



Itämeren ympäristömuutosten salat ja tulevaisuuden kuvia

BONUS-ohjelman INFLOW-projekti

A.T. KOTILAINEN

Ihmiset ovat paljolti riippuvaisia meristä ja niiden tuottamista ekosysteemipalveluista kuten ravinnosta. Ilmaston lämpeneminen, nopea väestönkasvu, sekä meri- ja rannikkoalueiden lisääntyvät käyttö uhkaavat meriympäristöä maail-

manlaajuisesti (Halpern et al. 2008). On arvioitu, että ilmastonmuutos voi aiheuttaa Itämeren pintalämpötilojen nousua, lisääntyneitä tulisuutta ja jäätalvien lyhenemistä. Muutokset Itämeren hydrografiassa ja biogeokemiallisissa prosesseissa voivat vaikuttaa koko Itäme-

ren ekosysteemiin. Monimutkaiset syy- ja seuraussuhteet tekevät vaikutuksen suuruuden ja suunnan luotettavan arvioinnin kuitenkin vaikeaksi (BACC Author Team 2008). Esimerkiksi tietämyksemme Itämeren pitkäaikaismuutoksiin (mm. hapettomuus) vaikuttavista tekijöistä on vieläkin puutteellista. Tällaista syvempää tietämystä tarvitaan, jotta voimme paremmin ennustaa ja varautua tulevaan muutokseen, johon osin ihmistoiminnan aiheuttama ilmastonmuutos planeettaamme ja sen elinympäristöjä ajaa.

Tavoitteet ja yhteistyökumppanit

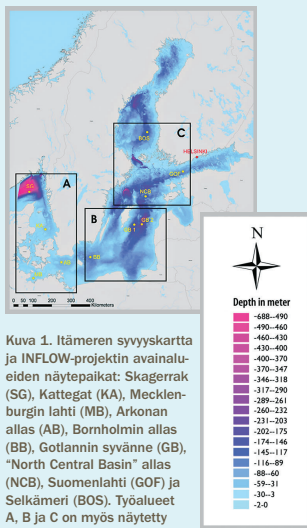
Itämeren pohjakerrostuksia tutkitaan GTK:n johtamassa INFLOW (Holocene saline water inflow changes into the Baltic Sea, ecosystem responses and future scenarios) tutkimushankkeessa osana yhteiseurooppalaista BONUS-tutkimusohjelmaa.

INFLOW-projektin tavoitteena on saada tietoa Itämeren ympäristömuutoksista ja niihin vaikuttaneista tekijöistä viimeisten 6000 vuoden aikana. Projektissa pyritään myös ennustamaan mallinnuksen avulla ilmaston muutoksen vaikutuksia Itämereen.

Tämän vuoden alussa alkaneen BONUS-tutkimusohjelman (<http://www.bonusportal.org/>) taustalla on yhdeksän Itämeren maan tutkimusrahoittajat (mm. Suomen Akatemia). Lisäksi tutkimusta rahoittaa EU:n komissio. Tutkimusohjelman ensimmäisessä haussa päätettiin rahoittaa 22 miljoonalla eurolla 16 tutkimushanketta, joihin osallistuu yli 100 tutkimuslaitosta ja yliopistoa Itämeren maista. Suomalaiset koordinoivat näistä neljää tutkimushanketta. Ohjelman kokonaisrahoitus on noin 60 miljoonaa euroa vuosina 2010-2016.

GTK:n yhteistyökumppanit INFLOW-tutkimusprojektissa ovat Saksasta (Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde –

IOW), Tanskasta (Geological Survey of Denmark and Greenland – GEUS), Ruotsista (Lundin yliopisto ja Swedish Meteorological and Hydrological Institute), Puolasta (Szczecin yliopisto), Norjasta (Bjerknes Centre for Climate Research), Venäjältä (A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute – VSE-GEI) ja Helsingin yliopiston geologian laitos.



Kuva 1. Itämeren syvyyskartta ja INFLOW-projektin avainalueiden näytapaikat: Skagerrak (SG), Kattegat (KA), Mecklenburgin lahti (MB), Arkonan allas (AB), Bornholmin allas (BB), Gotlannin syväne (GB), "North Central Basin" allas (NCB), Suomenlahti (GOF) ja Selkämeri (BOS). Työalueet A, B ja C on myös näytetty kartassa. Syvyyskartta: BALANCE-projekti.

Figure 1. Bathymetric map of the Baltic Sea basin with the proposed drill sites in Skagerrak (SG), Kattegat (KA), Mecklenburg Bay (MB), Arkona Basin (AB), Bornholm Basin (BB), Gotland Basin (GB), North Central Basin (NCB), Gulf of Finland (GOF) and in the Bothnian Sea (BOS). Working areas A, B and C are also shown in figure. Source: BALANCE project.

INFLOW-projekti on kolmivuotinen hanke (2009–2011).

Menetelmät

Itämeren pinta- (mm. lämpötila, suolaisuus, merijää) ja syvänveden (mm. happi, suolaisuus) olosuhteita sekä näiden ajallista vaihtelua tutkitaan merenpohjan sedimenttisarjoista ns. monimuuttujamenetelmin sekä mallinnuksen avulla. Koska Itämeren eri osissa ympäristöolot ja pohjakerrostumien sedimentti-koostumukset ovat paikoin erilaisia, joudutaan eri alueilla myös joskus käyttämään erilaisia tutkimusmenetelmiä mm. sedimenttien ajoituksessa. Käytettävät sedimenttien tutkimusmenetelmät on esitetty tarkemmin taulukossa 1.

INFLOW-projektin tutkimusalue ulottuu merellisestä Skagerrakista lähes makean veden hallitsemiaan Pohjois-Itämereen (Kuva 1). Avainalueiden ja näytepaikkojen valinta perustuu uusimpaan monikeilakaikuluotaimilla, akustis-seismisillä luotauksilla ja ekosysteemi-mallinnuksella tuotettuun aineistoon sekä yhteistyökumppanien pitkäaikaiseen kokemukseen Itämeren sedimenttitutkimuksessa.

Ekosysteemimallien (Neumann et al. 2002, Neumann and Schernewski 2005, Schernewski & Neumann 2005, Eilola et al. 2009) avulla on mahdollista tuottaa tietoa menneistä ympäristöoloista esimerkiksi ilmastollisten ääriolosuhteiden kuten keskiajan lämpömaksimin tai pienen jääkauden aikana. Mallien toimivuutta on mahdollista parantaa vertaamalla mallien tuottamia simulaatioita esimerkiksi sedimenttiaineistojen avulla tuotettuihin rekonstruktioihin menneistä vaihteiluista.

Validoituja ja tarkennettuja malleja käytetään INFLOW-projektissa ennustamaan ilmastomuutoksen vaikutuksia Itämereen seuraavan 100 vuoden aikana. Ilmastomuutok-

sen ennusteina käytetään hallitustenvälisen ilmastopaneelin *IPCC:n* (Intergovernmental Panel on Climate Change) tekemiä skenaariota ihmistoiminnan ja luonnollisen vaihtelun aiheuttamasta ilmastomuutoksesta (IPCC 2007).

Tietoa mekanismeista Itämeren ympäristömuutosten taustalla, esimerkiksi Pohjois-Atlantin oskillaatio (engl. North Atlantic Oscillation, NAO), Atlantin meridionaalinen kiertoliike (engl. Meridional Overturning Circulation, MOC) tai auringon aktiivisuuden vaihtelu, pyritään selvittämään vertaamalla tarkkaan ajoitettuja Itämeren sedimenttiaineistoja mm. paleoilmastodataan Pohjois-Atlantin alueelta.

INFLOW-tutkimushankkeessa panostetaan myös koulutukseen. Projektin aikana opiskelijoille järjestetään työpajoja sekä esimerkiksi meris sedimenttitutkimuksen kenttäkurssi tutkimusalue Arandalla (22.–29.4.2009) yhteistyössä SYKE:n (Suomen ympäristökeskus) Merikeskuksen kanssa.

Odotettavat tulokset ja hyöty

INFLOW-projektin tuloksena saadaan tietoa Itämeren ympäristöolojen pitkäaikaismuutoksista ja niihin vaikuttavista tekijöistä viimeisten 6000 vuoden aikana. Tutkimuksessa pyritään myös selvittämään mikä on ihmisen toiminnan vaikutus havaittuihin ympäristömuutoksiin. Lisäksi projektissa tuotetaan mallinnuksen avulla ennusteita siitä kuinka ilmastomuutos mahdollisesti vaikuttaa Itämereen vuoteen 2100 mennessä.

Syvämpi ymmärrys Itämeren pitkäaikaismuutoksiin vaikuttavista tekijöistä ja mahdollisista tulevista muutoksista on tärkeää. Tätä tietämystä tarvitaan merialueiden kestäväen käytön suunnitteluun tueksi ja varauduttaessa ilmastomuutoksen vaikutuksiin. Tämä tietä-

Tutkimusalue	Tutkimusmenetelmä		Ajoitusmenetelmät
	pintaveden olosuhteet	syvänveden olosuhteet	
A (Skagerrak, Kattegat, Tanskan Salmet, Etelä-Itämeri)	piilevät (TF)	foraminiferat (pysyvät isotoopit/hivenaineet), Sr-isotoopit, raekoko	$^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$; AMS ^{14}C (kalkkikuoriset fossiilit)
	* Geokemia: TOC/N/S, XRF, fosfori, biogeeninen pii		
B (Keski-Itämeri)	piilevät ja dinoflagellaatit (TF), $\delta^{13}\text{C}$, jääpeite: piilevät, biomarkerit (mm. IP-25)	piilevät, Sr-isotoopit, raekoko, DNA, jälkifossiilit	$^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$, OSL, paleomagnetismi, AMS ^{14}C (kalkkikuoriset fossiilit)
	* Geokemia: TOC/N/S, XRF, fosfori, Ca/Mn, biogeeninen pii		
C (Pohjois-Itämeri, Suomenlahti ja Pohjanlahti)	piilevät ja dinoflagellaatit (TF), $\delta^{13}\text{C}$, jääpeite: piilevät, biomarkerit (mm. IP-25)	piilevät, raekoko, jälkifossiilit, Sr-isotoopit	$^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$, OSL, paleomagnetismi, AMS ^{14}C (kalkkikuoriset fossiilit)
	* Geokemia: TOC/N/S, XRF, fosfori, Ca/Mn, biogeeninen pii		

Taulukko 1. INFLOW-projektissa käytettävät sedimenttien tutkimus- ja ajoitusmenetelmät joiden avulla pyritään selvittämään Itämeren pinta- ja syvänveden olosuhteita sekä näiden ajallista vaihtelua. Tutkimusalueet A, B, ja C vastaavat kuvassa 1 esitettyjä alueita. (TF – siirtofunktiot, * indikoi erilaisia geokemiallisia tutkimuksia joita ei voida suoraan linkittää joko pinta- tai syvänveden prosesseihin, mutta mitkä ovat tärkeitä kuvaamaan ekosysteemin tilaa kuten hapetus-pelkistys oloja).

Table 1. Proxy and dating methods which will be used in INFLOW-project to reconstruct surface and deep water conditions in the hydrographically different working areas (Figure 1). (TF – transfer functions, * indicate a variety of geochemical studies which cannot be solely linked to surface or deep water processes, but which are essential to characterize the status of the ecosystem such as redox stage).

mys luo pohjan paremmalle ja kestävämmälle merialueiden käytön suunnittelulle, ja poliittisten strategioiden, kuten EU:n Meristrategia (Directive 2008/56/EC), toteuttamiselle esimerkiksi Itämeren ympäristökysymyksissä.

Geologinen tutkimus muodostaa yhden tärkeän osatekijän toteutettaessa tätä tärkeää työtä merien paremman huomisen puolesta. Itämeren pohjakerrostumien geologiset aika-

sarjat tarjoavatkin ainutlaatuisen arkiston, joita uusin menetelmin tutkimalla voidaan saada tarkempaa tietoa Itämeren ympäristömuutoksista ja niihin vaikuttaneista tekijöistä viimeisimmän jääkauden jälkeen. INFLOW-projekti on jatkoa sille pitkäjänteiselle työlle, jota Itämeren sedimenttitutkimuksessa on tehty jo vuosikymmeniä mm. suurissa EU-hankkeissa kuten BASYS, GISEB ja GOBEX.

Summary:

INFLOW – forcing mechanisms of environmental changes of the Baltic Sea over the past 6000 years and future scenarios

The INFLOW (Holocene saline water inflow changes into the Baltic Sea, ecosystem responses and future scenarios) -project aims to identify forcing mechanisms of environmental changes of the Baltic Sea over the past 6000 years by studying a high-resolution Baltic Sea sediment archives. INFLOW studies ongoing and past changes in both surface and deep water conditions and their timing by means of multi-proxy studies combined with state-of-the-art modelling approaches. INFLOW uses sediment proxy data from key sites on a transect from the marine Skagerrak to the almost freshwater dominated northern Baltic Sea. The selection of these key-sites is based on extensive new sets of multibeam, seismoacoustic and ecosystem model-

ling data and on the consortiums long-term experience in working with Baltic Sea sediments. The validated ecosystem models can provide simulated data for extreme natural climatic conditions over the past thousands of years (e.g. Medieval Warm Period, Little Ice

Age). Proxy reconstructions will be compared to results from model simulations. These evaluated models will be used to provide predictions of the Baltic Sea ecosystem state at the end of the 21st century for selected IPCC climate change scenarios.

A deeper scientific knowledge and understanding of the factors affecting the long-term changes in the Baltic Sea and of possible future changes will provide basis for improved management and implementation of policy stra-



regies (e.g. the proposed European Marine Strategy Directive) adapting to future climate change.

INFLOW (2009-2011) is one of the BONUS research programme (<http://www.bonusportal.org/>) projects and it is funded by national funding agencies (e.g. Academy of Finland) and the EU Commission. Geologian tutkimuskeskus (GTK) coordinates the INFLOW project that has 9 partners in 7 countries of the Baltic Sea Region: Finland (GTK

and University of Helsinki/Department of Geology), Russia (A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute – VSEGEI), Poland (University of Szczecin), Germany (Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde – IOW), Denmark (Geological Survey of Denmark and Greenland – GEUS), Sweden (Lund University, Swedish Meteorological and Hydrological Institute), Norway (Unifob AS – Bjerknes Centre for Climate Research).

Kirjallisuus:

The BACC Author Team 2008. Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Springer, Regional Climate Studies. 473 p.

Directive 2008/56/EC. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). Official Journal of the European Union 164, 19-40.

Eilola K., Meier H. E. M., Almroth E. 2009. On the dynamics of oxygen, phosphorus and cyanobacteria in the Baltic Sea; A model study. Journal of marine systems, vol.75 n.1-2 pp:163-184.

Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Argosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Ebert, C., Fox, H.E., Fuijita, R., Heinemann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.R., Spalding, M., Steneck, R., Watson, R. 2008. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. Science 319, 948-952.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Neumann, T., Fennel, F., Kremp, C. 2002. Experimental simulations with an ecosystem model of the Bal-

tic Sea: A nutrient load reduction experiment. Global Biogeochemical Cycles 16, No 3, 7_1 – 7_19.

Neumann, T., Schernewski, G. 2005. An ecological model evaluation of two nutrient abatement strategies for the Baltic Sea. Journal of Marine Systems, 56/ 1-2, 195-206.

Schernewski, G., Neumann, T. 2005. The trophic state of the Baltic Sea a century ago? A model simulation study. Journal of Marine Systems, 53: 109-124 J. Mar. Syst. 53, 109-124.

AARNO KOTILAINEN

Geologian tutkimuskeskus

PL 96

02151 ESPOO

aarno.kotilainen@gtk.fi