



Sedimentundersökning i Hjälmaren

Resultat från provtagning i maj 2015



Länsstyrelsen
Örebro län

Länsstyrelsen – en samlande kraft

Sverige är indelat i 21 län och varje län har en länsstyrelse och en landshövding. Länsstyrelsen är regeringens ombud i länet och ska både förverkliga den nationella politiken och samtidigt ta hänsyn till regionala förhållanden och förutsättningar. Länsstyrelsen är alltså en viktig länk mellan länets kommuner och dess invånare å ena sidan och regeringen, riksdagen och de centrala myndigheterna å den andra sidan.

Titel: Sedimentundersökning i Hjälmarén – Resultat från provtagning maj 2015

Utgivare: Länsstyrelsen i Örebro län

Författare: Mikael Malmaeus & Emil Rydin

Kontaktperson: Ernst Witter, Länsstyrelsen Örebro län

Publikationsnummer: 2017:24

Bilder: IVL om inte annat anges; omslagsida: Mostphotos

Förord

Övergödning är ett känt miljöproblem i Hjälmaren och fosforhalterna måste minska drastiskt för att vattnet ska kunna uppnå miljökvalitetsnormen. Denna rapport redovisar resultatet av sedimentundersökningen som genomfördes under våren 2015 av IVL Svenska Miljöinstitut i samarbete med Naturvatten i Roslagen AB på uppdrag av Länsstyrelsen.

Undersökningen syftar till att kartlägga läckagebenägen fosfor i Hjälmaren och få mer kunskap om den interna belastningen från sjöns bottensediment. Resultaten ska fungera som stöd vid bedömning av framtida undersökningar och val av passande åtgärder inom projektet LIFE IP Rich Waters.

LIFE IP Rich Waters är en del av EU-kommissionens miljöprogram och syftar till att effektivisera åtgärdsarbetet för Norra Östersjöns vattendistrikt.

Örebro, augusti 2017



Peder Eriksson

Chef för Vatten och naturmiljöenheten

Rapporten är framtagen i samarbete med IVL Svenska Miljöinstitutet och Naturvatten i Roslagen AB.

Innehåll	
Förord	1
Sammanfattning	5
Bakgrund	6
Metod	7
Resultat.....	8
Vattenhalt och glödförlust.....	8
Sedimentens fosforinnehåll	9
Datering	11
Kompletterande vattenprovtagning.....	12
Diskussion	15
Slutsatser	17
Referenser	18
Bilaga 1 – Provtagningsstationernas djup, läge och fosforinnehåll ..	19
Bilaga 2 – Analysdata sediment.....	21
Bilaga 3 – Cesiumaktivitet.....	30

Sammanfattning

Hjälmaran anses vara påverkad av övergödning och det är osäkert om det är möjligt att åstadkomma tillräckliga minskningar av fosforhalten enbart genom åtgärder i avrinningsområdet. En tidigare genomförd modelleringsstudie indikerade att åtgärder för att binda fosfor i sediment i Storhjälmaren skulle kunna vara ett sätt att åstadkomma minskade halter i de centrala och östliga delarna av sjön. För att komplettera modelleringsstudien och ytterligare undersöka detta alternativ har en mer ingående undersökning av sedimentens beskaffenhet och fosforförråd genomförts under våren 2015.

Ett 50-tal sedimentkärnor analyserades med avseende på läckagebenägen fosfor. Materialet omfattar hela Hjälmarens bottenyta men flest prover har tagits ut i Storhjälmaren inklusive Södra Hjälmaran.

Mätningarna visar att Hemfjärden i princip inte innehåller någon rörlig fosfor, medan en mindre mängd, 10 ton, finns lagrad i Mellanfjärdens grunda bottnar. Storhjälmaren däremot beräknas innehålla nästan 3000 ton rörlig fosfor som med tiden kommer att diffundera ut till vattenmassan. Ytterligare 1000 ton finns i Södra Hjälmarens bottnar och 330 ton i Östra Hjälmaran. Den läckagebenägna fosfor består i Hjälmaran till lika delar av organiskt bunden fosfor och järnbunden fosfor.

De högsta mängderna av läckagebenägen fosfor per ytenhet återfinns i Storhjälmarens bottnar, medan något lägre mängder per ytenhet uppmättes i Södra och Östra Hjälmaran. En viss variation inom bassängerna går också att skönja även om inga tydliga mönster går att utläsa. Det går inte att se något tydligt förhållande mellan mängden läckagebenägen fosfor och vattendjup. Uppmätta fosformängder i sedimenten, som jämfört med andra undersökta sjöar och kustområden är förhållandevis stor, indikerar att det inte råder sammanhängande perioder med syrefria förhållanden i sedimentytan.

Överslagsberäkningar av begravningsflöde och läckage till vattenmassan indikerar samma storleksordningar som tidigare erhållits i modellsimuleringarna. Sammantaget stärker undersökningen den tidigare slutsatsen från modelleringsstudien att åtgärder för att binda fosfor i sediment skulle kunna vara verkningsfullt, i synnerhet i Storhjälmaren inklusive Södra Hjälmaran samt i Östra Hjälmaran.

I denna rapport redovisas även några kompletterande mätningar av fosforhalten i Hjälmarens vatten under maj-juli 2015 som genomförts i Hjälmarens vattenvårdsförbunds regi. Resultaten från dessa mätningar ligger inom intervallen för tidigare mätningar och modellresultat.

Bakgrund

Hjälmaren anses vara påverkad av övergödning och samtliga bassänger i Hjälmaren bedöms ha otillfredsställande ekologisk status, främst pga. näringsämnespåverkan på både växtplankton och bottenfauna. För att kunna uppnå miljö kvalitetsnormen för Hjälmaren måste fosforhalten i Hjälmarens ytvatten minska från nuvarande ca 50 µg/l till 22 µg/l, vilket i princip innebär att fosforbelastningen måste minska i motsvarande grad, dvs. med ca 50–60 %. Fosforhalterna i ytvattnet visar en tydlig nedåtgående trend i Hemfjärden sedan 1970-talet, medan ingen motsvarande trend syns i Storhjälmaren och Östra Hjälmaren under samma period. Det är osäkert om det är möjligt att åstadkomma tillräckliga minskningar av fosforhalten i dessa bassänger enbart genom åtgärder i avrinningsområdet eller om det även är nödvändigt att genomföra åtgärder för att minska den interna belastningen från sjöns bottensediment om miljö kvalitetsnormen ska kunna uppnås.

Under 2014 genomförde IVL Svenska Miljöinstitutet en modellstudie av fosfordynamiken i Hjälmaren (Malmaeus & Karlsson, 2015). Studien visade att den interna belastningen är avgörande för näringsnivån i sjön, och att halterna av fosfor i framför allt Storhjälmaren och Östra Hjälmaren i hög grad styrs av sedimenten. Simuleringarna med modellen indikerade att minskad extern belastning skulle ha en god effekt på fosforhalterna i Hemfjärden och Mellanfjärden medan fosforhalten i Hjälmarens centrala och östra delbassänger inte skulle minska i någon märkbar utsträckning. Detta stämmer också med den historiska erfarenheten, då tidigare åtgärder i reningsverken runt sjön under 1970-talet gav goda resultat i Hemfjärden medan fosforhalterna i Storhjälmaren förblivit tämligen oförändrade. Omvänt skulle åtgärder för att binda fosfor i sediment i Storhjälmaren enligt simuleringarna kunna vara ett sätt att åstadkomma minskade halter i de centrala och östliga delarna av sjön. En mer ingående undersökning av sedimentens beskaffenhet och fosforförråd rekommenderades emellertid innan denna typ av åtgärder på allvar kan övervägas.

Under våren 2015 genomfördes en detaljerad undersökning av fosforförrådet i sedimenten i hela Hjälmaren med särskilt fokus på Storhjälmaren och Östra Hjälmaren. Undersökningen genomfördes av Naturvatten i Roslagen som underkonsult till IVL Svenska Miljöinstitutet. I föreliggande rapport redovisas dessa undersökningar och resultaten sätts i relation till slutsatserna i den föregående modelleringsstudien.

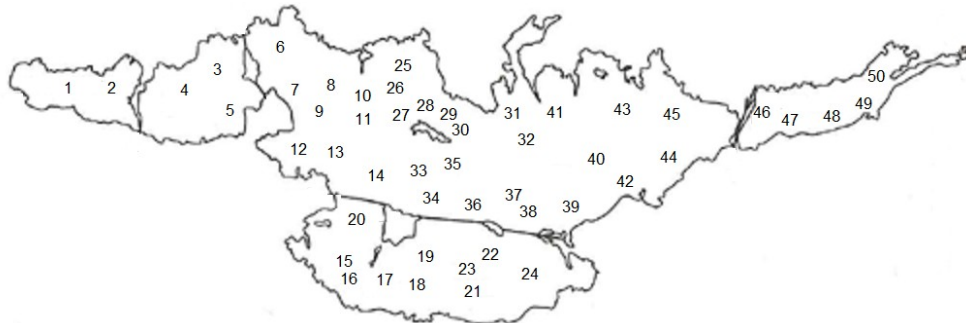
Vi redovisar också några kompletterande mätningar av fosforhalten i Hjälmarens vatten under maj-juli 2015 som genomförts i Hjälmarens vattenvårdsförbundsregi.

Metod

Det största förrådet av växttillgänglig fosfor i en sjö finns oftast bundet i botten sedimenten i bassängens djupare delar där det finpartikulära materialet avsätts. Mineralisering av nysedimenterat organiskt material (växtplankton) utgör den primära källan av löst fosfat i sediment. Läckaget av den mineraliserade fosfaten styrs ofta i sin tur av syresituationen i sedimentytan. När syretillgången minskar reduceras järnoxider och en puls av fosfat når bottenvattnet genom diffusion. Detta sker ofta under sommartid.

Sedimentfosfor som har potential att frigöras från sediment kan även benämnas läckagebenägen, rörlig eller mobil fosfor.

Provtagningen utfördes under vecka 22 (2015) av Ulf Lindqvist och Thomas Jansson (Naturvatten i Roslagen AB). Vid provtagningen togs 50 sedimentproppar jämt fördelade över Hjälmarens bassänger. Provpunkterna valdes ut för att representera transport och ackumulationsbottarna i de olika delbassängerna (**Fig. 1**). Provtagningspunkterna dokumenterades med GPS-koordinater (RT90) och punkternas lägen samt djup beskrivs i **Bilaga 1**.



Figur 1. Läge för provtagningsstationer nr1-nr50. Se Bilaga 1 för koordinater.

Proverna togs med en rörprovtagare (Willnerhämtare) med plexiglasrör. Röret hade en längd av 50 cm och en diameter på 63 mm. Sedimentkärnorna skiktades i samband med provtagningen i centimetertjocka skikt. Skikten 0-1, 1-2, 3-4, 6-7, 9-10, 14-15, 24-25 samt 34-35 cm analyserades med avseende på vattenhalt, glödningsförlust och sedimentens totalfosforhalt samt fosforfraktioner. I 3 stationer (11, 44 & 45) var botten så pass hård att det inte gick att få upp sediment ner till 35 cm.

Analyserna utfördes av Erkenlaboratoriet som är ackrediterade för de analyser som gjordes (vattenhalt genom frystorkning, glödningsförlust, fosforfraktioner och totalfosforhalt i sediment).

Fosforfraktioneringen följer i princip Psenner et al. (1988) som ger sex operationellt definierade former genom sekventiell extraktion: $\text{NH}_4\text{Cl-rP}$ (löst bunden fosfor), BD-rP (järnbunden fosfor), NaOH-rP (aluminiumbunden fosfor), NaOH-nrP (organiskt bunden fosfor), HCl-rP (kalciumbunden fosfor) och Res-P (residualfosfor, huvudsakligen svårnedbrytbara organiska fosforformer). Res-P beräknas genom att subtrahera extraherad och identifierad fosfor från sedimentets totala fosforinnehåll (TP).

Kärnor från 4 stationer (4, 23, 37 & 40) skiktades i 2 cm skikt ner till 36 cm varvid sedimenten frystorkades och förpackades i scintburkar. Aktiviteten (gammastrålning) av ^{137}Cs -sönderfall detekterades på en gammaraäknare (avd. för limnologi, EBC, Uppsala Universitet).

Den läckagebenägna fosfor kvantifierades genom att totalfosforkoncentrationen i de djupare sedimentskikten som representerar den så kallade "begravningskoncentrationen" (oftast medel av halterna i 24-25 och 34-35 cm lagret) subtraherades från de högre halterna i ytligare sedimentlager i varje enskild kärna. Resultaten redovisas i Bilaga 1. Totalfosforhalten i de skikt som inte analyserades interpolerades linjärt. Läckagebenägen fosfor i varje sedimentskikt räknades om till mängd per m^2 och summerades.

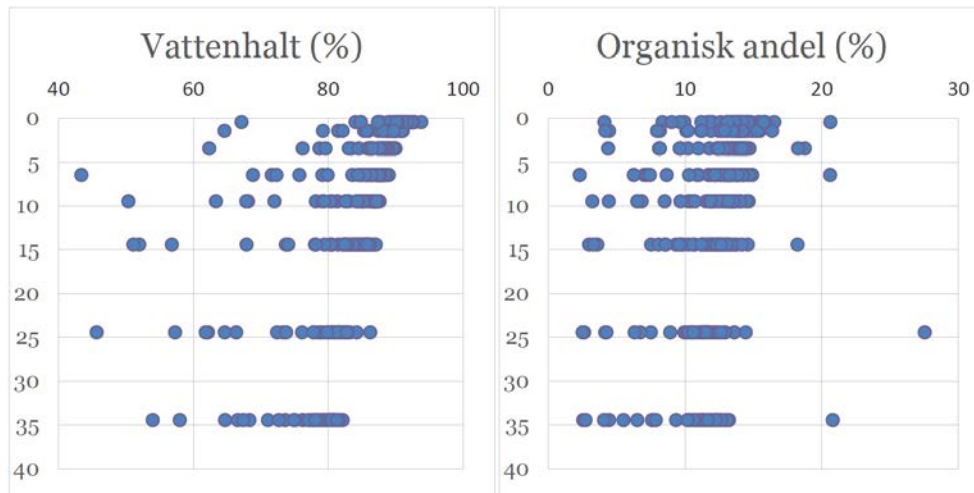
Skillnaden anses utgöra summan av den fosfor som kommer att frigöras med tiden (Rydin et al., 2011) och kallas läckagebenägen fosfor. Den läckagebenägna fosfor består framförallt av organiska former tillsammans med järnbunden fosfor (Bilaga 2). På motsvarande sätt kvantifierades de fosforfraktioner som bryts ner i sedimenten

Medelvärdet av den läckagebenägna fosfor för delbassängerna multiplicerades med ackumulations- och transportbottenarean enligt Håkanson (1981).

Resultat

Vattenhalt och glödförlust

Samtliga sedimentkemiska analysresultat återfinns i **Bilaga 2**. I den översta centimetern sediment låg vattenhalten i genomsnitt på 90 %. Den klingade av med ökat sedimentdjup till i genomsnitt 77 % 35 cm ner i sedimentprofilen (**Fig. 2**). Glödningsförlusten (organisk andel av torrsustanshalten) klingade också av med ökat sedimentdjup från i genomsnitt 14 % i sedimentytan till 11 % på 35 cm djup. Vattenhalten minskar på grund av att sedimenten kompakteras med tiden och minskningen av andelen organiskt material kan förklaras av bakteriell nedbrytning.

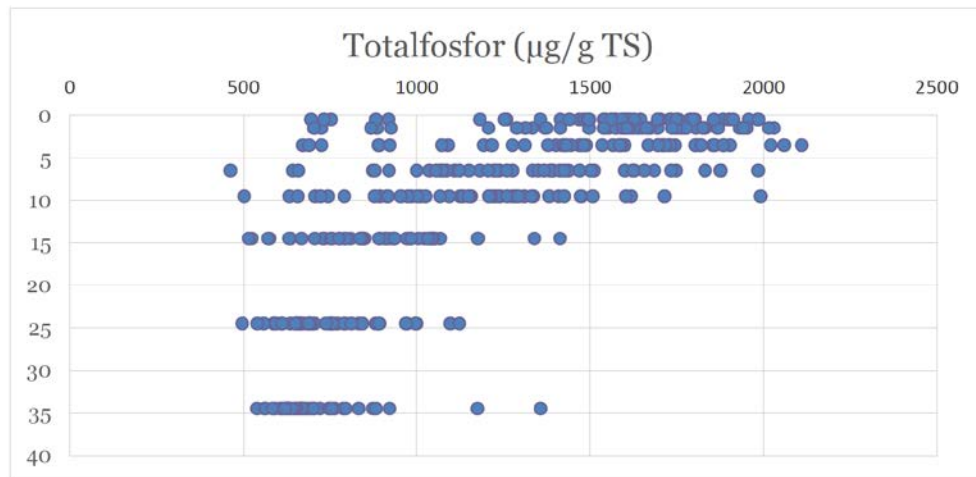


Figur 2. Vattenhalt och organisk andel vid olika sedimentdjup i Hjälmarens sediment.

Sammantaget visar den kontinuerliga avklingningen av vattenhalt och organisk andel att de flesta kärnorna representerar bottenområden där finpartikulärt material avsätts. Vattenhalt och organisk andel i ytsediment kan även användas för att klassificera bottenar som erosions-, transport eller ackumulationsbottenar (Håkanson & Jansson, 1983). Fint material deponeras på ackumulations- och transportbottenar och men eroderas från erosionsbottenar. Från transportbottenar sker regelbunden omlagring av sedimenten (resuspension). Enligt denna klassificering utgör merparten av de undersökta sedimenten ackumulationsbottenar, med undantag för proverna i Hemfjärden (2 st), och enstaka stationer i Storhjälmaren. I tidigare sedimentundersökningar (Håkanson, 1981) har sedimenten på flera av stationerna klassificerats som transportbottenar, se även Malmaeus & Karlsson (2015).

Sedimentens fosforinnehåll

Totalfosforhalten klingar snabbt av från i medeltal 1530 $\mu\text{g/g}$ torrsustans (TS) i 0-1 cm skiktet till 890 $\mu\text{g/g}$ TS i skiktet 14-15 cm i sedimentkärnan. Minskningen i fosforkoncentration fortsätter och i medel håller 34-35 cm lagret 703 $\mu\text{g/g}$ TS (Fig. 3).



Figur 3. Totalfosforhalt vid olika sedimentdjup i Hjälmarens sediment.

Löst bunden fosfor fanns bara i mätbara koncentrationer i de översta sedimentlagren, vilket tyder på en god fosforbindande förmåga vid fullt syresatta förhållanden. Den fosforbindande förmågan vid god syretillgång syns också i de höga halterna järnbunden fosfor i den översta decimetern sediment eftersom denna fraktion inte är stabil vid reducerade förhållanden. Koncentrationen aluminiumbunden och kalciumbunden fosfor avspeglar lerslättsediment och anses inte bidra till frigörelse av fosfat i sedimentprofilen. Det gör däremot den organiskt bundna fosfor som återfinns i två olika fraktioner "Org- P" och "Res-P". Den läckagebenägna andelen av dessa två fraktioner summeras som "Organisk P" i **Tabell 1**. I Bilaga 1 redovisas mängden läckagebenägen fosfor för varje station. Generellt är den läckagebenägna mängden fosfor per ytenhet störst i Storhjälmarens sediment, något lägre i Södra och Östra Hjälmaren och betydligt lägre i Mellanfjärden. I Hemfjärden återfanns ingen läckagebenägen fosfor. Den dominerande formen av läckagebenägen fosfor var järnbunden. Den fosforföreningen kan snabbt lösas upp om syrebrist råder. Mängden läckagebenägen fosfor i sedimenten uppvisade inte något tydligt samband med vattendjupet. Något högre halter jämfört med genomsnittet kan skönjas i de centrala delarna av Storhjälmaren (Station 34-38, se Bilaga 1).

Tabell 1. Läckagebenägen fosfor: total mängd (TP), samt uppdelad i järnbunden (Fe-P) och organiskt bunden (Organisk-P), läckagebenägen fosfor (g/m²) i de sedimentkärnor som undersökts i Hjälmarén 2015.

Bassäng	Station	Läckagebenägen fosfor		
		TP g/m ²	Fe-P g/m ²	Organisk-P g/m ²
Hemfjärden	1-2	-	-	-
Mellanfjärden	3-5	6	1	5
Storhjälmaren	6-14; 25-45	12	6	6
Södra Hjälmarén	15-24	11	5	5
Östra Hjälmarén	46-50	9	5	4

Eftersom inga tydliga mönster i koncentration av läckagebenägen fosfor kan urskiljas utöver variationen mellan bassängerna har vi i **Tabell 2** antagit att den genomsnittliga mängden läckagebenägen fosfor i varje bassäng är representativ för hela arealen ackumulations- och transportbottnar enligt Håkansons (1981) kartering.

Tabell 2. Sammanställning av fjärdarea (km²) och andel ackumulations- (A) och transportbottnar (T) (Håkanson, 1981), läckagebenägen fosfor (g/m²) och total mängd läckagebenägen fosfor (ton) i de olika bassängerna i Hjälmarén.

Bassäng	Yta	A & T botten	Läckagebenägen P	
	km ²	%	g/m ²	ton
Hemfjärden	25	0	-	-
Mellanfjärden	40	4	6	10
Storhjälmaren	277	86	12	2930
Södra Hjälmarén	99	90	11	997
Östra Hjälmarén	36	98	9	330

Datering

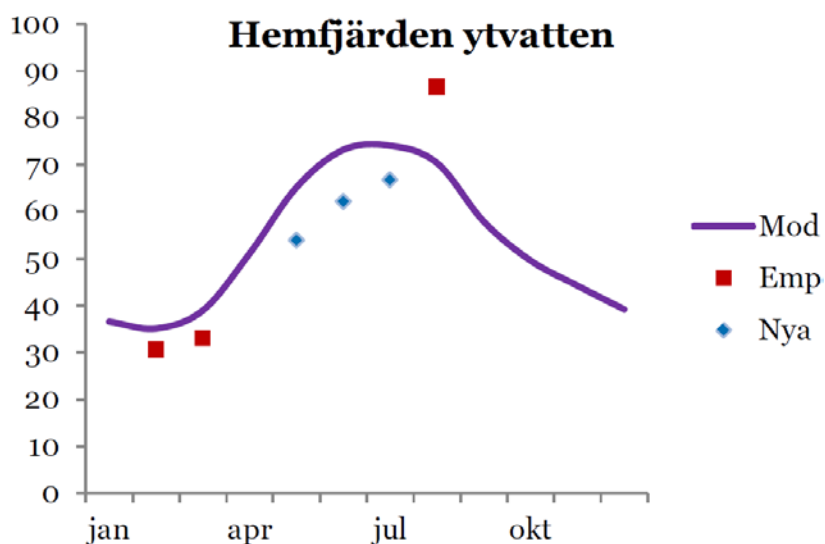
Analys av ¹³⁷Cs-aktivitet mättes i fyra kärnor (Stationerna 4, 23, 37 och 40). Resultaten visas i **Bilaga 3**. Dessvärre är det mycket svårt att med de resultat som erhållits dra några slutsatser om sedimenttillväxten i sjön.

Cesiumaktiviteten var förhållandevis låg (3-4 cps/g TS), och bottenarna är sannolikt bioturberade att döma av de otydliga profilerna. Hjälmarén ligger på gränsen av det område som drabbades av nedfall efter Tjernobyl 1986. En antydning till ökning kan skönjas runt 18-20 cm sedimentdjup, vilket i så fall skulle indikera en sedimenttillväxt på drygt 0,5 cm/år. Tidigare uppskattningar av Håkanson (1981) anger en sedimenttillväxt på mellan 3 och 5 mm/år på Hjälmarens ackumulationsbottnar.

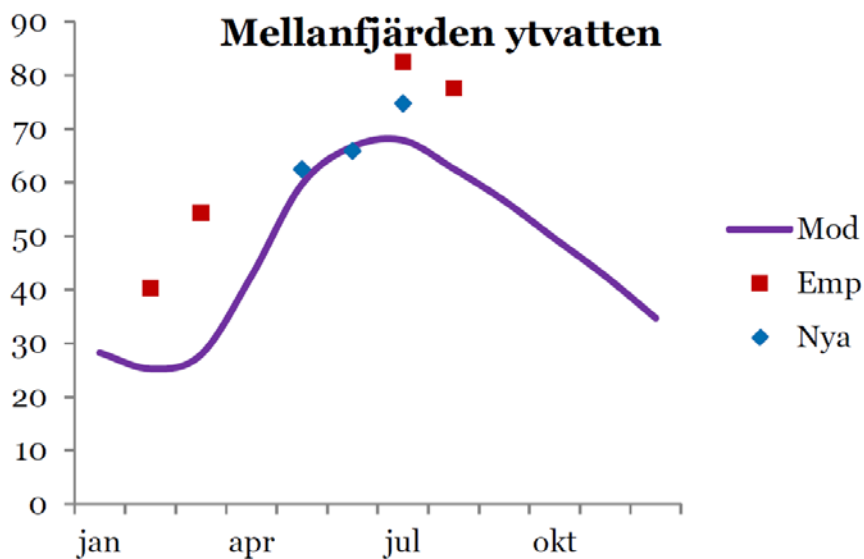
Kompletterande vattenprovtagning

I **Figur 4 a-f** har vi lagt in data från vattenprovtagningen i maj, juni och juli som genomförts under 2015 i de diagram som redovisades av Malmaeus & Karlsson (2015) där de modellerade resultaten jämförs med empiriska data från 2004–2013. Det kan konstateras att de nya mätningarna ligger i närheten av tidigare mätningar och modellresultat.

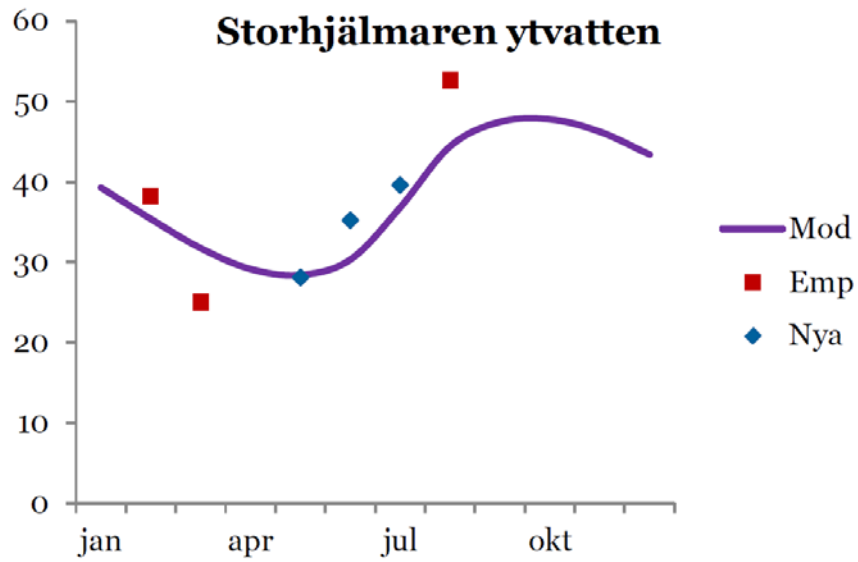
a)



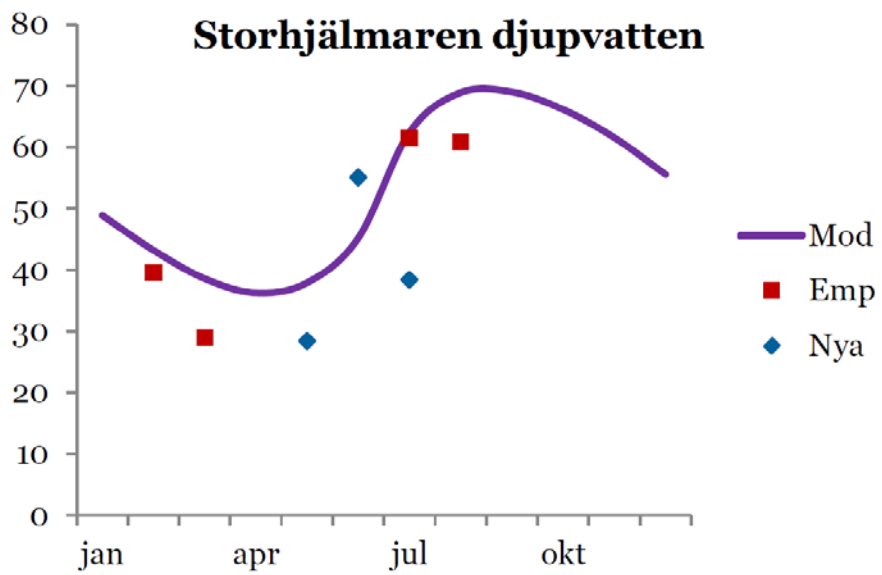
b)



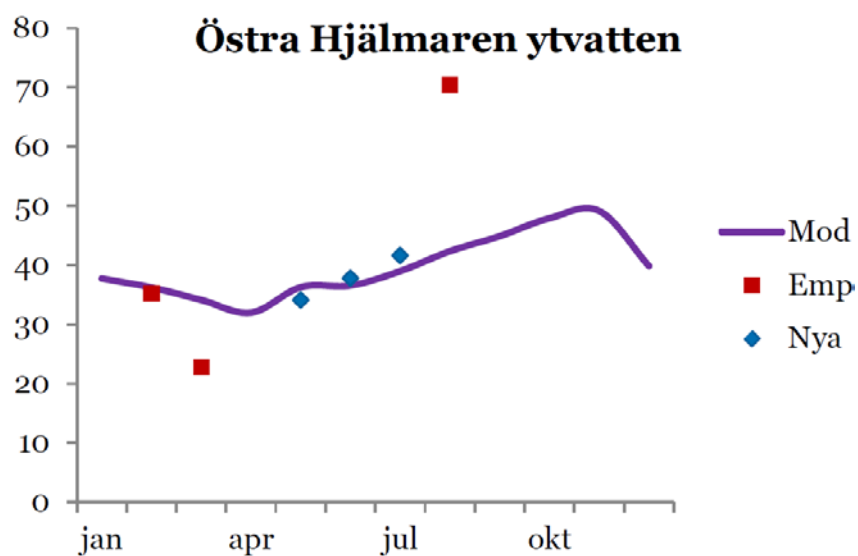
c)



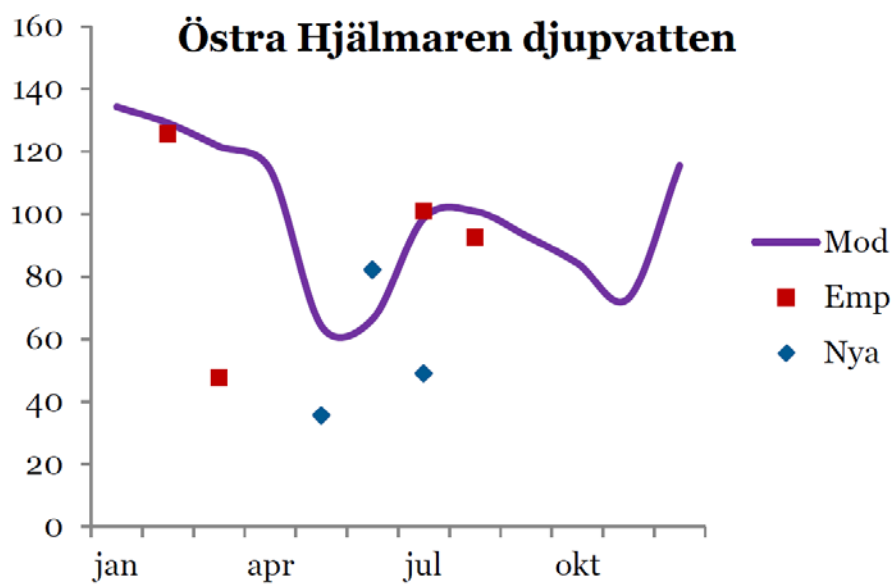
d)



e)



f)



Figur 4. Modellerad fosforhalt ($\mu\text{g/l}$) jämfört med empirisk uppmätt halt (medelvärden 2004–2013) och nya mätningar (2015) av totalfosfor i a) Hemfjärden, b) Mellanfjärden, c) Storbjörnsfjärden (ytvatten), d) Storbjörnsfjärden (djupvatten), e) Östra Hjälmaren (ytvatten) samt f) Östra Hjälmaren (djupvatten).

Diskussion

Den undersökning av sedimentens fosforinnehåll i Hjälmaren som här redovisas är den mest omfattande som genomförts. Håkanson (1978) redovisar värden av totalfosfor i ytsediment i ett 30-tal provpunkter, medan vi redovisar hela sedimentkärnor uppdelat på olika fosforfraktioner i totalt 50 kärnor. Såsom framgår av figurer och bilagor så finns en måttlig variation i materialet, men på det hela taget anser vi att det är en tämligen enhetlig bild som framträder och vår bedömning är att denna studie ger en god bild av den befintliga mängden läckagebenägen fosfor i Hjälmarens sediment.

I Hjälmaren ser det inte ut att vara något tydligt samband mellan djup och läckagebenägen fosfor som observerats i djupare sjöar, t ex i Bornsjön (Arvidsson & Rydin, 2011). Generellt sett är halterna av läckagebenägen fosfor höga i Hjälmaren jämfört med andra sjöar, ofta över 10 g/m². Exempelvis sjön Erken i Uppland som är välstuderad i detta avseende håller i genomsnitt ca 5 g/m² (Rydin, 2000).

Genomsnittliga halter i Östersjöns skärgårdsområden har i olika studier uppskattats till 2,5 g/m² (Malmaeus et al., 2012) och 3,5 g/m² (Puttonen et al., 2014). Att fosformängderna är förhållandevis höga i ytliga sedimentlager tyder på att det inte förekommer sammanhängande perioder med syrgasbrist som leder till reducerande förhållanden då järnbunden fosfor löses ut.

Denna studie ger också möjlighet till jämförelser mot den fosformodell som användes av Malmaeus & Karlsson (2015) och som beskriver Hjälmarens fosfordynamik. Den genomsnittliga begravningskoncentrationen av fosfor (ca 700 µg/g TS) och en sedimenttillväxt på 3-6 mm per år¹ tyder på att mellan 48 och 170 ton fosfor begravs varje år i Hjälmarens sediment, varav 48-96 ton på ackumulationsbottnar och 36-96 ton på transportbottnar. Vi kan dock anta att sedimenttillväxten är mindre på transportbottnar vilket talar för ett lägre begravningsflöde på dessa bottnar. En sammanlagd begraving på omkring 100 ton/år i hela sjön är därmed en rimlig storleksordning. Detta kan jämföras med ett begravningsflöde på 86 ton enligt modellsimuleringarna.

Våra undersökningar visar att totalt omkring 4 300 ton läckagebenägen fosfor finns tillgänglig i Hjälmarens sediment. I princip all denna fosfor ligger i de 10 översta centimetrarna som har en ålder på 20-30 år givet uppskattad sedimenttillväxt. Om systemet är i balans (dvs. om lika mycket läckagebenägen fosfor tillförs som bortförs till detta skikt) borde därmed omkring 140-210 ton fosfor läcka ut till vattenmassan varje år, varav 100-150 ton i Storhjälmaren. Enligt modellsimuleringarna läcker 264 ton ut varje år, varav 255 ton i Storhjälmaren, vilket skulle betyda att den befintliga mängden läckagebenägen

¹ Håkanson (1981) anger 3-5 mm och ¹³⁷Cs-datering antyder ”drygt 0,5 cm”.

fosfor skulle omsättas på ca 11 år, alltså betydligt snabbare än om systemet är i balans. Det finns givetvis osäkerheter i både mätningar och modell varför denna skillnad i sig inte är anmärkningsvärd. Det är dock fullt möjligt att en del av skillnaden förklaras av att systemet inte är i balans och att det pågår ett utläckage från sedimenten som är större än inlagringen, något som också antydde i modellsimuleringarna och som ytterligare talar för att åtgärder för att binda den läckagebenägna fosfor skulle ge positiva resultat avseende näringshalterna i vattenmassan.

Ansättandet av en bakgrundskoncentration av fosfor (medelvärde av halterna i 24-25 och 34-35 cm skiktet) betyder ett antagande att de högre halterna i ytligare sedimentlager förväntas minska, genom att fosfat diffunderar mot sedimentytan, och nå den bakgrundskoncentrationen efter ett par decennier (Carey & Rydin, 2011). I sjöar där depositionen av material på djupare botten har genomgått en förändring kan detta påverka begravningskoncentrationen, vilket gör att den under- eller överskattas. Sänkningen av Hjälmarén under slutet av 1800-talet innebar en exponering av nya bottenområden för erosion (Malmaeus & Karlsson, 2015) och följaktligen en ökad deposition av det eroderade materialet. Skulle erosionen av dessa leror minska med tiden och lerinslaget därmed vara lägre i de övre skick där vi lokaliserar läckagebenägen fosfor finns en risk för att bakgrundskoncentrationen underskattas eftersom lera har en låg fosforhalt. En underskattad bakgrundskoncentration innebär att det mobila fosforförrådet överskattas. Definitionsmässigt är det enkelt att i modellberäkningar funktionellt särskilja ackumulations- och transportbottenar. Att i praktiken avgöra om en insamlad sedimentkärna representerar den ena eller andra bottenotypen kan däremot vara svårt. En osäkerhet i antagandet om hur stor mängd av fosfor i sedimenten som är läckagebenägen kan därför även härledas till bedömningen av bakgrundskoncentrationen och om denna till del emanerat från transportbottenar (Håkanson, 1981) där modern materialet utgörs av gamla leror överlagrade av en mindre mängd recent material.

Den nu genomförda undersökningen visar att det finns en stor mängd rörlig fosfor i de ytliga sedimentlagren i centrala och östra Hjälmarén. Erfarenheter från genomförda åtgärdsprojekt i sjöar och kustområden i Sverige och Nordamerika visar att kemisk behandling av sediment genom att tillsätta fällningskemikalier som binder den rörliga fosfor till kemiskt mer stabila former är en effektiv metod för att minska flödet av fosfor till vattenmassan i denna typ av sediment. Om detta skulle vara praktiskt, tekniskt och ekonomiskt genomförbart på de stora bottenarealer som Hjälmarén täcker ligger dock utanför ramen för denna utredning. I sammanhanget är det också värt att fundera på vad som är de naturliga näringsförhållandena i Hjälmarén. En faktor att ta hänsyn till är givetvis den landbaserade fosfortillförseln och hur denna påverkats av olika mänskliga aktiviteter. En annan, ofta förbisesdd, faktor är de fysiska och morfologiska förhållandena i sjöar. I lerslättsjöar som Hjälmarén sker en betydande resuspension och omlagring av sediment från grundare till djupare bottenar och att vi nu uppmäter stora mängder av fosfor i Hjälmarens

ackumulationsområden behöver inte nödvändigtvis vara en konsekvens av historisk antropogen belastning.

Vi har i rapporten också redovisat nya mätningar av fosforhalten i vatten i Hjälmarens fyra delbassänger under maj-juli 2015. Dessa mätningar ligger inom intervallen för tidigare mätningar och modellresultat. Erfarenhetsmässigt varierar fosforhalterna från år till år, och för att kunna dra mer detaljerade slutsatser kring fosfordynamiken baserat på mätningar i vatten skulle det vara en fördel om fortsatta mätningar i vattenmassan genomfördes under kommande år.

Slutsatser

Ett 50-tal sedimentkärnor har analyserats med avseende på läckagebenägen fosfor. Materialet omfattar hela Hjälmarens bottenyta men flest prover har tagits ut i Storhjälmaren inklusive Södra Hjälmaren.

Hemfjärden håller i princip ingen läckagebenägen/mobil fosfor, medan en mindre mängd, 10 ton, finns lagrad i Mellanfjärdens grunda botten. Storhjälmaren däremot beräknas innehålla nästan 3000 ton fosfor som med tiden kommer läcka till vattenmassan. Ytterligare 1000 ton finns i Södra Hjälmarens botten och 330 ton i Östra Hjälmaren. Den läckagebenägna fosfor består i Hjälmaren till lika delar av organiskt bunden fosfor och järnbunden fosfor.

De högsta mängderna per ytenhet återfinns i Storhjälmarens botten, medan något lägre mängder per ytenhet uppmättes i Södra och Östra Hjälmaren. En viss variation inom bassängerna går också att skönja även om inga tydliga mönster går att utläsa. Det går inte att se något tydligt förhållande mellan mängden läckagebenägen fosfor och vattendjup.

Överslagsberäkningar av begravningsflöde och läckage till vattenmassan indikerar samma storleksordningar som tidigare erhållits genom modellsimuleringar. Sammantaget stärker undersökningen den tidigare slutsatsen från modelleringstudien att åtgärder för att binda fosfor i sediment skulle kunna vara verkningsfullt, i synnerhet i Storhjälmaren inklusive Södra Hjälmaren samt i Östra Hjälmaren.

Referenser

- Arvidsson M. & Rydin E., 2011. Läckagebenägen fosfor i Bornsjöns sediment - Kvantifiering i olika bottenområden för aluminiumdosering. Naturvatten i Roslagen AB, Rapport 2011:24.
- Carey C.C. & Rydin E., 2011. Lake trophic status can be determined by the depth distribution of sediment phosphorus. *Limnology and Oceanography* 56, 2051-2063.
- Håkanson, L., 1978. Hjälmaren – en naturgeografisk beskrivning. SNV PM 1079.
- Håkanson, L., 1981. Sjösedimenten i recipientkontrollen – principer, processer och praktiska exempel. SNV PM 1398.
- Håkanson L. & Jansson M., 1983. Principles of Lake Sedimentology. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 316 p.
- Malmaeus M. & Karlsson M., 2015. Fosfordynamik i Hjälmaren – Resultat av simuleringar. IVL Rapport C72.
- Malmaeus, J.M., Rydin E., Jonsson P., Lindgren D. & Karlsson O.M. Estimating the amount of mobile phosphorus in Baltic coastal soft sediments of central Sweden. *Boreal environmental research* 17, 425-436, 2012.
- Psenner R., Boström B., Dinka M., Pettersson K., Pucsko, R. & Sager M., 1988. Fractionation of phosphorus in suspended matter and sediments. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 30, 98-109.
- Puttonen I., Mattila J., Jonsson P., Karlsson M., Kohonen T., Kotilainen A., Lukkari K., Malmaeus M. & Rydin E., 2014. Distribution and estimated release of sediment phosphorus in the northern Baltic Sea archipelagos. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 145, 9-21.
- Rydin E., 2000. Potentially mobile phosphorus in Lake Erken sediment. *Water Research* 34(7), 2037- 2042.
- Rydin E., Malmaeus M., Karlsson M. & Jonsson P., 2011. Phosphorus Release From Coastal Baltic Sea Sediments As Estimated From Sediment Profiles. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92, 111-117.

Bilaga 1 – Provtagningsstationernas djup, läge och fosforinnehåll

Läckagebenägen fosfor										Bearavningkoncentration			
Station	Bassäng	djup	X	Y	TP	Fe-	Org-	Res-	TP	Fe-P	Org-P	Res-P	
		m	RT90				g/m2			µg/g	TS		
1	Hemfjärden	1,7	65731001473241-	-	-	-	-	-	605	107	116	44	
2	Hemfjärden	1,7	65732951476218-	-	-	-	-	-	663	65	144	100	
3	Mellanfjärden	2,6	657406014828325	0,4	2,3	1,6	636	41	140	108			
4	Mellanfjärden	2,4	657286914807275	0,5	3,2	1,8	590	36	116	81			
5	Mellanfjärden	2,3	657128214835297	0,7	4,7	2,8	529	28	47	54			
	medel			6	1	3	2						
6	Hjälmaren, NV bassängen	5	657572214872269	3,2	3,5	1,0	647	57	117	125			
7	Hjälmaren, NV bassängen	8,1	6573024148793613	6,1	4,3	1,7	748	75	187	128			
8	Hjälmaren, NV bassängen	7,8	6573535149061915	7,4	4,9	1,5	688	71	136	143			
9	Hjälmaren, NV bassängen	10	6571357149022215	6,7	4,8	2,0	722	80	169	138			
10	Hjälmaren, NV bassängen	8,4	6572484149281813	5,7	3,8	1,5	634	63	116	120			
11	Hjälmaren, NV bassängen	13	657038214931477	0,9	-0,4	1,3	914	463	412	129			
12	Hjälmaren, SV bassängen	5,6	6568587148784312	4,2	5,2	3,9	600	66	59	22			
13	Hjälmaren, SV bassängen	7,7	6568266149067412	6,1	4,5	0,8	714	68	135	179			
14	Hjälmaren, SV bassängen	9,8	656675314935627	3,5	1,1	1,9	882	115	251	183			
25	Hjälmaren, N bassängen	6,7	6574961149545410	5,2	3,3	3,8	661	110	99	28			
26	Hjälmaren, N bassängen	8,1	6573371149444515	7,7	3,5	2,3	668	81	132	122			
27	Hjälmaren, N bassängen	9,5	6570546149475410	4,6	3,6	1,5	708	103	127	154			
28	Hjälmaren, N bassängen	13,4	6571101149654615	8,9	3,2	1,2	844	123	196	201			
29	Hjälmaren, N bassängen	9,7	6570944149822110	4,5	2,8	2,2	669	83	133	140			
30	Hjälmaren, N bassängen	9,7	6569770149974812	6,2	3,1	1,8	712	77	156	177			
31	Hjälmaren, N bassängen	7,5	6571003150248014	6,6	4,4	2,5	614	73	98	91			
32	Hjälmaren, N bassängen	10,6	6568823150296213	5,3	5,0	1,8	687	73	159	138			
33	Hjälmaren, S bassängen	12,5	6566728814956121	2,1	3,4	-1,0	940	95	233	310			
34	Hjälmaren, S bassängen	16,2	6565339149678617	8,4	4,9	3,5	922	90	186	317			
35	Hjälmaren, S bassängen	13	6567012149890516	8,5	3,4	2,9	753	88	181	176			
36	Hjälmaren, S bassängen	17,2	6564418149965015	8,0	4,2	2,1	721	88	189	128			
37	Hjälmaren, S bassängen	14,5	6566063150296419	9,4	5,5	2,7	679	103	130	111			
38	Hjälmaren, S bassängen	12,6	6563959150361314	7,8	3,7	1,0	731	73	194	132			
39	Hjälmaren, Ö bassängen	9,9	6565323150624011	4,3	3,4	1,9	656	63	154	123			
40	Hjälmaren, Ö bassängen	10,3	656802415060493	-1,7	4,1	1,9	1241	510	171	126			
41	Hjälmaren, Ö bassängen	9,3	6570350150506616	7,4	4,5	2,3	650	71	144	120			
42	Hjälmaren, Ö bassängen	8,6	6566914150885413	6,3	3,8	1,0	590	60	81	96			
43	Hjälmaren, Ö bassängen	8,7	6570142150887619	8,6	5,2	4,5	592	90	74	42			
44	Hjälmaren, Ö bassängen	7	656788115117534	2,8	0,7	0,5	523	43	55	10			
45	Hjälmaren, Ö bassängen	7,7	6570162151251012	4,1	2,4	-0,3	515	168	105	115			
	medel			12	6	4	2						
15	Södra Hjälmaren, V	5,4	6561040149071513	5,6	4,4	1,3	597	54	101	119			
16	Södra Hjälmaren, V	6	6559970149144914	6,0	4,1	1,8	648	60	121	136			

17	Södra Hjälmaren, V	8,1	6559230149379510	4,8	3,0	-0,2	836	92	237	260		
18	Södra Hjälmaren	9,9	655911014954848	4,5	4,6	-1,9	799	72	136	261		
19	Södra Hjälmaren	9,9	6561001	1496566	14	5,5	4,2	1,2	671	71	184	166
20	Södra Hjälmaren	5,2	6563838	1492390	12	5,8	4,7	0,8	614	83	91	67
21	Södra Hjälmaren	9,4	6557989	1500120	6	3,4	3,8	-1,0	974	130	182	262
22	Södra Hjälmaren	12,	6560960	1499796	16	7,3	5,0	2,1	799	104	188	158
23	Södra Hjälmaren	11,	6559588	1498657	9	3,7	4,5	0,7	838	110	152	191
24	Södra Hjälmaren	8,7	6559588	1502703	10	4,5	3,6	2,1	640	71	109	116
medel		11 5 4 1										
46	Östra Hjälmaren	6	6570488	1518311	11	4,7	3,8	1,4	641	63	153	98
47	Östra Hjälmaren	10,	6569657	1520167	10	5,7	2,9	1,1	784	82	226	133
48	Östra Hjälmaren	22,	6569512	1523141	9	6,0	1,6	0,6	946	166	258	175
49	Östra Hjälmaren	7,9	6570630	1525141	9	3,5	2,8	2,1	666	68	149	105
50	Östra Hjälmaren	4	6572996	1526677	9	3,0	3,4	1,9	616	58	114	81
medel		9 5 3 1										

Bilaga 2 – Analysdata sediment

Provplats	Sediment-	Vattenhalt	Glödnings förlust	NH ₄ Cl-P	BD-P	NaOH- P	HCl- P	NaOH org-P	Res-P	
	skikt		Organisk andel	Löst bunden P	Fe-P	Al-P	Ca-P	Org-P	Residual - P	Total P
	(cm)	%			µg/g torrsbstans					
HJÄ1	0-1	85	10	0	21	71	241	188	232	753
HJÄ1	1-2	81	10	1	37	63	278	221	126	726
HJÄ1	4-5	79	10	3	57	74	252	203	137	726
HJÄ1	6-7	69	7	0	51	106	301	18	166	643
HJÄ1	9-10	68	7	0	60	108	309	99	57	633
HJÄ1	14-15	68	8	0	77	146	309	108	-63	577
HJÄ1	24-25	66	7	0	99	165	304	112	69	749
HJÄ1	34-35	67	8	1	116	304	314	121	19	875
HJÄ2	0-1	84	8	20	32	73	316	242	49	733
HJÄ2	1-2	79	8	1	28	67	286	187	135	704
HJÄ2	4-5	76	8	5	40	64	277	188	99	673
HJÄ2	6-7	72	7	0	46	101	301	140	71	660
HJÄ2	9-10	68	7	2	56	116	316	103	66	658
HJÄ2	14-15	74	9	0	56	115	282	121	95	669
HJÄ2	24-25	82	14	0	84	185	257	183	123	833
HJÄ2	34-35	71	8	0	46	100	283	104	76	608
HJÄ3	0-1	91	13	16	53	74	329	297	150	919
HJÄ3	1-2	88	13	0	50	70	260	313	195	887
HJÄ3	4-5	86	12	0	54	71	277	323	166	890
HJÄ3	6-7	86	14	6	80	82	282	314	157	921
HJÄ3	9-10	78	10	0	50	98	291	160	108	707
HJÄ3	14-15	82	12	0	46	88	273	169	274	851
HJÄ3	24-25	81	13	0	49	86	243	156	130	663
HJÄ3	34-35	76	11	0	34	73	291	125	86	610
HJÄ4	0-1	90	13	8	50	66	247	295	217	883
HJÄ4	1-2	89	13	7	46	66	253	307	190	869
HJÄ4	4-5	88	13	0	56	64	259	307	205	892
HJÄ4	6-7	85	13	26	71	73	271	327	106	875
HJÄ4	9-10	81	13	0	53	91	269	206	172	791
HJÄ4	14-15	82	12	0	52	80	234	165	105	636
HJÄ4	24-25	79	11	0	33	68	290	110	85	587
HJÄ4	34-35	78	11	0	40	73	279	122	78	592
HJÄ5	0-1	91	14	0	47	66	255	333	219	920
HJÄ5	1-2	89	14	0	50	64	264	336	213	927
HJÄ5	4-5	87	13	0	61	64	271	317	211	923
HJÄ5	6-7	85	12	0	70	74	276	276	183	879
HJÄ5	9-10	81	10	0	50	85	284	189	137	745
HJÄ5	14-15	80	11	0	41	67	275	132	117	632

HJÄ5	24-25	62	4	0	23	57	292	56	69	497
HJÄ5	34-35	54	3	0	33	85	366	39	38	561
HJÄ6	0-1	92	14	2	398	151	282	443	193	1469
HJÄ6	1-2	90	14	8	332	120	289	421	201	1371
HJÄ6	4-5	88	14	0	280	104	269	344	196	1193
HJÄ6	6-7	87	13	0	260	139	273	306	203	1182
HJÄ6	9-10	85	12	0	165	98	276	261	211	1011
HJÄ6	14-15	82	10	0	107	89	319	178	84	777
HJÄ6	24-25	81	11	0	62	68	276	130	132	668
HJÄ6	34-35	80	12	0	52	51	301	103	119	625
HJÄ7	0-1	92	14	0	382	146	250	478	285	1541
HJÄ7	1-2	90	14	0	387	147	271	507	280	1591
HJÄ7	4-5	89	15	10	491	150	270	532	256	1709
HJÄ7	6-7	89	14	3	545	123	273	440	239	1623
HJÄ7	9-10	87	14	4	443	137	266	378	153	1383
HJÄ7	14-15	87	14	1	156	77	277	314	228	1053
HJÄ7	24-25	82	11	7	75	73	280	208	152	795
HJÄ7	34-35	80	10	0	75	64	291	166	105	700
HJÄ8	0-1	92	14	24	571	130	349	601	55	1730
HJÄ8	1-2	90	14	22	432	109	267	453	259	1542
HJÄ8	4-5	89	14	26	493	107	271	456	247	1600
HJÄ8	6-7	88	14	2	462	103	278	418	250	1512
HJÄ8	9-10	87	13	1	468	112	274	390	232	1477
HJÄ8	14-15	84	11	0	307	100	280	213	169	1069
HJÄ8	24-25	81	12	0	76	60	287	138	140	700
HJÄ8	34-35	82	13	0	65	54	277	133	146	675
HJÄ9	0-1	91	14	21	400	94	266	464	357	1603
HJÄ9	1-2	90	14	5	473	98	280	543	267	1666
HJÄ9	4-5	89	14	12	474	117	282	533	250	1669
HJÄ9	6-7	88	13	31	482	110	280	479	218	1600
HJÄ9	9-10	87	13	3	612	131	291	419	260	1715
HJÄ9	14-15	85	12	0	123	72	284	241	202	921
HJÄ9	24-25	82	10	0	83	57	275	192	145	751
HJÄ9	34-35	79	10	0	77	62	277	146	131	693
HJÄ10	0-1	91	13	21	511	98	270	417	257	1575
HJÄ10	1-2	89	13	11	517	107	275	426	219	1554
HJÄ10	4-5	87	13	0	433	102	285	370	211	1402
HJÄ10	6-7	87	13	3	446	96	265	345	232	1386
HJÄ10	9-10	86	12	0	344	99	277	304	215	1239
HJÄ10	14-15	80	10	0	153	70	302	175	91	792
HJÄ10	24-25	80	11	0	70	49	288	126	104	636
HJÄ10	34-35	80	11	0	57	45	288	107	136	633
HJÄ11	0-1	89	12	10	665	197	279	429	21	1600
HJÄ11	1-2	86	11	8	613	177	294	412	248	1752
HJÄ11	4-5	83	10	5	543	279	291	336	362	1816
HJÄ11	6-7	72	6	0	143	297	350	163	273	1226

HJĀ11	9-10	63	4	0	196	287	333	114	-16	914
HJĀ12	0-1	90	12	11	433	123	292	452	229	1540
HJĀ12	1-2	89	12	8	463	135	288	443	238	1575
HJĀ12	4-5	87	12	1	463	147	284	381	198	1473
HJĀ12	6-7	86	11	0	256	77	294	280	203	1110
HJĀ12	9-10	83	10	0	139	69	311	224	151	894
HJĀ12	14-15	78	8	0	84	57	323	142	129	735
HJĀ12	24-25	57	3	0	62	72	361	52	41	589
HJĀ12	34-35	58	3	0	69	86	387	65	2	610
HJĀ13	0-1	91	21	9	465	116	252	450	319	1611
HJĀ13	1-2	90	14	4	546	132	264	545	280	1772
HJĀ13	4-5	89	13	4	585	135	282	472	233	1711
HJĀ13	6-7	88	13	1	603	127	282	398	218	1629
HJĀ13	9-10	87	13	0	236	89	272	337	223	1157
HJĀ13	14-15	85	11	0	158	84	291	230	168	932
HJĀ13	24-25	81	10	0	76	54	286	146	201	762
HJĀ13	34-35	81	13	0	60	49	276	124	158	666
HJĀ14	0-1	92	17	14	579	92	256	553	295	1789
HJĀ14	1-2	91	16	10	566	112	422	551	173	1833
HJĀ14	4-5	89	19	0	449	85	281	341	730	1886
HJĀ14	6-7	88	14	0	408	97	258	371	259	1393
HJĀ14	9-10	80	12	0	81	61	264	182	136	724
HJĀ14	14-15	87	18	0	303	77	252	344	202	1177
HJĀ14	24-25	86	14	0	145	71	268	291	226	1000
HJĀ14	34-35	82	13	0	86	65	262	210	140	763
HJĀ15	0-1	92	15	26	366	140	300	427	154	1414
HJĀ15	1-2	90	15	7	429	155	279	517	252	1640
HJĀ15	4-5	89	14	6	554	158	280	455	294	1746
HJĀ15	6-7	86	21	3	269	84	268	297	153	1074
HJĀ15	9-10	85	12	2	257	119	306	274	197	1155
HJĀ15	14-15	81	14	1	183	67	338	161	96	846
HJĀ15	24-25	81	12	0	55	49	288	118	143	653
HJĀ15	34-35	75	21	0	53	42	265	84	96	540
HJĀ16	0-1	92	15	20	688	138	282	543	312	1984
HJĀ16	1-2	89	14	0	352	92	261	383	246	1334
HJĀ16	4-5	87	13	0	383	101	296	353	247	1379
HJĀ16	6-7	86	14	1	404	132	301	320	177	1335
HJĀ16	9-10	85	14	0	320	111	291	279	223	1224
HJĀ16	14-15	84	15	0	185	96	304	241	198	1024
HJĀ16	24-25	76	10	0	70	51	289	129	127	666
HJĀ16	34-35	78	12	0	51	42	281	112	146	631
HJĀ17	0-1	93	14	6	436	98	272	556	277	1645
HJĀ17	1-2	91	14	10	482	127	257	505	315	1696
HJĀ17	4-5	89	14	21	570	111	264	499	263	1729
HJĀ17	6-7	88	13	0	348	92	266	395	250	1351
HJĀ17	9-10	87	13	10	317	91	259	372	240	1288

HJÄ17	14-15	85	13	0	161	79	287	292	229	1047
HJÄ17	24-25	83	12	6	98	78	283	264	154	883
HJÄ17	34-35	82	11	0	87	52	76	209	365	789
HJÄ18	0-1	93	14	12	502	115	137	578	358	1703
HJÄ18	1-2	90	14	14	619	168	277	568	222	1868
HJÄ18	4-5	89	14	13	544	108	292	426	201	1584
HJÄ18	6-7	88	13	0	281	101	266	382	210	1239
HJÄ18	9-10	86	13	0	215	88	263	337	222	1125
HJÄ18	14-15	85	12	2	123	88	265	258	-5	730
HJÄ18	24-25	81	11	0	84	67	276	169	376	971
HJÄ18	34-35	79	11	0	60	45	274	102	145	626
HJÄ19	0-1	92	14	11	469	106	244	496	409	1735
HJÄ19	1-2	90	14	10	525	113	265	539	311	1764
HJÄ19	4-5	89	14	7	514	130	264	501	317	1732
HJÄ19	6-7	88	13	0	429	125	269	411	204	1438
HJÄ19	9-10	87	13	5	296	94	275	390	167	1227
HJÄ19	14-15	86	12	0	179	88	288	290	202	1045
HJÄ19	24-25	81	11	0	72	60	261	166	129	688
HJÄ19	34-35	81	12	5	69	53	121	203	203	654
HJÄ20	0-1	92	13	22	490	122	654	362	-31	1618
HJÄ20	1-2	90	13	17	636	121	310	466	122	1672
HJÄ20	4-5	88	12	0	291	85	290	346	79	1091
HJÄ20	6-7	87	12	0	317	90	294	329	121	1152
HJÄ20	9-10	84	12	0	377	102	319	285	125	1208
HJÄ20	14-15	84	10	0	283	95	344	230	97	1048
HJÄ20	24-25	73	7	0	111	48	309	103	94	664
HJÄ20	34-35	68	5	0	55	52	337	80	40	564
HJÄ21	0-1	94	14	9	409	96	265	525	262	1567
HJÄ21	1-2	91	14	10	520	99	278	534	210	1650
HJÄ21	4-5	90	13	13	678	103	256	525	280	1855
HJÄ21	6-7	88	14	0	338	84	274	396	186	1278
HJÄ21	9-10	87	13	0	226	75	279	348	207	1133
HJÄ21	14-15	86	13	0	95	72	287	275	179	908
HJÄ21	24-25	83	12	0	73	72	278	208	141	772
HJÄ21	34-35	79	12	3	186	104	344	157	382	1175
HJÄ22	0-1	91	14	11	553	110	280	568	-40	1483
HJÄ22	1-2	89	15	7	558	124	293	528	253	1764
HJÄ22	4-5	88	14	7	583	120	290	527	332	1860
HJÄ22	6-7	86	14	3	548	127	288	423	296	1686
HJÄ22	9-10	85	13	1	451	106	273	401	275	1508
HJÄ22	14-15	85	12	0	160	87	293	309	189	1038
HJÄ22	24-25	82	11	4	122	75	292	209	191	893
HJÄ22	34-35	80	11	0	86	58	269	168	124	705
HJÄ23	0-1	92	14	6	480	129	336	681	-32	1601
HJÄ23	1-2	90	14	7	391	101	280	481	366	1626
HJÄ23	4-5	89	14	7	471	109	321	491	192	1591

HJÄ23	6-7	88	14	2	399	97	282	429	294	1502
HJÄ23	9-10	88	14	0	266	89	278	373	271	1277
HJÄ23	14-15	85	12	0	109	74	302	237	172	894
HJÄ23	24-25	80	11	0	64	54	267	144	315	844
HJÄ23	34-35	80	13	0	156	174	275	160	67	833
HJÄ24	0-1	91	14	11	488	93	303	489	220	1604
HJÄ24	1-2	90	14	11	511	106	278	478	289	1673
HJÄ24	4-5	88	13	3	380	84	266	389	299	1421
HJÄ24	6-7	87	13	0	235	75	278	328	207	1124
HJÄ24	9-10	84	12	0	219	67	294	198	207	984
HJÄ24	14-15	83	12	0	208	68	272	157	141	845
HJÄ24	24-25	82	12	0	76	47	282	114	139	658
HJÄ24	34-35	80	12	0	66	44	315	105	92	622
HJÄ25	0-1	87	10	9	378	91	270	295	217	1260
HJÄ25	1-2	85	10	10	411	108	274	315	197	1314
HJÄ25	4-5	83	10	5	382	103	309	288	190	1277
HJÄ25	6-7	79	9	2	298	85	277	226	181	1070
HJÄ25	9-10	79	9	1	318	92	278	213	124	1026
HJÄ25	14-15	57	3	0	83	65	299	77	47	571
HJÄ25	24-25	62	4	0	88	106	322	102	37	655
HJÄ25	34-35	65	4	0	132	122	299	95	18	666
HJÄ26	0-1	93	14	16	485	116	266	430	233	1545
HJÄ26	1-2	90	14	13	476	115	253	426	315	1597
HJÄ26	4-5	89	14	10	644	124	271	436	212	1697
HJÄ26	6-7	87	13	2	551	102	278	254	285	1472
HJÄ26	9-10	87	14	0	498	102	275	305	230	1410
HJÄ26	14-15	84	12	0	201	78	295	203	206	983
HJÄ26	24-25	80	10	0	96	52	282	169	108	706
HJÄ26	34-35	78	10	0	67	41	291	95	136	629
HJÄ27	0-1	92	14	22	672	87	295	530	278	1884
HJÄ27	1-2	91	14	21	827	117	270	436	360	2031
HJÄ27	4-5	90	14	0	493	76	269	451	200	1489
HJÄ27	6-7	88	13	1	461	72	275	267	314	1390
HJÄ27	9-10	87	13	0	247	65	271	321	191	1094
HJÄ27	14-15	85	11	0	118	33	283	204	200	838
HJÄ27	24-25	81	12	0	90	48	256	151	150	695
HJÄ27	34-35	81	13	0	117	57	288	104	157	722
HJÄ28	0-1	92	16	10	597	105	257	487	345	1802
HJÄ28	1-2	91	15	12	625	84	248	358	479	1806
HJÄ28	4-5	89	14	10	709	103	262	485	236	1805
HJÄ28	6-7	89	15	7	635	129	267	360	259	1657
HJÄ28	9-10	87	15	59	603	120	254	377	206	1619
HJÄ28	14-15	86	14	0	446	83	258	247	306	1340
HJÄ28	24-25	83	13	5	130	62	269	246	179	891
HJÄ28	34-35	82	12	0	116	55	257	146	223	796
HJÄ29	0-1	92	15	31	589	76	277	469	314	1756

HJÄ29	1-2	91	15	11	639	146	264	304	464	1828
HJÄ29	4-5	89	14	2	477	74	255	376	244	1428
HJÄ29	6-7	88	13	0	363	88	279	245	248	1223
HJÄ29	9-10	86	13	0	223	63	281	298	204	1068
HJÄ29	14-15	84	12	0	116	46	278	146	254	840
HJÄ29	24-25	80	11	0	89	45	262	158	121	676
HJÄ29	34-35	80	12	0	77	43	275	108	160	663
HJÄ30	0-1	92	16	15	604	112	264	507	297	1798
HJÄ30	1-2	91	15	20	740	93	248	440	392	1933
HJÄ30	4-5	89	14	4	562	100	252	378	272	1568
HJÄ30	6-7	88	14	3	432	66	255	313	318	1387
HJÄ30	9-10	87	14	2	396	56	269	340	179	1241
HJÄ30	14-15	85	13	1	111	62	269	166	304	912
HJÄ30	24-25	83	12	0	80	30	260	211	173	753
HJÄ30	34-35	79	11	0	74	40	273	102	180	670
HJÄ31	0-1	92	14	25	531	79	282	447	264	1629
HJÄ31	1-2	90	14	19	530	86	277	473	279	1663
HJÄ31	4-5	88	13	11	484	99	272	368	235	1469
HJÄ31	6-7	86	12	8	508	60	314	352	171	1413
HJÄ31	9-10	85	12	0	348	73	266	274	254	1215
HJÄ31	14-15	80	9	0	133	47	299	157	118	753
HJÄ31	24-25	72	28	0	71	37	299	96	107	610
HJÄ31	34-35	74	8	0	74	48	323	99	74	619
HJÄ32	0-1	91	15	11	552	60	273	489	316	1702
HJÄ32	1-2	90	12	13	570	98	272	509	315	1778
HJÄ32	4-5	89	15	8	547	76	274	512	301	1718
HJÄ32	6-7	88	15	2	527	93	272	377	353	1625
HJÄ32	9-10	87	14	0	218	70	280	470	112	1150
HJÄ32	14-15	86	12	0	107	58	285	262	180	892
HJÄ32	24-25	81	11	0	77	42	272	168	132	691
HJÄ32	34-35	81	13	0	70	42	278	150	143	683
HJÄ33	0-1	92	16	20	761	93	252	478	354	1958
HJÄ33	1-2	91	4	15	934	94	257	633	19	1953
HJÄ33	4-5	90	14	20	864	107	251	567	251	2061
HJÄ33	6-7	89	14	8	828	143	258	505	137	1878
HJÄ33	9-10	87	14	0	356	72	256	333	269	1286
HJÄ33	14-15	87	13	0	169	67	269	298	374	1176
HJÄ33	24-25	84	12	0	97	46	263	157	433	996
HJÄ33	34-35	81	12	0	93	23	269	309	188	883
HJÄ34	0-1	91	15	11	634	108	263	672	215	1902
HJÄ34	1-2	90	15	13	631	61	249	792	122	1869
HJÄ34	4-5	90	14	12	656	93	260	579	305	1905
HJÄ34	6-7	88	11	8	821	106	251	522	278	1986
HJÄ34	9-10	87	14	0	519	97	264	306	807	1992
HJÄ34	14-15	86	13	0	179	61	273	321	580	1414
HJÄ34	24-25	82	12	8	96	49	279	232	433	1097
HJÄ34	34-35	80	11	0	84	47	276	140	200	747

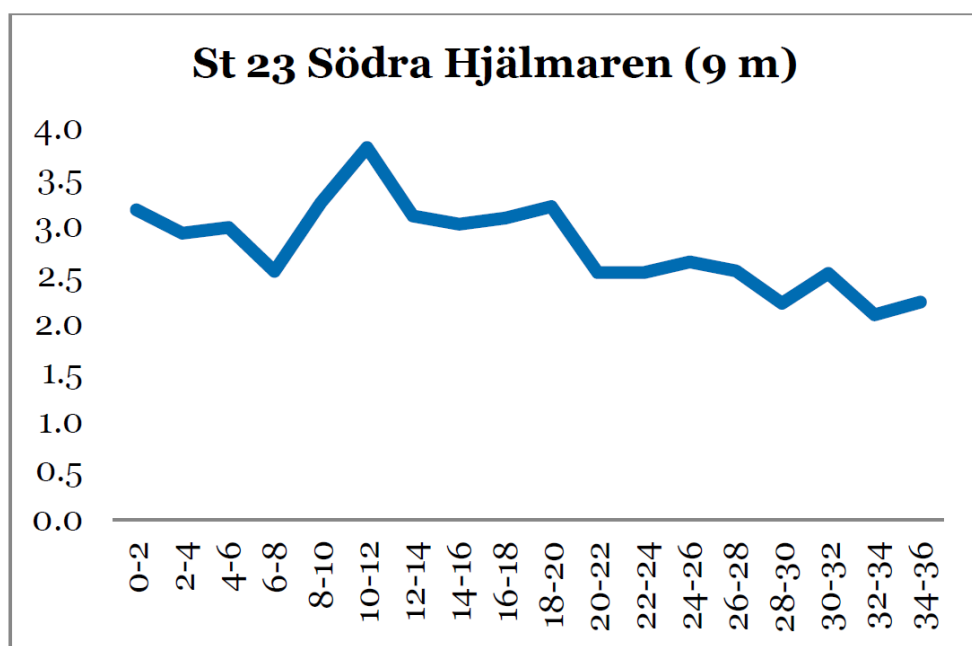
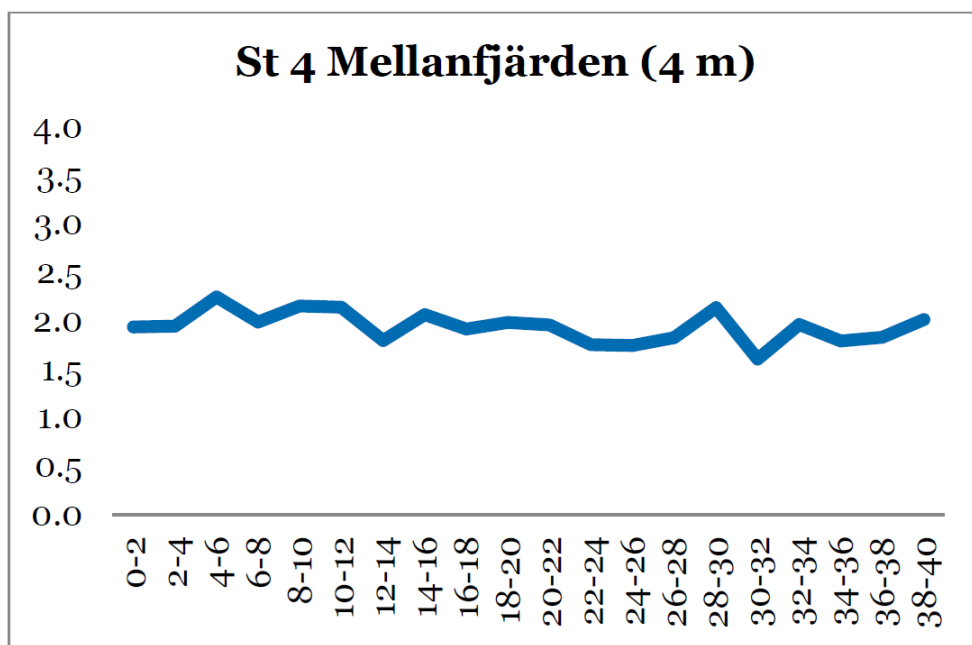
HJÄ35	0-1	92	15	21	710	80	265	606	305	1987
HJÄ35	1-2	91	14	27	807	92	261	517	311	2016
HJÄ35	4-5	90	14	7	805	70	246	430	553	2111
HJÄ35	6-7	88	13	2	651	85	244	335	433	1749
HJÄ35	9-10	87	13	0	539	109	257	334	187	1426
HJÄ35	14-15	86	13	0	128	57	261	271	260	977
HJÄ35	24-25	83	12	0	98	51	267	194	147	757
HJÄ35	34-35	81	11	0	79	48	250	167	205	749
HJÄ36	0-1	92	14	12	666	84	260	545	291	1858
HJÄ36	1-2	91	14	13	658	102	264	569	219	1825
HJÄ36	4-5	89	14	11	693	118	247	529	287	1885
HJÄ36	6-7	87	14	9	805	116	254	439	254	1876
HJÄ36	9-10	87	14	0	376	104	271	361	200	1311
HJÄ36	14-15	86	13	0	157	62	274	267	210	972
HJÄ36	24-25	83	12	0	89	53	265	212	120	739
HJÄ36	34-35	80	12	0	87	54	260	166	136	702
HJÄ37	0-1	91	15	10	698	131	280	461	333	1913
HJÄ37	1-2	90	15	15	722	119	267	501	319	1942
HJÄ37	4-5	88	14	14	859	125	280	522	223	2022
HJÄ37	6-7	87	14	5	769	114	273	440	232	1832
HJÄ37	9-10	86	14	0	488	110	284	366	225	1473
HJÄ37	14-15	84	13	0	166	71	288	243	238	1006
HJÄ37	24-25	80	12	0	104	53	267	150	119	692
HJÄ37	34-35	75	9	0	102	60	293	109	102	666
HJÄ38	0-1	92	14	7	538	80	267	480	323	1695
HJÄ38	1-2	90	14	9	586	90	272	495	296	1749
HJÄ38	4-5	89	14	83	654	82	271	483	232	1804
HJÄ38	6-7	87	14	0	624	150	277	377	42	1470
HJÄ38	9-10	87	13	3	421	84	301	341	187	1337
HJÄ38	14-15	86	13	0	182	67	285	299	212	1044
HJÄ38	24-25	82	12	0	77	54	289	212	159	791
HJÄ38	34-35	79	11	0	69	57	264	176	104	670
HJÄ39	0-1	90	15	4	408	95	296	401	295	1498
HJÄ39	1-2	88	13	6	474	96	277	443	242	1540
HJÄ39	4-5	87	13	0	416	84	289	383	272	1445
HJÄ39	6-7	86	13	2	253	65	287	295	185	1087
HJÄ39	9-10	84	12	0	200	56	295	274	178	1002
HJÄ39	14-15	82	12	0	90	51	291	214	164	810
HJÄ39	24-25	78	11	0	64	31	289	162	111	657
HJÄ39	34-35	78	11	0	63	34	277	146	135	654
HJÄ40	0-1	91	14	2	460	69	273	457	330	1591
HJÄ40	1-2	89	14	2	468	108	251	432	352	1614
HJÄ40	4-5	88	14	9	601	108	285	455	239	1698
HJÄ40	6-7	86	14	6	688	127	286	451	176	1735
HJÄ40	9-10	85	13	2	362	89	277	306	224	1261
HJÄ40	14-15	83	12	0	192	76	281	230	157	936
HJÄ40	24-25	81	12	0	408	143	270	177	126	1123
HJÄ40	34-35	81	12	10	612	183	263	165	126	1358

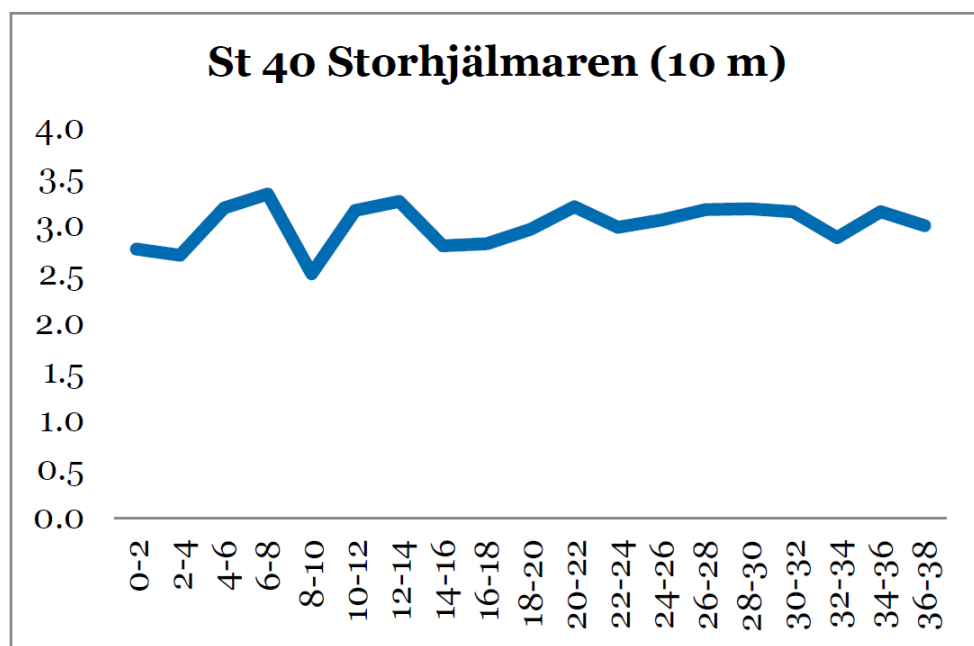
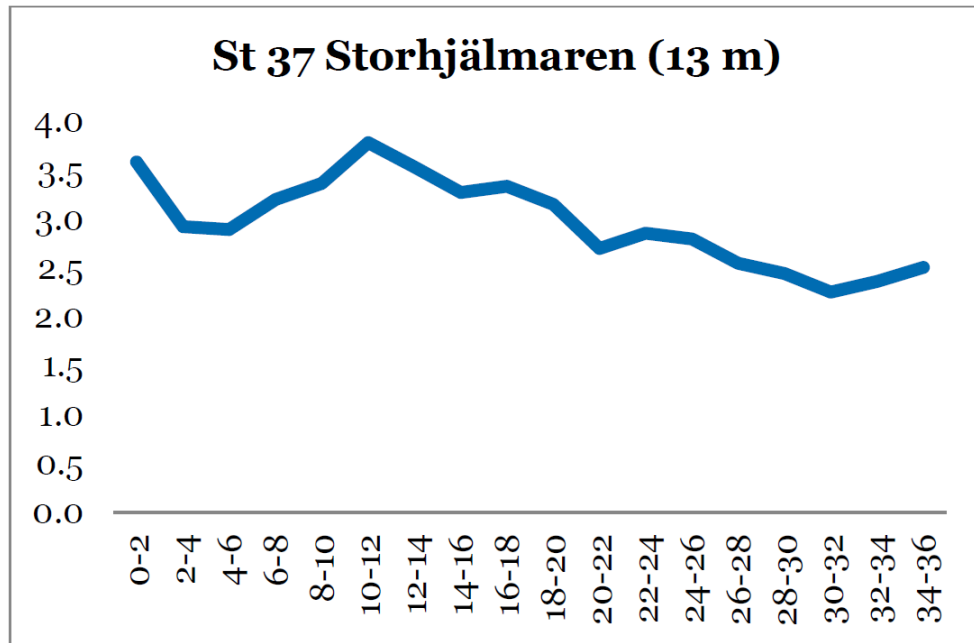
HJÄ41	0-1	91	12	31	606	140	291	470	211	1749
HJÄ41	1-2	89	15	18	595	126	264	462	272	1737
HJÄ41	4-5	88	14	14	660	126	275	454	293	1822
HJÄ41	6-7	86	13	6	318	95	290	334	186	1230
HJÄ41	9-10	87	14	3	546	119	282	391	262	1604
HJÄ41	14-15	83	11	0	116	68	279	208	165	837
HJÄ41	24-25	79	11	3	81	29	278	153	109	653
HJÄ41	34-35	80	13	6	60	37	278	135	131	647
HJÄ42	0-1	88	11	15	340	74	320	297	207	1253
HJÄ42	1-2	86	11	13	366	80	317	315	199	1290
HJÄ42	4-5	85	11	4	387	88	348	295	93	1216
HJÄ42	6-7	80	10	4	249	68	304	210	167	1001
HJÄ42	9-10	79	10	7	271	92	334	182	70	956
HJÄ42	14-15	74	9	1	126	70	303	108	148	756
HJÄ42	24-25	74	9	0	59	34	319	80	103	595
HJÄ42	34-35	73	4	0	60	43	310	82	89	584
HJÄ43	0-1	89	13	13	468	109	317	360	277	1544
HJÄ43	1-2	87	13	6	497	108	284	357	345	1597
HJÄ43	4-5	86	12	8	519	107	305	372	274	1587
HJÄ43	6-7	84	12	6	508	114	304	296	199	1426
HJÄ43	9-10	83	12	0	410	133	312	254	185	1294
HJÄ43	14-15	79	10	0	233	87	290	162	165	937
HJÄ43	24-25	65	6	0	92	63	284	68	52	559
HJÄ43	34-35	67	7	0	89	97	328	80	31	625
HJÄ44	0-1	67	4	3	144	29	359	116	46	696
HJÄ44	1-2	65	4	4	153	38	342	112	55	705
HJÄ44	4-5	62	4	1	148	32	391	106	11	690
HJÄ44	6-7	43	2	5	58	15	338	34	14	464
HJÄ44	9-10	50	3	0	41	24	363	46	30	503
HJÄ44	14-15	52	4	2	43	39	365	63	12	524
HJÄ44	24-25	46	3	0	43	50	392	47	8	541
HJÄ45	0-1	85	9	13	305	96	308	282	179	1183
HJÄ45	1-2	82	8	9	353	67	373	286	119	1207
HJÄ45	4-5	80	8	10	408	105	350	255	90	1219
HJÄ45	6-7	76	7	3	386	75	338	187	86	1075
HJÄ45	9-10	72	7	0	271	60	290	147	207	975
HJÄ45	14-15	51	3	0	66	29	334	63	24	515
HJÄ46	0-1	92	13	28	375	34	291	466	248	1441
HJÄ46	1-2	89	13	16	476	68	294	506	138	1498
HJÄ46	4-5	88	13	18	513	51	284	421	250	1536
HJÄ46	6-7	86	12	6	343	84	299	313	162	1207
HJÄ46	9-10	85	12	3	167	61	296	294	133	955
HJÄ46	14-15	83	11	0	107	58	293	225	114	798
HJÄ46	24-25	79	10	5	70	49	279	154	93	650
HJÄ46	34-35	79	12	3	56	41	279	151	103	632
HJÄ47	0-1	91	14	24	482	70	276	446	264	1561
HJÄ47	1-2	89	14	22	568	101	292	452	172	1607

HJÄ47	4-5	88	13	10	526	92	287	416	152	1482
HJÄ47	6-7	86	13	2	332	92	297	352	185	1260
HJÄ47	9-10	85	12	7	305	77	286	343	192	1210
HJÄ47	14-15	84	12	5	161	54	283	297	184	985
HJÄ47	24-25	81	11	3	76	61	277	236	159	813
HJÄ47	34-35	78	11	5	88	59	281	215	107	755
HJÄ48	0-1	90	16	19	480	50	273	413	258	1493
HJÄ48	1-2	88	13	10	426	66	272	395	246	1415
HJÄ48	4-5	86	18	16	470	74	281	341	249	1432
HJÄ48	6-7	85	13	11	510	72	274	333	167	1368
HJÄ48	9-10	84	13	14	459	86	276	298	198	1331
HJÄ48	14-15	83	13	8	222	50	286	299	169	1034
HJÄ48	24-25	83	13	10	177	62	280	264	176	969
HJÄ48	34-35	81	12	6	154	63	273	252	174	923
HJÄ49	0-1	90	13	23	432	63	296	435	248	1497
HJÄ49	1-2	88	13	15	489	79	291	398	270	1541
HJÄ49	4-5	86	12	12	377	61	299	309	254	1312
HJÄ49	6-7	86	12	9	209	59	308	261	189	1036
HJÄ49	9-10	84	12	6	139	50	304	233	186	918
HJÄ49	14-15	82	11	12	73	30	313	216	132	776
HJÄ49	24-25	80	11	6	70	47	296	154	117	689
HJÄ49	34-35	77	10	1	66	44	294	143	93	642
HJÄ50	0-1	87	13	18	414	73	350	358	144	1357
HJÄ50	1-2	90	13	23	376	57	290	363	267	1375
HJÄ50	4-5	87	12	10	214	56	358	342	93	1073
HJÄ50	6-7	84	12	9	199	50	301	282	214	1056
HJÄ50	9-10	83	11	2	137	50	311	204	174	879
HJÄ50	14-15	78	10	6	83	44	321	147	105	706
HJÄ50	24-25	78	11	7	59	34	314	113	85	612
HJÄ50	34-35	78	12	6	57	32	332	115	78	620

Bilaga 3 – Cesiumaktivitet

Diagrammen nedan visar ^{137}Cs -aktiviteten (cps/g TS) på den vertikala axeln mot sedimentdjupet (cm) på den horisontella axeln i de fyra stationer där denna analys utfördes







Länsstyrelsen
Örebro län

Länsstyrelsen i Örebro län
Stortorget 22, 701 86 Örebro
010-224 80 00
orebro@lansstyrelsen.se
www.lansstyrelsen.se/orebro