

Sammanfattning

Konsekvenser av den planerade fiskodlingsanläggningen i närheten av Enskär för de omgivande havsområdena simulerades med den totalbelastningsmodell (FICOS-modellen) som Finlands miljöcentral utvecklat (Lignell m.fl. 2018). De variabler som användes i modellen var klorofyll, näringsämnen totalt och andelen näringsämnen som är användbara för alger. Med modellen simulerades situationen under åren 2006–2012 vilket tills vidare är den senaste använda tidsperioden i FICOS-modellen för ifrågavarande område, med användning av bästa tillgängliga väder- och belastningsdata och till modellen lades de nya planerade belastningarna som orsakas av fiskodlingen. Effekterna bedömdes genom att simulera vilka förändringar den tillkommande belastningen skulle orsaka i havsområdets simulerade grundtillstånd när det gäller näringsämnes- och klorofyllhalter.

I denna rapport presenteras den modell som använts och några huvudresultat. Övriga resultat presenteras i MKB-dokumentet.

FICOS-modellen

FICOS-modellen som fungerar på servrar hos Finlands miljöcentral samlar ihop uppgifter om näringsämnesbelastning från avrinningsområden (VEMALA-modellen, Huttunen m.fl. 2016), punktbelastare med direkt utsläpp i havet (VAHTI-databasen), intern belastning (statistisk bedömning baserad på observationsmaterial) och belastningen från atmosfären (HELCOM 2018). Belastningarna placeras på geografiskt rätt plats och djup i modellen. I havsområdets havsgränser verkar dessutom randvillkor, det vill säga näringsämneshalter som skapats med hjälp av observationsdata. I modellen rör sig näringsämnen transporterade av färdigberäknade strömmar som skapats med en tredimensionell havsmodell med ett tidssteg på ett dygn och en geografisk upplösning som kan väljas enligt behov. Med modellen kan man bedöma effekten av belastningsförändringar på näringsämnes- och klorofyllhalter samt algbiomassor i kustområden med ett dygns steg. Av kustområden täcker modellen Skärgårdshavet, Finska viken och Bottenhavet samt under 2023 även Kvarken och Bottenviken. I detta arbete användes i huvudsak modellen för Bottenhavet där det undersökta området ligger. På Bottenhavet är FICOS-modellens rumsliga noggrannhet en sjömil, det vill säga modellens raster har som bäst upplösningen cirka $1,85 \times 1,85 \text{ km}^2$. FICOS utnyttjar strömmar som beräknats med en 3D havsmodell för transporten av näringsämnen i ett cirka 10 meter djupt ytskikt och på djupare områden i ett bottenskikt som täcker resten av vattenpelaren. Belastningar fås från många källor och i modellen beaktas punktbelastningar, intern belastning, belastning från atmosfären och belastning från avrinningsområden som beräknas med VEMALA-modellen samt i form av randvillkor belastning som kommer från områden utanför modellområdet. Baserat på näringsämnesfraktioner (lösliga) som är användbara för alger, temperatur och solens strålning beräknas i modellen dagligen algbiomassan separat för cyanobakterier och andra alger och vidare klorofyll-a ur dessa. I

modellen ingår också transportberäkning av näringsämnen totalt. Modellen för Bottenhavet täcker åren 2006–2012.

Utgångsdata och simulering

Konsekvenserna vid kusten av ny belastning simulerades genom att först beräkna grundsituationen i havsområdet utan ny belastning (Lignell m.fl. 2018) och därefter situationer där näringsämnesbelastningar enligt belastningsalternativen har lagts till grundsituationen. Vattenkvalitetsförändringen på grund av belastningsförändringar fås som dagliga värden på skillnaden mellan den belastade situationen och grundsituationen. Ur dessa beräknas vidare bland annat veckomedelvärden. De alternativ som granskas och de i modellen använda årsbelastningarna som är kopplade till dem presenteras i tabell 1. I alternativen 1a, 1b, 1c, 2a, 2b och 2c finns en punkt för utsläpp av belastningen och i alternativen 3a, 3b och 3c har belastningen delats på två punkter. Årsbelastningar enligt tabell 1 delas i modellen tidsmässigt in i perioden maj-november med andelar enligt tabell 2. Samma belastningstillägg används under alla modellår, men modellens väderförhållanden och övriga belastningar i modellen varierar enligt modellår.

Tabell 1: Alternativens årliga belastningsmängder av näringsämnena och utsläppspunkter.

Alternativ	Odlingens mängd kg/a	Näringsämnes belastning totalkväve kg/a	Näringsämnes belastning totalfosfor kg/a	Näringsämnes belastning lösligt kväve (DIN) kg/a	Näringsämnes belastning lösligt fosfor (DIP) kg/a	Longitud	Latitud
0 - Ingen förändring	0	0	0	0	0	–	–
VE1 a	249000	12176	1021	10958	357	20.937 68	60.75 668
VE1 b	498000	24352	2042	21917	715	20.937 68	60.75 668
VE1 c	926000	45281	3797	40753	1329	20.937 68	60.75 668
VE2 a	249000	12176	1021	10958	357	20.895 39	60.72 596
VE2 b	498000	24352	2042	21917	715	20.895 39	60.72 596
VE2 c	926000	45281	3797	40753	1329	20.895 39	60.72 596
VE3 a	249000	12176	1021	10958	357	20.937 68	60.75 668
	249000	12176	1021	10958	357	20.895 39	60.72 596
VE3 b	498000	24352	2042	21917	715	20.937 68	60.75 668
	498000	24352	2042	21917	715	20.895 39	60.72 596
VE3 c	926000	45281	3797	40753	1329	20.937 68	60.75 668
	926000	45281	3797	40753	1329	20.895 39	60.72 596

Tabell 2: Näringsämnesbelastningens fördelning i tid i modellen.

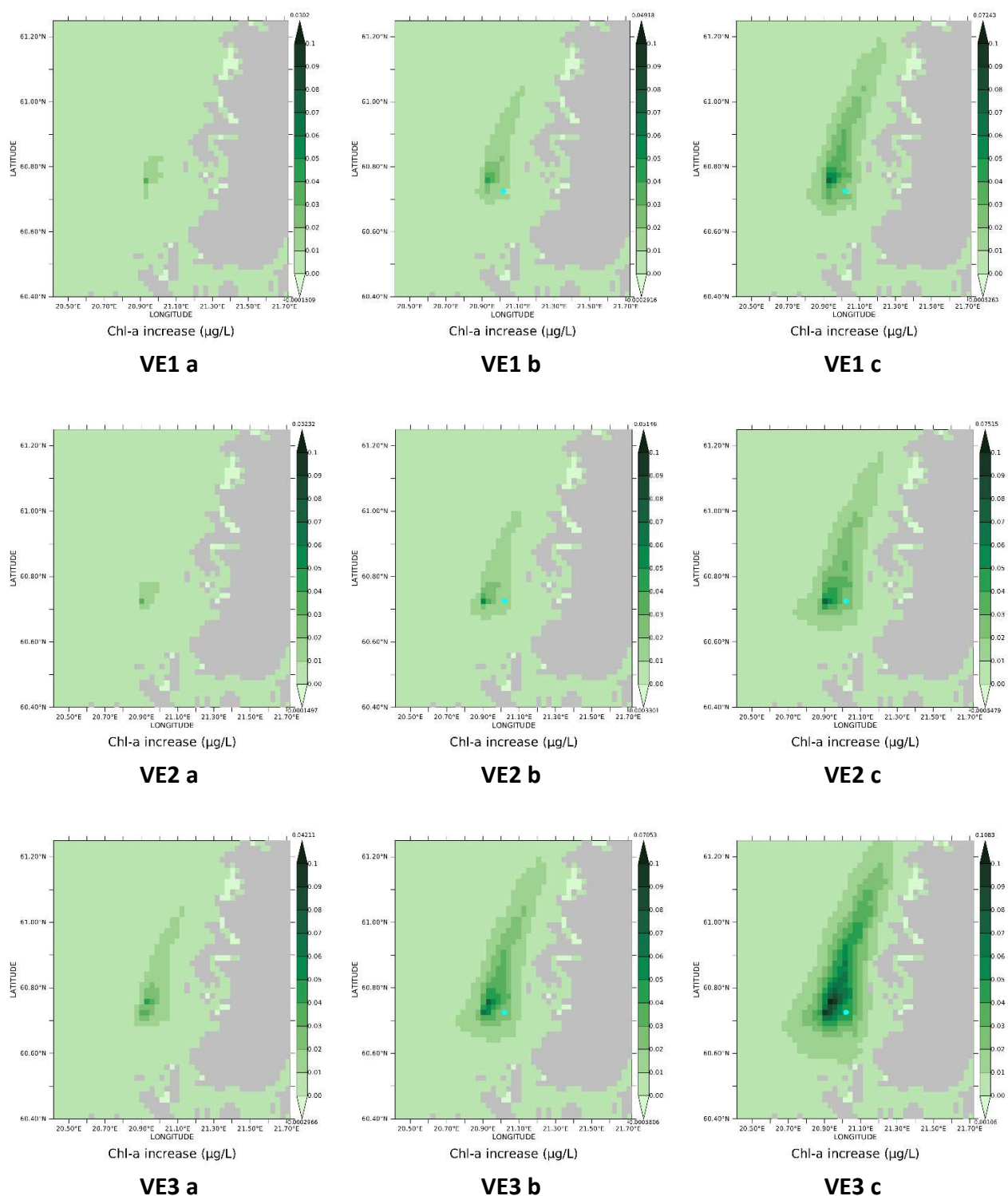
Månad.	Andel av årsbelastningen (%)
Januari	0
Februari	0
Mars	0
April	0
Maj	3.33
Juni	10.8
Juli	14.2
Augusti	17.0
September	25.0
Oktober	23.5
November	6.17
December	0
ÅR	100

Behandling av simuleringsresultat

Av resultaten för hela simuleringsperioden (2006–2012) utelämnades det första simuleringsåret (2006, modellens spin-up eller startfas) så att modellens funktion säkert har stabiliserats, och ur resten av resultaten beräknades bland annat den genomsnittliga förändringen av näringsämnen och klorofyll under olika perioder som medelvärde för simuleringsåren. Dessutom beräknades vecko- och månadsmedelvärden.

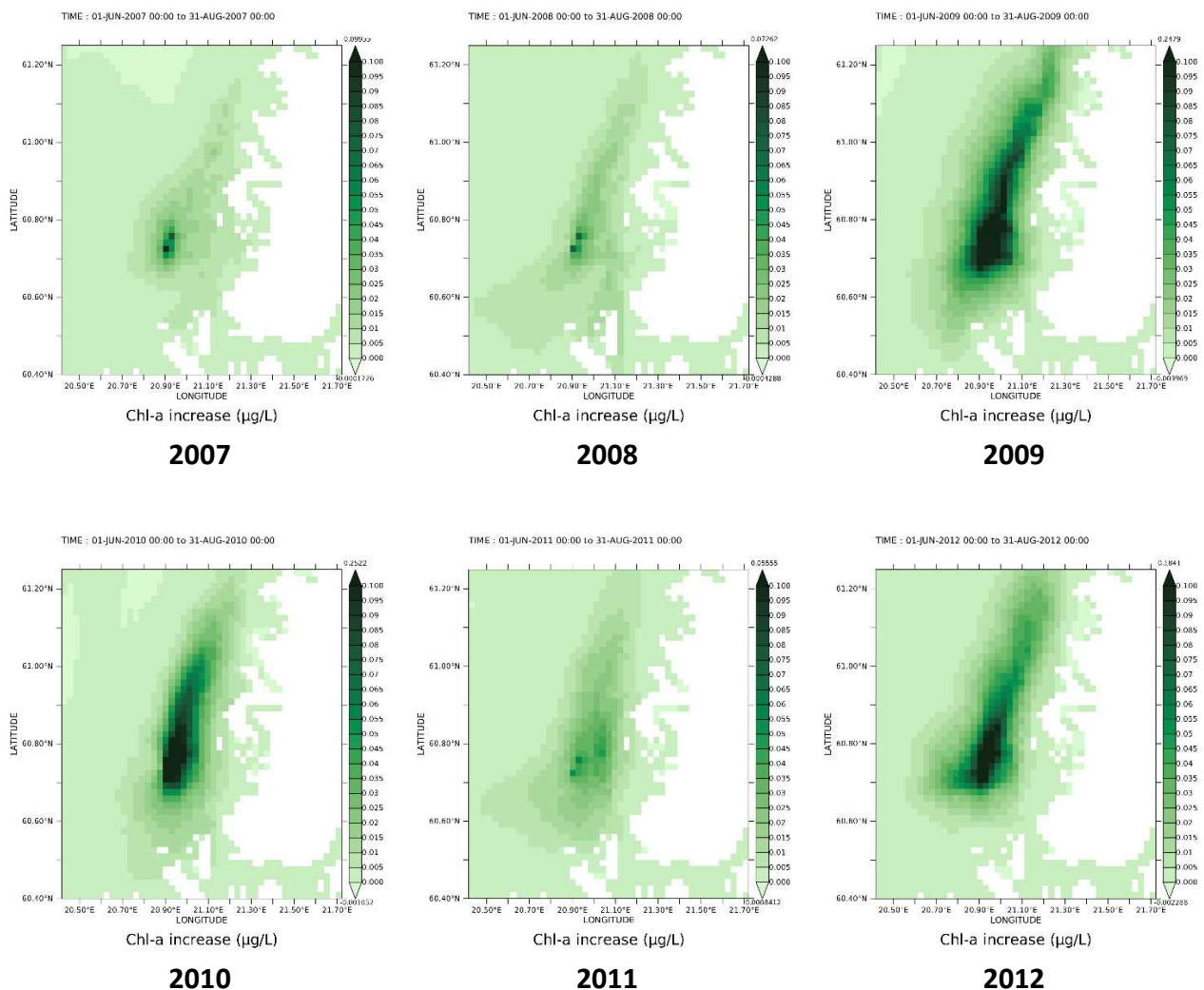
Resultat

I figur 1 visas den genomsnittliga ökningen av klorofyll under juli-augusti i olika alternativ. Huvudströmriktningen är i genomsnitt längs kusten mot norr/nordnordost och den för med sig näringsämnen och alger. Under transporten blandas näringsämnen och alger med den övriga vattenvolymen och halterna späds ut. Den genomsnittliga ökningen av klorofyll underskrider värdet 0,10 $\mu\text{g/L}$ i alla granskningar förutom alternativet VE3 b där den är som högst 0,11 $\mu\text{g/L}$ i en av rasterrutorna närmast produktionsanläggningen.



Figur 1. Genomsnittlig förändring av klorofyllmängden ($\mu\text{g/L}$) i väderförhållandena för juli-augusti 2007–2012 i olika genomförandealternativ. Läget för Enskär visas i figurerna med en turkos punkt.

Effekten av olika års väder- och strömförhållanden på klorofyllhalten har granskats i figur 2, där det genomsnittliga klorofylltillskottet juni-augusti 2007–2012 visas med belastningstillskott enligt VE3 b. Transporten går i huvudsak i samma nordliga riktning alla åren, men under några år (särskilt 2008) kan en liten transport även observeras mot söder. Åren 2007, 2008 och 2011 har mindre klorofylltillskott och åren 2009, 2010 och 2012 större. Under de senare åren finns klorofyll i ett i genomsnitt större område och i större halter. Skillnaderna i klorofyllens mängd och transport beror i huvudsak på skillnader i väder mellan åren, som påverkar strömmar, vattnets temperatur och tillgänglig ljusmängd. Bakom strömmarna och vattentemperaturen finns den av FICOS använda havsmodellen NEMO, vars väderindata härstammar från EURO4M-modellens nyanalys. Ljusmängden som driver algtillväxten (global strålning) härstammar från SMHIs STRÅNG-modell. Mer information om indata som använts finns i rapporten Lignell m.fl. 2018.



Figur 2. Betydelsen av den årliga variationen i väderförhållanden för den genomsnittliga förändringen av klorofyllmängden (µg/L) juni-augusti 2007–2012 i alternativ VE3 b.

Osäkerhet och validering av modellen

Samma osäkerheter gäller för FICOS-modellen som i de modeller som utgör indata för den. Belastningsvärden från Vemala-modellen som innehåller osäkerheter, belastning från atmosfären (för kväve se HELCOM 2018), punktblastningar och den interna belastningen, som är en statistisk uppskattning baserad på ett relativt glest material från Bottenhavet. Dessutom är den interna belastningen inte dynamisk i FICOS-modellen, det vill säga den ändras inte mellan olika år, om den inte ändras specifikt. Variationen inom år har beaktats. För belastning från atmosfären av fosfor används samma uppskattning som i BALTSEM-modellen (15 kg P km⁻² a⁻¹, Ruoho-Airola m.fl. 2012), som grundar sig på gamla bedömningar och saknar geografisk fördelning. Såväl fosfor- som kvävebelastningen från atmosfären antas vara användbar för algerna i sin helhet.

Punktblastarna som grundas på recipientkontrolldata är årsbelastningar och deras tidsmässiga fördelning i modellen grundar sig på antingen jämn fördelning eller i fallet med fiskodlingar på månadsfördelning. Även andelar av användbara näringsämnesfraktioner av näringsämnen totalt från olika typer av belastare innehåller osäkerheter.

På Bottenhavet kan inte FICOS simulera mycket små kustnära vattenförekomster som är mindre än den 1 sjömil upplösning som havsmodellen använder.

Modellens randvillkor, det vill säga halterna av näringsämnen och alger vid modellens yttre gränser grundar sig på tidsserier som bildats ur mätningar och utgör ett av de viktigaste indata till modellen. Randvillkoren orsakar osäkerhet i modellens resultat på grund av osäkerheten i mätresultaten och deras bristfälliga upplösning i tid och rum. Randvillkoren innehåller såväl näringsämneshalt från andra områden som från modellområdet, och förhållandet mellan dem kan inte särskiljas med det nuvarande modellsystemet.

Modellsystemets funktion har bedömts och validerats genom jämförelser av simuleringsresultat med observationer av näringsämneshalter, se FICOS-modellens rapport (Lignell m.fl. 2018). Som helhet bedöms modellen fungera väl, när den används för bedömning av förändringarna mellan två olika belastningsscenarier (t.ex. grundscenario och tilläggsbelastningsscenario). I enstaka punkter och vid enstaka tidpunkter kan modellen producera värden som stämmer dåligt med observationer, men medelvärdesbildning över område och tid minskar betydelsen av sådana fall.

Referenser

HELCOM, 2018. Atmospheric nitrogen deposition to the Baltic Sea. HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheet (BSEFS).

Huttunen, I., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M., Lepistö, A., Räike, A., Tattari, S., & Vehviläinen, B. 2016. A National-Scale Nutrient Loading Model for Finnish Watersheds—VEMALA. *Environmental Modeling & Assessment*, 21, 83–109.

Lignell R, Miettunen E, Tuomi L, Ropponen J, Kuosa H, Attila J, Puttonen I, Lukkari K, Peltonen H, Lehtoranta J, Huttunen M, Korppoo M, Tikka K, Mäyrä J, Heiskanen AS, Gustafsson B, Gustafsson E, Hänninen J, Thingstad F, Kaurila K, Vanhatalo J, Westerlund A, Siiriä SM, 2018. **Rannikon kokonaiskuormitusmalli: ravinnepäästöjen vaikutus veden tilaan - Kehityshankkeen loppuraportti (XI 2015 - VI 2018).**
<https://www.ym.fi/download/noname/%7BD5C68F2D-D52B-4C73-9E0B-FE53C5FFD207%7D/142893>.

Ruoho-Airola, T., K. Eilola, O.P. Savchuk, M. Parviainen, and V. Tarvainen. 2012. Atmospheric nutrient input to the Baltic Sea for 1850–2006: A reconstruction from modeling results and historical data. *AMBIO*. doi:10.1007/s13280-012-0319-9.