

KEAB

KEAB rapport 2020:1



## **Vattenomsättning och fosfordynamik i Skurusundet**

### **Rapport för Nacka kommun**

**Magnus Karlsson**

**Gräsö 2020-09-16**

## Inledning

Nacka kommun utreder möjligheterna att genom ett så kallat lokalt åtgärdsprogram (LÅP) förbättra miljöförhållandena i kommunens vattenområden, mer specifikt i kustvattenförekomsten Skurusundet, ett område som sträcker sig från Skurubron i nordväst till Baggensstaket i ost i Stockholms inre skärgård. Som underlag för bedömning av möjligheterna att nå framgång har föreliggande rapport tagits fram. I rapporten redovisas beräkningar över Skurusundets vattenomsättningar, dvs hur vattnet i området successivt byts ut genom cirkulation av vatten med intilliggande vattenområden och tillförsel av sötvatten från omgivande lokalt avrinningsområde. I rapporten redovisas även, med vattenutbyteskalkylerna som grund, en budget för näringsämnet fosfor, dvs., hur mycket som fosfor som flödar till, ut och inom Skurusundets vattenmassa och bottensediment. Detta är flöden som i grunden bestämmer vattenkvaliteten i vattenförekomsten och sätter gränser för hur långt man kan nå med lokala åtgärder.

## Bakgrund

### Vattenomsättning

Vattenomsättningen längs en kust kan drivas av flera processer som varierar i tid och rum. Processernas betydelse varierar med kustområdets morfometri (storleksmått som yta, djup, volym, inneslutethet, topografisk öppenhet, flikighet m.m.), som inte varierar i tid, men som i hög grad varierar mellan olika kustområden. Viktiga faktorer som påverkar vattenomsättning är:

*Vinden*, när vinden blåser över en vattenyta snedställs denna vilket innebär att betydande vattenmassor måste förflyttas. Vattenrörelserna sker genom direkt överföring av rörelser från atmosfären till havet. Generellt kan sägas att vinden har stor inverkan på vattenomsättningen i många kustområden

*Sötvattentillförsel*, har stor betydelse för vattenomsättningen i de flesta flodmynningsområden. När sötvattnet från ett vattendrag rinner ut i ett kustområde, transporteras det vidare ut mot havet för att utjämna den nivåkillnad som uppstår vid flodmynningen. I denna rörelse överförs en del sötvattnets rörelseenergi genom friktion till den underliggande vattenmassan som också börjar röra sig utåt. För att kompensera för denna förflyttning av vatten uppstår längs botten en motriktad ström som transporterar in saltare vatten från utanför liggande vattenområde. Fenomenet benämns estuarin cirkulation.

*Kustströmmar*, längs östersjökusterna finns storskaliga kustparallella strömmar som p.g.a. jordrotationen löper motsols. Längs den svenska östersjökusten är nettoströmmen sydgående. Dessa kustströmmar har stor påverkan på vattenomsättningen i öppna kustområden men är generellt av mindre betydelse i skärgårdsområden.

*Vattenståndsvariationer*, beror främst på fördelningen mellan lågtrycks- och högtrycksområden och är speciellt viktiga för vattenomsättningen i grunda kustområden.

I Skurusundet som gränsar till Stockholms ström där sötvattenutflödet från Mälaren avbördas har den estuarina cirkulation som denna genererar stor betydelse för vattenomsättningen. En avlänkning av Mälärutströmmen "rinner" igenom Skurusundet och vidare ut till Baggensfjärden. Detta skapar ett ostgående nettovattenflöde av ytvatten genom området. Som ovan beskrivits i teorin kring estuarin

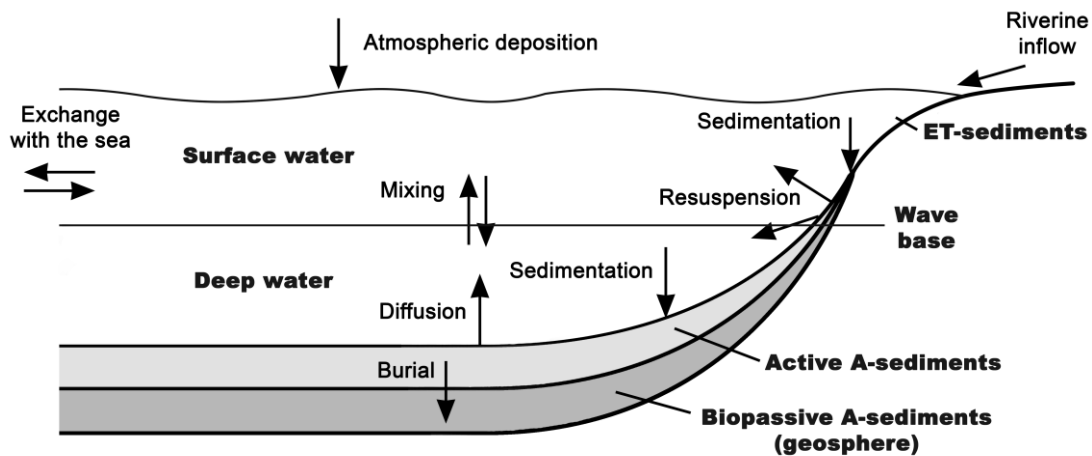
cirkulation utbildas även en västgående kompensationsström som transporterar ut bottenvatten. Det skall dock framhållas att påverkan av Mälartutflödet inte är allenaordande för vattenomsättningen i området. Det är inte alls ovanligt att strömmen genom Baggensstaket är riktad åt andra hållet, dvs att det sker ett inflöde av vatten från Baggensfjärden. Detta sker när starka vindar från ostsektorn pressar in kustvatten genom Ingaröfjärden-Erstaviken-Baggensfjärden eller att en snabb vattenståndsförskjutning till följd av lufttrycksvariationer skapar nivåskillnader som strävar efter att utjämnas.

Generellt kan sägas att vattenomsättningen i Östersjöns kustområden är snabb, betydligt snabbare än vad den exempelvis är en i insjö, där processen enbart drivs av hur stor tillrinningen är från de vattendrag som mynnar i förhållande till sjöns vattenvolym. En typisk genomsnittlig uppehållstid för i ytvatten i skärgårdsområden är en vecka (Håkanson et al., 1984; Engqvist, 1999; Dimberg & Bryhn, 2014). I inneslutna skärgårdsområden, exempelvis delar av Stockholms innerskärgård, förekommer områden med längre uppehållstider uppemot en månad eller mer (Engqvist, 1999, Engqvist & Andrejev, 2003; Engqvist & Karlsson, 2013). Detta är ändå en förhållandevis kort tid jämfört med en normalstor insjö där vattenutbytestiden typiskt varierar mellan en och sex månader (Håkanson, 2004). Detta är av stor principiell betydelse för effekten av lokala åtgärder mot exempelvis övergödning i enstaka områden. Sådana **åtgärder har, till följd av det stora vattenutbytet mellan kustområden, sällan förutsättningar att ge betydande effekter såvida de inte genomförs samordnat över ett större område, en region, eller rentav en havsbassäng.**

En annan process av betydelse för vattenomsättning och vattenkvalitet är vattenmassans skiktning. Sommartid värms vattnet i de ytliga lagren upp och det skapas ett temperaturavtagande som vid ett visst djup, den så kallade vågbasen (Malmaeus et al., 2008) gör ett språng med hastigt avtagande temperatur ned mot + 4° C. Detta språngskikt fungerar som ett lock som försvårar vattenutbytet mellan djupare och ytligare liggande vattenlager. Temperaturskiktningen är vanligtvis som mest utbildad i slutet av sommaren och bryts under hösten vid den så kallade höstomblandningen när vattnet i ytan kylts av så mycket att temperaturen blir den densamma genom hela vattenpelaren. En annan skiktning kan uppstå till följd av skillnader i salthalt. Ett saltare vatten har högre densitet och på samma sätt som vid temperaturskillnader kan ett språngskikt i salthalt utbildas vid ett visst djup. Ett mer eller mindre permanent salthaltsprångskikt förekommer i öppna Östersjön på cirka 50 till 70 meters djup men är ovanligt i grundare kustområden. Salthalten i Skurusundets ytvatten är mellan 1–4 promille och något högre i bottenvattnet. Skillnaderna i salthalt skapar en skiktning i vattnet som förhindrar att syrerikt vatten från ytan blandas ner i bottenvattnet. Därför uppstår syrefria perioder som kan vara mellan ett och fyra år. Goda syreförhållanden i bottenvattnet är ovanliga och kortvariga. Sedimenten är svartfärgade och luktar starkt av svavelväte, och djurlivet är begränsat till ett fåtal tåliga arter som klarar miljöer med låga syrehalter (NV, 2012). De låga syrenivåerna har även betydelse för omsättningen av fosfor och diskuteras vidare i följande avsnitt.

## Fosfordynamik

Näringsämnet fosfors omsättning i ett kustområde styrs av ett antal processer vilka illustreras i **Figur 1**.

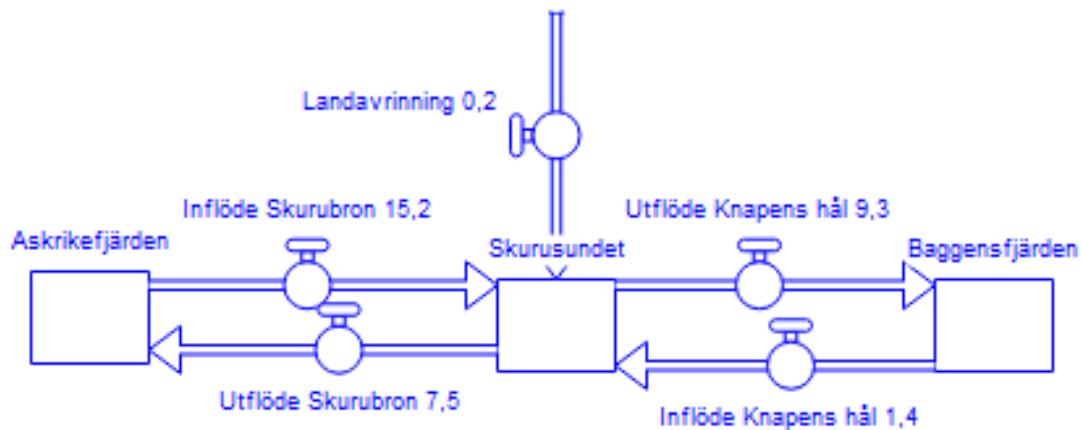


**Figur 1.** *Principiell illustration av substansflöden i ett kustområde. Från Karlsson, 2011.*

Vattenutbyte med havet eller angränsande kustområden har generellt stor betydelse för fosfordsättningen i Östersjöns kustområden (Bryhn et al., 2017). Atmosfärisk deposition kan ha viss betydelse i områden med stor ytareal men saknar i normalfallet praktisk betydelse i Östersjöns kustområden. Där större vattendrag, likt Mälaren, mynnar har de näringsämnen som följer med vattenflödet stor betydelse för koncentrationerna i mynningsområdet. Även tillförsel från mindre vattendrag, dagvattendiken etc. kan ha betydelse för fosforkoncentrationerna i avgränsade vattenområden med långsam vattenomsättning. Målvariabeln i ett lokalt åtgärdsprogram är fosforkoncentrationen i ytvattnet. Det är i ytvattnet inom den så kallade fotiska zonen, det djupa till vilket ljus nedtränger och möjliggör fotosyntes som produktion av växtplankton och fatstittande vegetation sker. För att motverka övergödning är det fosforkoncentrationer i ytvattnet som behöver begränsas. Ofta föreligger mer eller mindre tydliga gradienter i fosforkoncentrationer mellan yt- och djupvatten som varierar över året. Hur effektiv omblandningen mellan yt- och djupvatten är kan ha betydelse för fosforkoncentrationen i ytvattnet. Fosfor är till del partikelbundet. Partikulärt material faller genom vattenmassan och sedimenterar ut på kustområdenas botten. Om materialet hamnar på grunda botten så kallade erosions- och transportbotten (ET-botten) kommer det med tiden att återföras till vattenmassan, så kallad resuspension, och antingen transporteras ut ur kustområdet eller ned mot djupare liggande så kallade ackumulationsbotten (A-botten). På A-botten sker en permanent fastläggning och successiv begravning av det sedimenterade materialet. I områden som historiskt utsatts för en hög belastning av fosfor kan ett betydande förråd av fosfor byggas på A-botten. En del av denna fosfor begravs genom översedimentering medan en del frigörs genom diffusion och återgår till bottenvatten i löst direkt växttillgänglig form, en process som brukar benämnas internbelastning.

## Vattenomsättningen i Skurusundet

I **Figur 2** redovisas genomsnittliga vattenflöden av till och från Skurusundet, vilka finns redovisade på SMHIs vattenwebb ([www.smhi.se](http://www.smhi.se)). De bygger på modellberäkningar med SMHIs kustzonsmodell (Edman & Sahlberg, 2020), en numerisk spridningsmodell som drivs av väderdata, landtillrinning och tillståndet i havet utanför kustlinjen. De redovisade vattenflödena har jämförts mot beräkningar med andra modelleringsansatser (Persson et al., 1994; Engqvist, 1999; Engqvist & Andrejev, 2003) och bedömts ge en tillförlitlig *genomsnittlig* bild av vattenomsättningen i Skurusundet. Det ska emellertid framhållas att flödet varierar. Under vissa förhållanden när vattenståndet i Baggensfjärden är högre än i Askrikefjärden sker en nettoströmning i motsatt riktning mot vad som redovisas i figuren. Under period med högvattenföring i Mälarens utlopp vid Norrström kan den utåtgående vattentransporten genom Skurusundet vara betydligt högre. I genomsnitt sker dock en nettoströmning på 7-8 m<sup>3</sup>/s från Askrikefjärden genom Skurusundet till Baggensfjärden och vidare ut mot de yttre delarna av Stockholms skärgård. Landavrinningen från det lokala tillrinningsområdet runt Skurusundet har skattats till 0,2 m<sup>3</sup>/s. Det är ett i sammanhanget marginellt flöde.



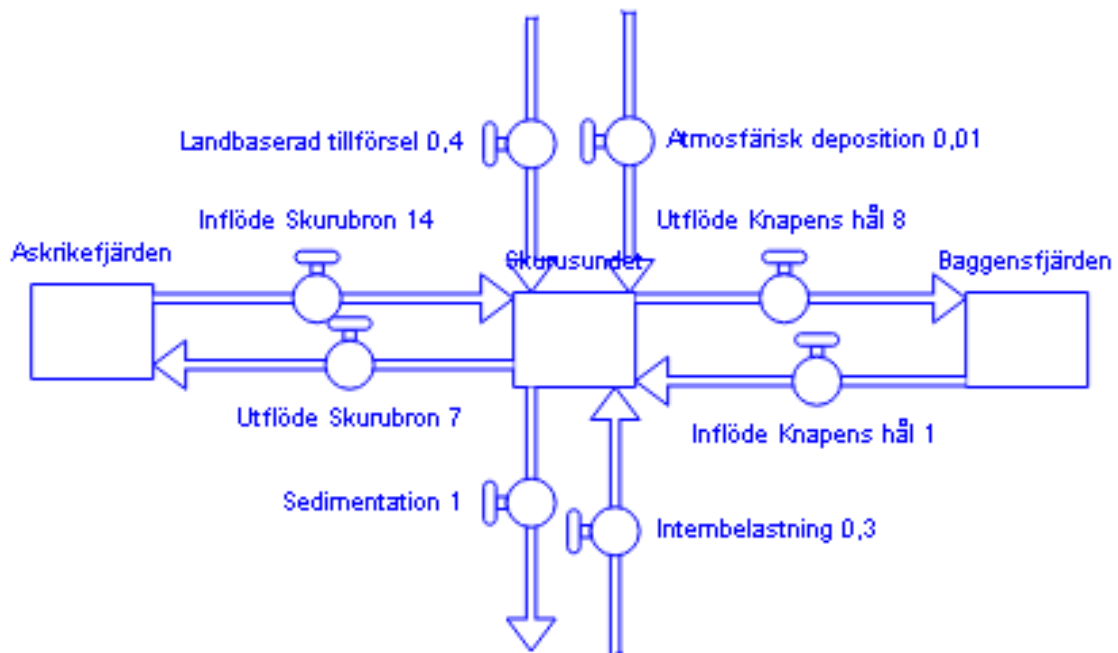
**Figur 2.** Vattenbalans för Skurusundet, flöden i m<sup>3</sup>/s.

## Fosforomsättning i Skurusundet

Med utgångspunkt i den vattenbalans som redovisats i föregående kapitel har en dynamisk massbalansmodell för fosforomsättning i Östersjöns kustområden anpassats för förhållandena i Skurusundet. Modellen beskrivs närmare i Karlsson et al. (2014). Det är en en-dimensionell massbalansmodell som i princip beräknar koncentrationen av fosfor i vattenmassan genom att numeriskt lösa det system av ordinära differentialekvationer som uppstår när de flöden och processer som redovisas i **Figur 1** parametreras. Vattenkemiska drivdata för modellen har erhållits från Stockholm Vattens och Avfalls recipientkontrollprogram (Joakim Lücke, pers. komm.). Medelvärdesbildade data från perioden 2009–2018 (**Tab. 1**) har använts för att teckna referensförhållandena och kalibrera modellen. Landbaserad tillförsel, 400 kg fosfor/år har erhållits från WRS dagvattenutredning (Jönsson et al., in prep.). Fosforflöden till och från sedimenten bygger på kalkyler redovisade i Rydin & Gustafsson (2020). En *genomsnittlig* fosforbudget för Skurusundet med hänsyn tagen till samtliga fosforflöden redovisas i **Figur 3**.

**Tabell 1.** TP-koncentrationer i Skurusundet, Askrikefjärden, Baggensfjärden, medianvärde (sommarmärden juli-augusti), 2009-2018, ytvatten 0-8 m. Data från Stockholm Vatten och Avfalls recipientkontrollprogram.

	Skurusundet	Askrikefjärden	Baggensfjärden
Årsmedianvärde ( $\mu\text{g/l}$ )	28	30	21
Sommarmedianvärde ( $\mu\text{g/l}$ )	25	24	19



**Figur 3.** Fosforbalans för Skurusundet, flöden i ton/år.

Efter att modellen kalibrerats in så att en god överensstämmelse erhållits mellan modellerade och empiriskt uppmätta fosforkoncentrationer har modellen använts i *prediktivt* syfte för att genom simuleringar bedöma vilka genomsnittliga framtida fosforkoncentrationen som skulle råda i Skurusundet vid olika scenarier där åtgärder genomförts. De åtgärdsscenarioer som på direktiv från Naturvatten (Anna Gustafsson, pers. komm.) simulerats var:

1. Inga lokala åtgärder i Skurusundets tillrinningsområde genomförs. Angränsande kustområden har nått fosforhalter motsvarande god status. Det innebär under sommaren (juli-augusti) följande:
 

Askrikefjärden	15,9 $\mu\text{g TP/l}$
Baggensfjärden	14,0 $\mu\text{g TP/l}$
2. Fosforbelastningen från det lokala tillrinningsområdet har minskat med 50 % (2a). Den interna fosforbelastningen från sedimenten minskar med 100 % (2b). Bägge åtgärderna genomförs samtidigt (2c)
3. Hur stort är haltbetinget i % i angränsande havsområden om åtgärd enligt punkt 2 ska leda till god status i Skurusundet (16,3  $\mu\text{g TP/l}$  sommartid)?

Resultaten från simuleringarna avseende scenario 1-2 redovisas i **Tabell 2**.

**Tabell 2.** Resultat av simuleringar med de olika åtgärdsscenarioerna. Nollalternativet speglar nuvarande förhållanden.

Scenario	TP-koncentration Skurusundet sommarvärde ( $\mu\text{g/l}$ )
Noll-alternativet	25
1	16,5
2a	24,6
2b	24,3
2c	23,9

Svaret på frågan i scenario 3, dvs om alla tänkbara åtgärder genomförts lokalt hur mycket måste även fosforkoncentrationen i Askrikefjärden minska för att man ska nå god ekologisk status i Skurusundet är att den behöver minska med cirka en tredjedel från 24 till 16  $\mu\text{g/l}$ .

## Kommentar till resultaten

I Skurusundet är det dominerande flödet av fosfor och det som har störst påverkan på fosforkoncentrationen i vattenförekomsten, genomströmningen av vatten från Askrikefjärden till Baggensfjärden, vilket leder till ett nettoflöde på cirka 7 ton fosfor/år (**Fig. 3**). Härvid inses snabbt att den lokala fosfortillförseln från land (400 kg/år) och internbelastningen (300 kg fosfor/år) har begränsad betydelse för vattenkvaliteten, vilket också avspeglas i simuleringarna av åtgärdsscenarioer.

Om man simulerar en minskad fosfortillförsel från land med 50 % samt en åtgärd som får internbelastningen att upphöra sänker man beräkningsmässigt fosforkoncentrationen i Skurusundet sommartid från 24 till 23  $\mu\text{g/l}$  (**Tab. 2**, scenario 2c). Om man däremot genomför åtgärder i de omgivande vattenförekomsterna så att de uppnår god ekologisk status kommer det även i det närmaste att inträffa i Skurusundet (**Tab. 2**, scenario 1). Om man genomför lokala åtgärder enligt scenario 2c är det därutöver nödvändigt att fosforkoncentrationen i Askrikefjärden minskar med en tredjedel från 24 till 16  $\mu\text{g/l}$  sommartid för att önskvärt tillstånd i Skurusundet ska uppnås. Det vill säga i praktiken måste den fosforkoncentration man eftersträvar i Skurusundet även vara uppnådd i Askrikefjärden för att målet god ekologisk status ska nås.

En matematisk modell utgör en förenklad bild av det system man vill beskriva och dess prediktiva förmåga står och faller med de rimligheten i de antaganden som görs och kvaliteten i de empiriska data som ligger till grund för beräkningarna. Tillgången på robusta vattenkvalitetsdata både från Skurusundet och angränsade fjärdar är i detta fall, genom det recipientkontrollprogram som konsekvent löpt under många år, god. Skurusundet utgör också ett välavgränsat system med förhållandevis okomplicerad morfometri där man kan anta att mätpunkten för vattenkemi på ett representativt sätt speglar miljöförhållandena i området. Icke förty ska framhållas att de resultat som redovisas speglar en medelsituation över tid och över vattenförekomsten som helhet. Variationer mellan enskilda år förekommer, liksom att det kan förekomma lokala variationer inom Skurusundet. Exempelvis så kan ett dagvattensutsläpp påverka förhållandena i det absoluta närområdet till utsläppspunkten utan att det för den skull har någon betydelse för området i stort.

## Tackord

Avslutningsvis vill författaren rikta ett stort tack till kustoceanograf och docent Anders Engqvist för värdefulla diskussioner gällande vattenomsättning i komplexa skärgårdsmiljöer.

## Referenser

- Bryhn, A. C., Dimberg, P. H., Bergström, L., Fredriksson, R. E., Mattila, J. & Bergström, U., 2017. External nutrient loading from land, sea and atmosphere to all 656 Swedish coastal water bodies. *Marine Pollution Bulletin* 114: 664-670,
- Dimberg, P. H. & Bryhn, A. C., 2014. Quantifying water retention time in non-tidal coastal waters using statistical and mass balance models. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225: 2020.
- Edman, M. & Sahlberg, J., 2020. The Swedish Coastal zone Model. SMHI Oceanography No. 128.
- Engqvist, A., 1999. Environmental Quality Criteria Coasts and Seas – Estimated retention times for a selection of coupled coastal embayments on the Swedish west, east and north coasts. Naturvårdsverket rapport nr 4910, ISSN 0282-7298. Stockholm. 46 p.
- Engqvist, A. & Andrejev, O., 2003. Water exchange of the Stockholm archipelago—a cascade framework modelling approach. *Journal of Sea Research*, 49: 275-294.
- Engqvist, A. & Karlsson, M., 2013. Vattenutbyte i Björnöfjärdssystemet. IVL-rapport B2152.
- Håkanson, L., 2004. Lakes: form and function. Blackburn press, Caldwell, 201 sid.
- Håkanson, L., Kulinski, I. & Kvarnäs, H., 1984. Vattendynamik och bottendynamik i kustzonen. SNV PM 1905, 228 sid.
- 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, 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.
- 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
- NV, 2012. Artificiell syresättning av Östersjöns djupbottnar genom syrepumpning. Sammanfattning av två forskningsprojekt 2009–2011. Naturvårdsverket rapport 6522.
- Rydin, E. & Gustafsson, A., 2020. Fosforomsättningen i Skurusundets sediment. Läckagebenägen fosfor – totala mängder och årlig frisättning. *Naturvatten rapport* 2020:14.
- Persson, J., Håkanson, L. & Pilesjö, P., 1994. Prediction of surface water turnover time in coastal waters using digital bathymetric information. *Environmetrics*, Vol. 5: 433-449.