

Tungmetaller i en sedimentkärna från en sjö norr om polcirkeln-möjliga orsaker till haltvariationer i vertikalled

En fältstudie i norr

OSKAR NIEMI 2017
MVEK02 EXAMENSARBETE FÖR KANDIDATEXAMEN 15 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET

Tungmetaller i en sedimentkärna från en sjö norr om polcirkeln- möjliga orsaker till haltvariationer i vertikalled

En fältstudie i norr

Oskar Niemi

2017



LUNDS
UNIVERSITET

Oskar Niemi

MVEK02 Examensarbete för kandidatexamen 15 hp, Lunds universitet

Intern handledare: Olof Regnell, Avdelning, Lunds universitet

CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning

Lunds universitet

Lund 2017

Abstract

Changes in the accumulation of heavy metals (Cd, Cu, Hg, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn), arsenic (As), and selenium (Se) in sediment of pristine lake in northern Sweden were studied by making measurements at different depths in a sediment core. The sediment core was extracted from the deepest part of the lake Sautusjärvi, close to the village Jukkasjärvi. The sediment samples were transported in a cooler to Lund University where they were kept in a cool room before being analysed. A potential local source of heavy metals to the atmosphere is the LKAB iron mine in Kiruna, one of the largest iron mines in the World. Sautusjärvi is a good lake for studying changes in atmospheric deposition of heavy metals because it receives no industrial effluent water and has little connection with other lakes and running waters. By slicing a 15 centimeter sediment core into 1-cm slices, it was possible to follow changes in heavy metal loads entering the lake. However, vertical changes in organic matter as well as other sediment constituents had to be taken into account when evaluating how the atmospheric deposition of the different heavy metals had changed over time. Almost all metals showed decrease in concentrations in the top layer of the sediment core, suggesting a general decline in metal concentrations in the atmosphere. Possibly, such a decline could be explained by less fossil fuel use, use of unleaded petrol, and better emission control by the use of improved filters that remove metals from exhaust gasses. However some of the studied elements (Hg, As, Se) increased in concentration towards the sediment surface. This may be the result of yearly increases in mining at LKAB, activities at the space facility Esrange or increased long-range atmospheric transport, e.g. from China or other growing economies in Asia.

Innehållsförteckning

Abstract 5

Innehållsförteckning 7

Inledning 9

Sautusjärvi 11

LKAB och Ala Lombolo 11

Vattenflödet i området 12

Analys av metaller och organiskt material 13

Hg-Kvicksilver 14

Pb-Bly 14

Fe-Järn, S-Svavel och P-Fosfor 14

As-Arsenik 15

Cu-Koppar 15

Zn-Zink 15

Ni-Nickel 15

Cd-Kadmium 16

Se-Selen 16

Ca-Kalcium 16

Kvoten mellan kol och kväve C:N 16

Metod 17

Resultat 21

Alternativa anledningar till haltförändringar i sedimentet 22

Kvoten mellan kol och kväve C:N 24

Ämnen vars vertikala haltvariation påverkas av förändring i atmosfärsdeposition 25

Svavel 25

Bly 26

Arsenik 27

Kadmium 29

Kvicksilver 29

Diskussion 31

Slutsats 35

Tack 37

Referenser 39

Inledning

Vid tal om miljöproblem i sjöar är det oftast försurning och övergödning som nämns, men något som inte har fått lika stor uppmärksamhet är förhöjda nivåer av tungmetaller.

Ökad tungmetallbelastning förklaras främst av utsläpp från metallindustrier, gruvor, och utsläpp till atmosfären vid förbränning av fossila bränslen. Genom transport via atmosfären kan tungmetallerna färdas långa sträckor från utsläppskällan innan de deponeras över land- och vattenytor (Naturvårdsverket 2016). Detta medför att utsläpp till luftvägar blir ett globalt problem då lokala utsläpp kan färdas längre sträckor. Det är även svårt att bedöma vilken industri eller annan verksamhet som är den bidragande orsaken till förhöjda halter. Gruvdriften i bland annat Kina har lett till ökade tungmetallbelastningar i den omgivande miljön där, en del av dessa tungmetaller är cancerogena vilket leder till en ökad utsatthet för befolkning i områden förorenade av tungmetaller (Huang et al. 2012). Det är av yttersta vikt att göra undersökningar på områden där verksamheter som frigör tungmetaller förekommer för att i bästa mån undvika exponering av dessa till omgivande miljö samt för människor och djur. I norra Sverige bryts det stora mängder malm, Sverige är en av de större gruvnationerna i Europa (miljönytta 2017) och till följd av detta finns potentiella risker att omgivande miljö kontamineras vad kommer till tungmetaller. Kontroll och undersökningar av bland annat sediment i sjöar ger en uppfattning om i vilken utsträckning dessa verksamheter kan ha påverkat den omgivande miljön.

Studier om sjöars miljöstatus är av intresse då Sverige har flera miljömål som förbättrad miljö i sjöar kan bidra till att uppnå. Ett av miljömålen är "Levande sjöar och vattendrag". Riksdagens definition av miljömålet lyder:

"Sjöar och vattendrag ska vara ekologiskt hållbara och deras variationsrika livsmiljöer ska bevaras. Naturlig produktionsförmåga, biologisk mångfald, kulturmiljövärden samt landskapets ekologiska och vattenhushållande funktion ska bevaras, samtidigt som förutsättningar för friluftsliv värnas." (Naturvårdsverket 2016).

Föroreningar som hamnar i miljön riskerar att försämra livsförutsättningarna för vissa organismer som lever där.

Ett annat miljömål är "Giftfri miljö". Detta miljömål uppger att farliga kemiska ämnen som hamnar i miljön p.g.a. antropogena utsläpp ej skall vara en fara för människors hälsa eller den omgivande miljön (naturvårdsverket 2016).

Genom undersökning av sedimentet i en sjö med avseende på giftiga ämnen fås information om sjöns miljögiftsbelastning. Denna kan bedömas genom att jämföra erhållna värden med regionala bakgrundsvärden framtagna av Naturvårdsverket.

Sjön Sautusjärvi i närheten av Jukkasjärvi i norrbottens län är en sjö opåverkad av direkta utsläpp från ytvatten och grundvatten. Föroreningar som hittas i sedimentet bör därför främst komma från nedfall från atmosfären.

Genom analys av en sedimentkärna från denna referenssjö undersöker denna studie hur atmosfärdepositionen av olika tungmetaller samt arsenik och selen har förändrats över tid i nordliga Sverige. Sedimentkärnan togs från Sautusjärvis djuphåla där sedimentationen är störst och därmed tungmetallerna ackumuleras (Bothner et al. 2003).

Föroreningar från gruvor och andra industrier kan spridas på olika sätt, bland annat med ytvatten, grundvatten och luft (Sahu 2016). Denna studie fokuserar på atmosfäriskt nedfall av tungmetaller och hur denna har förändrats över tiden.

Utefter detta ställs följande frågeställningar.

Har atmosfärdepositionen av tungmetaller förändrats över tid i nordligaste Sverige?

Om en ökning alternativt minskning har skett för vissa tungmetaller, hur kan detta förklaras?

Påverkas de vertikala haltförändringarna av tungmetaller i sediment av andra faktorer än förändrat atmosfärnedfall?

Med hjälp av svavelhaltsvariationer i atmosfären kan ett försök till datering av sedimentet göras. Vid studerande av data från SMHI (2016) går det att urskilja att vid mitten av 80-talet befann sig svaveldioxidhalterna i atmosfären att vara som högst i Kirunaområdet. Genom undersökning av sedimentkärnan tagen från Sautusjärvi är det möjligt att fastställa i vilken nivå svavelhalterna är som högst och då koppla detta till en tidpunkt. Således bör de högsta halterna i sedimentet representera de högsta halterna i atmosfären och en datering av sedimentlagret vid ett visst djup går att utföra. Utefter detta definieras en sedimentationshastighet för sjön.

Sautusjärvi

Sjön Sautusjärvi har i denna studie använts som en referenssjö för ackumulering av tungmetaller. Skillnader i Sautusjärvis sedimentära sammansättning har kopplats till hur atmosfärsdepositionen har förändrats i området. Sjön är belägen 324 m.ö.h och är belägen strax utanför Jukkasjärvi öster om Kiruna stad. Arean är ca 24 km² stor (SMHI 2017) och runt sjön finns ett flertal stugor, framförallt sommarstugor. Båttrafik samt skotertrafik trafikerar sjön. På vintrarna har bilföretaget SAAB haft provkörningar på isen för att pröva nya bilmodeller. Detta innebär att sjön på vintern även har trafikerats av traktorer som plogar upp en isbana åt bilarna (Holmström 2009).

Boenden i området nyttjar sjön på flera sett, mestadels för fiske men även för dricksvatten, då helt utan rening av vattnet.

Sautusjärvi är en hydrologiskt isolerad sjö (figur 1-2) och påverkas därför inte av närliggande industriers utsläpp direkt till yt- eller grundvatten. Däremot finns anledning att misstänka att sjön kan påverkas av atmosfärsnedfall orsakade av lokala utsläpp till luft. I närheten av Sautusjärvi ligger Esrange (raketskjutfält) samt en av världens största järnmalmgruvor: LKAB.

LKAB och Ala Lombolo

LKAB producerar cirka 27 miljoner ton järn om året och vill utöka produktionen med 5 % för varje år (LKAB 2017).

Raffinering och utvinning av metaller från gruvdrift kan frigöra stora mängder tungmetaller, bland annat arsenik och kvicksilverföreningar (Sahu 2016). En del av dessa tungmetaller har letat sig fram till sjön Ala Lombolo strax söder om Kiruna vilket har medfört att denna sjö är kraftigt förorenad av tungmetaller. Försvarsmakten har även dumpat ammunition i sjön på 50-talet vilket har komplicerat sanering av sjön (Jönsson 2016). Dessa tungmetaller kan spridas via ytavrinning långa sträckor med älvarna och ge negativa effekter på den omgivande miljön.

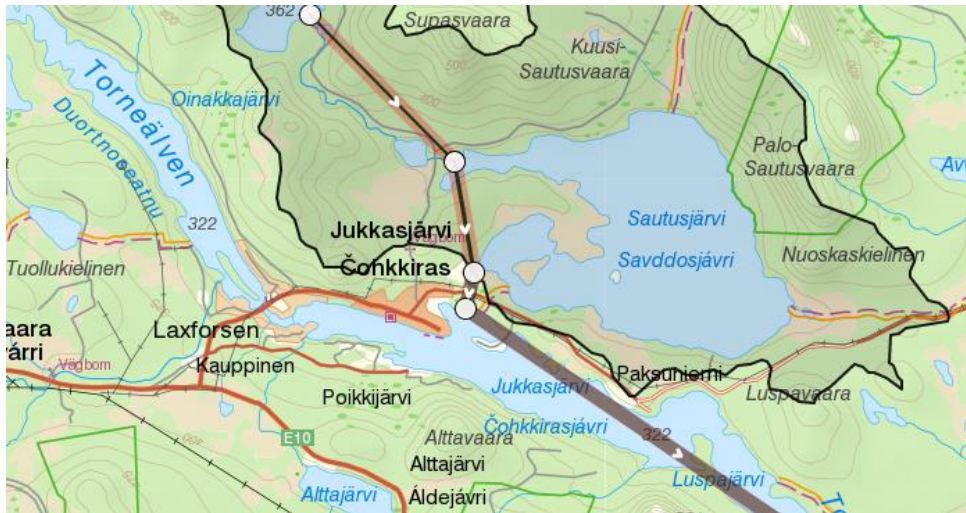
Figur 1 och 2 visar kartor från SMHI där vattenflödesriktningar kan ses. Figur 1 visar flödet av vatten från sjön Ala Lombolo. Vatten från Ala Lombolo rinner ut i Torne älv, men påverkar inte Sautusjärvi som ligger uppströms. Figur 2 visar ett bäckflöde genom Sautusjärvi i riktning mot Torne älv. Vattenkvaliteten i Sautusjärvi påverkas således inte av Torne älv.

Vattenflödet i området



Figur 1 Vattenflöde från Ala Lombolo

Vattenflödet från den förorenade sjön Ala Lombolo (rödmarkerad) till Torne älv. Sautusjärvi är belägen höger i bild. Bildkälla: SMHI, Svenskt vattenarkiv 2017.



Figur 2 Vattenflöde från Sautusjärvi

Referenssjön Sautusjärvi rinner ut till Torne Älv. Således påverkas inte vattnet i sjön av vattenkvaliteten i älven. Bildkälla. SMHI, Svenskt vattenarkiv 2017.

Analys av metaller och organiskt material

Genom relevanta analyser av sediment går det att dra slutsatser om varifrån tungmetallerna kommer och vilka processer som påverkar deras förekomst på olika nivåer i sedimentet.

I denna studie analyseras följande tungmetaller och ämnen för att deras halter skulle kunna påverkas av lokala verksamheter men även för att de kan spridas långväga med luft och via atmosfärsdeposition hamna i sjön (SLU 1999).

Följande ämnen har valts att undersökas i sedimentet: *Hg* (kvicksilver), *Pb* (bly), *Fe* (järn), *As* (arsenik), *Cu* (koppar), *Zn* (zink), *Al* (aluminium), *Ni* (nickel), *Cd* (kadmium), *S* (svavel), *P* (fosfor), *Mn* (mangan), *Se* (selen), *Ca* (kalcium), *Sc* (scandium). Dessa ämnen kan ha betydande effekt på människor och organismer i miljön vid för höga koncentrationer samt ha betydande effekt för tungmetallernas uppträdande i sedimentet.

Sedimentets organiska sammansättning är av intresse då en del metaller binder till det organiska materialet. Med anledning av detta leder oftast en hög andel organiskt material till högre halter tungmetaller (Lin et al. 1997). Det organiska materialet kan även brytas ner, vilket skulle möjliggöra att tungmetaller frigges. Nedbrytningen kan följas genom att studera kol: kväve C: N-kvoten. Denna kvot

ger även information ifall det organiska materialet i huvudsak kommer från omgivande mark eller ifall det har producerats i sjön av alger och andra vattenväxter (Kaushal et al. 1999).

Hg-Kvicksilver

Kvicksilver förekommer naturligt i miljön, men förhöjda halter kan förklaras av antropogena orsaker till följd av metallsmältverk, elektronisk industri samt förbränning av fossila bränslen. Förbränning av kol är dock den största utsläppskällan ur ett globalt perspektiv. Kvicksilver kan nå miljön på flera sätt, bland annat via nedfall från atmosfären. Kvicksilvrets långa uppehållstid i atmosfären möjliggör för transport längre sträckor (Naturvårdsverket 2013).

Pb-Bly

Förekomsten av bly i atmosfären härstammar främst från metallindustrin, samt från produktion och behandling av metaller. Väl i atmosfären riskerar bly att hamna i sjöar genom atmosfärsdeposition. Till följd av att bensinen har blivit blyfri och katalysatorer har införts till bilar har blyutsläppen till atmosfären minskat kraftigt på senare år (Naturvårdsverket 2017). Enligt Renberg et al. (1994) så var blyhalterna i Sverige vid åren 1600-1700 under 0,01 mg/g men på senare år har halterna ökat till 0,1-0,2 mg/g, då i övre sedimentlagret.

Fe-Järn, S-Svavel och P-Fosfor

Järninnehållet i sediment är av intresse då järnoxider binder ämnen såsom svavel, fosfor och arsenik. Således behöver en ökning samt minskning av dessa ämnen ej vara följden av förändring i atmosfärsdeposition utan den betydande variabeln för haltvariationerna blir då mängden järn (Kortmann och Rich 1994). Mellan åren 1998 och 2000 uppmättes koncentrationer av järn i sedimentlagret på 2-4 centimeters djup i sjöar från norra Sverige på cirka 40 mg/g (SLU 1998-2000).

As-Arsenik

En betydelsefull källa för arseniks förekomst i atmosfären är förbränning av diverse bränslen, främst i samband med el- och energiproduktion (Naturvårdsverket 2013). Av den orsaken att arsenik är cancerframkallande (Naturvårdsverket 2013) är det av intresse att studera i vilka halter det påträffas i Sautusjärvis sediment.

Cu-Koppar

Koppar är en så kallad essentiell metall för nästan alla organismer men kan likväl ha negativ inverkan vid förhöjd exponering. Koppars spridningsväg via luftvägar möjliggör att den med atmosfärisk deposition deponerar över omgivande miljö (Naturvårdsverket 2010).

Zn-Zink

Även zink är en essentiell metall men kan likt koppar vara skadligt för bland annat vattenlevande organismer vid förhöjd exponering. Zink finns som övriga metaller naturligt i miljön och kan frigöras från sediment, jordmån, berg och vatten. De främsta antropogena orsakerna till förekomst i atmosfären är förbränning av olja, järn- och stålproduktion samt slitage av bildäck (Naturvårdsverket 2010).

Ni-Nickel

Förekomsten av storskalig gruvverksamhet av nickel i Ryssland kan möjliggöra transport av nickel via luftmassor till Sverige. Analys av nickelhalter skulle således ge en uppfattning om nickelgruvorna i Ryssland har haft en inverkan på Sautusjärvis sedimentära sammansättning (Vitkova et al. 2017). Nickel kan verka toxiskt vid hög exponering men har likt koppar och zink även viktiga funktioner hos organismer (Nationalencyklopedin 2017).

Cd-Kadmium

Kadmiumanvändningen har minskat de senaste 40 åren och dess utsläppskällor är främst metallindustrier och förbränning av fossila bränslen. Även vid måttligt förhöjd exponering kan kadmium vara skadlig för människor (Naturvårdsverket 2010).

Se-Selen

Det är av intresse att veta mängden selen i sedimentet. Detta för att selen hindrar skadeeffekten av metylkvicksilver i en del organismer (Robert et al. 1991).

I takt med att förbränning av kol generellt sett minskar i omfattning i Europa leder detta till minskning av selenhalter (Wen 2007). Detta skulle således betyda att problemen med metylkvicksilver ökar.

Ca-Kalcium

En analys av kalciuminnehållet visar hur god buffertförmåga sjön har med avseende till försurning, buffertförmåga avser motstånd. Kalcium tar upp lösa vätejoner vilket är en bidragande faktor till försurningen. Till följd av upptaget av vätejoner minskar risken för en försurad sjö (Henriksson et al. 2012).

Kvoten mellan kol och kväve C:N

Undersökning av kvoten mellan kol och kväve visar vart det organiska materialet i sedimentet har sitt ursprung. En låg kvot (<15) tyder på att alger är den primära beståndsdel av det organiska materialet i sedimentet. En hög kvot (>15) tyder på att det mesta av det organiska materialet har tillkommit från den omgivande terrestra miljön (Kaushal och Binford 1999).

Metod

Avgränsningar i detta arbete är främst tungmetallers förekomst i sedimentbottnar, utsläpp av tungmetaller till atmosfären har även varit en bidragande diskussionsfaktor. Information om tungmetallers påverkan och upptag i organismer har uteslutits.

För att få ett så rättvisande resultat som möjligt skall sedimentkärnan tas från sjöns djupaste del då det är där sedimenteringen av metaller sker i högst omfattning (Bothner et al. 2003). Därför provborrades sjön på flera ställen för fastställande av djupet, se figur 3-4. Isens tjocklek var cirka 70 cm och täcktes av ett snölager på 20 cm. En motorborr användes för att borra igenom isen. Den 18/4-17 gjordes 15 borrhål på olika platser i sjön för registrering av djup, djupet bestämdes med ett ekolod av märket *Plastimo echotest 2*.

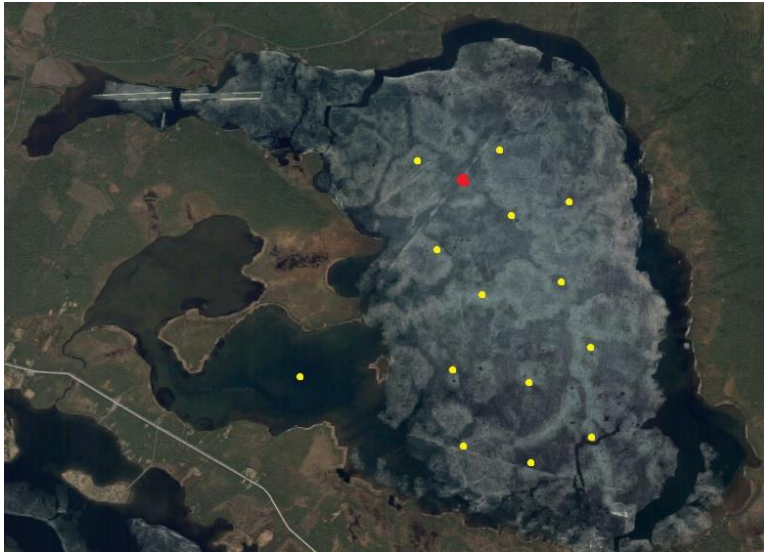
Koordinaterna för provtagningsplatsen är 7539474/1707475 (RT90 nord/öst). En sedimentkärna med längden 20 cm togs från botten av sjön på 7,4 meters djup (Figur 4) och delades upp i 20 olika skikt, vardera med en tjocklek på 1 cm (se bild 3). Sedimentprovtagaren var av modellen "HTH gravity-corer" och används runt om i Sverige vid liknande undersökningar (Renberg och Hansson 2008).

Provtagaren fungerar följaktligen: Den släpps försiktigt ned genom hålet i isen. Vid stabilisering cirka en halvmeter över botten skickades den med hög hastighet ner i sedimentet. En vakuumpropp täppte till toppen på cylindern som genomborrat sedimentet och provtagaren hissades sedan upp. Väl uppe på land togs sekvenser av sedimentet, varje sekvens var 1 cm tjockt och placerades i separata plastbehållare som märktes med det sedimentdjup som sekvensen förekom i.

När sedimentsekvenserna var uppdelade och placerade i respektive plastburkar fraktades de med flyg och tåg ner till Lund där de analyserades på Ekologihusets laboratorium av Sofia Mebrahtu Wisén. Inför analysen uppslötts uttagna delprov för metallanalys (även P, S och Se) i 10 ml salpetersyra (HNO₃) och placerades i en autoklav. Analysen är utförd med ICP-OES, Optima 8300 från Perkin Elmer. Analysen av oorganiskt C (IC) och organiskt C (TOC) och TN (totalkväve) utfördes med instrumentet Vario MAX CN från Elementar.

Av kostnadsskäl analyserades endast 15 cm (de översta skikten) av de 20 sedimentproven. För bättre säkerhetsställande gällande bakgrunds nivåer av

halterna metaller hade även prov längre ner i sedimentet behövts analyserats. Även åldersdatering med ^{210}Pb och/eller ^{137}Cs hade varit av intresse, men av kostnadsskäl var detta inte aktuellt. Ett försök till åldersdatering gjordes genom att istället fastställa under vilka år svavelhalterna var som högst i atmosfären för att sedan koppla det till i vilket sedimentlager de högsta halterna påträffades.



Figur 3 Satellitbild av Sautusjärvi

Figur 3 visar en satellitbild över Sautusjärvi sedd från ovan. Gula punkter markerar provtagning av djupet. Röd punkt markerar sedimentkärnans ursprung. Figur 3 är hämtad från google maps och modifierad av Oskar Niemi.



Figur 4 Sedimentkärnan

Figur 4 demonstrerar sedimentkärnan som togs från Sautusjärvis djupaste del. Den är 40 cm lång. Bild tagen av Oskar Niemi 2017-04/18.



Figur 5 Sekvens av ett sedimentlager

Denna bild visar en sekvens på ett 1-cm skikt. Varje sådant skikt skrapades ner i separata plastburkar och fraktades ner till Lund med flyg och tåg för analys av tungmetaller. Bilden är tagen av Oskar Niemi 2017-04/18

Material som användes vid provtagning av sedimentet

40 plastburkar med lock

2 snöskotrar med tillhörande vagn

En motorborr

Ett ekolod av märket *Plastimo echotest 2*

HTH sediment corer (vikt 21 kg)

Spade och rep

Resultat

I denna studie visar referenssjön Sautusjärvi förhöjda halter av kvicksilver, bly samt koppar jämfört med regionala naturliga bakgrundshalter för sjöar i Sverige. Zink, kadmium och arsenik påträffas i lägre halter i Sautusjärvi jämfört med andra sjöar i norra Sverige. I tabell 1 finns en sammanställning av halter för en del av de undersökta metallerna samt arsenik påträffade i Sautusjärvis övre sedimentlager. Resultaten för halter av samtliga undersökta ämnena i denna studie hänvisas till bilaga 1.

Tabell 1

Tabell 1 illustrerar halterna Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, As samt Hg i det övre sedimentlagret från referenssjön Sautusjärvi.

Ämne	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	As	Hg
Koncentration (mg/g) ts	0,02	0,02	0,00016	0,02	0,01	0,0028	0,000099

Regionala bakgrundshalter illustreras i tabell 2 för olika metaller samt arsenik baserat på uppgifter från Naturvårdsverket.

Resultaten från halter i Sautusjärvis övre sedimentlager i tabell 1 jämförs med tabellvärden i tabell 2 samt med andra gjorda studier på metaller i sediment. Det finns bland annat analyser av blyhalter som är tagna 25-35 cm ner i sedimentet från andra sjöar daterade till 1600-1700-tal och där skiljer sig halterna av just bly en aning från denna tabell. Det framgår av Tabell 2 att i södra Sverige har kvicksilverhalterna ökat med det dubbla jämfört med de naturliga ursprungshalterna. Siffrorna visar ett medelvärde för flera sjöar som har blivit analyserade. Grönmarkerade värden tyder på att halterna i Sautusjärvis övre sedimentlager ligger under värdet i Tabell 2. Rödmarkerade värden tyder på att halterna i Sautusjärvis övre sedimentlager överstiger vad som anges i Tabell 2. Värden som anges i svart färg förklarar att Sautusjärvi har samma halter som de som anges i denna tabell, då i det övre sedimentlagret.

Tabell 2 regionala bakgrundshalter för sediment i Sverige

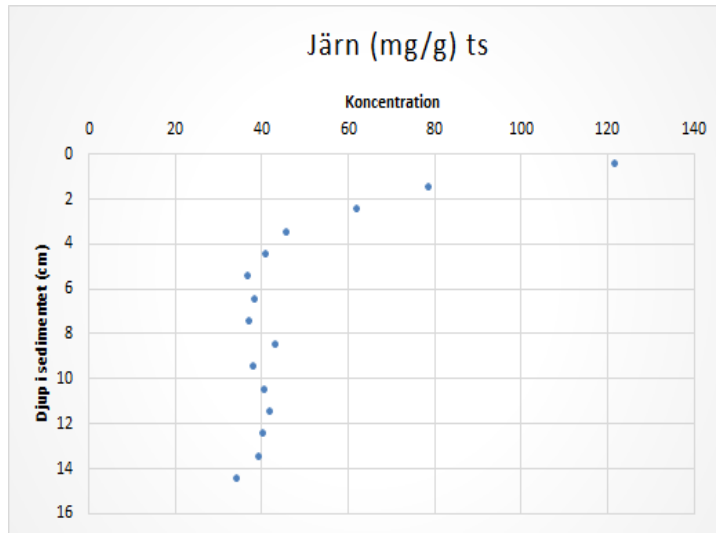
Tabell 2 klagör värden för regionala bakgrundshalter och ursprungliga halter för olika tungmetaller. I norra samt södra Sverige har det övre sedimentlagret undersökts och den naturliga ursprungshalten har undersökts från djupare sedimentlager (20 cm). Detta ger en överblick över hur mycket metaller som finns i sedimenten i Sverige samt hur det skiljer sig från ursprungsvärdena. En ökning av tungmetaller i sedimenten kan urskiljas. Med norra Sverige avser man sediment från sjöar och vattendrag norr om Dalälven. Tabellen och informationen är tagen från Naturvårdsverkets rapport 4920, "Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag" 1999. Röd siffra antyder att halterna i Sautusjärvis ytsediment är högre än angivna värden i tabellen, svart siffra att de ligger på samma nivå och grön siffra att halterna i Sautusjärvis ytsediment är lägre än de angivna i tabellen.

Sediment (mg/g ts)	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	As	Hg
Norra Sverige	0,015	0,15	0,0008	0,05	0,01	0,01	0,00013
Södra Sverige	0,02	0,24	0,0014	0,08	0,01	0,01	0,00016
Naturlig, ursprunglig halt	0,015	0,1	0,0003	0,005	0,01	0,008	0,00008

Alternativa anledningar till haltförändringar i sedimentet

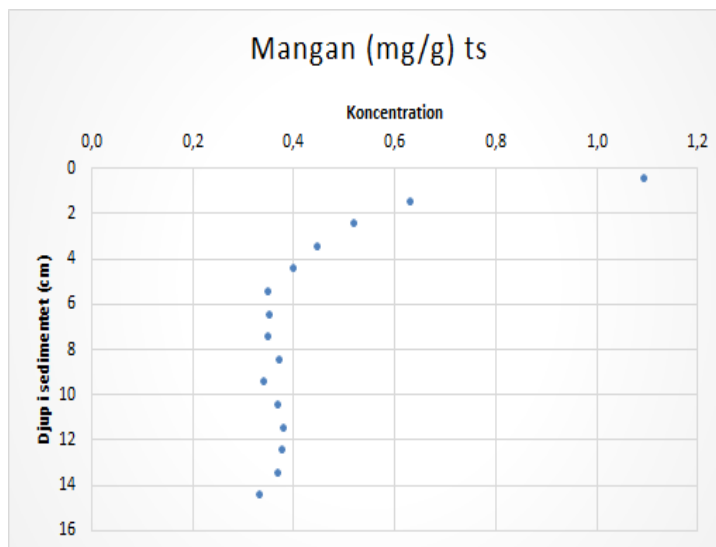
Nedan framgår resultaten för sedimentproverna från Sautusjärvi gällande mangan, järn och fosfor. Dessa ämnens vertikala haltvariation är nästan identiska (Figurerna 6 – 8).

Längre ner i sedimentet är inte haltvariationen lika tydlig som variationerna i de övre sedimentlagren. Mellan åren 1998 och 2000 uppmättes koncentrationer av järn i sedimentlagret på 2-4 centimeters djup i sjöar från norra Sverige vara på cirka 40 mg/g. Detta pekar på att järnhalter i Sautusjärvi förhåller sig till andra sjöar i Sverige på liknande sett då järnhalterna i Sautusjärvi är cirka 40 mg/g vid samma sedimentnivå.



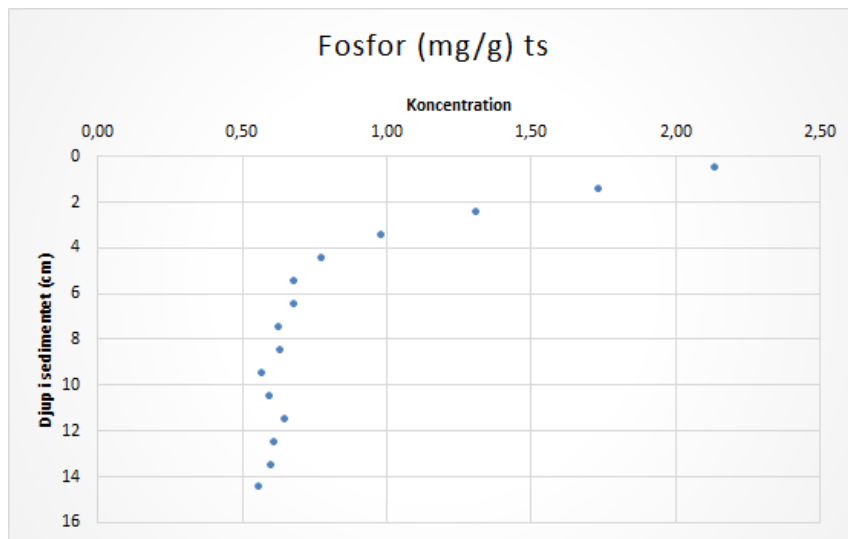
Figur 6 Järnhalten genom Sautusjärvis sedimentlager

Figur 6 illustrerar järnhalter på olika nivåer i sedimentet i sjön Sautjärvis djuphåla.



Figur 7 Manganhalten genom Sautusjärvis sedimentlager

Figur 7 illustrerar manganhalten på olika nivåer i sedimentet.

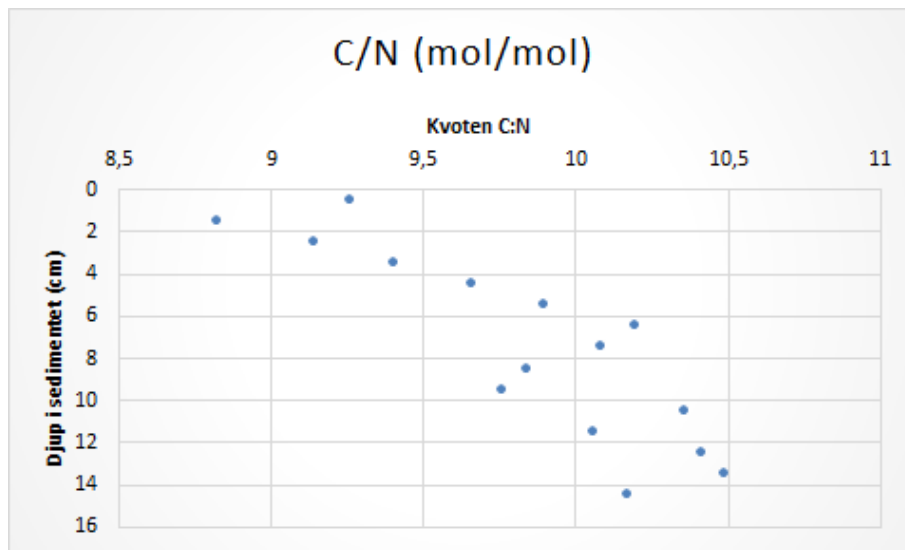


Figur 8 Fosforhalter genom sedimentlagret

Fosforhalter på olika nivåer i sedimentet i sjön Sautjärvis djuphåla kan avläsas. En likhet av förändringarna i fosforhalt kan dras med järnhalterna och manganhalterna. I det övre sedimentlagren är halterna som högst.

Kvoten mellan kol och kväve C:N

En beräkning av kol/kväve kvoten visar att det mesta av det organiska materialet i Sautjärvi härstammar från alger och annan växtlighet i sjön och inte från omgivningen, detta p. g. a. en kvot som är mindre än 15. C:N tenderar att öka längre ner i sedimentet samtidigt som TOC minskar (bilaga 1) vilket tyder på att en viss nedbrytning av det organiska materialet sker i sedimentet.



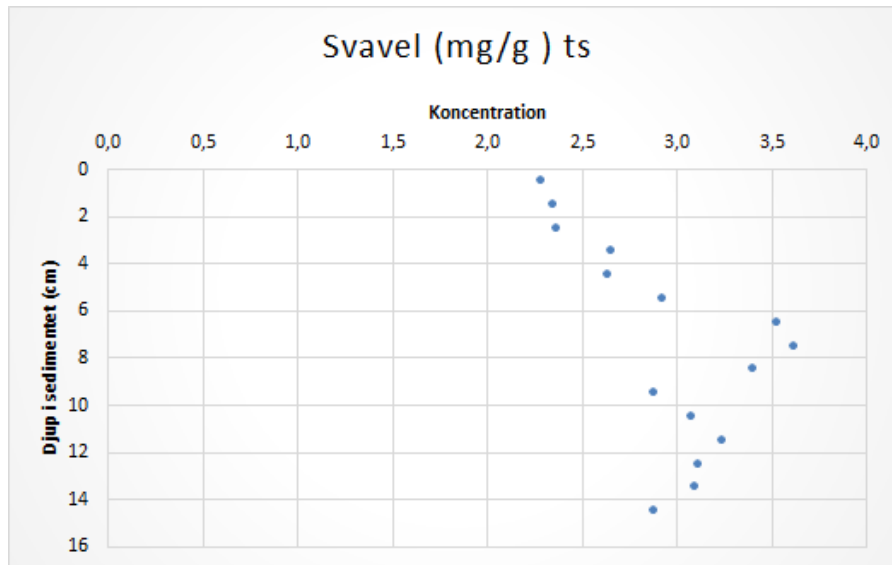
Figur 9 C:N genom de olika sedimentlagren.

Figuren illustrerar kol-kväve (C:N)-kvoter på olika nivåer i sedimentet i sjön Sautjärvis djuphåla.

Ämnen vars vertikala haltvariation påverkas av förändring i atmosfärsdeposition

Svavel

De högsta halterna av svavel i sedimentkärnan från Sautjärvi hittades på 7,5 cm djup. Således kan sedimentet på 7,5 cm djup antas ha sedimenterats för 32 år sedan då svavelhalterna i atmosfären var som högst vid de tillfället. Svavelhalterna i atmosfären har därefter sjunkit till följd av minskad användning av fossilt bränsle och bättre rening av rökgaser. Även detta framgår av svavlets vertikala haltvariation i sedimentet (Figur 10).



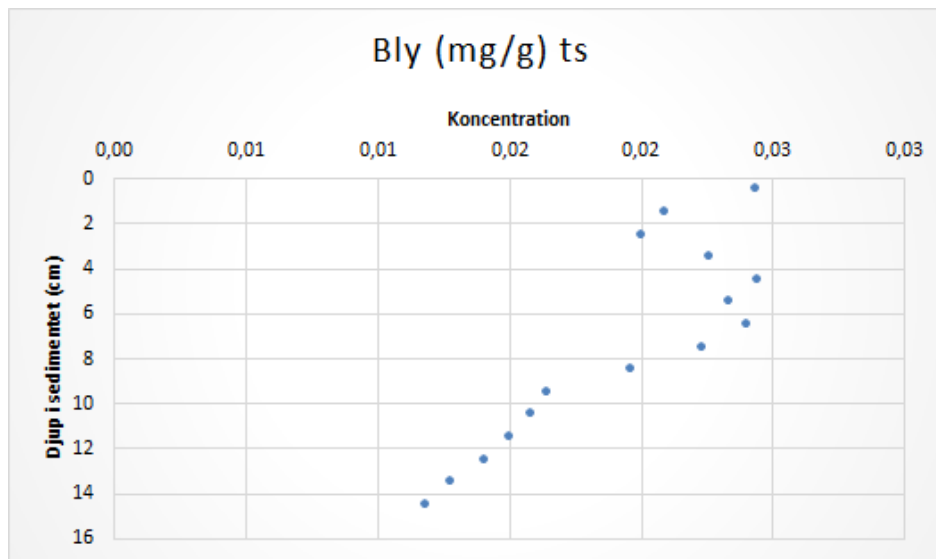
Figur 10 Förändring av Svavelhalter över tid

Enligt SMHIs väderdata så var Svavelhalterna i atmosfären som högst år 1985. Detta skulle kunna relateras till höga svavelhalter i sedimentet och en datering om att sedimentet vid 7,5 cm djup är cirka 30-35 år gammalt går att göra. I takt med en minskning av Svavelhalter i atmosfären så har även svavelhalterna i sedimentet minskat med tiden.

Bly

Blyhalter i sedimentet uppvisar högst halter cirka 5-7 cm ner i sedimentkärnan. Införandet av blyfri bensin gjorde att det blev lägre koncentrationer av bly i atmosfären vilket bekräftas genom studier av Sautusjärvis sedimentlager.

Studier pekar på att vid 1600-1700 talet var halten bly i sedimentet i norra Sverige under 0,01mg/g men på senare år har undersökningar i de övre delarna av sedimentet gjorts och då har halter mellan 0,1-0,2 mg/g påfunnits. Detta tyder på att blyhalterna har ökat med en faktor 10 generellt sett i norra Sverige, men uppenbarligen inte med så mycket i referenssjön Sautusjärvi (Figur 11).

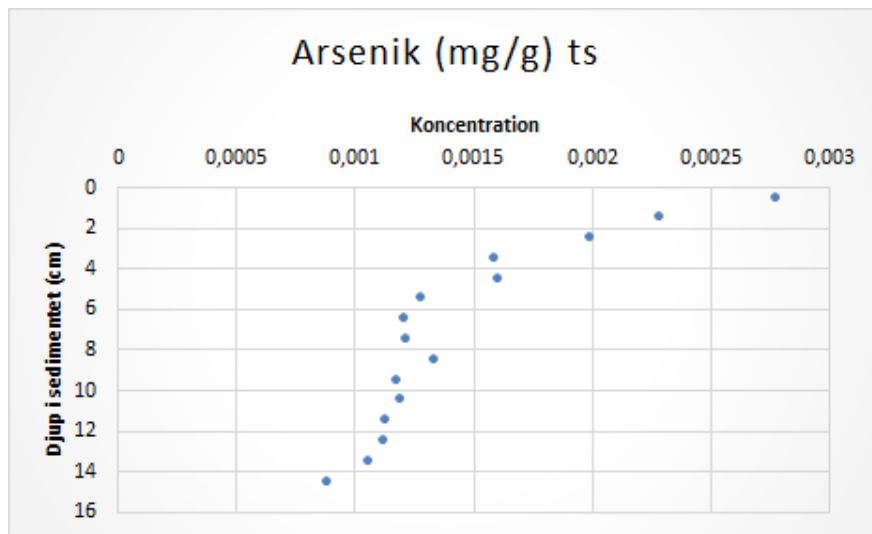


Figur 11 Blyhalter genom sedimentet

Resultatet för blyhalter i atmosfären visar en generell minskning av halterna bly på senare år.

Arsenik

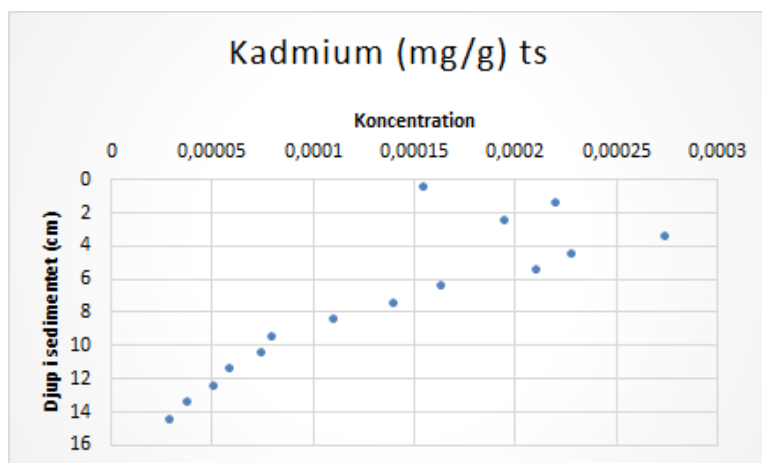
En ökning av arsenikhalter genom sedimentlagren har påträffats i denna studie. Dessa halter ligger trots allt under genomsnittet för sjöar i norra Sverige (Figur 12). Medelvärde för arsenikhalter i övre sedimentlagret i norra Sverige är 0,01 mg/g, i Sautusjärvi påträffas halter på samma nivå i sedimentet vara 0,0028 mg/g.



Figur 12
Arseniknivåerna ökar drastiskt i toppen av sedimentlagret.

Kadmium

Kadmiumhalterna har ökat med tiden genom de olika sedimentlagren för att sedan avta (Figur 13). Förhållande till sjöar i övriga Sverige är kadmiumhalterna i Sautusjärvi låga, en jämförelse kan göras med tabell 2.



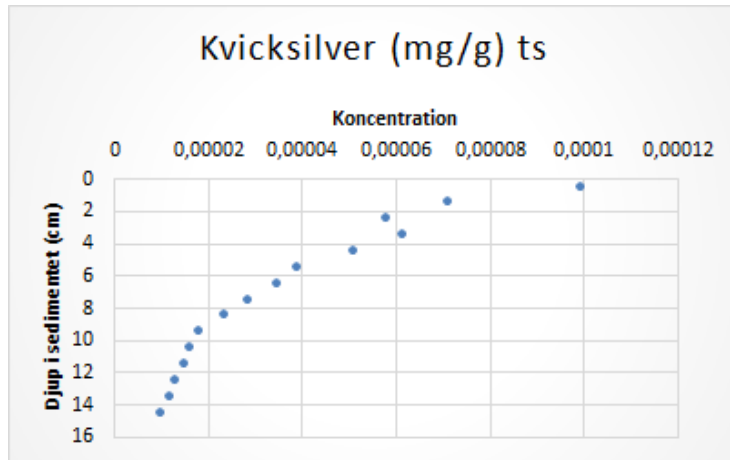
Figur 13 Kadmiumhalter på olika nivåer i sedimentet i sjön Sautusjärvis djuphåla

Kadmiumhalterna har ökat genom de olika sedimentlagren. En minskning av halter på senare tid har även skett.

Kvicksilver

Kvicksilvertillförseln till sjön verkar ha ökat stadigt de senaste decennierna (Figur 14). Resultaten i denna studie pekar på att kvicksilverhalterna har ökat jämfört med regionala bakgrundshalter för kvicksilver i Sverige.

Halterna av ämnet selen har stor betydelse för riskvärderingen av kvicksilver, i synnerhet metylkvicksilver (se inledningen). Selentillförseln i likhet med kvicksilvertillförseln tycks ha ökat, men i mindre utsträckning än för kvicksilver. I bilaga 1 kan selenets förändring genom de olika sedimentlagren tydas.



Figur 14 Kvicksilverhalter på olika nivåer i sedimentet i sjön Sautjärvis djuphåla. En ökning går att se genom de olika sedimentlagren. Ökningen verkar ske successivt.

Diskussion

Denna studie visar en minskning av majoriteten ämnen som undersökts genom sedimentlagret på senare tid. Cu, Ni, Pb, Zn, samt Cd har minskat i halter de senaste åren. Detta är troligtvis följden av minskad förbränning av fossila bränslen i Sverige samt bättre rening av avgaser, detta har således lett till reducering av utsläpp till atmosfären vilket resulterat i mindre påfunna halter i Sautusjärvis övre sedimentlager. Hg, As samt Se har ökat i halter på senare tid, orsaken kan vara långväga transport via atmosfären från Kina och andra delar i Asien till följd av den ökade industrialiseringen. Kvicksilver har en lång uppehållstid i atmosfären vilket möjliggör för långväga transport av ämnet (Jensen 2005). LKAB utökar sin produktion av järnmalm varje år vilket också kan vara en bidragande faktor till ökningen av Hg, As samt Se.

Enligt svavelprofilen (figur 10) är det högsta halterna uppmätta vid 7 cm djup i sedimentet. Svavelhalten i atmosfären var högst i mitten av 80-talet, således sammanfaller att sedimentationen vid 7 cm djup ha skett för cirka 30-35 år sedan. Vid studerande av blyhalternas vertikala variation (Figur 11) ses att dessa först ökar uppåt genom sedimentlagret. Detta speglar troligtvis en ökning av mängden bly i luften under den aktuella perioden. Detta kan bero på att användningen av blyhaltig bensin medförde förhöjda halter till atmosfären vilket sedan resulterar i ökade halter genom sedimentet.

Då blyhaltig bensin avskaffades samt införandet av katalysatorer trädde i kraft minskade halterna bly i atmosfären. Detta överensstämmer med att blyhalterna i det sedimenterade materialet har minskat. Ökningen på senare år (halterna av bly i övre sedimentlagret) är svårklarad. Men enligt boenden i området gick en traktor genom isen för några år sedan. Detta kan då ha resulterat i ett lokalt utsläpp vilket kan ha haft påverkan på resultatet. Jakt är även vanligt förekommande i området kring sjön, oftast jagas det sjöfåglar. Ammunitionen innehåller bly och detta kan således ha påverkat den plötsliga ökningen av blyhalten i övre sedimentlagret. Att poängtera är dock att blyhalterna i Sautusjärvi är lägre än vad medelvärdet för svenska sjöar i Norra Sverige är (tabell 2).

Blyfri bensin avskaffades 1985, det vill säga samtidigt som svaveldioxidhalten i atmosfären var som högst. Svavel- och blyprofilen stämmer väl överens med varandra och tyder båda på att sedimentet vid 7 cm djup är cirka 30-35 år gammalt. Detta ger en genomsnittlig årlig sedimenttillväxt på c:a 2 mm.

Zn, Ni och Cu binder till svavel, således kan en minskning av svavel genom sedimentlagren även resultera i en minskning av Zn, Ni och Cu (Carignan et al. 1997). Den största anledningen till samvariation mellan dessa ämnen är dock troligen att både svavel och metallerna frigörs till luften vid förbränning av fossila bränslen. Följaktligen samvarierar atmosfärsdepositionen av dessa ämnen, vilket troligen gett upphov till liknande haltprofiler för dessa ämnen. Haltminskning mot sedimentytan tyder på att förbränningen av fossila bränslen har minskat, och/eller att man använder renare fossila bränslen än tidigare.

Ett speciellt intressant resultat är att tillförseln av både Hg och Se verkar ha ökat med tiden, och fortsätter att öka. Man skulle kunna tro att med generellt minskade utsläpp av föroreningar till atmosfären så bör även dessa ämnen precis som S, Zn, Cu, Pb och Ni minska med tiden då även Hg och Se frigörs till atmosfären vid förbränning av fossila bränslen. Detta kan betyda att halterna S, Zn, Cu, Pb och Ni är mer påverkade av lokala utsläpp och inte kan färdas lika långt i luften som Hg och Se. Eftersom industrialiseringen i Kina och andra delar av Asien har ökat successivt genom åren skulle detta kunna förklara en ökad deposition av åtminstone Hg över Sautusjärvi. Kvicksilver har lång uppehållstid i atmosfären vilket medför att det kan transporteras längre sträckor (Jensen 2005). Trots detta bör dock inte lokala utsläpp uteslutas. LKAB:s utökade produktion av järnmalm varje år kan mycket väl vara en förklaring till varför metallerna ökar successivt med åren, en utökad produktion leder till ökade luftutsläpp vilket således kan påverka resultaten i denna studie.

Ökningen av arsenik mot sedimentytan kan delvis bero på att arseniken liksom fosfor följer järnets rörelser i sedimentet, se figurerna 6, 8, och 12 (Pers. komm. Olof Regnéll 2017). Således behöver inte tillförseln av arsenik till sjön ha ökat till följd av förändring i atmosfärsdeposition, utan i detta fall speglar möjligtvis förhållandet som järn och arsenik har till varandra en större roll. Att påpeka är dock att arsenik frigörs till luften vid gruvdrift så ett uteslutande av atmosfärsdepositionen helt och hållet bör inte göras. Enligt SGU (2017) så bryts det bland annat apatitjärnmalm i Kiruna gruva. De säger även att vid brytning av apatitjärnmalm så följer oftast enorma mängder fosfor med som en biprodukt, det uppskattas att LKAB har ett fosforlager på cirka en miljon ton, detta kan då påverka resultaten vad kommer till fosforhalter i sedimentet. Att påpeka är även att denna apatitjärnmalm oftast innehåller arsenik vilket då kan frigöras från berget och orsaka förhöjda halter av arsenik i Kirunaområdet, vilket kan spegla ökningen av arsenikhalter genom sedimentlagren i denna studie (SGU 2017). Förekomsten av fritidshus och fler boenden på senare år har även inneburit en uppkomst av avlopp i området, dessa kan möjligtvis släppa ut näringsämnen i form av fosfor vilket då kan leda till ökade fosforhalter i sjön.

Anledningen till den ökade järnhalten i Sautusjärvi kan vara av den orsaken att järn och fosfor beter sig likadant då det sker diagenetiska processer i övre sedimentlagret vid kontakt med vatten vilket gör att dessa tre ämnen fälls ut och högre halter kan förekomma (Dauvalter 1997). Mellan åren 1998 och 2000 uppmättes koncentrationer av järn i sedimentlagret på 2-4 centimeters djup i sjöar från norra Sverige vara cirka 40 mg/g (SLU 1998-2000). Detta pekar på att järnhalter i Sautusjärvi liknar halterna i andra sjöar i Sverige då järnhalterna i Sautusjärvi är cirka 40 mg/g vid samma sedimentnivå, alltså skiljer sig inte referensjön i denna studie åt jämfört med andra sjöar i Sverige.

Enligt Naturvårdsverket (2004) är bakgrundshalterna för kvicksilver 0,00008 mg/g (tabell 2) i Sverige, då cirka 20 cm ner i sedimentet. Vid studerande av kvicksilvergrafen (figur 14) ses det att redan vid 15 cm djup i sedimentet är halterna kvicksilver betydligt lägre än de värden som Naturvårdsverket har tagit fram. Detta kan betyda att Sautusjärvis naturliga bakgrundsvärden för kvicksilver är mycket lägre än övriga Sverige. En ökning av kvicksilverhalterna i sjön är därför möjligen mycket mer omfattande än vad som illustreras i detta arbete. Denna studie har delvist gått ut på att jämföra hur Sautusjärvi förhåller sig till övriga Sverige vad kommer till innehåll av potentiella föroreningar. Ett resultat som visar att Sautusjärvi innehåller lägre halter kvicksilver i övre sedimentlagret jämfört med övriga Sverige behöver inte betyda att sjön håller bättre miljöstatus eftersom det naturliga bakgrundshalterna är så mycket lägre i detta fall. För ett mer exakt resultat hade en skillnad behövts göras med hur Sautusjärvis halter av metaller har förändrats och ökat med tiden jämfört med de naturliga bakgrundshalterna i sjön. Detta skulle ge en bättre bild av hur sjön har påverkats av omgivande antropogena orsaker.

I denna studie har endast en referenssjö används som underlag vid bedömmande av atmosfärsdepositionens förändring i norra Sverige. För att ge säkrare resultat vid bedömmandet av depositionens utveckling krävs det fler referenssjöar samt möjligtvis fler sedimentkärnor från fler platser i sjön. Av kostnadsskäl samt tidsaspekten var detta inte genomförbart utan detta kan göras vid möjliga fortsatta studier.

Slutsats

Atmosfärsdepositionen av olika tungmetaller och andra ämnen har enligt referenssjön förändrats över tid i nordligaste Sverige. Utsläpp av tungmetaller från bland annat industrier och bilanvändning har haft stor inverkan på förhöjda halter i atmosfären, detta syns tydligt igenom de olika sedimentlagren som har analyserats i denna studie.

Halterna av nickel var relativt låga, vilket tyder på att nickelgruvorna i Ryssland ej har haft någon stor inverkan på Sautusjärvi. Däremot skulle de successivt ökande halterna av Hg uppåt i sedimentet kunna förklaras av LKAB:s utökade gruvdrift. Kvicksilvrets ökning skulle alternativt kunna förklaras av långväga transport med luft från tillväxtområden i Asien

Halterna bly ökade under den tid då bly användes i bensin. Efter att blyfri bensin infördes minskade halterna av bly i sedimentet. En viss ökning av blyhalterna den senaste tiden kan förklaras av intensiv jakt.

Haltprofilerna för Zn, Cu, Ni och S är väldigt lika varandra. De ökar i nedre delen av sedimentet för att sedan avta mot toppen. Haltförändringarna speglar troligen minskade utsläpp till luften genom att förbränningen av fossila bränslen har minskat och att reningen av rökgaser blivit effektivare.

Diagenetiska processer i sedimentet leder till utfällning av vissa ämnen i sedimentets övre lager. Därav kan höga halter av Fe, Mn, P och As öka uppåt i sedimentet utan att tillförseln av dessa ämnen har ökat.

Tack

Kiruna Kommun och Miljöchef Anders Fjällborg som har ställt upp på att betala en del av kostnaden för analysen av proverna, utan denna hjälp av betalningen hade inte detta arbete varit aktuellt.

Ola Wickberg som ställt upp med att låna ut snöskotrar och borr vilket gjorde det möjligt att ta en sedimentkärna från isen. Även hjälpen som gavs väl ute på isen med provtagningen samt timmarna som lades ner på själva fältarbetet.

Min handledare Olof Regnell som avstod sig sin handledarlön för att istället lägga den på att betala resterande analys av proverna. Detta möjliggjorde analys av fler element samt flera sekvenser av sedimentet.

Referenser

Bothner M, et al. 2003 Collection and preparation of bottom sediment samples for analysis of radio nuclides and trace elements.

IAEA-TECDOC-1360. ISBN 92-0-109003-X

Carignan, R., Tessier, A & Huerta-Diaz, A., M. 1997 Geochemistry of trace metals associated with reduced sulfur in freshwater sediments. *Applied geochemistry* 13: 213-233

Hanjie, W. & Carignan, J. 2007. Reviews on atmospheric selenium: Emission, speciation and fate. *Atmospheric environment*. 41: 7152-7165

Henriksson, L. & Brodin, Y.W 2012. Liming of acidified surface waters. A Swedish Synthesis 2pp

ISBN-13:978-3-642-79311-0

Holmström, L. 2009. Bilen som ska rädda SAAB?

[<http://www.sydsvenskan.se/2009-02-28/bilen-som-ska-radda-saab>] Besökt 20170427

Huang, L., Yuan, Z., Kuijip, T., Zongwei, M., Zhiyuan, L. 2013 A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. *Science of The Total Environment*. 468-469: 843-853

Jensen, B. 2005. Länsstyrelsen i stockholms län. Kvicksilver i den svenska miljön: förekomst, tillförsel och trender. En litteratursammanställning. pp 1-8

Jönsson, Å. 2016. Kiruna Kommun. Projekt Ala Lombolo

[<http://www.kiruna.se/Kommun/Bygga-bo-miljo/Miljo/Projekt-Ala-Lombolo/>] Besökt 20171005

Kaushal, S. & Binford, M.W. 1999. Relationship between C:N ratios of lake sediments, organic matter sources, and historical deforestation in Lake Pleasant, Massachusetts, USA. *Journal of Paleolimnology*. 22: 439-442.

doi:10.1023/A:1008027028029

Kortmann, R.W., & Rich, P.H. 1994 Lake ecosystem energetics: The missing management link. *Lake and reservoir management*. 8: 77-97

Lin, J.G. & Chen, S.Y. 1998. The relationship between adsorption of heavy metal and organic matter in river sediment. *Environmental International*. 24: 345-352

Livsmedelsverket. 2017. Rekommendationer om bly

[<https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/metaller/bly/>] Besökt 20170517

LKAB.2017. Startside.

[<https://www.lkab.com/en/>] Besökt 20170503

Lourdess, M.A., Aralar, C. & Furness, R.W. 1990 Mercury and Selenium interaction: A review. *Ecotoxicology and environmental safety*. 21: 348-364

Miljönytta, 2017. Gruvindustrin-en tillväxtmotor för Sverige

[<http://miljonytta.se/branscher/gruvindustrin/>] Besökt 20170602

Nationalencyklopedin 2017, Nickel.

[<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/nickel>]

Besökt 20170530

Naturvårdsverket, 1999. Bedömningsgrunder för sjöar och vattendrag. 134s. 131-132

Bilaga A till handbok 2007:4 ISBN 978-91-620-0148-3

[<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-0148-3.pdf>]

Naturvårdsverket. 2010. Utsläpp i siffror, Koppar

[<http://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Tungmetaller/Koppar/>]

Besökt 20170427

Naturvårdsverket. 2010. Utsläpp i siffror, Zink.

[<http://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Tungmetaller/Zink/>] Besökt 20170427

Naturvårdsverket. 2010. Utsläpp i siffror, Kadmium

[<http://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Tungmetaller/Kadmium/>]

Besökt 20170427

Naturvårdsverket. 2013. Utsläpp i siffror, Arsenik

[<http://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Tungmetaller/As-Arsenik1/>]

Besökt 20170427

Naturvårdsverket. 2013. Utsläpp i siffror, Kvicksilver

[<http://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Tungmetaller/Kvicksilver/>]

Besökt 20170417

Naturvårdsverket. 2016. Fakta om tungmetaller i luft

[<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftforeningar/Tungmetaller/>] Besökt 20170503

Naturvårdsverket. 2016. Levande sjöar och vattendrag.

[<http://www.miljomal.se/Miljomalen/8-Levande-sjoar-och-vattendrag/>]

Besökt 20170427

Sveriges Geologiska Underökning (SGU) Metaller och mineral i gruvavfall

[<https://www.sgu.se/mineralnaring/metall--och-mineralatervinning/metaller-och-mineral-i-gruvavfall/?acceptCookies=true>] Besökt 20170531

SMHI vattenweb. 2017. Information från SVAR, svensk vattenarkiv
[<http://vattenwebb.smhi.se/svarwebb/>] Besökt 20170510

Naturvårdsverket. 2017. Utsläpp av bly till luft.
[<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Bly-utslapp-fran-industrianlaggningar-till-luft/>] Besökt 20170427

Renberg, I. & Hansson, H.J. Paleolimnol 2008. The HTH sediment corer. Journal of Paleolimnology 40: 655-659.
doi:10.1007/s10933-007-9188-9

Yedjou, C.G., Sutton, D.J., Patlolla, A.K., Tchounwou P.B 2012. Heavy metal toxicity and the environment. Experientia Supplementum 101: 133-164

Renberg, I., Persson, W.M., & Emteryd, O. 1994. Pre-industrial atmospheric lead contamination detected in Swedish lake sediments. Nature. 368: 323-326.

Sahu, K.C. 2016. Heavy metal pollution of air, water and soil-A review. SGAT-Bulletin. 17: 16-30
ISSN 0972-2173

SLU-Sveriges lantbruksuniversitet. 1998-2000. Sedimentprov i nationella referenssjöar
[<http://info1.ma.slu.se/sediment/Fe.ssi>] Besökt 20170517

SLU-Sveriges lantbruksuniversitet 1999. Metaller i sjöar och vattendrag.
[<http://info1.ma.slu.se/miljotillst/metaller/metaller.ssi>] Besökt 2017051

SMHI. Datavärdskapet för luft. 2016.
[<http://shair.smhi.se/portal/concentrations-in-air#128>] Besökt 20170517

Vitkova, M., Rakosova, S., Michalkova, S. & Komarek, M. 2016 Meta(loid)s behaviour in soils amended with nano zero-valent iron as a function of pH-and time. Journal of environmental management. 186: 268-276

BILAGOR

Bilaga 1

Tabell 3 visar halterna av olika ämnen i sedimentet från Sautusjärvi samt hur det har förändrats över tiden genom de olika sedimentlagren.

Tabell 3 visar de undersökta metallernas koncentration genom djupet i sedimentet. Koncentrationen är uttryckt i mg/g torrsubstans.

Djup i sedimentet (cm)	Al	Ca	Cu	Fe	Mn	Ni	P	Pb	S	Sc	Zn	Hg	As	Cd	Se
0,5	6,6	4,4	0,02	122	1,1	0,01	2,14	0,02	2,3	0,031	0,024	9,93E-05	0,0028	0,00016	0,00077
1,5	9,9	4,5	0,03	79	0,6	0,01	1,73	0,02	2,3	0,008	0,032	7,13E-05	0,0023	0,00022	0,00073
2,5	9,0	4,7	0,03	62	0,5	0,01	1,31	0,02	2,4	0,005	0,031	5,80E-05	0,0020	0,00020	0,00067
3,5	14,2	4,8	0,04	46	0,4	0,02	0,99	0,02	2,7	0,004	0,046	6,14E-05	0,0016	0,00027	0,00072
4,5	15,7	4,9	0,04	41	0,4	0,02	0,78	0,02	2,6	0,004	0,048	5,10E-05	0,0016	0,00023	0,00065
5,5	17,9	4,8	0,03	37	0,3	0,02	0,68	0,02	2,9	0,004	0,047	3,92E-05	0,0013	0,00021	0,00058
6,5	21,1	4,9	0,04	39	0,4	0,02	0,68	0,02	3,5	0,004	0,049	3,48E-05	0,0012	0,00016	0,00056
7,5	22,4	5,2	0,04	37	0,4	0,02	0,63	0,02	3,6	0,004	0,048	2,87E-05	0,0012	0,00014	0,00049
8,5	20,4	5,6	0,04	43	0,4	0,02	0,64	0,02	3,4	0,005	0,049	2,37E-05	0,0013	0,00011	0,00042

9,5	20,2	5,2	0,04	38	0,3	0,02	0,57	0,02	2,9	0,004	0,044	1,82E-05	0,0012	0,0008	0,00036
10,5	25,8	5,8	0,04	41	0,4	0,02	0,60	0,02	3,1	0,005	0,046	1,61E-05	0,0012	0,0008	0,00039
11,5	27,2	5,6	0,05	42	0,4	0,02	0,65	0,02	3,2	0,005	0,048	1,52E-05	0,0011	0,0006	0,00037
12,5	31,5	6,1	0,05	41	0,4	0,02	0,61	0,01	3,1	0,005	0,045	1,33E-05	0,0011	0,0005	0,00033
13,5	29,2	6,0	0,04	40	0,4	0,02	0,60	0,01	3,1	0,005	0,043	1,18E-05	0,0011	0,0004	0,00030
14,5	28,0	5,5	0,04	34	0,3	0,02	0,56	0,01	2,9	0,005	0,038	9,86E-06	0,0009	0,0003	0,00026



LUNDS
UNIVERSITET

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

Lunds universitet

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