

# Ekonomisk analys av musselodling och multifunktionella åtgärder mot eutrofiering i Östersjön

Slutrapport av ekonomiskt delprojekt inom BONUS (Art 185)  
BaltCoast forskningsprojekt 'A systems approach framework  
for coastal research and management in the Baltic'  
finansierat av EU's 7e ramprogram för forskning och av  
Naturvårdsverket

Författare: Ing-Marie Gren, Sarah Säll, Abenezer Aklilu  
Zelege

**Beställningar**

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: natur@cm.se

Postadress: CM Gruppen AB, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: [www.naturvardsverket.se/publikationer](http://www.naturvardsverket.se/publikationer)

**Naturvårdsverket**

Tel: 010-698 10 00 Fax: 010-698 10 99

E-post: [registrator@naturvardsverket.se](mailto:registrator@naturvardsverket.se)

Postadress: Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm

Internet: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)

ISBN 978-91-620-0000-0

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2000

Tryck: CM Gruppen AB, Bromma 2000

Omslag: bild / illustration

# Förord

Text

# Innehåll

<b>FÖRORD</b>	<b>3</b>
<b>1. SAMMANFATTNING</b>	<b>5,5</b>
<b>2. SUMMARY</b>	<b>6,6</b>
<b>3. INTRODUKTION</b>	<b>7,FEL! BOKMÄRKET ÄR INTE DEFINIERAT.</b>
<b>4. MUSSLOR, OSÄKERHET OCH RÄTTVIS BÖRDE- FÖRDELNING</b>	<b>8 23</b>
4.1 Musselodling med osäker reningseffekt i egentliga Östersjön	9
4.2 Bidrar musselodling till en rättvis fördelning av kostnader för att uppnå mål för Östersjön?	12
<b>5. STYRMEDEL FÖR MULTIFUNKTIONELLA ÅTGÄRDER</b>	<b>15</b>
5.1. Marknader för utsläpp av kväve och fosfor till Östersjön	15
5.2 Styrmedel för klimat och vattenkvalitet i Östersjöregionen	18
<b>6. KÄLLFÖRTECKNING</b>	<b>23</b>

# 1. Sammanfattning

Effekter på Östersjön av decenniernas utsläpp av kväve och fosfor är väl kända och dokumenterade, och internationella överenskommelser har ingåtts för att minska utsläppen. En kostnadseffektiv strategi för att uppnå mål om sådana reduktioner kräver två typer av beslut. Ett är val av åtgärder och fördelning av utsläpp mellan länderna i Östersjöregionen, och det andra berör implementering av styrmedel för att uppnå en kostnadseffektiv lösning. I detta delprojekt har vi studerat kostnadseffektiva strategier vid förekomst av multifunktionella åtgärder som simultant reducerar utsläpp av kväve och fosfor och även andra föroreningar såsom CO<sub>2</sub>e. En del av projektet har då fokuserat på en relativt ny teknologi, nämligen musselodling. Väsentliga resultat är att musselodling kan minska kostnaderna för att uppnå BSAP (Baltic Sea Action Plan) mål för de nio länderna runt Östersjön med 1390 miljoner kronor. Emellertid är upptaget av näringsämnen med musselodling osäkert. Vid beaktande av denna osäkerhet visar det sig dock musslornas kostnadsfördel stärks då totala reningskostnaden minskar med 2090 miljoner kr när musslor ingår som en åtgärd. Anledningen är att effekter av andra åtgärder, såsom ändrad markanvändning inom jordbruket, är mer osäkra än effekter av musselodling. Ett annat resultat är att musselodling bidrar något till en mer rättvis fördelning av kostnader mellan länderna i relation till deras totala inkomster.

Musselodling, liksom flera andra multifunktionella åtgärder, kräver dock att stapling av reduktion av olika ämnen är möjlig. Med stapling menas att en åtgärd får tillgodoräknas reduktioner av utsläpp inom ramen för regleringar av flera enskilda utsläpp. Om detta inte tillåts kan t.ex. musselodling beaktas enbart för reduktion av fosfor och inte kväve. Resultat i detta projekt pekar på att kostnaderna kan öka med 6950 miljoner när stapling inte tillåts och att de är särskilt höga under den nuvarande överenskommelsen om reduktioner för enskilda länder jämfört med en kostnadseffektiv lösning. Kostnaden av att inte tillåta stapling blir ännu högre när vi också beaktar att en del åtgärder, såsom minskad djurhållning, dessutom får effekter på utsläpp av klimatgaser, och kan då uppgå till 15230 miljoner kr. Sammantaget kan sägas att resultaten som presenteras i denna rapport pekar på att kostnaderna för BSAP mål om kvävereduktioner kan reduceras om musselodling inkluderas, av en övergång från nuvarande länderspecifika mål till en kostnadseffektiv strategi, och om stapling tillåts där multifunktionella åtgärder kan tillgodoräknas flera positiva miljöeffekter.

## 2. Summary

The Baltic Sea has suffered from eutrophication for decades, and despite advances with respect to implementation of some measures, mainly focused on sewage treatment plants. However, challenges remain with respect to achieving latest international agreement on reductions in nitrogen and phosphorus to the Sea. The purpose of this report is to present results from the economics analysis within the framework of the BaltCoast research program funded jointly by EU Bonus article 185 and the Swedish Environmental Protection Agency. The purpose of the economics project was twofold; i) to assess whether mussel farming as an abatement measure for reducing the content of nitrogen and phosphorus in the Baltic Sea contributes to cost effective and fair achievement of international agreements on reductions in the nutrients, and ii) to examine necessary policy design for the full use of multifunctional abatement measures.

With respect to the first purpose it was found that the reduction on total abatement costs from the introduction of mussel farming for achieving international reduction requirements are higher when considering uncertainty. The reason is that uncertainty in abatement by other measures, in particular in the agricultural sector, is higher than the calculated uncertainty in abatement by mussel farming. It was also shown that fairness measured as the allocation of abatement cost in relation to total income (gross domestic product) among countries, was slightly improved by mussel farming. However, a requirement for materializing the cost advantages by mussel farming and other multifunction abatement measures, i.e. measures with simultaneous abatement of several pollutants, is that stacking of abatement of all pollutants is allowed. Stacking defined as the possibility to credit abatement of pollutants under different regulatory schemes. If this is not allowed, total abatement costs can increase by 6950 million SEK in a cost effective solution, and even more when the agreements on international country targets for nutrients and CO<sub>2</sub>e are implemented. The main conclusion of policy relevance from this sub project is then that mussel farming is a promising option with respect to cost-effective and fair achievement of international targets on nutrient loads to the Baltic Sea, and that stacking of credits for abatement of several pollutants is necessary for cost-effective achievement of pollutant targets.

### 3. Introduktion

Det är sedan lång tid väl känt att utsläpp av kväve och fosfor till Östersjön skapat problem i form av syrefria botten och ökad frekvens av algblomning (t.ex. Conley m.fl. 2009). Under årens lopp har en hel del åtgärder genomförts i länderna runt Östersjön för att minska utsläppen från källorna såsom ökad grad av rening av kväve och fosfor i reningsverken. Trots reducerade utsläpp kvarstår dock problem med eutrofiering, vilket bl.a. manifesterats i den senaste internationella överenskommelsen om minskade utsläpp där krav på reduktioner till delar av Östersjön är drastiska; utsläppen av fosfor till egentliga Östersjön behöver reduceras med 60% (HELCOM 2013). Fokus har framför att varit på att minska utsläppen från källorna som inkluderar reningsverk, jordbruk och industri. Under senare tid har dock förslag förts fram som pekar på möjligheten att också minska mängden av näringsämnen i Östersjön genom odling och skörd av musslor, alger, och vass (t.ex. Lindahl m.fl. 2005). Dessa åtgärder har en fördel om deras kostnader för upptag av näringsämnen är lägre än för åtgärder vid utsläppskällorna. Förutom kostnadseffektivitet utgör rättvis fördelning av reningskostnader mellan länder viktiga kriterier för en framgångsrik internationell miljöpolitik (t.ex. Carraro 2000).

Musselodling utgör ett exempel på en åtgärd som påverkar utsläpp av mer än ett ämne, s.k. multifunktionella åtgärder. I praktiken är det vanligt med reglering av en enskild förorening, vilket gäller också för Östersjön där man kommit överens om separata reduktioner för kväve och fosfor (HELCOM 2013). Det är dock oklart hur multifunktionella åtgärder behandlas, om dess reduktioner kan tillgodoräknas för båda ämnena eller bara för ett ämne. En debatt pågår för närvarande om det är möjligt att tillåta stapling av reduktioner av flera utsläpp från en och samma åtgärd, d.v.s. om åtgärden ska få tillgodoräkna sig samtliga reduktioner (Robertson m.fl. 2014). Motståndarna menar att detta strider mot principen om additionalitet, vilken innebär att en minskning kan tillgodoräknas endast om den tillkommit p.g.a. reglering av föroreningen i fråga. Om en åtgärd såsom musselodling inför för att minska halten av fosfor i havet kan då inte den samtida minskningen av kväve tillgodoräknas eftersom sistnämnde inte uppstått p.g.a. reglering av kväve utan istället av fosfor.

I denna rapport presenteras forskningsresultat från den ekonomiska delen av ett EU BONUS program BaltCoast, som analyserar två huvudsakliga frågeställningar;

1. Om och hur bidrar musselodling till en kostnadseffektiv och rättvis fördelning av rening mellan Östersjöländerna?
2. Hur påverkar stapling av rening med multifunktionella åtgärder kostnader för att nå utsläppsmål?

I det följande presenteras resultat med fokus på den första frågeställningen in kapitel 4. Beräkningar av kostnader för att uppnå utsläppsmål med och utan stapling och för olika styrmedel presenteras i kapitel 5..



## 4. Musslor, osäkerhet och rättvis bördefördelning

Musselodling har föreslagits som en kostnadseffektiv åtgärd i flera studier för att uppnå mål om reduktioner av kväve och fosfor till Östersjön (Lindahl m.fl. 2005; Gren m.fl. 2009; Schernewski m.fl. 2012; Petersen m.fl. 2014). Samtliga studier har beräknat kostnadseffektiviteten av musslor jämfört med andra åtgärder, men bortsett från att det kan förekomma osäkerheter i rening. Ingen studie har heller beaktat rättviseaspekter vid fördelning av kostnader mellan länder, som anses vara en viktig aspekt för en framgångsrik internationell miljöpolitik (t.ex. Carraro och Buchner 2002; Grasso 2007; Lange m.fl. 2007). I det följande presenterar vi resultat från studier som har beaktat dessa aspekter.

### 4.1. Musselodling med osäker reningseffekt i egentliga Östersjön

Det finns flera skäl till att upptaget av reningsämnen av musslor är osäkert. Ett är besvärliga väderförhållande med hårda stormar som kan slita sönder och förstöra en odling. Ett annat är att tillväxten i musslor beror på flera olika faktorer såsom salthalt vilka kan påverkas av väder och strömmar.

Emellertid är inte bara reningseffekt av musselodling osäker. Det gäller också för åtgärder på land när det är en fördröjningseffekt mellan åtgärdens genomförande och dess effekt på kusten. Ett exempel är åtgärder inom jordbruket såsom minskad användning av handelsgödsel, där effekter på minskat läckage från marken och utförsel till kusten är osäkra. Åtgärder som genomförs vid källor med direkta utsläpp till kusten, såsom reningsverk eller industri, får dock anses vara säkra.

För att kunna bedöma huruvida musselodling ingår i en kostnadseffektiv lösning även under osäkerhet behöver vi specificera beslut under osäkerhet. Ett vanligt angreppssätt är s.k. chance-constrained programmering där beslutsfattaren minimerar kostnaden för att uppnå ett reningsmål till en lägsta sannolikhet (Charnes och Cooper, 1964). Restriktionen uttrycks då som att genomsnittlig rening plus en riskpremie ska uppgå till en lägsta nivå. Riskpremien i sin tur bestäms av attityden till risk och variansen i rening. I princip innebär det att man måste rena mer för att uppnå reningsmålet med en sannolikhet som överstiger 0.5 (vilket gäller vid en normal fördelning av reningsutfallen).

Villkoret för att musselodling inkluderas i en kostnadseffektiv lösning utökas nu till att inkludera både marginalkostnad för rening och kostnaden av osäkerhet som ska vara lägre än motsvarande för andra åtgärder. Kostnaden av osäkerhet bestäms till stor del av variationen i rening. För att jämföra osäkerheten av musslor med andra åtgärder beräknar vi därför den s.k. variationskoefficienten (standardavvikelse dividerat med medelvärde) för båda dessa typer av åtgärder (Tabell 4.1.1).

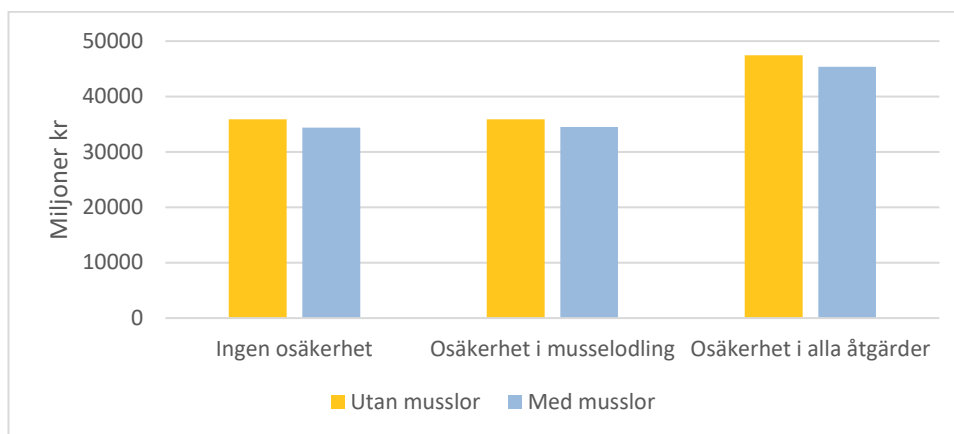
Tabell 4.1.1. Marginalkostnad och variationskoefficient för rening med musslor och andra åtgärder

	<b>Marginalkostnad för rening, kr/kg</b>	<b>Osäkerhet, variationskoefficient</b>
<b>Musselodling</b>	N: 86 - 215 P: 1290-3225	0.12 - 0.15
<b>Övriga åtgärder (vid max 23% N och 60% P minskning av utsläpp till egentliga Östersjön)</b>	N: 1 - 93 P: 10 - 4362	0 - 0.39

Källa: Gren m.fl. (2017)

Marginalkostnader för andra åtgärder är beräknade med hjälp av en kostnadsminimeringsmodell där den övre gränsen för kostnadsintervallet anger skuggpriset för Baltic Sea Action Plan (BSAP) restriktioner på total utsläppen av kväve och fosfor till Östersjön (se Gren m.fl. 2017). Frågan om musselodling är en kostnadseffektiv åtgärd för att uppnå BSAP målen kan då delvis besvaras genom att jämföra dessa med de övre gränserna för övriga åtgärder. Vi finner då att musselodling framför allt är intressant för fosforrening, men att marginalkostnaden är relativt hög för kväverening. Beaktar vi också osäkerhet noterar vi att denna kan vara både högre och lägre för andra åtgärder än för musselodling.

Denna preliminära analys indikerar att musselodling kan bidra till att minska totala kostnaderna för att uppnå BSAP mål, och att beaktandet av osäkerhet kan påverka detta bidrag. I syfte att mer exakt beräkna värdet av musselodling som reningsåtgärd minimeras kostnaderna för att uppnå BSAP mål med en lägsta sannolikhet på 0.8 med och utan musselodling. Värdet av musslor som en reningsåtgärd bestäms då av skillnaden i totala kostnader mellan dessa scenarier. Totala reningskostnaden med och utan musslor under olika antaganden om osäkerhet presenteras i figur 4.1.1.



Figur 4.1.1. Lägsta totala kostnad för att uppnå BSAP mål om reduktioner i N och P till egentliga Östersjön med och utan musselodling och osäkerhet.

Kostnaden utan musselodling och osäkerhet uppgår till ca 35890 miljoner kr, vilken är av samma storleksordning som liknande studier (Elofsson 2010; Wulff m.fl. 2012). Den reduceras med 3% till 34360 miljoner kr när musselodling inkluderas. Vid beaktande av osäkerhet endast i musselodling reduceras den till 34500 miljoner kronor. Den största reduktionen i kostnader med musselodling uppstår dock vid osäkerhet i effekter av samtliga åtgärder, då den minskar från 47460 miljoner kr. till 45370 miljoner kr. Den högre kostnaden med osäkerhet både med och utan musslor beror på att man reducerar mer för att öka sannolikheten för att uppnå reduktionsmålet.

Värdet av musslor varierar mellan ca 1390 och 2090 beroende på hur man inkluderar osäkerhet. I samtliga fall är det dock Polen som tjänar mest på möjlighet till musselodling (tabell 4.2.1).

Tabell 4.2.1: Fördelning av värde av musselodling mellan olika länder för att uppnå BSAP mål av kväve- och fosforreduktioner till egentliga Östersjön

	Ingen osäkerhet	Osäkerhet i musselodling	Osäkerhet i alla åtgärder
<b>Sverige</b>	-247	-248	-243
<b>Polen</b>	1754	1622	2276
<b>Estland</b>	-15	-15	-15
<b>Lettland</b>	-24	-25	-42
<b>Litauen</b>	74	68	111
<b>Tyskland</b>	-6	-8	4
<b>Ryssland (Kaliningrad)</b>	-2	-4	-1
<b>Total</b>	1534	1390	2091

Musselodling har positiva värden för främst två länder, Polen och Litauen, och negativa för det övriga. Införandet av åtgärden får dels en skaleffekt och dels en allokeringseffekt. Skaleffekten uppstår genom att kostnader minskar genom att

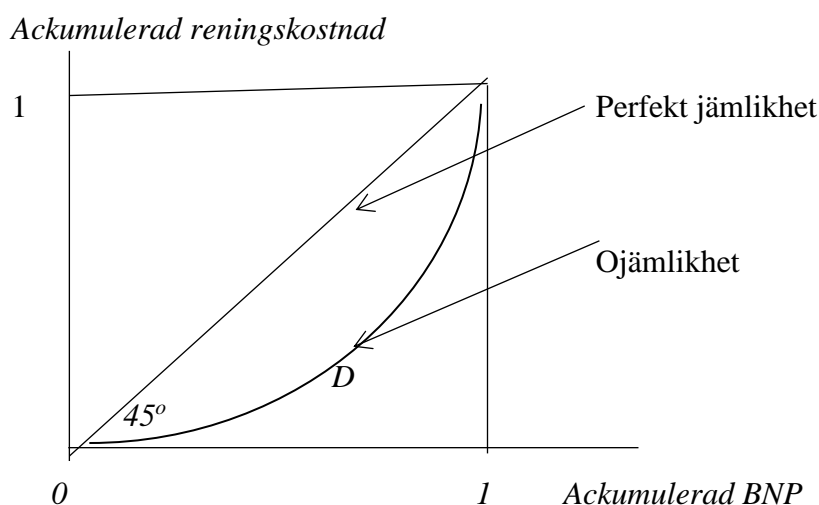
musslorna ersätter de dyraste åtgärderna, främst inom jordbruket. Detta tjänar framför allt Polen på som svarar för en stor del av reduktionen av fosfor eftersom landet har en stor andel av tillförseln av både kväve och fosfor. Detta tillsammans med relativt låga reningskostnader gör att Polen svarar för en stor andel av reduktionskravet. Allokeringseffekten uppstår genom att musselodling genomförs i länder med relativt stora möjligheter till odling, som i Sverige med en lång kuststräcka. Dessa länder får då tillgång till en relativt billig reningsåtgärd som ingår i en kostnadseffektiv lösning.

## **4.2 Bidrar musselodling till kostnadseffektiv och rättvis minskning av näringsämnen till Östersjön?**

Kostnadseffektivitet och rättvis fördelning av åtgärder mellan länder framförs ofta som viktiga kriterier för framgångsrik internationell miljöpolitik (Carraro, 2000; Bérubé och Cusson 2002; Grasso 2007). Som titeln antyder är frågan i detta kapitel om musselodling bidrar positivt till båda dessa framgångskriterier. Villkor för att musselodling ingår i en kostnadseffektiv lösning och därmed bidrar till att sänka kostnaderna för att uppnå mål om reduktioner i tillförseln av näringsämnen diskuterades i kapitel 4.1.1. D.v.s. att marginalkostnaden för rening av kväve och fosfor med musslor är lägre än för andra åtgärder.

Rättvisa kan definieras och mätas på olika sätt. En distinktion utgörs av process- respektive utfallsinriktad rättvisa, där förstnämnda innebär en rättvis process för att uppnå något och den senare rättvisa i utfallet av ett projekt (Grasso 2007). Den senare är den mest vanliga förekommande i nationalekonomi, och den används också i denna studie. Den utfallsinriktade rättvisan kan i sin tur delas in i rättighetss- och jämlikhetsaspekt, där förstnämnda hänvisar till t.ex. FN:s mänskliga rättigheter, och den andra till jämlikhet avseende framför allt inkomst. Vi utnyttjar jämlikhetskriteriet i denna studie där bl.a. Sen (1999) har definierat 'affordability' kriteriet vilket innebär att bördor fördelas jämnt mellan olika aktörer i förhållande till deras förmåga att bära dem. I vår studie definieras detta som jämn fördelning av reningskostnader i förhållande till västandet vilket mäts som bruttonationalprodukten (BNP).

Ett vanligt sätt att illustrera jämlikhet är att konstruera s.k. Lorenzkurvor vilka anger länders fördelning av reningskostnader i relation till deras BNP (Figur 4.2.1).



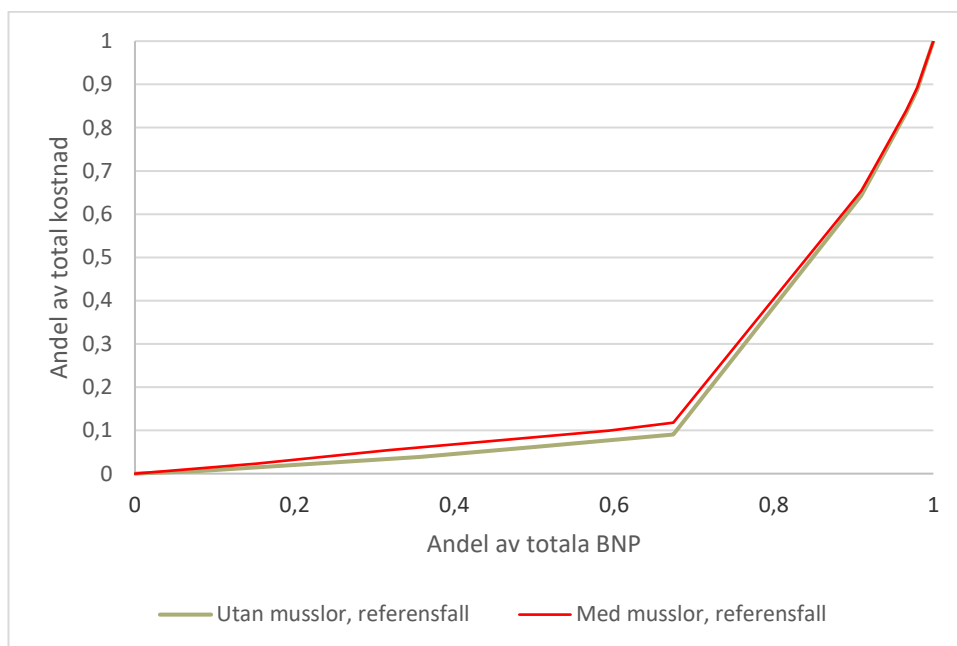
Figur 4.2.1: Illustration av Lorenzkurvor för perfekt och imperfekt rättvisa med avseende på länderfördelning av reningskostnad i relation till bruttonationalprodukt (BNP).

Den horisontella axeln visar ackumulerad BNP normaliserat till ett och sorterad efter stigande värde på länders reningskostnad. Den vertikala axeln anger motsvarande ackumulerad reningskostnad också normaliserat till ett. Utefter 45° linjen har vi perfekt jämlikhet där andelen av total BNP är densamma som andelen av total reningskostnad. Den andra linjen visar istället ojämlikhet där länder med en förhållandevis stor andel av BNP svarar för en liten andel av total reningskostnaden. Vid t.ex. punkten D svarar länder med ca 0.6 av total BNP för 0.2 av totala reningskostnaden.

Lorenzkurvor kan användas för att beräkna s.k. Gini-koefficienter (GK) som är ett numeriskt mått på jämlikhet och utgörs i figur 4.2.1 av ytan mellan kurvan för perfekt jämlikhet och kurvan för ojämlikhet i relation till hela ytan under kurvan för perfekt jämlikhet. Vid perfekt jämlikhet har vi att  $GK=0$ , och vid ojämlikhet gäller att  $0 < GK < 1$ . Ju högre värde på GK ju större ojämlikhet.

Betydelsen av musselodling för totala reningskostnader och jämlikhet mellan Östersjöländerna beräknades för BSAP-målet om reduktioner i total kväve- och fosfortillförseln till hela Östersjön, vilken innebär 12% minskning av kväve och 42% reduktion av fosfor (HELCOM 2013). En optimeringsmodell med data på kostnader för musslor och andra åtgärder i 23 olika avrinningsområden utnyttjas för att beräkna kostnader för att uppnå dessa mål med och utan musslor (se Gren m.fl. 2018). Den beräknade totala kostnaden för att uppnå målen utan musslor uppgår till ca 25500 miljoner kronor och med musslor till 22540 miljoner kr, vilket innebär ett musselvärde på ca 2900 miljoner kr.

I syfte att beräkna om musselodling också bidrar till ökad jämlikhet beräknades Lorenzkurvor med och utan musslor (figur 4.2.2)



Figur 4.2.2: Beräknade Lorenzkurvor med och utan musslor vid BSAP mål för kväve och fosforreduktioner till Östersjön

Källa: Gren m.fl. 2018

Lorenzkurvorna med och utan musslor i figur 4.2.2 indikerar en viss minskning av ojämlikheten när musslor utnyttjas som en reningsåtgärd. Detta syns tydligare när vi beräknar Gini koefficienterna som uppgår till 0.63 utan musslor och till 0.60 med musslor, vilket innebär en förbättrad jämlikhet med ca 5%. I båda fallen ser vi en kraftig förändring i kurvorna vid en total BNP andel på 0.67. Det beror på att länderna med de högsta inkomst per individ (Sverige, Tyskland, Finland och Danmark) svarar för en mindre andel, 0.11, av totala reningen. Övriga länder, Polen, Ryssland, Estland Lettland och Litauen har en relativt mindre del av total BNP, 0.33, men en större andel, 0.89, av de totala kostnaderna.

## 5. Styrmedel för multifunktionella reningsåtgärder

Multifunktionella reningsåtgärder påverkar samtidigt fler miljömål. Ett exempel är anläggning av våtmarker som kan vara fällor för kväve och fosfor och bidra till bättre biodiversitet. Ett annat är musselodling som påverkar både kväve och fosfor. Gemensamt för dessa multifunktionella åtgärder är att de kräver möjlighet till s.k. stapling av effekter för att utnyttjas fullt ut. Stapling är en direkt översättning från engelskans 'stacking' och innebär att en åtgärd såsom musselodling för tillgodoräknas reduktion av både kväve och fosfor inom ramen för de internationella och nationella styrmedlen. Emellertid har röster höjts om att detta kan gå emot EUs krav om additionalitet (t.ex. Robertson m.fl. 2014). Additionalitet innebär att en åtgärd kan tillgodoräknas enbart om den initierats av ett styrmedel. Om vi tar reduktioner av näringsämnen till Östersjön som ett exempel kan musslor inte tillgodoräknas kvävereduktioner om musselodlingen skulle ingå i ett program för fosforreduktion. Multifunktionaliteten gör att vi får en kvävereduktion 'på köpet' när musselodlingen införs för att reducera fosfortillförseln. Det innebär att kravet på additionalitet inte är uppfyllt, d.v.s att kvävereduktionen inte genomförts p.g.a. program för kväverening. Man menar då att det finns risk för 'dubbel' ersättning för samma åtgärd.

Emellertid kan man hävda att multifunktionalitet inte är något hinder på marknader där en skogsägare får betalt för både stam och skogsavfall, och en jordbrukare för både ax och strå av grödor. En risk vid icke-stapling är uteslutning av åtgärder som skulle vara kostnadseffektiva vid stapling. Det medför högre kostnader för att uppnå givna miljömål. I detta kapitel ska vi beräkna skillnader i kostnader med och utan stapling av rening av föroreningar när vi har olika utformningar av marknader för kväve och fosfor, och när vi också beaktar klimateffekter av vissa åtgärder.

### 5.1. Marknader för kväve- och fosforutsläpp till Östersjön

Marknader för utsläpp av kväve och fosfor har föreslagits i flera studier (NEFCO 2008) och implementerats i praktiken främst i USA (Kramer m.fl. 2005). I princip uppstår frågan om stapling endast när en multifunktionell åtgärd påverkas av regleringar av flera föroreningar (t.ex. Montero 2001). Vid en närmare betraktelse av åtgärder som ofta genomförs i praktiken och Sverige, och dessutom ingår in en optimeringsmodell för kostnadseffektiva reduktioner till Östersjön (Gren m.fl. 2018) finner vi att flertalet åtgärder är multifunktionella genom att de påverkar utsläpp av både kväve och fosfor (tabell 5.1.1).

Tabell 5.1.1: Klassificering av åtgärder beroende på dess effekter på antingen kväve eller forsutsläpp eller samtidig effekt på både och.

Åtgärd	Effekt enbart på:		Samtidig effekt på kväve och fosfor
	Kväve	Fosfor	
Rening av avfallsvatten (reningsverk, industri)	X	X	
Minskad användning av fossilt bränsle	X		
Minskad användning av handelsgödsel	X	X	
Minskad djurhållning			X
Anläggning av våtmarker			X
Fånggrödor	X		
Ökad andel vall			X
Ökad andel energigrödor			X
Ändrad spridningstid av stallgödsel	X		
Buffertzoner		X	

Källa: Gren och Elofsson (2017)

Flertalet av de multifunktionella åtgärderna listade i tabell 5.1.1. har ingått i beräkningar av kostnadseffektiva reduktioner av näringsämnen till Östersjön under antagande om att stapling är tillåtet (Gren m.fl. 1997; Elofsson 2010; Wulff m.fl. 2014). Det är också väl känt att rätt utformade marknader för kväve och fosfor genererar kostnadseffektiva lösningar. I litteraturen har det dock föreslagits att man istället för separata marknader med stapling ska införa en näringsämne-marknad där fosfor och kväve slås ihop till ett näringsämne med vikterna 1:7 för fosfor respektive kväve, d.v.s det går 7 kvävenheter på fosforenhet (Redfield 1958). En fördel är ett enklare system där man inte behöver beräkna effekter av en åtgärd på båda marknaderna.

Oavsett marknad, separat eller viktad, innebär ett system utan stapling att kostnaden för att uppnå mål om både kväve och fosfor blir dyrare än när det är tillåtet. En annan skillnad är att faktiska utsläpp av ett näringsämne blir lägre än målen när stapling inte är tillåtet. Anledningen är att multifunktionella åtgärder minskar utsläppen av båda ämnena men att minskningen får tillgodoräknas av enbart ett ämne. Man kan också argumentera för en annan mer enkel typ av marknad: enbart för kväve eller fosfor. Oavsett vilken marknad som väljs får det effekter även på det andra näringsämnet. Vid omfattande funktionalitet skulle reduktioner uppstå på det ämne utan marknad som uppgår till reduktionsmålet.

I detta kapitel presenterar vi resultat av beräkningar av kostnader för att uppnå BSAP mål om reduktioner i utsläppen av kväve och fosfor till egentliga Östersjön



med 23 % respektive 60 % (HELCOM 2013). Följande tre typer of marknader analyseras:

- Separata marknader för kväve och fosfor med och utan stapling.
- En viktad marknad där  $1P = 7N$  (reduktionsmålet beräknas då som reduktion i ton av fosfor plus 7 gånger reduktionsmålet för kväve).
- En marknad för antingen kväve eller fosfor.

Totala reningskostnader och jämviktspriser för dessa marknadsscenarior presenteras i tabell 5.1.2.

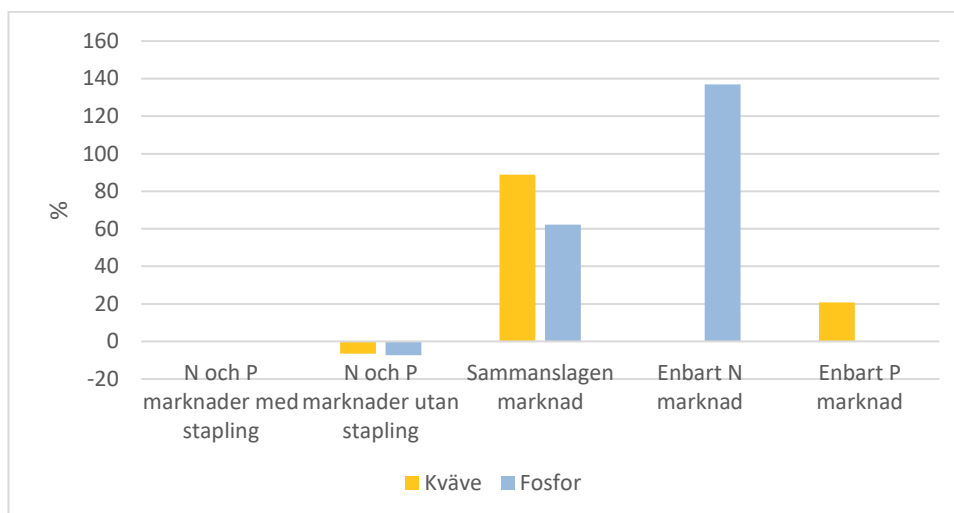
Tabell 5.1.2 Kostnader och jämviktspriser på utsläppsrätter under olika marknader för handel med utsläpp av kväve och fosfor till egentliga Östersjön

	<b>N och P marknader med stapling</b>	<b>N och P marknader utan stapling</b>	<b>Samman slagen marknad</b>	<b>Marknad för endera: N          P</b>	
<b>Total kostnad, miljoner kr.</b>	35890	42840	26950	11510	31620
<b>Jämviktspris, kr/kg N och P</b>	93    4360	140,   5780	202	116	5240

Källa: Gren och Elofsson (2017)

Den lägsta kostnaden för att uppnå BSAP målen om N och P reduktioner till egentliga Östersjön uppnås med stapling och uppgår till 35890 miljoner kr, och jämviktspriserna på utsläppsrätter på N och P är då 93 kr/kg respektive 4360 kr/kg. Kostnaden stiger med ca 20% när stapling inte är tillåten. Jämviktspriset på kväve stiger relativt mer än det på fosfor eftersom reduktionskravet på fosfor är betydligt högre än det på kväve. Det betyder att uppfyllelse av fosformålet ger samtidigt relativt mycket reduktioner av kväve.

Totala kostnaderna för system med enbart en marknad (sammanslagen, N eller P) är samtliga lägre än när vi har två marknader. Dock uppnår ingen av dessa de båda BSAP målen för kväve och fosfor (figur 5.1.2).



Figur 5.1.2: Procentuell avvikelse från BSAP maximala utsläppsnivåer för kväve (N) och fosfor (P) till egentliga Östersjön vid olika system för marknader för kväve och fosfor.

När vi har marknader för kväve och fosfor och tillåter stapling uppnås målen och vi har ingen avvikelse från dessa mål. När stapling inte tillåts, blir utsläppen lägre än vad BSAP tillåter eftersom de multifunktionella åtgärder minskar utsläpp av båda ämnen. Den sammanslagna marknaden med vikten  $1P=7N$  blir utsläppen för höga av både kväve och fosfor. Avvikelsen är som störst vid enbart en kvävemarknad då utsläppen av fosfor blir knappt 140 % högre än den tillåtna mängden.

Man kan hävda att den högre reduktionen av både kväve och fosfor vid marknader för båda dessa ämnen utan stapling utgör ett argument för att inte tillåta stapling. Kostnaden utan stapling är ca 6950 miljoner kronor högre utan än med stapling, och systemet kan då motiveras om den högre reningsnivån är värd minst detta belopp. Det är oklart om det funnits några ekonomiska överväganden vid bestämning av BSAP målen. Om det hade funnits, borde dessa ha bestämts utifrån värden och kostnader av reduktioner. Om så är fallet innebär mer rening än målet att kostnaden överstiger motsvarande värde. Det betyder i sin tur att värdet av den högre reningen av både kväve och fosfor utan stapling inte kan överstiga den högre kostnaden. Däremot kan eventuella högre kostnader förknippade med mätning och kontroll av utsläpp för olika åtgärder när stapling tillåts vara ett argument mot detsamma om dessa s.k. transaktionskostnader är tillräckligt höga.

## 5.2. Styrmedel för klimat och vattenkvalitet i Östersjöregionen

Multifunktionaliteten hos en del åtgärder kan utsträckas när vi inkluderar fler miljömål. När även klimatmål beaktas har åtgärder som minskar utsläpp av

klimategaser och näringsämnen, såsom minskad djurhållning eller förbränning av fossilt bränsle, effekter på flera utsläpp som omfattas av miljöpolitiska åtgärder. I detta kapitel beräknar vi kostnader och utsläpp med och utan stapling för åtgärder som reducerar utsläpp av växthusgaser, kväve och fosfor. Det görs för två olika typer av internationella styrmedel; kostnadseffektiva system såsom marknader för utsläppsrätter och internationella avgifter på utsläpp, och allokeringar av maximala utsläpp mellan olika länder.

En första analys av mängden utsläpp från fossilt bränsle, jordbruk och reningsverk pekar på att fossilt bränsle svarar för 85% av totala CO<sub>2</sub>e utsläppen och 8% av total utsläppen av kväve (tabell 5.2.1).

Table 5.2.1: Utsläpp av CO<sub>2</sub>e, kväve (N) och fosfor (P) till Östersjön år 2011

Land	CO <sub>2</sub> e, miljoner ton:			Kväve, kton		Fosfor <sup>a</sup> , kton	
	Fossil bränsle	Jord bruk	Totalt	Fossilt bränsle	Övrigt <sup>a</sup> Totalt		
<b>Tyskland</b>	69.3	7.4	76.7	3.5	34.8	38.3	0.4
<b>Sverige</b>	41.2	7.3	48.5	6	71.7	77.7	1.6
<b>Danmark</b>	39.5	15	54.5	5.6	45.2	50.8	1.0
<b>Finland</b>	53.4	4.3	57.7	5.7	47.3	53	1.6
<b>Polen</b>	299.9	24.8	324.7	14.4	222.2	236.6	15.2
<b>Estland</b>	27.1	2.4	29.5	3.3	54.4	57.7	1.6
<b>Lettland</b>	7.2	2.2	9.4	1	46.2	47.2	2.9
<b>Litauen</b>	18.2	3.3	21.5	1.2	82.5	83.7	2.8
<b>Ryssland</b>	41.5	10.9	52.4	6.4	60.1	66.5	3.3
<b>Totalt</b>	597.3	77.6	674.9	47.1	664.4	711.5	30.4

<sup>a</sup> Jordbruk och reningsverk  
 Source: Gren och Säll (2015).

Utsläpp av växthusgaser från jordbruket utgörs främst av metan från djurhållningen, och bidrar med 12 % till utsläppen av CO<sub>2</sub>e. Utsläppen av NO<sub>x</sub> från fossilt bränsle i Östersjöländerna svarar för 7 % av totala utsläppen av kväve till Östersjön. Jordbruket, reningsverken och industrin svarar för alla utsläpp av fosfor. Gemensamt för alla tre utsläppen är Polens dominans, och svarar för ca 50 % av utsläppen av CO<sub>2</sub>e och fosfor, och 33 % totala utsläppen av kväve.

Kostnadseffektiva lösningar uppnås med internationella avgifter och marknader för GHG, kväve och fosfor, vilket dock inte sker vid ländermål. Mål för totala och nationella minskningar av utsläpp av kväve och fosfor till Östersjön anges av BSAP (HELCOM 2013) och för CO<sub>2</sub>e EUs 2020 mål om en minskning av utsläppen med 20 % från 1990 års nivå och motsvarande bördefördelning (EU, 2018). HELCOM (2013) anger mål för olika marina bassänger beroende på deras ekologiska tillstånd. Det relativa reduktionskravet är som störst för egentliga Östersjön. I syfte att uppnå mål för denna bassäng ansätter vi de procentuella

reduktionerna för denna bassäng, 23 % för kväve och 60 % för fosfor, för hela Östersjön. EUs 2020 mål relaterar till CO<sub>2</sub>e utsläppen 1990 och sedan dess fram till 2011 har dessa minskat, vilket innebär att 2011 års utsläpp behöver minska med 10 % för att uppnå EUs 2020 klimatmål.

I det följande presenterar vi resultat av beräkningar av kostnader för att uppnå dessa reduktionsmål med tre olika internationella styrmedel (avgifter, marknader, ländermål) med och utan stapling. Vi inkluderar också en kombination av styrmedel som till stor del reflekterar faktiskt internationell politik; ländermål för utsläpp av kväve och fosfor och en marknad för utsläpp av CO<sub>2</sub>e. Vi antar då att utsläpp av CO<sub>2</sub>e från samtliga sektorer kan ingå på marknaden, vilket dock inte är fallet idag.

Multifunktionaliteten såsom den redovisas i tabell 5.2.1. kan synas låg. Trots detta har möjlighet till stapling relativt stor effekt på totala kostnaderna under samtliga styrmedel (tabell 5.2.2).

Tabell 5.2.2: Kostnader för att uppnå BSAP mål för kväve och fosfor och EU 2020 mål för CO<sub>2</sub>e utsläpp under kostnadseffektivitet och länderspecifika mål stapling, miljoner kr.

	<b>Kostnadseffektivitet</b>	<b>Ländermål</b>
<b>Stapling</b>	36834	48879
<b>Icke stapling</b>	48065	64110

Källa: Gren m fl. (2018)

Kostnaderna ökar med minst 30 % under samtliga styrmedel vid en övergång från stapling till icke stapling. I absoluta tal är de dock högst för ländermål, då de ökar med ca 15 miljarder kr. Vi kan också notera att totala kostnaden vid ländermål är ca 33 % högre än vid en kostnadseffektiv lösning. En anledning till den högre kostnaden vid ländermål är Polens högre kostnader med och utan stapling (tabell 5.2.2).

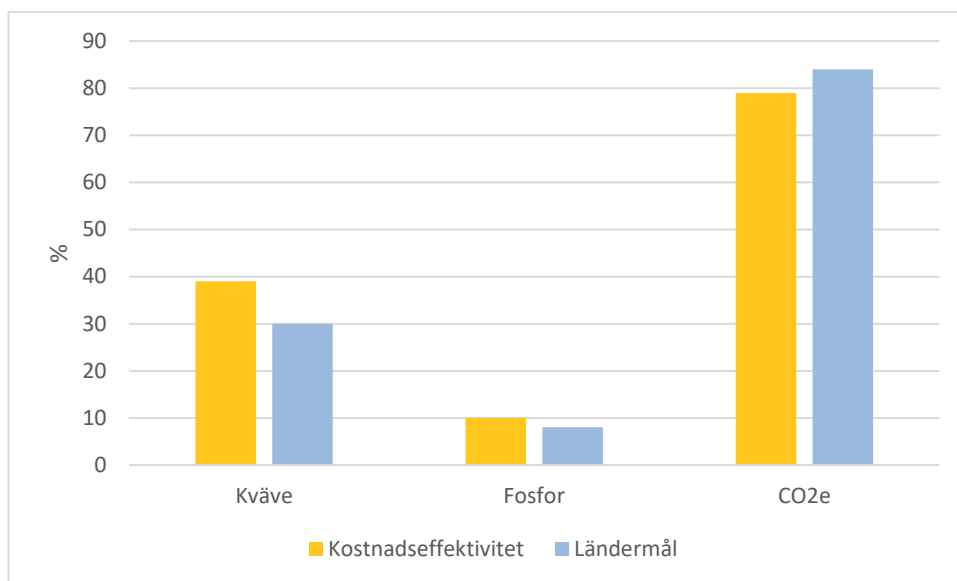
Tabell 5.2.2. Fördelning av reningskostnader mellan olika länder för att uppnå BSAP och EU 2020 mål kostnadseffektivt eller med länder, med och utan stapling.

Land	Kostnadseffektivitet:		Ländermål:	
	Stapling	Icke stapling	Stapling	Icke stapling
Tyskland	1231	1511	3520	7267
Sverige	1276	2806	3077	4036
Danmark	1421	1729	4172	6742
Finland	2290	2525	1566	1674
Polen	16172	26951	29078	35657
Estland	2516	2525	851	887
Lettland	2534	2362	1213	1629
Litauen	4444	3213	3222	3928
Ryssland	4950	5258	1367	2290

Källa: Gren m.fl. 2018

Vid en kostnadseffektiv lösning tjänar samtliga länder ca 12 biljoner på stapling jämfört med icke stapling. Det land som tjänar mest på detta är Polen. Dock finns det länder, Lettland och Litauen, som får en lägre kostnad när stapling inte är tillåten. Anledningen är allokeringseffekten där länder som har relativt omfattande tillgång på multifunktionella åtgärder med låga reningskostnader svarar för en större del av reningen. Samtliga länder tjänar dock på möjligheten till stapling när vi har specificerade reduktionsmål för varje land eftersom det då inte kan uppstå några allokerings effekter mellan länderna.

Utan stapling överskrids dock reduktionsmålen (figur 5.2.2).



Figur 5.2.2: Procentuell rening utöver mål för kväve (N), fosfor (P), och CO<sub>2</sub>e under olika internationella styrmedel för Östersjön med och utan stapling av rening.

Den procentuella överskjutande reningen av olika ämnen är negativt relaterad till reduktionskraven för båda typer av internationella styrmedel. Ju högre reningskrav, ju lägre blir den överskjutande reningen. Utan stapling blir reduktionen av CO<sub>2</sub>e nästan dubbelt så stor som målet, ca 18 % jämfört med målet om 10 %. På motsvarande vis blir kvävereduktionen drygt 30 % jämfört med kravet på 23 %. Huruvida dessa överskjutande reduktioner kan motivera ett system utan stapling beror på värdering av dessa extra reduktioner. Som diskuterats i kapitel 5.1 beror detta på beslutsfattarnas målfunktioner. Om de balanserat kostnader och miljövärden av reduktioner innebär de extra reduktionerna nettoförluster för samhället. Dock kan system med stapling fortfarande motiveras om transaktionskostnaderna av ett system med stapling är tillräckligt höga.

## 6. Källförteckning

- Bérubé, G. Cusson, C. 2002. The environmental legal and regulatory frameworks. Assessing fairness and efficiency. *Energy Policy* 30, 291-298
- Carraro, C. (ed.) 2000. Efficiency and equity in climate change policy, Kluwer Academic Publisher, Amsterdam, the Netherlands.
- Carraro, C. Buchner, B. 2002. Equity, development and climate change policy. I: Carraro, C., Kemfert, C. and B. Buchner (eds.), *Climate change policy regimes, international trade and growth*. Buxelles, CEPS-ESRI Collaboration studies.
- Charnes, A., Cooper, W.W 1964. Deterministic equivalents for optimizing and satisfying under chance constraints. *Operational Research* 11, 18-39.
- Conley D J, Björck S, Bonsdorff E, Carstensen J, Destouni G, Gustafsson B, Hietanen S, Kortekaas M, Kuosa H, Meier M, Müller-Karulis B, Nordberg K, Norkko A, Nürnberg G, Pitkänen H, Rabalais N, Rosenberg R, Savchuk O, Slomp C, Voss M, Wulff F, Zillén L. 2009. Hypoxia-related processes in the Baltic Sea, *Environmental Science and Technology*. 43, 3412-3420
- Elofsson, K., 2010. Cost-effectiveness of the Baltic Sea Action Plan. *Marine Policy* 34, 1043-1050
- EU 2018. EU:s klimatarbete [https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu\\_sv](https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_sv)
- Grasso, M. 2007. A normative ethical framework in climate change, *Climatic Change* 81, 223-246.
- Gren, I-M., Elofsson, K., Jannke, P. 1997. Cost effective nutrient reductions to the Baltic Sea. *Environmental and Resource Economics* 10, 341-362
- Gren, I-M. Lindahl, O. Lindqvist, M. 2009. The value of mussel cultivation for combating eutrophication in the Baltic Sea. *Ecological Engineering* 35, 935-945.
- Gren, I-M., Säll, S., Zeleke, A.A., Ang, F. 2017. Mussel farming as an uncertain nutrient abatement option for the Baltic Sea. *Journal of Coastal Conservation*, in review.
- Gren, I-M., Elofsson, K. 2017. Credit stacking in nutrient trading markets for the Baltic Sea. *Marine Policy* 79, 1-7

Gren, I-M., Säll, S., Zeleke, A.A., 2018. Does mussel farming contribute to cost-effective and fair reductions in nutrient loads to the Baltic Sea? Marine Policy, submitted.

HELCOM 2013. Helcom Copenhagen Ministerial Declaration. Helsinki Commission, Helsinki, Finland

Kraemer, K.A., Kampas, E., Interwies, E. 2004. The role of tradable permits in water pollution control. Inter-American Development Bank, Sustainable Development Department, Environment Division.

Lange, A., Vogt, C., Ziegler, A. 2007. On the importance of equity in international climate policy: An empirical analysis. Energy Economics 29, 545-562.

Lindahl, O. Herroth, B. Kollberg, S. Loo, L-O. Olrog, L. Rehnstam-Holm, A-S. Svensson, J. Svensson, S. Syversen, U. 2005. Improving marine water quality by mussel farming : A profitable solution for Swedish society. Ambio 34, 131-138.

Montero, J.P. 2001. Multi-pollutant markets. Rand Journal of Economics 32, 762-774.

NEFCO, Framework for a nutrient quota and credits' trading system for the contracting parties of HELCOM in order to reduce eutrophication of the Baltic Sea. 2008. ([http://www.nefco.org/sites/nefco.org/files/pdf-files/nefco\\_bs\\_nts\\_gsn\\_final\\_report\\_20080229.pdf](http://www.nefco.org/sites/nefco.org/files/pdf-files/nefco_bs_nts_gsn_final_report_20080229.pdf)) (April 25 2017 date of access)

Petersen, JK. Hasler, B. Timmermann, K. Nielsen, P. Törring, D. Larsen, MM. Holmer, M. 2014. Mussels as a tool for mitigation of nutrient in the marine environment. Marine Pollution Bulletin 82, 137-143.

AC. Redfield, A C., 1958 The biological control of chemical factors in the environment. American Science 46, 205-221.

Robertson, M., BenDor, T.K., Lave, R., Riggsbee, A., Doyle, M., 2014. Stacking ecosystem services. Frontiers in Ecology and the Environment 12, 186-193.

Schernewski, G. Stybel, N. Neumann, T. 2012. Zebra mussel farming in the Szczecin (Oder) lagoon: Water-quality objectives and cost-effectiveness. Ecology and Society 17, 4.

Woodward, R.T. 2011. Double-dipping in environmental markets. Journal of Environmental Economics and Management 61, 153-169.

Sen, A. 1999 Development as freedom, Anchor, New York.



Wulff, F., Humborg, C., Estrup Andersen, H., Blicher-Mathiesen, G., Czajkowski, M., Elofsson, K., Fonnesbech-Wulff, A., Hasler, B., Hong, B., Jansons, V., Mörth, C-M., Smart, J. C. R., Smedberg, E., Stålnacke, P., Swaney, D. P., Thodsen, H., Was, A., Zylicz, T., 2014. Reduction of Baltic Sea nutrient inputs and allocation of abatement costs within the Baltic Sea catchment. *Ambio* 43, 11-25