exempelvis som bevattningsmagasin eller magasin för brandbekämpning, eller som viltvatten m.m. Vattenlevande organismer gynnas av både jämnare vattenflöden och större livutrymme.

Det bör också noteras att de ekologiska problemen i Hertsångersälvens sjöar och vattendrag inte enbart beror på surtstötarnas styrka, eller tillgången på vatten i sjöar och vattendrag. Här är två exempel:

- De provfisken som utförts i Hertsångersälven tyder på att det under perioderna mellan surstötar, sker en viss fiskvandring från havet och ganska långt uppströms (se kap 3.5). Fiskar behöver därför kunna röra sig så fritt som möjligt inom avrinningsområdet, vilket kräver att dammar, vägtrummor och liknande inte hindrar fiskvandring.
- Allt tyder på att vattenmiljöerna med bättre vattenkvalitet bidrar till att det ibland förekommer fisk även där vattnet regelbundet blir akut giftigt för fisk. Vattenvård i icke-försurade delar av Hertsångersälvens avrinningsområde ger därför troligen en positiv ekologisk effekt även för den starkt försurade huvudfåran och nedre loppen av Kålabodaån och Flarkån (jfr Figur 13 på sidan 20).

4.5 Checklista för åtgärder kopplade till sura sulfatjordar

Förebyggande åtgärder:

- ☐ skydda potentiellt sura sulfatjordar från oxidation (mängden potentiellt sura sulfatjordar är mycket stor, samtidigt som nydikning i sura sulfatjordar kan orsaka skador på ekosystemen som kvarstår i flera hundra år).
- ☐ beakta problem med sättningar och sjunkande mark på aktiva sura sulfatjordar (räkna med att dikningsföretag i sura sulfatjordar kan ha ett bäst-före-datum pga av sättningar i marken, och att det finns en risk att dikningsföretag antingen måste avvecklas eller omprövas för att kunna ge fortsatt båtnad).

Direkta åtgärder:

- ☐ använd SGU:s kartvisare med sur sulfatjord och bedöm behovet av miljöåtgärder utifrån kemin och biologin i vattnet.
- ☐ överväg reglerbar dränering med underbevattning för minskad risk för torka.
- ☐ överväg att skapa vattenmagasin som kan nyttjas för underbevattningen. Dikning behövs för att kunna odla, men risken ökar för att det blir brist på vatten till bevattning.

Åtgärder för robustare ekosystem (inte bara kemin spelar roll):

- ☐ fungerar konnektiviteten mellan olika områden; dvs kan fiskarna röra sig fritt inom avrinningsområdet?
- ☐ kan ekosystemen stärkas i de icke-försurade vattenområdena inom Hertsångersälvens vattensystem?

Näring/övergödning:

- ☐ kan åtgärder för minskad övergödning anpassas så att de också bidrar till minskad försurning?

Åtgärder för vattenbalans (KLIVA-projektets resultat visar att redan måttliga arealer våtmarker ger effekt på vattentillgången i vattendragen på sommaren):

- ☐ använd kartan med sänkta sjöar och dikade våtmarker för att lokalisera lämpliga magasin att restaurera. Bygg hellre uppströms än nedströms för att gynna vattentillgång.
- ☐ överväg att bygga rördammar, sedimentationsdammar och fosforfällor i befintliga dikessystem.

5 Referenser

5.1 Kemidata

Miljödata-MVM. 2023. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Datavärdskap sjöar och vattendrag, samt Datavärdskap jordbruksmark, https://miljodata.slu.se/mvm/ [2022-11-01].

- Hertsångersälvens fem biflödena, stations-ID 48097, 48098, 48108, 48156 och 48157. Data kan nås via direktlänken: https://miljodata.slu.se/MVM/Query?sites=28967,48097,48098,48108,48156,48157&startdate=2016-01-01&enddate=2023-02-21&haro=23000

- Vattendragsstationerna i Figur 7: Hertsångersälven (28967), Rickleån Robertsfors (1063), Bure älv (53): https://miljodata.slu.se/MVM/Query?sites=28967,1063,53&startdate=2016-01-01&enddate=2023-02-21

5.2 Övriga referenser

Andrén, Cecilia M. 2012. ”Toxicity of Inorganic Aluminium in Humic Streams”. Doktorsavhandling, Stockholm: Stockholms universitet, ITM. http://su.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:556606.

Becher, Marina, Gustav Sohlenius, och Christian Öhrling. 2019. SGU-rapport 2019:13. Uppsala: SGU. https://www.sgu.se/samhallsplanering/risker/sulfidjordar-en-potentiell-miljobov/.

Dalhem, Krister, Sten Engblom, Pekka Stén, och Peter Österholm. 2019. ”Subsurface hydrochemical precision treatment of a coastal acid sulfate soil”. *Applied Geochemistry* 100: 352–62. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.12.005.

Dalziel, T. R. K., F. Kroglund, L. Lien, och B. O. Rosseland. 1995. ”The REFISH (restoring endangered fish in stressed habitats) project, 1988-1994”. *Water, Air, & Soil Pollution* 85 (2): 321–26. https://doi.org/10.1007/BF00476849.

Hellström, Micaela, Johan Näslund, Nicklas Wijkmark, och Johan Spens. 2018. ”eDNA-inventering av fisksamhällen i 40 kustnära vattendrag, Robertsfors kommun”. AquaBiota Rapport 2018:09. Stockholm.

Hjerdt, Niclas. 2022. ”Hur längre räcker vattnet? Beräkning av uthållighet vid torka”. Arbetsrapport. SMHI.

Holm, Carl. 1942. ”Fiskar”. I *Lövånger : en sockenbeskrivning under medverkan av flere fackmän. D. 1*, 166–86. Umeå.

Korppoo, Marie. 2022. ”VEMALA in KLIVA - Hydrology in Laihianjoki”. Pdf. https://klivaorg.files.wordpress.com/2022/09/2.slutsemi_syke_english-2.pdf.

Laudon, Hjalmar, Antonio B.S. Poléo, Leif Asbjørn Vøllestad, och Kevin Bishop. 2005. ”Survival of brown trout during spring flood in DOC-rich streams in northern Sweden: the effect of present acid deposition and modelled pre-industrial water quality”. *Environmental Pollution* 135 (1): 121–30. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.09.023.

Naturhistoriska riksmuseet. 2016. ”Undersökning av eDNA från vattendrag i Västerbotten”. 4.1-609–2016. Stockholm.

Sjökvist, Elin, Diala Abdoush, och Jenny Axén. 2019. ”Sommaren 2018 - en glimt av framtiden?” Klimatologi nr 52. SMHI. https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.165089!/Klimatologi_52%20Sommaren%202018%20-%20en%20glimt%20av%20framtiden.pdf.

SMHI. 2022. ”Fördjupad klimatscenariotjänst”. smhi.se. 16 november 2022. https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met.

Södergren, Sam. 1974. ”Ecological effects of heavy metal discharge in a salmon river”. Umeå: Umeå universitet. http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:umu:diva-68458.

Zábori, Julia. 2022. ”Tillrinningsregim i Hertsångerälven”. SMHI Rapport nr 2022-49. https://klivaorg.files.wordpress.com/2022/11/smhi_rapport-nr-2022_49.pdf.

Zábori, Julia, Johan Temnerud, och Dorothée Vallot. 2020. ”Modellering av grundvattennivåer och hydrologiska effektstudier i Hertsångersälvens avrinningsområde”. Norrköping: SMHI. https://klivaorg.files.wordpress.com/2022/08/effektstudie_hertsangersalven_kliva_2022_06.pdf.

Zábori, Julia, och Dorothée Vallot. 2020. ”Klimatpåverkan i Hertsångersälvens avrinningsområde enligt RCP scenarierna”. Norrköping: SMHI. https://klivaorg.files.wordpress.com/2022/08/klimatpaverkan_hertsangersalven.pdf.

Åberg, Jan. 2019a. ”Kustmynnande vattendrag i Robertsfors kommun – fiskförekomster och miljöförbättringspotential.” Robertsfors kommun. https://mellanbygdensvattenrad.files.wordpress.com/2020/09/slutrapport-kustinventering-v201909-merge.pdf.

———. 2019b. ”Sulfatjordspåverkan i kustmynnande småvattendrag i Västerbotten - tolkningar av nuläget med hjälp av en kemisk bedömningsmodell och provfiske”. Länsstyrelsen i Västerbotten. https://www.lansstyrelsen.se/publikation?entry=AC_2019__19&context=34.

Åström, Emilie. 2022. ”Long-Term Impact of Drought on AcidSulfate Soil Leaching, a Study of NineCatchment Areas in Sweden and Finland”. Examensarbete vid Institutionen för geovetenskaper. Master’s Thesis, Uppsala University, LUVAL. http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-486078.

Bilaga 1 - Modell för oorganiskt aluminium

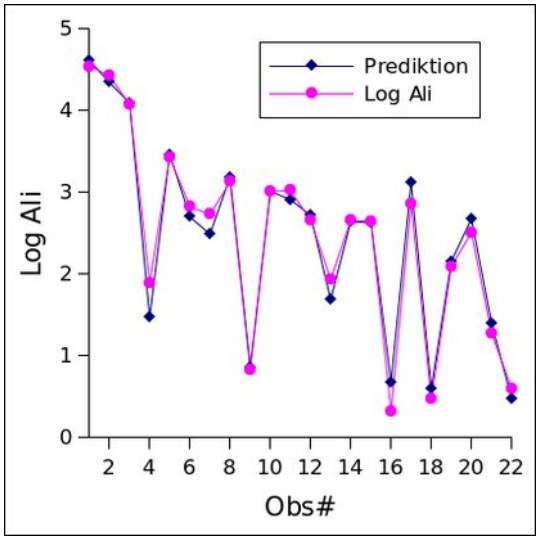
En modell över andelen oorganiskt aluminium beräknades med data från tidigare undersökningar i sulfatjordsvattendrag (Tabell 5). Modellen har en hög förklaringsgrad (Justerad R-kvadrat: 0,977, se nedan) och kan antas ge ganska träffsäkra resultat för vattendrag som påverkas av sura sulfatjordar. I vattendrag som enbart är sura pga humussyror, t.ex. diken som endast avvattnar myrmark, kommer dock modellen troligen att fungera dåligt, eftersom både halten oorganiskt aluminium och pH-värdena kan komma att sjunka i takt med att andelen avrinning från torv närmar sig 100% (Åberg 2019b)

Log Ali =pH*-0,8014+log Al(tot)*0,7242+4,0089

Regressionsstatistik	
Multipla R	0,98959544
R^2	0,97929913
Standardfel	0,18092455
Justerad R-kvadrat	**0,9771201**
Observationer	22

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*F-signifik*
Regression	2	29,4	14,71	449,418	1E-16
Residual	19	0,62	0,033		
Total	21	30			



Tabell 5. Ingående värden i modellen för oorganiskt aluminium (Al_i), samt (i de två sista kolumnerna) skillnaden mellan predikterat och observerat värde för Al_i. Data kommer från provtagningar som gjordes av Länsstyrelsen år 2013 i sulfatjordspåverkade vatten. Två referenslokaler är också inkluderade i underlaget för modellen. Analyserna gjordes av ITM/Stockholms universitet. Enheten för de olika Al-fraktionerna är µg/l. Konduktivitetens enhet är mS/m.

Station	Datum	pH	Kond	Al (Alm)	Al (Alo)	Al (Ali)	Al (Tot)	*Log Al(tot)*	*Pred (Log Ali)*	*Obs (Log Ali)*
Dike D8, Västervikssjön	2013-11-04	3,51	146	34455	164	34291	51175	4,70905785	4,6067771349	4,535177617
Dike D9, Västervikssjön	2013-11-04	3,73	88,2	26871	420	26452	38100	4,58092498	4,3376590111	4,422450305
Dike från Moren, Vebomarkssträsket	2013-11-12	3,67	66,7	11776	22	11754	14800	4,17026172	4,0883019652	4,070181991
Golfbanan i Roberstfors (damm X)	2013-11-04	5,73	32,5	95	18	76	669	2,82568571	1,4635094156	1,882524538
Högholmssundet, Vebomarkssträsket	2013-11-12	4,01	25,3	3555	894	2661	4762	3,67778939	3,4591238072	3,425012232
Lägdsjöns utlopp, Sikeå	2013-11-04	4,55	20,2	1021	358	663	1660	3,22010809	2,6948611439	2,821513528
Norets utlopp, Sikeå	2013-11-04	4,73	19,3	753	225	529	1347	3,1293676	2,484882912	2,72320931
Nedan Högholmen, Klintsjön	2013-11-12	4,15	17,3	1876	544	1332	2825	3,45101845	3,1826758579	3,124504225
Ruddammsbäcken, Dalkarlså by	2013-11-04	6,41	23,9	77	70	7	559	2,74741181	0,8618518661	0,819543936
Vebomarksån	2013-11-12	4,32	14	1527	510	1017	2500	3,39794001	3,007990306	3,007363654
Kålabodaån, Ånäset	2013-11-12	4,39	13,6	1491	451	1040	2165	3,3354579	2,9066354757	3,017200344
Kintsjön, Tegelviken	2013-11-12	4,51	11,2	683	232	452	1591	3,20167018	2,7135633314	2,654850091
Harrbäcken - Rakbanan	2013-10-07	5,55	11,42	326	241	85	853	2,93074533	1,6838589467	1,931457871
Flarkån, Galgbacken, Ånäset	2013-11-12	4,62	14,3	683	232	452	1649	3,21722066	2,6366705494	2,654850091
Storbäcken, Bygdå	2013-11-04	4,63	11,6	894	459	435	1632	3,21272015	2,6253966739	2,638489257
Harrbäcken - Utlopp	2013-10-07	6,50	11,27	93	91	2	394	2,59549622	0,6796922962	0,322219295
Högforsån (FLISIK 1) åkrarna	2013-11-04	4,09	10,3	1348	627	721	1961	3,29247759	3,1159302733	2,857754522
Harrbäcken - Utlopp	2013-09-25	6,53	10,8	79	76	3	330	2,5179872	0,5995102282	0,469822016
Västervikssjön (FLISIK 2)	2013-06-10	5,22	8,58	782	659	123	1643	3,21563756	2,1546733235	2,089905111
Ratuån (gamla sågen i Ratu)	2013-11-04	4,44	7,84	682	363	319	1170	3,06818586	2,6729802969	2,504334912
Yttre Uttervattnet (utl, referens)	2013-11-12	5,64	2,91	176	157	19	427	2,62991904	1,393843821	1,267171728
Bjännsjöns utlopp (utl, referens)	2013-11-04	6,40	2,39	39	35	4	157	2,19700473	0,4712079289	0,602059991

Bilaga 2 – områdesdata från SMHI:s vattenwebb

Tabelldata för Hertsångersälven från SMHI, nedan:

Obs! SMHI garanterar inte riktigheten i de uppgifter som tillhandahållna data representerar eller att de kan användas för det ändamål användaren avser. Underlaget ska betraktas som vägledande för samhällets allmänna behov, framtaget med den bakgrundsinformation och metod som varit tillgänglig vid beräkningstillfället.

Markanvändning	
Sjö och vattendrag	0,01
Skogsmark	0,8
Hedmark och övrig mark	0,04
Kalfjäll och tunna jordar	0
Glaciär	0
Myr- och våtmarker	0,02
Jordbruksmark	0,12
Tätort	0
Hårdgjorda ytor	0

Jordarter	
Morän	0,46
Tunn jord och kalt berg	0,13
Torv	0,12
Isälvsmaterial	0,01
Grovjord	0,08
Silt	0
Finjord	0,06
Sandiga jordar	0,01
Lättlera	0,01
Mellanlera	0
Styv lera	0,1
Hårdgjorda ytor	0
Sjö och vattendrag	0,01

Flödesstatistik (1981-2010)	Q-tot [m³/s]
HQ50	67,2
HQ10	54
HQ2	38,9
MHQ	40,6
MQ	5,81
MLQ	0,51

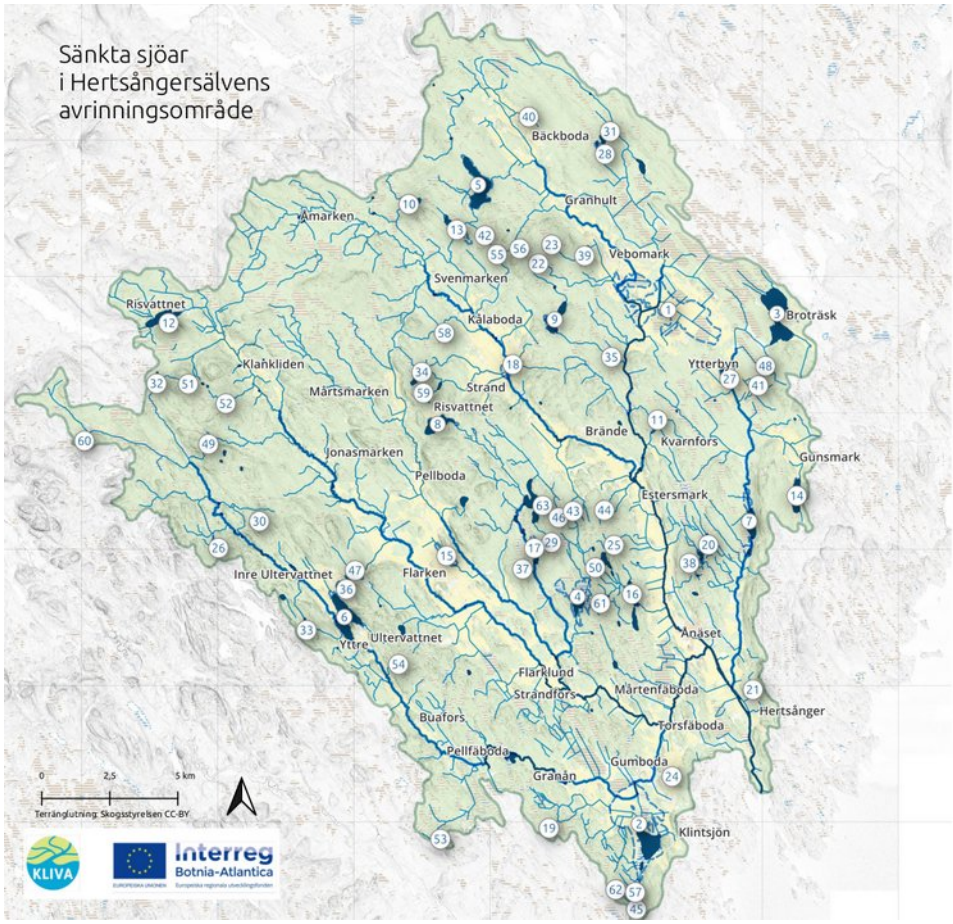
Vattenbalans (1981-2010)	Hela avrinningsområdet
Nederbörd [mm/år]	762
Evapotranspiration [mm/år]	400
Avrinning [mm/år]	362

Bilaga 3 – Hertsångersälvens 63 sänkta sjöar

Inom Hertsångersälvens avrinningsområde finns idag ca 65% mindre sjöyta än tiden innan sjöarna började sänkas; den tidigare vattenytan var ca 1584 ha, medan ytan idag är ca 674 ha.

Underlaget till detta resultat redovisas i tabellen till höger nedan, samt i totalt 63 kartblad som kan nås via nedanstående länk. Tabellen finns mer högupplöst via länken (OBS! pdf 90 MB):

https://mellanbygdensvattenrad.files.wordpress.com/2023/03/bilaga-3-hertsangersalvens-sankta-sjoar.pdf



Sänkt sjö nr:	Namn	Yta förr (ha)	Yta idag (ha)	Yta kvar (%)
1	Vebomarksträsket	399.3	3.1	1
2	Klintsjön	362.2	50.8	14
3	Broträsket	99	92.6	94
4	Ryssjön	88.5	16.1	18
5	Stor-Sandsjön	85	58.7	69
6	Ultervattnet	82.5	63.5	77
7	Båtsjön	58.4	21.5	37
8	Risvattnet	35.5	28.7	81
9	Trehörningen	31.1	22.9	74
10	Hålvattnet	28.4	18.2	64
11	Klumpsjön	28.2	11.1	39
12	Risvattnet	26.6	23	86
13	Krokvattnet	26	3.8	15
14	Labbträsket	25.6	21.4	84
15	Gammbystjärnen	22.7	0	0
16	Holmsjön	21	17.5	83
17	Ståvattnet	18.2	11.5	63
18	Namnlös 3(6)	13.4	0	0
19	Jomarkstjärn	12.9	12.2	95
20	Neltjärnen	10.5	2	19
21	Innerbytjärnen	8.7	0	0
22	Stortjärnen	8.7	7.8	90
23	Orrtjärnen	7.9	4.9	62
24	Gumbodatjärnen	7.7	3.7	48
25	Brånstjärnen	7.7	4.7	61
26	Lammartjärnen	7.4	3.9	53
27	Namnlös 1(6)	7	1.6	23
28	Nottjärnen	6.6	0.7	11
29	Slåttermyrtjärnen	6.2	4.7	76
30	Bjännsjön	5.7	5	88
31	Gammelåkerstjärnen	5.2	3.5	67
32	Stor-Uttertjärnen	5.1	0.7	14
33	Stora Norstjärnen	5.1	3.3	65
34	Abborrtjärnen	4.5	3.9	87
35	Hjoggtjärnen	4.3	2.2	51
36	Gammtjärnen	4.1	1.3	32
37	Bjursjön	3.9	3.2	82
38	Siktjärnen	3.3	1.1	33
39	Ålavan	2.9	0	0
40	Lidtjärnen	2.7	0.9	33
41	Kattmyrrumptjärnen	2.7	1.4	52
42	Stormyran	2.5	0.7	28
43	Knuptjärnen	2.1	1.4	67
44	Ögeltjärnen	1.9	0.7	37
45	Namnlös 6(6)	1.8	1	56
46	Röjmyrtjärnen	1.8	0.6	33
47	Liltjärnen	1.8	0.3	17
48	Holmmyrtjärnen	1.6	1.2	75
49	Abborrtjärnen	1.6	1.4	87
50	Åtjärnen	1.4	0.8	57
51	Långtjärnen	1.3	0.8	62
52	Gåstjärnen	1.3	0.4	31
53	Fagerlidtjärnen	1.3	0.9	69
54	Gåstjärnen	1.2	0.2	17
55	Håltjärnen	1.1	0.5	45
56	Snetjärnen	1	0.4	40
57	Namnlös 2(6)	1	0.2	20
58	Hamptjärnen	0.9	0.5	56
59	Gåstjärnen	0.6	0.2	33
60	Lapptjärnen	0.6	0.1	17
61	Namnlös 4(6)	0.4	0.1	25
62	Gåstjärnen	0.2	0	0
63	Namnlös 5(6)	0.2	0.1	50