



Nr U 6068
Januari 2019

Modellering av effekter av åtgärder mot minskad fosfortillförsel i Edsviken

På uppdrag av Stockholm Vatten och Avfall

Mikael Malmaeus & Magnus Karlsson



Författare: Mikael Malmaeus & Magnus Karlsson

På uppdrag av: Stockholm Vatten och Avfall

Rapportnummer U 6068

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2019

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

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

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

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
Inledning	5
Bakgrund och dataunderlag.....	6
Metodik.....	9
Resultat	12
Diskussion	16
Referenser.....	17
Bilaga 1 – Morfometriska data för respektive delbassäng	19

Sammanfattning

Kommunerna inom Edsviken vattensamverkan utreder gemensamt möjligheterna att förbättra den ekologiska statusen i Edsviken, en avsnörd vik i den inre delen av Stockholms skärgård. Edsviken anses övergödd och för att förbättra miljöförhållanden behöver tillförseln av näringsämnen, framförallt fosfor minska. Enligt det senaste förslaget till reviderade bedömningsgrunder för kustvatten skulle fosforhalterna i Edsviken i runda tal behöva halveras, till nivån strax under 20 µg/l. Frågan är huruvida detta skulle kunna åstadkommas med åtgärder i Edsvikens närområde och genom behandling av Edsvikens bottensediment, och i hur hög grad Edsvikens vattenkvalitet styrs av förhållandena i det utanföriggande kustområdet Lilla Värtan.

I denna studie har en massbalansmodell använts för att beskriva och förutsäga vilka flöden av fosfor som sker in till, ut från och inom Edsviken. Modellen delar upp Edsviken i tre delbassänger och ett antal olika scenarier för åtgärder har simulerats. De åtgärder som undersökts omfattar åtgärder mot externbelastning från närområdet, internbelastning från sjöns bottensediment och åtgärder för att mer storskaligt minska fosformängden i Lilla Värtan.

Resultaten av modelleringen tyder på att interna omblandningen av vatten mellan Edsvikens delbassänger är betydande, vilket styrks av att salthalten i den innersta av delbassängerna är marginellt lägre än i den yttersta. Det betyder att det är i princip egalt i vilka delar av Edsvikens avrinningsområde eller längs vilka delbassängers bottnar som åtgärder genomförs. Även i den innersta av delbassängerna påverkas vattenkvaliteten i hög grad av förhållandena i Lilla Värtan. Omkring 3/4 av fosfor i Edsviken tillförs via Lilla Värtan varför åtgärder för att enbart begränsa den direkta tillförseln och internbelastningen i Edsviken inte räcker för att åstadkomma den önskade minskningen i vattnets fosforhalt.

Skulle ett bredare åtgärdsarbete för att uppnå god ekologisk status i omgivande vatten inklusive Lilla Värtan komma till stånd så visar modellen att detta i kombination med lokala åtgärder skulle kunna leda till god status i Edsviken. Lokala åtgärder i Edsviken bör alltså ses som en del i en samlad strategi för minskad närsaltsbelastning till kusten i Stockholms län.

Inledning

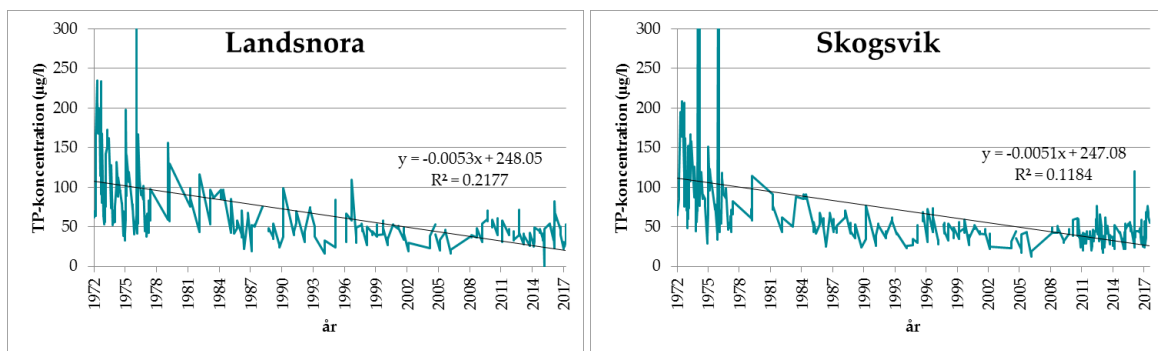
Kommunerna inom Edsviken vattensamverkan utreder gemensamt möjligheterna att förbättra den ekologiska statusen i Edsviken, en avsnörd vik i den inre delen av Stockholms skärgård (**Fig. 1**) Edsviken anses övergödd och för att förbättra miljöförhållanden behöver tillförseln av näringsämnen, framförallt fosfor minska. Kommunerna önskar få klarlagt hur fosfor omsätts i Edsviken, vilket inflöde av fosfor som sker från utanförliggande kustområde, hur stort läckaget av fosfor från botten, så kallad internbelastning, är och hur stor den lokala tillförseln är i förhållande till övriga flöden. Syftet i förelängningen är att kunna genomföra åtgärder som leder till god ekologisk status. En viktig förutsättning för att bedöma effektiviteten av olika åtgärder är att klargöra växelverkan mellan Edsviken och det utanförliggande kustområdet Lilla Värtan. Föreliggande rapport syftar till att belysa i vilken mån vattenkvaliteten i Lilla Värtan styr förhållandena i Edsviken, hur långt in i Edsviken påverkan från Lilla Värtan sträcker sig, vilken effekt en fosforbehandling av Edsvikens olika delbassänger skulle ge givet vattenutbytet med Lilla Värtan och övrig extern belastning och vad skillnaden blir om Lilla Värtan har nuvarande näringsnivå jämfört med om den skulle sjunka till en nivå motsvarande god status.



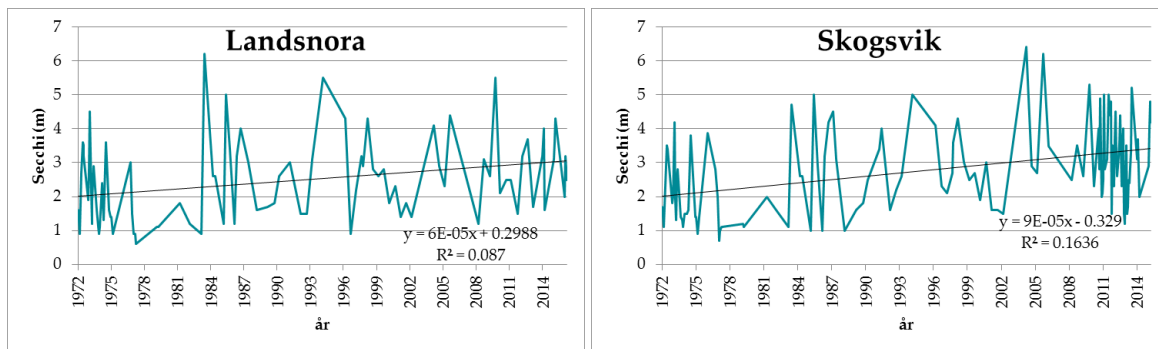
Figur 1. Edsviken med angränsande vattenområden.

Bakgrund och dataunderlag

Hösten 1968 tillsatte styrelserna i de kommuner som gränsar till Edsviken en arbetsgrupp för att studera behovet av samt förutsättningarna och möjligheterna att förbättra vattenbeskaffenheten i Edsviken. Edsviken hade vid denna tidpunkt under lång tid belastats av kommunalt avloppsvatten och miljöförhållandena var otillfredställande. Genom idrifttagandet av Käppalaverket 1969 skedde en successiv avlastning och 1972 konstaterades att miljösituationen förbättrats något (Petrelius et al., 1972). Totalfosforhalten låg vid denna tidpunkt runt 200-300 µg/l, klorofyllhalten sommartid uppgick till cirka 50 µg/l och siktdjupet var cirka en meter (VBB, 1972). Därefter har fosforhaltena gradvis sjunkit till i genomsnitt ca 40 µg/l (Fig. 2) och siktdjupet ökat till ca 3 m (Fig. 3).



Figur 2. Totalfosforhaltens utveckling över tid (1972-2017) i Edsvikens ytvatten (0-6 m). Data från recipientkontrollprogrammet.



Figur 3. Siktdjupets utveckling över tid (1972-2017) i Edsviken. Data från recipientkontrollprogrammet.

För att Edsviken skall uppfylla kriterierna för vad som inom svensk vattenförvaltning anses motsvara god ekologisk status (GES) behöver emellertid fosforhaltena sjunka ytterligare, i runda tal halveras, till nivån strax under 20 µg/l enligt det senaste förslaget till reviderade bedömningsgrunder för kustvatten (Towe Holmborn, Sollentuna kommun, pers. komm.).

Fosfor kan i princip tillföras Edsvikens vattenmassa via tre transportvägar:

- 1) Vattenutbyte med det utanförliggande kustvattenområdet Lilla Värtan. Edsviken och Lilla Värtan är kommunicerande kärl och över Stocksundet sker ett mer eller mindre kontinuerligt ytvattenutbyte drivet av vattenståndsvariationer och vind/vågverkan.

- 2) Landbaserad tillförsel genom de vattendrag och diken som dränerar Edsvikens avrinningsområde inklusive de hårdgjorda ytor där dagvatten bildas, och eventuell direkt tillförsel från punktkällor invid Edsvikens stränder.
- 3) Läckage av fosfor som genom historiska utsläpp tillförts bottensedimenten, så kallad internbelastning.

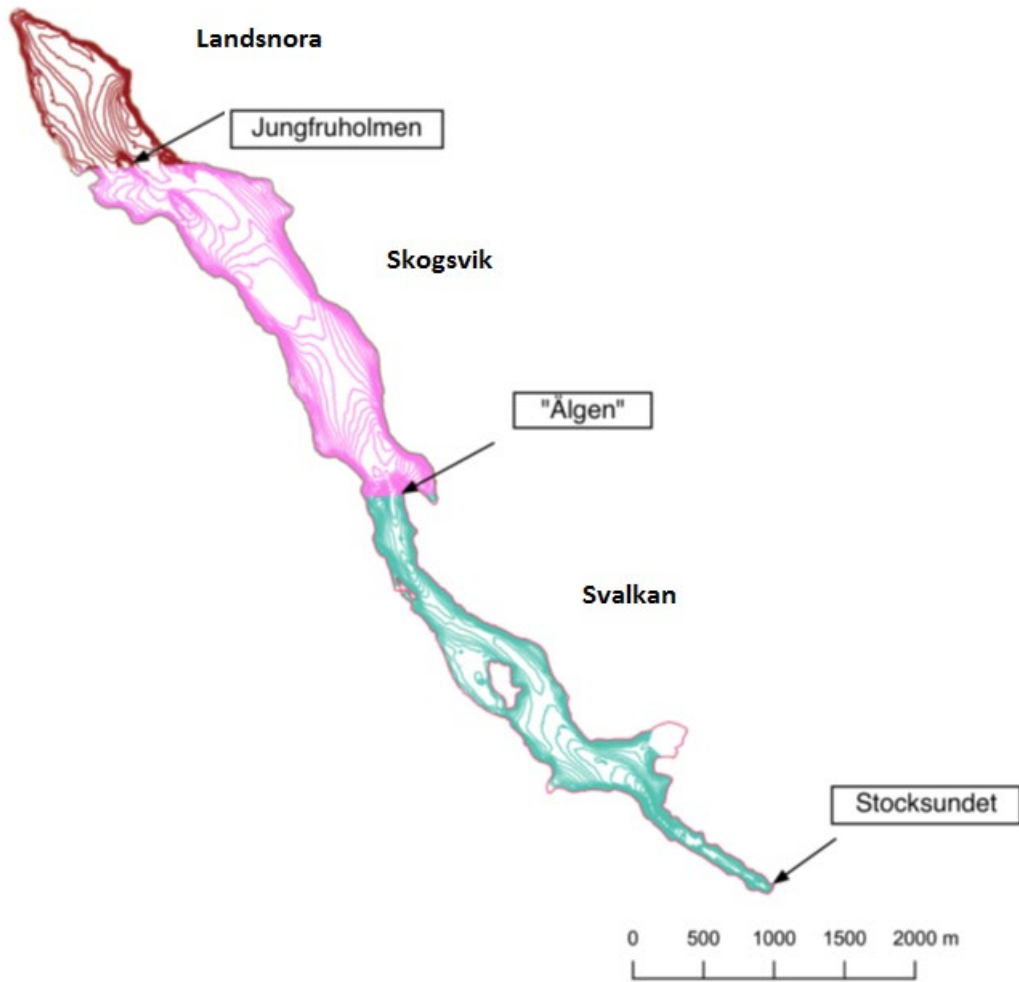
För att beräkna hur mycket fosfor som transporteras in till Edsviken från Lilla Värtan behöver vattenutbytet mellan bassängerna kvantifieras liksom fosforkoncentrationen i Lilla Värtans ytvatten. En ofta använd metod, i de fall det finns ett signifikant sötvattentillflöde till ett kustområde, är att tillämpa Knudsens relationer (Knudsen, 1900) och upprätta en massbalans för salt. Med kännedom om storleken på sötvattentillflödet, salthalten i det aktuella kustområdet samt salthalten i det utanförliggande kustområdet går det att analytiskt beräkna det inflöde av saltvatten som måste till för att vidmakthålla den aktuella salthalten inom kustområdet. Vattenutbytet kan också kvantifieras med empiriskt eller fysikaliskt grundade matematiska modeller. SMHI har med en fysikalisk modell (kustzonsmodellen) som drivs av väderdata beräknat vattenutbytet över Stocksundet till i genomsnitt cirka $6 \text{ m}^3/\text{s}$ ¹. Liknade resultat erhålles om Knudsens relationer appliceras på systemet. Inflödet av brackvatten kan jämföras med den sammanlagda sötvattentillförseln på cirka $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Edsvikens vattenmassa består således vid en given tidpunkt till stor del av brackvatten med ursprung i utanförliggande kustbassänger och Mälavatten från Mälarens utlopp i Saltsjön via Norrström. För att representera fosforkoncentrationen i det vatten som strömmar in via Stocksundet användes mätdata från provtagningspunkten Ekhagen i Lilla Värtan. Provtagningspunkten ingår i det lokala recipientkontrollprogrammet.

Den landbaserade tillförseln av fosfor till Edsviken har hämtats från modellberäkningar där schablonhalter från olika typer av markanvändning och geografisk information om olika markslag inom Edsvikens avrinningsområde utnyttjats (Persson & Karlsson, 2015).

Internbelastningen har kvantifierats med den applicerade massbalansmodellen. I modellen finns generella algoritmer för diffusion av fosfor baserat på kemiska karakteristika avseende sedimenten och den överliggande vattenmassan (se vidare nästa avsnitt). Data från recipientkontrollprogrammet avseende totalfosfor- och fosfatfosforkoncentrationer under olika delar av året har använts för finkalibrering. Den potentiella mängden mobil fosfor som med tiden skulle kunna läcka ut till Edsvikens vattenmassa har kvantifierats av Rydin & Lindqvist (2018) till storleksordningen 12 ton.

För att modellera Edsviken upplöst i tre delbassänger (**Fig. 4**) har digitaliserad batymetrisk information avseende yt-, djup-, och volymsförhållanden tillhandahållits av Lindqvist (2018).

¹ vattenweb.smhi.se



Figur 4. Edsviken upplöst i tre delbassänger, Landsnora, Skogsvik och Svalkan. Från Lindqvist 2018.

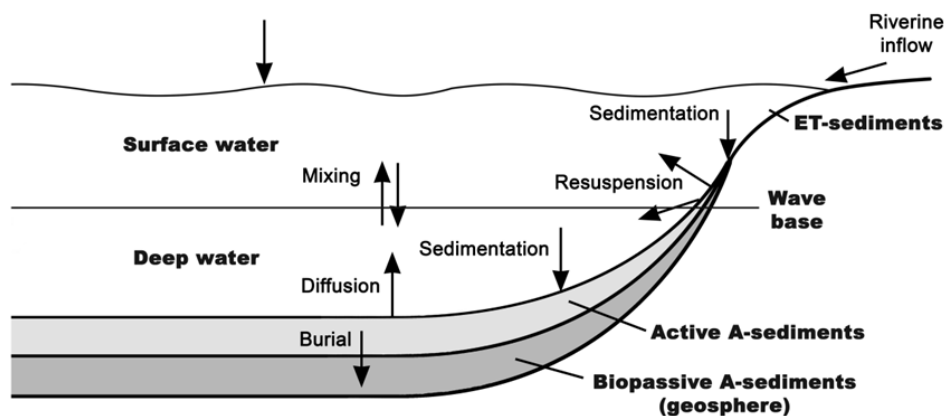
Metodik

I denna studie har en massbalansmodell använts för att beskriva och förutsäga vilka flöden av fosfor som sker in till, ut från och inom Edsviken. Grundläggande för att upprätta en massbalans är kunskap om systemets vattenomsättning, omsättningen av partiklar i form av sedimentation och resuspension till och från bottenarna samt den kemiska jämvikten mellan löst fosfor i vatten och fosfor bundet i sediment. Genom att upprätta dynamiska massbalanser kan koncentrationen i yt- och djupvatten av modellerade substanser beräknas vid olika tidpunkter på året och under olika förhållanden i valda scenarier.

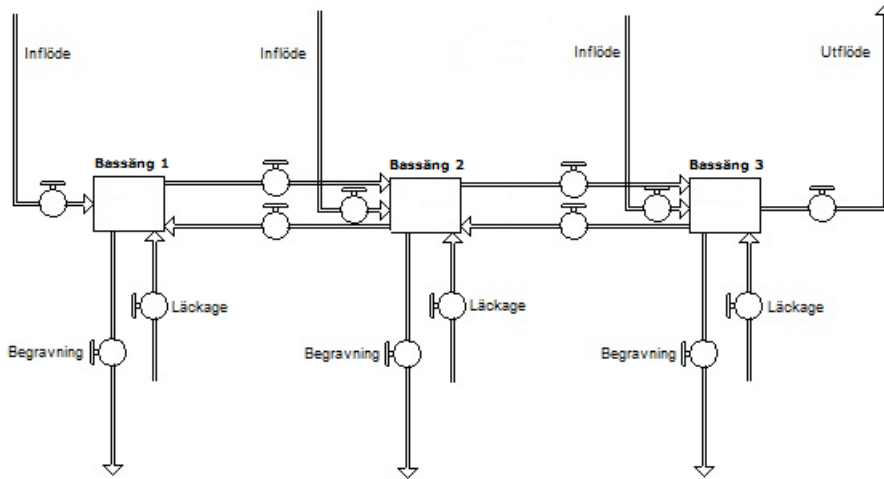
Håkanson et al. (1984) undersökte i början av 1980-talet vattenomsättningen i ett tjugotal kustområden längs Sveriges kust. De fann att vattenomsättningen generellt sett var snabb och att det fanns ett statistiskt samband mellan kustområdets öppenhet mot utanförliggande hav och ytvattnets omsättningstid, vilket sedermera omsattes i en matematisk modell för vattenomsättning i Östersjöns skärgårdsområden (Persson et al., 1994). Kärnkraftsolyckan i Tjernoby 1986 ledde till en hög deposition av radioaktivt cesium över stora delar av Europa. Detta har visat sig vara ett mycket användbart verktyg för att utveckla akvatiska ekosystemmodeller. Genom att följa pulsen av cesium-137 genom de akvatiska systemen har förståelsen för hur sedimentologiska processer påverkar omsättningen av material ökat väsentligt. Baserat på denna kunskap utvecklades i början av 2000-talet dynamiska massbalansmodeller för fosfors omsättning i kustområden (Håkanson & Eklund, 2007; Malmaeus et al., 2008). Olika varianter av massbalansmodellen har använts i miljödomstolsärenden för att bedöma miljöpåverkan av utsläpp från punktkällor, framförallt skogsindustrier, och för att bedöma effekten av utsläppsreducerande åtgärder.

Massbalansmodellen har även använts i områden med betydande internbelastning, bland annat i Östhammarsfjärdarna (Karlsson et al., 2011; Karlsson 2013), Björnöfjärds- och Fjällsviksystemet på Värmdö (Malmaeus & Karlsson, 2013, Persson & Karlsson, 2017) samt i Stockholms innerskärgård (Karlsson et al., 2014).

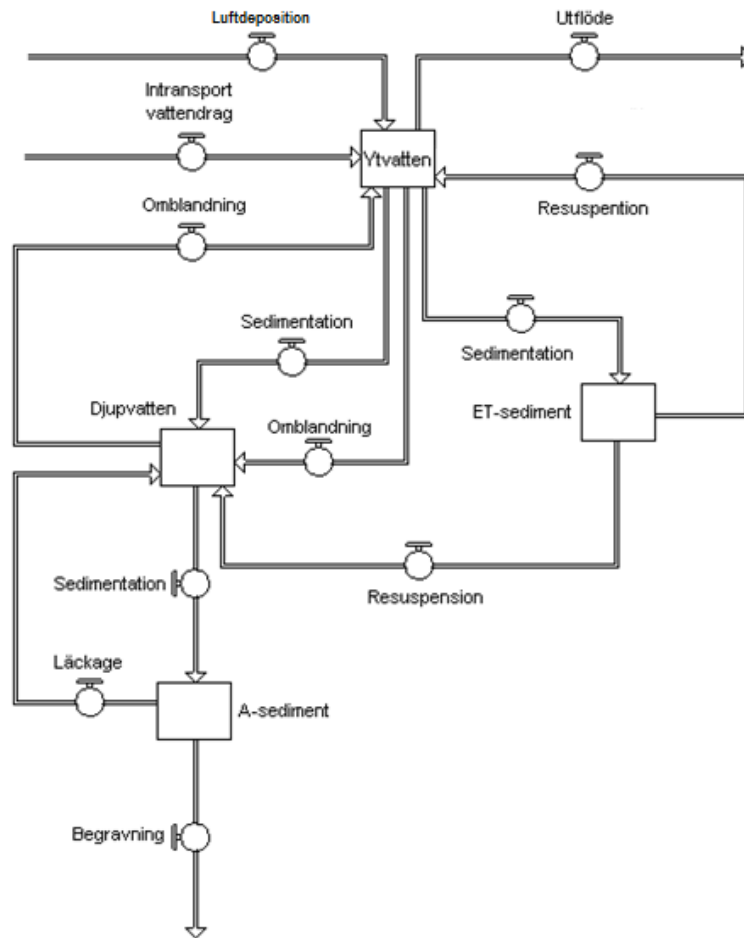
Modellen som applicerats på Edsviken är en en-dimensionell massbalansmodell som beräknar koncentrationen av fosfor i vattenmassan genom att numeriskt lösa det system av ordinära differentialekvationer som uppstår när de flöden som redovisas i **Figur 5** parameteriseras. För att applicera modellen för Edsvikens tre bassänger modelleras tre delsystem och kopplas ihop så som visas principiellt i **Figur 6**. För varje delbassäng beskrivs dynamiken i detalj med fyra tillståndsvariabler för fosfor (**Fig. 7**).



Figur 5. Principskiss över substansflöden i ett akvatiskt system. Från Karlsson (2011).



Figur 6. Principskiss över Edsviken som ett system med tre delbassänger.



Figur 7. Massbalansmodellens struktur. Fosformängden beräknad för fosfor i ytvatten, djupvatten, erosions- och transportsediment (ET-sediment) samt i ackumulationssediment (A-sediment).

I modellen särskiljs ackumulationsbottnar (A-sediment), d.v.s. bottnar med kontinuerlig deposition av finmaterial, från erosions- och transportbottnar (ET-sediment), d.v.s. bottnar varifrån finmaterial kan eroderas eller resuspenderas. Det bottendjup där gränsen mellan A- respektive ET-sediment går benämns vågbas (Håkanson & Jansson, 1983). Vågbasens läge och gränsen mellan ytvatten och djupvatten har bestämts med hjälp av statistiska modeller i kombination med uppmätta temperaturprofiler. Vågbasens läge bestämmer i sin tur utbredningen av olika bottentyper. Flödet mellan bassängerna har initialt beräknats som 2,5 cm/s i halva sektionens arean men har därefter finkalibrerats för att få massbalansen för fosfor att stämma överens med empiriska data.

Den detaljerade fosformodell (**Fig. 7**) som används för respektive delbassäng finns beskriven i Malmaeus et al. (2008). Förutom vattenflöden simuleras i denna modell också den vertikala omblandningen mellan yt- och djupvatten, sedimentation, resuspension, begravninng och läckage från sediment. Modellen drivs av morfologiska och hydrologiska data med kalibrerade algoritmer för interna processer (sedimentation, resuspension, läckage, omblandning) som i sin tur drivs av data på syrehalt och vattentemperatur i ytvatten och djupvatten. Med hjälp av denna modell har effekter på systemets fosfordynamik av förändrat utbyte mellan vatten och sediment simulerats, liksom förändrat utbyte med Lilla Värtan (minskad intransport av fosfor) samt effekter av minskad tillförsel av fosfor från landbaserade källor.

Med ovan beskrivna ansats för modelleringen har sex scenarier tagits fram där antaganden om åtgärder för att minska extern respektive intern belastning av fosfor utvärderats. Scenarierna har tagits fram i samråd med uppdragsgivaren och är tänkta att illustrera vilka effekter som principiellt kan förväntas vid olika typer av åtgärder. Följande scenarier redovisas i resultatdelen:

- 50 % minskning av extern fosfortillförsel via vattendrag, dagvatten och andra landbaserade källor till samtliga bassänger – "Extern"
- Behandling av hela A-bottenarealen i den första (nordligaste) bassängen (Landsnora) – "1 bassäng intern"
- Behandling av hela A-bottenarealen i den första och andra bassängen (Landsnora + Skogsvik) – "2 bassäng intern"
- Behandling av hela A-bottenarealen i hela Edsviken (tre bassänger) – "3 bassäng intern"
- God ekologisk status uppnås i Lilla Värtan – "Värtan GES"
- Samtliga externa och interna åtgärder inklusive god ekologisk status i Lilla Värtan – "Alla åtgärder"

Vid behandling av A-bottnar har vi antagit att all tillgänglig fosfor i de behandlade sedimenten binds permanent och därmed undgår läckage upp i vattenmassan. Vi definierar inte närmare vilken metod som i praktiken skulle användas för behandling, men att kemiskt binda den tillgängliga fosfor skulle ge liknande effekter som de som simuleras här.

I **Tabell 1** redovisas en sammanställning av de morfometriska och hydrologiska parametrar som använts i modellen jämte de transportberäkningar som likaledes utnyttjats för drivning av modellen. I **Bilaga 1** redovisas även morfometriska data för respektive delbassäng.

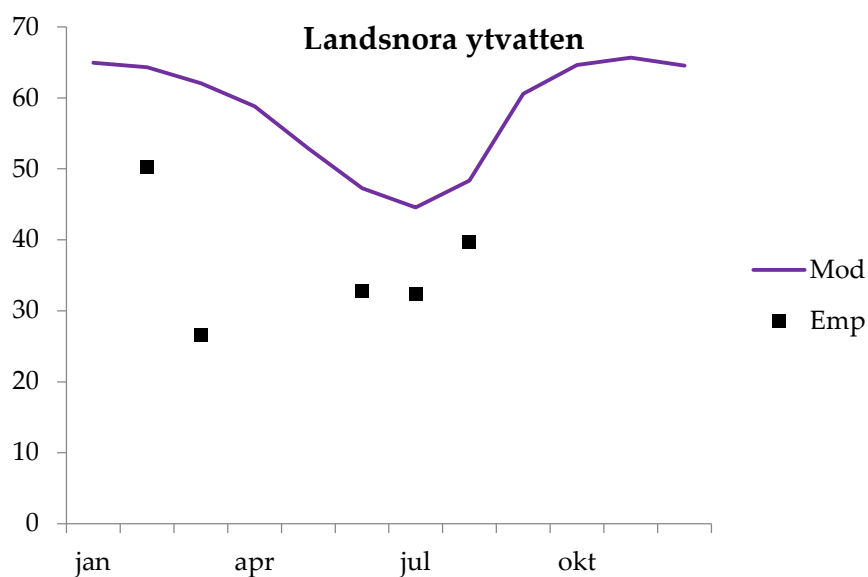
Tabell 1. Morfometriska och hydrologiska data samt transportberäkningar som utnyttjats för drivning av modellen.

Parameter	Värde	Referens
Medeldjup	8 m	Lindqvist, 2018
Maxdjup	19 m	Lindqvist, 2018
Area	3,6 km ²	Lindqvist, 2018
Volym	29,4 Mm ³	Lindqvist, 2018
Sötvattentillflöde	0,5 m ³ /s	www.vattenweb.smhi.se
Brackvattenutbyte	6 m ³ /s	www.vattenweb.smhi.se
Fosfortillförsel via landbaserade källor	1,3 ton/år	Persson & Karlsson, 2015
Fosfortillförsel genom vattenutbyte	6,5 ton/år	www.vattenweb.smhi.se

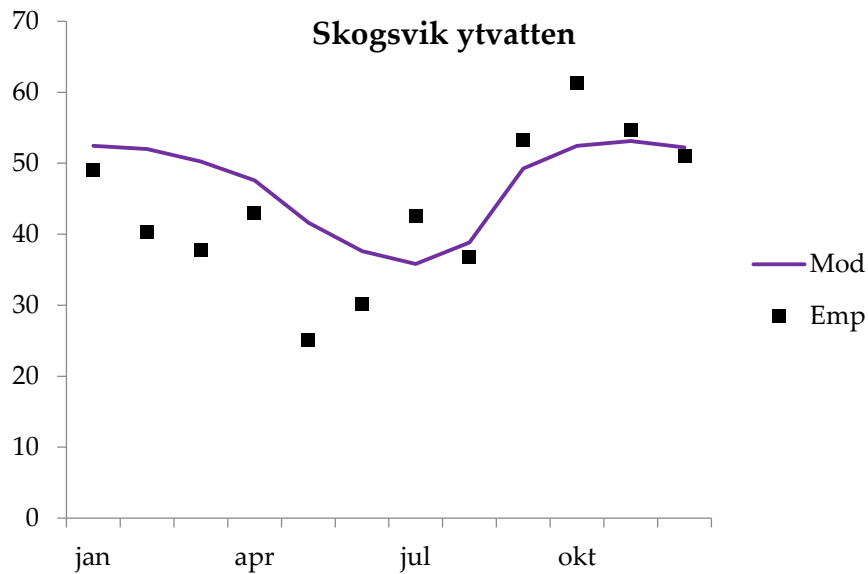
Resultat

Fosformodellen bygger på generella parametrar för interna flöden som har finjusterats för att uppnå så god överensstämmelse som möjligt jämfört med empiriska data. Modellens överensstämmelse med empiriska mätningar (2013-2017) för fosfor i ytvatten redovisas i **Figur 8 a-c**.

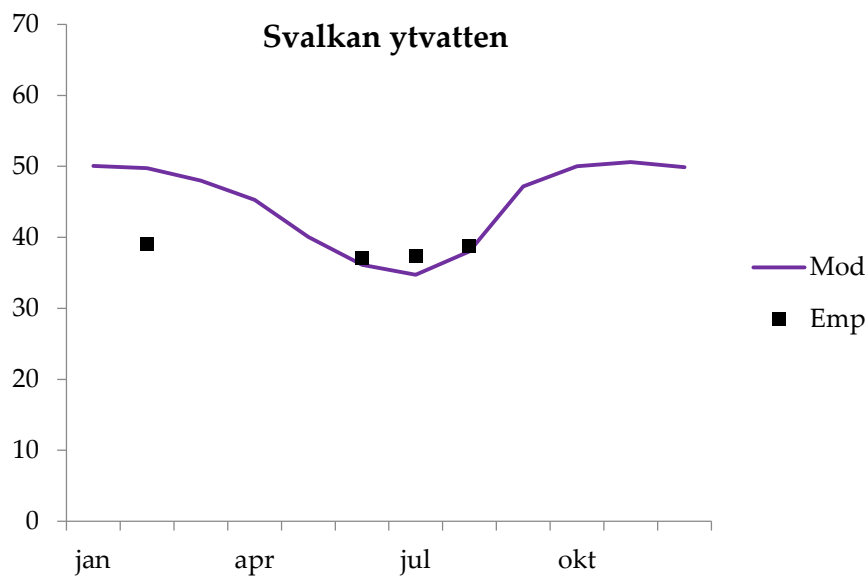
a)



b)



c)



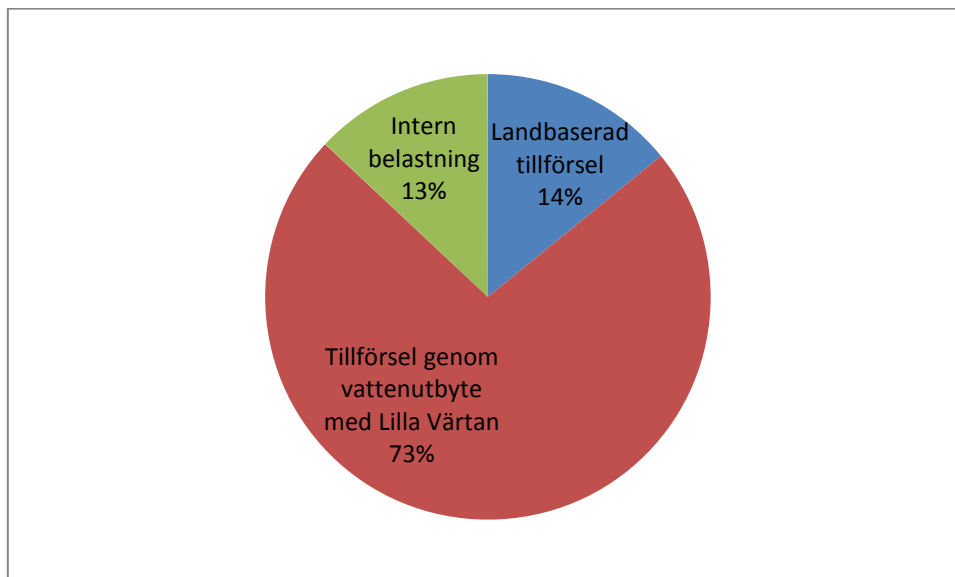
Figur 8 Modellerad koncentration ($\mu\text{g/l}$) jämfört med empirisk uppmätt koncentration (medelvärden 2013-2017) av totalfosfor i ytvatten i a) Landsnora, b) Skogsvik, c) Svalkan.

Generellt kan konstateras att modellens överensstämmelse med empiriska data är acceptabel i Landsnora, och god i Skogsvik och Svalkan.

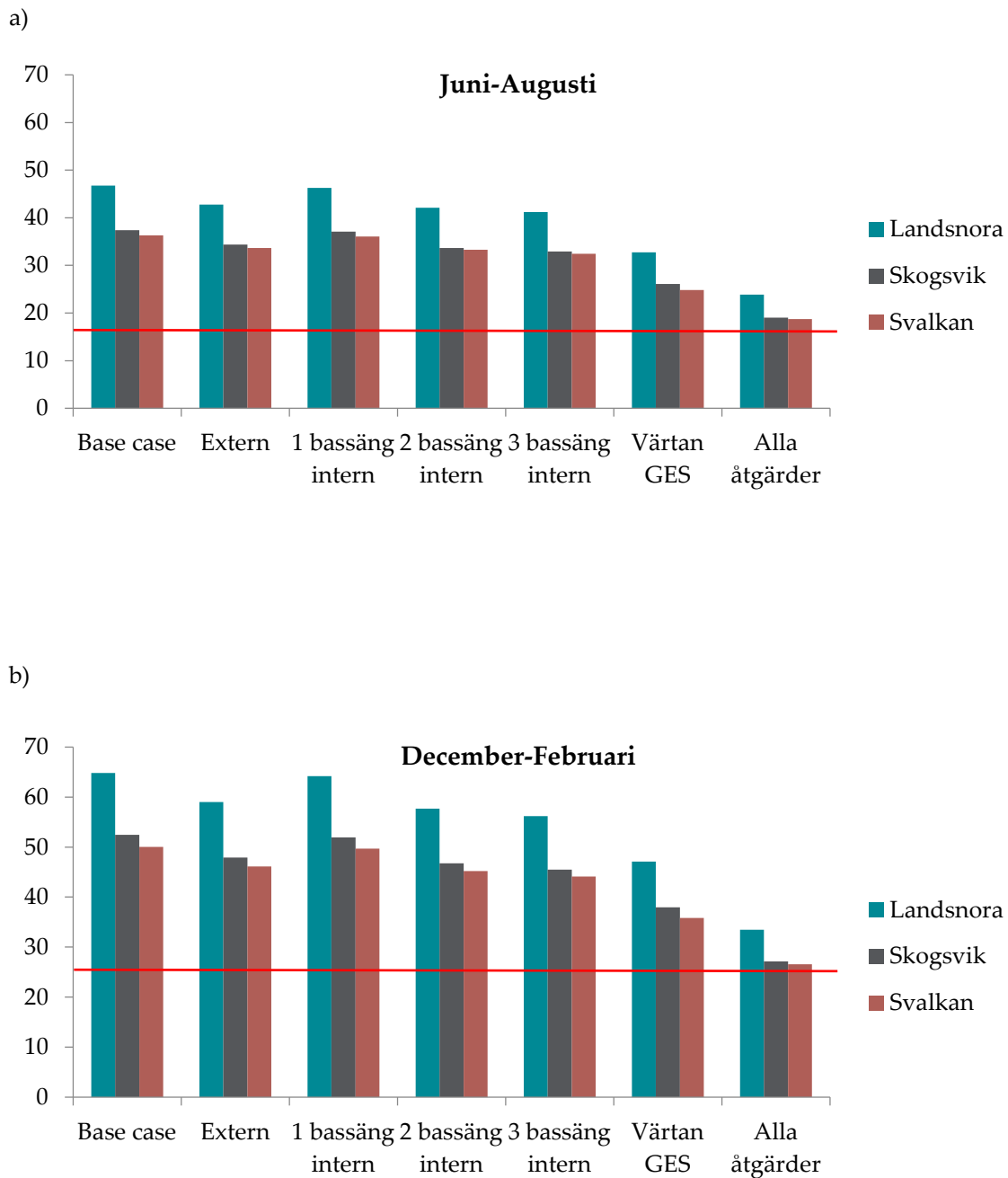
I **Tabell 2** redovisas beräknade totalfosforflöden till, från och inom Edsvikens delbassänger. I **Figur 9** jämförs bidraget från olika källor till Edsvikens totala fosforbelastning.

Tabell 2 Flöden av totalfosfor (ton/år) till, från och inom Edsvikens delbassänger.

	Landsnora	Skogsvik	Svalkan	Summa
Tillförsel från land	0,43	0,50	0,33	1,26
Intransport från Lilla Värtan			6,5	6,5
Uttransport till Lilla Värtan			9,2	9,2
Sedimentation	0,05	0,66	0,33	1,05
Begravning (från aktiva till passiva sediment)	0,19	0,37	0,07	0,63
Internbelastning (diffusion från sediment till vatten)	0,06	0,84	0,25	1,16


Figur 9. Storleksjämförelse mellan olika inflöden av fosfor till Edsviken.

I **Figur 10** visas fosforkoncentrationen i de tre bassängernas ytvatten i de olika scenarierna jämfört med dagens nivåer ("base case"). Enligt dessa simuleringar skulle varken minskad extern tillförsel eller interna åtgärder ge tillräckligt stora effekter i någon av Edsvikens bassänger. Det framgår också att transporten mellan bassängerna är så omfattande att någon skillnad beroende på var åtgärderna genomförs inte går att skönja. Åtgärder för att minska fosfornivåerna i Lilla Värtan och därmed intransporten av fosfor till Edsviken i den omfattning som förutsätts i vårt scenario skulle ha betydligt mer långtgående effekter på Edsvikens fosforkoncentrationer även om inte heller det räcker för att uppnå god ekologisk status i Edsviken. I scenariot där samtliga åtgärder sätts in hamnar emellertid fosforkoncentrationerna mycket nära god status.



Figur 10. *Modellerad totalfosforkoncentration ($\mu\text{g/l}$) i ytoatten a) juni-augusti och b) december-februari (medelvärde) i de tre bassänger som Edsviken delats in enligt de olika scenarierna (se metodikavsnitt för beskrivning av scenarierna). "Base case" visar nuvarande status. Röd linje markerar God Ekologisk Status sommar respektive vinter.*

Diskussion

Utförda modellberäkningar visar med tydlighet att det är förhållandena i Lilla Värtan som är avgörande för vattenkvaliteten i Edsviken. Detta bekräftar den hypotes som lades fram redan i början av 1970-talet efter att kraftfulla åtgärder vidtagits mot den landbaserade tillförseln av gödande ämnen (VBB, 1972). Edsviken och Lilla Värtan är kommunicerande kärl och det vattenutbyte som sker mellan de bägge vattenförekomsterna jämnar ut de gradienter i fosforkoncentration som uppstår till följd av den landbaserade och direkta tillförseln av fosfor till Edsviken. Detta innebär samtidigt att en övervägande del av den fosfor som tillförs till Edsviken exporteras till Lilla Värtan och blir en del av dess sammanlagda fosfortillförsel. Åtgärder för att minska fosfortillförseln till Edsviken från landbaserade källor och internbelastning kan således, utan att ge några synbara effekter på Edsvikens vattenkvalitet, ändå vara av godo för de omgivande vattenförekomsterna och situationen som helhet i Stockholms innerskärgård.

Den interna omblandningen av vatten mellan Edsvikens delbassänger är betydande. Det är uppenbart att så är fallet om man jämför salthalterna mellan delbassängerna. Salthalten i den innersta bassängen är vid mätpunkten Landsnora 2,5 ‰ att jämföra med 2,7 ‰ i den yttersta mätpunkten Svalkan, vilket i sin tur kan jämföras med salthalten i Lilla Värtan vid mätpunkten Ekhagen som i genomsnitt uppgår till 3,0 ‰. Det är därför inte meningsfullt att diskutera riktade åtgärder mot en specifik del av Edsviken eller dess tillrinningsområde. Edsviken är ur ekologiskt hänseende snarare att betrakta som en funktionell enhet, d.v.s. ett sammanhängande kustekosystem.

Modellen stipulerar att fosforkoncentrationer nära god ekologisk status (GES) i Edsviken erhålles om Lilla Värtan uppnår GES samtidigt som alla tänkbara åtgärder mot landbaserad tillförsel och internbelastning genomförs. Givet de osäkerheter som finns i de variabler som driver modellen går det inte att precisera närmare om fosforkoncentrationerna skulle hamna på, strax över eller strax under målvärdena för GES.

Fosforkoncentrationerna i Edsviken låg vid början av 1970-talet runt 200-300 µg/l (Petrelus et al., 1972). Idag ligger den runt 40 µg/l och målvärdet för sommarkoncentrationer är strax under 20 µg/l. Väsentliga förbättringar av vattenkvaliteten har således skett under de närmare 50 år som gått sedan arbetet med miljöförbättrande åtgärder startade. Vattenkvaliteten skulle teoretiskt kunna bli ännu lite bättre om omfattande åtgärder genomförs. Erfarenheter från restaureringen av Björnöfjärden i Värmdö kommun (Rydin et al., 2017) visar att detta är möjligt och att det leder till ekologiska förändringar som ökat siktdjup, minskad växtplanktonproduktion och ökad utbredning av makrovegetation. För att detta skulle ske i Edsviken krävs emellertid åtgärder mot hela den samlade tillförseln till Stockholms innerskärgård inkluderande sötvattentillförseln via Mälaren. En samhällelig diskussion om vilka mål och åtgärder som är eftersträvansvärda bör ha en bredare ansats än att enbart diskuteras från EU:s vattendirektiv och därigenom beslutade miljökvalitetsnormer.

Referenser

- Håkanson, L. & Jansson, M., 1983. Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 316 sid.
- Håkanson, L. and Eklund, J.M., 2007. A dynamic mass-balance model for phosphorus fluxes and concentrations in coastal areas. *Ecological Research* 22, 296-320.
- Håkanson, L., Kulinski, I & Kvarnäs, H., 1984. Vattendynamik och bottendynamik i kustzonen. Statens Naturvårdsverk PM 1905.
- Malmaeus, M., & Karlsson, M., 2013. Modellering av gödande ämnen i Björnöfjärdssystemet Simulering av effekter av åtgärder mot extern och intern belastning. IVL-rapport B2135.
- Malmaeus J.M., O.M. Karlsson, D. Lindgren and J. Eklund, 2008. The optimal size of dynamic phosphorus models for Baltic coastal areas. *Ecological modelling* 216: 303–315.
- Karlsson, O.M., 2011. Predicting Ecosystem response from Pollution in Baltic Archipelago areas using Mass-balance Modelling. Doctoral thesis Uppsala University, ISBN 978-91-554-8012-7.
- Karlsson, M. 2013. Fosfordynamik i Granfjärden. Länsstyrelsens meddelandeserie 2013:10, Naturmiljöheten, Länsstyrelsen Uppsala län. ISSN 1400-4712.
- Karlsson, M. & Rydin, E., 2017. Fosforbalans för Brunnsviken - Simulering av framtida åtgärdsscenarier. Naturvatten rapport 2017:18.
- Karlsson, M., Malmaeus, M. & Lindgren, D., 2011. Modellering av fosforomsättningen i Östhammarsfjärden. IVL-rapport B1974.
- Karlsson, O.M., Malmaeus, J.M., Viktor, T., Andersson, M.G. & Rydin, E., 2014. A revised semi-empirical mass balance model for phosphorus in Baltic coastal areas. *Fundamental and Applied Limnology* 185: 209-221.
- Knudsen, M., 1900. På tyska: Ein hydrographischer Lehrsatz. *Ann. Hydrogr Maritim Met* 316-320.
- Lindqvist, U., 2018. Volymsberäkningar i Edsviken 2018. Naturvatten rapport 2018:21.
- Malmaeus, M., & Karlsson, M., 2013. Modellering av gödande ämnen i Björnöfjärdssystemet - Simulering av effekter av åtgärder mot extern och intern belastning. IVL-rapport B2135.
- Persson, I. & Karlsson, P., 2015. Sammanställning av föroreningar i dagvattenutlopp till Edsviken från Solna, Sollentuna och Danderyd. SWECO rapport 2015-02-27.
- Persson, M. & Karlsson, M., 2017. Vattenutbyte och fosforbalans i Fjällsvikssystemet. KEAB rapport 2017:1.
- Persson J., Håkanson, L., Pilesjö, P., 1994. Prediction of theoretical surface water turnover time in coastal waters using digital bathymetric information. *Environmetrics* 5: 433-449.
- Petreluis, B., Romson, B., et al., 1972. Angående Edsvikens sanering rapport mars 1972, 14 sid.



Rydin, E. & Lindqvist, 2018. Läckagebenägen fosfor i Edsvikens bottnar. Naturvatten rapport 2108:19.

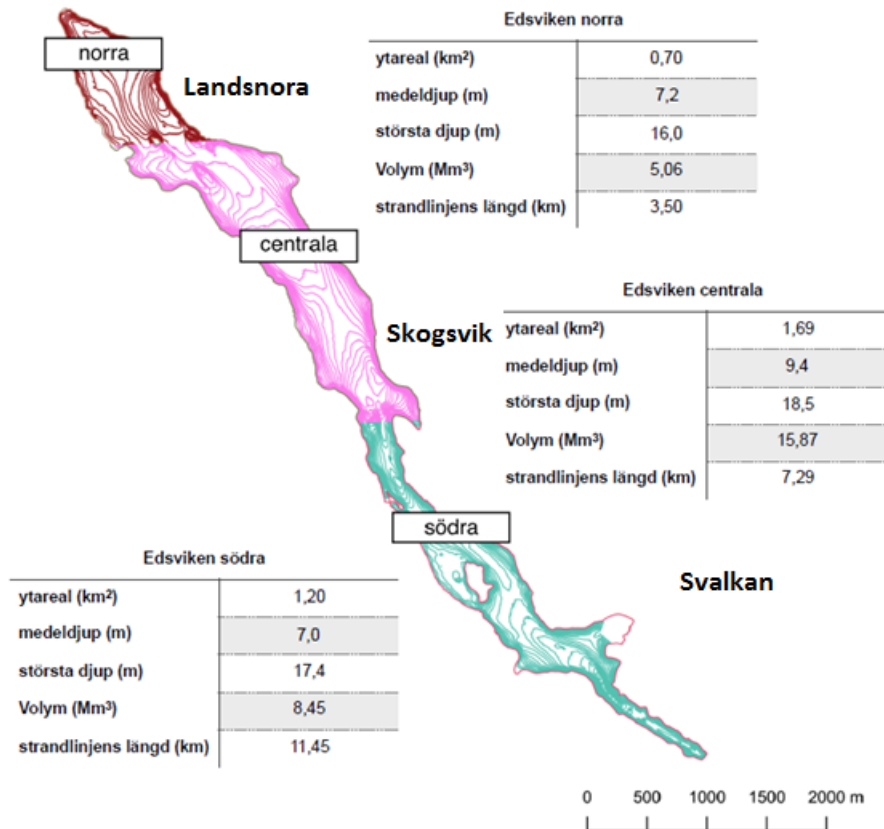
Rydin, E., Kumblad, L., Wulff, F. & Larsson, P., 2017. Remediation of a Eutrophic Bay in the Baltic Sea. *Environmental Science and Technology* 51:4559-4566.

VBB, 1972. Edsviken sanering – sammanfattning av hittillsvarande utredningsarbete för Edsvikens sanering. 16 mars 1972, 47 sid.

Bilaga 1 – Morfometriska data för respektive delbassäng

Edsviken uppdelad i tre bassänger

Edsvikens volym, djupförhållanden, areal och strandlinjens längd uppdelad i tre bassänger visas i figur 5. I tabell 4 beskrivs volymer och arealer för respektive djupområden i de tre bassängerna.



Från Lindqvist (2018)

