



Läckagebenägen fosfor i Edsvikens bottnar



Läckagebenägen fosfor i Edsvikens bottnar

Emil Rydin & Ulf Lindqvist

2018-03-02

Rapport 2018:19

Naturvatten i Roslagen AB

Norra Malmavägen 33

761 73 Norrtälje

0176 – 22 90 65

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	4
INLEDNING	5
BAKGRUND.....	5
SYFTE.....	5
METODBESKRIVNING	6
UTBREDNING AV ACKUMULATIONSBOTTNAR	6
PROVTAGNINGSTATIONER	6
DOKUMENTATION OCH SKIKTNING AV KÄRNOR.....	7
SEDIMENT- OCH VATTENKEMISKA ANALYSER.....	8
RESULTAT & DISKUSSION	8
SEDIMENTDYNAMIK	8
VATTENHALT OCH ORGANISK ANDEL.....	9
LÖST FOSFOR I SEDIMENTEN	11
LÄCKAGEBENÄGEN FOSFOR	13
ALUMINIUMBEHANDLING.....	21
DOSERING	22
REFERENSER	25
BILAGA 1. ANALYSDATA SEDIMENT	26
BILAGA 2. LÄCKAGEBENÄGEN FOSFOR	29

Sammanfattning

Denna utredning syftar till att undersöka hur mycket fosfor som finns lagrat i Edsvikens sediment och som kommer att frigöras till vattnet med tiden. Syftet är även att utreda hur en aluminiumbehandling av sedimenten bör utföras för att binda den läckagebenägna fosfor. Utredningen utfördes av Naturvatten AB på uppdrag av Sollentuna kommun.

Den läckagebenägna fosfor i Edsvikens sediment kvantifierades genom beräkningar baserade på fosforhalter i sedimenten. Underlaget utgjordes av data från 15 sedimentkärnor. Fosforackumulerande bottnar på djup större än ca 6 meter, beroende på bottenhårdhet, bestämdes till 2,1 km². Dessa bottnar beräknas hålla nära 12 ton läckagebenägen fosfor, framförallt bunden till organiskt material. Denna fosfor kommer att läcka till vattenmassan efter mineraliseringsprocesser, det vill säga efter nedbrytning av det organiska material till vilket fosfor är bunden. Ytterligare ca 0,5 ton fosfor beräknades ha läckt till bottenvattnet från sedimenten månaderna innan sedimentprovtagningen. Denna fosfor inkluderas i den mängd fosfor som aluminiumdosen baseras på.

Mängden läckagebenägen fosfor uppvisade inget tydligt samband med vattendjupet eller med vikens längdriktning, utan ett medelvärde för Edsvikens ackumulationsbottnar beräknades till 5,5 g P/m². Fosfor i bottenvattnet motsvarar 0,3 g P/m², vilket ger en total mängd läckagebenägen fosfor på 5,8 g P/m², vilket är mindre än i den närliggande Brunnsviken. Mängden aluminium som skulle krävas för att binda den läckagebenägna fosfor i sedimenten beräknas till 58 g Al/m², vilket avrundas uppåt till 60 g Al/m². Den totala aluminiumåtgången blir 126 ton Al. Vattenresurs AB uppskattar kostnaden för en aluminiumbehandling av Edsvikens sediment med en dos på 60 g Al/m² till 11,5 Mkr.

Inledning

Bakgrund

Övergödningen av avgränsade skärgårdsvikar drivs av både ny näringstillförsel från avrinningsområdet (externbelastning) och utanförliggande vattenområden, och av tidigare års utsläpp som omsätts i sedimenten och läcker tillbaka till vattenmassan. Denna internbelastningsprocess av fosfor har tidigare bedömts (Gustafsson & Lindqvist 2012) ha en påtaglig inverkan på Edsvikens vattenkvalitet. En metod för att åtgärda internbelastningen är att öka sedimentens fosforbindande förmåga genom att blanda in löst aluminium i de bottensediment som fosfor har ackumulerats i. Det tillsatta aluminiumet binder fosfor långsiktigt och aluminiumtillsatsen kan doseras efter hur mycket läckagebenägen fosfor sedimenten innehåller. Denna utredning utgör underlag för beslut om lokalt åtgärdsprogram för Edsviken. Utredningen utfördes av Naturvatten AB med Sollentuna kommun som beställare.

Syfte

Undersökningen syftar till att fastställa vilka fosformängder som kommer att frigöras med tiden från olika bottenområden i Edsviken och som utgör grund för aluminiumdosering. Syftet är även att utreda hur en aluminiumbehandling av sedimenten bör utföras för att binda den läckagebenägna fosfor.

De delmoment som omfattades av utredningen och som presenteras i denna rapport kan sammanfattas enligt följande:

1. Representativ provtagning av sedimenten.
2. Analys och beräkning av den läckagebenägna sedimentfosfor.
3. Beräkning av aluminiumdos för behandling av sediment eller vattenpelare i syfte att binda läckagebenägen fosfor.
4. Genomföring av en bottenskanning för att fastslå vilka områden som är lämpliga att behandla (ackumulationsbottnar).
5. Föreslag på vilka delar av viken och vilka djup som ska behandlas och med vilken dos.

6. Förslag av appliceringsmetod och tidpunkt för aluminiumbehandling av sediment eller vattenpelare.
7. En uppskattning av den totala kostnaden för fastläggning av fosfor i Edsviken.
8. Positionering av provpunkterna i Sweref 99 1800 kartform.

Metodbeskrivning

Utbredning av ackumulationsbottnar

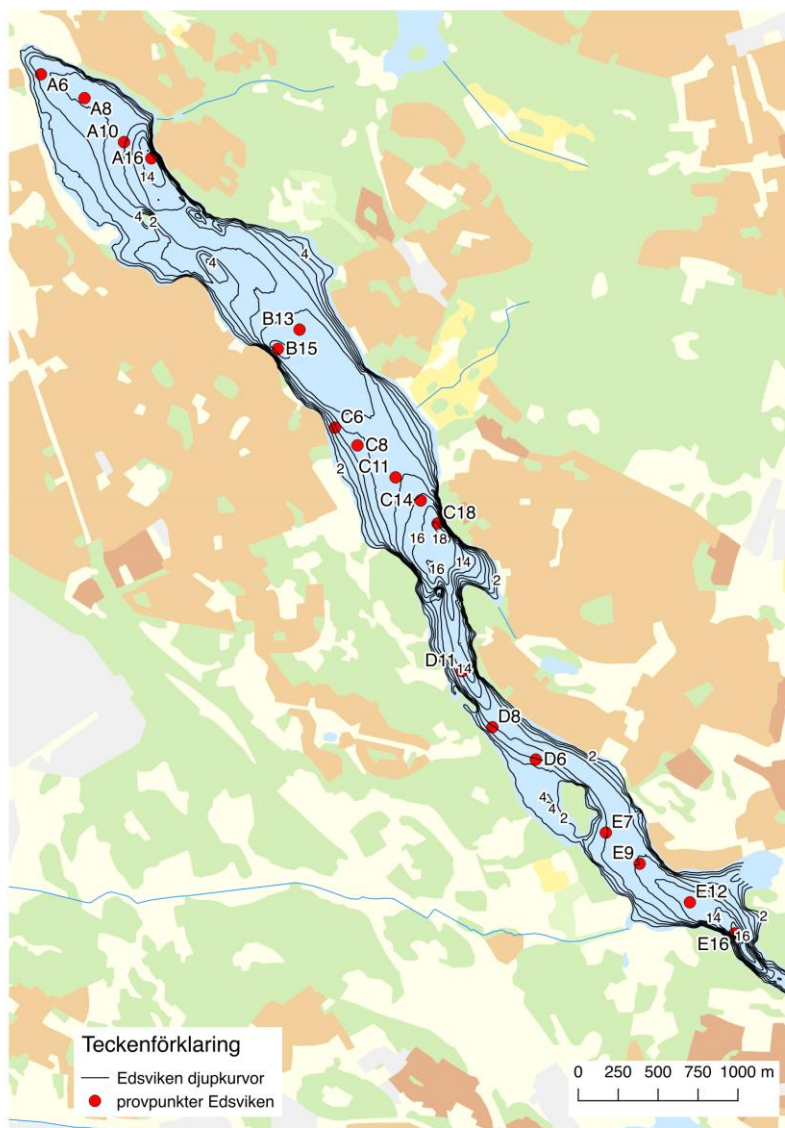
Beroende på bottenlutning, strömförhållanden och vindexponering i olika delar av Edsviken kan djupgränserna för var sediment permanent lagras, dvs ackumulationsbottnarnas utbredning, variera geografiskt. Det är på dessa bottnar som näringsrikt material ansamlas. Som underlag inför provtagningen upprättades därför en bottendynamisk karta baserad på lodfiler från ”side scan sonar” (Humminbird 997). Kartan ger information om sedimentstrukturer och sedimentationsförhållanden och indikerar utbredningen av olika botten typer med fokus på ackumulationsbottnar. Bestämning av botten typernas djupgränser gjordes utifrån sonartransekter med ca 50 m mellanrum i oktober 2017.

Provtagningsstationer

För att kvantifiera mängden fosfor som med tiden kommer att mobiliseras och frisätts från Edsvikens olika bottenområden utfördes provtagning av sedimentkärnor från 5 transekter (A till E) fördelade över Edsvikens ackumulations- och transportbottnar (Figur 1). Inom varje transekt valdes mellan 2 och 5 provtagningsstationer ut tillsammans med beställaren och syftade till att undersöka variationen i fosfors fördelning över vattendjupet i vikens olika bottenområden. Stationerna betecknades med bokstav för transekt och siffra för det planerade vattendjupet för stationen; t ex A6.

Sedimentprovtagningen utfördes den 10 november 2017 av Ulf Lindqvist vid Naturvatten AB med en så kallad Willnerhämtare som har en innerdiameter på 6 cm och kapacitet att ta 50 cm långa kärnor.

Positionsbestämning av provtagningsstationer gjordes med GPS som medger en positionsnoggrannhet < 3 meter.



Figur 1. Provtagningsstationernas läge i Edsviken.

Dokumentation och skiktning av kärnor

Vid provtagning upprättades ett fältprotokoll för varje provtagningsstation där position (SWEREF 99 1800), sedimentkaraktäristik, provtagningsdjup och övriga observationer noterades.

Kärnor för analys av fosforfraktioner och sedimentologiska basparametrar (vattenhalt, glödningsförlust) snittades i fält i följande skikt: 0-2, 2-4, 6-8, 15-18, 30-33 och 42-45 cm om kärnans längd så

medgav. I de fall kärnan var kortare, t ex 43 cm, togs skiktet till 40-43 cm. Prover lades i plastburkar och transporterades samma dag med bil till Erkenlaboratoriet där de förvarades i kylrum i något dygn i väntan på analys.

Sediment- och vattenkemiska analyser

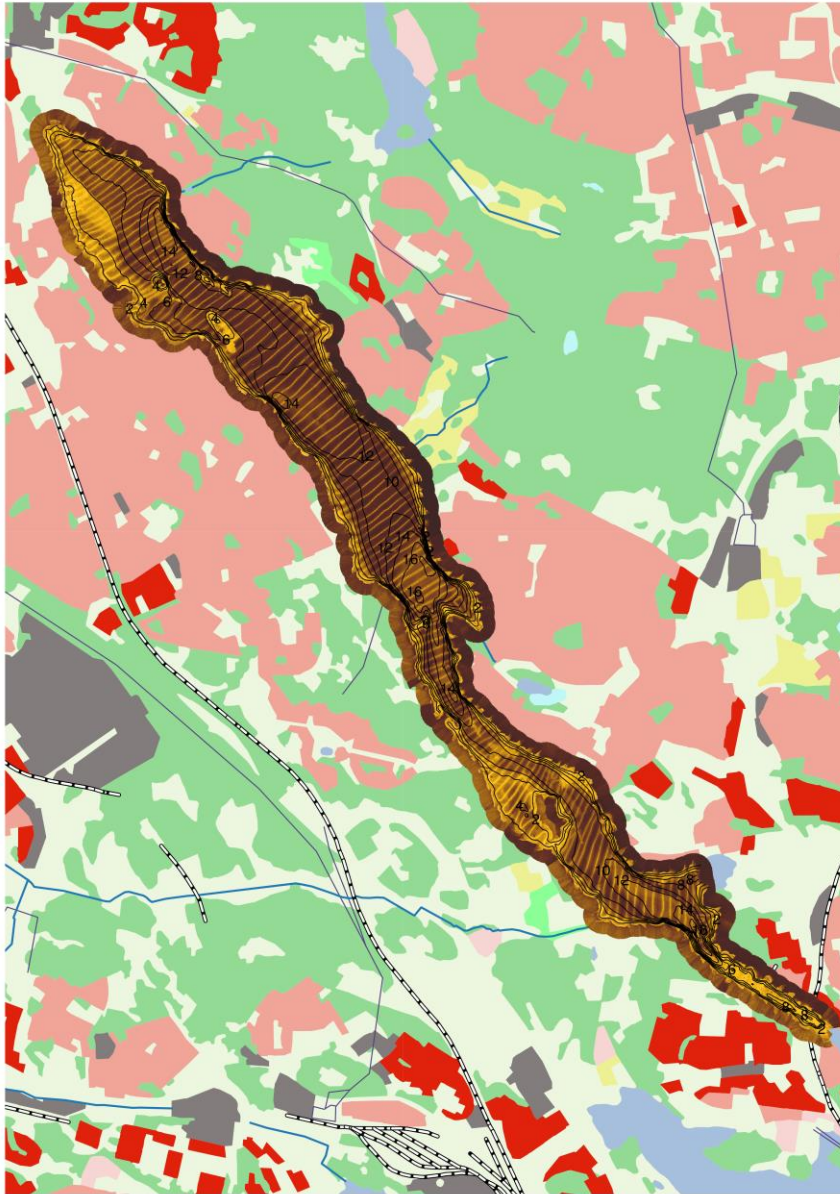
Analysen utfördes av Erkenlaboratoriet, ackrediterade av SWEDAC. Sedimentproven homogeniserades innan invägning för analyser av vattenhalt, organisk halt (glödgningsförlust), fosforfraktioner och totalfosforhalt. Fosforfraktioneringen ger kunskap om i vilken form fosfor ligger bunden och omfattar analys av fraktionerna löst bunden fosfor (inklusive porvattenfosfor), järnbunden fosfor, aluminiumbunden fosfor, organiskt bunden fosfor och kalciumbunden fosfor. Analysen görs för att identifiera formerna av den fosfor som klingar av med ökat sedimentdjup samt i syfte att ge underlag till beräkning av mängden läckagebenägen fosfor i sediment från vikens olika delar och beräkna lämplig dos av aluminium vid aluminiumbehandling. Den läckagebenägna andelen fosfor i sedimenten, det vill säga den fosfor som kan frigöras från sediment till vattenmassa, återfinns i de tre fosforfraktionerna löst bunden fosfor, järnbunden fosfor och organiskt bunden fosfor (Rydin 2000). Residualfosfor beräknas genom att subtrahera extraherad och identifierad fosfatfosfor från sedimentets totala fosforinnehåll.

Fosfatfosfor i porvatten mättes efter att sedimentprovet centrifugerats under minimal luftkontakt för att minska risken för järn-fosforutfällning.

Resultat & Diskussion

Sedimentdynamik

I Edsvikens inre delar är sedimenten huvudsakligen mjuka på större vattendjup än ca 6 till 7 meter, vilket indikeras av mörkare områden på kartan (Figur 2). Hårdare bottnar framträder som ljusare områden. På djupare områden framträder en annan ljusare ton, vilket eventuellt skulle kunna antyda sediment med gasinnehåll.

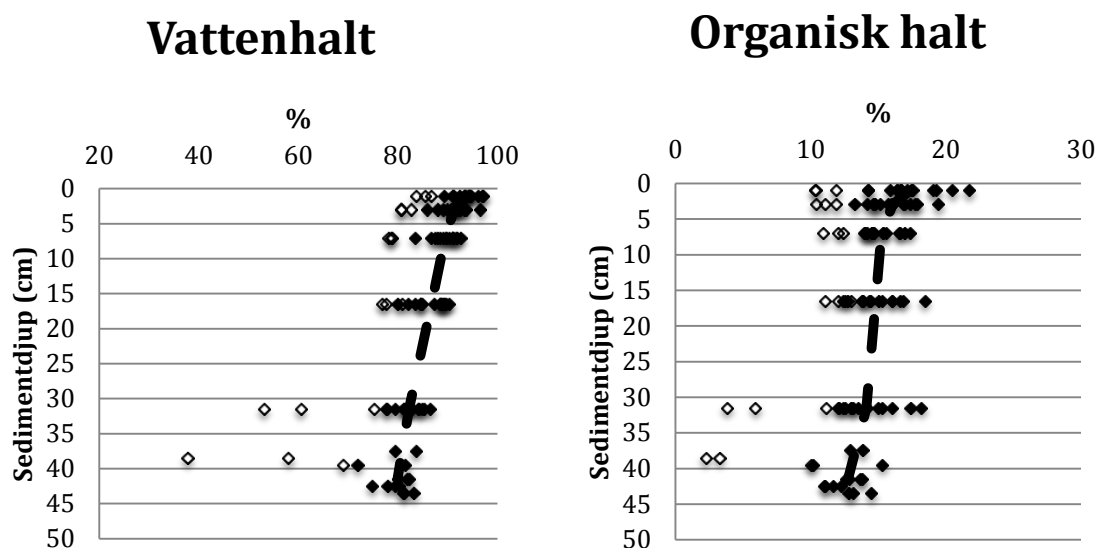


Figur 2. Sonarbild över Edsvikens bottenar.

Vattenhalt och organisk andel

Vattenhalt och glödningsförlust är två grundläggande sedimentparametrar som ofta används för att skilja ackumulationsbottenar från erosions- och transportbottenar. En tumregel är att vattenhalten i ytsediment bör vara högre än 75 procent för att sedimentet skall anses representera en ackumulationsbotten (Håkanson & Jansson 1983). På motsvarande sätt bör halten organiskt material (glödningsförlusten) överstiga 10 procent för att det med säkerhet skall röra sig om ackumulationsbottensediment.

Vattenhalten i samtliga analyserade kärnor var hög i ytsedimenten och klingade av långsamt med ökat sedimentdjup (Figur 3). Detta indikerar ackumulationsförhållanden, det vill säga att sedimenterande material avsatts utan att senare transporteras iväg av vattenrörelser. Några undantag finns; i kärna C6, D6 & D8 (Figur 3) är vattenhalten något lägre i ytskikten och betydligt lägre i skikten djupare än 30 cm. Detta, tillsammans med den motsvarande låga andelen organiskt material, avspeglar äldre lerlager 3 dm ner i dessa tre sedimentprofiler. På dessa platser råder alltså transportbottenförhållanden.



Figur 3. Vattenhalt (%) och organisk andel (glödgningsförlust, % av TS) i Edsvikens sediment. Ofyllda punkter markerar tre kärnor (C6, D6 & D8), vilka representerar transportbottenförhållanden.

Organiskt material klingar av på ett karaktäristiskt sätt i de översta två decimetrarna sediment, vilket visar på mineralisering av en andel av det nyligen sedimenterade organiska materialet. Men den avklingningen avstannar och medelhalten av organiskt material ligger kvar på nästan samma halt i 30-cm skiktet. Först i 40 cm skiktet sker ytterligare avklingning. De relativt höga halterna organiskt material i 30 cm skiktet avsattes av allt att döma under en period i början och mitten på 1900-talet i en mer näringsrik miljö, innan effektiv avloppsrening reducerade utsläppen till Edsviken. Detta fenomen syns också tydligt i de förhöjda fosforhalterna i 30 cm skikten, se nedan.

Inte bara den faktiska depositionen av organiskt material påverkar den organiska andelen av sedimentens sammansättning. Förändringar i tillförseln av oorganiskt material, både från stranderosion och från avrinningsområdet, påverkar indirekt också den organiska halten eftersom en större tillförsel oorganiskt material leder till att det organiska materialet späds ut.

Löst fosfor i sedimenten

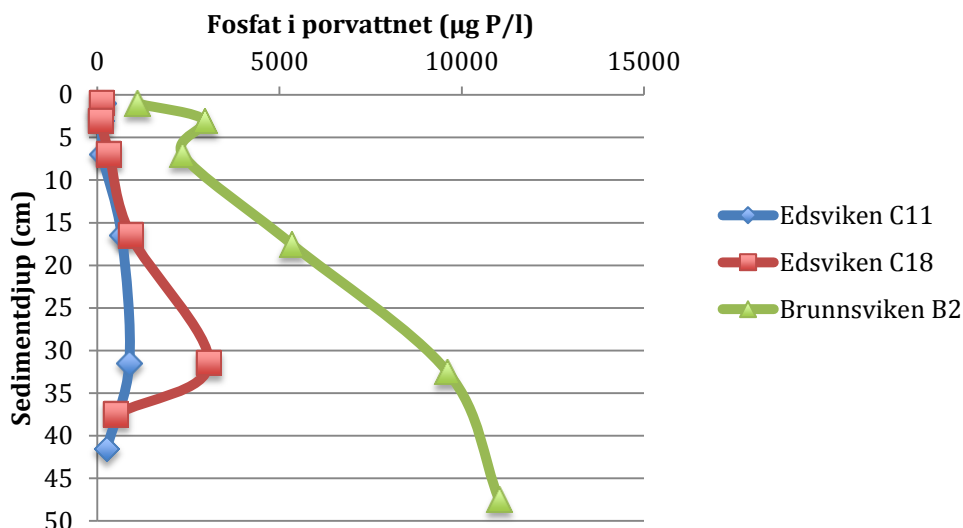
För att kvantifiera den andel av den läckagebenägna sedimentfosfor som är i lösning och driver läckaget från sedimenten till vattenmassan genom diffusion analyserades löst fosfor (fosfat) i sedimentens porvatten i 5 kärnor; C6, C11, C18, samt E7 & E16.

Tabell 1. Porvattnets innehåll av löst fosfor (fosfat) i Edsvikens sediment i g P/m² ner till 40 cm sedimentdjup.

Station	Löst fosfat (g P/m ²)
C6	0,2
C11	0,3
C18	0,6
E7	0,3
E16	0,2
medel	0,3

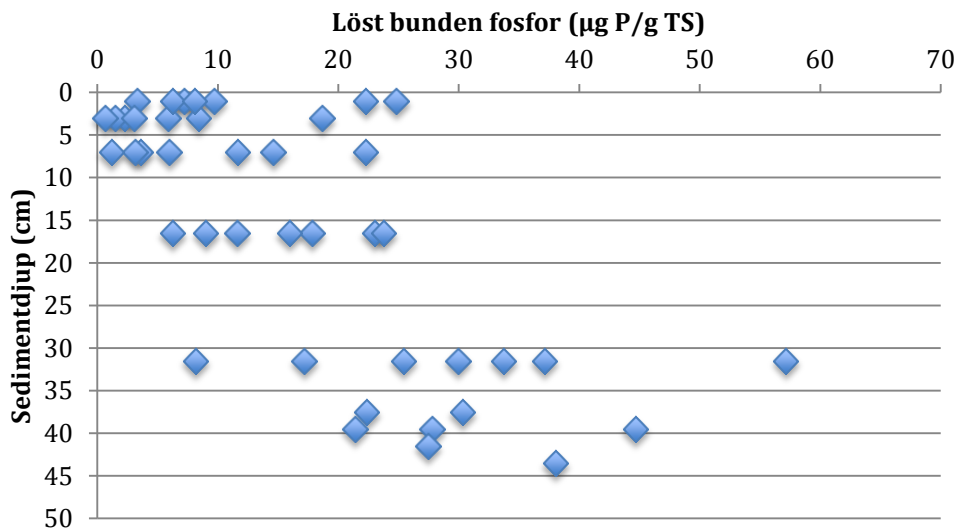
Halterna av löst fosfat ökade med ökande sedimentdjup ner till 30 cm för att minska igen ner till 40 cm-skiktet. En jämförelse av de lösta fosforhalterna i kärnorna tagna från C och E gradienternas djuphålur (C18 & E16) med halterna i Brunnsvikens norra djuphåla visar på betydligt högre halter i Brunnsviken jämför med Edsviken. Räknas halterna om till mängd fosfor löst i porvattnet så höll Brunnsviken 3,5 g P/m² (i den översta 50 cm sedimentprofil), vilket är runt 10 ggr mer än de i Edsviken (Tabell 1). Även om morfologi, vattenomsättning mm skiljer sig åt mellan Edsviken och Brunnsviken så belyser denna stora skillnad i löst fosforinnehåll det större förrådet av läckagebenägen fosfor i Brunnsvikens sediment jämfört med Edsviken.

Denna gradient, med avklingande fosfathalter mot sedimentytan (Figur 4), kan förklaras av att diffusionen driver ut fosfat till vattenmassan där jämvikt med fosfathalterna i bottenvattnet nås. Denna process förstärks av det fosforanrikade sedimentlagret vid ca 30 cm ner i Edsvikens sediment (Figur 5), vilket fortfarande mycket väl kan upprätthålla en förhöjd fosfatkoncentration i porvattnet (Figur 4).



Figur 4. Halter (µg/l) av fosfat vid olika sedimentdjup jämfört med halterna i Brunnsvikens norra djuphåla.

Fosfatfosfor i lösning ingår som en del i fosforfraktionen *Löst bunden fosfor*. Där ingår också fosfat som är så pass löst bunden i sedimenten att den går i lösning genom jonbytesprocesser vid neutralt pH. Den fosforfraktionen ökar på motsvarande sätt som porvattenfosfor med ökande sedimentdjup med en faktor 10 (Figur 4).

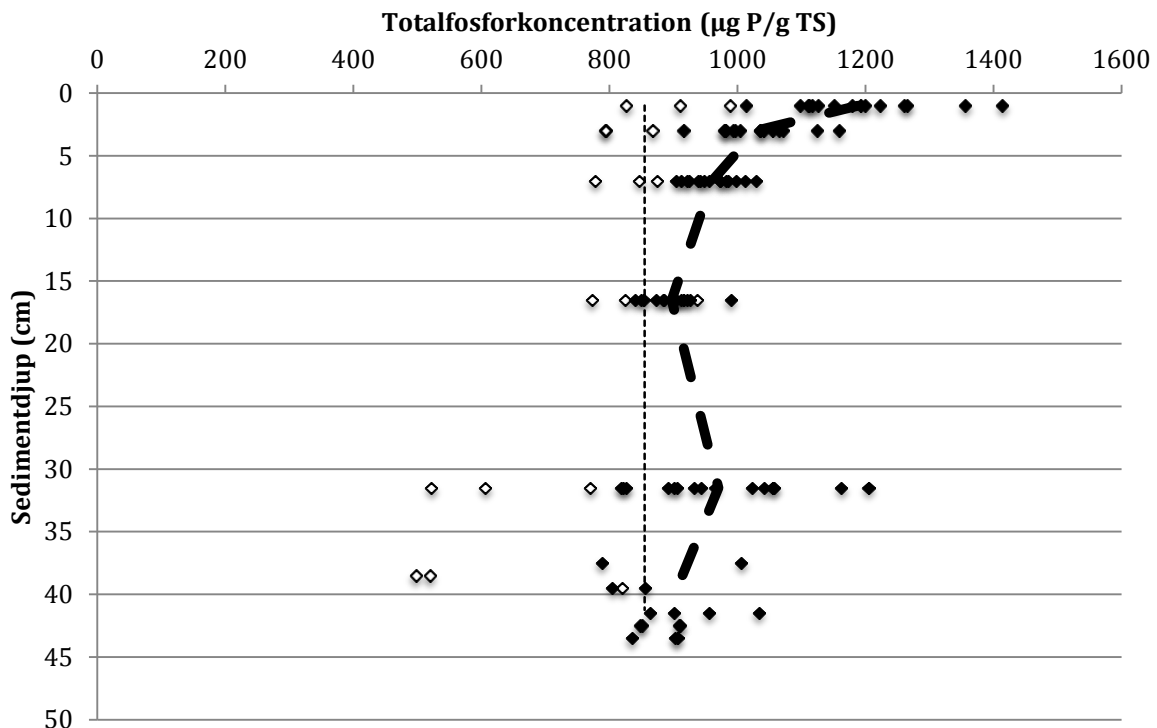


Figur 5. Fosfor i fraktionen *Löst bunden fosfor* i Edsvikens sediment.

Läckagebenägen fosfor

Av all fosfor som har avsatts i Edsvikens botten kommer en andel att med tiden mobiliseras och läcka tillbaka till vattenmassan. Ett riktvärde för hur mycket fosfor som skärgårdens ackumulations sediment klarar av att binda och permanent begrava ligger nära 1,0 mg P/g TS (Malmaeus m. fl. 2012). Men den halten kommer att överskatta den koncentration med vilken Edsvikens botten förmår binda fosfor. I de djupare skikten är fosforhalten lägre, i genomsnitt 0,85 mg P/g TS. Den halten antas Edsvikens sediment klara av att binda permanent och är den begravningskoncentration som har använts i beräkningarna över hur stort förrådet av fosfor som kommer att frigöras från Edsvikens botten. Det är en lägre begravningskoncentration jämfört med Brunnsvikens botten, som bedömdes kunna binda 1 mg P/g TS permanent. Platsspecifika förutsättningar och botten sedimentens sammansättning kan förklara skillnader i begravningskoncentrationer mellan olika bottenområden. Visar det sig att Edsvikens sediment klarar av att begrava en högre halt än 0,85 mg P/g TS i t ex skikten 3 dm ner i kärnan innebär det att den läckagebenägna fosfor har överskattats.

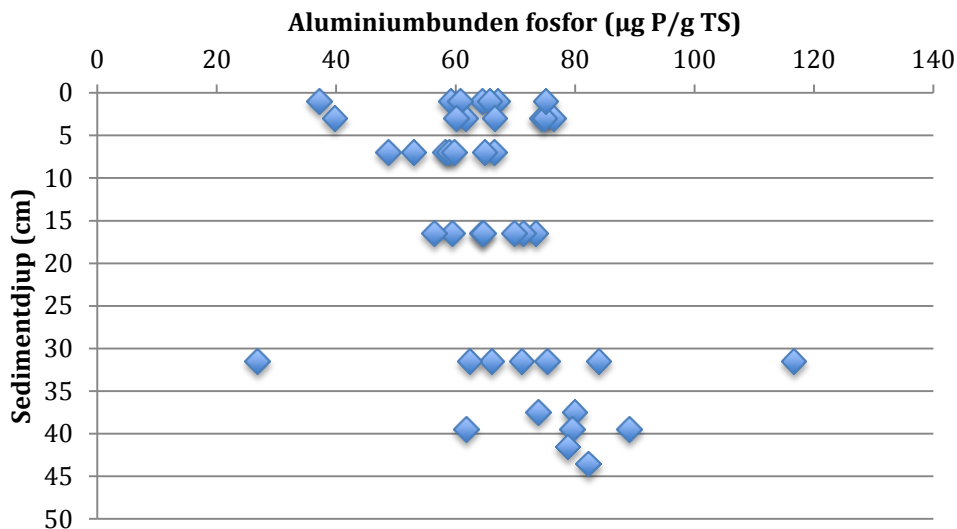
Totalfosforhalten i sedimenten klingar av i de två översta dm sediment, men avklingningen avstannar 3 dm ner i sedimentprofilerna där totalfosforhalten är förhöjda (Figur 6).



Figur 6. Uppmätta totalhalter av fosfor i Edsvikens botten samt antagen begravningskoncentration (0,85 mg P/g TS). Den grövre streckade linjen representerar

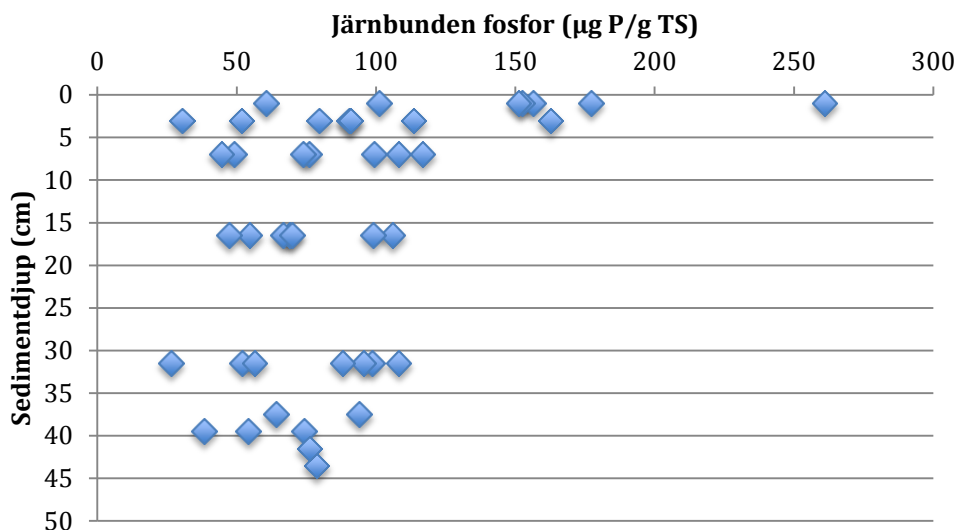
Så frågan är om all fosfor utöver 0,85 mg P/g TS kommer att frigöras från Edsvikens sediment med tiden? Av de olika fosforformerna kan aluminiumbunden fosfor anses stabil nog att kunna begravas i sedimenten. Den koncentrationen är naturligt låg i skärgårdens sediment, mindre än 0,1 mg P/g TS (Rydin 2014), men den kan vara förhöjd i närheten av avloppsreningsverk (Rydin & Lindqvist 2015), vilket kan förklaras av breddning av aluminiumbaserat avloppsslam från reningsverk. Men förhöjda halter aluminiumbunden fosfor återfanns inte i Edsvikens sediment (Figur 7).

Mycket av den fosfor som betraktas som läckagebenägen lagrades in för ett halvt sekel sedan, och en betydande andel av den fosfor har redan frigjorts från sedimenten. Återstående läckagebenägen fosfor representerar organiska fosforformer som har motstått nedbrytning under flera decennier men som ändå bedöms komma att läcka till vattenmassan med tiden.



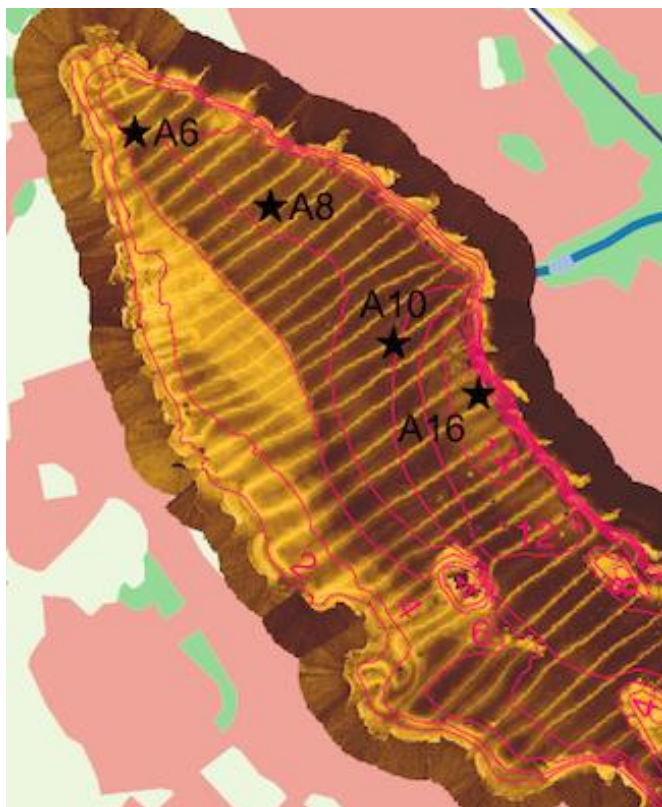
Figur 7. Aluminiumbunden fosfor i Edsvikens sediment.

Den läckagebenägna fosfor i Edsvikens sediment mäts framförallt som organiskt bunden fosfor. Det finns ingen egentlig ackumulation av järnbunden fosfor i ytligare sedimentlager (Figur 8), vilket förklaras av de syrefria förhållanden som råder i hela sedimentprofilen.



Figur 8. Järnbunden fosfor i Edsvikens sediment.

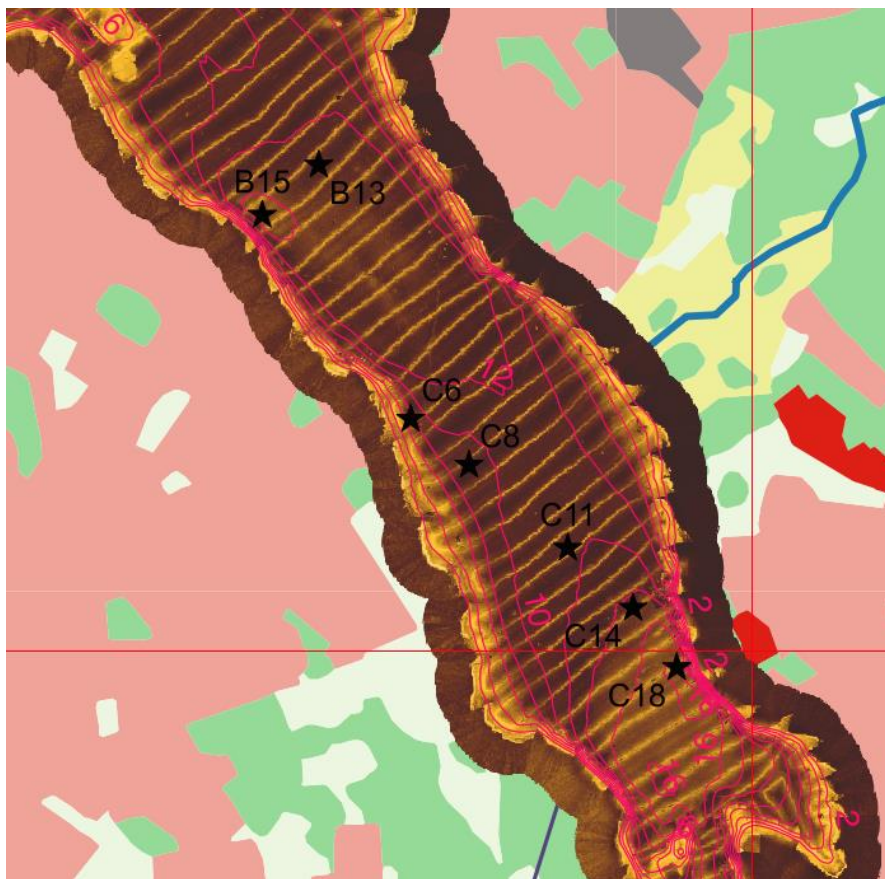
Kärnorna från den inre delen av Edsviken (Figur 9), A transekten, beräknas i genomsnitt hålla 6,8 g läckagebenägen fosfor per kvadratmeter. Kärnan från Edsvikens allra innersta del, tagen från 7 m djup, håller den högsta mängden läckagebenägen fosfor av de 18 kärnor som ingår i den här undersökningen; 11,7 g/m². Det är anmärkningsvärt att bassängens grundområde håller mer läckagebenägen fosfor än i djuphålan (A16; 7,5 g/m²). Av sedimentens vattenhalt och organiska andel att döma råder det goda ackumulationsförhållanden även på den grunda plats som kärnan representerar, de klingar av på ett likartat sätt i den grunda kärnan och i kärnan från djuphålan (A16). Att ändå den grunda kärnan håller mer läckagebenägen fosfor beror på att fosforhalterna är något högre 3 dm ner i den grunda kärnan.



Figur 9. A-transectens stationer i Edsvikens inre del.

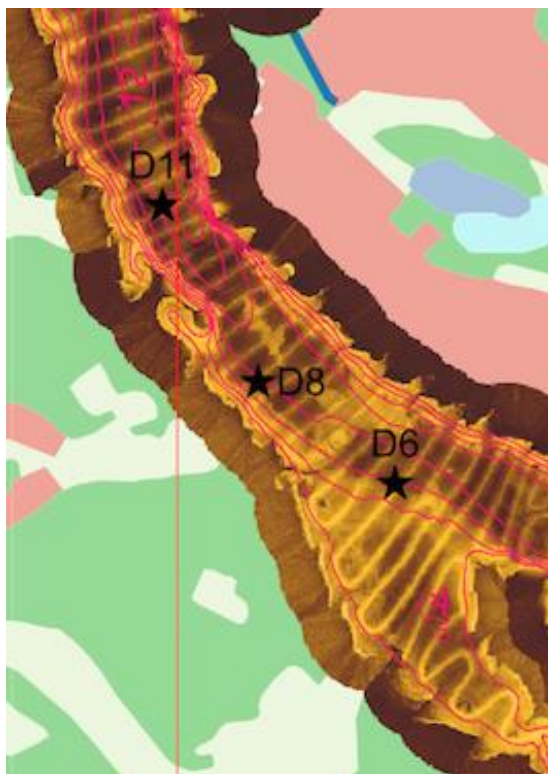
Den näst djupaste kärnan (A10), och i viss mån kärnan från drygt 8 m (A8), håller betydligt lägre förråd av läckagebenägen fosfor 3 dm ner i profilen jämfört med A6 och A16, vilket förklarar de lägre halterna (2,9 respektive 5,1 g/m²).

Söder om A-transekten togs två kärnor (B13 & B15) för att representera det relativt stora, flacka och djupa området. Sonarbilden visar ett något ljusare område där djupet är som störst (15 m), vilket eventuellt antyder störda ackumulationsförhållanden. Men kärnorna var inbördes lika och den läckagebenägna fosfor i detta område var 5,0 g P/m².



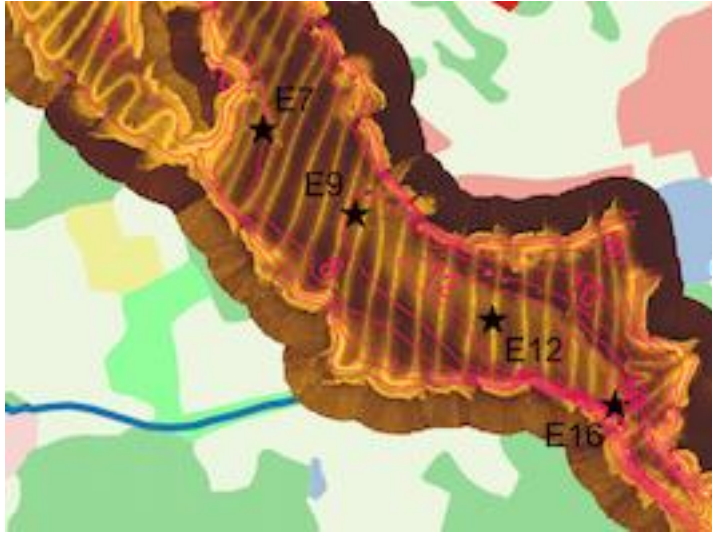
Figur 10. B & C-transekternas stationer i Edsvikens centrala delar.

Transekt "C" togs söder om det bottenområdet som B-kärnorna representerar (Figur 10). Kärnan från 6 m (C6) representerar inte ackumulationsförhållanden utan transportbotten, av den låga vatten- och organisk halt att döma (Figur 3). Den läckagebenägna fosfor är följaktligen låg ($0,6 \text{ g P/m}^2$). Dessutom återfanns inte heller några större mängder läckagebenägen fosfor i kärnan från den djupaste delen av transekten (18 m), vilket också är Edsvikens djupaste del, bara $2,6 \text{ g P/m}^2$. En förklaring till den låga mängden är att skiktet med förhöjda halter inte återfanns. Återstående kärnor i C-transekten (C8, C11 & C14) håller i genomsnitt 6 g P/m^2 som bör bindas för att förhindra framtida fosforläckage från detta bottenområde.



Figur 11. D-transekts stationer i Edsvikens centrala del.

Edsviken smalnar av söderut och transekt ”D” består av tre kärnor (D6, D8 & D11, Figur 11). I denna del av viken syns flera områden med ljusare partier, vilket indikerar hårdare botten av transport, eller tom av erosionskaraktär. Vattenströmmar genom denna del av viken förhindrar att näringsrikt material med högt organiskt innehåll avsätts för gott här. Kärnorna D6 och D8 bekräftar detta; ett par decimeter ner i kärnorna övergick materialet i sedimenten till ren lera. Vid provtagningen var botten på den planerade stationen (11m) för hård för provtagning, först vid 13 m fanns mjukbotten av ackumulationskaraktär och mängden läckagebenägen fosfor var $5,1 \text{ g P/m}^2$. Denna del av Edsviken bör inte behandlas genom sedimentinjicering (inte heller med fällning i vattenmassan); dels dominerar transport- och erosionsbottenområden vilket dels innebär låga mängder fosfor som kommer att läcka till vattenmassan, dels svårigheter att injicera aluminiumlösningen i sedimenten. Läger sig den nybildade flocken på sedimentytan kommer den att förflyttas. Eventuellt kan en utökad provtagning klarlägga vilka fickor av ackumulation som ändå finns och kan behandlas.

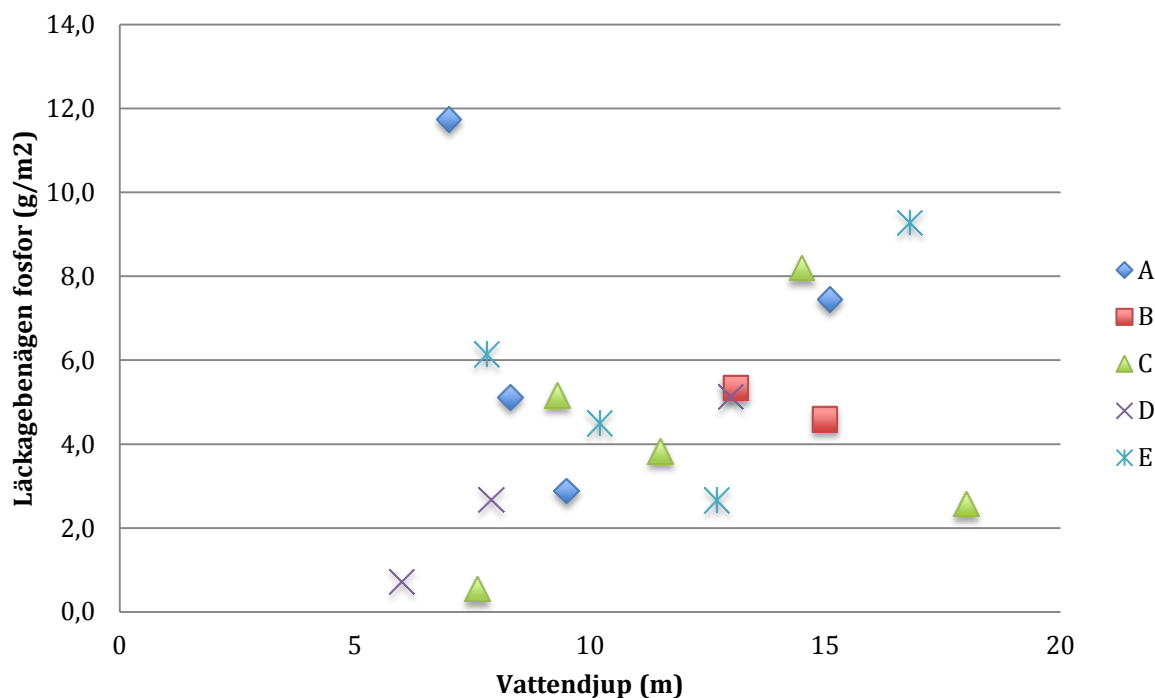


Figur 12. E-transectens stationer i Edsvikens yttre del mot Stocksundet.

Transekten i den sista bassängen i Edsviken, innan sundet under tunnelbanebron mot Lilla Värtan, uppvisar ett tydligare mönster av ackumulation av sediment. Medelmängden läckagebenägen fosfor i de fyra kärnorna (E7, E9, E12 & E16) beräknas till $5,6 \text{ g P/m}^2$, med det näst högsta värdet i den här undersökningen ($9,3 \text{ g P/m}^2$) i den djupaste delen (17m) av bassängen. E12 håller relativt låga $2,7 \text{ g P/m}^2$ vilket beror på lägre halter 3 dm ner i kärnan jämfört med både E9 och E16. Sundet söder om stationen E16, mot Lilla Värtan, utgörs av hårdbotten och bör inte behandlas (Figur 12).

I öppnare bassänger och sjöar finns det ofta ett samband mellan vattendjupet och ansamlingen av fosforrikt material. Sedimentfokuseringsprocesser gör som namnet antyder, att vattenströmmar, ofta vindinducerade, ansamlar material på djupare områden. Ett sådant samband råder i t ex Brunnsviken.

Den långsmala karaktären på Edsviken, tillsammans med vattenströmmar som beror på vattenståndsförändringar i saltsjön, ger ett komplext mönster över var ackumulationsförhållanden råder. Detta styr i sin tur var fosforrikt material kommer att ansamlas, mineraliseras och läcka tillbaka till vattenmassan ansamlas. Här spelar djupet en underordnad roll. Ett svagt samband finns eventuellt (Figur 13) men det bedöms inte motivera en modell där vattendjupet är en faktor för att bestämma en Al dos som är tillräcklig för att binda den läckagebenägna fosfor som gjordes för Brunnsviken (Rydin m. fl. 2016).



Figur 13. Förhållandet mellan läckagebenägen fosfor i de undersökta sedimentkärnorna och vattendjupet.

Det finns inte heller något uppenbart mönster i fördelning av läckagebenägen fosfor i nord/sydlig gradient i Edsvikens sediment (Tabell 2). Extrapoleras den genomsnittliga läckagebenägna fosfor till alla bottenområden där sedimentackumulation bedöms ske (2,1 km²) uppgår den läckagebenägna mängden till 11,5 ton fosfor.

Tabell 2. Läckagebenägen fosfor (g P/m²) i olika delar av Edsvikens bottenområden, samt mängd aluminium för att binda denna.

	Läckagebenägen fosfor	Al dos
A-C (ej C6)	5,7	57
D11 (ej D6 & D8)	5,1	51
E	5,6	56
medel	5,5	55

Den beräknade mängden läckagebenägen fosfor i Edsviken, 5,5 g P/m², är relativt stor för att vara ett syrefritt kustsediment. Mängden är större än i Björnöfjärden (1,5 g P/m²) samt i syrefria bottnar längre ut i skärgården (Rydin m. fl. 2011). Men mängderna motsvarar den läckagebenägna fosfor i Neglingevikens (Saltsjöbaden) syrefria sediment (Arvidsson & Rydin 2013). Det är bara i Brunnsvikens syrefria bottnar som mängderna är betydligt högre (Rydin m. fl. 2016) än i Edsviken.

Betydande mängder fosfor har under ett par sekler lagrats in i Brunnsvikens bottnar vilket förklarar de mycket stora fosformängder per ytenhet som återfanns där. Edsviken har också varit recipient för

orenat avloppsvatten under lång tid, men avlastades 1969 genom en tunnel till Käppala avloppsreningsverk. Majoriteten av den läckagebenägna fosfor i Edsviken återfanns i sedimentskiktet runt 30 cm, vilket överensstämmer väl med att de sedimentlagren avsattes i mitten på 1900-talet, antaget en ungefärlig sedimentackumulering på knappt 0,5 cm/år (Mörk m. fl. 2018).

Aluminiumbehandling

Aluminiumbehandling är en kostnadseffektiv metod för åtgärder av internbelastning genom att öka sedimentens fosforbindande förmåga. Den första dokumenterade aluminiumbehandlingen gjordes i Långsjön (Huddinge) för 50 år sedan (1968). Några år efter att bortledning av orenat avloppsvatten till Käppala 1969 gjordes undersökning med syfte att förbättra övergödningssituationen i Edsviken (VBB 1972). Bland åtgärdsförslagen fanns fällning med aluminiumsulfat, med referens till just Långsjön och den förbättring som observerades där två år efter behandling. Den metoden valdes bort eftersom vattenutbytet med Lilla Värtan dominerade fosforhalterna i Edsvikens ytvatten (< 6 m) (VBB 1972).

Generellt har de hundratals aluminiumbehandlingar som gjorts världen över (Huser m fl 2016) inneburit att fällningen sker i vattenmassan och att den bildade aluminiumflocken sjunker ner till botten.

I Stockholmstrakten har företaget Vattenresurs AB med goda resultat behandlat en handfull sjöar genom att blanda polyaluminiumkloridlösning i sedimentskiktet 0-20 cm. Vid denna typ av behandling tillförs lösningen (PAX XL 100) tillsammans med bottenvatten via slangar fästade till en bom genom en metod som kan liknas vid harvning. Fördelen med att blanda ner lösningen i sedimenten är vattenrörelser inte alls lika lätt kommer åt att förflytta flocken så att botten där fosforläckaget sker friläggs. Den metoden bedöms som lämplig för Edsvikens botten då vattenrörelser sannolikt förekommer även över djupare bottenområden.

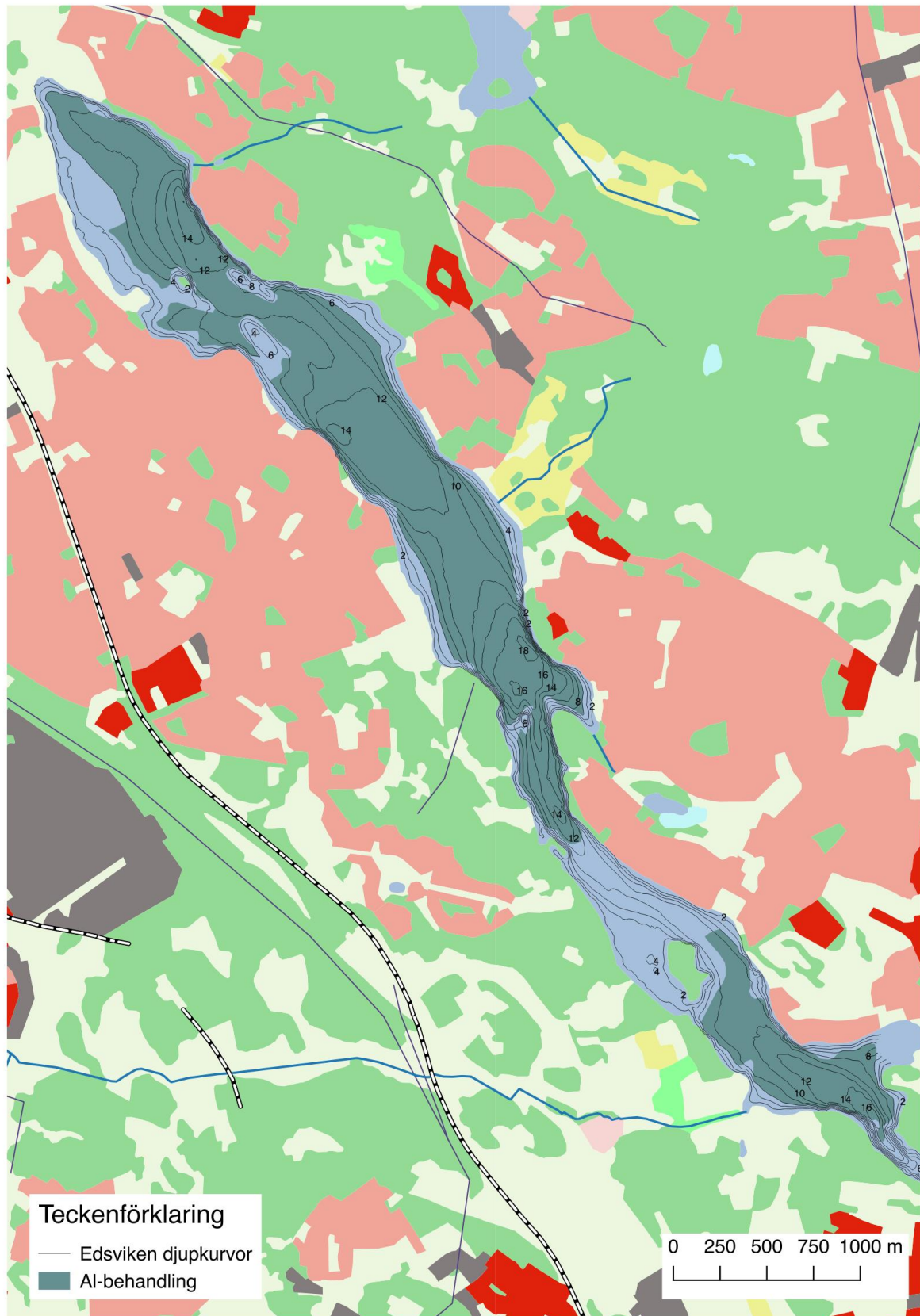
Aluminiumflockens förmåga att binda fosfor i brackvattenmiljö ser ut att vara den samma som i sötvatten (Rydin 2014). I stiftelsen BalticSea2020s regi behandlades Björnöfjärden på Ingarö i Värmdö kommun 2012 och 2013 av Vattenresurs AB. Behandlingen har haft avsedd effekt på sedimentens fosforbindande förmåga så här långt. Utvärdering av behandlingen pågår.

Dosering

För att binda fosfor i sjösediment behövs cirka 10 gånger mer aluminium (på viktsbasis) än den fosfor som ska bindas. Samma effektivitet ser ut att kunna uppnås i brackvattensediment (Rydin 2014). Vid applicering av aluminiumlösning i sedimenten med den teknik som tillämpas av Vattenresurs AB läggs mellan 15 och 20 g Al/m² vid varje ”överfart”.

För att binda den läckagebenägna fosfor i Edsvikens sediment behövs en genomsnittlig aluminiumdos på 55 g Al/m², oavsett vattendjupet. Men variationen i sedimentens innehåll av läckagebenägen fosfor (Tabell 2) gör att den dosen kommer ge ett överskott på en del områden, och underdosera på andra.

Överdoserings innebär inte någon miljömässig nackdel men en ”onödig” kostnad. En för låg dos kommer, när det tillsatta aluminiumet har mättats med mobiliserad fosfor, innebära att sedimenten börjar frigöra en resterande andel av den beräknade läckagebenägna fosfor. Det bedöms vara av underordnad betydelse då ett framtida läckage från bottenarna framförallt kommer att styras av hur framgångsrikt ansträngningarna med att begränsa den nya fosfortillförseln till Edsviken blir.



Figur 14. Edsvikens bottenområden (gråmarkerade) som bör behandlas med 60 g Al/m² för att binda den läckagebenägna fosfor.

Omsättningen av sedimentfosfor; tillförsel via sedimenterande plankton mm, och utförsel i form av läckage som fosfat till vattnet, pågår kontinuerligt. Detta blir tydligt under skiktade förhållanden, när fosfat ackumuleras i bottenvattnet. Innan skiktningen bröts, under augusti 2017, uppvisade fosfat en tydlig gradient med ökande halter mot botten (Station Skogsvik i augusti 2017), vilket indikerar frigörelse från sedimenten. En överslagsberäkning, antaget att samma halter återfinns i motsvarande vattenlager i hela Edsviken, visar att drygt 0,5 ton fosfat hade frigjorts från sedimenten under sommaren innan sedimentprovtagningen. Det motsvarar 0,3 g P/m² utslaget på 2,1 km² (den gråmarkerade ytan i Figur 14)

Behandlingen som ofta utförs sommartid, innebär att bottenvatten blandas med aluminiumlösning i sedimenten. Det innebär även att bottenvattnet fälls och dess fosforinnehåll binds i sedimenten. Därför bör även bottenvattnets fosforinnehåll beaktas då aluminiumdosen beräknas.

Fosfor i bottenvattnet motsvarar enligt ovan 0,3 g P/m², vilket ger en total mängd fosfor på 5,8 g P/m². Mängden aluminium som skulle krävas för att binda den läckagebenägna fosfor i sedimenten beräknas till 58 g Al/m², vilket avrundas uppåt till 60 g Al/m². Den totala aluminiumåtgången blir 126 ton Al. Vattenresurs AB uppskattar kostnaden för en aluminiumbehandling av Edsvikens sediment till 11,5 Mkr.

I samband med sedimentprovtagningen i november 2017 visade vattenprovtagningen (Station Skogsvik 15/11 2017) att hela vattenmassan var omblandad och att koncentrationen löst fosfat var drygt 40 µg P/l i hela vattenmassan. Den koncentrationen motsvarar drygt ett ton fosfatfosfor om den koncentrationen multipliceras med hela Edsvikens vattenmassa (29,5 milj. m³) Antaget att all den fosfor hade frigjorts från Edsvikens botten bör den mängden beaktas vid dosering av Al. Men vattenutbytet med Lilla Värtan, och ny tillförseln från avrinningsområdet under hösten, skapar dock en osäkerhet i fråga om källan till löst fosfat i vattenmassan. Dessutom har en del av fosfor som frigjorts under sommaren tagits upp av höstblomningen efter att vattenmassan blandats om. Den fosfor ingår i den organiska, läckagebenägna, sedimentfosfor som ligger till grund för dosberäkningen. Sammantaget bedöms att 0,5 ton fosfor i vattenmassan ska inkluderas i dosberäkningen för Edsviken.

Det enda exemplet på aluminiumbehandling i brackvattenmiljöer i full skala är Björnöfjärden (Värmdö), där de syrefria bottenarna djupare än 6m behandlades med sammanlagt 50 g Al/m² (polyaluminiumklorid, PAX XL 100, Kemira Kemwater) under 2012 och 2013. Efter

behandlingen har frigörelsen av fosfat till bottenvattnet avstannat och fosfor har istället bundits till aluminiumet i den översta decimetern sediment (Rydin m. fl. 2017).

Referenser

Arvidsson, M & Rydin, E. 2013. Undersökning av rörlig fosfor i Neglingevikens och Vårgårdssjöns bottensediment. Naturvatten AB, Rapport 2013:03.

Huser, B, · Egemose S, · Harper H, · Hupfer M, · Jensen H, · Pilgrim K, · Reitzel K · Rydin E, · Futter M. 2016. Longevity and effectiveness of aluminum addition to reduce sediment phosphorus release and restore lake water quality, *Wat. Res.* 97. 122-132

Gustafsson, A & Lindqvist, U. 2012. Status och åtgärdsbehov för Edsviken. Underlag för statligt, kommunalt och mellankommunalt vattenvårdsarbete. Naturvatten i Roslagen Rapport 2012:05

Håkanson, L. and Jansson, M., 1983. Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, Berlin, 316 p.

Malmaeus M, Rydin E, Jonsson, P, Lindgren, D. & Karlsson M. (2012) Estimating the amount of mobile phosphorus in Baltic coastal soft sediments of central Sweden. *Boreal environment research* 17: 425-436.

Mörk, E, Samuelsson, G. & Lilliesköld-Sjöo, G. 2018. Miljöprovtagning Edsviken - Provtagning av miljögifter i vatten och sediment. Rapport Ekoz AB.

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.

Rydin E. 2014. Inactivated phosphorus by added aluminum in Baltic Sea sediment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 151, 181-185

Rydin, E. 2000. Potentially mobile phosphorus in Lake Erken sediment. *Water Research* 34(7):2037-2042.

Rydin, E. & U. Lindqvist. 2015. Läckagebenägen fosfor i Norrtäljevikens sediment. Kvantifiering i vikens olika bottenområden. Naturvatten i Roslagen AB, Rapport 2015:5.

Rydin, E., P. Jonsson, M. Karlsson & A. Gustafsson. 2016. Läckagebenägen fosfor i Brunnsvikens sediment. Underlag för lokalt åtgärdsprogram. Naturvatten AB, Rapport 2016:34.

Rydin, E., Kumblad, L., Wulff, F., Larsson, P. 2017. Remediation of a eutrophic bay in the Baltic Sea. Environ. Sci. Technol. 51(8):4559-4566.

VBB 1972. Edsvikens sanering. Sammanfattning av hittillsvarande utredningsarbete för Edsvikens sanering. Rapport vattenbyggnadsbyrån.

Bilaga 1. Analysdata sediment

Provplats	Sediment- skikt	Vattenhalt	Glödningsförlust	NH ₄ Cl-P	BD-P	NaOH-P	HCl-P	NaOH org-P	Res-P	TP
	(cm)		Organisk andel	Löst bunden P	Fe-P	Al-P	Ca-P	Org-P	Residual-P	Total P
			%	µg P/g torrsubstans						
A6	0-2	95	22	22	156	64	458	268	445	1414
A6	2-4	91	18	6	80	74	372	342	191	1065
A6	6-8	88	17	15	76	66	317	369	131	974
A6	15-18	82	14	18	69	73	226	378	90	854
A6	30-33	83	18	57	108	117	350	400	174	1206
A6	38-41	81	15	45	74	89	241	311	96	856
A8	0-2	94	21							1356
A8	2-4	92	18							1036
A8	6-8	91	17							983
A8	15-18	89	17							884
A8	30-33	84	15							933
A8	42-45	81	13							835
A10	0-2	94	19							1266
A10	2-4	92	17							1035
A10	6-8	91	17							986
A10	15-18	89	16							874
A10	30-33	82	14							906
A10	40-43	82	14							864
A16	0-2	97	19	10	153	67	418	258	207	1113
A16	2-4	94	19	8	113	76	477	267	181	1124
A16	6-8	92	17	22	108	58	360	275	175	998
A16	15-18	89	18	23	106	71	356	264	105	926

A16	30-33	85	17	37	99	75	422	338	191	1163
A16	42-45	83	14	38	79	82	296	280	132	907
B13	0-2	94	18							1193
B13	2-4	93	16							1041
B13	6-8	91	15							921
B13	15-18	90	16							885
B13	30-33	81	13							967
B13	41-43	80	12							849
B15	0-2	96	17							1098
B15	2-4	93	17							1071
B15	6-8	93	16							973
B15	15-18	90	17							922
B15	30-33	84	14							1043
B15	42-45	81	13							903
C6	0-2	84	10	3	61	37	179	456	90	826
C6	2-4	81	11	3	30	40	182	410	130	795
C6	6-8	79	12	12	45	53	227	410	100	847
C6	15-18	78	12	16	47	56	210	349	147	825
C6	30-33	61	6	8	27	27	98	385	61	607
C6	38-41	69	10	21	38	62	181	393	125	821
C8	0-2	91	16							1117
C8	2-4	90	15							996
C8	6-8	89	15							924
C8	15-18	85	12							905
C8	30-33	79	12							822
C8	41-43	75	11							910
C11	0-2	94	17	7	151	59	441	315	153	1127
C11	2-4	92	16	2	90	62	372	309	146	982
C11	6-8	90	15	4	74	49	324	300	155	905
C11	15-18	85	13	12	67	59	255	335	113	840
C11	30-33	78	12	17	52	71	254	329	95	818
C11	36-39	79	13	22	64	80	270	279	73	788
C14	0-2	94	16							1152
C14	2-4	92	15							981
C14	6-8	90	15							942
C14	15-18	89	15							899
C14	30-33	82	13							1058
C14	41-44	78	11							851
C18	0-2	97	17	25	177	66	370	267	206	1111
C18	2-4	97	17	19	163	75	377	233	292	1159
C18	6-8	92	15	3	117	65	355	301	172	1013
C18	15-18	89	15	9	99	64	341	272	130	917
C18	30-33	87	13	34	96	66	272	318	107	892
C18	36-39	84	14	30	94	74	331	346	131	1006
D6	0-2	85	10							910
D6	2-4	81	10							793
D6	6-8	79	11							778
D6	15-18	81	13							773
D6	30-33	75	11							770
D6	37-39	38	2							498
D8	0-2	87	12							988
D8	2-4	83	12							868

D8	6-8	78	12							874
D8	15-18	77	11							938
D8	30-33	53	4							522
D8	37-39	58	3							520
D11	0-2	91	14							1179
D11	2-4	88	13							980
D11	6-8	87	15							1029
D11	15-18	85	14							990
D11	30-33	81	15							944
D11	40-43	80	13							901
E7	0-2	89	14	6	101	61	307	364	175	1015
E7	2-4	86	14	2	52	60	279	362	163	916
E7	6-8	84	14	6	49	59	278	364	156	912
E7	15-18	80	13	24	55	70	300	364	99	912
E7	30-33	78	12	30	57	62	238	328	111	826
E7	38-40	72	10	28	54	80	172	370	101	805
E9	0-2	93	17							1200
E9	2-4	91	15							993
E9	6-8	89	14							939
E9	15-18	87	14							903
E9	30-33	82	13							1023
E9	41-43	79	12							909
E12	0-2	94	17							1261
E12	2-4	91	16							1056
E12	6-8	90	14							956
E12	15-18	89	14							903
E12	30-33	85	13							901
E12	40-43	82	13							1034
E16	0-2	92	16	8	261	75	464	298	117	1223
E16	2-4	89	15	1	91	67	368	306	172	1005
E16	6-8	87	14	1	99	60	342	319	127	948
E16	15-18	84	14	6	70	65	282	310	118	850
E16	30-33	82	16	25	88	84	368	352	138	1055
E16	40-42	80	14	27	76	79	316	340	117	956

Bilaga 2. Provtagningsstationernas positioner

Provpunkt	Position	SWEref 99 TM		Djup	Läckagebenägen fosfor
	nord	ost	m		
A6	6592629	667662	7,0	11,7	
A8	6592480	667935	8,3	5,1	
A10	6592204	668182	9,5	2,9	
A16	6592102	668354	15,1	7,5	
B13	6590908	669145	13,1	5,3	
B15	6591029	669282	15,0	4,6	
C6	6590416	669504	7,6	0,6	
C8	6590304	669645	9,3	5,2	
C11	6590104	669884	11,5	3,8	
C14	6589959	670041	14,5	8,2	
C18	6589815	670147	18,0	2,6	
D6	6588337	670762	6,0	0,7	
D8	6588539	670490	7,9	2,7	
D11	6588890	670299	13,0	5,1	
E7	6587878	671201	7,8	6,1	
E9	6587684	671413	10,2	4,5	
E12	6587442	671727	12,7	2,7	
E16	6587247	672007	16,8	9,3	