



Nr U 5908
Januari 2018

Datering av PCB- förorenade sediment i Oxundasjön

På uppdrag av Upplands Väsby kommun

Joakim Hållén & Magnus Karlsson



Författare: Joakim Hållén & Magnus Karlsson

På uppdrag av: Upplands Väsby kommun

Rapportnummer U 5908

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2018

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

1	Inledning	4
1.1	Historik	4
1.2	Uppgifter om Väsbyverkens avlopps- och dagvattenledningsnät	5
1.3	Spårämnesmetaller i Oxundasjöns sediment på 1970-talet	6
2	Metod	6
2.1	Provtagning	6
2.2	Samvarians mellan metallhalter	8
2.3	Datering.....	10
3	Resultat & diskussion.....	11
3.1	Jämförelse mellan startår 1903 och 1928	11
3.1.1	Koppar och zink.....	11
3.1.2	Krom och nickel.....	12
3.1.3	Kadmium	14
3.1.4	Optiska lednivåer	14
3.1.5	Brobergs metallprofiler från 1971	16
3.2	Datering av PCB	17
3.3	Osäkerhetsbedömning	19
4	Slutsats.....	20
5	Referenser.....	21
	Bilaga 1 – kort om PCA.....	22

1 Inledning

Föreliggande rapport har sammanställts av IVL Svenska Miljöinstitutet på uppdrag av Upplands Väsby kommun. En datering av sjöns sediment har genomförts som ett led i pågående ansvarsutredning gällande PCB-kontamineringen av Oxundasjön, norr om Upplands Väsby tätort. Detta i syfte att koppla PCB-kontamineringen i Oxundasjöns sediment till en sannolik tidsperiod som de huvudsakliga utsläppen till sjön skett. Befintligt underlag från tidigare sedimentundersökningar i Oxundasjön (Jonsson, 2017; Hållén m.fl., 2017) utvärderades utifrån historik om kommunala och industriella utsläppskällor i Upplands Väsby tätort (Broberg, 1973; Jansson & Persson, 2017), som under större delen av 1900-talet belastat Oxundasjön via Väsbyån.

1.1 Historik

Att Oxundasjön via Väsbyån sedan tidigt 1900-tal har belastats av både kommunalt- och industriellt avloppsvatten från Upplands Väsby tätort är väl belagt (Hillerdal, 1972; Broberg, 1973). Utsläpp av näringsämnen och diverse spårämnesmetaller ledde till övergödning och förhöjda spårämnesmetallhalter i Oxundasjön. Efter 1970 har dock avloppsvattnet från tätorten avletts till Käppala reningsverk, vilket väsentligt minskat sjöns belastning (Broberg, 1973). Tillförseln av avloppsslam till Väsbyån och Oxundasjön skapade ett slamdelta i Oxundasjöns södra del, vid Väsbyåns mynning. I slamdeltat och längre ut i Oxundasjöns sediment uppmättes på 1970-talet förhöjda halter av koppar, zink, krom, nickel och bly. De förhöjda halterna ansågs delvis ha sin grund i utsläpp från industrier belägna i Upplands Väsby (Broberg, 1973). Under 1900-talet fanns i Upplands Väsby bland annat en mekanisk verkstad (Optimus), ett pressgjuteri med ytbehandlingsavdelning (Väsbyverken) samt en bleckemballagefabrik. Av dessa var sannolikt Väsbyverken den industri som med sin gjuteriverksamhet och ytbehandling stod för det största utsläppet av spårämnesmetaller som koppar, zink, bly, krom och nickel. Väsbyverken har en invecklad historik och produktionen har haft ett flertal inriktningar under årens gång, vilket sannolikt speglat industrins utsläpp av miljöbelastande ämnen. I föreliggande rapport har endast de delar av Väsbyverkens historik som ansetts av betydelse för sedimentdateringen lyfts ut. För en heltäckande beskrivelse av verkens historik hänvisas till den historiska inventeringen framtagen av Ramböll (Jansson & Persson, 2017).

Väsbyverken grundades 1903 och produktionen riktades till en början mot tubdrageri för tillverkning av mässingrör. För detta hade man stora smältugnar för upphettning av metallen, för att göra den formbar. Dessutom fanns ett gjuteri, kärnmakeri (för att tillverka de gjutämnen som sedan formades till rör) samt en smedja. 65% av produktionen utgjordes av mässing, resten var koppar, järn och zink (Upplands Väsby kommun, 1989). 1916 gjordes en nysatsning och industrin utvidgades till ett för tiden fullt modernt metallverk. Dock gick verksamheten mindre bra under och efter krigsåren, och 1921 valde man att lägga ner verksamheten vid verken. År 1928 startades verksamheten åter upp på nytt och då i större omfattning än tidigare, med varmpressning av mässinglegeringar. Den första leveransen verkställs 1929. 1933 togs ytbehandlingsavdelningen i bruk med två slipbockar samt en galvanisk avdelning för förnickling och förkromning. Den första pressgjutningsmaskinen togs i drift och under samma period inleddes även bakelitpressningen (ESSEM tidningen 1946a).

Från 1946 finns uppgifter om en omfattande brand som utbröt i Väsbyverken efter att en smältugn i gjuteriet av misstag hade tänts trots att den för tillfället var tagen ur drift och täckt av en trälucka (ESSEM tidningen, 1946b). Vid branden förstördes all inredning, många maskiner och hela takkonstruktionen över de antända rummen.

I början av 1940-talet utvecklades verksamheten till att även inkludera pressgjutet aluminium. Under 60-talet köptes fler varmpressar, excenterpressar samt tre stycken högfrequensugnar in. Pressgjuteriet bestod då av ett 25-tal maskiner för produktion av varor i aluminium och zink. Årsproduktionen 1970 bestod av 570 ton varmpressad mässing, 660 ton pressgjuten zink, 1000 ton pressgjuten aluminium, 40 ton varmpressad aluminium (Jansson & Persson, 2017). 1973 förekom förkromning (koppar-, nickel- och kromplättering) och ytbehandling av zinkgjutgods. Vattenförbrukningen var då 20-23 m³/h. Vid den gamla ytbehandlingsavdelningen bedrivs bland annat förnickling av mässingsgods, elektrolytisk avnickling i svavelsyra, manuell elektrolytisk förkromning av zink- och mässingsgods, avkromning i soda, betning av aluminiumgods i salpetersyra samt avnickling och avkromning av galgar.

1982 utvecklades en stor del av verksamheten och den kvarvarande verksamheten bestod efter detta endast av betning och blästring av mässing. 1991 flyttades den kvarvarande delen av produktionen från Upplands Väsby till Skultuna och 1992 begärde dåvarande ägare konkurs.

1.2 Uppgifter om Väsbyverkens avlopps- och dagvattenledningsnät

I en skrivelse om miljövården på Väsbyverken från 1970 omnämns att verkens avloppssystem består av tre delar: spillvatten, dagvatten och kylvatten (Essem Weda, 1970). Av dessa tre delflöden leddes vid den här tidpunkten endast spillvattnet vidare till Käppala reningsverk (som togs i drift 1969), medan dag- och kylvatten leddes ut till Väsbyån. Sedan 1960 hade man en reningsanläggning för processavloppsvatten i drift, men vilken kapacitet denna hade framgår ej. I en anmälan till Naturvårdsverket 1971 nämns dock att anläggningen då bedömdes vara omodern och underdimensionerad (Persson & Jansson, 2017). I anmälan ansökte man om dispens från skyldighet att söka tillstånd enligt dåvarande miljöskyddslag i samband med en planerad utbyggnad av ytbehandlingsanläggningen samt avledning av avloppsvatten. Ett nytt reningsverk anlades 1972 och möjligen övergick man efter detta från att släppa kyl- och dagvatten till Väsbyån till att istället leda det till Käppala reningsverk. Samma år uppskattade Länsstyrelsen att Väsbyverkens totala vattenförbrukning vara 275 000 m³/år. Trots den nya reningsanläggningen samt att denna kompletteras med uppsamlingsbassänger, förekommer ett flertal dokumenterade händelser vid Väsbyverken mellan 1971 och 1982, som ledde till utsläpp av processvatten med höga halter av framför allt koppar, nickel, krom och oljeföroreningar till Väsbyån. Det går så långt att Länsstyrelsen överväger att förelägga om produktionsstopp tills att fungerande rening installeras. Så sent som 1980 finns utsläpp av processvatten med höga halter av koppar, krom och nickel dokumenterade (Jansson & Persson, 2017). 1982 utvecklades en stor del av verksamheten och den kvarvarande verksamheten bestod då endast av betning och blästring av mässing.

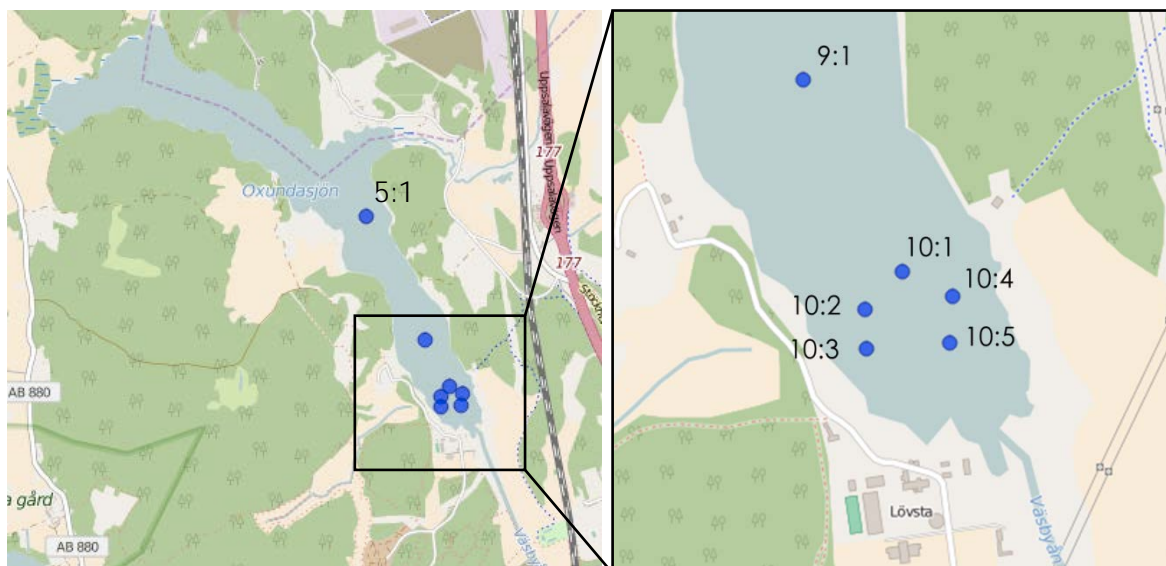
1.3 Spårämnesmetaller i Oxundasjöns sediment på 1970-talet

Sommaren 1971 genomfördes en sedimentprovtagning i Oxundasjön i syfte att undersöka halter av spårämnesmetaller i sjöns sediment som under 1900-talet belastades av avloppsvatten från Upplands Väsby tätort via Väsbyån (Broberg, 1973). Sediment inhämtades från sju platser i sjön, varav två djupa kärnor (0-175 cm) togs från den södra delen av sjön, i och intill Väsbyåns slamdelta. Metallerna som undersöktes var zink, koppar, krom, nickel, järn, mangan, bly och kadmium. I Hällén m.fl. (2017), presenteras resultaten från de två långa sedimentkärnorna, samt deras positioner. Resultaten från Brobergs undersökningar har i denna rapport digitaliserats och jämförts mot sedimentprovtagningar tagna i mars 2017 från samma del av Oxundasjön.

2 Metod

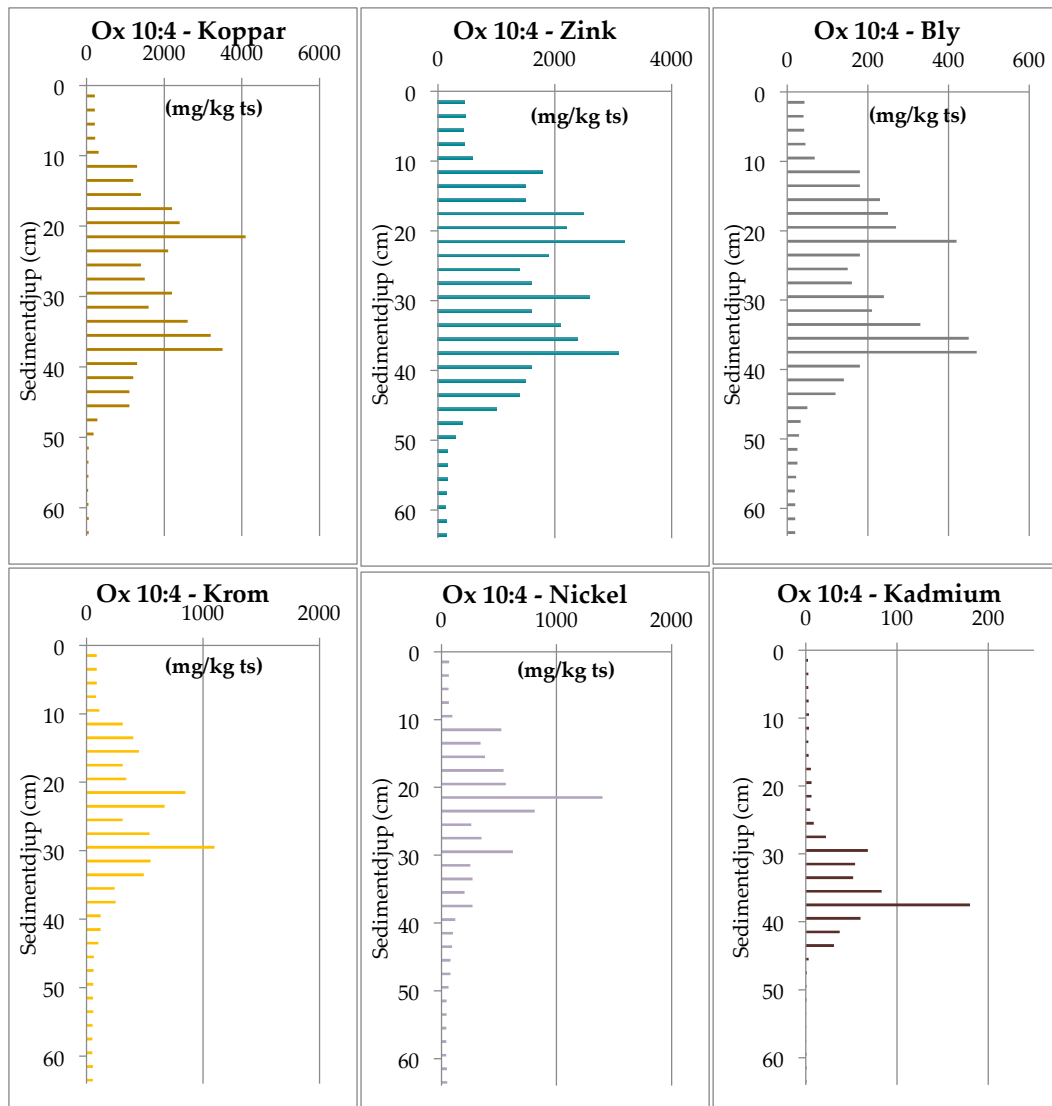
2.1 Provtagning

I syfte att datera PCB-förekomsten Oxundasjöns sediment inhämtades i mars 2017 sedimentkärnor från tre platser i den södra delen av Oxundasjön, närmast Väsbyåns mynning (9:1, 10:4, 10:5 i Figur 1 nedan). Kärnorna var drygt 60 cm långa och analyserades i avseende på ΣPCB_7 , torrsubstans, glödförlust (organiskt material) samt spårämnesmetallerna arsenik, barium, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, nickel, vanadin och zink. Torrsubstans, glödförlust samt metaller analyserades i 2 cm-intervall. PCB analyserades i 5 cm-intervall p.g.a. att mer sediment krävs för sådan analys. För fullständig beskrivning av metodik och resultat från denna provtagning hänvisas till Jonsson (2017) och Hällén m.fl. (2017).

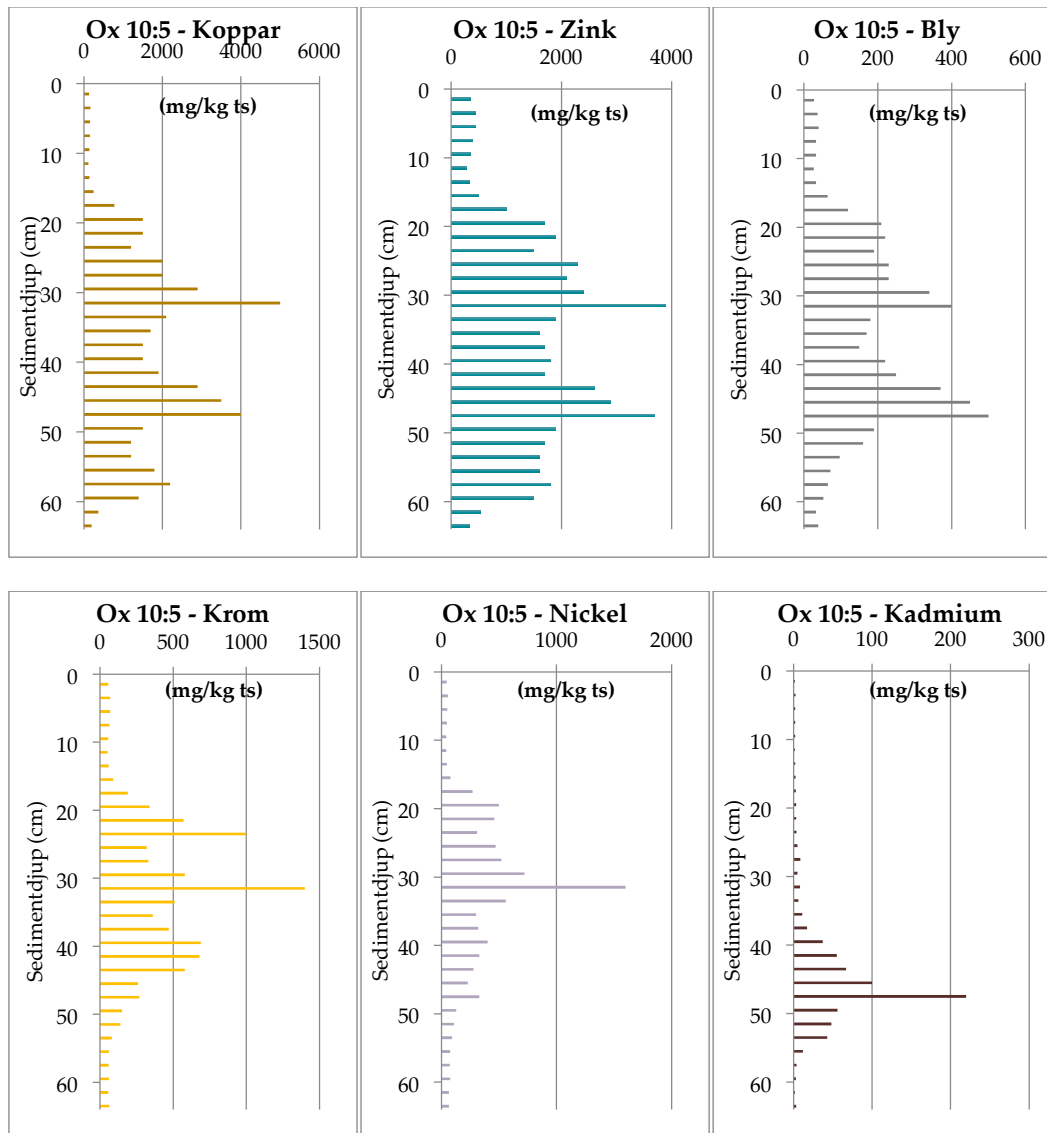


Figur 1 Tre sedimentkärnor (9:1, 10:4 och 10:5 i figuren) inhämtades i mars 2017 från södra Oxundasjön (Jonsson, 2017).

I Figur 2 och 3 visas uppmätta haltprofiler av koppar, bly, zink, krom, nickel och kadmium i sedimentkärnorna Ox 10:4 och Ox 10:5. När metallhalterna särskådas framgår att koppar, zink och bly visar ett liknande mönster, detsamma för krom och nickel. Kadmiumhalterna börjar öka ungefär samtidigt som koppar, zink och bly, men avtar sedan tidigare (d.v.s. djupare ner i sedimenten). Haltprofilerna i Ox 10:5 är något mer utdragna på djupet, en följd av att sedimentationstakten varit, och fortfarande är, större i denna punkt närmare Väsbyåns mynning. I den tredje sedimentkärnan Ox 9:1, som togs än mer norrut i sjön, där sedimentationshastigheten varit betydligt lägre, framgick en liknande profil som dock var betydligt mindre utbredd genom profilen (Jonsson, 2017).



Figur 2 Haltprofiler för koppar, zink, bly, krom, nickel och kadmium i en sedimentkärna från södra delen av Oxundasjön (Ox 10:4). X-axeln visar uppmätta halter av metallerna (mg/kg ts) på olika sedimentdjup (0 till ca 60 cm). Prover analyserades i 2 cm-intervall.



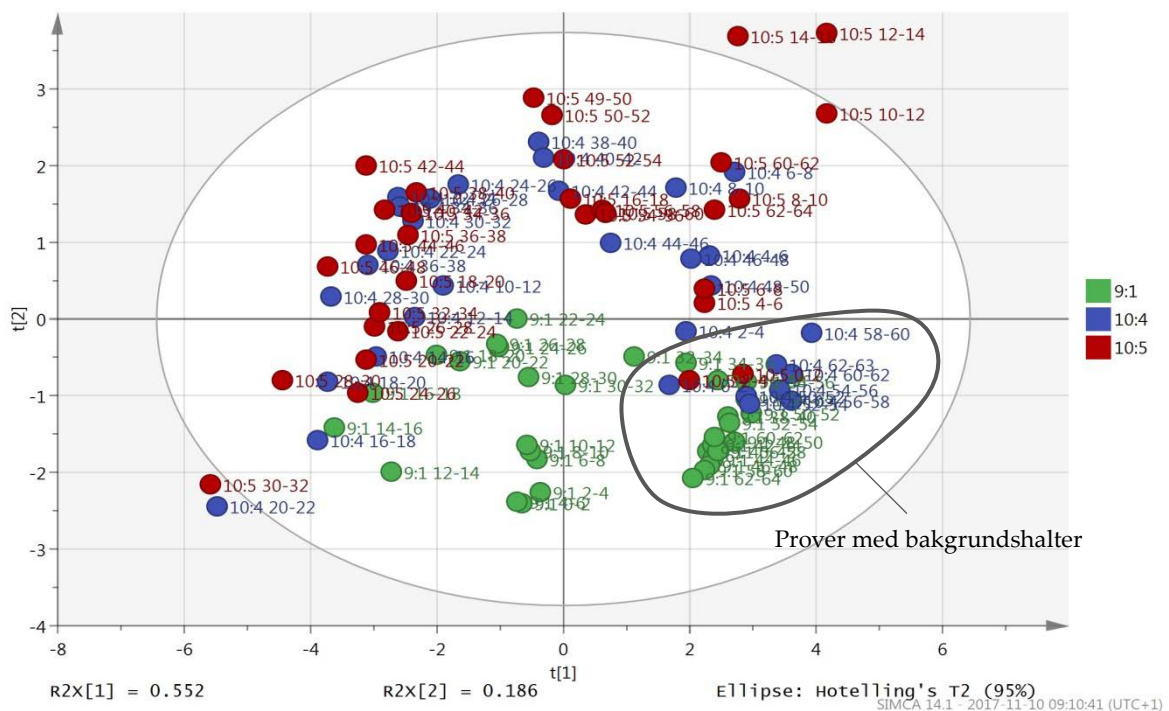
Figur 3 Haltprofiler för koppar, zink, bly, krom, nickel och kadmium i en sedimentkärna från södra delen av Oxundasjön (Ox 10:5). X-axeln visar uppmätta halter av metallerna (mg/kg ts) på olika sedimentdjup (0 till ca 60 cm). Prover analyserades i 2 cm-intervall.

2.2 Samvarians mellan metallhalter

I syfte att undersöka eventuell samvarians mellan analyserade spårämnesmetaller i sedimenten användes den multivariata analysmetoden PCA. I PCA används kortfattat algebra för att reducera antalet dimensioner i datasetet och presenterar datat grafiskt på ett sätt som mönster i datapunkter och samband mellan olika variabler tydligare framgår. För beskrivning av PCA-metodiken hänvisas till Bilaga 1.

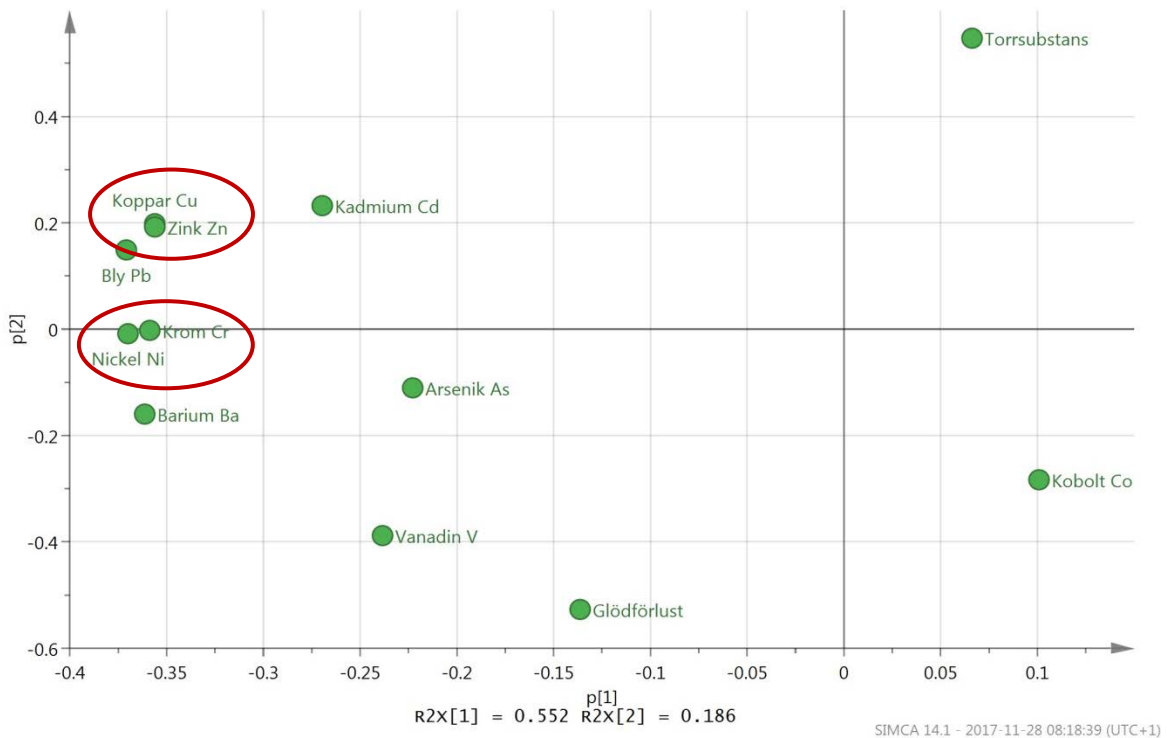
Indata till PCAn var uppmätta metallhalter (arsenik, barium, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, nickel, vanadin och zink), torrsubstans och glödförlust, analyserat i de tre kärnor från södra delen av Oxundasjön som omnämns i avsnitt 2.1 (Ox 9:1, Ox 10:4 och Ox 10:5). Resultaten av PCAn presenteras i Figur 4 och 5. I Figur 4 visas hur de olika proverna samvarierar och i Figur 5 visas hur variablerna samvarierar (d.v.s. analyserade metaller, torrsubstans och glödförlust).

Ingen tydlig gruppering mellan proverna från de tre kärnorna (Ox 9:1 = grön, Ox 10:4 = blå, Ox 10:5 = röd) framgår av Figur 4, vilket indikerar att metallhalter varierar tämligen likartat i kärnorna. Detta visar att det skett en liknande tillförsel av spårämnesmetaller till sedimenten, den variationen som finns beror på att olika sedimentationshastigheter resulterat i mer eller mindre utbredda haltprofiler i kärnorna. Proverna från 9:1 (gröna punkter) skiljer sig något mot proverna från 10:4 och 10:5, vilket beror på att sedimentationstakten varit lägre på platsen där denna kärna togs, längre från Väsbyåns mynning. Nere till höger i Figur 4 syns ett flertal observationer i ett tätt kluster, samtliga dessa är från djupt ned i kärnorna och representerar sediment med naturliga bakgrundshalter.



Figur 4 Statistisk analys av samvarians mellan sedimentprover från tre sedimentkärnor från södra delen av Oxundasjön (Ox 9:1 = grön, Ox 10:4 = blå, Ox 10:5 = röd). Analysen baseras på uppmätta metallhalter, torrsubstans och glödförlust i 2 cm-intervall, från 0 till 60 cm i de tre kärnorna. Prover nära varandra i figuren har likartade halter, medan prover långt ifrån varandra inte har det. Inringade punkter i nedre högra hörnet representerar prover med bakgrundshalter.

Ingen av metallerna ligger nära torrsubstans eller glödförlust (= organisk substans) i Figur 5, vilket indikerar att de inte har ett samband med hur mycket organiskt material som finns i provet (möjligtvis undantaget arsenik och vanadin). Flertalet av de analyserade metallerna visar snarare en större tendens till att samvariera med varandra. Detta gäller framför allt koppar och zink samt krom och nickel, som ligger tätt tillsammans i figuren. Att dessa par av metaller samvarierar framgår även om man visuellt studerar de uppmätta metallprofilerna i Figur 2 och 3 i avsnitt 2.1. Samvariationen tyder på att tillförseln av koppar och zink har ett gemensamt ursprung medan tillförseln av krom och nickel härrör från en annan process. Kobolt var den enda av metallerna som i princip hade konstanta halter genom hela profilen och utmärker sig därför ensam nere till höger. Kadmium har en liknande haltprofil som koppar, zink och bly på djupet, vilket förklarar varför de ligger relativt nära varandra i Figur 5. Kadmiumhalterna avtar sedan på ett ytligare sedimentdjup. Observerade skillnader och samvariationer i de uppmätta haltprofilerna diskuteras vidare under avsnitt 3.1.



Figur 5 Statistisk analys av samvarians mellan spårämnesmetaller, torrsubstans samt glödförlust i tre sedimentkärnor från södra delen av Oxundasjön. Variabler nära varandra i figuren tenderar att samvariera med varandra, medan variabler långt ifrån varandra inte gör det. Störst samvariation finns mellan koppar och zink samt krom och nickel (utmärkta med röda cirklar i figuren).

2.3 Datering

Utifrån utsläppshistoriken från Väsbyverken, uppmätta halter i sedimenten och samvariationen mellan spårämnesmetaller, kunde ett antal tidsmarkörer och lednivåer för sedimentdateringen identifieras:

1. Tillförsel av koppar och zink - från 1903 då Väsbyverken grundades, alt. 1928 när Väsbyverken startade på nytt och i större omfattning
2. Tillförsel av krom och nickel - från 1933 då ytbehandlingen startade
3. Avledning av avloppsvatten till Käppalaverket runt 1970 - minskade bl.a. recipientens belastning av syretärande ämnen
4. Verksamheten minskar efter 1982 och avslutas helt runt 1990
5. Övriga processförändringar och tillfälliga utsläpp som framkommit av den historiska inventeringen (ex. branden i pressgjuteriet 1946)
6. Uppmätta halter i sedimentkärnor från Oxundasjön tagna 1971 (Broberg, 1973)

Sedimentdateringen har utgått från två olika scenarier: 1) att tillförseln av framför allt koppar och zink blev av betydelse runt 1903 när Väsbyverken startade, samt 2) att tillförseln blev av betydelse först runt 1928 när man startade upp industrin på nytt och i större omfattning än tidigare. Dessa årtal antogs kunna knytas till uppgången av dessa metaller i sedimentprofilerna och utifrån årtalen antogs sedan en konstant sedimentackumulation ha skett fram tills idag. Sedimentackumulationen kunde fastställas utifrån densiteten, som beräknades utifrån uppmätt vattenhalt och glödförlust i

varje nivå som analyserades av sedimenten. För fullständig metodik och beräkningar av sedimentackumuleringen hänvisas till Jonsson (2017).

3 Resultat & diskussion

Resultaten presenteras i tre delar nedan: först en jämförelse mellan antagandet att tillförseln av spårämnesmetaller blev av betydelse 1903 eller 1928 och hur det påverkar dateringen, vad som talar för och emot de två alternativen givet de olika tidsmarkörer och lednivåer som bedömts vara relevanta att studera. Sedan jämförs de två dateringarna med uppmätta PCB-halter i sedimenten och kopplas till en sannolik tidsperiod som utsläppen till Oxundasjön skedde. Slutligen diskuteras osäkerheter och felkällor till dateringen.

3.1 Jämförelse mellan startår 1903 och 1928

3.1.1 Koppar och zink

I Tabell 1 presenteras de årtal mellan vilka koppar och zink, som korrelerade starkt i samtliga kärnor, tydligt var förhöjda i sedimentprofilerna, beroende på om 1903 eller 1928 antas som startår för dateringen. Antas startår 1903 resulterar det i att halterna är förhöjda mellan åren 1903 och 1983. Dessa årtal sammanfaller väl med starten av verksamheten samt att en stor del av verksamheten avvecklades efter 1982, bland annat ytbehandlingen. Om man istället antar att halterna började öka markant 1928, i samband med nystarten av verken och den större omfattningen av produktionen, sammanfaller nedgången med avvecklingen av hela verksamheten runt 1990.

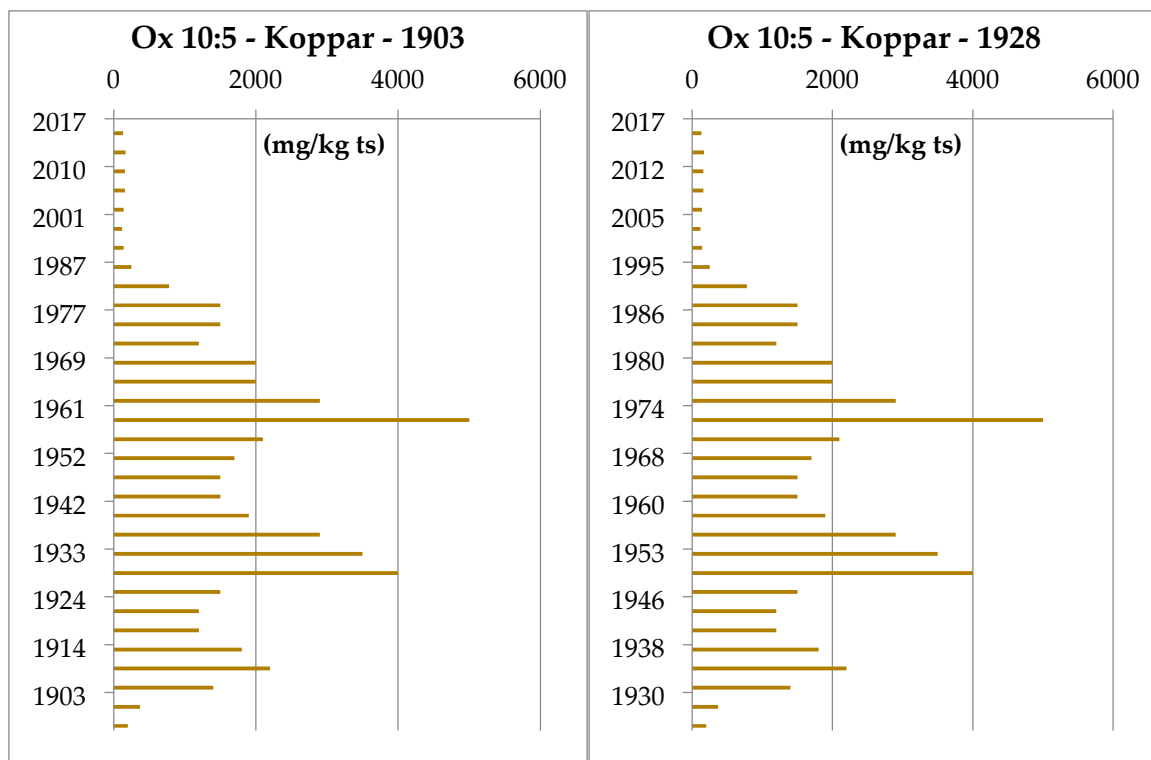
Tabell 1 Årtal med förhöjda halter av koppar och zink i tre sedimentkärnor från Oxundasjön (Ox 9:1, Ox 10:4 och Ox 10:5), baserat på dateringar av sedimenten med utgångspunkt i att utsläppen blev av betydelse 1903 eller 1928. I kolumnen längst till höger presenteras medelvärdet av de tre kärnorna.

Koppar + Zink		Ox 9:1	Ox 10:4	Ox 10:5	Medel
Startår 1903	Från år	1903	1903	1903	1903
	Till år	1978	1989	1983	1983
Startår 1928	Från år	1928	1928	1928	1928
	Till år	1987	1996	1989	1991

I Figur 6 presenteras uppmätta profiler för koppar i kärna Ox 10:5, med daterad axel i y-led, till vänster med startår 1903 och till höger med startår 1928. Dateringen med startår 1903 matchar Väsbyverkens startår 1903 genom att halterna gradvis börjar öka. Efter den första toppen ses en nedgång i halterna runt 1920, för att sedan kraftigt öka runt 1930. Detta matchar nedläggningen av verksamheten 1921 samt uppstarten i större omfattning 1928. Halterna går sedan åter ner i slutet av 1940-talet vilket kan spegla en begränsad verksamhet under krigsåren. Sannolikt ledde även den stora branden i pressgjuteriet år 1946 till en kraftig produktionsminskning och således även en reduktion av direkta utsläpp. Nybyggnationen av gjuteriet innebar sedan en omfattande modernisering av verksamheten samt att nya/förbättrade processer och metoder kunde introduceras. Detta ledde sannolikt också till att utsläppen ökade efter ombyggnationen. Detta

överensstämmer med att halterna ökar mot 1960, för att sedan åter avta i början på 1980-talet, när verksamheten minskades och halterna också kan antas avta i sedimenten.

Dateringen med startår 1928 matchar Väsbyverkens nystart 1928 med den nedre toppen. De lägre halterna som följer på 40-talet kan spegla begränsad verksamhet under krigsåren/branden 1946 och att produktionen sedan tar fart igen på 50-talet. De lägre halterna runt 1960 är svårare att koppla till något skede i verksamhetens historik, möjligen till den första reningen som infördes på 60-talet, vilken faktiskt betydelse för metallutsläppen denna hade är dock svårt att uttala sig om. Mellan 1972 och 1982 finns sedan ett antal rapporter om att olyckor och utsläpp till recipienten ska ha skett från industrin, vilket kan förklara de höga halterna under dessa år. Sedan avtar halterna kring 1990, vilket matchar årtalet då hela verksamheten lades ner.



Figur 6 Profiler för uppmätta kopparhalter i kärna Ox 10:5, med daterad y-axel. Datering med startår 1903 till vänster och med startår 1928 till höger.

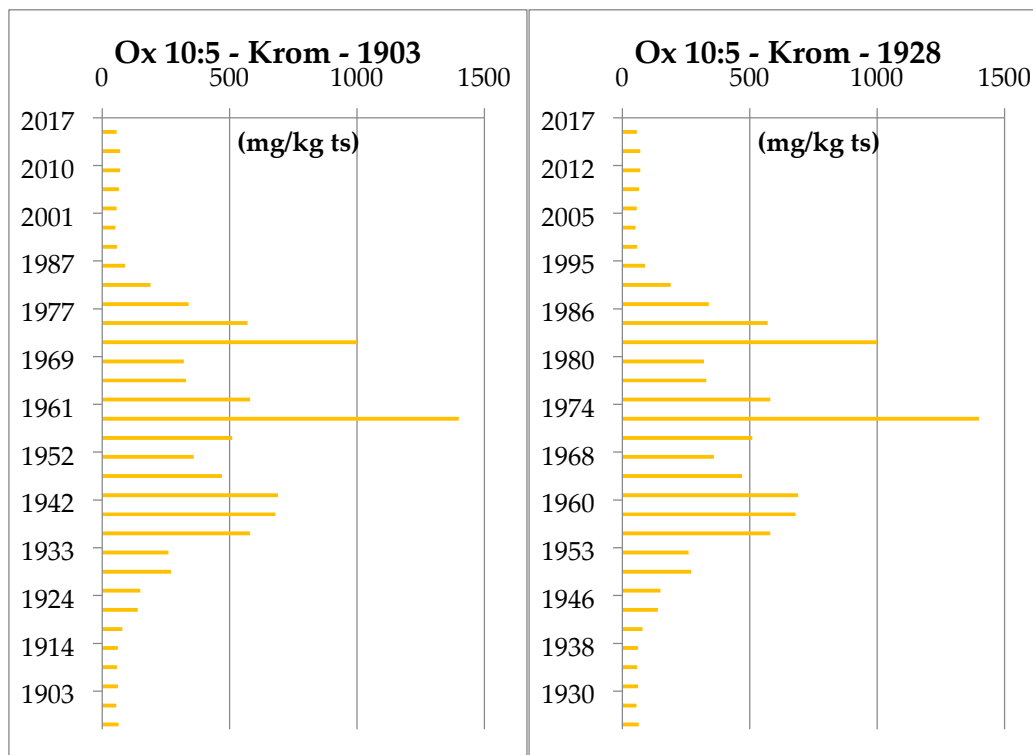
3.1.2 Krom och nickel

På samma sätt som koppar och zink samvarierade i profilerna, samvarierade även krom och nickel. I Tabell 2 presenteras de perioder då dessa metaller var förhöjda i sedimenten enligt de två olika dateringsvarianterna. Anmärkningsvärt var att för dateringen med startår 1903 framgick förhöjda halter i slutet av 30-talet, vilket tämligen väl sammanfaller med tidpunkten då ytbehandlingen med förkromning och förnickling togs i drift på Väsbyverken, år 1933. Nedgången matchar också årtalet 1982, då verksamheten minskade och ytbehandlingen lades ner. Antogs istället startår 1928, kom de förhöjda halterna av krom och nickel något senare, i slutet av 1940-talet, för att sedan avta runt 1990. Att halterna börjar öka så pass sent som i slutet av 40-talet överensstämmer alltså inte med årtalet 1933, då ytbehandlingen togs i drift. Nedgången runt 1990 matchar dock årtalet då hela verksamheten lades ner.

Tabell 2 Årtal med förhöjda halter av krom och nickel i tre sedimentkärnor från Oxundasjön (Ox 9:1, Ox 10:4 och Ox 10:5), baserat på dateringar av sedimenten med utgångspunkt i att utsläppen blev av betydelse 1903 eller 1928. I kolumnen längst till höger presenteras medelvärdet av de tre kärnorna.

Krom + Nickel		Ox 9:1	Ox 10:4	Ox 10:5	Medel
Startår 1903	Från år	1928	1926	1930	1928
	Till år	1978	1989	1983	1983
Startår 1928	Från år	1948	1946	1949	1948
	Till år	1987	1996	1989	1991

När de uppmätta haltprofilerna för krom studerades, framkom två distinkta toppar (Figur 7). Den nedre matchade även en lika distinkt topp för koppar, zink och nickel. En första teori var att denna topp orsakats av en större olycka eller utsläpp från industrin. Toppen sammanfaller dock med höga halter av organiskt material på samma nivå, i och med att metallerna har en stark tendens att binda till organiskt material, kan det vara en mer sannolik orsak till de höga metallhalter på denna nivå. Däremot sammanfaller inte den övre toppen för krom med halter av organiskt material, vilket leder till slutsatsen att denna topp kan ha förorsakats av en olycka eller ett större utsläpp. Toppen infaller runt 1972 i dateringen med startår 1903 och 1983 i dateringen med startår 1928. Båda årtalen kan kopplas till klagomål och noteringar om höga utsläpp från Väsbyverken, runt 1970 innan anläggandet av det egna reningsverket, eller runt 1980 när utsläpp av processvatten med höga halter av bland annat krom skedde till Väsbyån.



Figur 7 Profiler för uppmätta kadmiumhalter i kärna Ox 10:5, med daterad y-axel. Datering med startår 1903 till vänster och med startår 1928 till höger.

3.1.3 Kadmium

De uppmätta halterna av kadmium i de tre sedimentkärnorna visade en säregen profil, som tycks samvariera med nickel och krom till en början för att sedan abrupt avta på 1950-talet med den ena dateringen och runt 1970 med den andra (Tabell 3). Vad kadmium har för ursprung har med befintligt underlag inte kunnat fastställas, och är något man potentiellt skulle kunna studera vidare i syfte att ge dateringen ytterligare en lednivå att ta hänsyn till. En teori är att kadmiumhalterna har sitt ursprung i verksamheten vid Optimusfabriken, som också var lokaliserad till centrala Upplands Väsby. Verksamheten bedrevs mellan 1908 och 1983 och hade ytbehandling med främst förnickling. Kadmium har även förekommit som förorening i icke-järnhaltiga metaller, framför allt zink, men även koppar och bly, vilket är en annan möjlig källa. Faktum är att toppen för kadmium sammanfaller väl med dessa metaller i profilerna, tills dess att kadmiumhalterna avtar. Smältning av icke-järnhaltiga metaller har historiskt varit en av de största källorna för utsläpp av kadmium till den akvatiska miljön (Johnson & Eaton, 1980).

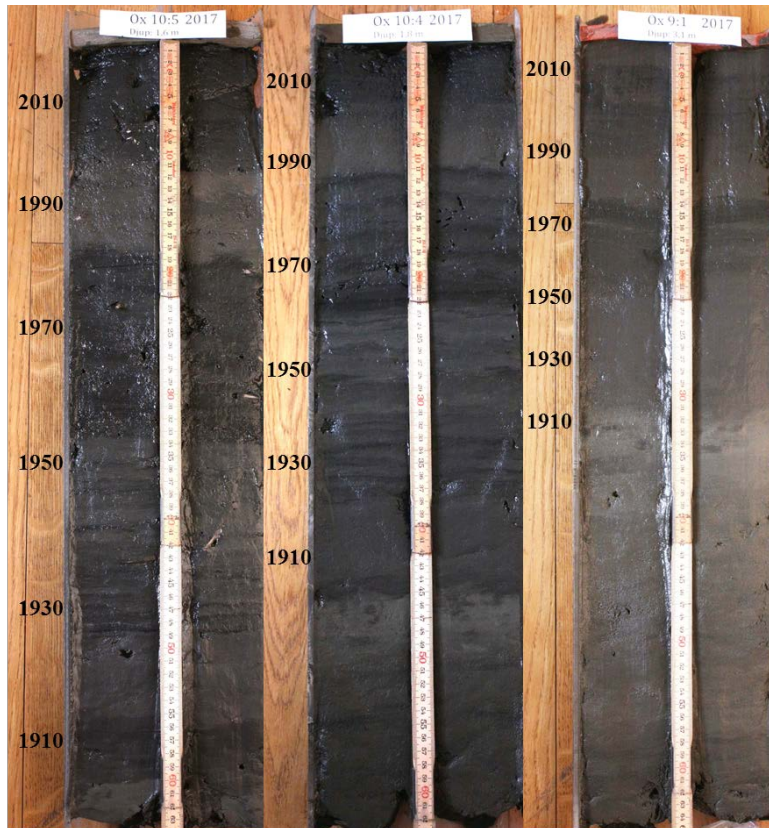
Tabell 3 Årtal med förhöjda halter av kadmium i tre sedimentkärnor från Oxundasjön (Ox 9:1, Ox 10:4 och Ox 10:5), baserat på dateringar av sedimenten med utgångspunkt i att utsläppen blev av betydelse 1903 eller 1928. I kolumnen längst till höger presenteras medelvärdet av de tre kärnorna.

Kadmium		Ox 9:1	Ox 10:4	Ox 10:5	Medel
Startår 1903	Från år	1912	1909	1918	1913
	Till år	1972	1951	1944	1956
Startår 1928	Från år	1935	1933	1938	1935
	Till år	1982	1966	1962	1970

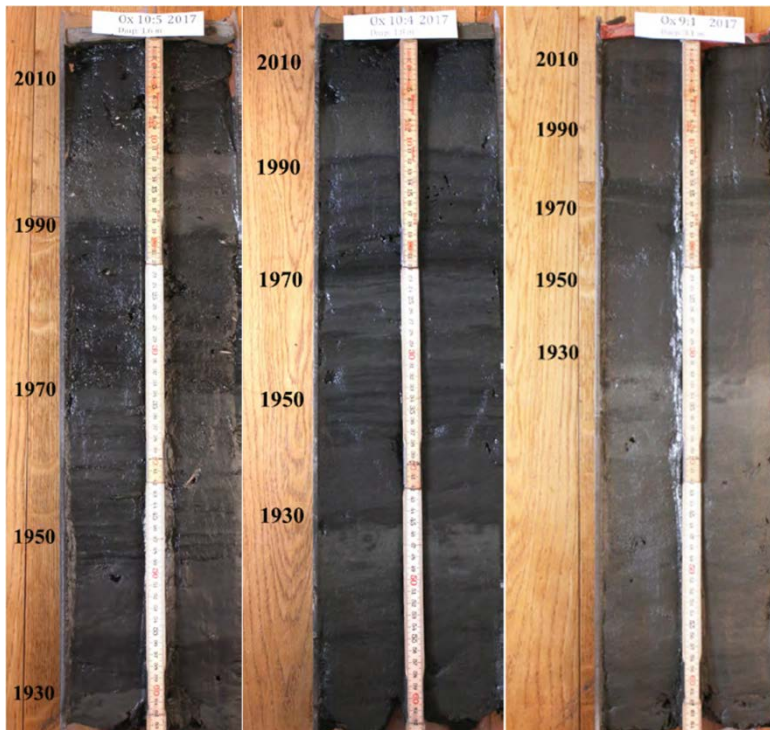
3.1.4 Optiska lednivåer

Nedan presenteras de tre daterade sedimentkärnorna baserat på att tillförseln av spårämnesmetaller startade 1903 (Figur 8) respektive 1928 (Figur 9). Ett antal optiska lednivåer kan identifieras i sedimenten, framför allt i Ox 10:4 och 10:5. Lika tydliga lednivåer återfinns däremot inte i Ox 9:1, vilket troligtvis beror på att den är belägen längre ifrån Väsbyåns mynning jämfört med Ox 10:4 och Ox 10:5 och således representerar ett mer utjämnat sedimentationsmönster. Lednivåerna kan antas spegla perioder när belastningen på Oxundasjön varit stor och syrenivåerna på bottenarna varit ansträngda.

Ett viktigt datum som kan kopplas till förändringen i syreförhållanden i Oxundasjöns botten är runt 1970, då avloppsvatten från Upplands Väsby kopplades på och avleddes till Käppala reningsverk, istället för att som tidigare släppas ut till Väsbyån och vidare till Oxundasjön. Denna avledning till Käppala gav en stor förbättring av förhållandena i den tidigare tungt belastade sjön (Broberg, 1973). Detta ledde sannolikt till bättre syreförhållanden i sedimenten vilket i så fall skulle speglas i ljusare sediment. För profilerna i Figur 8, daterade enligt startår 1903, identifieras året 1970 där sedimenten blir ljusare desto längre upp man kommer i profilen. För den andra dateringen (Figur 9) infaller 1970 då sedimenten precis skiftar från en ljusgrå färg till svart, alltså något motsägelsefullt mot att förhållandena skulle ha förbättrats vid denna tidpunkt.



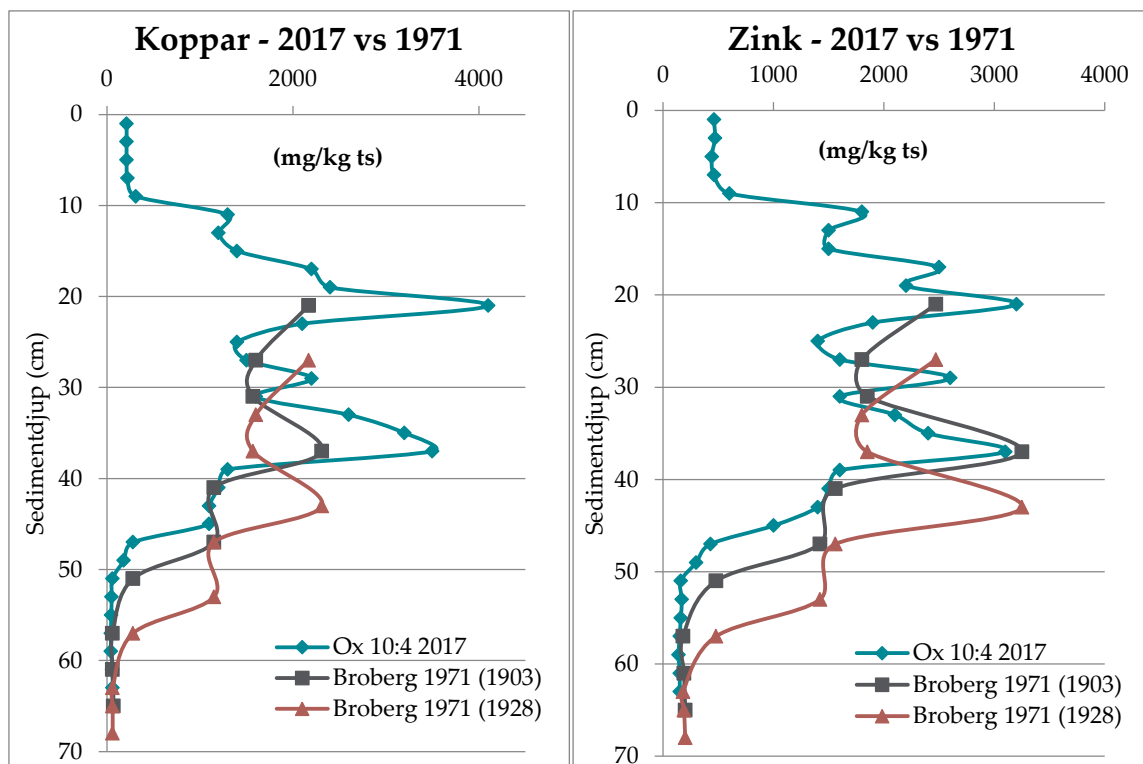
Figur 8 Daterade sedimentkärnor från Oxundasjön, baserade på att metalltillförseln till Oxundasjön blev av betydelse 1903.



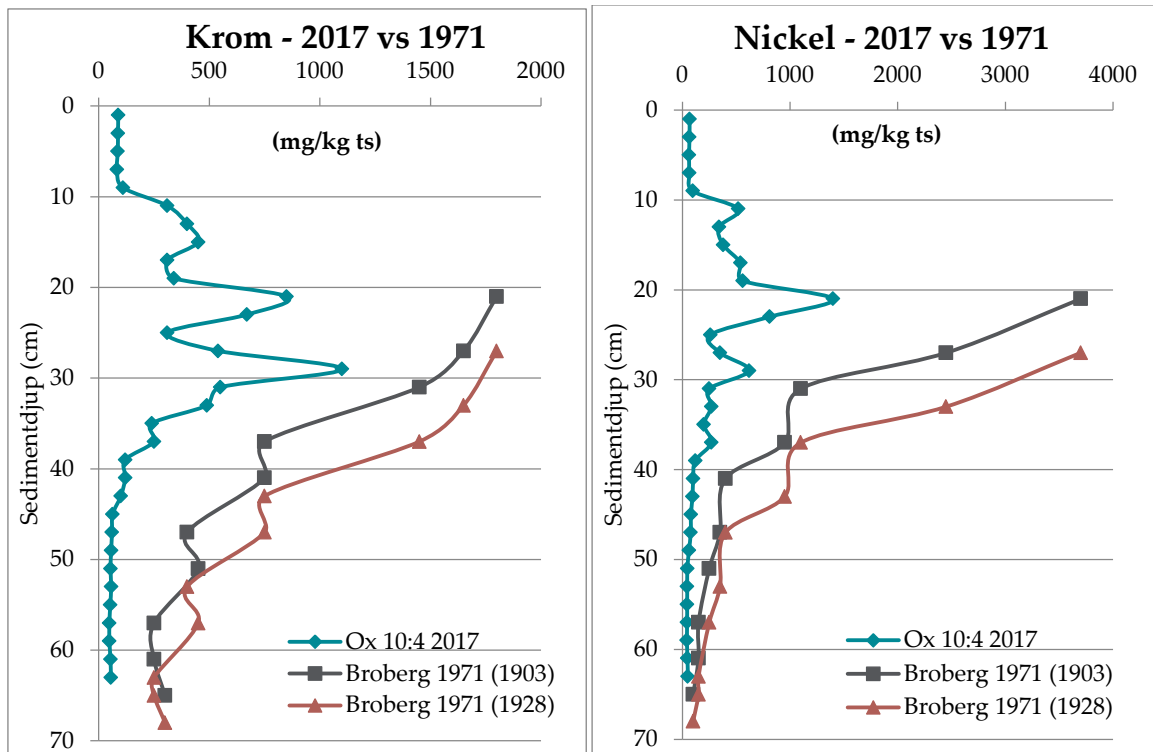
Figur 9 Daterade sedimentkärnor från Oxundasjön, baserade på att metalltillförseln till Oxundasjön blev av betydelse runt 1930 (Jonsson, 2017).

3.1.5 Brobergs metallprofiler från 1971

I Figur 10 och Figur 11 nedan jämfördes uppmätta halter av koppar, zink, krom och nickel vid provtagningen som genomfördes 2017 (blå linje) mot provtagningen som genomfördes 1971 av Broberg (grå och röd linje). Jämförelsen mellan halterna möjliggjordes genom att kärna Ox 10:4 togs på ungefär samma plats som Brobergs kärna nr II (Broberg, 1973). Även Broberg (1973) konstaterade att profilerna för koppar, zink, krom och nickel var karaktäristiska och kunde dra slutsatsen att de förhöjda halterna sannolikt hade sitt ursprung från industrierna längs Väsbyån. De uppmätta profilerna från 1971 matchades mot profilerna 2017 utifrån dateringen som presenterats tidigare i rapporten. Eftersom att toppen av Brobergs kärnor representerar ytsediment vid 1971, kunde profilerna läggas in vid detta årtal i den daterade kärnan från 2017. Olika resultat erhöles således beroende på om Brobergs kärnor matchades mot dateringen med startår 1903 eller mot den med startår 1928. 1971 motsvarar 21 cm sedimentdjup i kärna Ox 10:4 daterad med startår 1903 och 27 cm i samma kärna daterad med startår 1928, därav förskjuts Brobergs profiler med ca 6 cm i jämförelsen i Figur 10 och Figur 11. Nämnvärt är också att inte hela Brobergs profiler visas i graferna, utan endast de översta 30-40 centimetrarna som kunde matchas mot profilerna från 2017. Av graferna nedan framgår att halterna som uppmättes 1971 är ungefär i samma storleksordning som de halter som uppmättes 2017, åtminstone för koppar och zink. För krom och nickel var däremot halterna något högre vid provtagningen 1971, vilket kan indikera att koppar och zink är starkare bundet till sedimentet och inte har utlakats från sedimenten i samma takt som krom och nickel. Samtidigt framgår att de uppmätta haltprofilerna matchar tämligen väl, både för dateringen med startår 1903 och den för 1928. Dateringen med startår 1903 matchar dock något bättre, framför allt gällande haltprofilerna för zink och koppar.



Figur 10 Uppmätta haltprofiler av koppar (vänster) och zink (höger) i södra Oxundasjön 2017 (blå linje) jämfört med uppmätta halter i en kärna tagen 1971 från ungefär samma plats i sjön. Beroende på om startdatum 1903 (grå linje) eller 1928 (röd linje) antas för dateringen, matchar profilerna olika.



Figur 11 Uppmätta haltprofiler av krom (vänster) och nickel (höger) i södra Oxundasjön 2017 (blå linje) jämfört med uppmätta halter i en kärna tagen 1971 från ungefär samma plats i sjön. Beroende på om startdatum 1903 (grå linje) eller 1928 (röd linje) antas för dateringen, matchar profilerna olika.

3.2 Datering av PCB

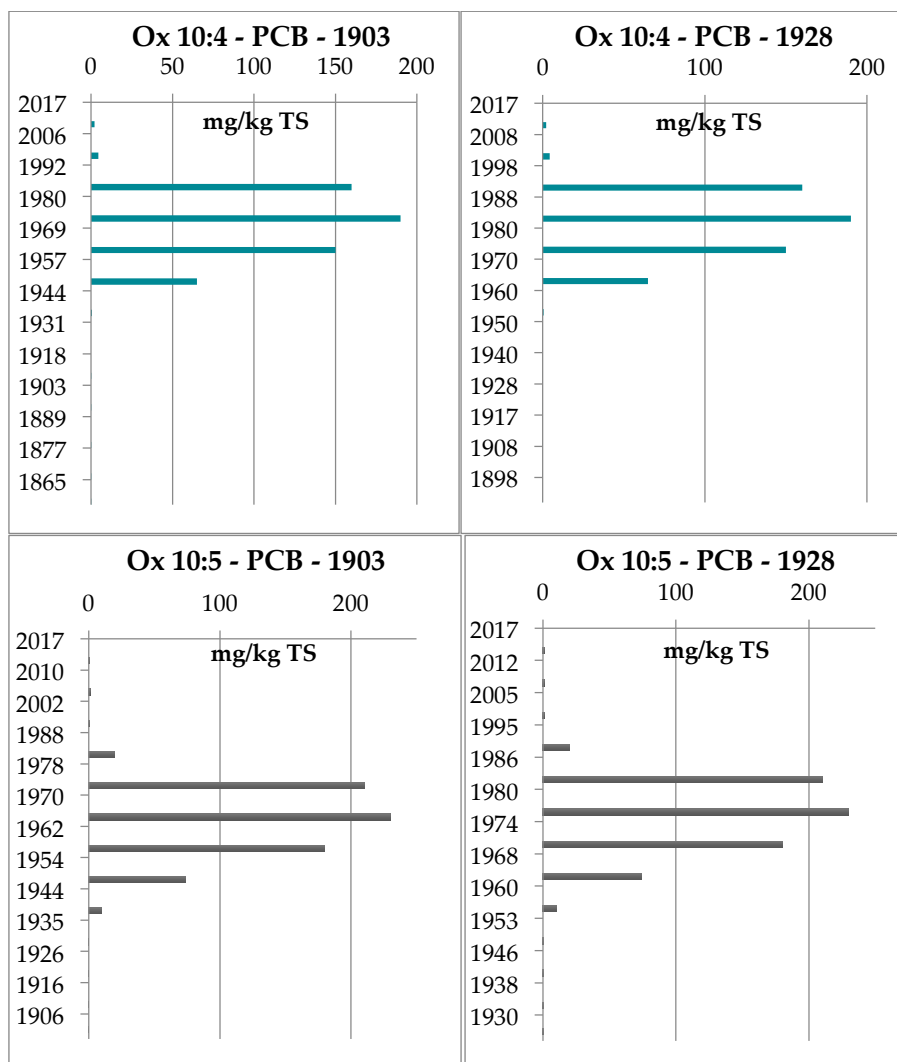
De daterade sedimentkärnorna Ox 9:1, 10:4 och 10:5 kunde jämföras mot uppmätta PCB-halter i samma kärnor och på så sätt erhöles ett årsintervall för de högsta PCB-halterna i respektive kärna (Tabell 4, Figur 12). Kärna 9:1 valdes att inte inkluderas i den sammanvägda bedömningen i Tabell 4, då sedimenttillväxten i denna varit betydligt lägre jämfört med den i 10:4 och 10:5. Detta gör dateringen osäkrare genom att risken för mätfel ökar och att en integration av PCB-innehållet i 5 cm speglar en betydligt längre tidsperiod jämfört med kärnorna från delområde 10.

Baserades dateringen på startår 1903 blev PCB-dateringen i medel för kärna Ox 10:4 och 10:5 1949 till 1978 (Tabell 4). Det bedöms vara sannolikt att PCB började hanteras i industrin någon gång runt 1950, då den storskaliga importen av PCB till Sverige inleddes. Att nedgången sedan sker i slutet av 70-talet sammanfaller även väl med årtalen då användningen av PCB började förbjudas (förbud för öppen användning kom år 1972 och slutet användning förbjöds år 1978). För dateringen med startår 1928 erhålls istället tillförseln för PCB mellan årtalen 1964 och 1987. Den storskaliga användningen av PCB bedöms dock sannolikt ha inletts tidigare än 1964. Förbuden för PCB som inrättades under 70-talet, tillsammans med minskningen av verksamhetens omfattning runt 1982, talar även för att användningen av PCB borde ha avtrappats tidigare än 1987.

Tabell 4 Årtal med förhöjda halter av PCB i tre sedimentkärnor från Oxundasjön (Ox 9:1, Ox 10:4 och Ox 10:5), baserat på dateringar av sedimenten med utgångspunkt i att utsläppen av spårämnesmetaller blev av betydelse 1903 eller 1928. I kolumnen längst till höger presenteras medelvärdet av kärna 10:4 och 10:5.

PCB		Ox 9:1	Ox 10:4	Ox 10:5	Medel*
Startår 1903	Från år	1962	1949	1948	1949
	Till år	1978	1984	1973	1978
Startår 1928	Från år	1974	1964	1963	1964
	Till år	1987	1992	1983	1987

*Medel av kärna Ox 10:4 och 10:5.



Figur 12 Profiler för uppmätta PCB-halter i kärna Ox 10:4 och 10:5, med daterad y-axel. Datering med startår 1903 till vänster och med startår 1928 till höger.

3.3 Osäkerhetsbedömning

Allt som allt anses dateringen av sedimenten kunnat genomföras med nöjaktig säkerhet, men likväl finns en del felkällor i dateringsmetoden. Värt att betona är att dateringen baseras på att metallhalterna i sedimenten började bli påtagligt förhöjda i recipienten 1903 eller 1928, baserat på Väsbyverkens utsläppshistorik gällande de aktuella spårämnesmetallerna. Utsläpp från andra källor som exempelvis Optimusfabriken inkluderades inte i bedömningen, detta då Väsbyverken antogs utgöra den huvudsakliga utsläppskällan för de studerade spårämnesmetallerna. Utifrån antingen startår 1903 eller 1928 antogs sedan att en konstant årlig torrsbstansackumulation skett. Denna sedimentackumulation kunde fastställas utifrån densiteten, som beräknades utifrån uppmätt vattenhalt och glödförlust i varje nivå som analyserades av sedimenten (2 cm-intervall). Sedimentackumulationen varierar dock alltid en del från år till år, främst beroende på klimatologiska mellanårsvariationer. I det långa loppet är dock medelvärdet för ackumulationen i en naturlig sjö eller skärgårdsfjärd förhållandevis konstant (Jonsson, 2017).

Även om stor vikt lagts vid att insamla sedimentproverna från ackumulationsbottnar med kontinuerlig deposition av finmaterial så finns en rumslig variation mellan provtagningspunkterna som bidrar till den ackumulerade osäkerheten i bedömningen. Denna typ av osäkerhet är proportionell med antalet insamlade prover och skulle således kunna minskas om ytterligare kärnor samlades in.

I bedömningen beaktades inte den eventuella fördröjning som kan ha skett från det att utsläppet ägde rum vid källan till PCB-föroreningen tills det nådde fram till Väsbyån och Oxundasjön. Denna fördröjning från källan till sedimenten var svår att uppskatta, även om den sannolikt till största delen var tämligen kortvarig då den främsta kvittblivningsmetoden för spill och läckage i industrin sannolikt var genom direkt avledning i golvbrunnar som mynnade i Väsbyån. Detta har även kunnat bekräftas genom intervjuer av personer som tidigare arbetat vid Väsbyverken (Jansson & Persson, 2017).

I sedimentkärnorna kan bottendjurens omblandande aktivitet, den så kallade bioturbationen, bidra till att sedimentlagren blandas om. I Oxundasjön är det rimligt att anta att bioturbationen var i princip försumbar fram till dess att avledningen av det kommunala avloppsvattnet till Käppalaverket genomfördes runt 1970. Därefter förbättrades syresituationen och bottenlevande djur kunde börja återkolonisera bottenarna. Det är en trolig delförklaring till att variabiliteten i sedimentkärnorna är större när det gäller slutpunkten för PCB-tillförseln jämfört med när tillförseln började då sedimentationsförhållandena sannolikt var mer konstanta.

4 Slutsats

I Tabell 5 jämförs de alternativa startåren för metallutsläppen i förhållande till de olika tidsmarkörer som funnits att tillgå och hur respektive markör talar för eller emot respektive startpunkt.

Tabell 5 Alternativa startpunkter för när tillförseln av metaller börjar i relation till hur olika tidsmarkörer talar för eller emot endera alternativet.

Tidsmarkör	1903	1928
Koppar- och zinkprofiler	0	0
Krom- och nickelprofiler	+	-
Kadmiumprofiler	0	0
Optiska lednivåer	+	-
Brobergs metallprofiler	+	-
PCB-användning	+	-

+ talar för

- talar emot

0 talar varken för eller emot

Baserat på uppmätta halter i sedimentkärnorna, uppgifter om utsläpp till Oxundasjön och de tidsmarkörer som funnits att tillgå, görs bedömningen att det mesta talar för att 1903 är det mest relevanta årtalet att basera sedimentdateringen på. Detta leder till bedömningen att PCB-tillförseln till Oxundasjön mest sannolikt skedde från slutet av 1940-talet fram till omkring år 1980.

5 Referenser

Broberg, A. (1973). *Fördelningen av tungmetaller i Oxundasjön*. Scripta limnologica Upsaliensia, 340(9).

ESSEM tidningen (1946a). *Väsbyverken presenteras*. ESSEM tidningen, AB Svenska Metallverkens personaltidning, 2, 2, pp 6-7.

ESSEM tidningen (1946b). *Branden I Väsby får sin förklaring*. ESSEM tidningen, AB Svenska Metallverkens personaltidning, 2, 3, pp 6-7.

Essem Weda (1970). *Essem Weda och Essem Plast – Miljövård*. Skrivelse daterad 11 april 1970. Upplands Väsby kommunarkiv, AB Väsby Verkstäder Utgående skrivelser och handlingar ang. miljövård 1943-1991.

Hillerdal, E. (1972). *Limnologiska undersökningar i Norrviken, Edssjön och Oxundasjön - Sedimentprovtagningar i Edssjön och Oxundasjön 1972*. Examensarbete, Limnologiska institutionen, Uppsala Universitet.

Hällén, J., Karlsson, M., Hansson, K. (2017). *PCB-undersökningar i Oxundasjön 2016*. IVL Svenska Miljöinstitutet. U5846.

Jansson, K. & Persson, J. (2017). *Kvarteret Messingen, Upplands Väsby – PM Underlag till ansvarsutredning*. Ramböll 2017-04-10.

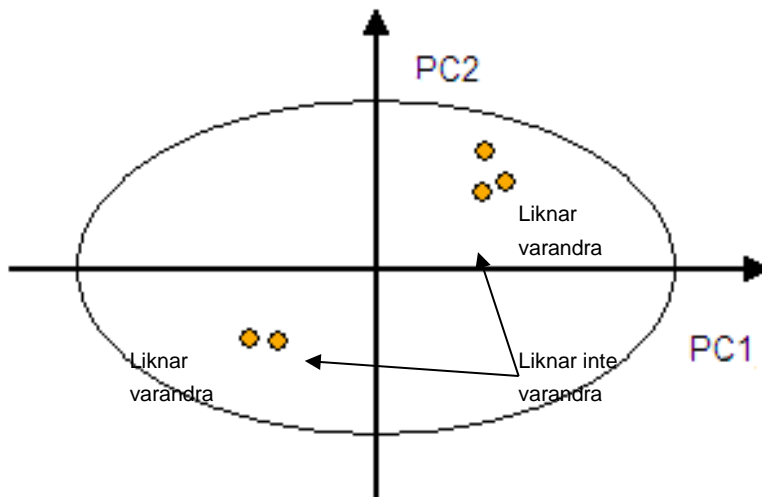
Johnson, M.S. & Eaton, J.W. (1980). *Environmental contamination through residual trace metal dispersal from derelict lead-zinc mine*. J. environ. Qual., 9(2):175-179.

Jonsson, P. (2017). *Sedimentprovtagning och historikbedömning Oxundasjön*. JP Sedimentkonsult. Rapport 2017:2.

Upplands Väsby kommun, genom Backlund, A-C. & Olsson, T. (1989). *Kvarteret Messingen och Väsby Verkstäder*. Skrifter om Väsby.

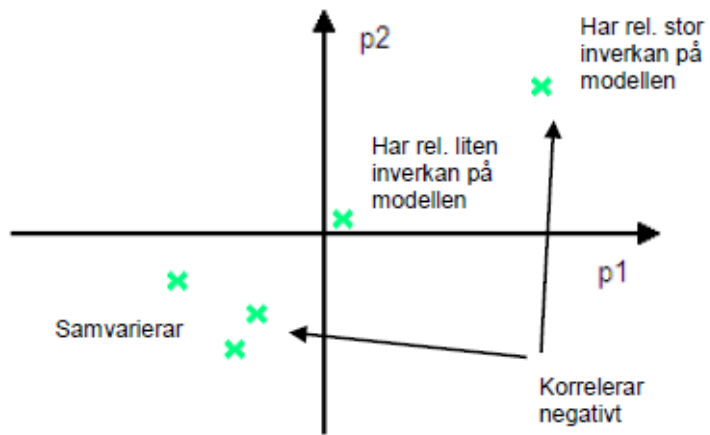
Bilaga 1 – kort om PCA

Det kan vara svårt och tidskrävande att få en bra överblick över, och relevant information om, stora dataset. En stor del av informationen handlar ofta om samvariation mellan de olika parametrarna av intresse. Ett sätt att angripa detta problem är att använda sig av multivariat modellering i form av PCA (principalkomponentanalys). I många sammanhang analyseras ett stort antal variabler som i stor utsträckning samvarierar. PCA är ett sätt att reducera dimensionen i datasetet och därmed enklare kunna se mönster i datapunkter och samband mellan olika variabler. Två av plottarna som kan användas för att extrahera information om variablerna och proverna i datasetet är scoreplottar och loadingsplottar. I **scoreplotten** kan man studera relationen mellan proverna, hitta grupper av samvarierande prover och/eller avvikande prover. Prover som ligger nära varandra i scoreplotten liknar varandra medan prover som ligger långt från varandra har mindre gemensamma, ibland motsatta, egenskaper, se Figur 13.



Figur 13 Exempel på en scoreplot där de tre proverna som grupperar sig uppe till höger i plotten har liknande egenskaper och där de två proverna som finns i nedre vänstra hörnet också liknar varandra. Dessa två grupper av prover har motsatta egenskaper.

Loadingplotten visar istället relationen mellan variablerna i datasetet. Variabler som ligger nära varandra tenderar att samvariera i datasetet. Loadingplotten beskriver också variablernas inverkan på de principalkomponenter som man studerar, ju längre ut på axlarna en variabel befinner sig desto större inverkan har den variabeln på modellen. Ett exempel på loadingplot visas i Figur 14.



Figur 14 Exempel på en loadingplot. De tre variablerna i nedre vänstra hörnet samvarierar i datasetet, variabeln nära origo har liten påverkan på modellen och variabeln uppe i högra hörnet korrelerar negativt med de tre variablerna i nedre vänstra hörnet och relativt stor inverkan på modellen.

