

Försurning

15 november 2022



Johan Ahlström, Havs- och vattenmyndigheten

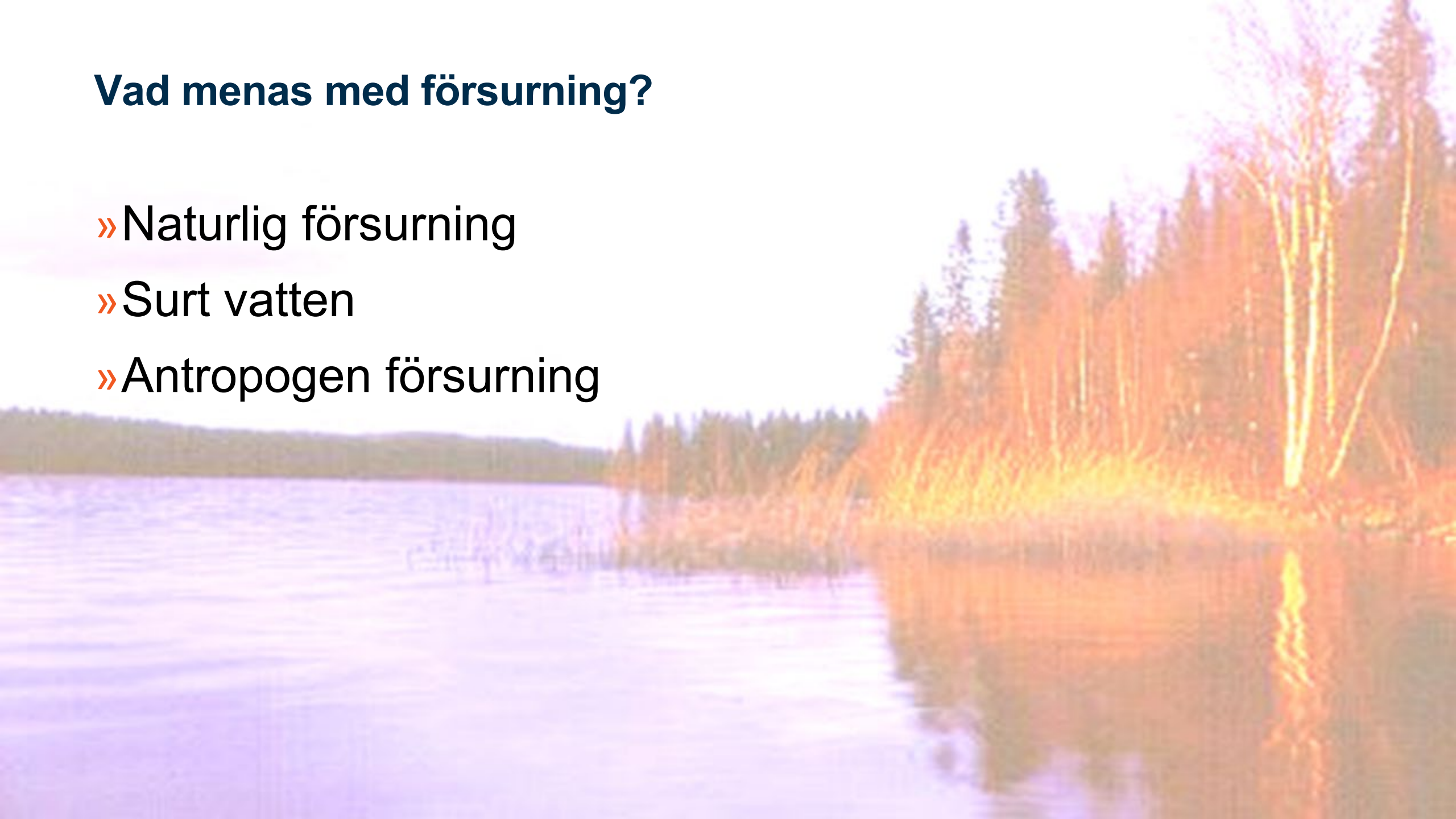
Havs
och Vatten
myndigheten

Detta kommer jag att avhandla!

- » Vad menas med försurning?
- » Varför har vi försurning?
- » Försurningsteori och modeller
- » Återhämtning och nuläge

Vad menas med försurning?

- » Naturlig försurning
- » Surt vatten
- » Antropogen försurning



Naturlig försurning

Rekonstruering av pH med hjälp av kiselalger i sjösediment

1) Kalkning

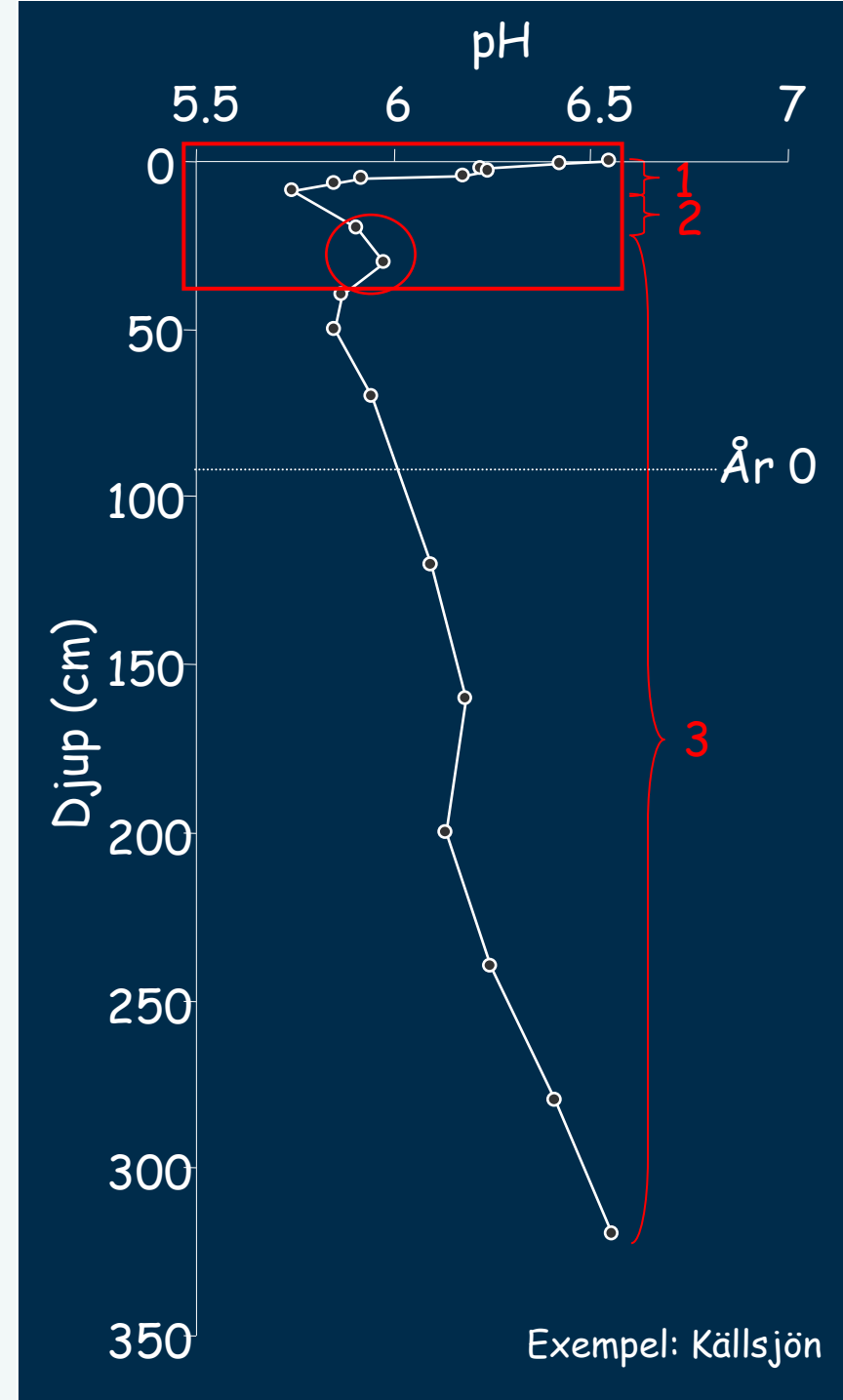
pH stiger till följd av kalkning

2) Antropogen försurning

pH sjunker snabbt till följd av
surt nedfall

3) Naturlig försurning

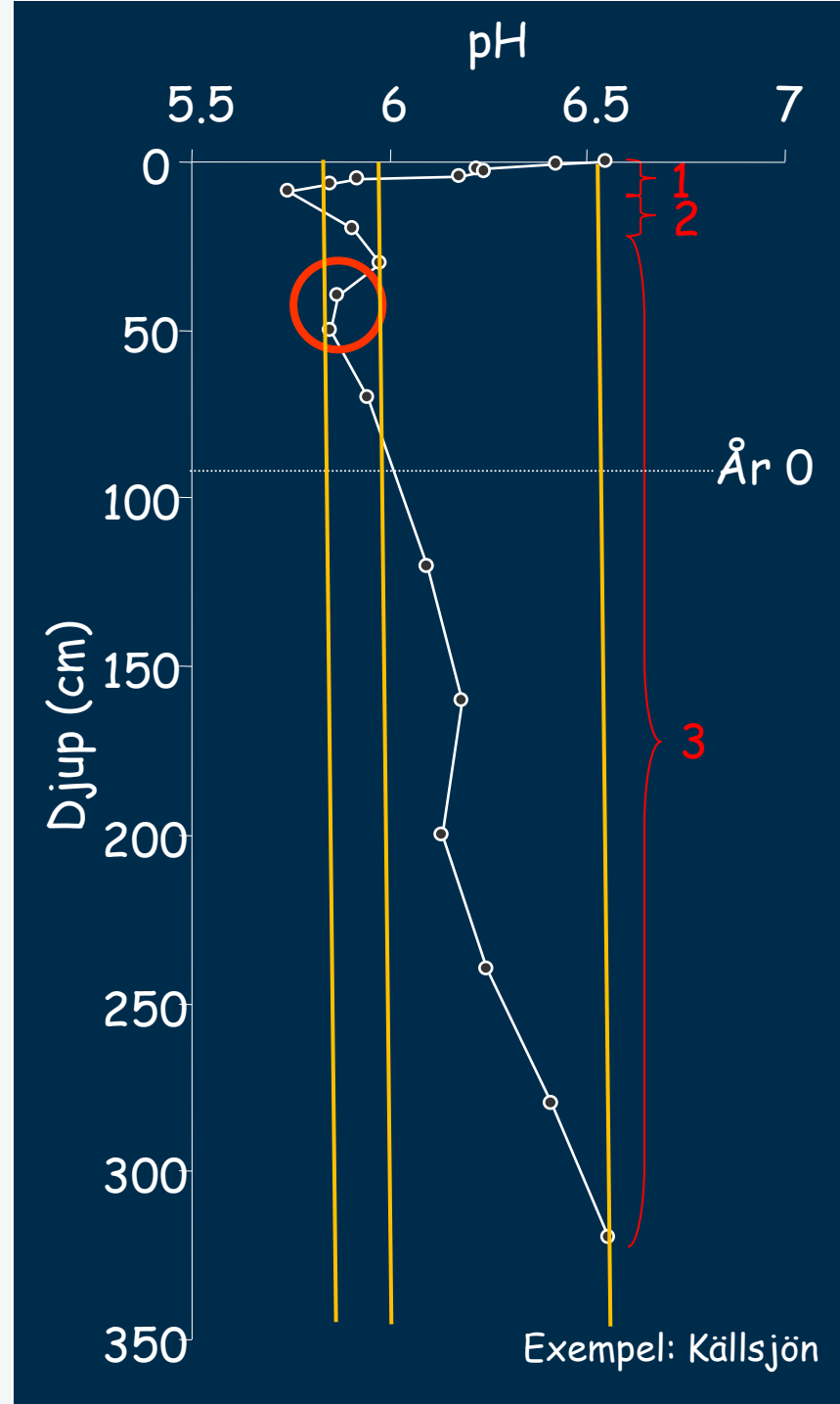
pH sjunker sakta till följd av
naturliga processer



Naturlig försurning kan leda till surt vatten

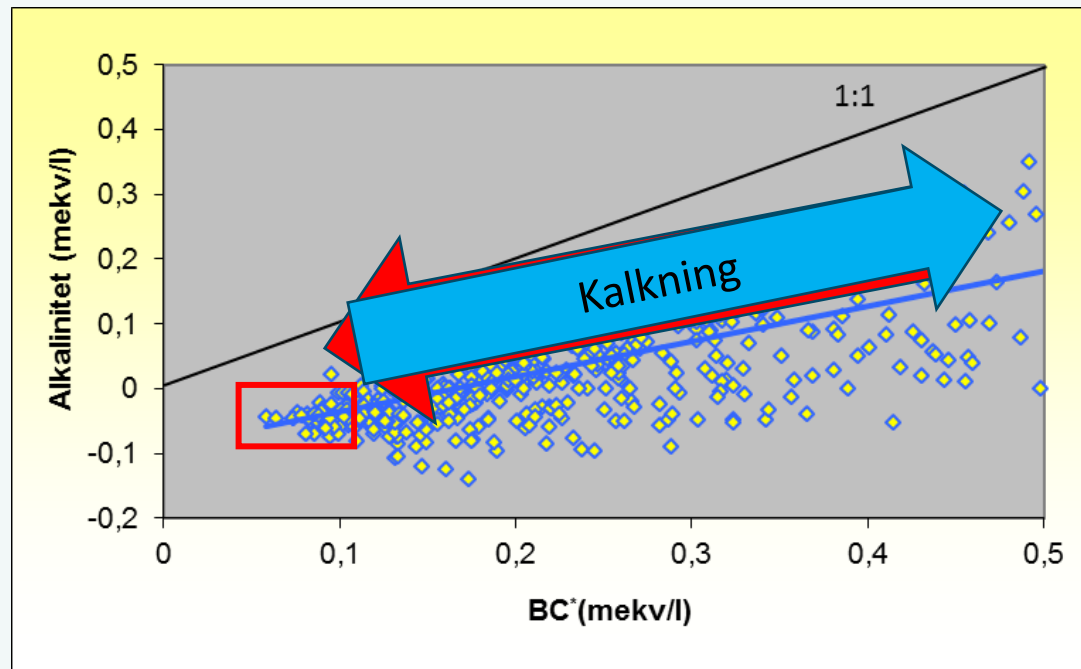
Surt vatten behöver således
inte vara orsakat av
antropogen försurning!

- **Låg buffringsförmåga**
- **Organiska syror**
- **Högt koldioxidtryck**
- **Geologiskt sulfat**
- **Vad är referens-pH
(naturligt-pH)?**



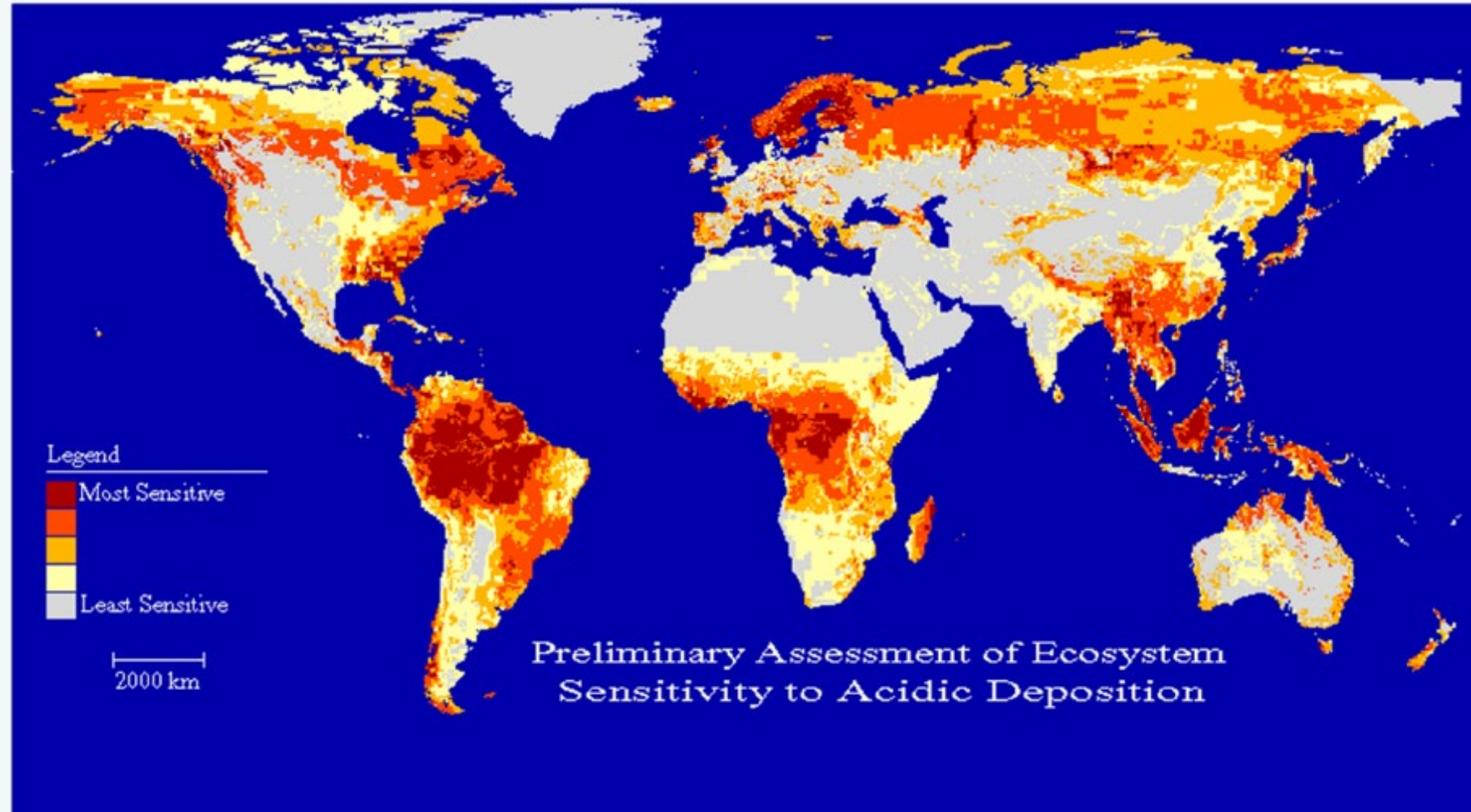
Surt vatten – låg buffringsförmåga

- » Buffringsförmågan (ofta mätt som alkalinitet) genereras vid vittringen av markmineral
- » Baskatjoner (BC^*) frigörs vid vittring i samma mängd som alkalinitet och är ett mått på den alkalinitet som vattnet skulle ha om inga syror tillkommer (OBS förenklat)
- » Låg baskatjonhalt indikerar liten förmåga att neutralisera syror, dvs ett förurningskänsligt vatten
- » Baskatjoner = kalcium, magnesium, natrium och kalium (*=ej marina)

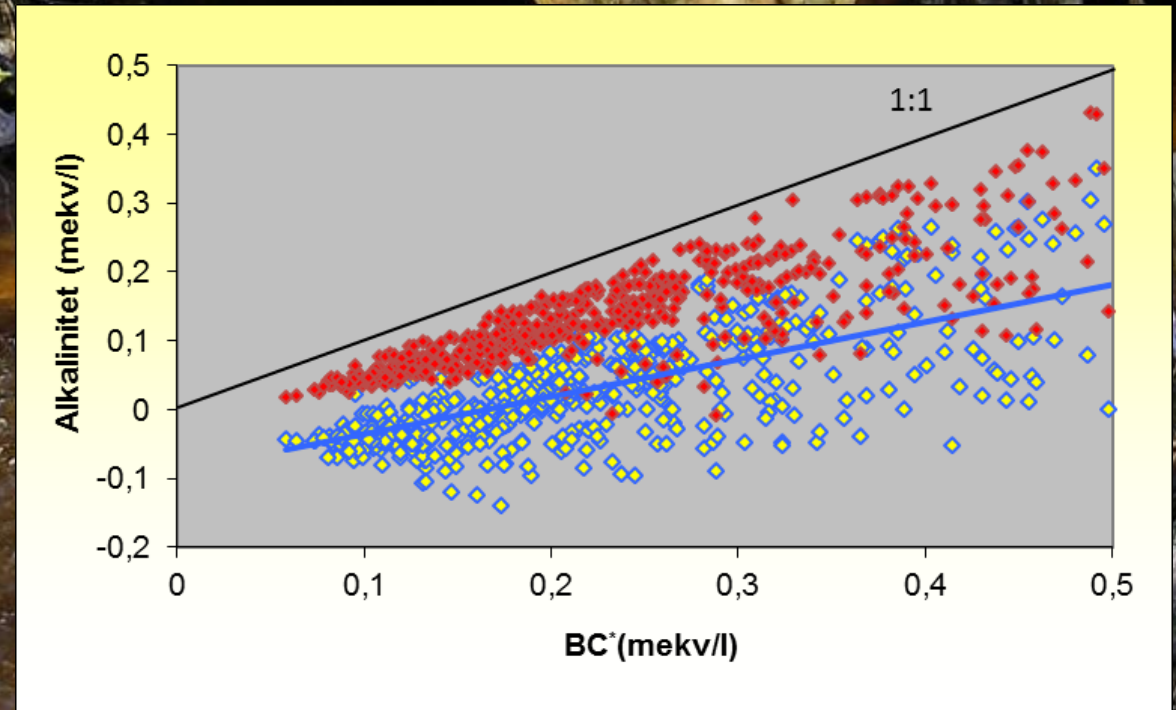
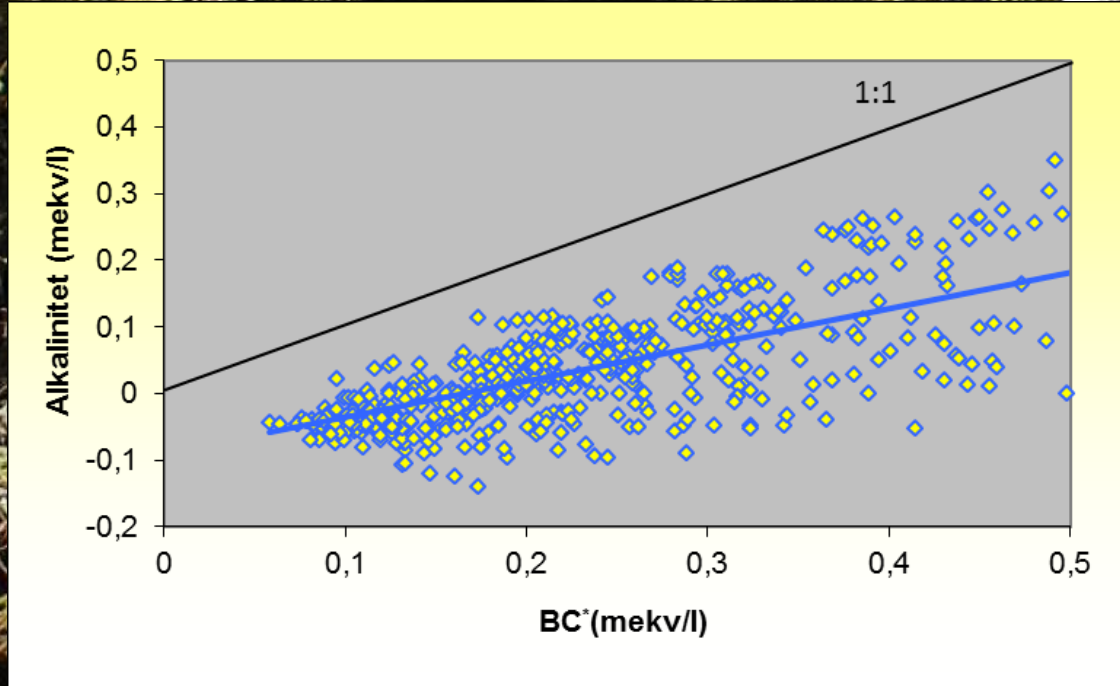


Känsliga Sverige

- » Svårvittrad berggrund
- » Kallt klimat

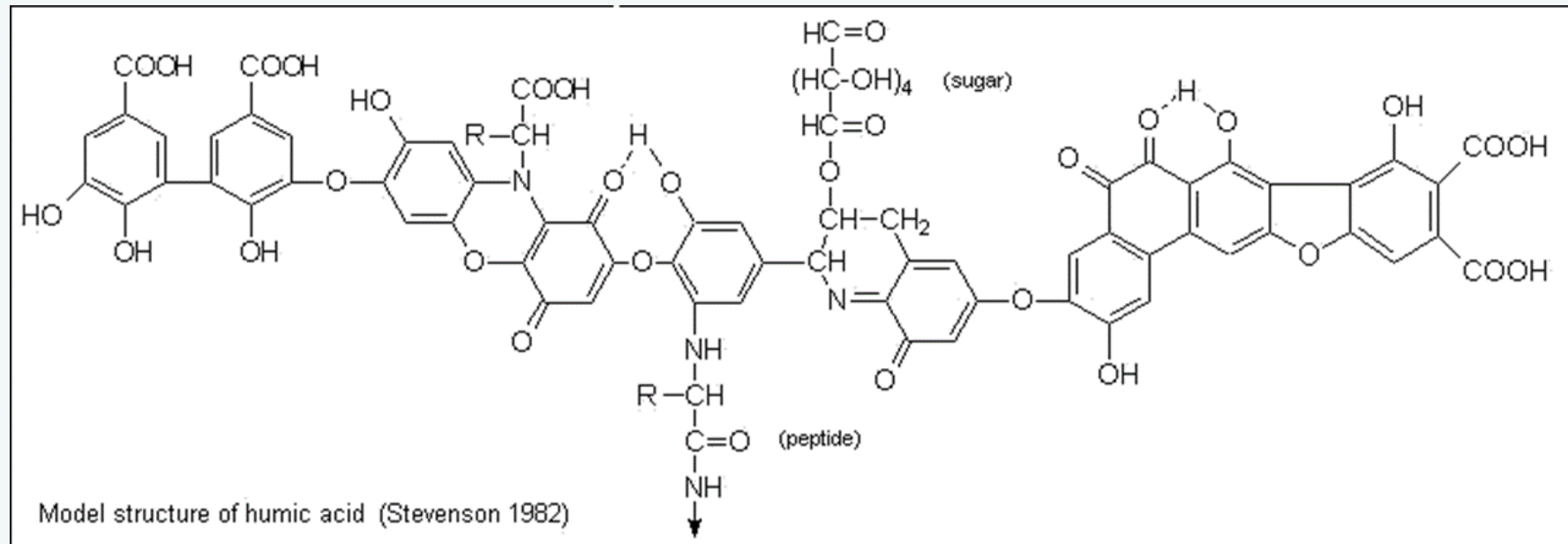


Surt vatten – organiska syror



Surt vatten – organiska syror

- » Organiska syror = humussyror
- » Dött organiskt material från produktionen av biomassa på land
- » Svaga syror som förbrukar alkalinitet
- » Fungerar som buffert i sura vatten (därför åtgår mer kalk för att höja pH i ett brunt vatten)



Surt vatten – organiska syror

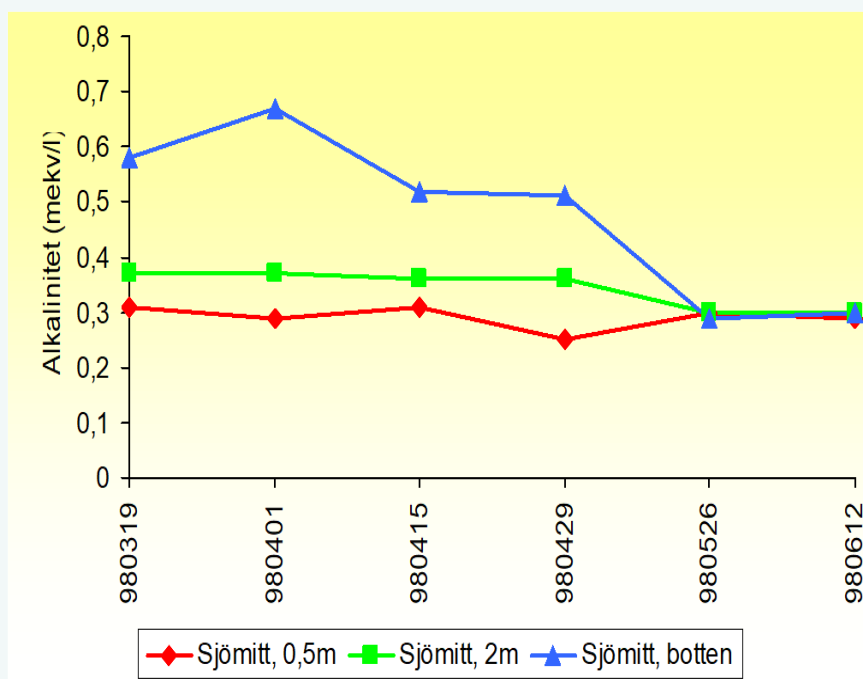
Mängden organiska syror analyseras indirekt i form av TOC (Total Organic Carbon), Absorbans eller färgtal

- » Färgtal 100 mg/l motsvarar ungefär en förbrukning av alkalinitet på 0,05 mekv/l
- » Färgtal 200 mg/l: 0,10 mekv/l
- » Färgtal 300 mg/l: 0,15 mekv/l

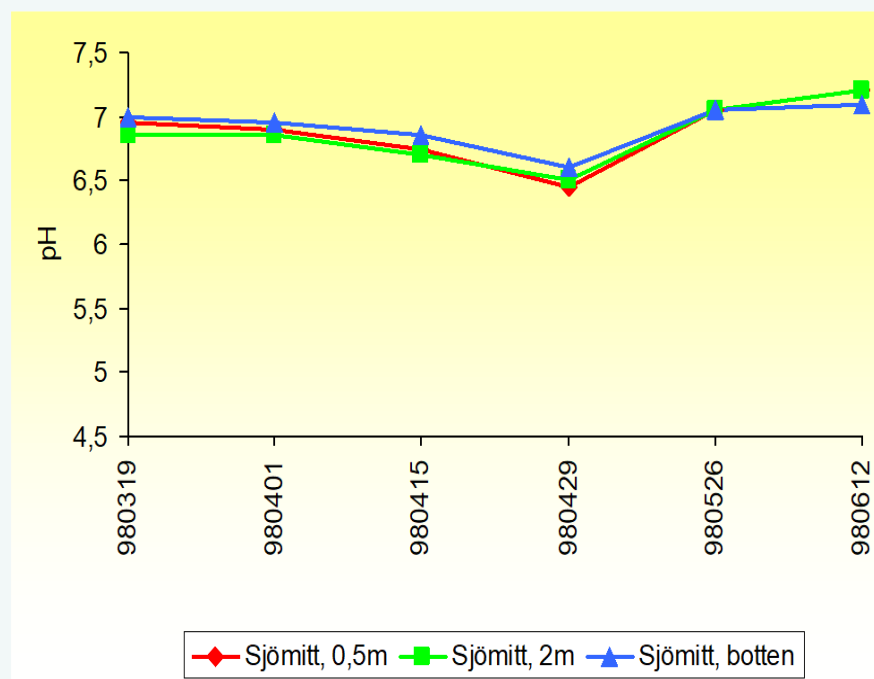
Surt vatten - koldioxidtryck

Förhöjt partialtryck av koldioxid sänker pH, men inte alkaliniteten

Alkalinitet



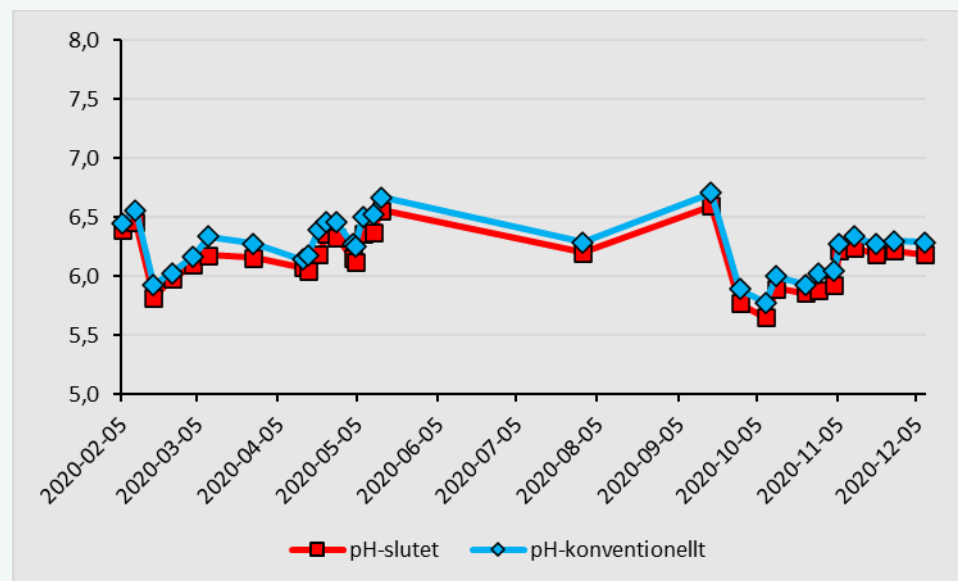
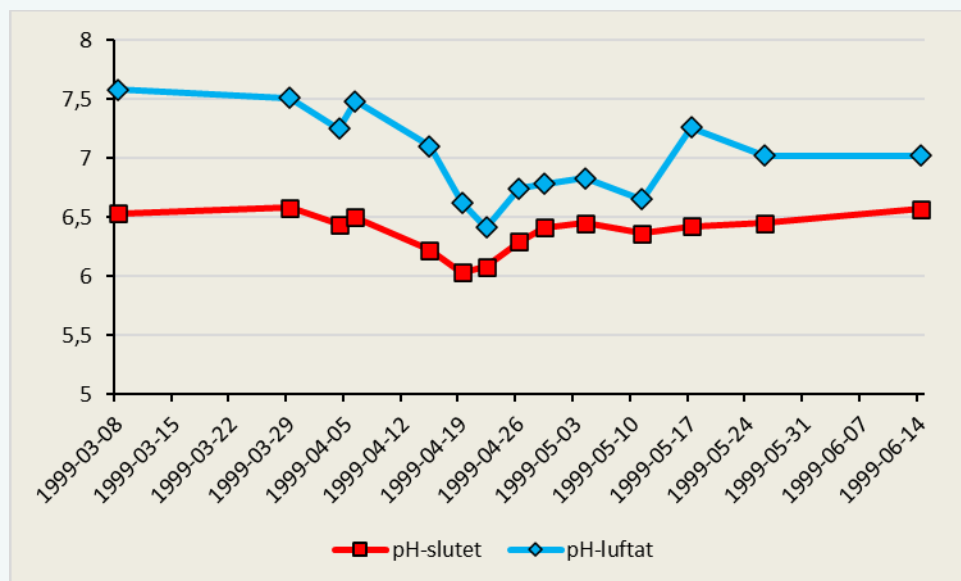
pH



Surt vatten - koldioxidtryck

Förhöjt partialtryck av koldioxid sänker pH, men inte alkaliniteten

- » Luftat pH visar effekten av förhöjt partialtryck av koldioxid på pH
- » Även under högflöden i vattendrag ses en viss effekt av koldioxid
- » Hanteringen på lab innebär en okontrollerad luftning som höjer pH



Surt vatten – geologiskt sulfat

- » Geologiskt sulfat kan finnas i berggrunden eller i sediment – frigörs vid oxidation
- » Störst problem i marker som tidigare legat under havsytan (svartmocka)
- » Antropogen förurning i samband med åtgärder som sänker grundvattennivån



Naturligt sura sjöar

- » Tunna eller urlakade jordar med svårvittrade mineral, många av dessa är försurningskänsliga och försurade
- » Höga humushalter, behöver inte vara försurningskänsliga

Vi kalkar naturligt sura sjöar!



Naturlig försurning

En långsam process sedan förra istiden. Naturlig försurning kan leda till sura vatten

Surt vatten

Sura vatten behöver inte vara försurade. Däremot är de ofta känsliga för antropogen försurning

Antropogen* försurning

Minskat pH orsakat av människan

*Antropogen = Av människan skapat (från grekiskans "anthropos" och "genese")

Varför har vi antropogen försurning?

Svaveldioxid och kväveoxider

Utsläpp, trender och nedfall

Avgång av ammoniak

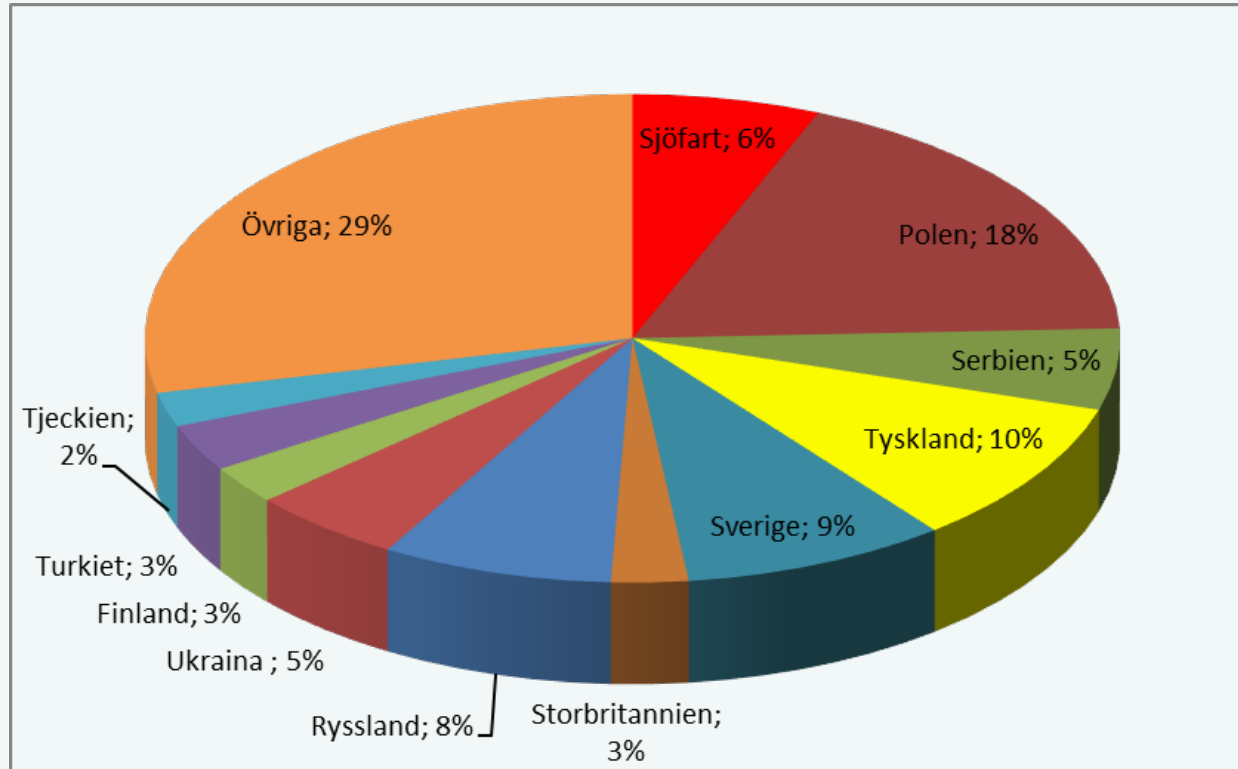
Skogstillväxt

Teori, trender och effekter

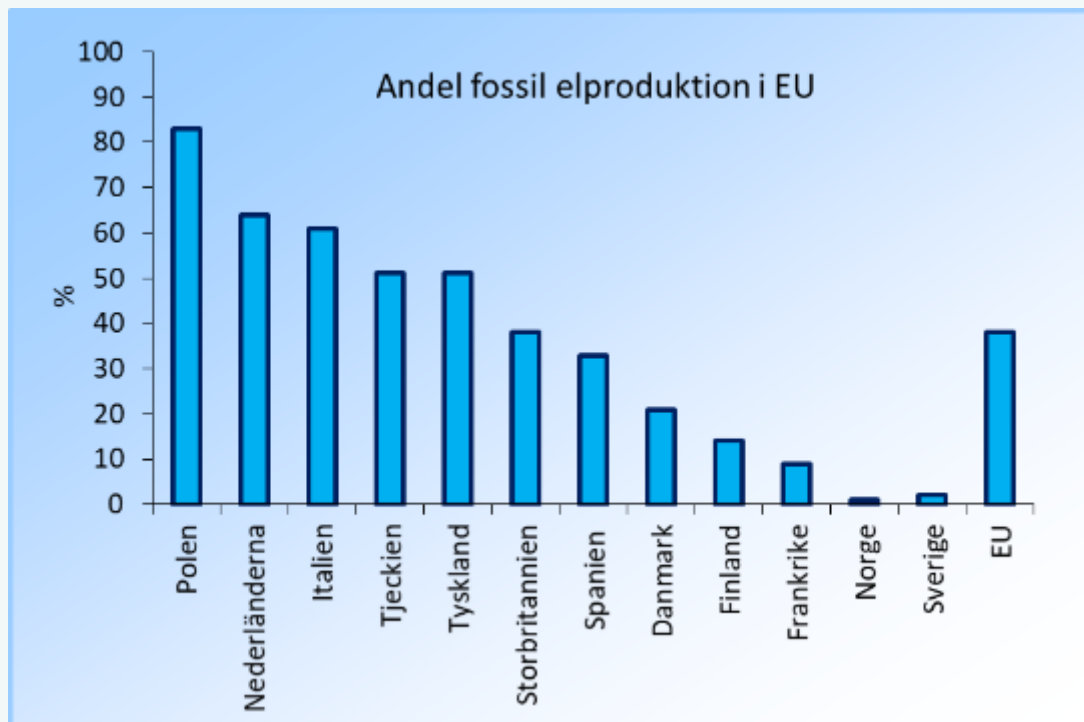
Brunifiering

Orsaker, trender och effekter

Svaveldioxid – 90 % från utlandet



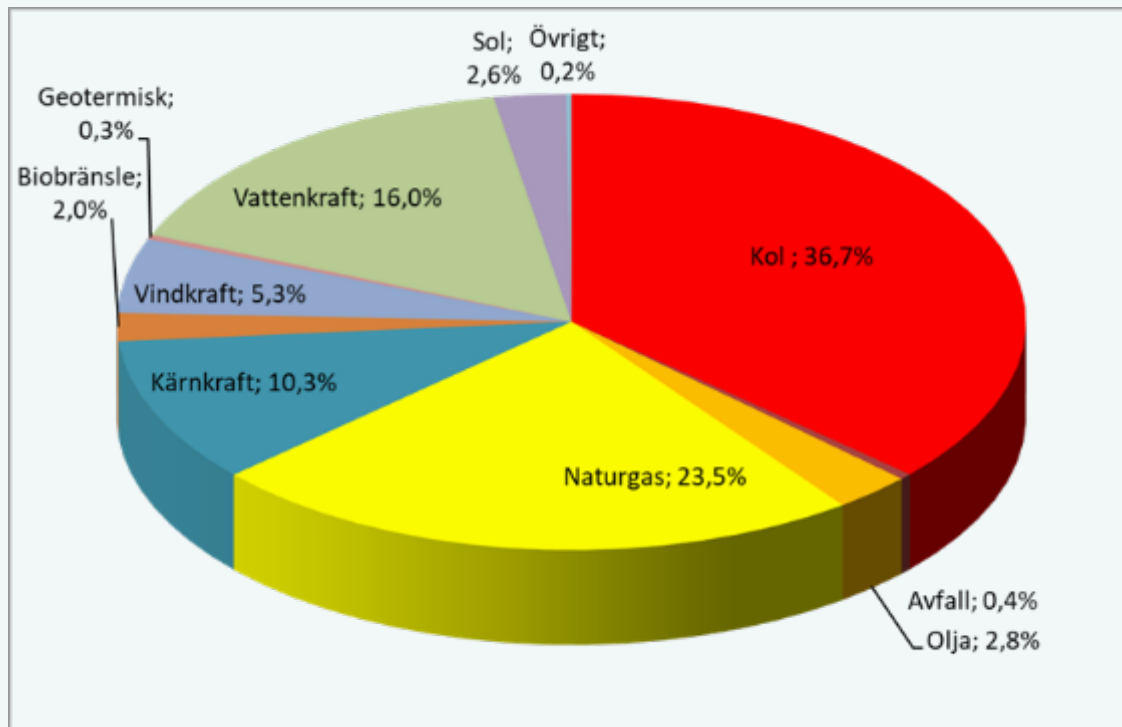
Svaveldioxid – elproduktion med fossila bränslen



**Inom EU: drygt en
tredjedel (2021)**



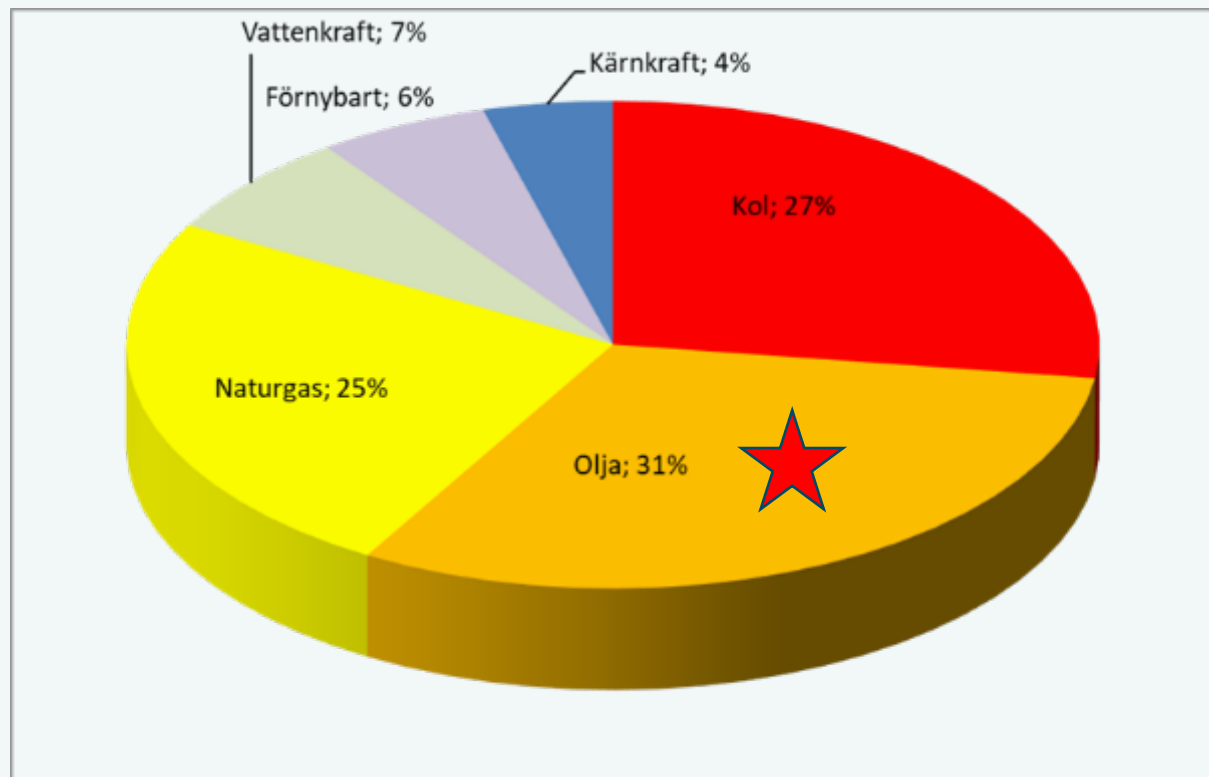
Svaveldioxid – elproduktion med fossila bränslen



Globalt: 63% (2019)



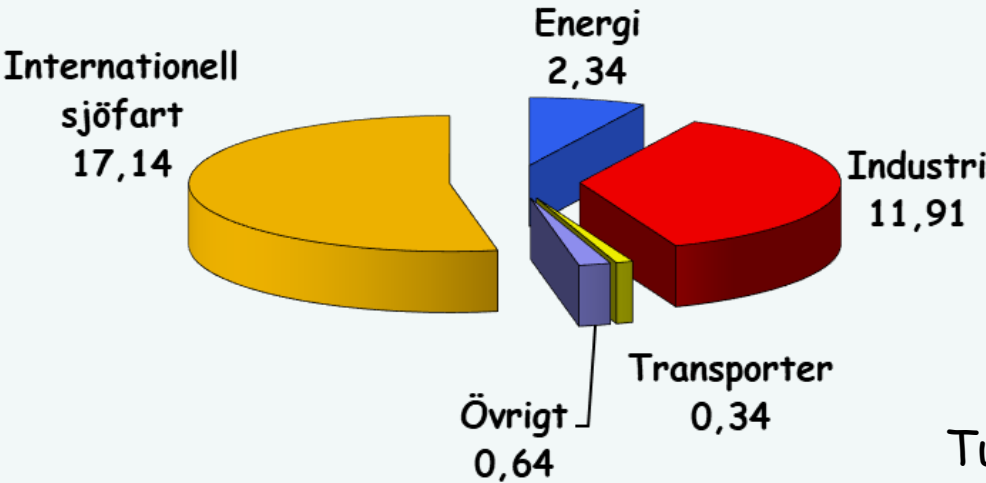
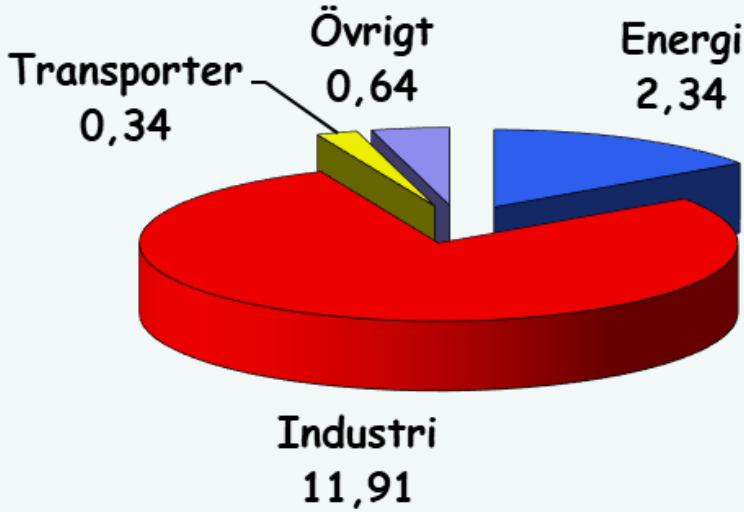
Svaveldioxid – energiproduktion med fossila bränslen



Globalt: 83% (2019)



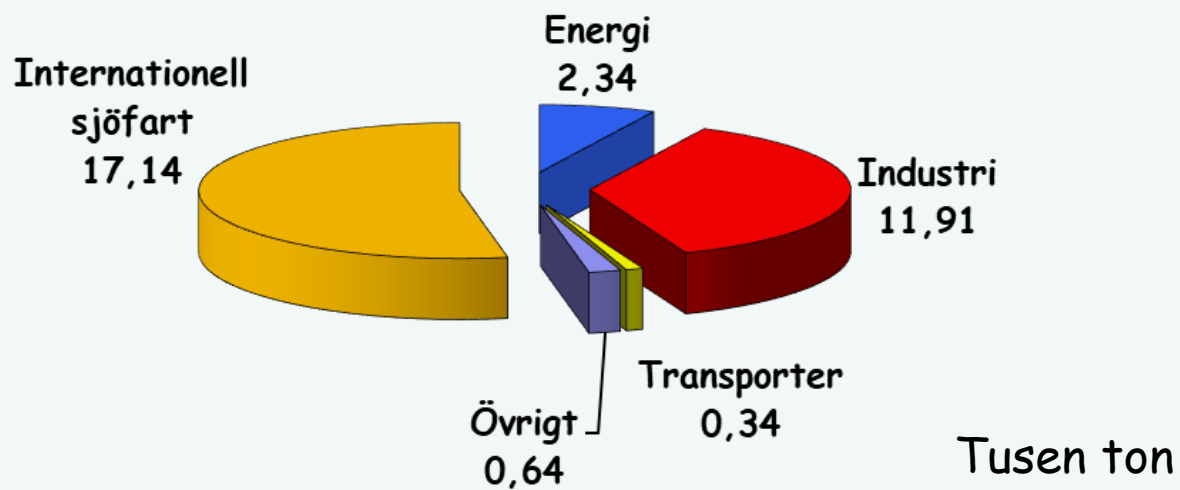
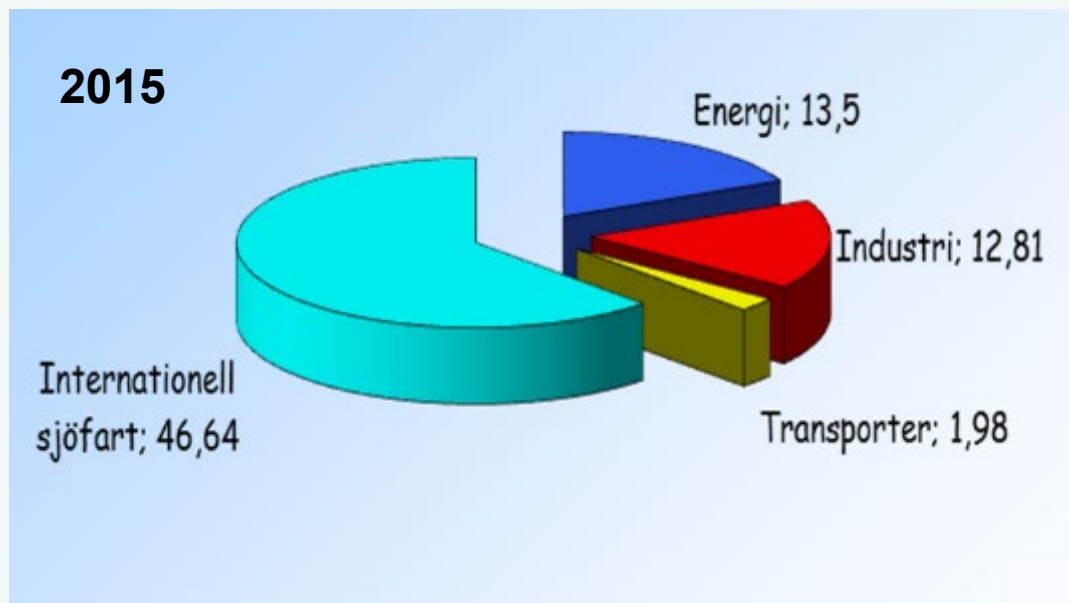
Svaveldioxid – svenska utsläpp



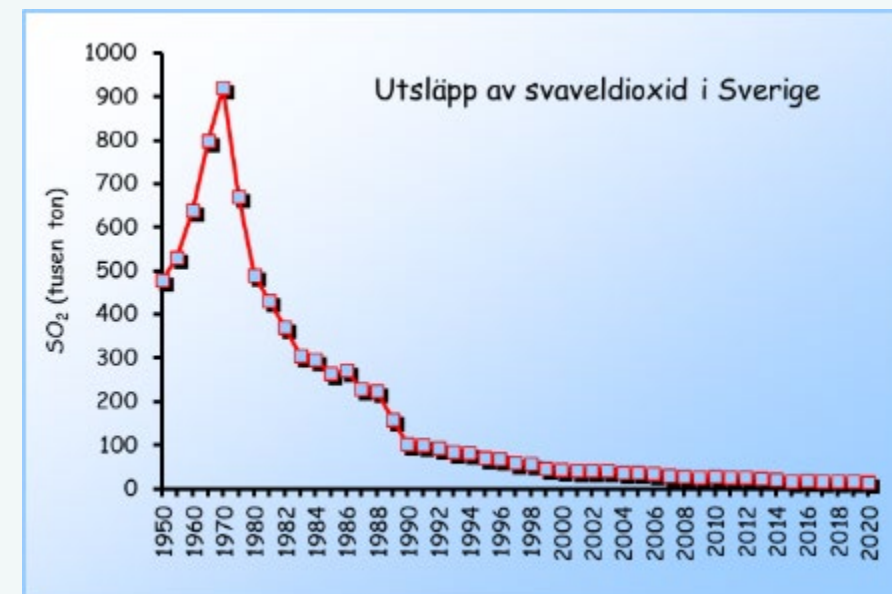
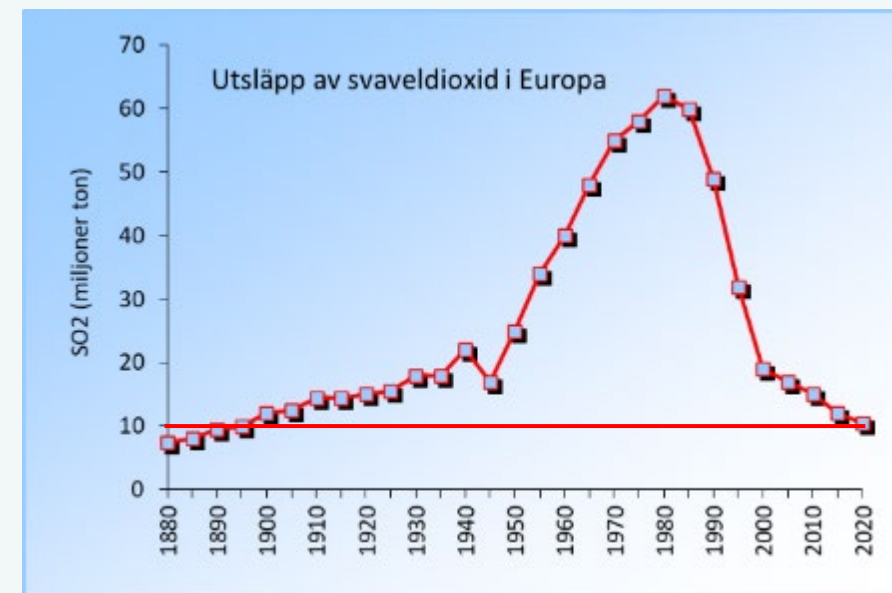
Tusen ton



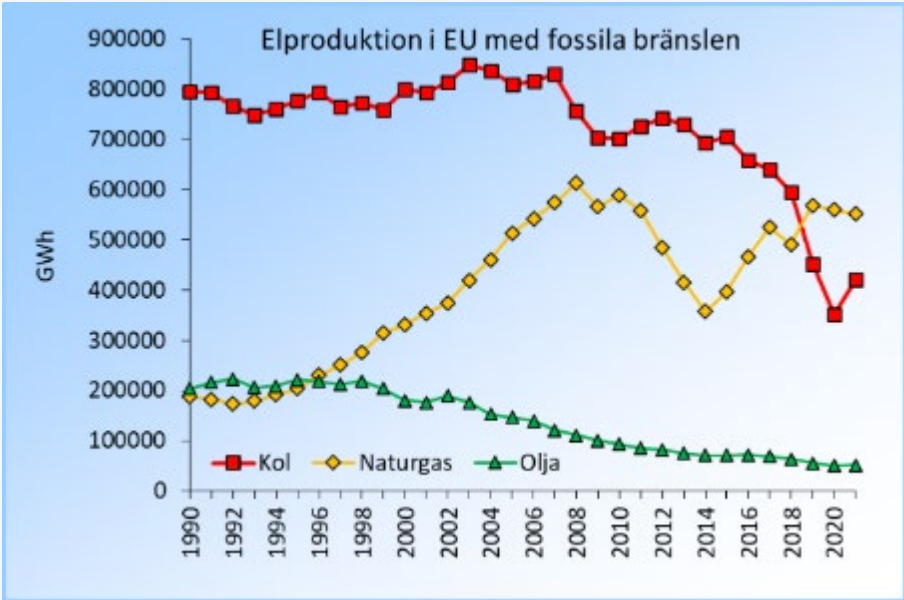
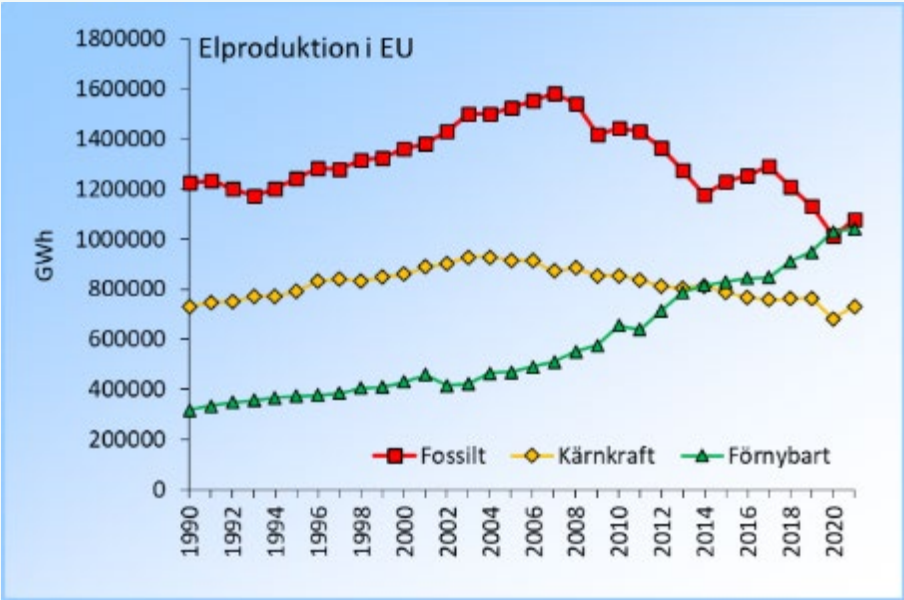
Svaveldioxid – svenska utsläpp



Svaveldioxid – utsläppen minskar



Svaveldioxid – utsläppen minskar

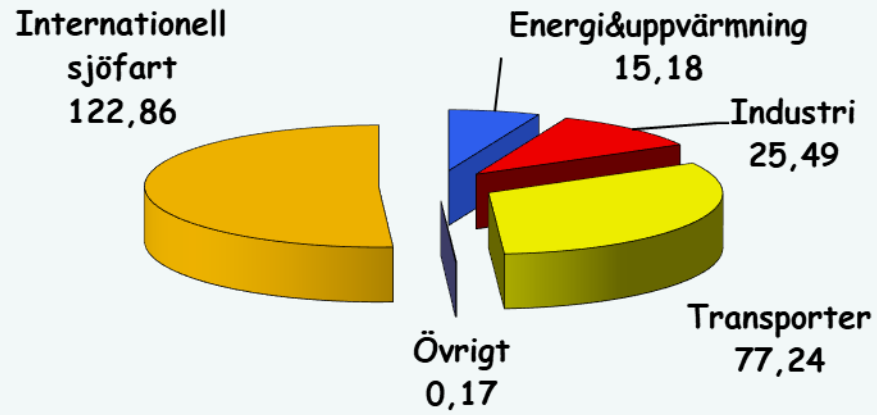
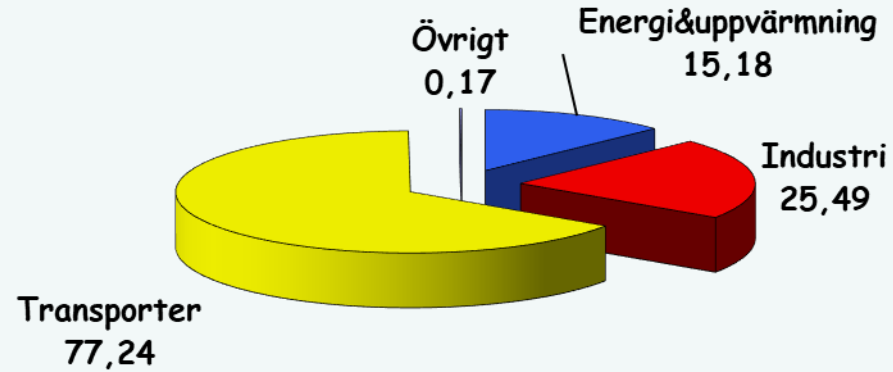


Svaveldioxid – utsläppen minskar



- » Byte från kol och olja till naturgas
- » Ökad fossilfri produktion (först kärnkraft sedan vind och sol)
- » Rökgasrening med kalk
- » Lägre svavelhalt i olja (avsvavling), under senare år inte minst i sjöfarten

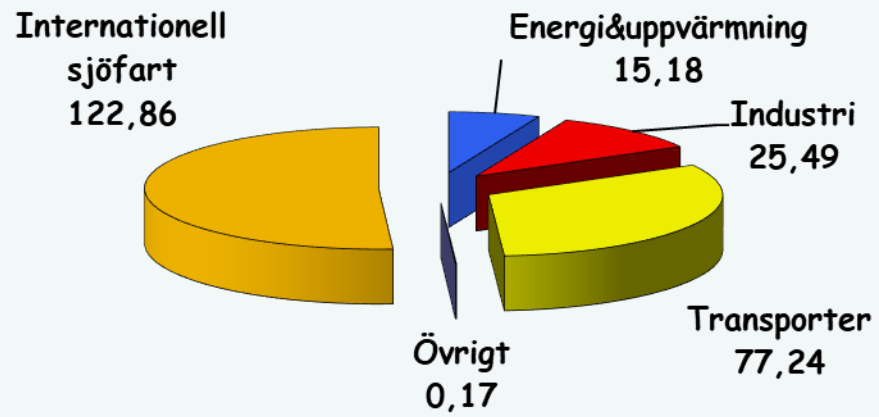
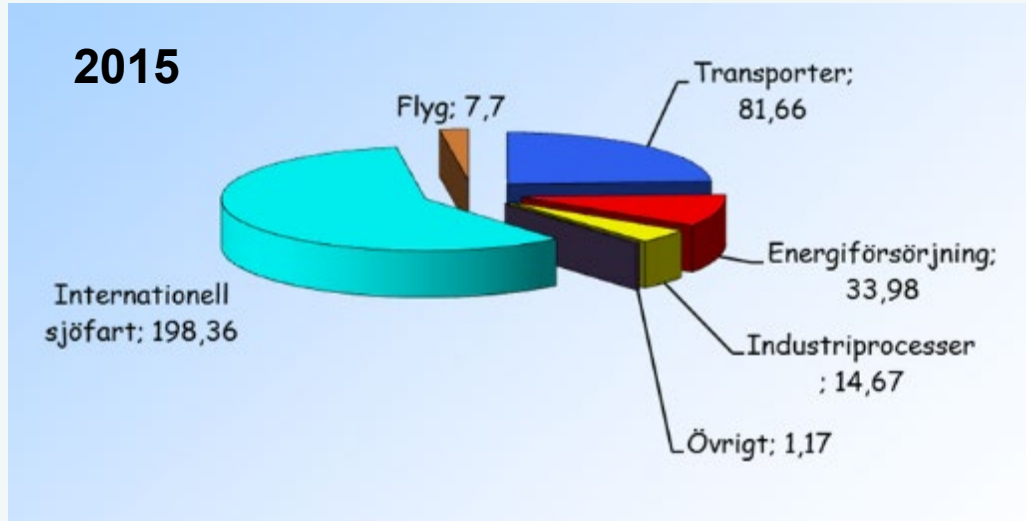
Kväveoxider – svenska utsläpp



Tusen ton



Kväveoxider – svenska utsläpp



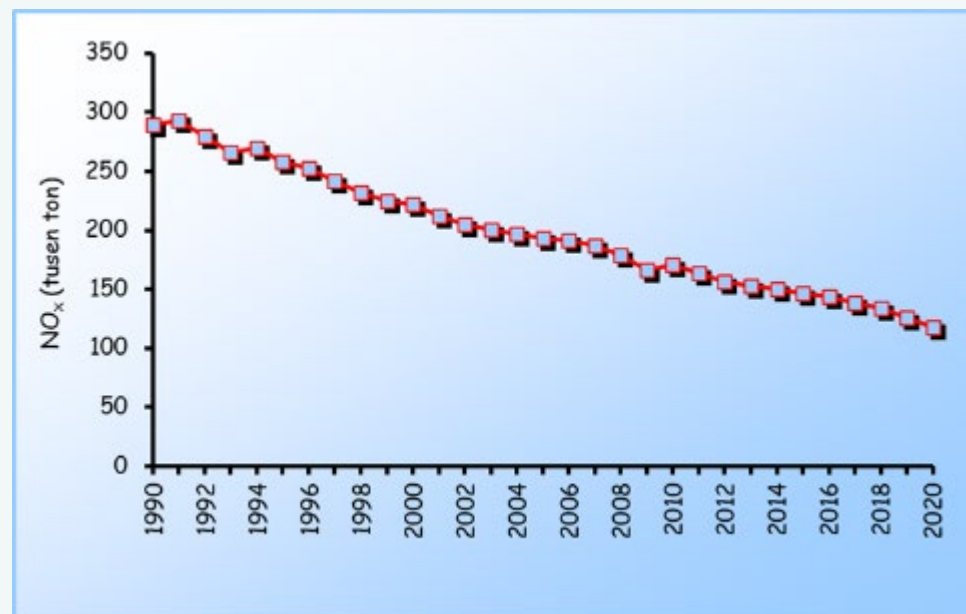
Tusen ton



Kväveoxider – utsläppen minskar



Svenska utsläpp



Kväveoxider

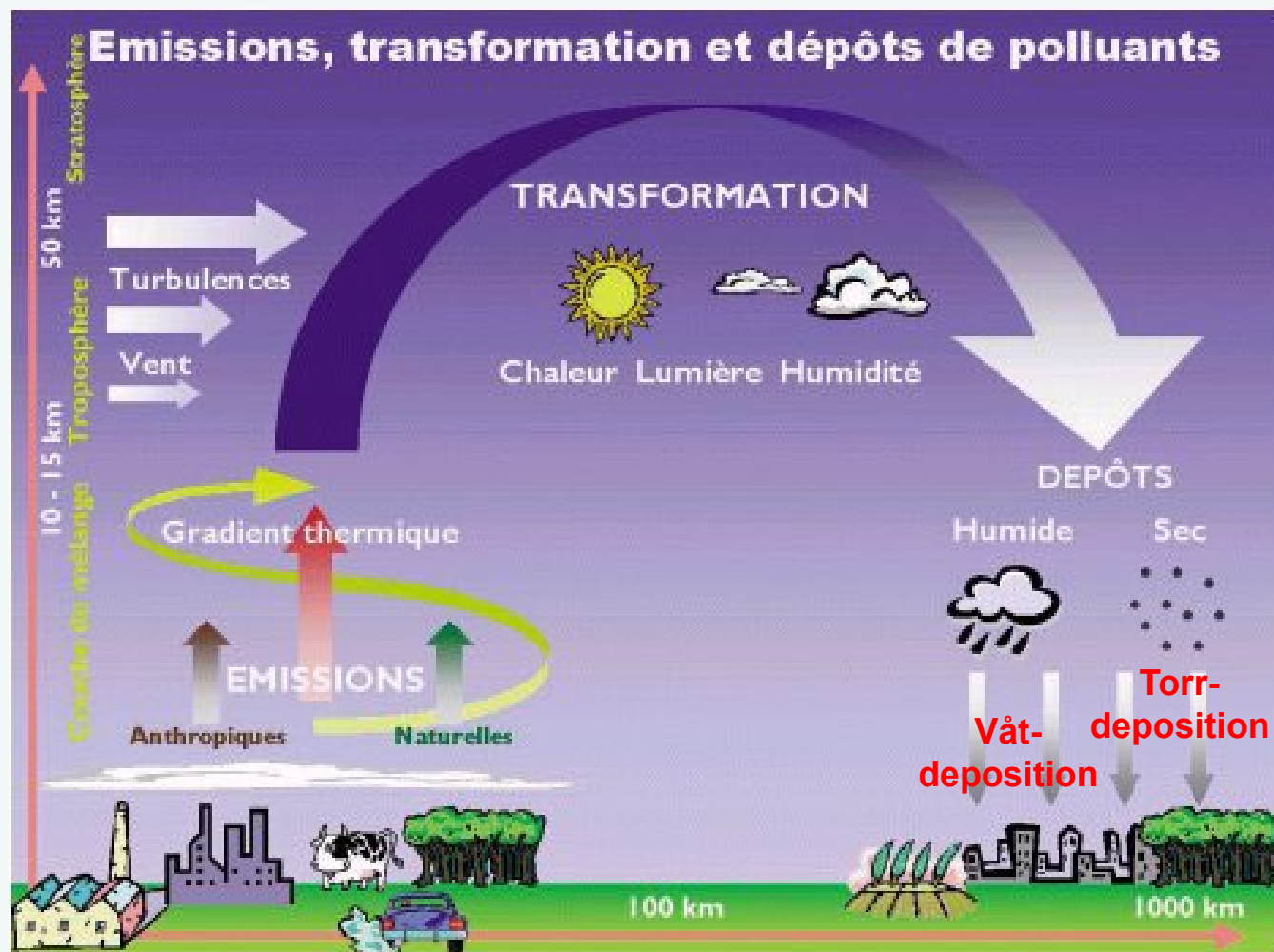
- » Syraeffekten från kväveoxider neutraliseras i samband med upptag av kväve i vegetationen och försurar enbart vid kvävemättnad (dvs när vegetationen inte förmår att ta upp mera kväve)
- » Kvävemättnad syns i form av uppmätt nitrat (NO_3) i sjöar och vattendrag (kan exempelvis uppträda efter kalhuggning)
- » Kväve bidrar även till försurningen via en ökad skogstillväxt

Ammoniak

- » Kommer från djurhållning och naturgödsel
- » Är ett alkaliskt ämne som omvandlas till ammonium i atmosfären och därmed höjer pH
- » I samband med bioupptag eller nitrifikation kan ammonium bidra till försurning



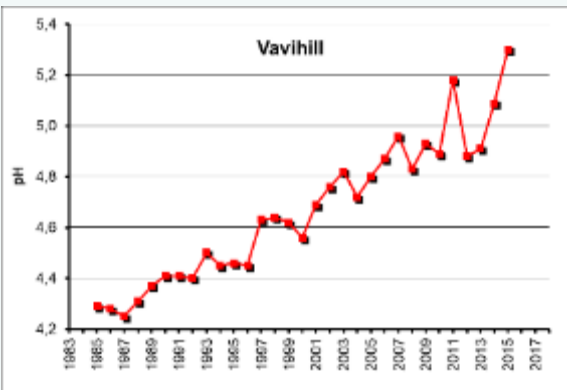
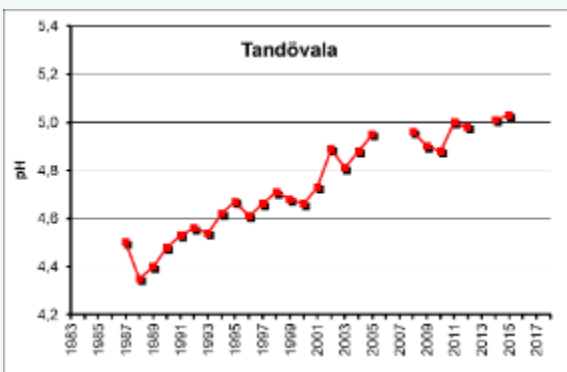
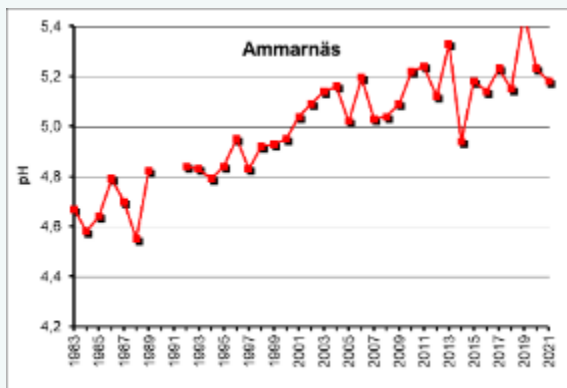
Allting kommer tillbaka



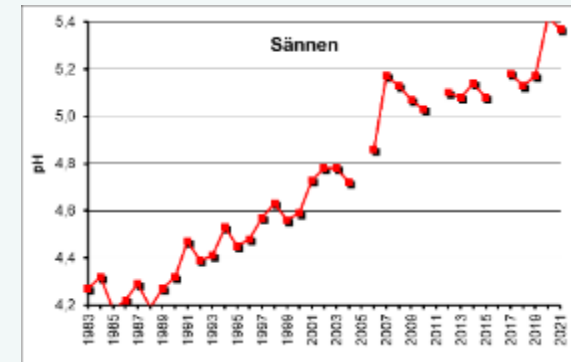
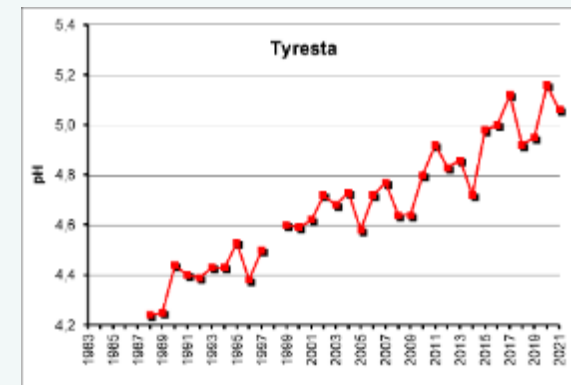
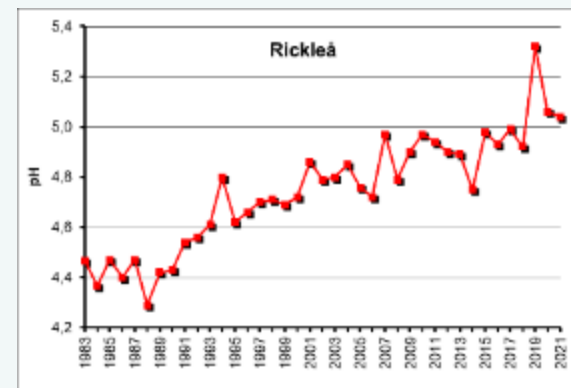
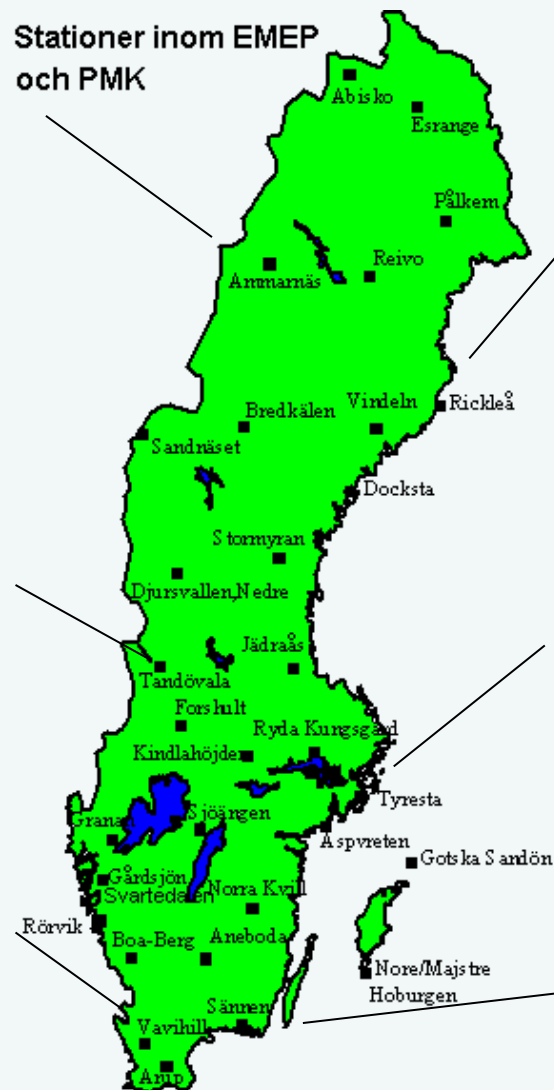
Havs
och Vatten
myndigheten

Svaveldioxid ➡ Svavelsyra ➡ Surt regn

pH i nederbörden



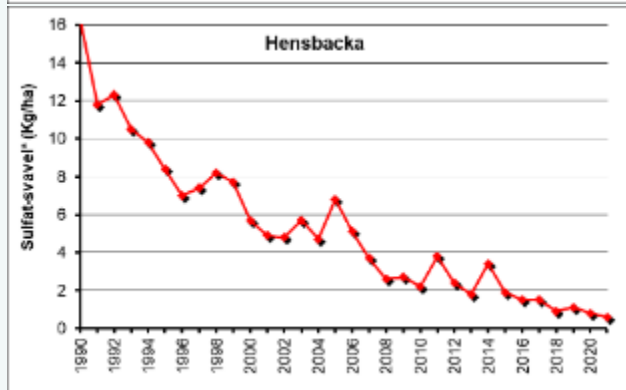
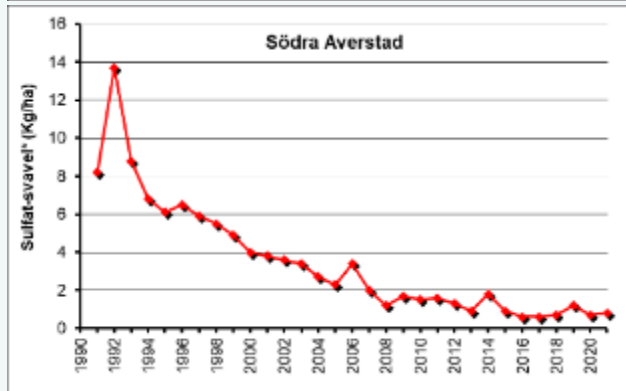
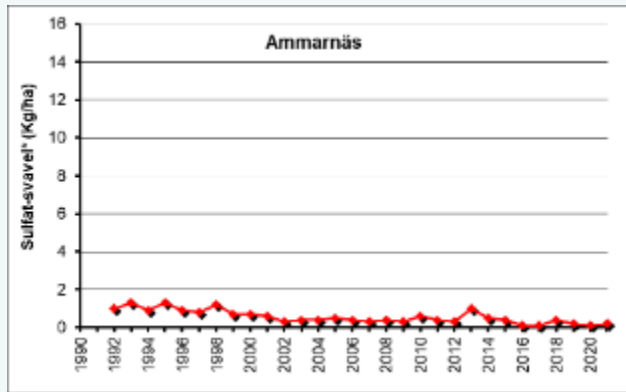
Stationer inom EMEP
och PMK



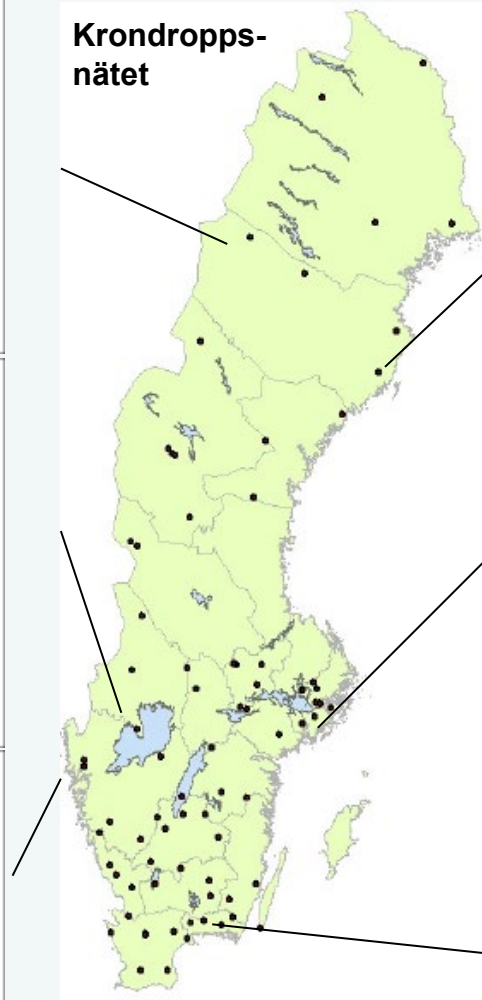
Källa: SMHI

Havs
Vatten
myndigheten

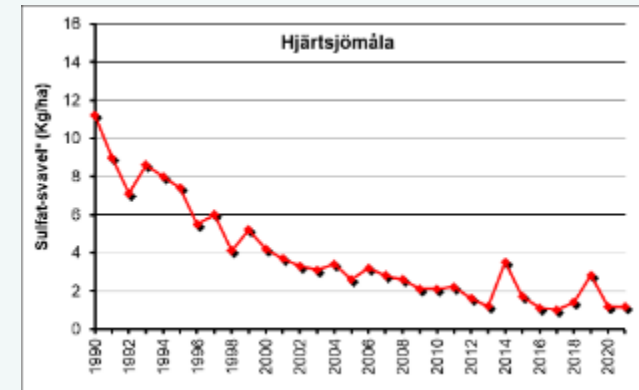
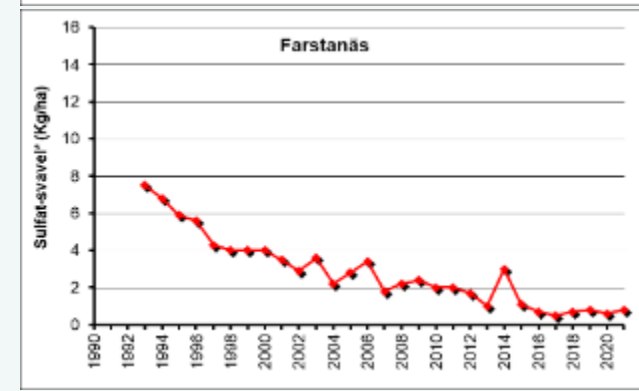
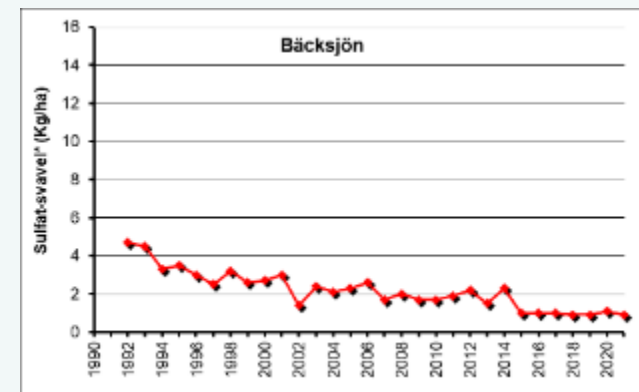
Nedfall av svavel, uppmätt



Krondropps-
nätet

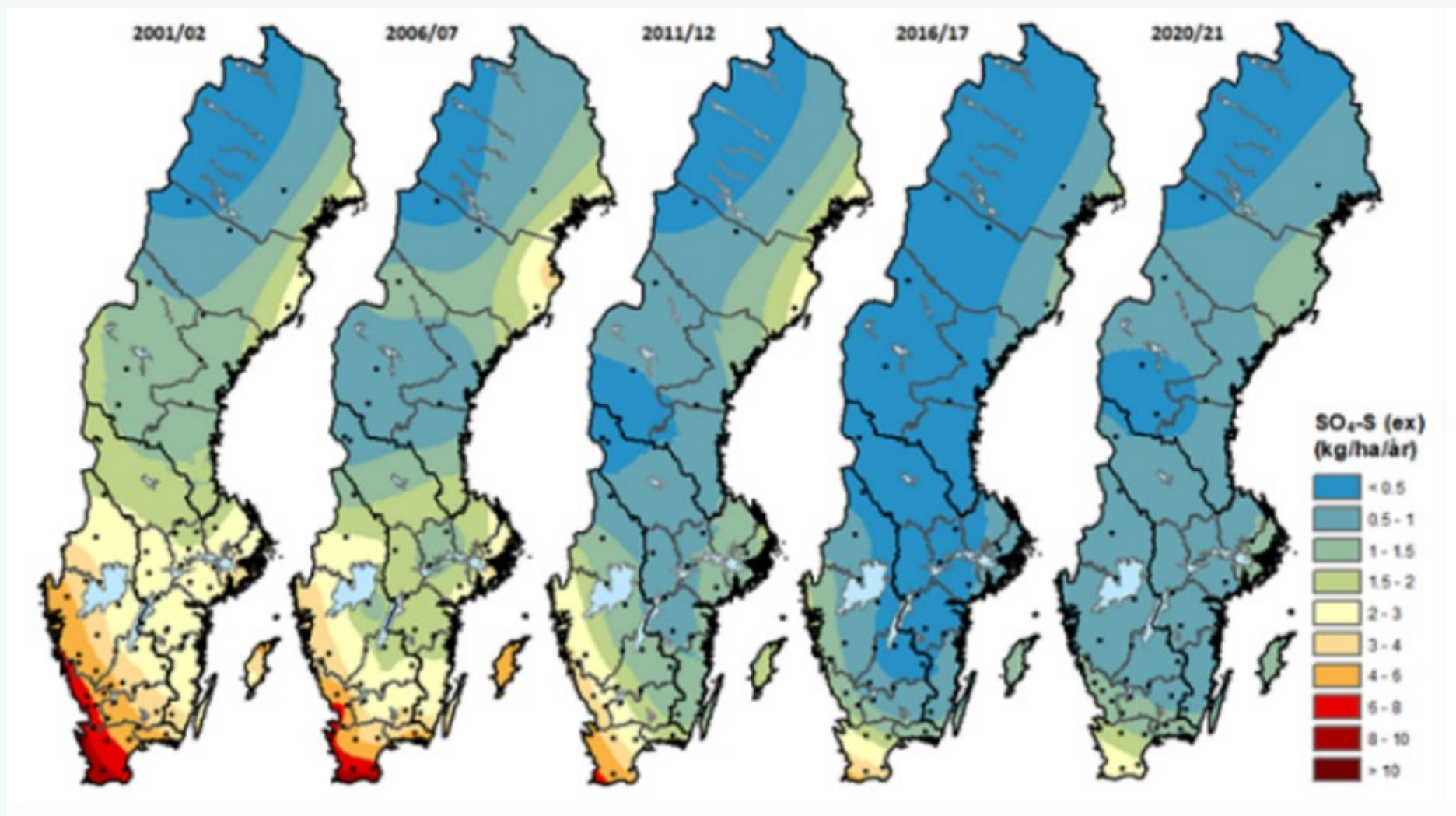


Källa: IVL



Havs
Vatten
myndigheten

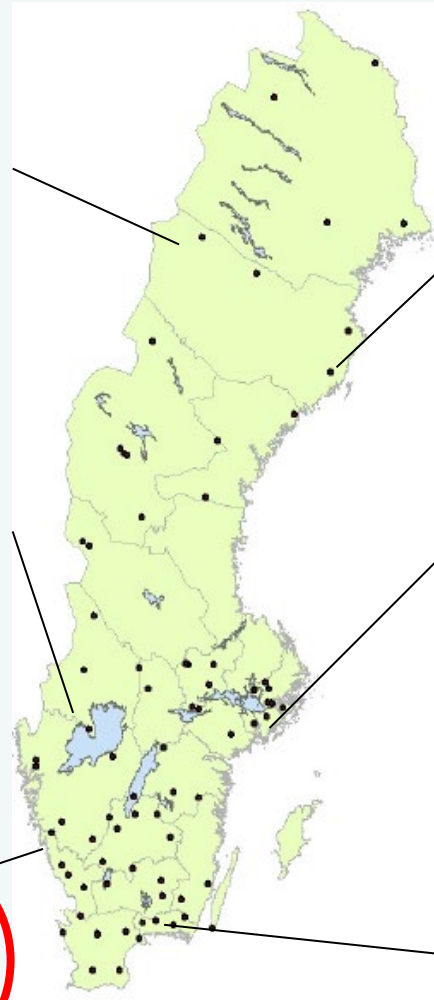
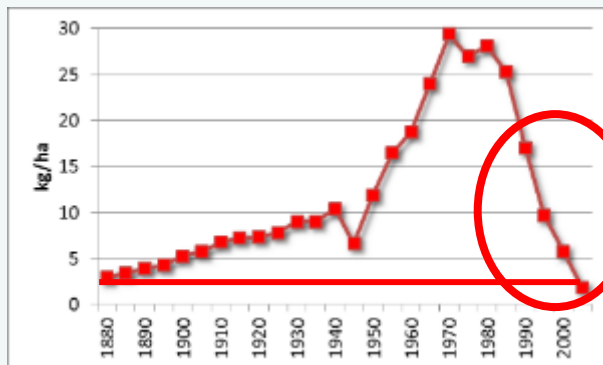
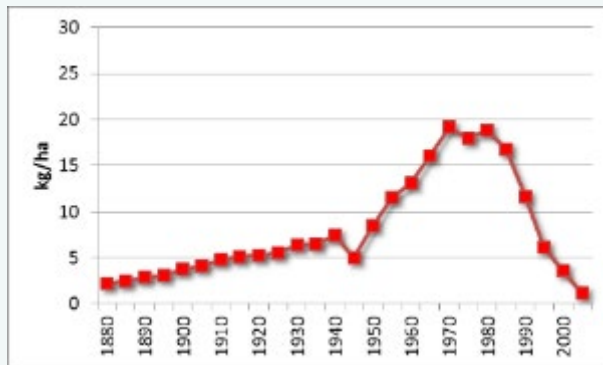
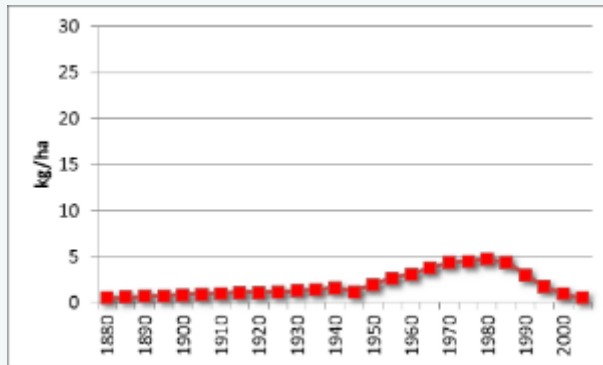
Nedfall av svavel, uppmätt



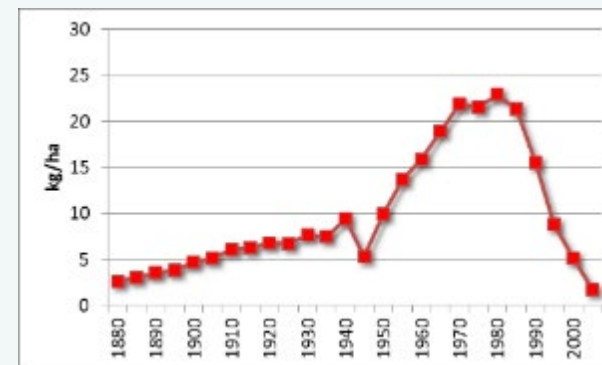
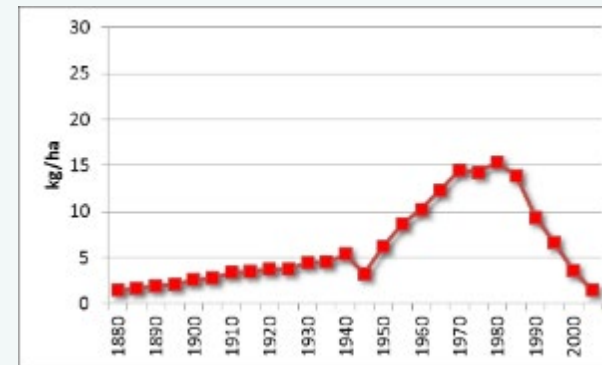
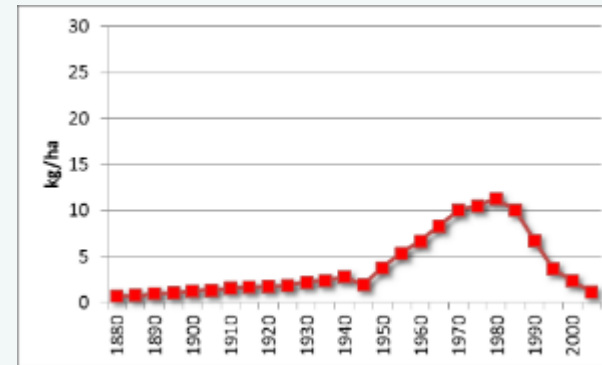
Källa: IVL

Havs
Vatten
myndigheten

Nedfall av svavel, modellerat



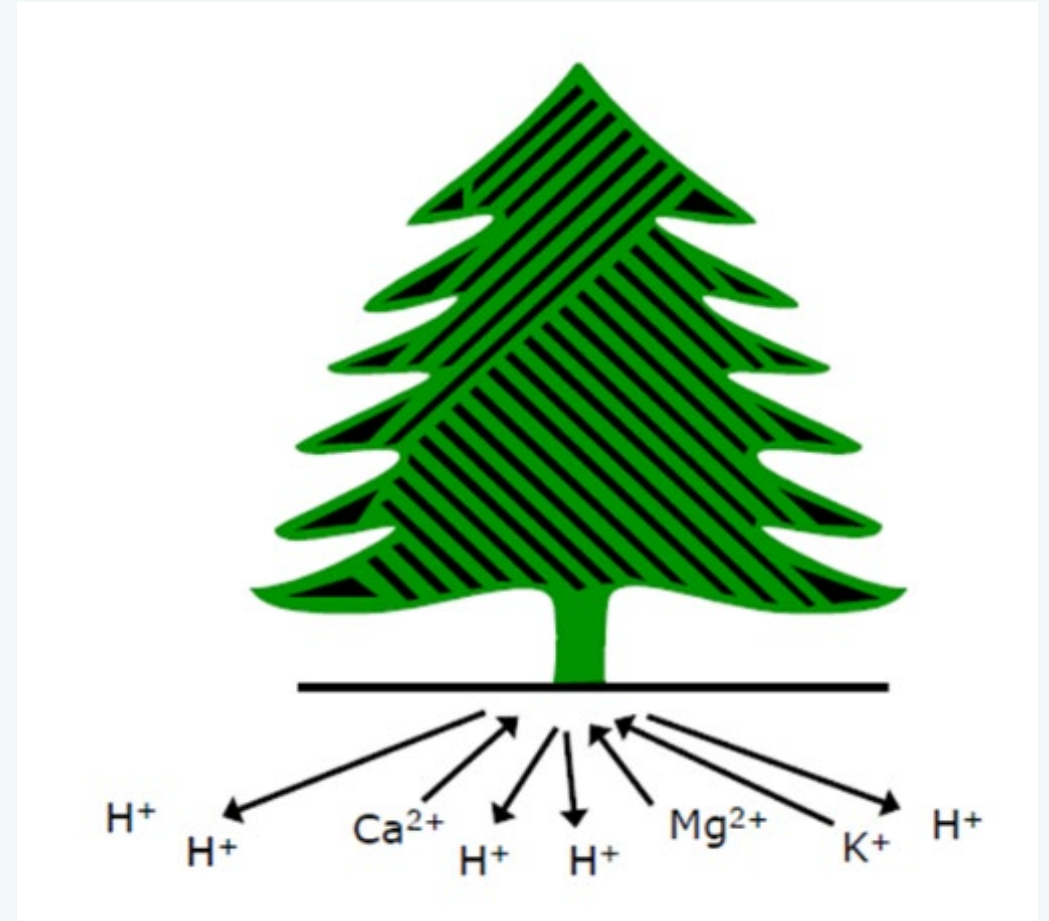
Källa: EMEP



Havs
Vatten
myndigheten

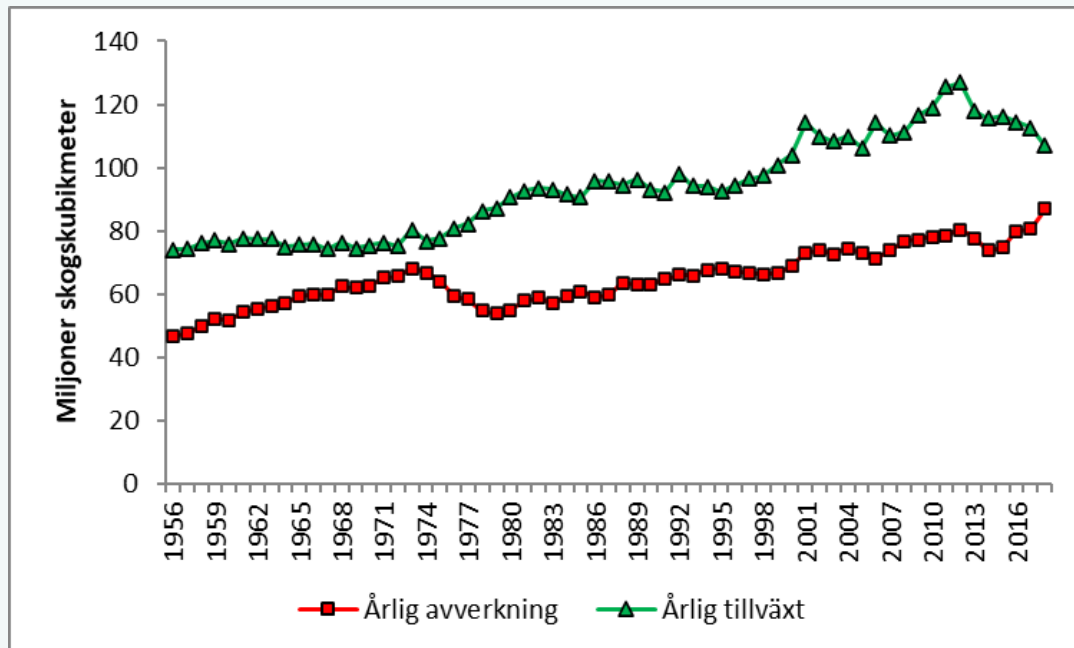
Skogstillväxt

- » Skogen försurar genom näringsupptag av positiva joner (baskatjoner) i utbyte mot vätejoner (H^+)
- » Träden "lånar" dessa joner från marken
- » De betalas tillbaka när träden dör och förmultnar
- » Vid skörd blir förlusten permanent



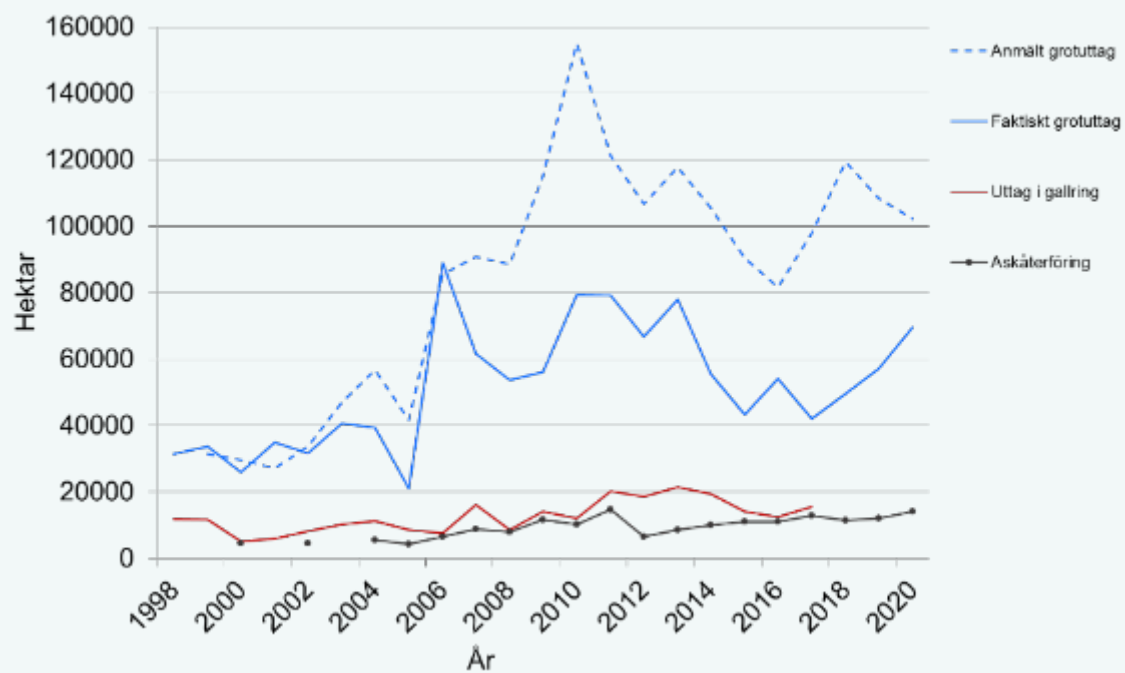
Skogstillväxt

- » Ökad tillväxt ger ökad förurning
- » Ökat uttag ger ökad förurning



Skogstillväxt

- » Uttag av GROT dubblarar bortförslen av baskatjoner (ungefär)

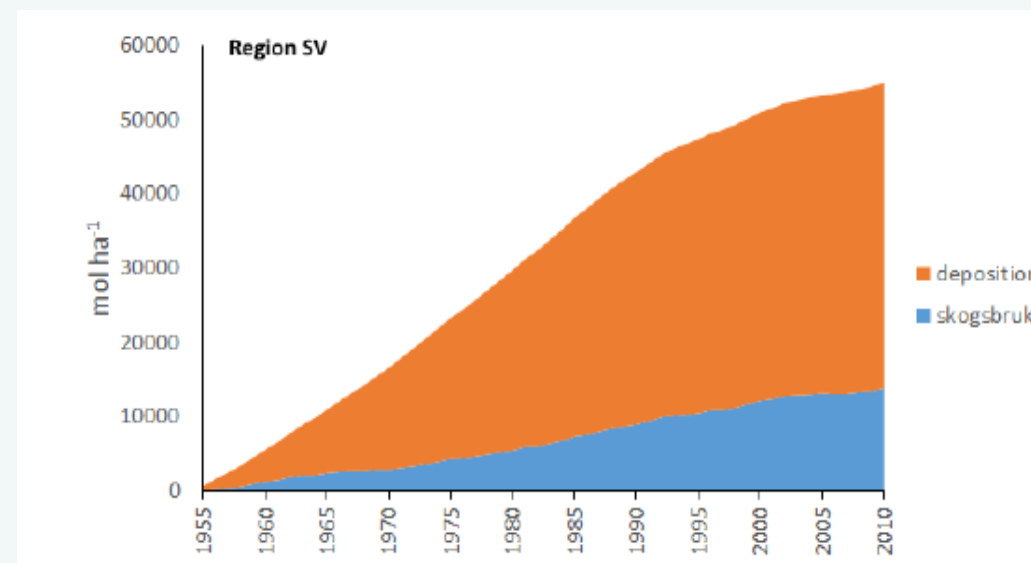
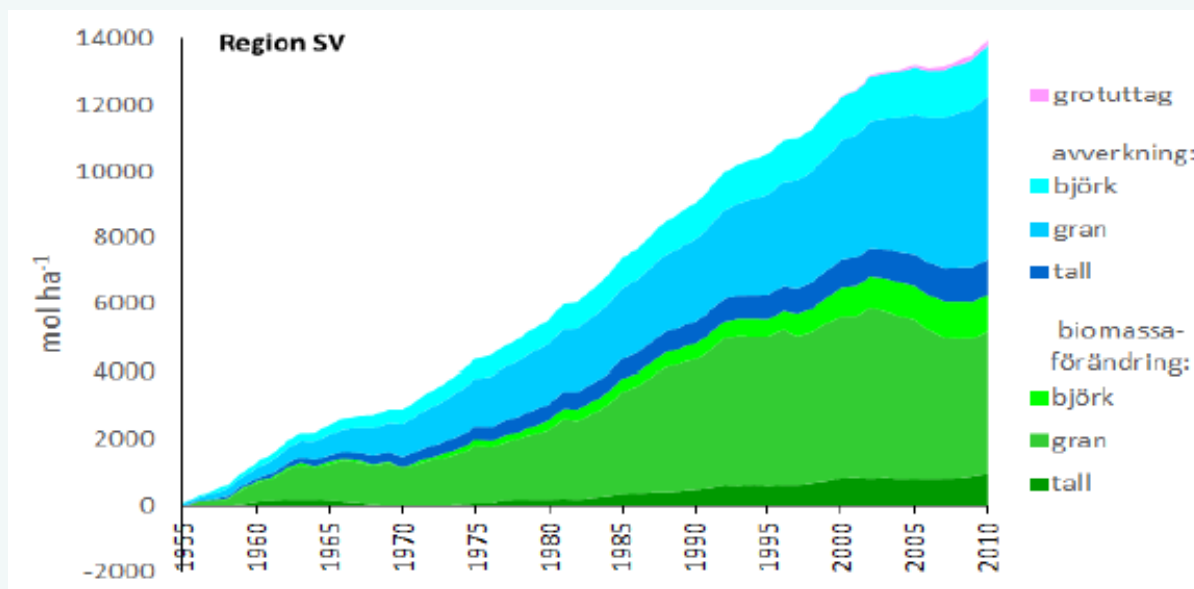


Källa: Skogsstyrelsen



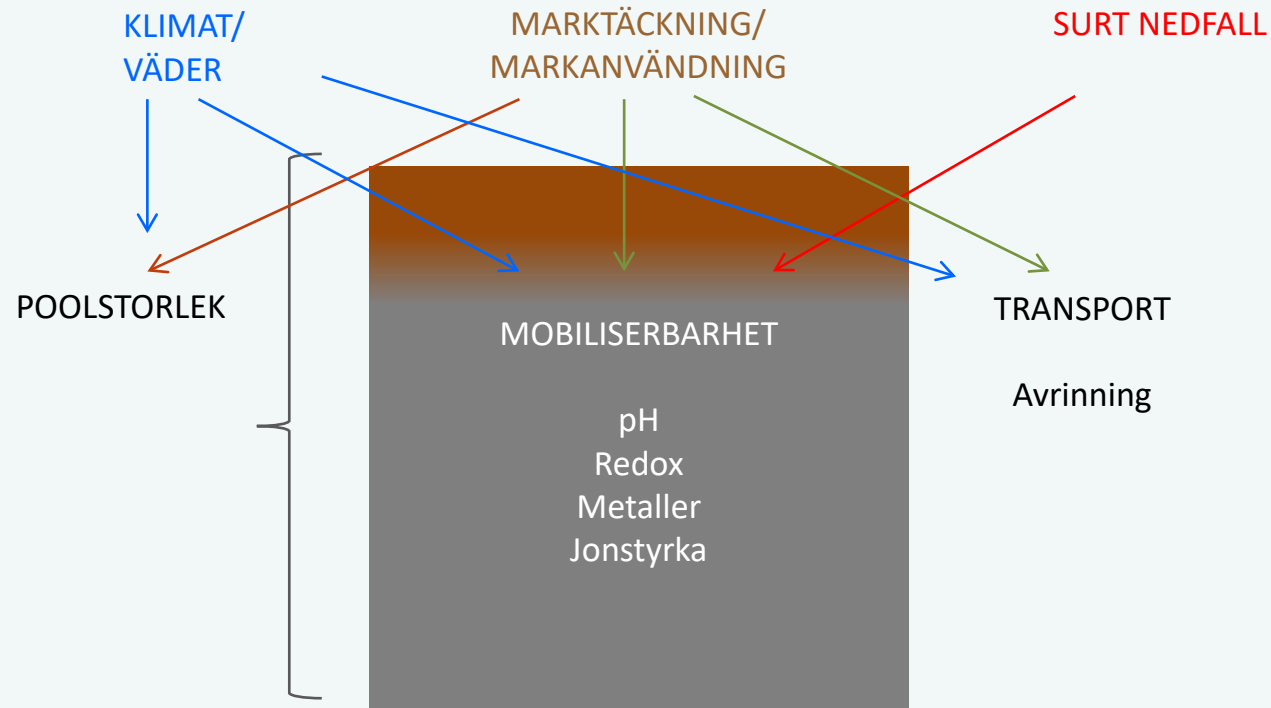
Skogstillväxt

- » Ökad biomassa ger ökad markförsurning
- » Ungefär 20 % av total syrabelastning sedan 1955 i region sydväst
- » Uttaget av GROT har hittills haft liten betydelse



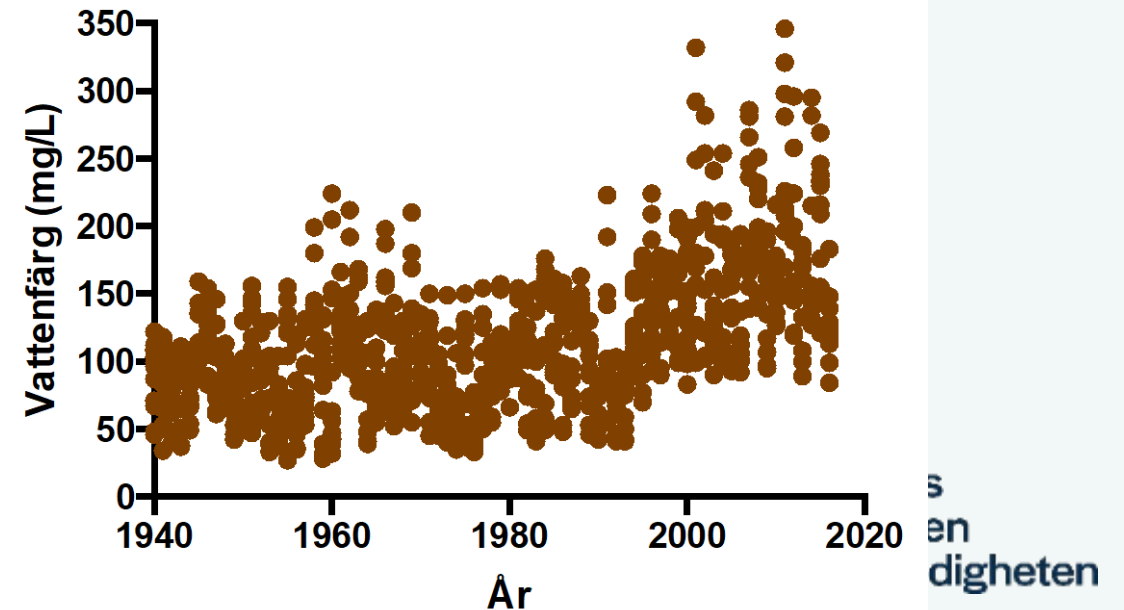
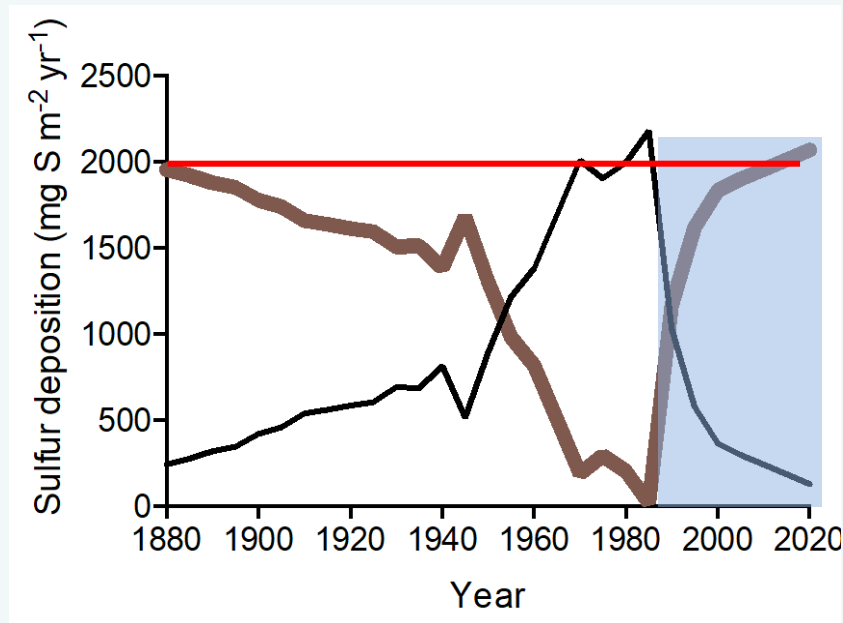
Brunifiering

- » Vattnen blir brunare till följd av en ökad mängd organiskt material (och järn), vilket gör vattnen surare (organiska syror)



Brunifiering

- » Tidigare teori att minskad svavelnedfall var den viktigaste orsaken
- » Återgång till nivå innan försurningen
- » Ingen minskad brunifiering har påvisats när försurningen ökade



Brunifiering

- » Svavelnedfallet är inte den förhärskande faktorn, brunifieringen är inte en återgång till en naturlig nivå
- » Variationen i nederbörd är en viktig faktor bakom periodicitet i kombination med ökande temperatur är klimatet en bidragande faktor
- » Markanvändning – expansion av barrskog – har varit en underskattad faktor
- » Markavvattning? (körskador, markberedning, brandbekämpning)

Utsläpp av svavel

Främst från koleldad elkraft i utlandet. Omvandlas till syra och ger surt regn över Sverige

Utsläppen av svavel har minskat

Till en nivå som motsvarar slutet på 1800-talet

Skogsbruk försurar marken

Både genom uttag av skogsråvara och genom en ökad mängd biomassa

Brunifieringen motverkar återhämtningen

Markanvändningen är en betydande faktor och det är inte en återgång till naturliga förhållanden

Försurningsteori och försurningsmodeller?

pH, alkalinitet och ANC

Markens betydelse för försurningseffekten i sjöar och vattendrag

Hydrologi och surstötter

Försurningsmodeller och MAGIC

pH och buffringsförmåga

pH anger surhet, logaritmiskt mått på mängden vätejoner,
pH 5 är 100 gånger surare än pH 7

Alkalinitet anger förmågan att neutralisera vätejoner –
buffringsförmågan, titreras till 5,4 ~ vätekarbonat

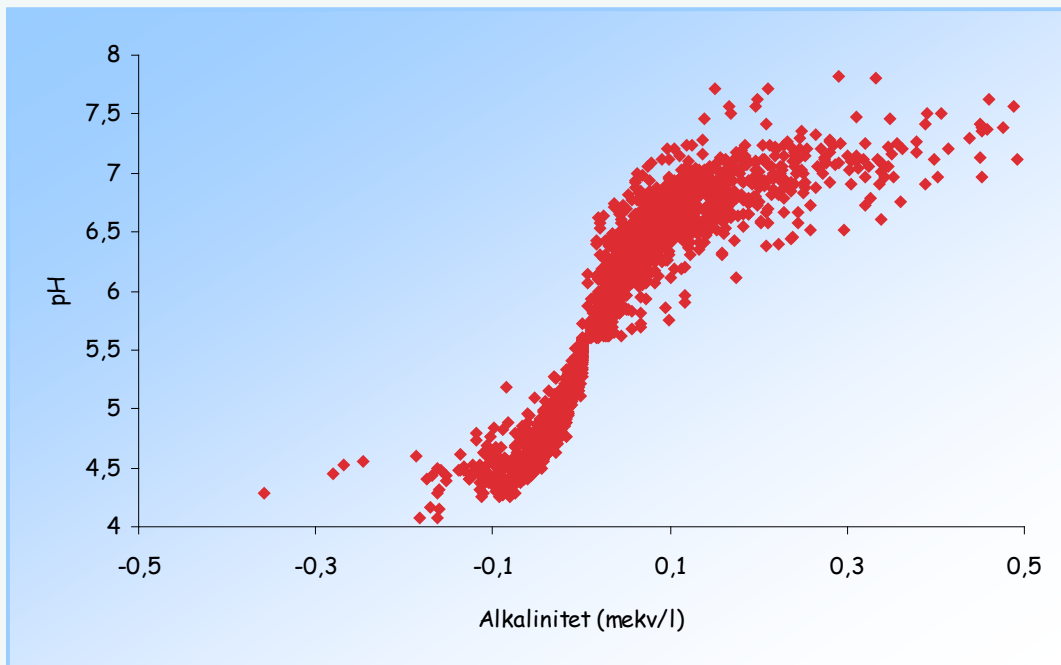
ANC (Acid Neutralizing Capacity) anger vattnets totala
buffringsförmåga som även innefattar organiska syror

Beräknas som: $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K} - \text{SO}_4 - \text{NO}_3 - \text{Cl}$

men är egentligen:



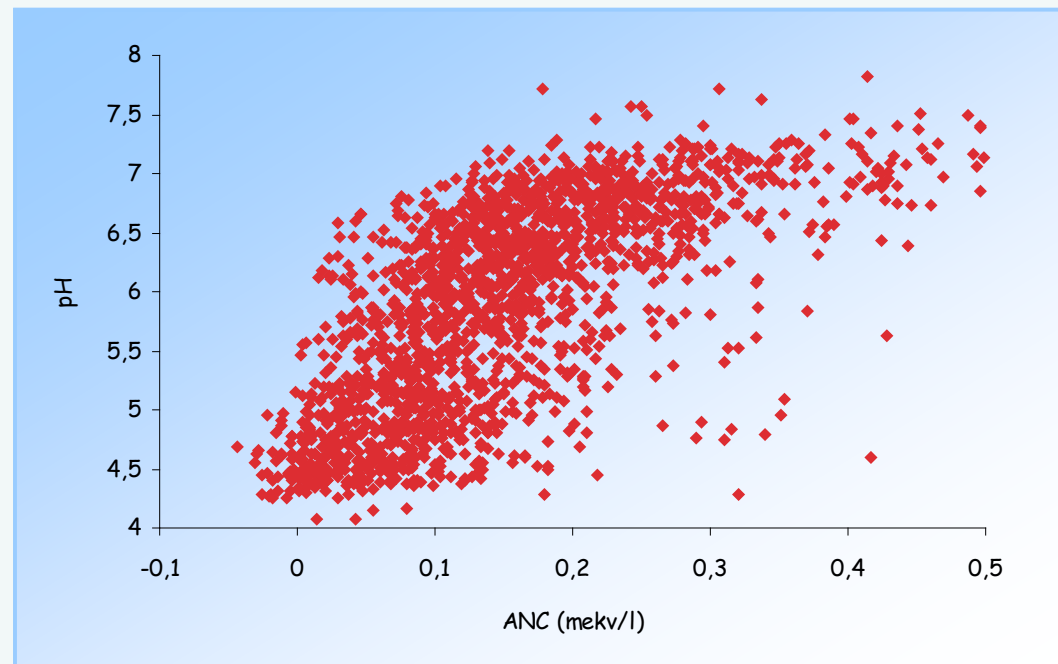
pH och buffringsförmåga



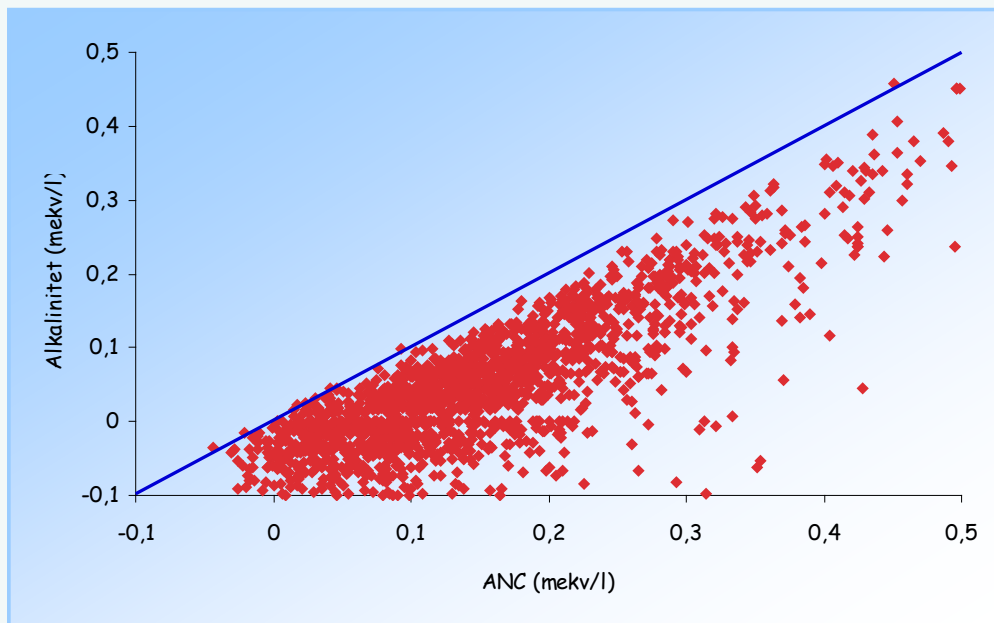
pH och alkalinitet

ANC är enkel att modellera, men har svagare koppling (än alkalinitet) till biologiska effekter i humösa vatten

pH och ANC



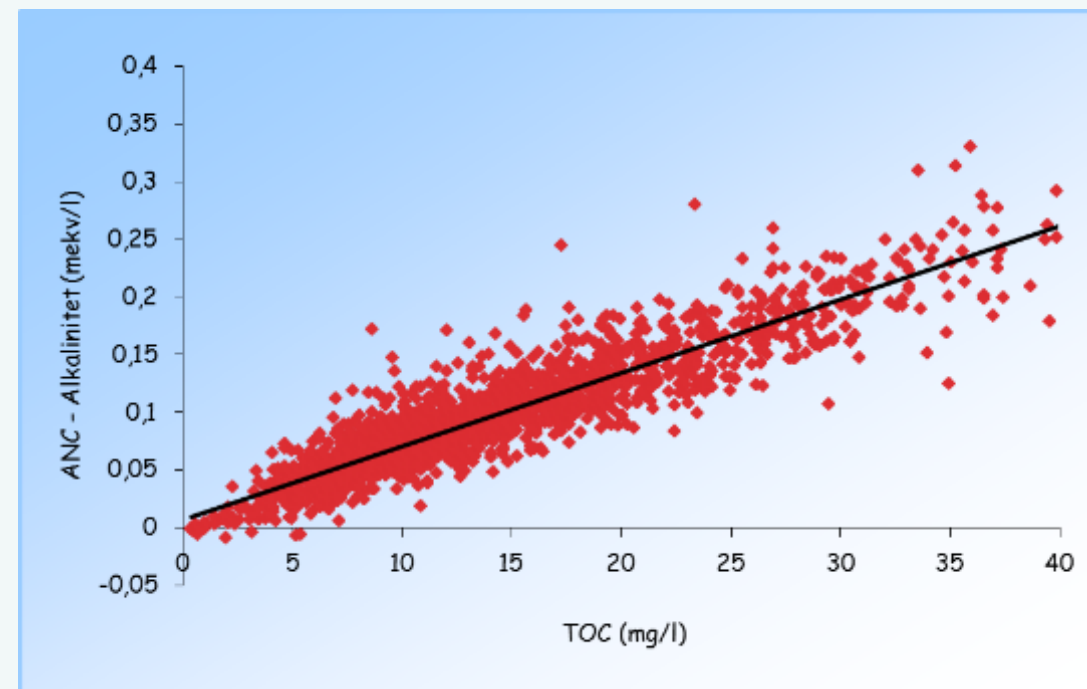
pH och buffringsförmåga



Alkalinitet och ANC

I vatten som saknar humussyror är i princip alkalinitet = ANC

$$\text{ANC} \approx \text{Alkalinitet} + (0,0063 * \text{TOC})$$



Mark och hydrologi

Bara en liten del av nederbörden (ofta 1-2 %) hamnar
direkt på vattenytor

Därför

Avrinningsområdets karaktär och vattnets transportvägar och
uppehållstid i marken avgör vattenkvaliteten

Surt regn behöver inte leda till sura sjöar och sura
vattendrag

Mark och hydrologi

Högt pH

Lättvittrade mineral
Ex. kalkspat (kalk)

Finkorniga jordar

Mäktiga jordtäcken

Lång uppehållstid
för vattnet i marken

Låg tillförsel av organiskt
material

Lågt pH

Svårvittrade mineral
Ex. kvarts

Grovkorniga jordar

Tunna jordtäcken

Kort uppehållstid
för vattnet i marken

Hög tillförsel av
organiskt material

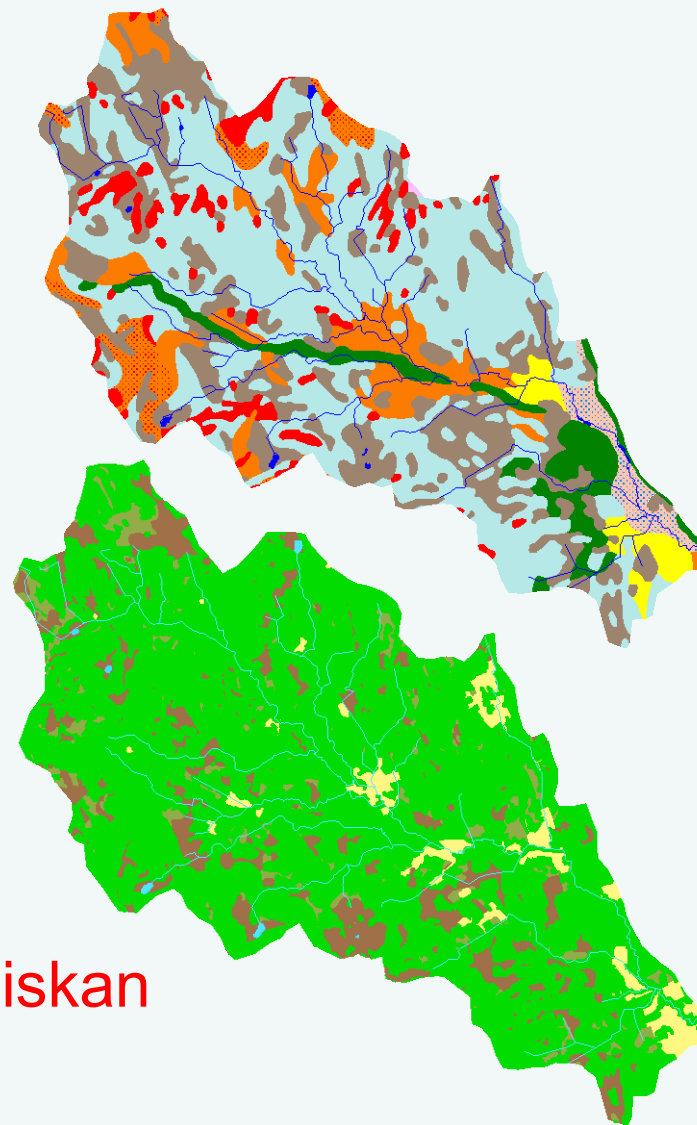
Mark och hydrologi

Stora variationer i tid och rum

- » Avrinningsområdet är en mosaik av olika egenskaper
- » Tidsmässig variation avseende tillförsel av nederbörd och smältvatten. Vilket påverkar vattnets transporttid och transportvägar genom marken

Avrinningsområdet en mosaik av olika egenskaper

- » Bergarter/mineral
- » Jordarter
- » Markdjup
- » Markanvändning
- » Trädslag
- » Beståndsålder

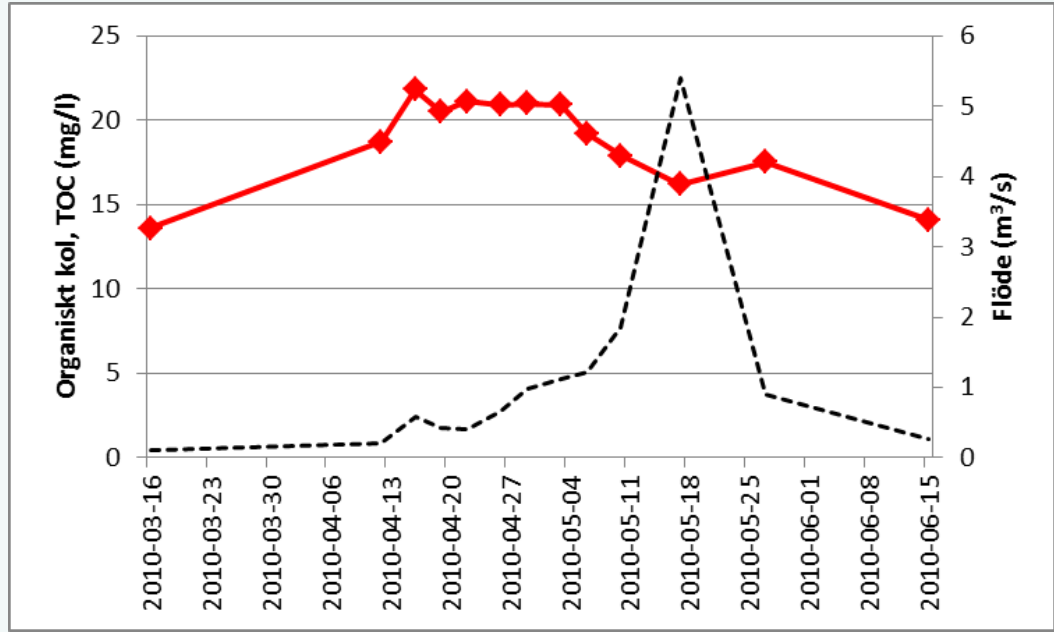
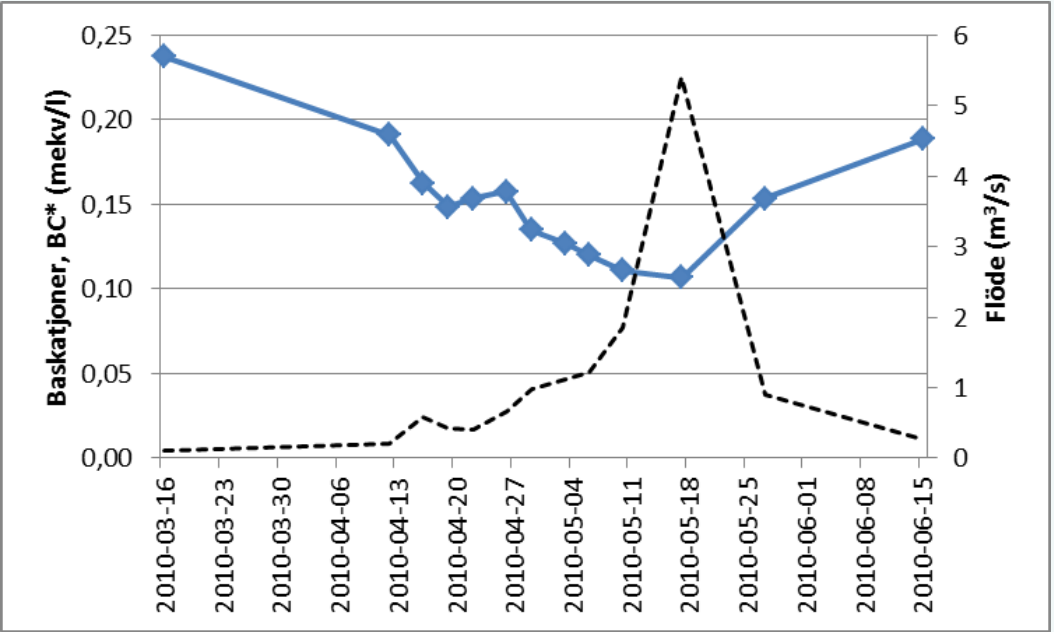
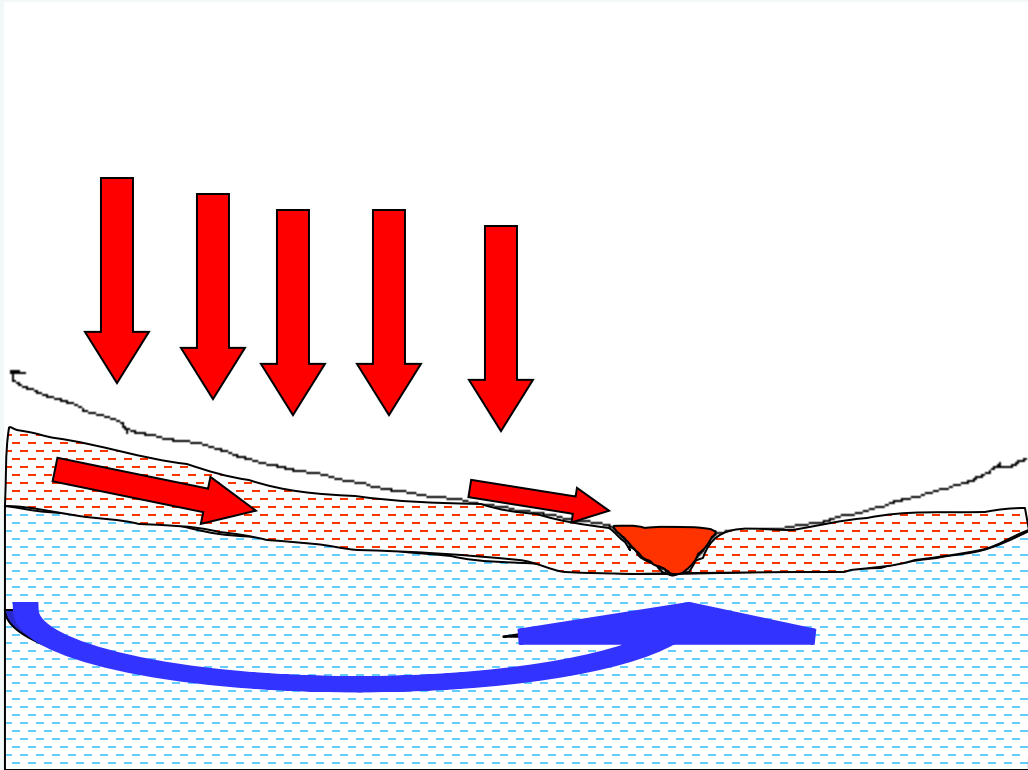


och allting i olika grad påverkat av människan

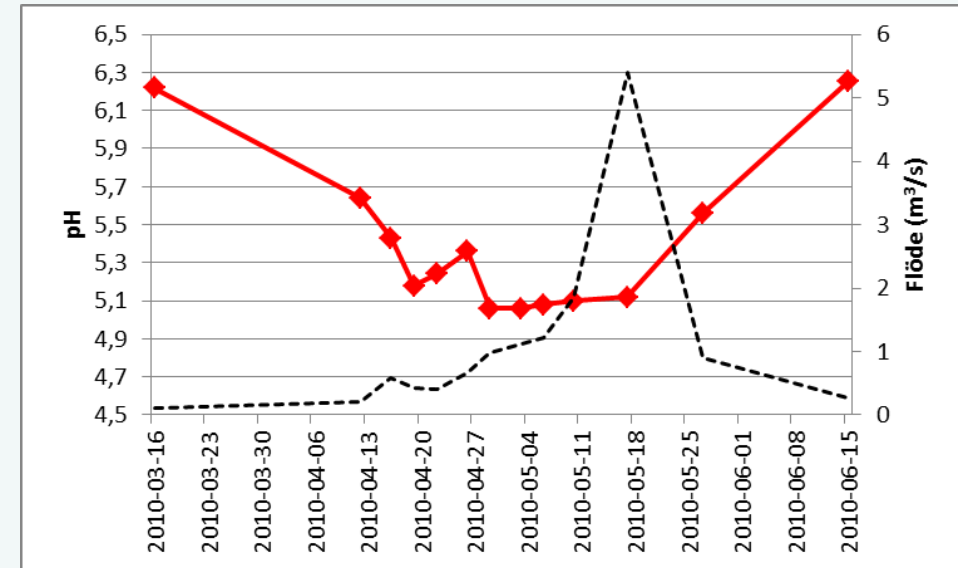
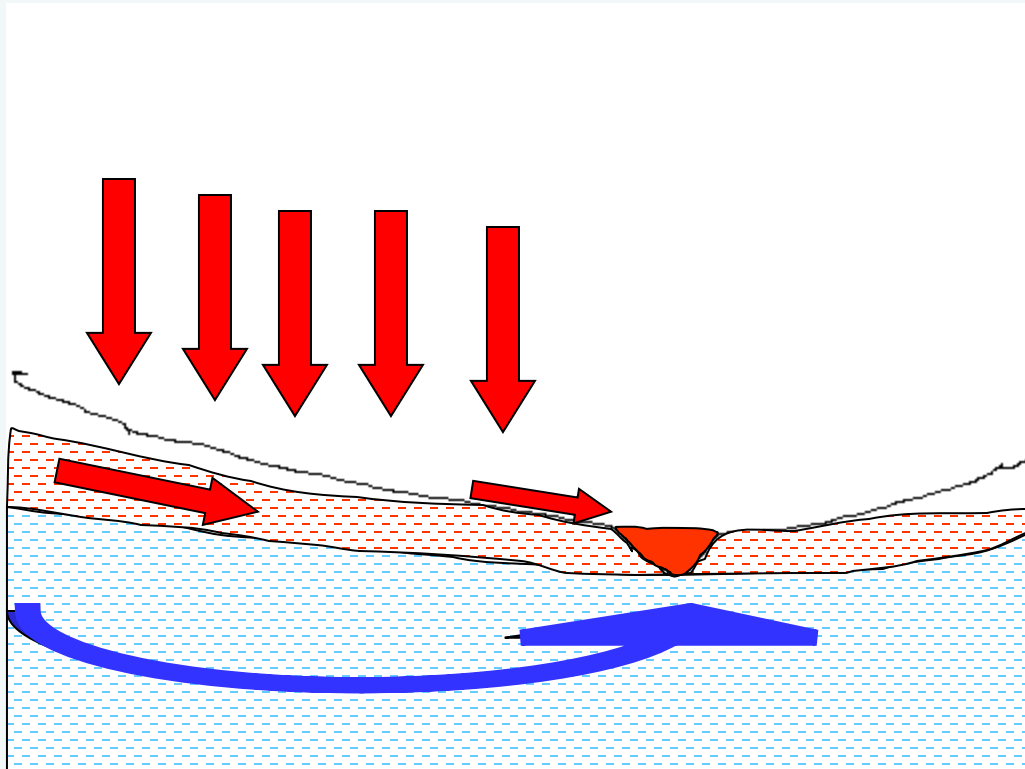
Hydrologi



Hydrologi



Hydrologi



Surstöt

Ett naturligt fenomen som
förstärks av sur nederbörd

Havs
och Vatten
myndigheten

Försurning av sjöar och vattendrag

- » Marken i avrinningsområdet har en avgörande betydelse för kopplingen mellan surt nedfall och försurade sjöar och vattendrag
- » Variationerna i tid och rum medför en komplexitet som är närmast oändlig
- » Att skruva tillbaka tiden och skatta den historiska vattenkvaliteten skulle inte ens Ethan Hunt klara

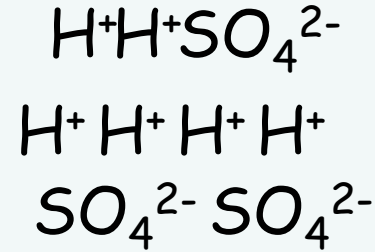


- » Det krävs helt andra metoder

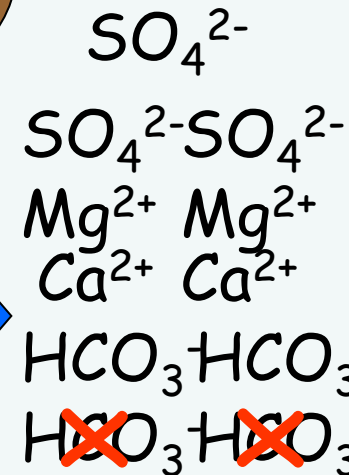
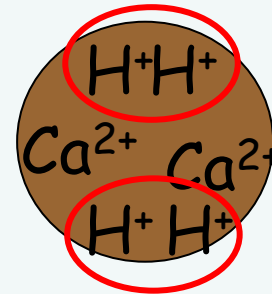
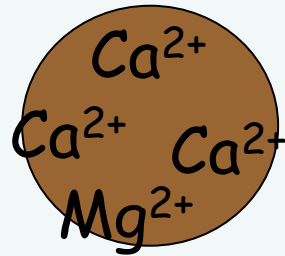


Markens respons på sur nederbörd

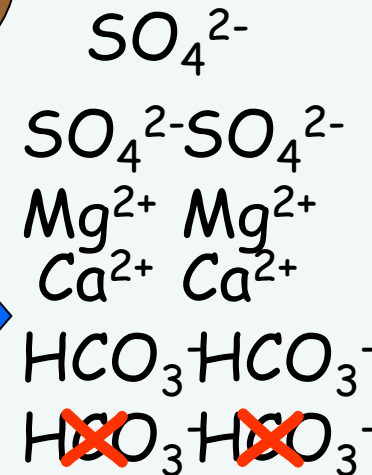
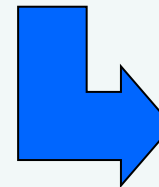
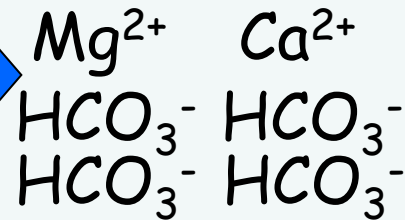
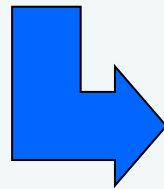
Från luften



Jonbyte



Till vattnet



Havs
och Vatten
myndigheten

Grundläggande frågeställning vid försurningsmodellering

- » Hur stor är markens förmåga att neutralisera syra med jonbyte?
- » Hur påverkar detta marken över tid = hur mycket sjunker basmättnadsgraden?
- » Hur snabb är markens återhämtning = vittringshastigheten (hur mycket tar skogen upp)
- » Hur påverkar detta vattenkvaliteten

Försurningsmodeller

Varför behövs modeller?

- » Till följd av att naturligt pH varierar kraftigt i tid och rum kan försurning inte mätas
- » Vi saknar tillförlitliga mätningar av pH från tiden innan försurning

Alternativ?

- » Biologiska förändringar via äldre dokumentation (muntlig/skriftlig) eller rester i sediment
- » Avsaknad av reproduktion för långlivade arter
- » Ger grova till mycket grova skattningar av naturliga pH-nivåer

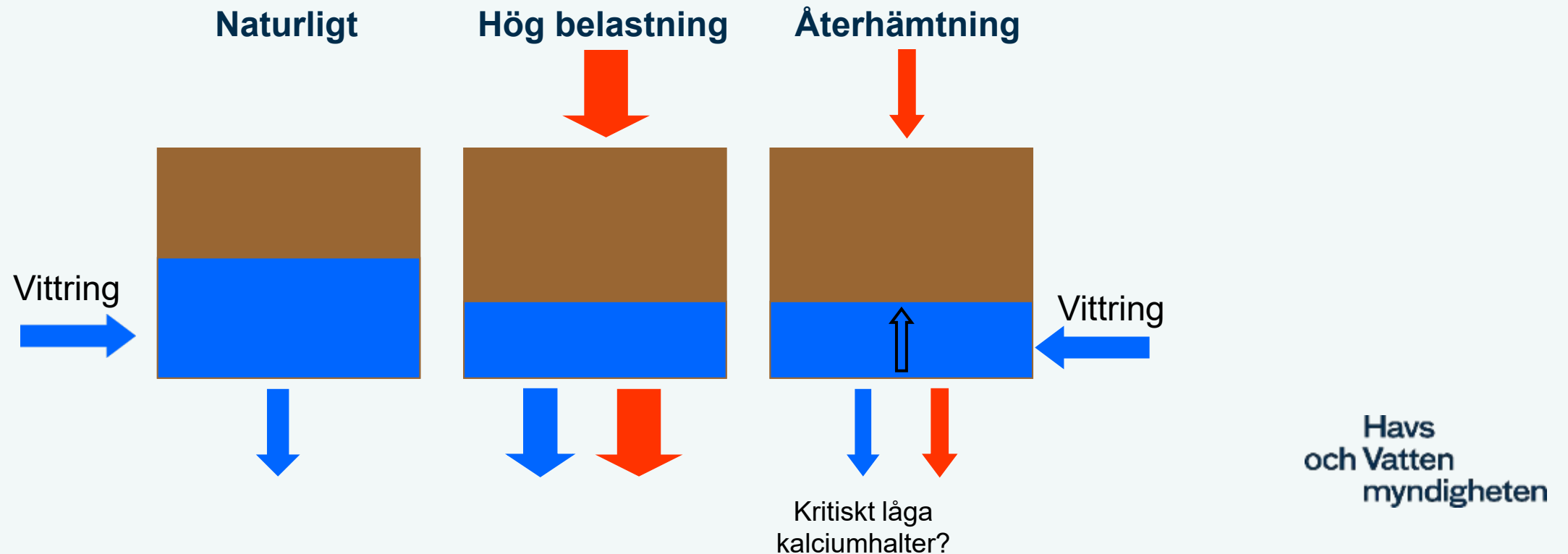
Försurningsmodeller

MAGIC (Model of Acidification of Groundwaters in Catchments)

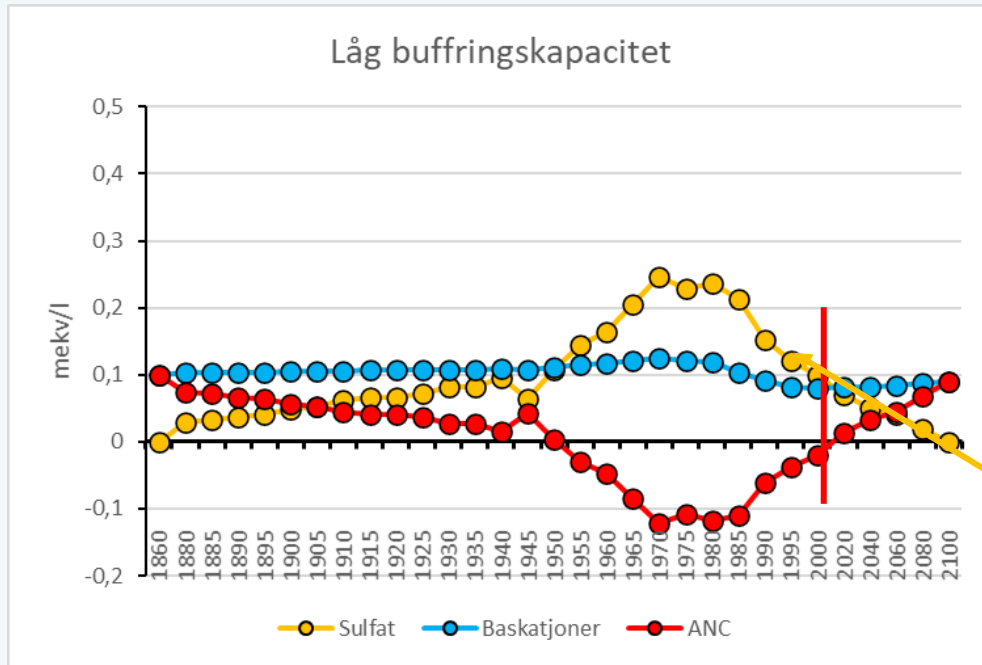


Försurningsmodeller

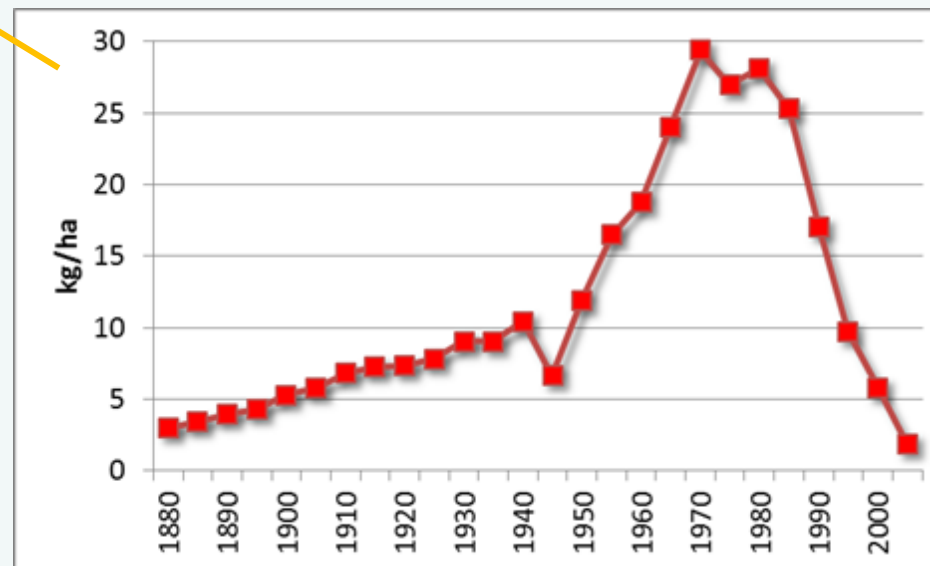
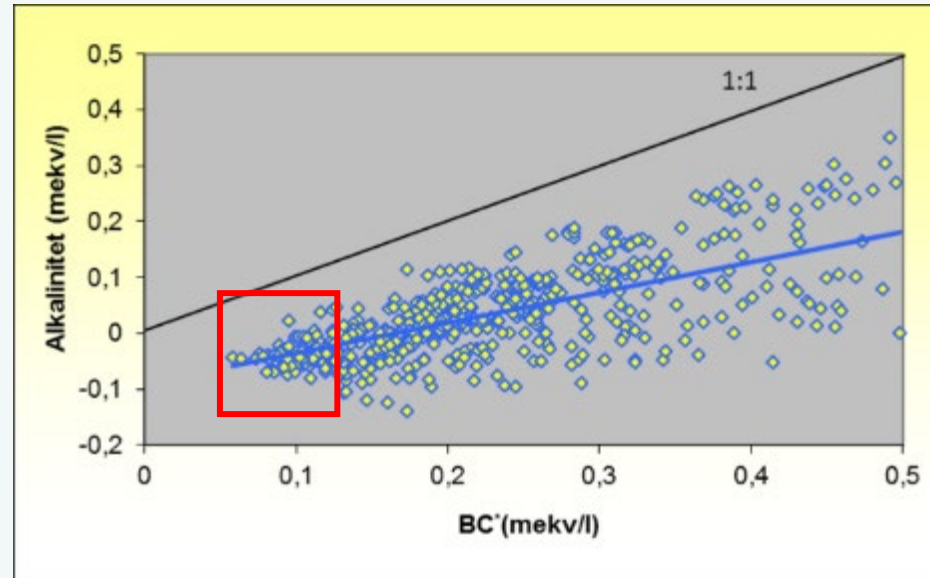
MAGIC (Model of Acidification of Groundwaters in Catchments)



Försurningsmodeller

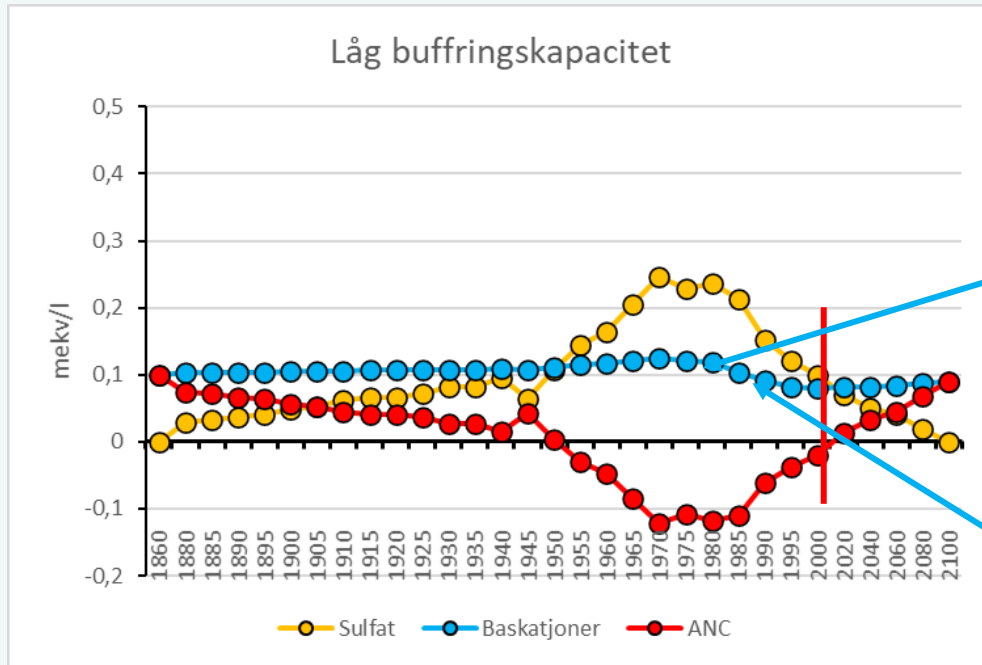


- Historiskt svavelnedfall, naturlig sulfathalt, fastläggning och frigöring av svavel i marken

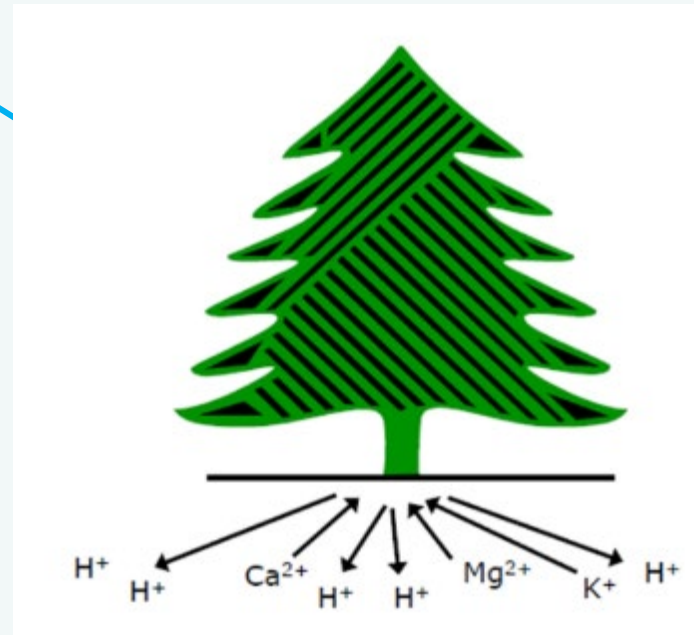
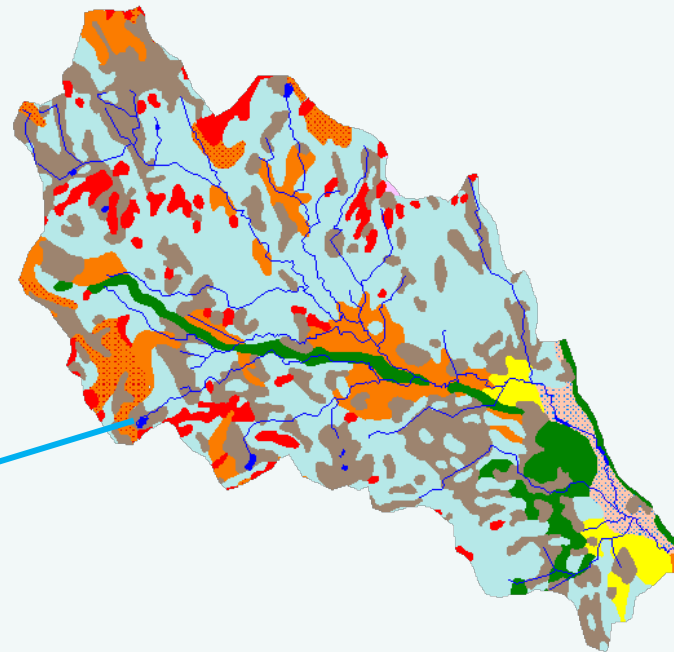


Havs
och Vatten
myndigheten

Försurningsmodeller

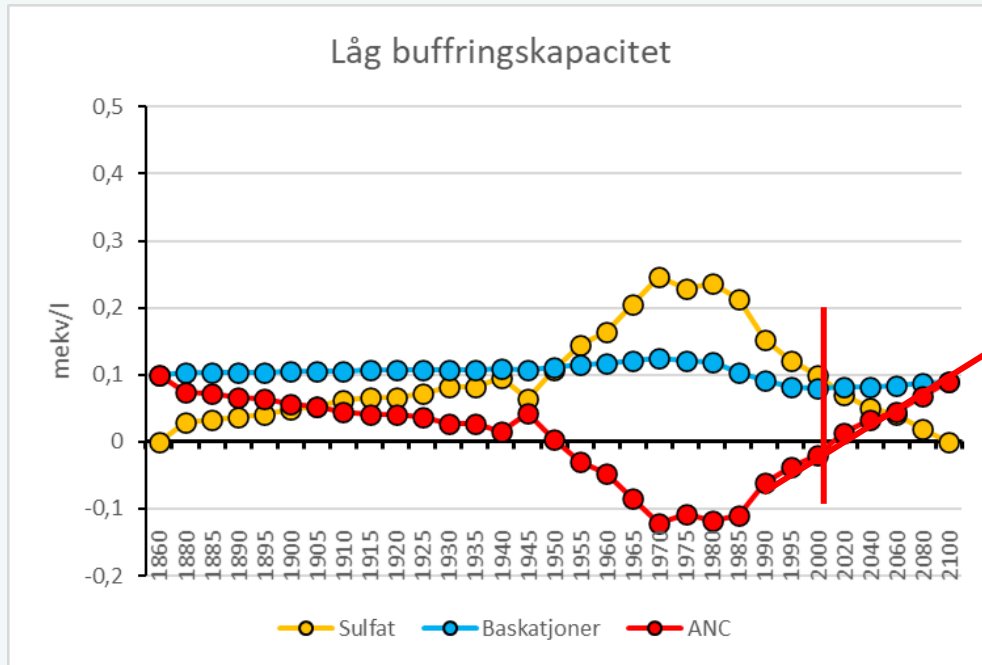


- ❑ Markdjup, densitet, porositet, katjonbyteskapacitet, mängden utbytbara baskatjoner
- ❑ Skogens upptag av baskatjoner

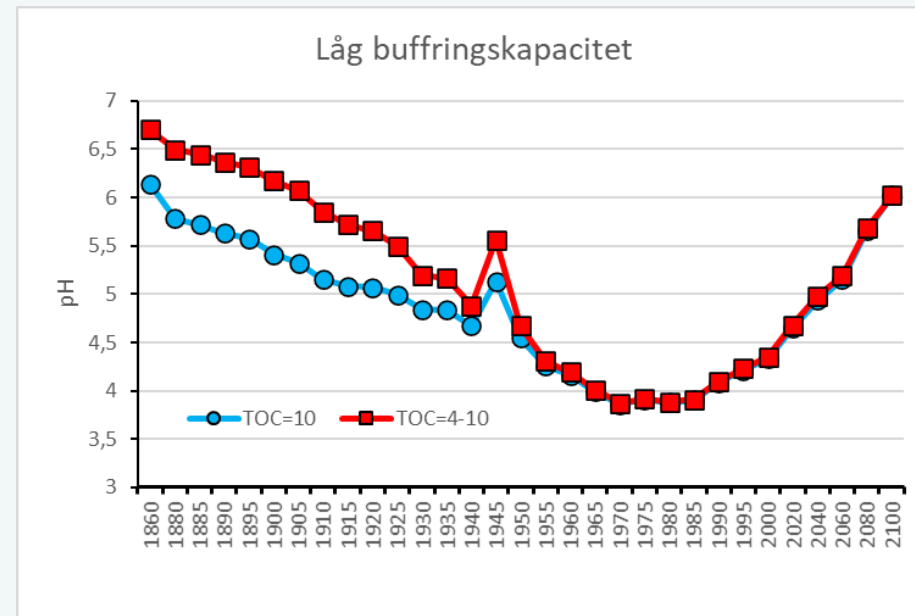
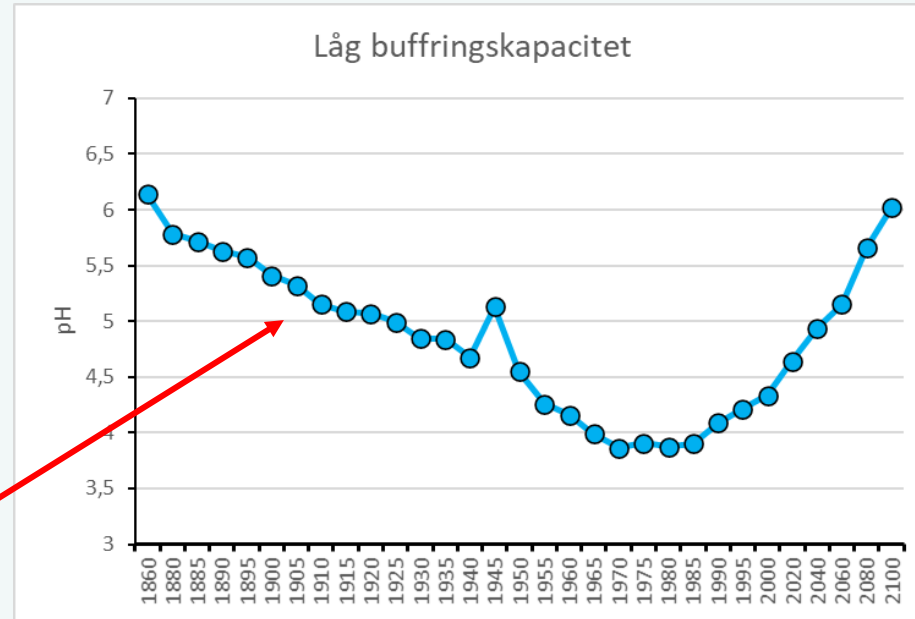


Havs
och Vatten
myndigheten

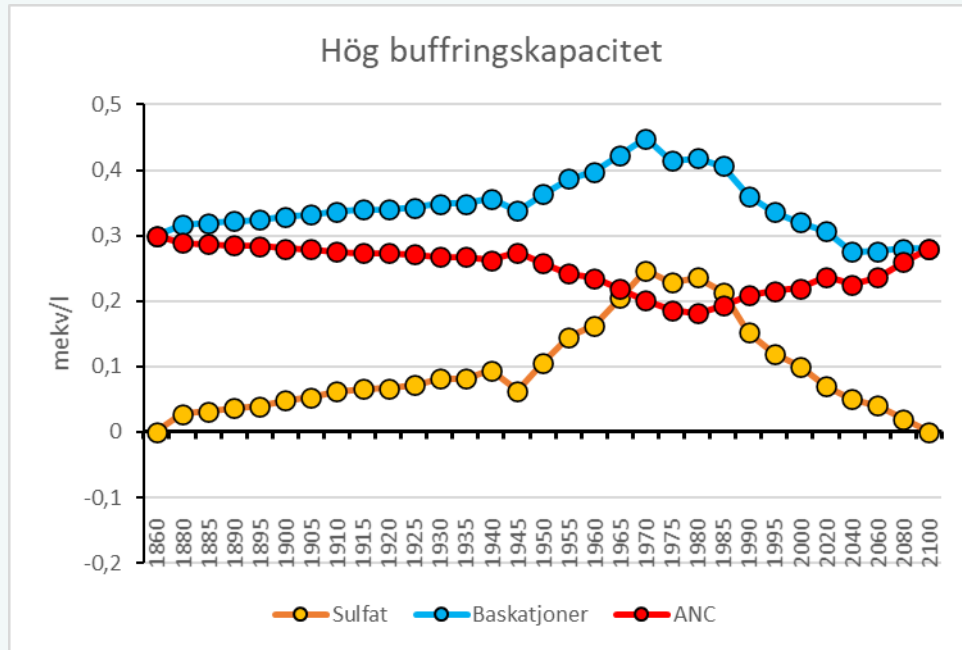
Försurningsmodeller



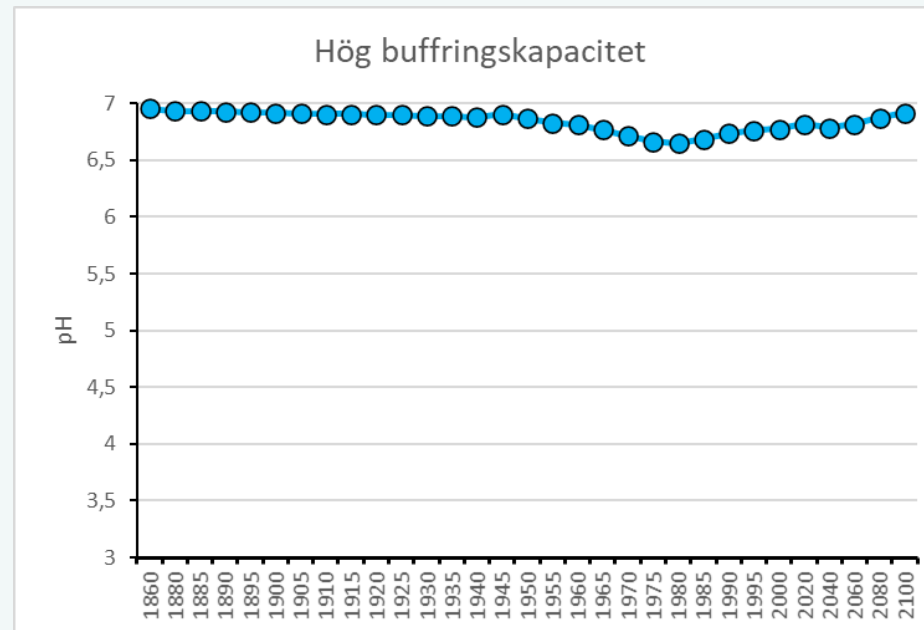
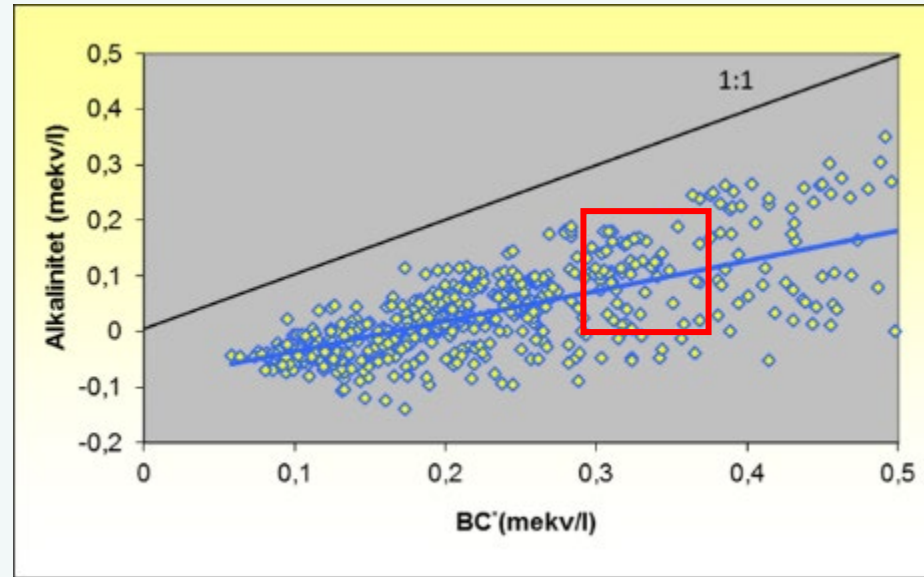
- ☐ Förändringen i TOC
- ☐ Antag samma TOC som kalibreringsåret, ingen hänsyn till brunifieringen



Försurningsmodeller



- ☐ Högre jonbyteskapacitet
- ☐ Lägre påverkan på ANC och pH



Marken bestämmer

Svårvittrade markmineral och grovkorniga jordar ger
dåligt skydd mot försurning

pH sjunker vid höga flöden

Ytlig och snabb vattentransport genom marken medför sänkt pH

Försurningsmodeller behöver inte vara dåliga, men
uppdraget är omöjligt (Mission impossible)

Återhämtning och nuläge

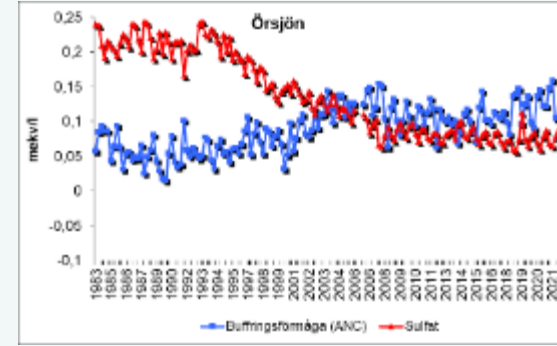
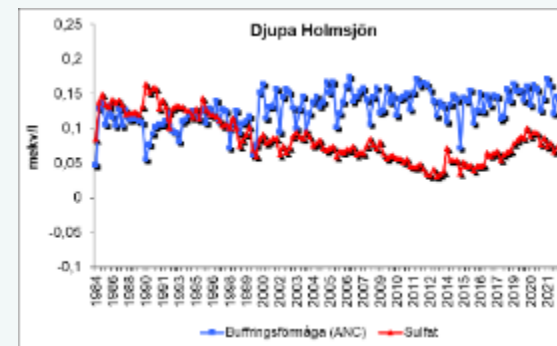
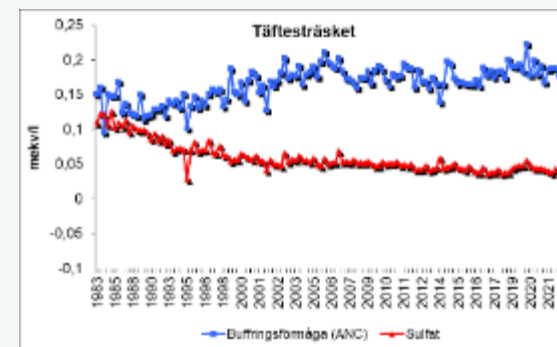
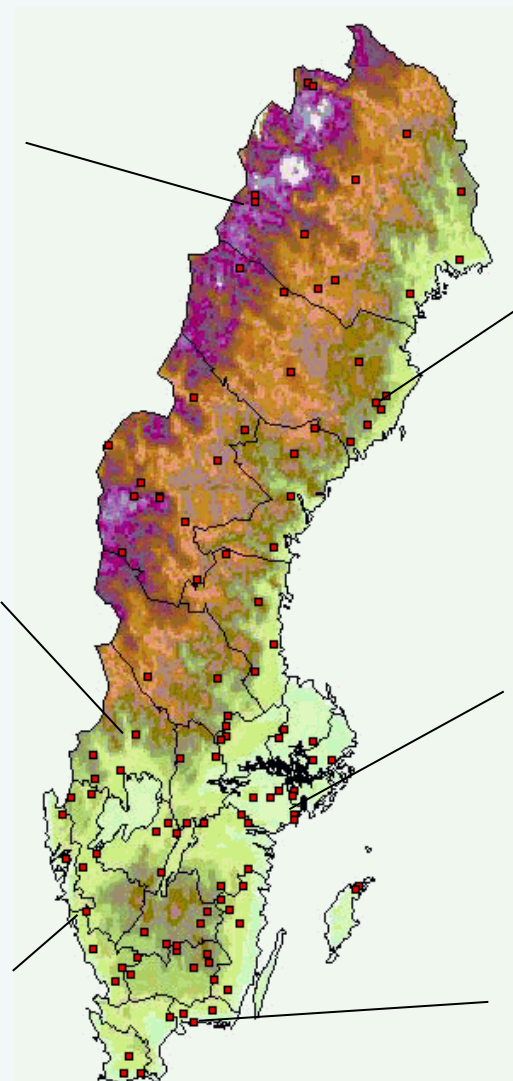
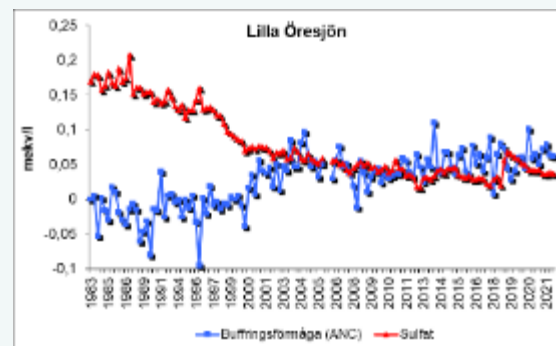
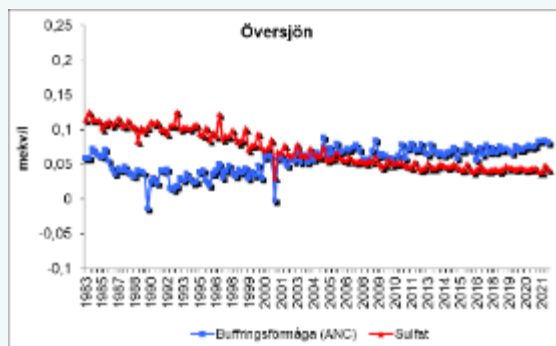
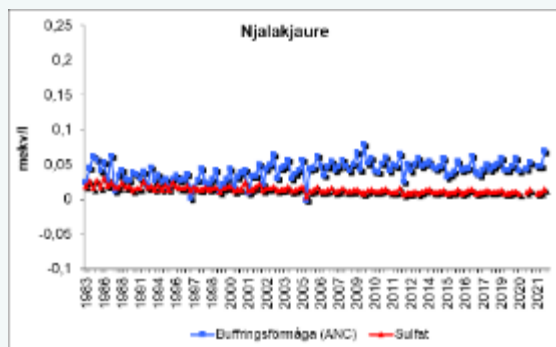
Uppmätta och modellerade trender i sjöar

Nuläge i sjöar

Surstötter i vattendrag

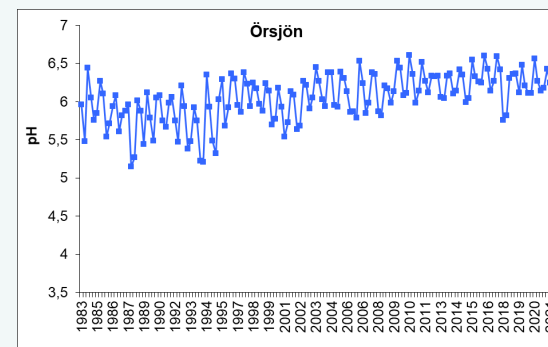
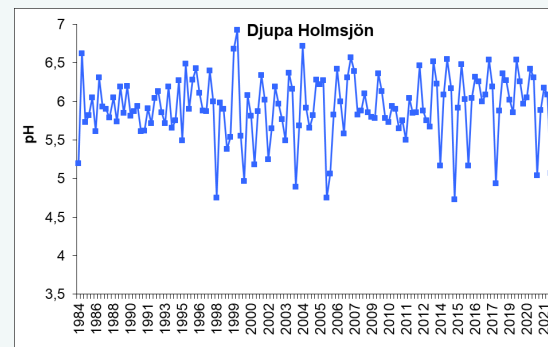
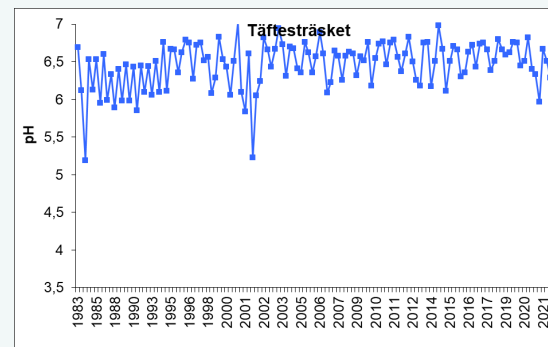
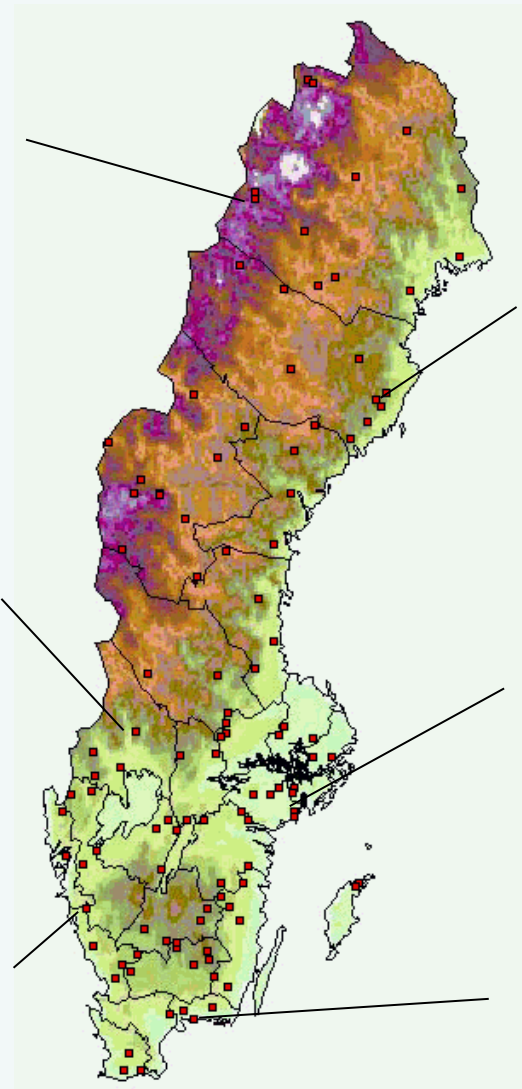
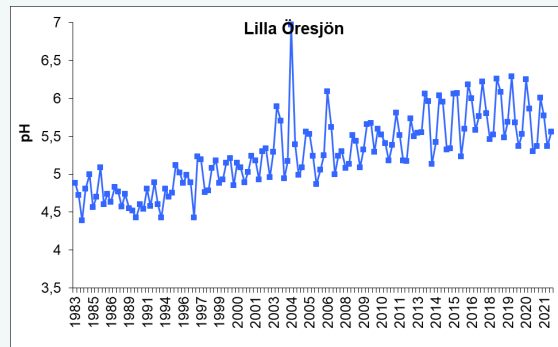
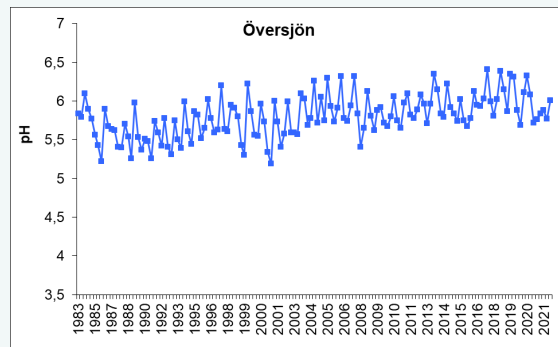
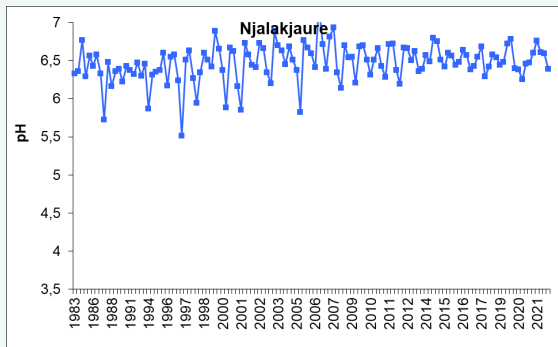


Försurade sjöar – uppmätta trender

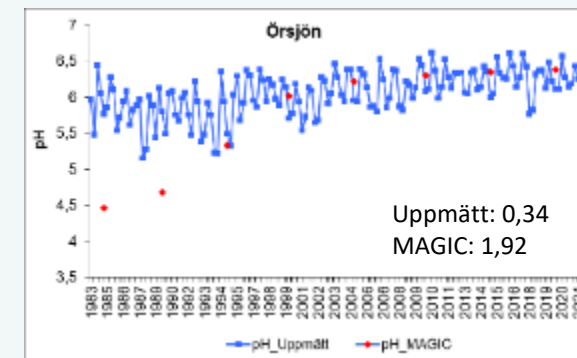
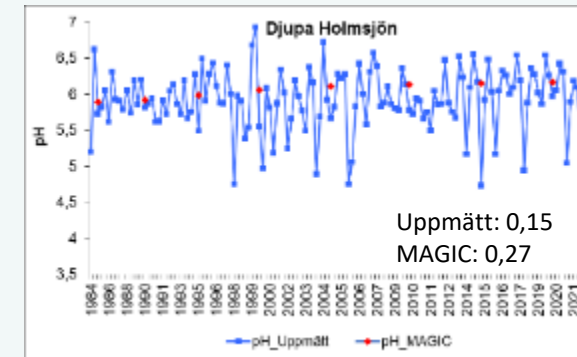
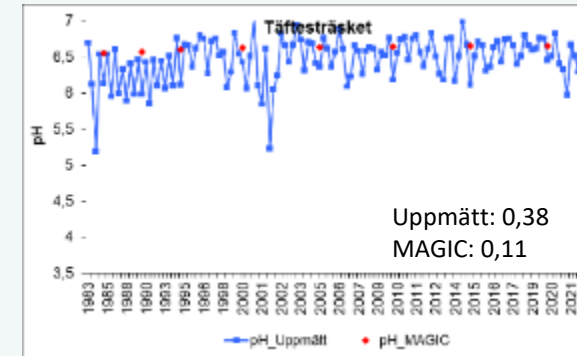
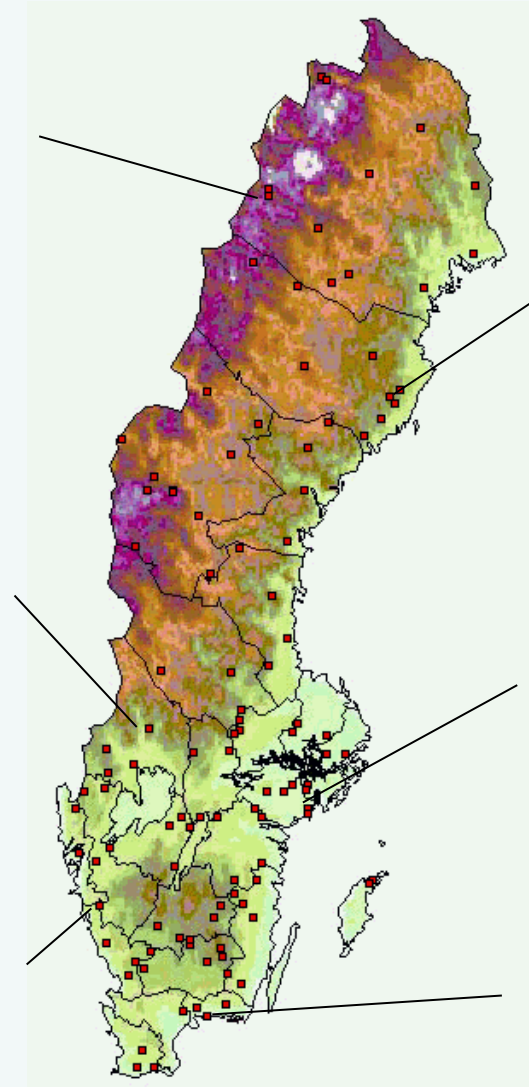
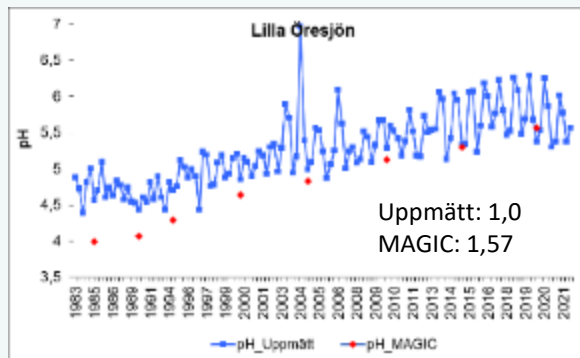
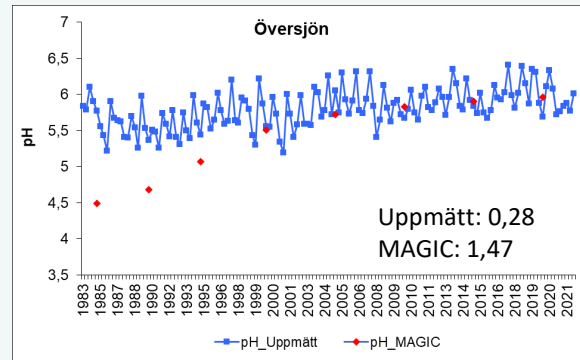
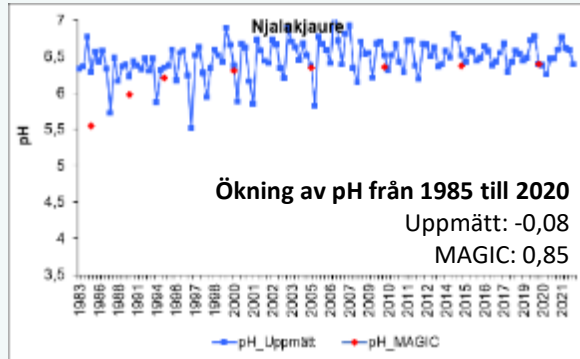


Havs
och Vatten
myndigheten

Försurade sjöar – uppmätta trender

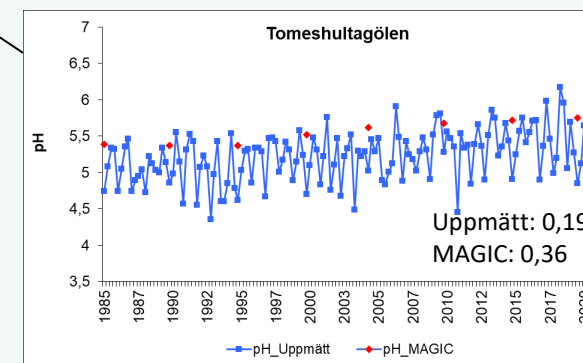
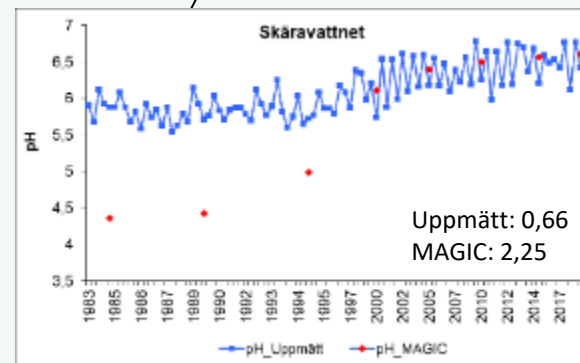
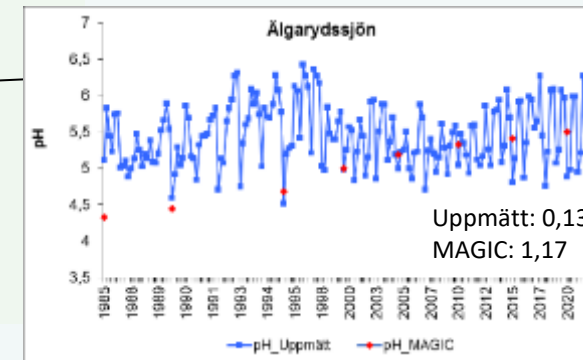
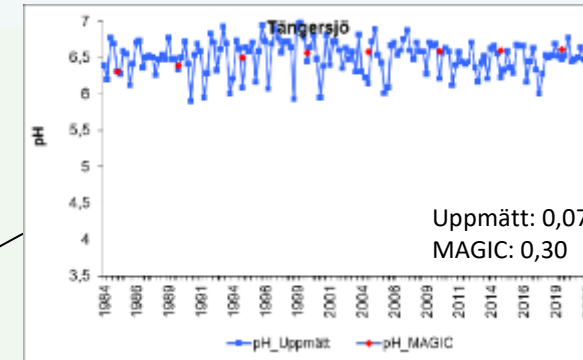
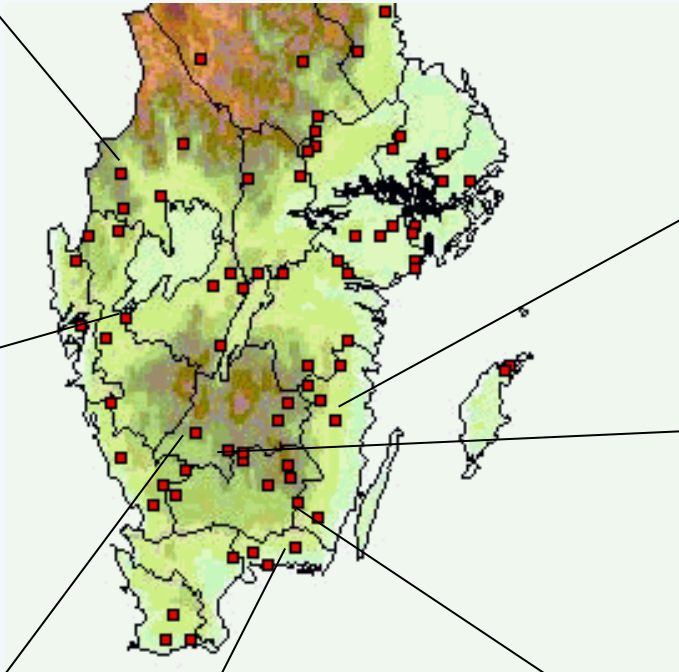
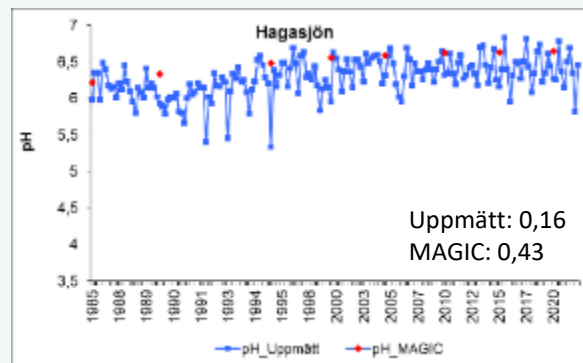
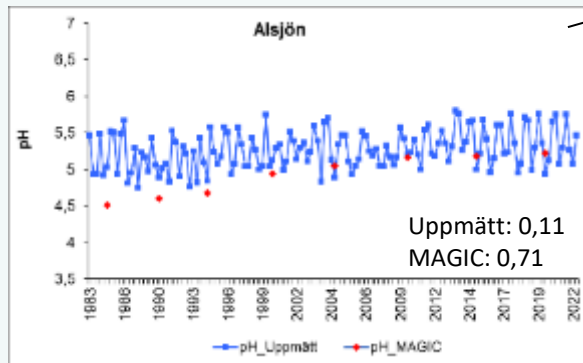
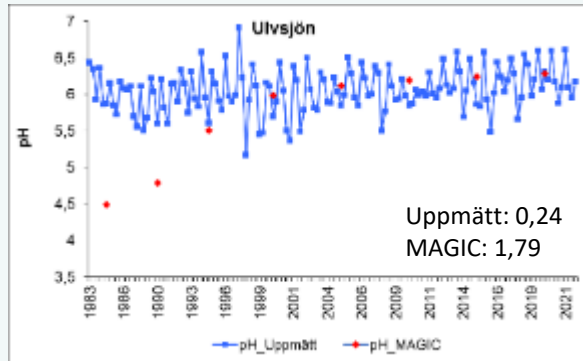


Försurade sjöar MAGIC vs verkligheten



Havs
och Vatten
myndigheten

Försurade sjöar MAGIC vs verkligheten

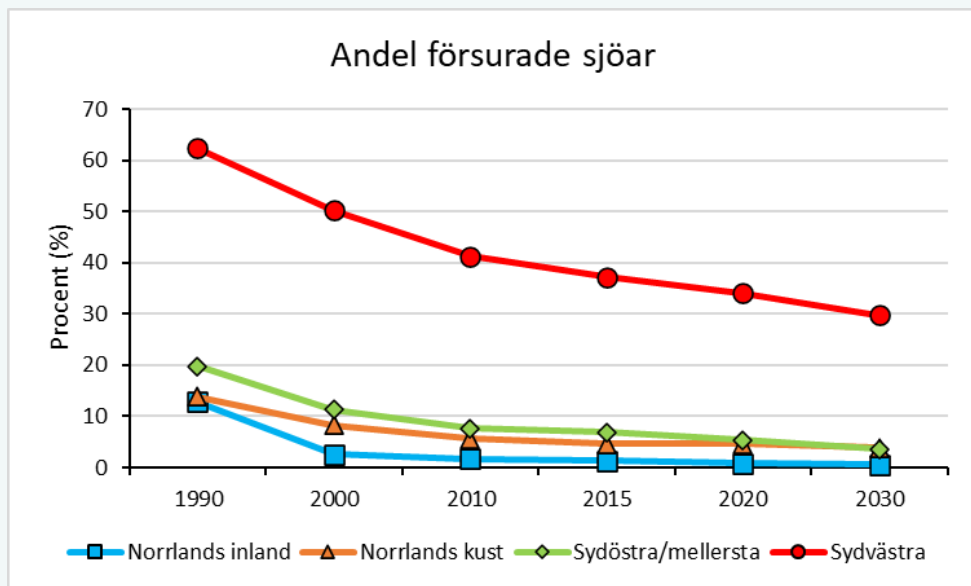


Havs
och Vatten
myndigheten

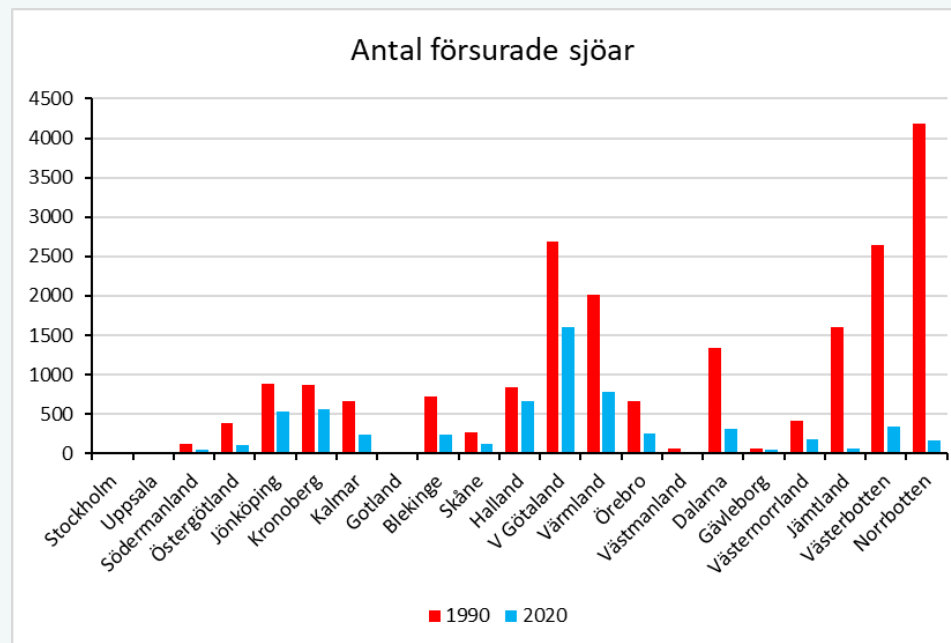
Något att fundera på

- » Är bristen på återhämtning sedan 1983 en indikation på att sjöarna aldrig försurats, eller finns det andra förklaringar?
- » Är MAGIC:s svaga överensstämmelse med uppmätta pH-värden en indikation på att även naturligt pH (pH_{1860}) är fel, eller?

Försurade sjöar enligt MAGIC



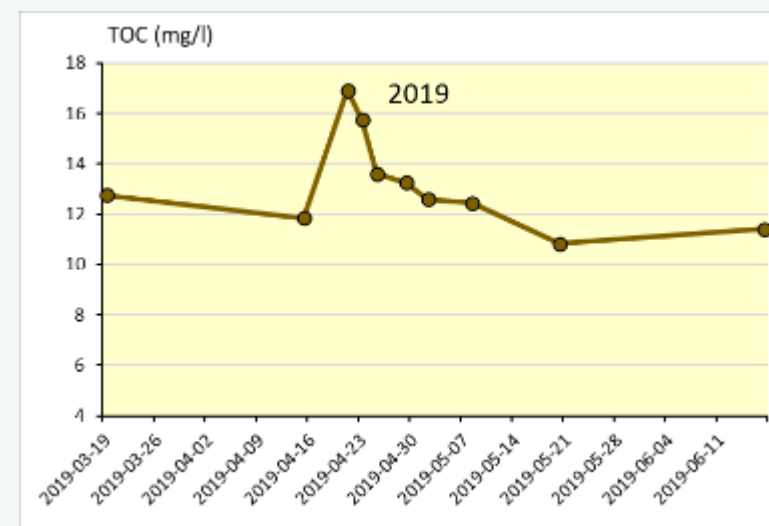
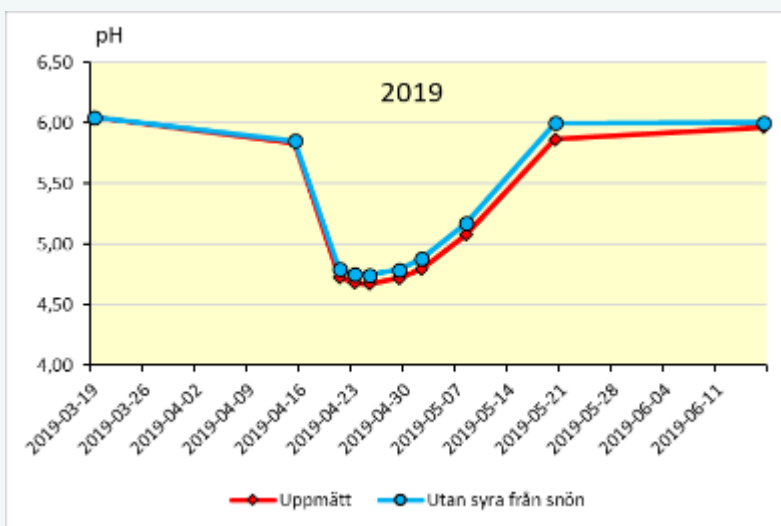
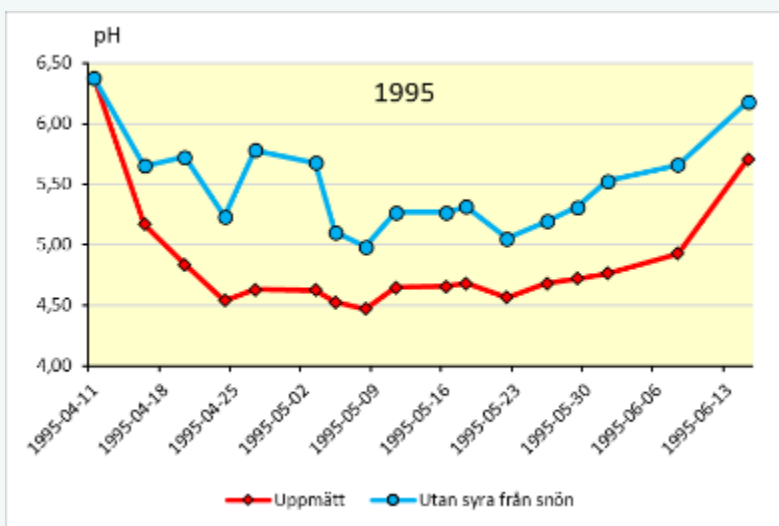
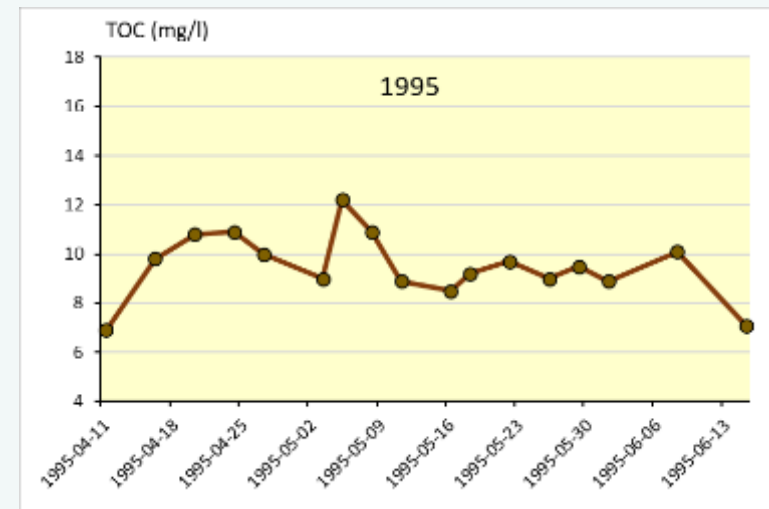
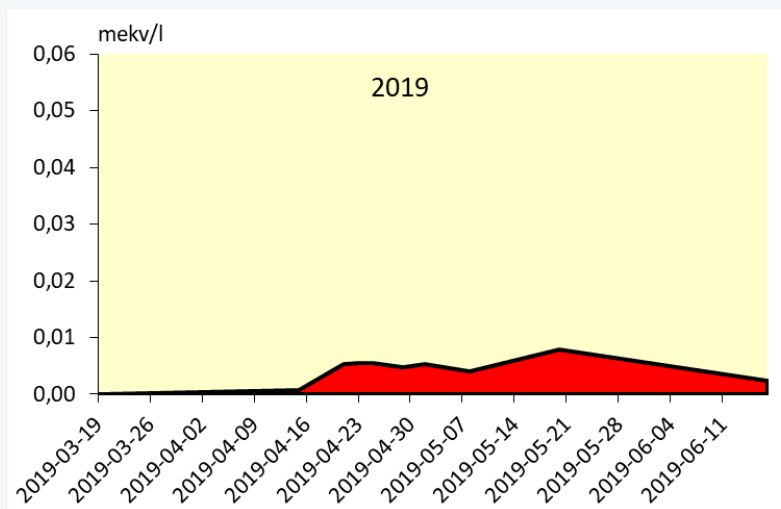
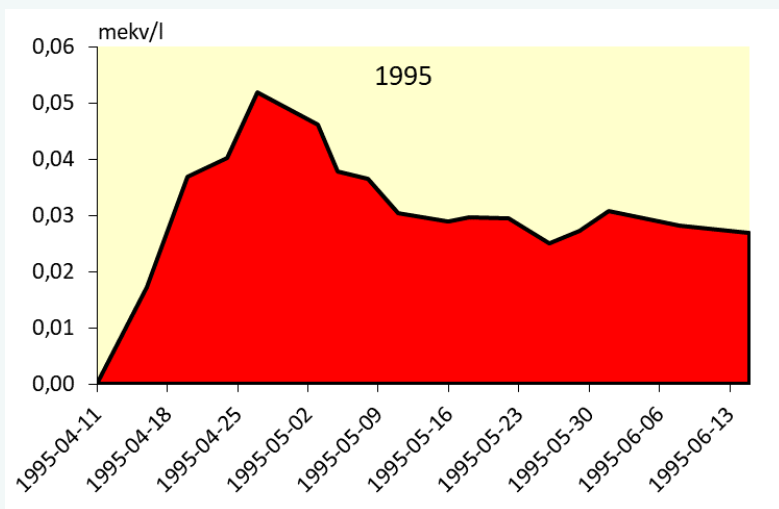
Omdrevsprogrammet: ca 5 000 sjöar
Försurningsbedömning med MAGIC-biblioteket
6,7 % försurade sjöar (år 2020)
Försurad: Minskning i pH >0,4 enhet sedan 1860



Men vattendragen då?

- » Ungefär lika stor (liten) återhämtning som sjöarna avseende årsmedelvärde
- » MAGIC modellerar årsmedelvärden, inte extremvärden
- » Men den biologiska effekten beror främst på förhållandena under surstötarna
- » Försurningens betydelse vid surstötar under vårfloden har minskat

Försurningens betydelse under vårfloden



Men vattendragen då?

- » Ungefär lika stor (liten) återhämtning som sjöarna avseende årsmedelvärde
- » MAGIC modellerar årsmedelvärden, inte extremvärden
- » Men den biologiska effekten beror främst på förhållandena under surstötarna
- » Försurningens betydelse vid surstötar under vårfloden har minskat
- » I områden med försurad mark kan försurningseffekter uppträda efter perioder med torka och vid tillförsel av havssalter

A scenic view of a lake with a small boat on the water and a forested shoreline in the background. The text is overlaid on the image in a bold, orange-red font.

**Återhämtningen i sjöar sedan 1983 har
bara varit betydande längs västkusten**

**MAGIC överskattar återhämtningen i stora
delar av landet**

**Försurningens betydelse under vårfloden
har minskat kraftigt**



**Jag kör Opel och inte DeLorean och kan
därför inte berätta för Er vilka vatten som
är försurade och hur pH var 1860**

Havs
och Vatten
myndigheten