

# “Permanent inaktivering av fosfor i Östersjöns bottensediment”

Forskningsrapport till BalticSea2020  
Sammanställning av resultat framtagna juni 2012 till september 2013

Sven Blomqvist & Eva Björkman

Institutionen för ekologi, miljö och botanik  
Stockholms universitet



Märgeldeponi, Nordkalk AB, Storugns, Lärbro

Stockholm 2014

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>SAMMANFATTNING</b>	1
<b>INLEDNING</b>	2
<b>SYFTE OCH MÅL</b>	2
<b>MATERIAL</b>	3
<i>Märgel</i>	3
<i>Havsvatten</i>	4
<i>Cement Kiln Dust (CKD)</i>	4
<b>METODER</b>	5
<i>Experimentella studier</i>	5
<i>Provtagning och analysmetoder</i>	5
<b>RESULTAT OCH DISKUSSION</b>	6
<i>Adsorption</i>	6
<i>Ökad adsorption</i>	7
<i>Desorption och dissociation</i>	8
<i>Pilotstudier</i>	8
<b>SLUTSATSER</b>	9
<b>REFERENSER</b>	9
<b>APPENDIX</b>	11

## SAMMANFATTNING

I rapporten redovisas studier av förutsättningar att binda och kvarhålla fosfor (P) i Östersjöns bottensediment. Studien visar att om optimala förutsättningar gives, kan fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) adsorberas effektivt av märgel. Adsorptionen påverkades av vattnets salinitet, men framförallt av partikelstorleken,  $d$  v s den specifika ytan. Den uppmätta högsta adsorptionskapaciteten uppgick till  $0,50 \text{ mol P/m}^2$  partikelyta, för partiklar  $< 75\mu\text{m}$ .

Ingen signifikant dissociation av fosfat från märgel detekterades och desorptionen föreföll att styras av jämviktsvillkor. Tillsats av några procent Cement Kiln Dust (CKD) ökade förmågan att uppta fosfat upp till fyra gånger. CKD är en biprodukt från cementtillverkning och består huvudsakligen av bränt kalk.

*In situ* mätningar med bentisk landare och *ex situ* med sedimentproppar visade att fosfat adsorberas på märgel även vid låga temperaturer ( $5^\circ\text{C}$ ) och under syrefattiga förhållanden.

Mängden märgel som åtgår för att binda mobilt-P i syrefattigt östersjösediment uppskattas till  $\sim 1,5 \text{ dm}^3$  finpartikulär märgel per kvadratmeter bottenyta. Beräkningarna baseras på experimentella mätdata från föreliggande undersökning.

## INLEDNING

Koncentrationen av fosfor (P) i Östersjön har ökat kraftigt under de senaste femtio åren, vilket lett till betydande miljöproblem, såsom eutrofiering, blomningar av cyanobakterier, utökade områden med hypoxiska/anoxiska förhållanden och förlorade rekreativvärden. Behovet av aktiva hjälpåtgärder är därför stort.

En intern P-källa till Östersjön utgör fosfor som lagrats i bottensedimenten. Detta P tillförs via bl a sedimentation av organiskt material. Under syresatta förhållanden fastläggs fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) av järn(III) i bottenarna. Bli botten anoxisk (reducerande förhållanden), omvandlas järn(III) till järn(II), vilket leder till att det till järnet bundet fosfat frisätts. För att undvika att koncentrationen fosfat ökar i vattenmassan, kan lämplig adsorbent tillsättas bottensedimentet, varvid delar av den rörliga fosfat-poolen fastläggs. En metod som framstår som både lovande och kostnadseffektiv är tillsatts av finpartikulär mörgel (kalkrik lera) till utvalda bottenområden i Östersjön. MörgeIn är en biprodukt från kalktillverkning på Gotland och finns i stort överskott. Den lagras f n i deponi och nyttjas bara i mindre utsträckning.

*Med hänsyn till kostnader och stora miljömässiga vinster av P-inaktivering i Östersjön, så framstår den nu aktuella ansatsen med tillsats av mörgel som mycket lovande, med potential som är alltför värdefull för att inte undersökas närmare.*

## SYFTE OCH MÅL

Experimenten utfördes i naturligt östersjövatten, och vid behov även med parallella jämförelser i sötvatten. Särskild vikt har lagts vid de faktorer som kan verka styrande på mörgeInns förmåga att binda P, m a o partikelstorlek (egentligen specifik yta), salthalt, pH, långtidsstabilitet och eventuell snabb upplösning (adsorptions/desorptions). Detta är information som är nödvändig för att tillförlitligt och optimalt kunna använda mörgel som P-adsorbent. Även effekten av att använda Cement Kiln Dust (CKD; även kallad ”by-pass”), som additiv till mörgel för ökad P-adsorptionen har studerats.

Utgående från tidigare funna slutsatser, fokuserar vi här på att undersöka mörgeInns potentiella kapacitet att adsorbiera fosfor, och lämnar andra förekommande P-adsorbenter därhän (jfr Blomqvist & Rydin 2009).

## MATERIAL

### Märgel

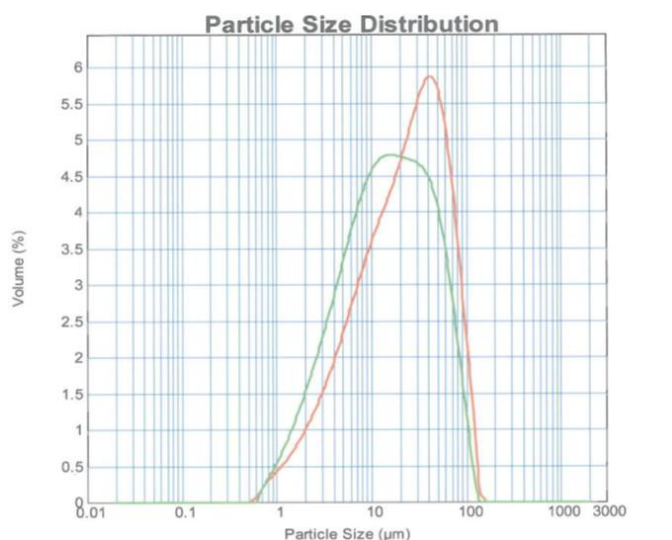
Den studerade märgeln hämtades den 3 maj, 2012 hos Nordkalk AB i Storugns, Lärbro, och transporterades i polystyrenlåda till Cementa AB, i Slite på Gotland. Den förvarades vid rumstemperatur i mörker.



Cementa AB vid Slite

Nordkalks brott i Storugns ger mycket ren kalksten. Den krossas och siktas för att sedan säljas som grovt grus, större än 25 mm. Den mindre fraktionen (<25 mm), utgör biprodukt och lagras i deponi. För enkelhetens skull kommer vi i den fortsatta rapporten att benämna detta överskottsmaterial för märgel, men egentligen är det en blandning av krossad märgel som hämtats från mellanliggande sedimentlager i massivt kalkberg, respektive en krossad fraktion (partikelstorlek <25 mm) av ren kalksten. Den av oss använda märgeln innehöll 92,2 viktsprocent kalciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).

Innan experimenten påbörjades tvättades märgeln med vatten, torkades i ett värmeskåp (60 °C över natt) för att sedan krossas och siktas i fyra storleksfraktioner: <75, 75–250, 250–500 och 500–1000  $\mu\text{m}$ . För jämförelse utelämnades i några fall tvättningen, vilket resulterade i att mängden finkornigt material i dessa prover ökade, se figur 1.



Figur 1: Partikelstorleksfördelning för tvättad (röd) och otvättad (grön) märgel. Partiklarna fraktionerades med hjälp av säll och maskstorlek 75  $\mu\text{m}$ . Tack till Anders Birgersson på Cementa AB för god hjälp med detta arbetsmoment.

Den specifika ytarean ( $\text{m}^2/\text{g}$ ; tabell 1) för de olika fraktionerna erhöles utifrån uppmätta adsorptions-isotermer av krypton (uppmätta vid 77 K; Micrometers ASAP 2020). Proven förbereddes för adsorptionsmätningarna genom avgasning i 6 timmar i dynamiskt vakuum vid 250 °C. Den specifika ytarean beräknades enligt Brunauer–Emmet–Teller (BET) vid  $p/p_0 = 0,07 - 0,25$ .

Tabell 1: Specifik ytarea för olika partikelfraktionier hos den tvättade märgeln, när inte annat är angivet.

partikelstorlek ( $\mu\text{m}$ )	BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ )
<75 (otvättad)	11,9648
<75	5,8758
75–250	2,9663
250–500	2,6974
500–1000	2,2389

### **Havsvatten**

Experimenten syftade till att studera fosfatadsorption på märgel under brackvattensförhållande, med sötvatten som referens. Havsvatten (~7 PSU) hämtades utanför Slite (N 57°40'50", E 18°53'50") m h a teflonbelagd Ruttner-hämtare, vid ett djup av 20 m, och förvarades i polypropenflaskor

### **Cement Kiln Dust (CKD)**

CKD är ett finkornigt, basiskt kalkmaterial, som samlas i de utgående gaserna vid tillverkning av portlandcement. Globalt produceras stora mängder CKD, som lagras i landbaserade deponi. CKD utgörs främst av kalciumoxid ( $\text{CaO}$ ), d v s bränd kalk. När bränd kalk kommer i kontakt med vatten bildas kalciumhydroxid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), d v s släckt kalk, och vattenlösningen blir alkaliskt. Tillsätts CKD till vatten resulterar detta i ökat pH och frisättning av kalciumjoner. Om hydroxidfällningen omvandlas till kalciumkarbonat (Dittrich et al. 2011) eller kalciumfosfat bildas (Gunnars et al. 2004) kan fosfor fångas in och bindas.



Cement Kiln Dust

## METODER

### **Experimentella studier**

De experimentella studierna utfördes *in vitro*. De pågick i minst 4 veckor, i vissa fall t o m längre är ett år. Alla experiment utfördes i duplikat. Cementa AB har vänligen tillhandahållit nödvändig laboratorieutrustning för vårt nyttjande. Detta inbegriper tillgång till särskilda hjälpmedel, såsom kvarnar och siktar. Vi fick även tillgång till ett termostaterat rum (~22 °C) där inkuberingarna förlades.

Adsorptionen av fosfat på mörkel studerades med inkuberingsexperiment i polyetylenbägare (1,5 dm<sup>3</sup>, icke-transparenta, försedda med snäpplock) varvid mörkel (1–50 g) med känd partikelstorlek tillsattes till östersjövatten och/eller destillerat/avjonat sötvatten (1 dm<sup>3</sup>) med känd fosfat koncentration (10 respektive 50 µM)<sup>1</sup>. Experimenten fortlöpte vanligtvis i fyra veckor, men i några fall pågick de i mer än ett år, och pågick under försiktig omblandades på skakbord.

Även desorptionen av fosfat från mörkeln undersöktes i experimentsystemen. Mörkel som var mättad med fosfat från tidigare adsorptionsförsök, dekanterades av och östersjö- alternativt sötvatten tillsattes (1 dm<sup>3</sup>). Kvarvarande vattenlösning efter dekantering uppskattades genom vägning, och startkoncentration fosfat i vattenfasen beräknades efter att nytt vatten tillsats experimentkärnen.

Dissociation av mörkel studerades i tre olika lösningsmedel, d v s pelagialt östersjövatten, sötvatten och östersjövatten som tillförts fosfat till en koncentration om 50 µM. Experimenten inleddes med att 1,25 g mörkel blandades med 25 ml relevant vattenlösning i 50 cm<sup>3</sup> centrifugrör av polypropenplast, vilka försiktigt omblandas på skakbord.

### **Provtagning och analysmetoder**

Prov på vattenfaserna insamlades efter 3, 10 och 30 minuter respektive efter 30 dagar. Några adsorptionsförsök pågick t o m längre än ett år (425 dagar). Dissociationen av mörkel följdes under 28 dagar.

Vid provtagningen insamlades drygt 20 cm<sup>3</sup> vatten i 50 ml polypropenspruta, filtrerades genom membranfilter av cellulosaacetat 0,45 µm (Filtropur S, Sarstedt., Nümbrecht, FRG), och filtraten insamlades i provrör av polypropen, för att därefter förvaras kylda i väntan på kemisk analys. Löst fosfat (reaktivt P) och löst kisel (DSi) analyserades kolorimetriskt (med segmenterat flödesanalys, AL-PKEM 0 1 Analytical Flow Solution IV System), vid Kemiska laboratoriet, Institutionen för ekologi, miljö och botanik, Stockholm universitet. Analys av löst kalcium (Ca), löst magnesium (Mg) och löst strontium (Sr) utfördes med induktivt kopplad plasma-atomemmissionsspektrometri (ICP-AES) vid ALS Scandinavia AB i Luleå. Analyserna har mycket hög precision och noggrannhet.

---

<sup>1</sup> Dessa höga fosfat koncentrationer förekommer i porvattnet i Östersjön och i Finska viken (Mäkele & Tuominen 2003, Lukkari et al. 2009).

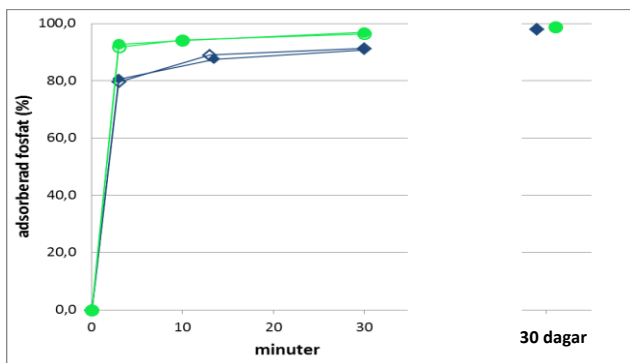
## RESULTAT OCH DISKUSSION

I föreliggande studie definieras löst fosfat operationellt som den fraktion som kan passera membranfilter av porstorlek  $0,45 \mu\text{m}$ . Härav kommer viss mängd fosfat som adsorberats på mycket små partiklar att också ingå. Detta innebär att våra mätvärden av löst fosfat troligen är något förhöjda, eftersom de även kan inbegripa viss partikulärt bundet fosfatfas.

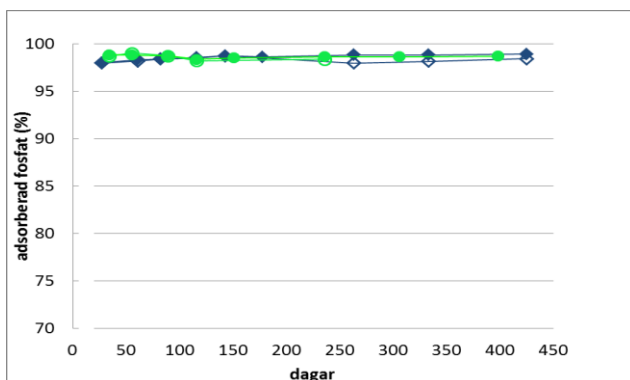
### Adsorption

Den studerade mörkeln adsorberade fosfat snabbt och effektivt (figur 2A). Figuren visar att i  $1 \text{ dm}^3$  östersjövatten innehållande  $50 \mu\text{M}$  fosfat och  $50 \text{ g}$  mörkel, är  $80 \%$  av all fosfat adsorberad redan efter 3 minuter. Motsvarande andel i sötvattensmiljö var  $92 \%$ . Efter 30 dagar kunde blott  $1,0$  och  $0,58 \mu\text{M}$  P detekteras i östersjö- respektive sötvattnet, d v s  $98,0$  respektive  $98,8 \%$  av fosfatet hade adsorberats på mörkel. Att adsorptionen i östersjövatten var något lägre än i sötvatten är troligen en effekt av att havssalt konkurrerar med fosfat om mörkelns tillgängliga adsorptionsytor.

Figur 2B visar att mindre än  $2 \%$  av den ursprungliga fosfatkoncentrationen är kvarvarande i vattenfasen efter mer än ett år ( $425$  dagar). Ingen signifikant skillnad kunde detekteras efter långtidsinkubering i systemen med östersjö- respektive sötvatten. Inte heller påvisades någon tendens till att fosfat frisätts (desorberas) över tid.



Figur 2A: Andelen adsorberad fosfat på  $50 \text{ g}$  otvättad mörkel ( $< 75 \mu\text{m}$ ) i  $1 \text{ dm}^3$  östersjövatten (blå markörer) respektive sötvatten (gröna markörer). Startkoncentrationen fosfat var  $50 \mu\text{M}$  i båda lösningarna. Fyllda och ofyllda markörer anger dubbelprov.

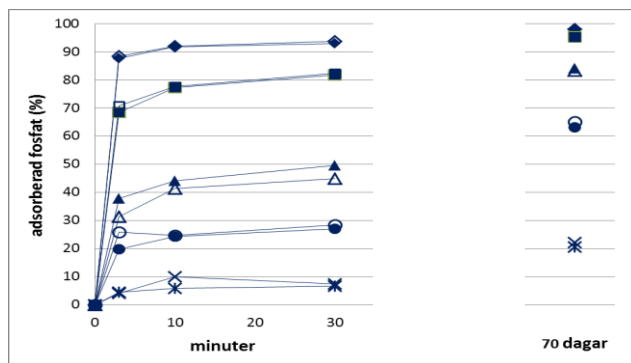


Figur 2B: Fortsättning från figur 2A.



Mängden fosfat som adsorberades på mörkel var relaterad till partikelstorlek, d v s den specifika partikelytan. För en och samma mängd mörkel (50 g), minskade fosfatkoncentrationen efter 30 dagar i vattenfasen (östersjövatten) med 90 % i experimentsystem med den minsta storleksfraktionen (< 75 µm), medan motsvarande andel bara uppgick till 60 % för fraktionen 500–1000 µm. Skillnaden kan delvis förklaras med betydligt större specifik yta för den mindre partikelfraktionen, 5,8758 jämfört med 2,2389 m<sup>2</sup>/g, se tabell 1.

Adsorptionen av fosfat på mörkel var mycket effektiv även vid lägre P-koncentrationen (10 µM). I figur 3 visas relation mellan relativ mängd (i procent) adsorberad fosfat och mängd mörkel för den minsta partikelfraktionen (< 75 µm). För att efter 70 dagar adsorbera i princip all fosfat i östersjövatten krävdes 25 g mörkel, medan 10 g adsorberade 80 % och 1 g adsorberade endast 20 % av tillgängligt fosfat.



Figur 3: Andel adsorberad fosfat på mörkel: 50 g (romber), 25 g (kvadrater), 10 g (trianglar), 5 g (cirklar) och 1 g (kryss) av tvättad finkrossad mörkel (< 75 µm) i 1 dm<sup>3</sup> östersjövatten med initial koncentration om 10 µM fosfat. Fyllda och ofyllda markörer anger dubbelprov.

Alla här redovisade försök har även utförts på analogt vis i sötvatten. Mönstren var snarlika, dock har adsorptionskapacitet i östersjövatten genomgående varit något lägre. Som tidigare omnämnts är detta troligen en konsekvens av att havssalt konkurrerar med fosfat om mörkelns tillgängliga adsorptionsytor.

Adsorptionskapaciteten för fosfat per ytenhet mörkel har beräknats till 0,5 µmol/m<sup>2</sup>. I beräkningarna multiplicerades mörkelns partikelmassa (g) för en given storleksfraktion med motsvarande specifika ytan (m<sup>2</sup>/g, i.e., BET-värdet i tabell 1), vilket gav mörkelns totala yta. Adsorptionskapaciteten erhöles sedan genom att mängden adsorberad fosfat delades med mörkelns totala partikelyta.

Utifrån adsorptionskapaciteten har vi uppskattat att det åtgår 1,5 dm<sup>3</sup> finpartikulär mörkel/m<sup>2</sup> sediment för att binda de syrefattiga bottnarnas mobila P-fas i Östersjön (se appendix).

#### Ökad adsorption

Ett sätt att öka adsorptionen av fosfat på mörkelpartiklar är att öka ytan hos partiklarnas, d v s minska partiklarnas storlek. Preliminära resultat visar att vi har möjlighet att framställa än mindre mörkelpartiklar (7 µm). De tidigare minsta partiklarna vi studerat, d v s vad som återfinns i den tvättade fraktion som benämns <75 µm, var ungefär 40 µm stora se figur 1. Fortsatta försök med de mindre partiklarna förväntas ge än mer effektiv fosfatbindning.



En ytterligare möjlighet att öka adsorptionskapaciteten är att blanda in CKD i tillsatt mörgel. Våra mätningar visade att tillsatser om 5 respektive 20 viktsprocent ökade adsorptionsförmågan med upp till fyra gånger, samtidigt som en ökning av koncentration kalciumjoner och ökat pH (~10) kunde påvisas. Vid dessa pH kan stabila kalciumfosfatföreningar bildas (Nriagu 1984).

Av termodynamiska skäl kan fosfat bindas till mörgel, och förbli bundet i Östersjöns anoxiska bottenvattnen, så länge som pH överstiger ~7,2 (Ulfsbo et al. 2011). Eventuell upplösning av adsorberad fosfat kan dock mycket väl vara kinetiskt hämmad och därmed förbli bunden till mörgel.

### **Desorption och dissociation**

För att mörgel ska verka som adsorptionsmedel och binda fosfat i Östersjöns botten sediment krävs att det bundna fosfatet inte frisätts från mörgelele och att mörgelele inte löses upp.

Våra preliminära resultat visar att efter 1 månad hade 11 % av adsorberad fosfat frisätts från mörgelele. Fraktionen stabiliserades och efter nära tre månader kunde inga desorptionsförändringar iaktas. Förloppen påverkades inte av salinitet, d v s ingen signifikant skillnad kunde påvisas mellan östersjö- och sötvatten.

Försumbar dissociation av mörgel har uppmäts. Efter 28 dagars inkubering kunde mindre än 1 promille av kalcium i tillsatta mörgel (<75 µm) återfinnas i vattenfasen. Tillsatt fosfat (50 µM) till östersjövatten påverkade inte upplösningen. Inte heller i sötvatten kunde någon påverkan på mörgeleles upplösning påvisas.

### **Pilotstudier**

Inledande pilotstudier *in situ* med bentisk landare (Tengberg et al. 1995) kring fosfatflöde från botten sediment respektive sedimentproppar i laboratoriemiljö (*ex situ*) gav uppmuntrande resultat.

Studierna med den bentiska landaren var förlagda till syrefritt (anoxiskt) botten sediment i Kanholmsfjärden, Stockholms skärgård. Mätningarna varade i 24 timmar och visade att vid en tillsats av otvättad mörgel (<75 µm) motsvarande ~5 % av vad som använts i ovan redovisade laboratorieförsök, så minskade fosfatflödet från sedimentet med ~50 %. Det senare jämfört med referensprov i vilken mörgel inte hade tillsatts.

Även i anoxiska sedimentproppar – som insamlats i Kanholmsfjärden, Stockholms skärgård (på 104 m djup) med Kajak-provtagare (Blomqvist & Abrahamsson 1985) – så minskade P-flödet från havsbotten. Experimenten utfördes i 5 °C under 24 timmar. Sedimentytan täcktes härvid med 5 mm otvättad mörgel (<75 µm). Jämfört med sedimentkärnor utan tillsatt mörgel, frisättes blott 5 % av den mobila fosfat-poolen i mörgelberikade ytsediment.

Utfallet av de båda pilotstudierna med naturligt sediment är mycket lovande. Experimenten tyder på stor potential hos mörgel att även adsorbera fosfat i anoxisk miljö, och vid lägre temperaturer (5 °C). Detta är iakttagelser som bör följas upp med mer ingående undersökningar i laboratorieskala och i Östersjöns naturliga ekosystem.

## SLUTSATSER

Utfallet från föreliggande studier talar för att tillsättande av mörgel kan vara en framkomlig metod för att fastlägga mobilt P i Östersjöns bottensediment.

Erhållna resultat visar:

- att mörgelns adsorptionskapacitet påverkas av framförallt partikelstorlek, d v s partikelns specifika yta, men i viss mån även av vattnets salinitet.
- att den hittills högsta uppmätta adsorptionskapaciteten uppgår till 0,5  $\mu\text{mol P/m}^2$  mörgel
- att vid långtidsförsök under 425 dagar var den höga adsorptionen (98 %) stabil.
- att desorption från mörgel sker långsamt, sannolikt p g a förskjutningar i kemiska jämviktslägen.
- att under 28 dagars inkubering kunde ingen tendens till upplösning av mörgel påvisas, och
- att adsorptionskapaciteten kan höjas genom att blanda in CKD i den tillsatta mörgel.

Pilotmätningar *in situ* tyder på att mörgel kan adsorbera fosfat i anoxisk miljö och vid lägre temperaturer (5 °C), samt att frisättningen av fosfat som adsorberats på mörgelberikade bottensediment är ringa.

## REFERENSER

- Blomqvist, S. & Abrahamsson, B., 1985. An improved Kajak-type gravity core sampler for soft bottom sediments. – Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 47: 81-84.
- Blomqvist, S. & Rydin, E., 2009. Hur fosforbindningen i Östersjöns bottensediment kan förbättras. – Rapport 5914, Naturvårdsverket, Stockholm. 111 pp.
- Dittrich, M., Gabriel, O., Rutzen, C. & Koschel, R., 2011. Lake restoration by hypolimnetic  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  treatment: Impact on phosphorus sedimentation and release from sediment. – Science of the Total Environment 409: 1504-1515.
- Gunnars, A., Blomqvist, S. & Martinsson, C., 2004. Inorganic formation of apatite in brackish seawater from the Baltic Sea: An experimental approach. – Marine Chemistry 91: 15-26.
- Lukkari, K.; Leivuori, M. & Kotilainen, A., 2009. The chemical character and behaviour of phosphorus in poorly oxygenated sediments from open sea to organic-rich inner bay in the Baltic Sea. – Biogeochemistry 96: 25-48.
- Malmaeus, J.M., Rydin, E., Jonsson, P., Lindgren, D. & Karlsson, O.M., 2012. Estimating the amount of mobile phosphorus in Baltic coastal soft sediments of central Sweden. – Boreal Environmental Research 17: 425-436.
- Mäkelä, K. & Tuominen, L., 2003. Pore water nutrient profiles and dynamics in soft bottoms of the northern Baltic Sea. – Hydrobiologia 492: 43-53.
- Nriagu, J.O., 1984. Phosphate minerals: Their properties and general modes of occurrence. – In: Nriagu, J.O. & Moore P.B. (eds.), Phosphate Minerals, pp 1-136. Springer-Verlag, Berlin.

Rydin, E. & Wänstrand, I., 2012. Fosforfällning i en brackvattensfjärd – en förstudie i Östhammarsfjärden. – Länsstyrelsens Uppsala Läns Meddelandeserie 2012: 9, Uppsala. 40 pp.

Tengberg, A., De Bovee, F, Hall, P., Berelson, W., Chadwick, D., Ciceri, G., Crassous, P., Devol, A., Emerson, S., Gage, J., Glud, R., Graziottini, F., Gundersen, J., Hammond, D., Helder, W., Hinga, K., Holby, O., Jahnke, R., Khripounoff, A., Lieberman, S., Nuppenau, V., Pfannkuche, O., Reimers, C., Row, G., Sahami, A., Sayles, F., Schurter, M., Smallman, D., Wehrli, B. & Wilde, P.D., 1995. Benthic chamber and profiling landers in oceanography – A review of design, technical solutions and functioning. – Progress in Oceanography 35: 253-294.

Ulfso, A., Hulth, S. & Anderson, L.G., 2011. pH and biogeochemical processes in the Gotland Basin of the Baltic Sea. – Marine Chemistry 127: 20-30.

**Beräknad mörghmängd för att fastlägga mobilt P i Östersjöns bottensediment**

3,3 kg mörgh/m<sup>2</sup> eller 1,5 dm<sup>3</sup> mörgh/m<sup>2</sup> åtgår för att binda det mobila fosfor som finns i bottensedimenten. Detta är en hanterbar mörghmängd att tillsätta Östersjöns bottensediment.

**Ingångsdata:**

1. Koncentration mobilt P i sedimentet om 2,4 g/m<sup>2</sup> (Malmaeus et al. 2012, Rydin & Wänstrand 2012,)
2. Adsorptionskapacitet hos mörghn om 0,5 µmol P/m<sup>2</sup>,
3. Mörghns specifika yta (BET-yta) uppgår till 11,9648 m<sup>2</sup>/g,
4. Vid tillsats av CKD ökar adsorptionsförmågan 4 ggr, samt att
5. Mörghns bulkdensitet uppgår till 2,2 kg/dm<sup>3</sup>.

**Beräkningar:**

Mobilt P i sediment:

$2,4 \text{ g P/m}^2 \text{ sediment} = 2,4 \div 31 \text{ mol P /m}^2 \text{ sediment} = 0,0774 \text{ mol P/m}^2 \text{ sediment}$   
(molekylvikt P = 31 g/mol)

Adsorptionskapacitet mörgh per mängd:

$0,5 \cdot 10^{-6} \text{ mol P/m}^2 \text{ mörghyta} = 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 11,9648 \text{ mol P/g mörgh}$

Adsorptionskapacitet med CKD tillsatt (4 ggr ökning):

$4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 11,9648 \text{ mol P/g mörgh} = 2,39 \cdot 10^{-5} \text{ mol P/g mörgh}$

Åtgång mörgh blir:

$0,0774 \div 2,39 \cdot 10^{-5} \text{ g mörgh/m}^2 \text{ sediment} = 3,24 \cdot 10^3 \text{ g mörgh/m}^2 \text{ sediment} =$   
3,24 kg mörgh/m<sup>2</sup> sediment

Åtgång mörgh i volym:

$3,24 \div 2,2 \text{ dm}^3 \text{ mörgh/m}^2 \text{ sediment} = 1,5 \text{ dm}^3 \text{ mörgh/m}^2 \text{ sediment}$