



Undersökning av näringsämnen i sediment under fiskodlingslokaler i Höga Kusten

Brian Huser, Hanna Carlberg, Martyn Futter

SLU, Vatten och miljö: Rapport 2021:7

Referera gärna till rapporten på följande sätt:

Undersökning av näringsämnen i sediment under fiskodlingslokaler i Höga Kusten.
Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vatten och miljö, rapport 2021:7.

Omslagsfoto: Mikael Dahl

Tryck: SLU, Ultuna

Tryckår: 2021

Kontakt

brian.huser@slu.se

<http://www.slu.se/vatten-miljo>

Innehåll

1	Ordlista	1
2	Introduktion	2
2.1	Uppdraget.....	2
3	Bakgrund.....	4
3.1	Deltagande organisationer.....	4
3.2	Lokaler	4
3.2.1	Köpmanön.....	5
3.2.2	Öberget.....	5
3.2.3	Gavik.....	5
3.3	Provtagning	5
3.4	Analyser	6
3.5	Inkubering av proppar	6
4	Resultat	8
4.1	Vatten	8
4.2	Sediment.....	9
4.2.1	Totalfosfor.....	10
4.2.2	Fosforfraktioner	10
4.2.3	Kväve	16
4.3	Inkuberingsförsök.....	16
4.3.1	Internbelastning av fosfor	18
5	Diskussion.....	21
5.1	Läckagebenägen fosfor i sedimenten	21
5.1.1	Jämförelse med referenslokalen och andra system	21
5.2	Syrgasförbrukning.....	22
5.3	Potential för återhämtning.....	22
5.3.1	Skillnader mellan sediment modellen och uppmätt internbelastning	23
5.3.2	Modellering av återhämtningstid	24
5.4	Osäkerheter	25

6 Slutsatser.....	27
Referenser	28
Bilaga 1	29
Bilaga 2.....	38

1 Ordlista

- Aktivt sedimentdjup – den delen av sedimentet som interagerar med vatt-
net. Mobil fosfor som finns i det aktiva sedimentdjupet kan, till exempel,
frigöras till vattnet, medan fosfor som ligger bundet djupare inte frigörs
- Anoxiskt – Syrefattiga förhållanden i vattnet
- Fosforkoncentration – hur mycket fosfor som är bundet till en sedimentpar-
tikel
- Fosformassa – hur mycket fosfor som finns i en viss volym av sediment
- Internbelastningshastighet – den hastighet som fosfor frigörs från sedimen-
ten. Enheten är mg fosfor som frigörs från en kvadratmeter sedimentyta per
dag ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$)
- Mobil (rörlig) fosfor – de fosforformer som lätt frigörs från sediment, till
exempel fosfor i sedimentets porvatten, löst bunden fosfor, och fosfor bun-
den till järn
- Labil organisk fosfor – fosfor som finns i lätt nedbrytbart organiskt
material såsom alger och makrofyter
- Läckagebenägen fosfor - mobil + labil organisk fosfor samt rest fosfor

2 Introduktion

Ett antal fiskodlingslokaler där odling av regnbåge bedrivits i öppna kassar längs Höga kusten i Örnsköldsviks och Kramfors kommuner har avvecklats under 2020. Det saknas idag kunskap rörande hur nedbrytning av sediment som ansamlas under fiskodlingsanläggningar bestående av fekalier och foderrester sker i bräckvattenmiljön i Östersjön och i Bottniska viken (omfattar Bottenviken, Norra Kvarnen, Bottenhavet, Södra Kvarnen, Ålands hav och Skärgårdshavet) samt hur lång tid dessa processer kan förväntas ta. Mycket av den forskning som finns tillgänglig är antingen genomförd i andra typer av ekosystem eller är på andra vis inte jämförbara med våra svenska förhållanden. Dessutom finns det väldigt lite information om hur fiskodling generellt ger upphov till olika former av näringsämnen i sediment i bräckvattenmiljöer.

Huvudsyftet med denna studie är att öka kunskapen och förståelsen för de biokemiska processer som pågår under ytan. Projektet syftar även till att ta reda på hur lång tid dessa nedbrytningsprocesser kan förväntas ta. Studien har några tydliga kopplingar till åtgärder i *Handlingsplan för utveckling av svenskt vattenbruk*. Projektet har koppling mot framförallt mål 8, *samordning av forskning och innovation*. Både näring, akademi, myndigheter och intresseorganisationer ser att här finns kunskapsluckor som behöver fyllas. Projektet kopplar mot det exempel på forskningsområden som tas upp i handlingsplanen, *utvärdera miljöpåverkan av olika odlingstekniker*, som exempelvis öppen kassodling.

Resultaten från projektet har även bäring på mål 10 i handlingsplanen, genom att kunskap som kommer många olika aktörer till gagn skapas. En bättre bild av hur sediment bryts ner kommer även att ge oss mer kunskap kring lämpliga lokaler för att lokalisera vattenbruk vilket kan utgöra en hörnsten för fysisk planering med hänsyn till vattenbrukets förutsättningar.

Resultaten från projektet kommer även kunna användas för realiserandet av mål 11, *Informations- och kommunikationsinsatser*. Att generellt höja kunskapsnivån om svenskt vattenbruk är en viktig fråga och frågeställningar rörande just ansamlingar av fekalie- och foderrester dyker ofta upp i dialogen mellan odlare, forskare, myndigheter och allmänheten. En mer detaljerad kunskap kring dessa frågor kommer kunna hjälpa det svenska vattenbruket att tydligt kunna kommunicera kring miljöeffekter från vattenbruket.

2.1 Uppdraget

Syftet med denna undersökning är att bedöma näringsstatus för sedimentet under två fiskodlingslokaler belägna vid Köpmanön och Öberget och potential för återhämtning.

Sveriges lantbruksuniversitet och Sweco Sverige AB har av Jordbruksverket fått i uppdrag att undersöka hur stor del läckagebenägen fosfor, total fosfor (TP), och totalt kväve (TN) som finns i sediment i två kustområden där fiskodling har bedrivits

och ett referensområde. Inkubering av sedimentproppar har också gjorts för att beräkna internbelastning av fosfor och syrgasförbrukning. Resultaten har jämförts med tidigare rapporter, data, och andra informationskällor för att bedöma hur lång tid det skulle ta för återhämtning.

3 Bakgrund

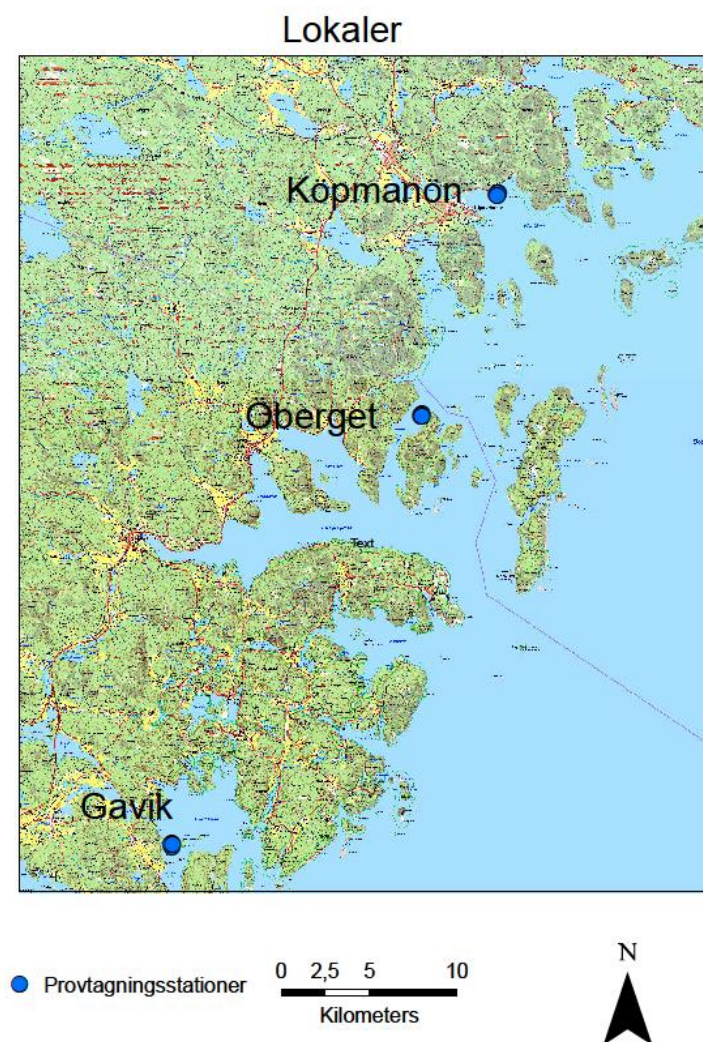
3.1 Deltagande organisationer

Sveriges lantbruksuniversitet – Projektansvarig, provtagning, sedimentanalyser, beräkningar, modellering och rapportering

Sweco Sverige AB – Projektsamordning, provtagning och rapportering

3.2 Lokaler

Samtliga studerade lokaler är belägna längs Höga Kusten i Västernorrlands län (figur 1).



Figur 1. Provtagningslokaler.

3.2.1 Köpmanön

Odlingslokalen är belägen vid Köpmanholmen i Örnsköldsviks kommun och har använts till odling av regnbåge sedan ca 1987. Produktionsmängden av fisk och hur lokalen har nyttjats har varierat över tid. Lokalen ligger i Nätrafjärden och i Köpmanholmen har det historiskt funnits sågverksverksamhet, sulfit- och sulfatfabrik samt en kloralkalifabrik. Nätrafjärden betraktas generellt som förorenad från dessa historiska verksamheter och i fjärden återfinns även en större så kallad fiberbank. Undersökningar av den aktuella odlingslokalen visar att stockar ligger på botten och det är inte osannolikt att bark- och fiberrester återfinns på bottarna i närområdet. Vattendjupet vid aktuell lokal är ca 21-36 meter.

Under 1980 och -90-talet hade verksamheten tillstånd till produktion av 400 ton fisk årligen. Från 2009 fick 600 ton fisk odlas årligen vilket motsvarar en ungefärlig foderförbrukning om 720 ton/år. Från och med 2016 har lokalen enbart använts till vinterförvaring. Fiskodlingsverksamheten avvecklades under 2020. Det ska noteras att har fiskodlingen har förbättrats under tiden med bättre föderteknik (t.ex. mindre fosfor), bättre genetik, m.m.

3.2.2 Öberget

Odlingslokalen ligger i Mjältöfjärden i Kramfors kommun och har använts till odling av regnbåge från år 2008 till avveckling 2020. Produktionsmängden har varierat något mellan år men tillståndet omfattade inledningsvis 600 ton fisk årligen vilket motsvarar en foder mängd om ca 690 ton foder per år som utfodrats. Från år 2014 tillät miljötillståndet en förbrukning om 530 ton foder årligen. Vattendjupet vid lokalen är ca 45-50 meter.

3.2.3 Gavik

Referenslokalen i Gavviksfjärden valdes ut baserat på att där finns områden med liknande djupförhållanden som de aktuella fiskodlingslokalerna samt att Gavviksfjärden är att betrakta som mindre påverkad. Området har även använts som en referenspunkt historiskt för andra typer av undersökningar. Vattendjupet vid lokalen är ca 40-44 meter.

3.3 Provtagning

Fem sedimentproppar togs med en Wilner-hämtare från fiskodlingslokalerna vid Köpmanön och Öberget, samt en referenslokal vid Gavik (15 proppar totalt) för kemisk analys den 28:e t.o.m. den 30:e september 2020 (se kartor 4A och B längre ner för provpunkter). Några representativa bilder av propparna finns i Bilaga 2.

Vattendjupet noterades vid varje provtagningspunkt och profilmätningar för syrgas, temperatur, och andra variabler gjordes varje halvmeter med en multimeter/aquatroll för att fastställa att vattenmassan inte var skiktad och att maximal andel läckagebenägen fosfor fanns bunden i sedimentet. Sedimentpropparna (förutom de som inkuberades) skiktades omedelbart och skikten från 0-2, 2-4, 4-6, 6-10, 10-15, 15-20 och 20-30 centimeters djup sparades. Vid ett antal provtagningspunkter var det

inte möjligt att utta tillräckligt djupa proppar, detta gällde framförallt för referenslokalen (se Bilaga 1). Provpunkternas lägen redovisas med koordinater i Bilaga 1. Provtagningen utfördes av Sveriges lantbruksuniversitet och Sweco Sverige AB.

3.4 Analyser

I en fraktionerad fosforanalys extraheras olika former av fosfor ur provet i olika steg: H₂O-P (porvatten och löst bunden/lätt löslig fosfor), BD-P (järnbunden fosfor), NaOH-P (aluminiumbunden fosfor), NaOH org-P (organisk fosfor) och HCl-P (kalciumbunden fosfor). Metoden finns ursprungligen beskriven av Psenner et al. (1988) och har modifierats av Hupfer et al. (1995). Läckagebenägen fosfor i sedimenten återfinns i huvudsak i de tre fraktionerna (1) löst bunden fosfor, (2) järnbunden fosfor, och (3) organisk fosfor. Totalfosfor analyserades också i samtliga proppar. Den löst bundna fosfor är direkt tillgänglig i vattenmassan, medan järnbunden fosfor kan bli lättillgänglig när syrgashalten understiger ca 2 mg/L. Dessa två fraktioner kallas också för ”mobil” fosfor. Alla koncentrationer presenteras beräknat utifrån sedimentets torrsvikt.

Organisk fosfor frigörs från organiskt material under nedbrytning och blir sedan en del av den mobila fosforfraktionen. Processen tar tid, från veckor till år. Organisk fosfor anses också vara labil eller lättlöslig, men en svårnedbrytbar rest av denna fraktion blir kvar i de djupare skikten. Dessa bakgrundskoncentrationer subtraheras från de högre halterna i de ytligare sedimentlagren för att beräkna mängden läckagebenägen organisk fosfor. Andelen labil organisk fosfor var ca. 80% för sediment som hämtades vid fiskodlingslokalerna.

Vattenhalt och halten organiskt material i sedimenten kvantifierades enligt Håkanson och Jansson (1983). Proverna frystes under 24 timmar (-20 °C) och frystorkades sedan. De torra proverna brändes i en muffelugn (550 °C) i två timmar och mängden sediment som förbrändes motsvarar mängden organiskt material i sedimenten. Dessa data användes för att beräkna koncentration (torrsviktsbasis), sedimentdensitet, och fosformassa. Total kvävehalt, TN (ISO13878:1998) i sedimentproverna analyserades av Inst. för Mark och Miljöes mark och växtnärlaboratorium på SLU.

Potentiell internbelastning av fosfor uppskattades med hjälp av en empirisk modell (Pilgrim et al. 2007) där mobil fosformassa i de översta sedimentlagren används för att beräkna maximal internbelastning.

3.5 Inkubering av proppar

Tre sedimentproppar från de tre lokalerna (nio totalt) inkuberades i drygt en månad under både oxiska (syrgasrika) och anoxiska (syrgas fattiga) förhållanden. Alla rör hade ca 20 cm sediment och ca 25 cm överliggande vatten. Syrgas tillsattes till vattnet i alla rör med syresten i en dag. Vattnet provtogs från alla rör i två veckor och sedan tillsattes ren mineralolja och vattnet provtogs ytterligare två veckor för att kunna beräkna internbelastning av fosfor under både oxiska och anoxiska förhållanden. Vattnet i alla rör omblandades dagligen för att bryta upp skiktning som

kan uppstå under inkubering och alla rör förslöts med gummioproppar för att minska risk för kontaminering. Syrgashalten mättes (och kalibrerades mot temperatur) med en Presens optisk elektrod med sensorpunkter på insidan av rören. Vattenprover togs regelbundet och analyserades för total fosfor, TP för att kunna beräkna internbelastningshastigheten av fosfor.

4 Resultat

4.1 Vatten

Koncentrationen av syrgas minskade från vattenytan ned till bottenvattnet vid samtliga undersökta lokaler, men var fortfarande hög vid alla provtagningsstationer under september 2020 (tabell 1). Koncentrationerna vid båda anläggningarna var nära konstant från ytan till bottenvattnet, med en endast något större variation för lokalen vid Öberget (tabell 1 samt figur 2).

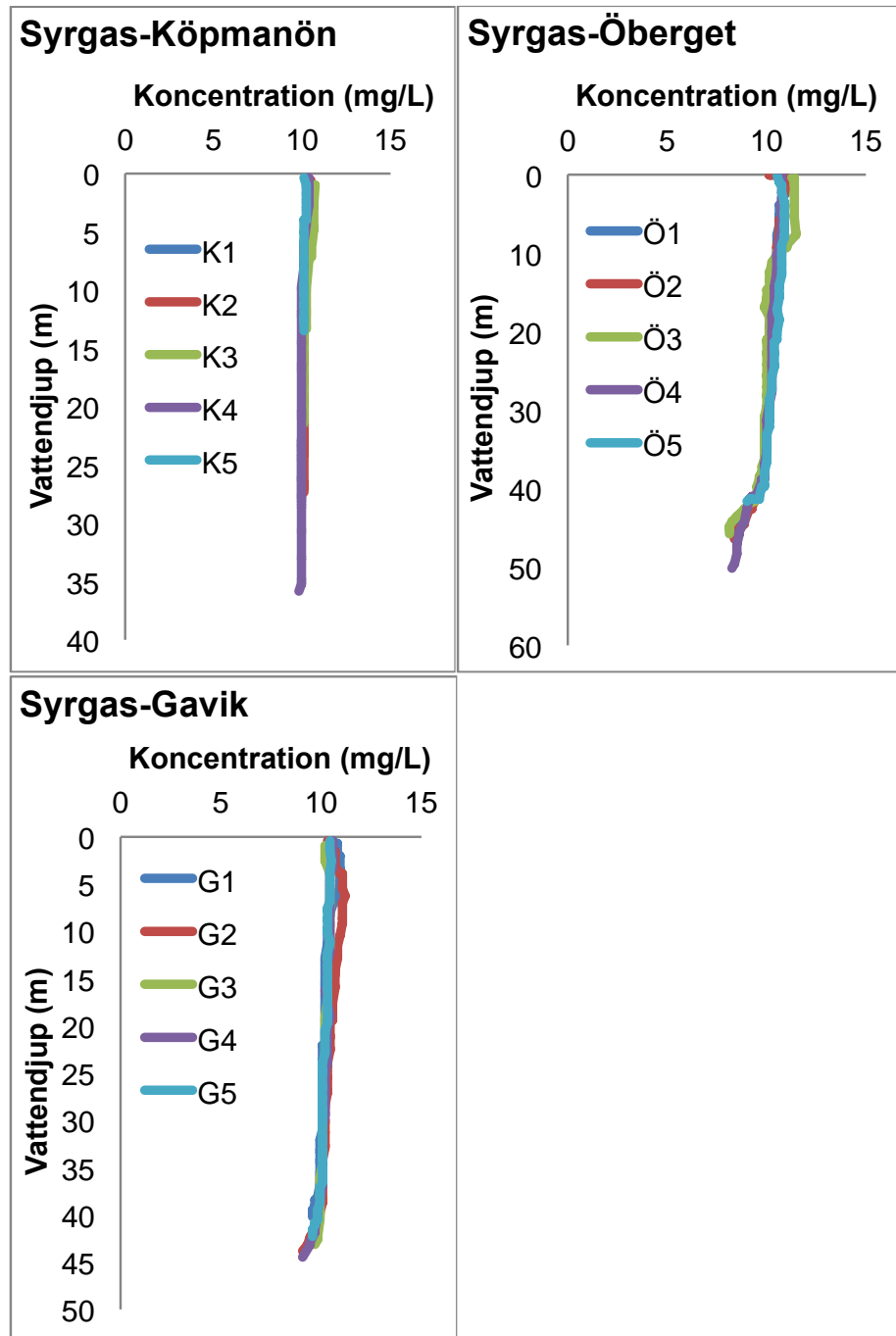
Tabell 1. Minimal och maximal koncentration av syrgas i vattenpelaren (yt- till bottenvattnet) vid Gavik, Öberget, och Köpmanön

	Syrgaskoncentration (mg/L)		
	Gavik	Öberget	Köpmanön
Minimum	9,1	8,3	9,8
Maximum	11,2	11,5	10,7

Temperaturprofilerna visade att provtagningslokalerna var svagt skiktade (tabell 2), men som nämndes ovan var syrgashalterna fortfarande höga. Det var kallast i bottenvattnet vid en provpunkt vid Öberget på 50 meters vattendjup (4,7 °C), men för de övriga provtagningspunkterna vid denna lokal var temperaturen mellan 6 och 8 °C (tabell 2). Vattnet var varmare vid ytan och blev kallare med djupet vid alla lokaler. Samtliga data finns i Bilaga 1.

Tabell 2. Minimal och maximal temperatur i vattenpelaren (yt- till bottenvattnet) vid Gavik, Öberget, och Köpmanön

	Temperatur (°C)		
	Gavik	Öberget	Köpmanön
Minimum	6,4	4,7	7,7
Maximum	10,4	10,7	11,2



Figur 2. Syrgaskoncentrationer vid Köpmanön, Öberget, och Gavik under provtagning i september 2020.

4.2 Sediment

Vattenhalt och procent organiskt material för sedimentproverna från odlingslokalerna liknade sediment från eutrofa, näringsrika sjöar. Medelvattenhalten i det aktiva sedimentdjupet var 87,8 % (minimum och maximum, 86,7 – 88,9 %) i sediment från Köpmanön och 91,6 % (91 – 92,3 %) i sediment från Öberget. Procent

organiskt material i det aktiva djupet var högst i sedimentet från Öberget med 41,9 % i medelvärde (30,2 – 52,5 %). Procentsatsen var också hög även i sedimentet från Köpmanön (medelvärde 30,7 %; 24,6 – 37,8 %). Dessa värden tyder generellt på att sedimenten hämtades från ackumulationsbottnar (Håkanson och Jansson 1983). Medelvattenhalt och procent organiskt material i sedimentet från Gavik var 52,2 % (45,6 – 59,1 %) respektive 3,9 % (2,7 – 4,9 %). Dessa lägre värden tyder på att sediment hämtades från transportbottnar (Håkanson och Jansson 1983). Samtliga analysresultat redovisas i Bilaga 1.

4.2.1 Totalfosfor

De flesta prover från sedimenten under de fiskodlingsanläggningarna bedöms som höga eller mycket höga avseende totalfosforkoncentrationer (tabell 3). Hela andelen av total fosfor var låga i sediment från referenslokalen. Total fosfor driver dock inte internbelastningen, utan det är bara de rörliga fraktionerna av fosfor (mobil och labil organisk fosfor) som bidrar till internbelastning och påverkar vattenkvaliteten negativt.

Tabell 3. Totalfosforkoncentrationer (medelvärdet av de översta 6 cm sediment) i sediment från Köpmanön, Öberget, och Gavik. Klassificering enligt Olofsson 2003.

Station	Koncentration av totalfosfor (mg/g)				
	1	2	3	4	5
Köpmanön	8,3	25,7	8,7	8,6	13,1
Öberget	8,5	11,3	8,3	3,9	7,9
Gavik	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2

< 1,5	1,5 - 2,0	2,1 - 3,0	3,1 - 4,0	> 4,0
Mycket låg	Låg	Måttlig	Hög	Mycket hög

4.2.2 Fosforfraktioner

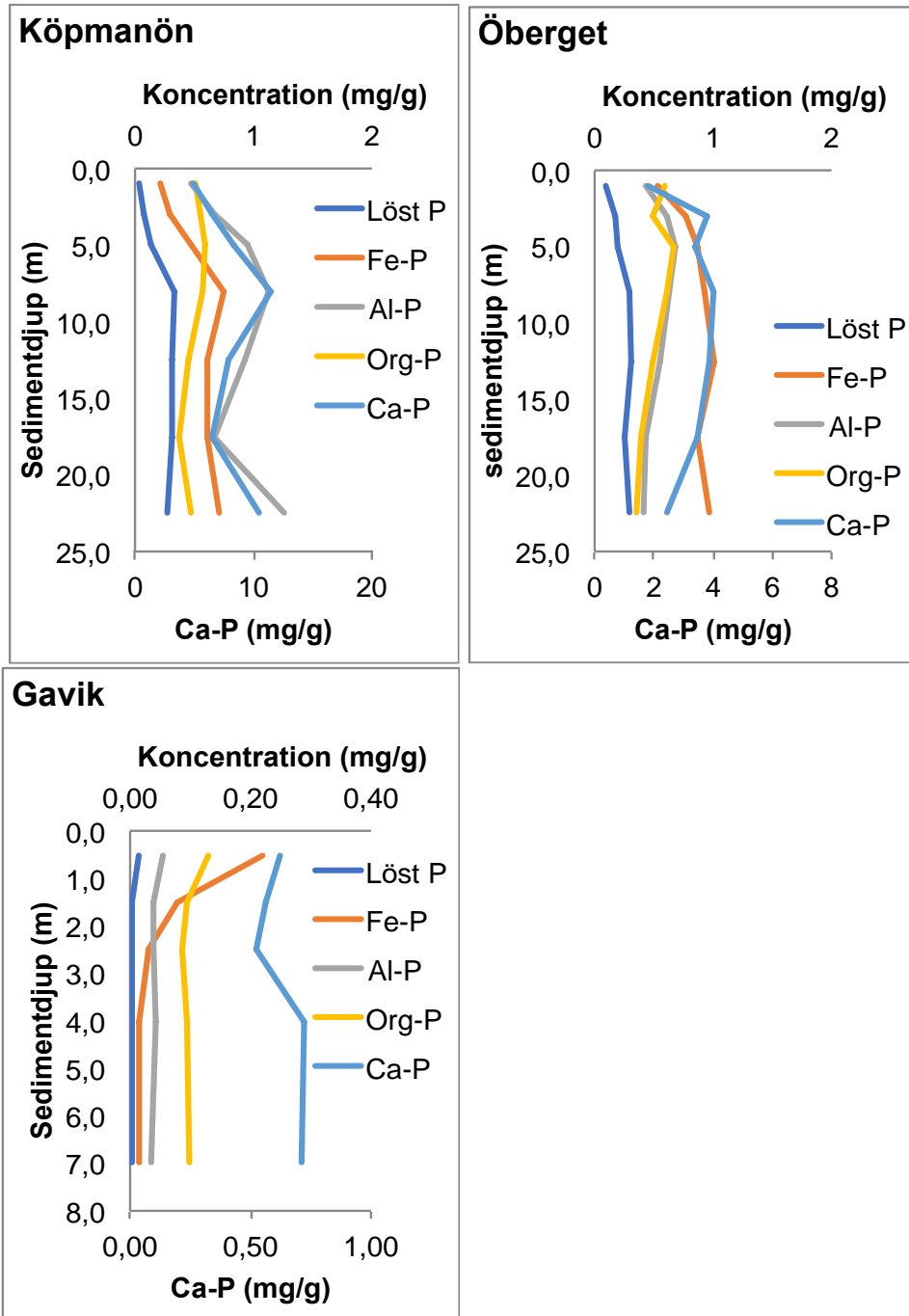
Löst bunden fosfor/porvatten och järnbunden fosfor frigörs under syrgasfattiga förhållanden. Dessa två fraktioner kallas, som tidigare nämnts, för mobil fosfor eftersom de bidrar direkt till internbelastning. Genom att undersöka löst bunden fosfor/porvatten och järnbunden fosfor i de översta centimetrarna av sedimenten (0-4 cm, Huser and Pilgrim 2014) kan den potentiella internbelastningen av fosfor under maximal påverkan också beräknas (t.ex. vid syrgasbrist och höga temperaturer).

Aluminiumbunden fosfor (Al-P), kalciumbunden fosfor (Ca-P), och restfosfor (rest-P) anses generellt som stabila former av fosfor i sediment (Psenner et al. 1988). Den största andelen av fosfor i sedimenten från alla lokaler förekommer som Ca-P (figur 3). Andra icke läckagebenägna fosforformer som också var förhöjda var Al-P och rest-P. Läckagebenägna former (löst bunden P, Fe-P, och org-P) var också förhöjda (figur 3).

Organisk fosfor (Org-P) kan också frigöras, men endast efter nedbrytning. Denna nedbrytningsprocess sker vanligtvis naturligt över tid, varför koncentrationen av denna form minskar med ökande sedimentdjup (ökande ålder på sedimentet).

Minskningen av koncentrationen indikerar att den frigörs till vattnet (d.v.s. den betraktas som labil eller läckagebenägen).

Samtliga koncentrationer av fosforfraktioner i sediment som hämtades från Köpmanön och Öberget var förhöjda jämfört med de sediment som hämtades från Gavik (figur 3). Både labila (läckagebenägen) och icke labila former av fosfor var förhöjda i sediment från fiskodlingslokalerna, fast det fanns en minskande trend i de översta få sedimentlager (0-4 cm), särskilt i sediment från Köpmanön.



Figur 3. Medel fosforfraktioner i sediment från Köpmanön, Öberget, och Gavik. Observera att koncentrationen för alla fraktioner, förutom kalciumbunden fosfor (Ca-P), finns på den övre x-axeln medan koncentration av Ca-P finns på nedersta x-axeln.

En rest av mobila och organiska fosforfraktioner finns dock kvar även i djupare skikt. I dessa djupare sedimentskikt stabiliseras organisk fosfor kring en lägre halt

vilket indikerar att frigörelse av fosfor har upphört och att enbart inerta fosforformer finns kvar. Denna stabilisering sker oftast vid ett sedimentdjup som överskrider 4 till 10 cm. Under vissa omständigheter sker denna stabilisering först vid ännu större djup (>10 cm). Detta kan inträffa exempelvis när bottenlevande fisk (t.ex. karpfiskar) finns i stora mängder som stör bottenlagret, vindpåverkan är stor (grunda områden), eller om vatten- och organisk halt i sedimentet är hög. Det djup där mobil fosfor stabiliseras anses vara det *aktiva sedimentdjupet*, det vill säga den delen av sedimentet som interagerar med vattenmassan och som används för att beräkna mängden fosfor i det aktiva djupet (enhet g/m²). Mängden fosfor som finns i det aktiva djupet summeras för att beräkna den totala massan som potentiellt över tid har en påverkan på internbelastningen.

Det aktiva djupet (medelvärde) i sediment hämtat från Köpmanön och Öberget var relativt likartade (16,7 respektive 15,1 cm) medan det var betydligt mindre i sediment från Gavik (3 cm) p.g.a. det endast fanns ca. 3-5 cm av organiskt rikt sediment ovan lerbotten i Gavik.

Massan av läckagebenägen fosfor (mobil fosfor och labil organisk fosfor) i det aktiva djupet summerades för alla proppar. Medelvärdet för sediment från Köpmanön och Öberget var liknande och totalt fanns det 27,9 respektive 28 g/m² läckagebenägen fosfor i det aktiva lagret, men med en stor variation mellan provtagningspunkterna med mest fosfor nära mitten av fiskodlingsanläggningarna (figur 4A och B, tabell 4). I Gavik fanns det 2,4 g/m² läckagebenägen fosfor i det aktiva lagret.

Tabell 4. Läckagebenägen fosfor i det aktiva sedimentlagret vid lokalerna Köpmanön och Öberget.

Lokal	Läckagebenägen fosfor	
	Medel	Intervall
	(g/m ²)	
Köpmanön	27,9	11,6 -49,9
Öberget	28,0	7,6 -53,7
Gavik	2,4	1,4 -4,3



Figur 4A. Modellerat läckagebenägen fosfor i det aktiva sedimentlagret vid Köpmanön. Inkuberingsproppar hämtades från K1-K3.

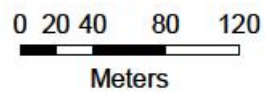


**Läckagebenägen P_Ö
(g/m²)**

- 7,7 - 16,9
- 17,0 - 26,1
- 26,2 - 35,3
- 35,4 - 44,5
- 44,6 - 53,7

● Provtagningsstationer_Ö

Öberget



Figur 4B. Modellerat läckagebenägen fosfor i det aktiva sedimentlagret vid Öberget. Inku-beringsproppar hämtades från Ö1-Ö3.

För att beräkna överskottet av läckagebenägen fosfor i sediment hämtade från Köpmanön och Öberget, subtraherades bakgrundsvärdet av referenslokalen (Gavik, 2,4 g/m²) från de beräknade värdena från och odlingslokalerna. Sedan multiplicerades dessa värden med arean av påverkansområdet för att uppskatta hela överskottet av fosfor i sedimenten (tabell 5). Påverkansområdet bedömdes vid en undersökning med Side scan sonar 2018 vid odlingslokalerna. Överskottet av läckagebenägen fosfor var mellan 0,5 och 0,6 ton för påverkansområdena vid Köpmanön respektive Öberget.

Tabell 5. Läckagebenägen fosfor (LBP) i det aktiva sedimentlagret vid lokalerna Köpmanön och Öberget.

Lokal	Area (m ²)	LBP (ton)
Köpmanön	19000	0,5
Öberget	25000	0,6

4.2.3 Kväve

De flesta prover från sedimenten under de fiskodlingsanläggningarna bedöms som höga eller mycket höga avseende koncentrationer av totalt kväve (tabell 6). Andelen av totalt kväve var låga i sediment från referenslokalen jämfört med fiskodlingslokalerna. Samtliga analysresultat avseende totalkvävehalter redovisas i Bilaga 2.

Tabell 6. Totalkvävekoncentrationer (medelvärde av de översta 6 cm sediment) i sediment från Köpmanön, Öberget, och Gavik.

Station	Koncentration av totalkväve (mg/g)				
	1	2	3	4	5
Köpmanön	13,0	21,3	13,5	10,1	13,3
Öberget	22,8	26,1	18,2	8,6	16,7
Gavik	1,8	1,2	1,7	1,6	2,4

4.3 Inkuberingsförsök

Tre proppar från varje provtagningslokal inkuberades från oktober till tidigt i november 2020. Inledningsvis under försöket var inga av provtagningsrören förslutna så att syrgas från luften fritt kunde diffusionera till vattnet, dock uppstod ändå anoxiska förhållanden i vattnet i rör med sediment från Köpmanön och Öberget. När diffusion av syrgas i vattnet förhindrades med hjälp av mineralolja på vattnets yta (d.v.s. att ingen syrgas kunde diffusionerna från luften till vattnet), varierade syrgasförbrukningen mellan 0,71 och 1,32 g/m²/d för sediment från Köpmanön

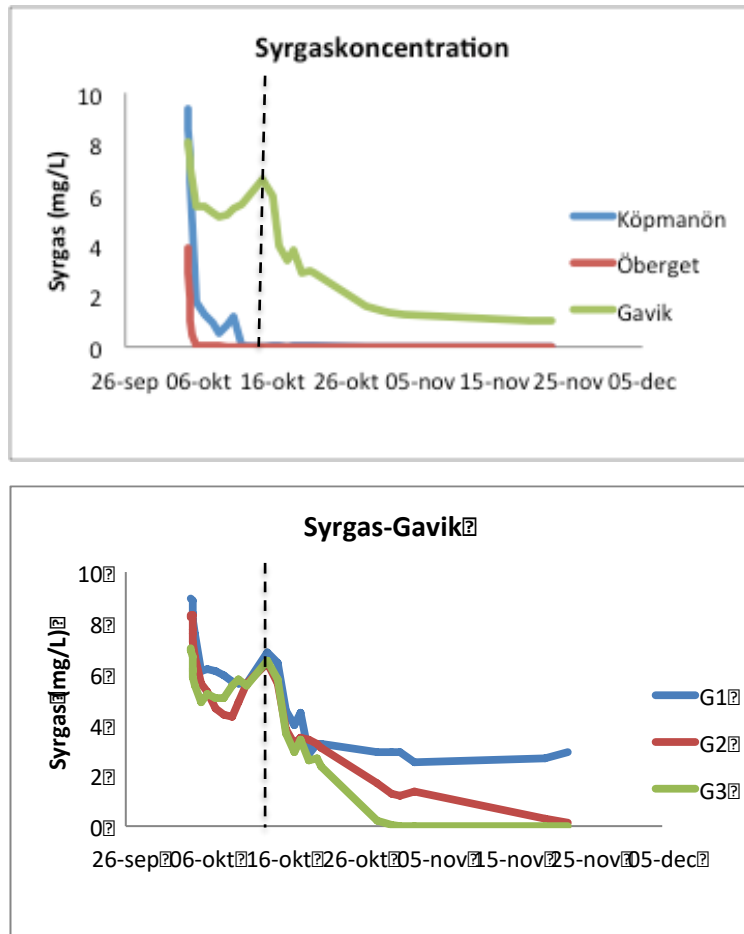
samt mellan 1,09 och 3,71 g/m²/d för Öberget. Dessa värden kan jämföras med syrgasförbrukningen för sediment från Gavik som varierade mellan 0,05 och 0,14 g/m²/d (tabell 7).

Tabell 7. Syrgasförbrukning av sediment i tre proppar från Gavik, Öberget, och Köpmanön
Syrgasförbrukning (g/m²/d)

Station	Propp	Anoxiskt	Medelvärde
Gavik	G1	0,05	0,08
	G2	0,05	
	G3	0,14	
Öberget	Ö1	1,09	2,68
	Ö2	3,71	
	Ö3	3,25	
Köpmanön	K1	1,32	1,11
	K2	1,29	
	K3	0,71	

När luftning med syresten genomfördes för att syresätta rören innehållande sediment från fiskodlingslokalerna observerades en tendens att sedimentet flyttades något uppåt. Detta p.g.a. att gasbubblor bildades i sedimentet p.g.a. hög produktivitet och att propparna hämtades från ett stort djup med ett högre tryck. Kombinationen av dessa faktorer ökade risken för att sedimentet skulle flyttas uppåt i rören. Beslut togs att inkubera dessa rör under anoxiska förhållanden både för att försäkra att sedimentpropparna inte skulle störas samt att det troligtvis finns anoxiska förhållanden vid gränssytan mellan sediment och vatten. Rör med sediment från Gavik inkuberades under både oxiska och anoxiska förhållanden, dock understeg inte syrgas i rör G1 2 mg/L under hela försöket, vilket tyder på en låg syrgasförbrukning. G1 var den grundaste propp som hämtades från Gavik.

Syrgashalten minskade i alla rör över tid. Halten sjönk snabbast i rör med sediment från Öberget, och långsammast i rören från Gavik (figur 5).



Figur 5. Koncentration av syrgas i vattnet ovan sedimentet från Köpmanön, Öberget, och Gavik. Översta figuren visar medelvärden av tre proppar från Köpmanön och Öberget och den nedersta figuren visar separata värden för alla tre proppar hämtade från Gavik. De streckade linjerna visar när mineralolja applicerades för att förhindra diffusion av syrgas från luften till vattnet.

4.3.1 Internbelastning av fosfor

Läckage av fosfor följde samma trend som syrgashalten med högst läckage från sediment hämtade från Öberget och minst läckage från sediment hämtade från Gavik (tabell 8).

Tabell 8. Internbelastningshastighet för fosfor (Li) från sediment från Gavik, Öberget, och Köpmanön. Notera att delar av sedimentet i rör Ö2 från Öberget flöt upp till ytan under transport till laboratoriet. Endast sediment från Gavik inkuberades under både oxiska och anoxiska förhållanden.

Li (mg/m ² /d)				
Station	Propp	Medel	Oxiskt	Anoxiskt
Gavik	G1	0,37	0,00	0,62
	G2	1,33	0,79	1,90

Institutionen för vatten och miljö

	G3	0,67	0,76	0,48
Öberget	Ö1	21,5		21,5
	Ö2	41,9*		41,9
	Ö3	23,1		23,1
Köpmanön	K1	17,7		17,7
	K2	16,8		16,8
	K3	10,1		10,1

*Sediment flyttades uppåt under transport

Medelhastigheter för läckage av fosfor från sediment i Gavik, Öberget, och Köpmanön var 0,8, 22,3 respektive 14,9 mg/m²/d. Det ska noteras att en av propparna inte inkluderades i beräkning (Ö2) eftersom sedimentet flyttade uppåt under transport och tvingades nedåt vid försökets start. Detta hade en tydlig grumlingseffekt på vattnet i röret (vattnet blev ljusbrunt) och troligtvis påverkade detta även läckage av fosfor.

Potentiell internbelastning beräknades också med den empiriska modellen av Pilgrim et al. (2007) med hjälp för massan av mobil fosfor (porvatten, löslig och järnbunden fosfor) i de översta sedimentlagren (0-4 cm). Det finns vissa skillnader mellan sediment under fiskodlingsanläggningar och sjöar som den empiriska modellen baserats på. Både vattenhalt och organiskt material var generellt högre i sedimentet under odlingslokalerna. Organiskt material innehåller också fosfor (org-P) men den formen tas ingen hänsyn till i modellen. Läckage från denna fosforform uppskattades därför till 10 % per år i detta försök.

Dessutom kan en högre vattenhalt tyda på att ett större sedimentdjup bidrar till internbelastning av fosfor. Därför har vi utökat djupet som beräknas bidra direkt till sedimentläckage av fosfor till 6 cm (från 4 cm). Inkludering av organisk fosfor hade liten effekt på internbelastningshastighet (Li), medan ett ökat läckagedjup gav noterbart högre hastigheter för internbelastning (tabell 9).

Tabell 9. Potentiell internbelastningshastighet för fosfor baserats på modellen av Pilgrim et al. (2007) för bara mobil fosfor och för både mobil och organisk fosfor (org-P). Intervallerna visar skillnaden mellan om de översta 4 eller 6 cm användes i beräkningen. Skiktet 0-6 cm gav högre hastigheter av internbelastning av fosfor än 0-4 cm.

Lokal	Li (mobil P)	Li (mobil + org-P)
(mg/m ² /d)		
Köpmanön	4,7-6,5	5-6,8
Öberget	8,7-10,4	9,1-10,8

Oavsett vilken metod som användes för att uppskatta potentiell internbelastning var alla siffror lägre än uppmätta hastigheter.

5 Diskussion

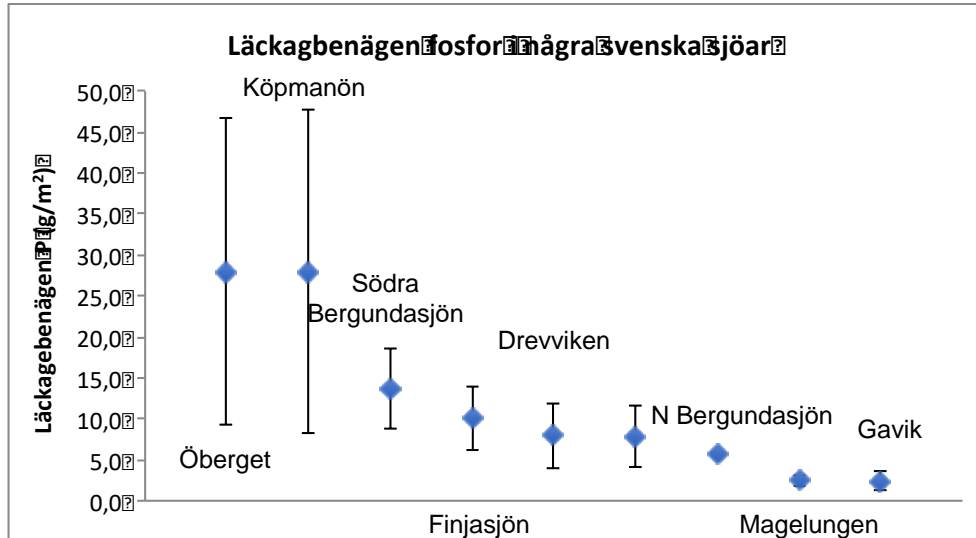
Fiskodlingsverksamhet har tydligt påverkat sedimentet under odlingsanläggningarna vid Köpmanön och Öberget. Näringsämnen och organiskt material har lett till en ökad syrgasförbrukning och läckage av näringsämnen (fosfor) från sedimentet. Påverkan på vattenkemin i viken är inte lika tydlig och mätning av syrgas i vattnet under provtagning har inte påvisat någon större effekt av fiskodling jämfört med referenslokalen. Syrgas minskade något nära sedimentet vid Öberget och Gavik men inte vid Köpmanön. Dessutom var vattenpelare vid Öberget svagt skiktad så en minskning av syrgas med vattendjup skulle förväntas, vilket förhindrar diffusion av syrgas till bottenvattnet.

5.1 Läckagebenägen fosfor i sedimenten

Jämfört med referenslokalen Gavik, var mängden läckagebenägen fosfor drygt 10 gånger högre i sediment under fiskodlingsanläggningarna vid Öberget och Köpmanön (tabell 4). Totalt finns det ett överskott av mellan 0,5 och 0,6 ton fosfor i det aktiva lagret som potentiellt kan frigöras från sediment över tid vid Köpmanön respektive Öberget. Detta kan ställas i relation till data från SMHI:s vattenwebb (<https://www.smhi.se/data/hydrologi/vattenwebb>). Exempelvis är summan av alla källor av fosfor tillskott i Nätrafjärden där Köpmanön är belägen är drygt 28 ton/år och i Mjältöfjärden där Öberget ligger drygt 9,5 ton/år ("Total belastning").

5.1.1 Jämförelse med referenslokalen och andra system

I figur 6 jämförs mängden läckagebenägen fosfor i sediment från Öberget, Köpmanön, och Gavik med ett fåtal andra vattenförekomster i Sverige. Läckagebenägen fosfor i sediment från Öberget och Köpmanön är högre än mängden som finns i sjöar som klassas som mycket näringsrika medan sediment från Gavik liknar sediment från sjöar som är måttligt näringsrika. En central skillnad mellan dessa lokaler är att sedimenten från fiskodlingslokalen kan anses vara direkt påverkade från en verksamhet medan de andra systemen står under en mer generell näringspåverkan/eutrofiering.



Figur 6. Mängden läckagebenägen fosfor i sediment från Köpmanön, Öberget, Gavik, och ett fåtal sjöar i Sverige. Södra Bergundasjön anses som mycket näringsrik när det gäller vattenkvaliteten, Finjasjön till Norra Bergundasjön som näringsrika, och Magelungen som måttlig näringsrik. Data från de andra sjöarna kommer från Huser 2021.

5.2 Syrgasförbrukning

Syrgasförbrukningen var mer än 10 gånger högre för sediment från fiskodlingslokalerna jämfört med Gavik (tabell 6). Värdena från sediment från Öberget (2,7 g/m²/d) och Köpmanön (1,1 g/m²/d) kan jämföras med ett fåtal andra studier som har gjorts med sediment från andra delar av Östersjön. Rahm (1987) rapporterade mellan 0,38 och 0,64 g/m²/d i Bottenviken och Hietanen och Kuparinen (2008) rapporterade mellan 0,17 och 0,37 g/m²/d i Finska viken. Även dessa är betydligt lägre jämfört med syrgasförbrukningen som rapporteras i den här studien, vilket har lett till högre hastigheter för internbelastning av fosfor i inkuberingsförsöket.

5.3 Potential för återhämtning

För att beräkna tiden det skulle ta för sedimentet att återhämta sig med avseende på näringsämnen (fosfor) har överskottet av läckagebenägen fosfor (enhet g/m²) använts i kombination med internbelastningshastigheter (enhet mg/m²/d), både de som beräknades med inkuberingsförsöket (tabell 8) och potentiell internbelastning som beräknades med mobil fosfor i sedimentet (tabell 9).

Uppskattad återhämtningstid är kortare när den beräknade internbelastningen (med uppmätta data) används eftersom hastigheter för läckage av fosfor var betydligt högre jämfört med de som modellerades fram (tabell 10). Återhämtningstid för Köpmanön varierade från 5,1 år (baserat på inkuberingsdata) till 13,2 år (baserat på sedimentmodellen) och den varierade från 3,4 till 7,9 år för Öberget baserat på inkuberingsdata respektive sedimentmodellen.

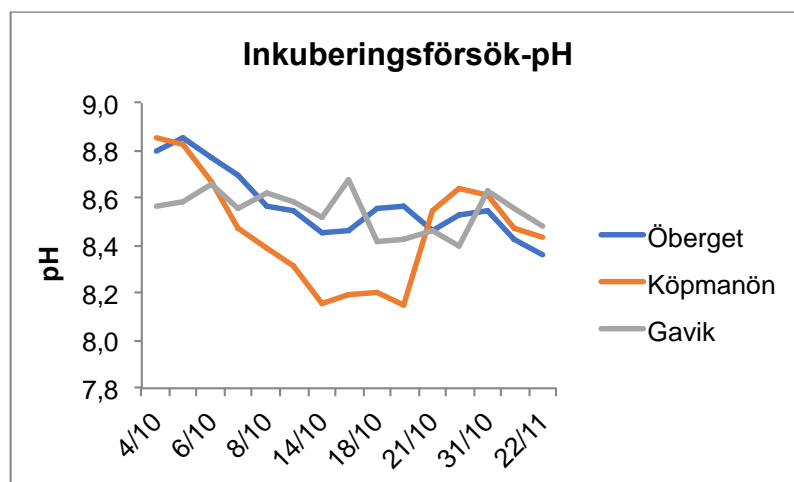
Tabell 10. Uppskattad tid för kemisk återhämtning baserad på hastigheter för internbelastning av fosfor från modellering av mobil fosfor i sediment och läckage av fosfor från sediment under inkubering.

Lokal	Internbelastningshastighet		Återhämtningstid	
	Modell	Inkubering	Modell	Inkubering
	(mg/m ² /d)		(år)	(år)
Köpmanön	5,8	14,9	13,2	5,1
Öberget	9,8	22,3	7,9	3,4

5.3.1 Skillnader mellan sedimentmodellen och uppmätt internbelastning

Det är osäkert varför beräknad internbelastning (inkuberingsförsöket) av fosfor var högre än potentiell internbelastning eftersom potentiell internbelastning skall utgöra en teoretisk maximal hastighet. Modellen baserats dock på sediment från inlandssjöar. Dessutom är mängden av läckagebenägen fosfor och organiskt material i sediment från fiskodlingslokaler generellt högre till mycket högre jämfört med de sjöar som modellen baserats på.

När pH i vattnet överskrider 9 till 9,5 eller underskrider 6 kan det också leda till frigörelse av fosfor från järn- och aluminiummineraler. Det var inte fallet under försöket. pH började på 8,6 till 8,9 och sjönk mellan ca. 0,2 och 0,8 enheter (figur 7). Variationen var högst i vattnet i inkuberingsrören med sediment från Köpmanön, men även här var pH mellan 8 och 9. Det är dock möjligt att en del av Ca-P frigjordes p.g.a. minskningen av pH.

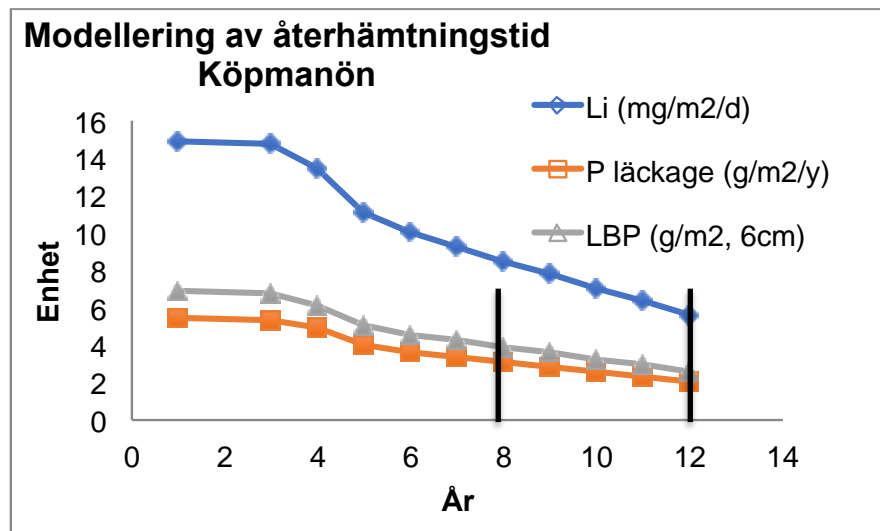


Figur 7. Medelvärden för pH under försöket i inkuberingsrör med sediment från Öberget, Köpmanön, och Gavik.

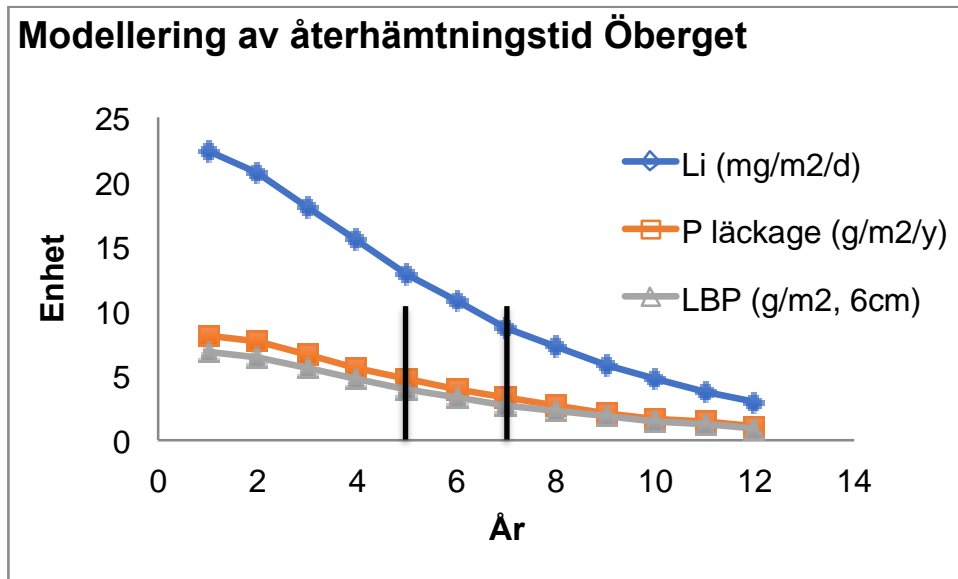
5.3.2 Modellering av återhämtningstid

Eftersom fosfor kommer att minska i sedimenten vid Köpmanön och Öberget över tid, kommer sedimentläckaget av fosfor också att minska. För att ta hänsyn till denna process, har vi skapat en enkel sedimentdiagenes (nedbrytnings) modell. Modellen använder mängden av fosfor som frigörs under ett år, samt uppåtgående diffusion av fosfor från djupare sedimentlager för att beräkna mängden av läckagebenägen fosfor i sedimentet och tillhörande internbelastningshastighet. Läckagebenägen fosfor flyttar uppåt mot sedimentytan kontinuerligt och tar platsen vilken den fosfor som redan har släppts till vattnet har haft, en process som fortgår tills överskottet av läckagebenägen fosfor i djupare sedimentlager har tömts.

Figur 8A och B visar internbelastningshastighet (Li), hur mycket fosfor som läcker från sedimentet varje år (P läckage) och mängden av läckagebenägen fosfor i de översta sedimentlagren (6 cm) för att kunna jämföra med läckagebenägen fosfor i sediment som hämtades från Gavik. Det fanns $2,6 \text{ g/m}^2$ (standardavvikelse = 1,2) läckagebenägen fosfor i de översta sedimentlagren vid Gavik. För att beräkna återhämtningstid har vi använt två slutpunkter som mål, mängden av läckagebenägen fosfor ($2,6 \text{ g/m}^2$) och mängden plus standardavvikelsen ($3,8 \text{ g/m}^2$).



Figur 8A. Internbelastningshastighet (Li), årligt läckage av fosfor (P läckage), och mängden läckagebenägen (översta 6 cm) i sediment från lokalen Köpmanön. Svarta linjerna visar förväntade återhämtningstider enligt data från genomförda försöket och modellen.



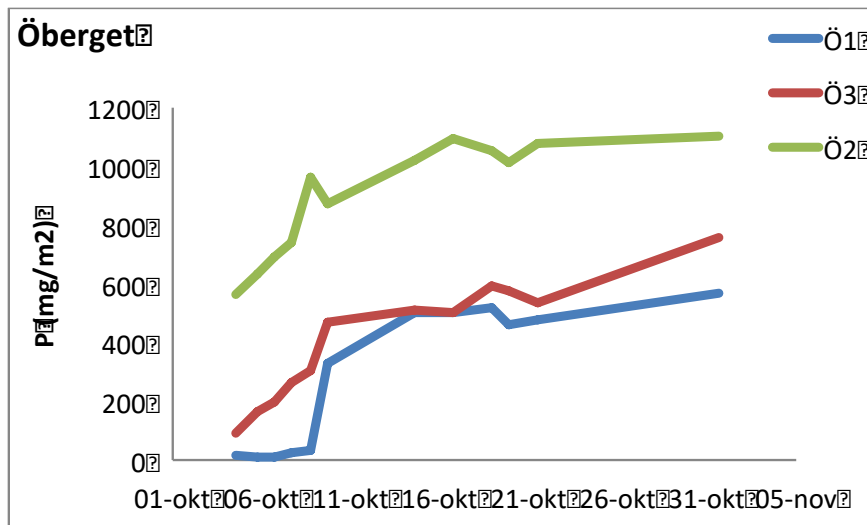
Figur 8B. Interbelastningshastighet (Li), årligt läckage av fosfor (P läckage), och mängden läckagebenägen (översta 6 cm) i sediment från lokalen Öberget. Svarta linjerna visar förväntade återhämtningstider enligt data från genomförda försöket och modellen.

Enligt modellen kommer läckagebenägen fosfor att nå mängden som fanns i sediment vid Gavik om 8 till 12 år för Köpmanön och mellan 5 och 7 år för Öberget. Dessa värden ligger i mellan de uppskattningar från modellerade samt uppmätta värden genom inkuberingsförsök som visas i tabell 10 och är troligtvis mer rimliga eftersom internbelastningshastigheten kommer att variera i framtiden.

5.4 Osäkerheter

Det finns några osäkerheter gällande uppskattningar för återhämtningstid. Först, och kanske viktigast, är temperaturberoendet. Temperaturen i bottenvattnet varierar under säsongerna och ju kallare det blir desto mindre sker nedbrytning av organiskt material i sedimentet. Detta antyder på att syrgashalterna inte minskar lika snabbt och läckaget av fosfor från sediment kan gå långsammare, vilket skulle leda till längre återhämtningstider. Läckage av fosfor från sedimenten kommer att minska mängden som finns i sediment över tid, vilket antyder att hastigheter av läckage av fosfor kommer att minska, vilket också skulle leda till längre återhämtningstider.

En motsatt effekt uppkommer på grund av att vattnet i provtagningsrören inte omblandas i lika stor utsträckning som under naturliga förhållanden i havsvikar och andra vattenförekomster. Detta indikerar att när fosfor frigörs från sediment i rör, bildas högre och högre koncentrationer av fosfor i vattnet. Dessa späds snabbt ut i naturliga vatten, men inte i ett slutet system. Läckage av fosfor från sediment i rör kan minskas p.g.a. jämviktsprocesser, d.v.s. att när det redan finns mycket fosfor i vattnet blir det svårare för ännu mer fosfor i sedimentet att släppas till vattnet. Den här effekten kan ses i figur 9 där koncentrationer av fosfor planar ut under försöket efter en stark ökning. En sådan effekt skulle leda till en underskattning av hastigheter för läckagebenägen fosfor och en överskattning av återhämtningstider.



Figur 9. Ökning av fosfor i vattnet ovan sediment under inkubering av tre proppar som hämtades från lokalen Öberget.

Valet av referenslokalen kan också ha påverkat resultaten. Sediment som hämtades från Gavik skulle klassas som sediment som återfinns på transportbottnar, medan sediment som hämtades från odlingslokalerna skulle klassas som den typen som ligger på ackumulationsbottnar enligt uppmätta data för vattenhalt och organiskt material (Håkanson 1981). Sediment som ligger på transportbottnar har generellt lägre halter av näringsämnen samt mindre sediment, vilket tyder på att mängden (d.v.s massan, g/m^2) läckagebenägen fosfor och andra näringsämnen är lägre jämfört med sediment från ackumulationsbottnar i samma vattenförekomst. Det är därför möjligt att referensvärdet för läckagebenägen fosfor har underskattats och återhämtningstider därför har överskattats.

6 Slutsatser

Sediment under fiskodlingsanläggningar vid Köpmanön och Öberget var betydligt påverkat med höga halter av fosfor och kväve i sedimentet, vilket var förväntat. Syrgasförbrukningen var också förhöjd p.g.a. att det fanns mycket näringsämnen och mycket organiskt material i sedimentet. Påverkan på vattnet i vikarna var däremot inte märkbar och den totala belastningen av fosfor från sedimentläckage under den tiden det tar för återhämtning är betydligt mindre jämfört med den totala belastningen från andra källor till vikarna under bara ett år.

Återhämtning kommer att ske naturligt och ta mellan 5,1 och 13,2 år vid Köpmanön och mellan 3,4 och 7,9 år vid Öberget enligt genomförda försöket och sedimentdiagenesmodellen, med reservation för osäkerheter. Verksamheten vid Köpmanön har bedrivits i 33 år, men från och med 2016 har lokalen enbart använts till vinterförvaring. Anläggningen vid Öberget har varit i bruk under 12 år. Båda anläggningarna avvecklades 2020.

Totala mängden av läckagebenägen fosfor i sedimentet under anläggningarna var mellan 0,5 och 0,6 ton, medan summan av alla källor av fosfor tillskott i Nätrafjärden där Köpmanön är belägen är drygt 28 ton/år och i Mjältöfjärden där Öberget ligger drygt 9,5 ton/år. Den fosfor som finns i sedimentet kommer att frigöras under flera år.

Så vitt författarna vet är det här första studien som har undersökt andelen läckagebenägen fosfor och potential för återhämtning av sediment under fiskodlingsanläggningar. Läckage av fosfor från sedimenten tog kortare tid än väntat, vilket tyder på att återhämtning kan ske snabbare än modeller förutsäger, så länge som andra näringsämnen reagerar på samma sätt som fosfor.

Vidare studier bör genomföras som besvarar frågor rörande temperaturs inverkan, påverkan från olika foder, och hur fiskodling påverkar sediment och vatten i sötvattensmiljöer. Alla dessa faktorer kan påverka ackumulation av näringsämnen invid odlingsanläggningar och potentiell tid för återhämtning, vilka är viktiga faktorer för att välja lämplig lokalisering samt en lämplig odlingsteknik för att bedriva fiskodling.

Referenser

- Hietanen, S och Kuparinen, J. 2008. Seasonal and short-term variation in denitrification and anammox at a coastal station on the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Hydrobiologia* 596:67-77.
- Hupfer M, Gachter R, Giovanoli R. 1995. Transformation of phosphorus species in settling seston and during early sediment diagenesis. *Aquat Sci.* 57(4):305-324.
- Huser, B.J. 2021. Undersökning av läckagebenägen fosfor och rekommendation av aluminiumdosering i västra Riddarfjärden. Sjörestaurering rapport 2021:0301.
- Håkanson L, Jansson M. 1983. Principals of lake sedimentology. Berlin: Springer-Verlag.
- Olofsson, H, 2003, Detaljerad sedimentundersökning i Ryssbysjön, Alcontrol laboratories, Nässjö kommun.
- Pilgrim KM, Huser BJ, Brezonik PL. 2007. A method for comparative evaluation of whole-lake and inflow alum treatment. *Water Res.* 41(6):1215-1224.
- Psenner R, Boström B, Dinka M, Pettersson K, Puckso R, Sager M. 1988. Fractionation of phosphorus in suspended matter and sediment. *Archiv Fur Hydrobiologie Supplement.* 30:98-103.
- Rahm, L. 1987. Oxygen consumption in the Baltic proper. *Limnology and Oceanography* 32(4):973-978.
- Stumm W, Morgan JJ. 1996. *Aquatic Chemistry.* New York: John Wiley and Sons, Inc.

Bilaga 1

Tabell 1. Våttvikt och organiskt material i prover från Köpmanön, Öberget, och Gavik.
Koordinatsystem är SWEREF 99 TM.

Propp	Intervall	X	Y	Vattendjup (m)	H2O% (%)	Org%
K1	0-2	682162	7010507	28	87,3	24,1
	2-4				90,1	34,1
	4-6				89,2	29,4
	6-10				90,2	32,8
	10-15				87,6	25,4
	15-18				86,3	11,8
K2	0-2	682225	7010507	27	90,3	34,5
	2-4				90,3	42,4
	4-6				87,4	36,3
	6-10				87,4	37,4
	10-15				87,3	38,5
	15-20				87,1	36,8
	20-25				84,5	24,7
K3	0-2	682293	7010523	21	86,7	15,7
	2-4				86,7	23,0
	4-6				89,7	42,4
	6-10				89,2	53,5
	10-15				87,2	49,5
	15-19				84,7	42,8
K4	0-2	682221	7010567	36	80,9	14,7
	2-4				87,8	19,3
	4-6				90,5	30,7
	6-10				87,7	33,8
	10-15				65,1	8,2
	15-19				55,7	5,3

Institutionen för vatten och miljö

K5	0-2	682223	7010430	13,5	92,4	23,7
	2-4				90,7	29,0
	4-6				89,0	27,4
	6-10				88,0	26,7
	10-15				87,1	28,5
	15-20				83,3	23,0
Ö1	0-2	677889	6997877	46,5	93,2	36,8
	2-4				93,3	41,3
	4-6				91,9	34,2
	6-10				91,5	45,6
	10-15				92,1	49,0
	15-17				92,0	60,6
Ö2	0-2	677947	6997996	46,5	94,3	37,3
	2-4				91,7	56,3
	4-6				91,7	40,5
	6-10				92,1	57,1
	10-15				91,1	64,5
	15-20				90,8	59,7
	20-24				91,8	52,4
Ö3	0-2	677881	6997958	45,5	93,6	19,3
	2-4				92,1	33,1
	4-6				91,2	48,0
	6-10				90,8	62,5
	10-15				91,4	51,1
	15-20				88,3	27,0
Ö4	0-2	677917	6997927	50	90,2	15,6
	2-4				89,9	17,8
	4-6				89,9	20,9
	6-10				89,8	20,1
	10-15				75,3	6,7

Institutionen för vatten och miljö

	15-20				54,8	4,1
	20-24				44,2	2,9
Ö5	0-2	677960	6997904	41,5	92,2	21,4
	2-4				90,7	33,3
	4-6				91,2	39,6
	6-9.5				89,8	26,6
G1	0-1.5	663727	6973632	40	47,0	2,7
	1.5-3.5				48,6	3,6
	3.5-5.5				58,2	6,0
G2	0-1	663722	6973531	43	54,3	3,7
	1-2				40,7	2,3
	2-4				37,7	2,1
G3	0-1	663723	6973427	43	47,3	2,6
	1-2				46,0	3,5
	2-4				56,2	5,6
	4-5				58,5	5,8
G4	0-2	663663	6973531	44	45,6	2,7
	2-4				40,7	3,8
	4-5				52,5	4,6
G5	0-1	663785	6973534	42	68,6	6,0
	1-2				57,5	4,7
	2-4				51,4	3,9
	4-6				57,7	4,8
	6-8				59,5	4,6

Tabell 2. Fosforfraktioner i sedimentprover från Köpmanön, Öberget, och Gavik

Propp	Intervall	Mobil P	Al-P	Ca-P	Org-P	Total P	Rest-P
K1	0-2	0,22	0,44	4,4	0,5	7,5	2,0
	2-4	0,29	0,62	5,3	0,7	7,5	0,7
	4-6	0,29	0,68	5,2	0,5	9,6	2,9
	6-10	0,45	0,81	7,3	0,6	19,6	10,5
	10-15	0,69	1,10	9,6	0,5	24,6	12,9
	15-18	0,22	0,52	4,1	0,4	7,2	1,9
K2	0-2	0,56	0,84	8,5	0,6	24,4	14,1
	2-4	0,78	1,11	11,2	0,7	29,0	15,3
	4-6	1,16	1,36	11,0	0,6	23,5	9,7
	6-10	1,49	1,44	11,5	0,6	23,9	9,5
	10-15	1,30	1,27	10,5	0,6	24,6	11,4
	15-20	1,15	1,42	10,6	0,6	25,0	11,6
K3	0-2	0,98	1,26	10,5	0,5	20,1	7,2
	0-2	0,14	0,35	3,6	0,4	3,7	0,0
	2-4	0,22	0,46	3,9	0,5	5,4	0,5
	4-6	0,77	0,96	9,3	0,7	16,6	5,0
	6-10	1,79	1,15	13,2	0,6	37,2	21,1
	10-15	2,03	0,89	10,8	0,5	36,0	22,4
K4	15-19	3,00	0,84	12,9	0,4	37,3	21,2
	0-2	0,18	0,28	3,5	0,3	4,6	0,3
	2-4	0,20	0,45	4,0	0,4	6,3	1,2
	4-6	0,61	0,80	9,1	0,7	14,6	3,4
	6-10	1,25	1,23	16,3	0,5	32,3	13,2
10-15	0,08	0,18	1,2	0,1	1,3	0,0	

Institutionen för vatten och miljö

	15-19	0,04	0,09	0,6	0,1	0,7	0,0
K5	0-2	0,20	0,41	5,0	0,7	6,6	0,2
	2-4	0,35	0,75	7,7	0,6	14,7	5,3
	4-6	0,25	0,91	6,4	0,5	17,9	9,9
	6-10	0,47	1,00	9,0	0,5	20,3	9,5
	10-15	0,53	1,19	7,1	0,6	15,7	6,6
	15-20	0,19	0,47	4,3	0,3	6,5	1,3
Ö1	0-2	0,85	0,59	3,0	0,5	8,1	3,2
	2-4	1,20	0,70	5,2	0,6	10,5	3,1
	4-6	0,70	0,47	2,4	0,8	6,6	2,4
	6-10	1,51	0,75	5,5	0,6	16,6	8,4
	10-15	1,69	0,88	6,5	0,8	16,1	6,5
	15-17	1,36	0,68	6,2	0,6	16,4	7,7
Ö2	0-2	0,86	0,60	2,8	0,6	8,1	3,4
	2-4	1,57	0,72	5,6	0,6	15,3	7,2
	4-6	1,16	0,69	3,3	0,8	10,3	4,5
	6-10	1,94	0,81	5,1	0,8	14,9	6,8
	10-15	2,50	0,75	5,3	0,7	18,2	9,6
	15-20	3,10	0,83	6,7	0,6	22,4	12,1
	20-24	2,49	0,80	4,6	0,6	14,6	6,8
Ö3	0-2	0,46	0,32	1,2	0,5	3,5	1,1
	2-4	0,84	0,83	3,2	0,4	9,4	4,2
	4-6	1,14	0,73	4,0	0,7	11,8	5,5
	6-10	1,75	0,68	5,5	0,6	17,1	9,1
	10-15	2,11	0,93	6,6	0,7	20,5	10,7
	15-20	1,10	0,58	3,7	0,5	7,2	1,5
Ö4	0-2	0,45	0,21	0,9	0,6	2,2	0,2
	2-4	0,39	0,27	1,1	0,3	4,0	2,0
	4-6	1,13	0,88	3,3	0,6	5,3	0,0
	6-10	0,43	0,35	1,5	0,4	3,9	1,2

Institutionen för vatten och miljö

	10-15	0,14	0,13	0,7	0,1	1,5	0,4
	15-20	0,05	0,07	0,3	0,1	0,9	0,4
	20-24	0,03	0,05	0,3	0,1	0,7	0,2
Ö5	0-2	0,45	0,40	1,4	0,7	3,4	0,5
	2-4	0,77	0,53	3,7	0,6	8,0	2,6
	4-6	1,13	0,63	4,2	0,5	12,0	5,8
	6-9.5	0,52	0,53	2,4	0,6	6,1	2,3
G1	0-1.5	0,25	0,07	0,7	0,2	1,3	0,1
	1.5-3.5	0,09	0,05	0,7	0,1	1,1	0,1
	3.5-5.5	0,02	0,04	0,8	0,1	0,8	0,0
G2	0-1	0,20	0,05	0,4	0,1	1,1	0,4
	1-2	0,06	0,03	0,5	0,1	0,9	0,3
	2-4	0,03	0,03	0,5	0,1	1,0	0,3
G3	0-1	0,12	0,04	0,9	0,1	1,3	0,1
	1-2	0,04	0,04	0,9	0,1	1,2	0,2
	2-4	0,02	0,05	0,7	0,1	0,8	0,0
	4-5	0,02	0,05	0,8	0,1	0,8	0,0
G4	0-2	0,18	0,04	0,5	0,1	1,3	0,5
	2-4	0,04	0,04	0,4	0,1	1,0	0,5
	4-5	0,04	0,05	0,2	0,1	0,8	0,4
G5	0-1	0,45	0,07	0,7	0,2	1,3	0,0
	1-2	0,19	0,05	0,4	0,1	1,0	0,3
	2-4	0,05	0,04	0,4	0,1	0,9	0,3
	4-6	0,04	0,04	0,4	0,1	0,9	0,3
	6-8	0,03	0,04	0,4	0,1	0,9	0,4

Tabell 3. Totalkväve i sedimentprover från Köpmanön, Öberget, och Gavik.

Propp	Intervall (cm)	Total N (mg/g)
Ö1	0-2	22,0
	2-4	25,4
	4-6	20,9
	6-10	25,7
	10-15	25,4
	15-17	28,0
Ö2	0-2	20,3
	2-4	33,5
	4-6	24,5
	6-10	30,9
	10-15	32,5
	15-20	29,5
	20-24	25,5
Ö3	0-2	8,9
	2-4	17,7
	4-6	28,2
	6-10	32,7
	10-15	27,6
	15-20	13,8
Ö4	0-2	7,2
	2-4	9,0
	4-6	9,5
	6-10	9,0
	10-15	2,9
	15-20	1,7
	20-21	1,2
Ö5	0-2	10,0

Institutionen för vatten och miljö

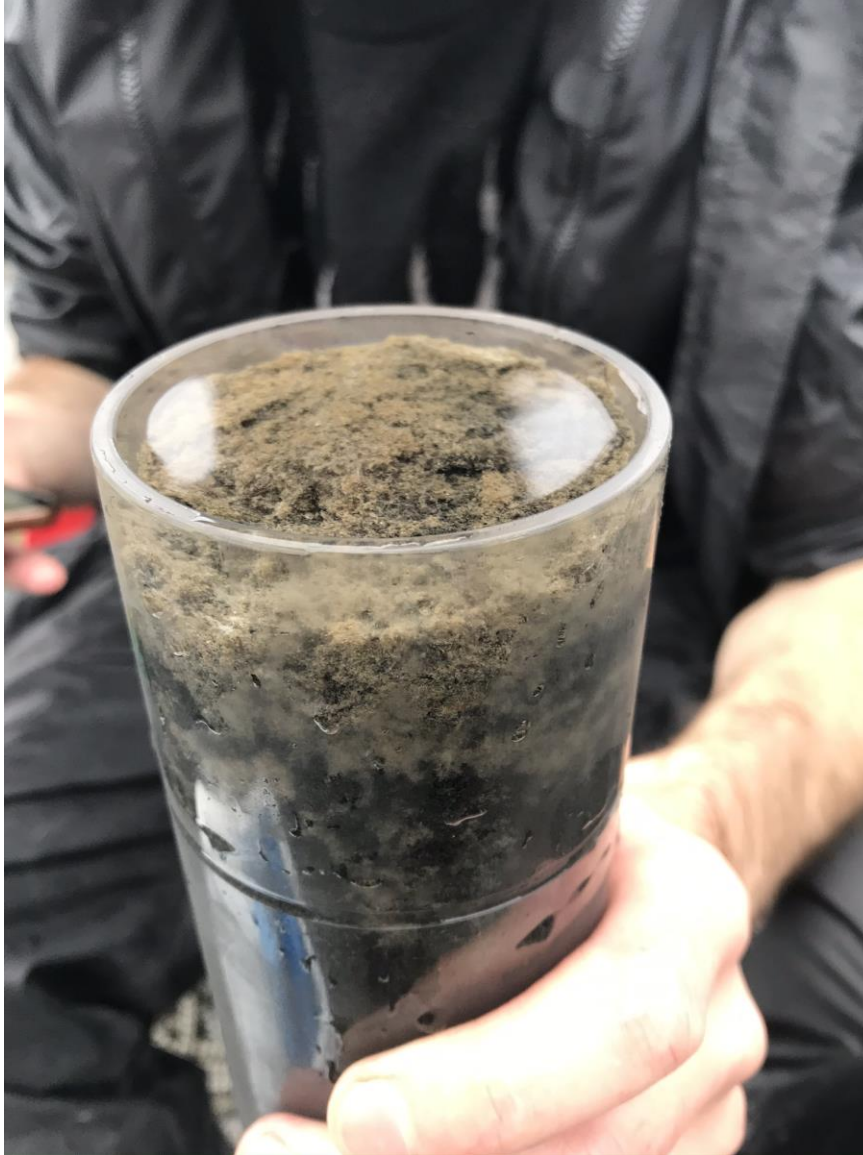
	2-4	17,5
	4-6	22,7
	6-9.5	13,6
K1	0-2	10,6
	2-4	14,8
	4-6	13,6
	6-10	16,5
	10-15	14,6
	15-18	4,4
K2	0-2	18,4
	2-4	21,5
	4-6	23,8
	6-10	24,9
	10-15	25,2
	15-20	24,7
	20-25	17,5
K3	0-2	7,9
	2-4	11,2
	4-6	21,4
	6-10	26,0
	10-15	26,9
	15-19	25,5
K4	0-2	6,8
	2-4	9,0
	4-6	14,6
	6-10	18,0
	10-15	3,0
	15-19	1,7
K5	0-2	11,1
	2-4	14,6

Institutionen för vatten och miljö

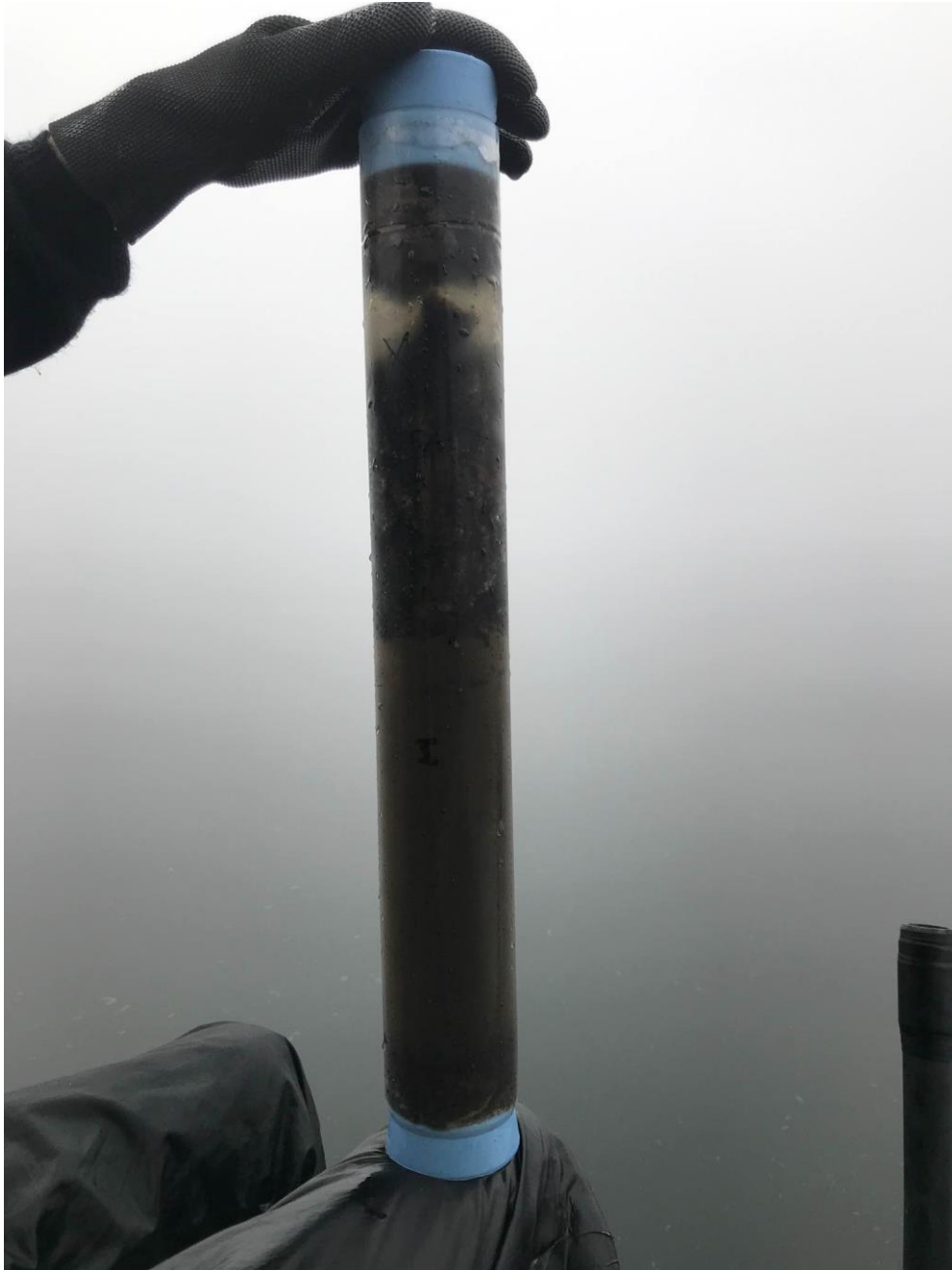
	4-6	14,2
	6-10	15,2
	10-15	18,2
	15-20	8,4
G1	0-1.5	1,2
	1.5-3.5	1,6
	3.5-5.5	2,5
G2	0-1	1,7
	1-2	1,1
	2-4	0,9
G3	0-1	1,2
	1-2	1,5
	2-4	2,3
	4-5	2,5
G4	0-2	1,3
	2-4	1,5
	4-5	2,0
G5	0-1	2,9
	1-2	2,3
	2-4	1,9
	4-6	2,2
	6-8	2,1

Bilaga 2

Bilder av sediment från Köpmanön, Öberget, och Gavk.



Köpmanön



Öberget



Gavik