# ITÄMERI

## YMPÄRISTÖ JA EKOLOGIA

EEVA FURMAN ● HEIKKI SALEMAA ● PENTTI VÄLIPAKKA

# LUETTELO KALVOISTA:

1. ITÄMEREN ALUE, A

2. ITÄMEREN ALUE, B

3. ITÄMEREN HYDROGRAFIA; PITKITTÄISLEIKKAUS

4. ITÄMEREN HYDROGRAFIA; POIKKILEIKKAUS

5. ITÄMEREN HYDROGRAFIA; STAGNAATIO

6. ELÄINTEN JA KASVIEN LEVINNEISYYS JA RUNSAUS ITÄMERESSÄ

7. ITÄMEREN EKOSYSTEEMIT: PIIRTEITÄ JA VUOROVAIKUTUKSIA

8. ITÄMEREN RANNIKKOEKOSYSTEEMIT

9. AVOMEREN EKOSYSTEEMI; VUOSIRYTMI

10. AVOMEREN EKOSYSTEEMI; RAKENNE

11. AVOMEREN EKOSYSTEEMI; MITTAKAAVOJA

12.REHEVÖITYMINEN JA SEN SEURAUKSET

13. REHEVÖITYMISEN KEHITTYMINEN ITÄMERESSÄ

14. MISTÄ ITÄMERTA REHEVÖITTÄVÄT RAVINTEET OVAT PERÄISIN?

15. YMPÄRISTÖMYRKYT JA ITÄMERI

16. YMPÄRISTÖMYRKKYJEN VAIKUTUKSET LUONTOON

17. ITÄMERI KALASTUSALUEENA

18. VESIENSUOJELU JA TEOLLISUUS: MENETELMIÄ

19. ITÄMEREN SUOJELU: KANSAINVÄLINEN YHTEISTYÖ

20. ITÄMEREN TULEVAISUUS

# JOHDANNOKSI

Itämeri on ympäristömuutoksille herkkä murtovesiallas – reunameri ja sisämeri. Sitä ympäröi yhdeksän valtiota; oman maamme lisäksi vastapäivään lukien Ruotsi, Tanska, Saksa, Puola, Liettua, Latvia, Viro sekä Venäjä. Näiden maiden historia on osa Itämeren historiaa. Ihmisen vaikutukset Itämereen havaittiin jo vuosisatamme alussa, ja varsinkin viime vuosikymmeninä meren ekologinen tila on selvästi huonontunut. Vaikka Itämeri on nykyään kansainvälisten suojelusopimusten piirissä, ei myönteinen käänne ole kuitenkaan taattu. Suojelutoimenpiteet edellyttävät selkeää tutkimustietoa murtovesiekosysteemin rakenteesta, toiminnasta ja erilaisista häiriöprosesseista. Ennen kaikkea Itämeren tulevaisuus riippuu sen piirissä elävien kansakuntien ympäristöpoliittisesta päätöksenteosta.

Vuonna 1993 valmistui Helsingin yliopiston, Kotkan Nuorkauppakamarin sekä Ympäristöministeriön yhteistyönä englanninkielinen opetuskalvosarja Baltic Sea – Environment and Ecology. Hanketta olivat lukemassa myös Opetushallitus, Taloudellinen Tiedotustoimisto ja Kotkan kaupunki. Opintokokonaisuus tuotettiin talkootyönä, johon osallistui asiantuntijoita monilta eri aloilta. Projektin tavoitteena on ollut Itämeren ekologian ja ympäristösuojelun opetuksen lisääminen ja tehostaminen Itämeren maissa. Englanninkielinen versio lähetettiin suurimmalta osin Viroon, Latviaan, Liettuaan, Puolaan ja Venäjälle kouluille ja muihin oppilaitoksiin jaettavaksi.

Baltic Sea -kalvosarjan saaman palautteen ja kysynnän johdosta allekirjoittaneet päättivät toimittaa saman opetuskokonaisuuden myös suomeksi. Tälläkin kertaa on toiveenamme osallistua Itämeren luontoa ja suojelua käsittelevän opetuksen ja tiedonvälityksen kehittämiseen tarjoamalla materiaalia ”perinteisen” opetuksen käyttöön. Kokonaisuus, joka muodostuu 20 kalvosta sekä lyhyestä opaskirjasesta, käsittelee Itämeren maantiedettä, hydrografiaa, eliöstöä ja ekosysteemiä unohtamatta ympäristöongelmia sekä merensuojelua.

Itämeri – Ympäristö ja Ekologia -kokonaisuuden ovat kustantaneet Maj ja Tor Nesslingin Säätiö sekä Walter ja Andrée de Nottbeckin Säätiö, molemmat huomattavia ympäristötutkimuksen rahoittajia maassamme.

Kalvosarjan ovat toimittaneet fil.tri Eeva Furman (Suomen ympäristökeskus), dosentti Heikki Salemaa (Helsingin yliopisto, Ekologian ja systematiikan laitos) sekä tri Pentti Välipakka (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus). Graafisen suunnittelun on toteuttanut Petri Kuokka (Aarnipaja Ky, Helsinki).

Toimittajat lausuvat kiitoksensa kollegiaalisesta avusta seuraaville: Ann Britt Andersin, Jorma Kuparinen, Juha-Markku Leppänen, Matti Perttilä (Merentutkimuslaitos), Erik Bonsdorff (Åbo Akademi), Jan Ekebom, Ilkka Hanski. Åke Niemi, Kalevi Rikkinen (Helsingin yliopisto), Aimo Oikari (Teknillinen korkeakoulu), Meeri Palosaari (Teollisuus ja Työnantajat), Risto Parmanne (Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos), Eeva-Liisa Poutanen (Helsingin Komissio), Vappu Tervo (Ympäristöministeriö) sekä Ilppo Vuorinen (Turun yliopisto).

Itämeri – Ympäristö ja Ekologia -projektin rahoittajien kanssa on sovittu, että kalvosarja lahjoitetaan Biologian ja Maantieteen opettajien liitolle, joka huolehtii niiden jaosta ilmaisena materiaalina kouluihin. Samalla tervehdimme liittoa sen merkkipäivän johdosta ja toivotamme menestystä tulevassa luonnontieteellisessä opetus- ja kasvatustyössä.

Helsingissä 1. toukokuuta 1998

Eeva Furman  Heikki Salemaa  Pentti Välipakka

# 1. ITÄMEREN ALUE, A

Itämeren valuma-alue peittää alleen 1 700 000 km$^2$, mikä on neljä kertaa laajempi alue kuin itse vesiallas (415 266 km$^2$). Valuma-alueen suurin pituus (P–E) on yli 1 700 km ja suurin leveys (L–I) yli 1 000 km. Itämeren alueella on pohjoinen sijainti; napapiiri leikkaa sen pohjoisosia. Valuma-alueella on kymmenen valtiota ja satoja kaupunkeja (joista yhdessätoista on yli 500 000 asukasta).

Asukastiheys on alueella korkea (80 miljoonaa asukasta); eteläosat ovat tiheimmin asuttuja. Maankäyttöön vaikuttavat kallioperä ja maaperän tyyppi. Maanviljelys hallitsee maankäyttöä valuma-alueen eteläosissa, kun taas pohjoisessa suurin osa maa-alasta on metsien peitossa. Maanviljelystä harjoitetaan kuitenkin koko Itämeren rannikolla.

Itämereen laskee satoja jokia; näistä kuuden joen valuma-alue on laajempi kuin 25 000 km$^2$. Itämeri voidaan jakaa seitsemään osa-alueeseen.

# 2. ITÄMEREN ALUE, B

Useimmista muista maapallon meristä ja valtameristä poiketen Itämeri ei sijaitse mannerlaattojen välissä vaan mannerlaatalla. Tämä selittää, miksi Itämeri on matala (keskisyvyys 60 metriä) muihin meriin verrattuna (esim. Välimeren keskisyvyys on 2 000 metriä). Itämeren suurin syvyys, 459 metriä, löytyy Varsinaiselta Itämereltä Gotlannin luoteispuolelta.

Viimeisellä jääkaudella, jonka vaikutus oli laajimmillaan 20 000 vuotta sitten, Itämeren alue vajosi ja sai uuden muodon. Kun jään reuna oli noin 6 000 vuotta sitten vetäytynyt, alkoi nopea maankohoaminen. Yhä tänä päivänä jatkuva maankohoaminen on vähitellen hidastunut ja on tällä hetkellä Itämeren alueella 0–9 mm vuodessa.

Itämeren syvyysprofiili voidaan jakaa kolmeen vyöhykkeeseen. Rannikkovyöhyke ulottuu mantereen reunalta uloimpiin saariin saakka. Se toimii mantereen ja avomeren välisenä "puhdistuslaitoksena". Tämä vyöhyke soveltuu virkistys- ja kalastuskäyttöön. Vaihettumisvyöhyke ulottuu rannikkovyöhykkeeltä 50 metrin syvyyteen asti. Vaihettumisvyöhyke on rakenteeltaan monimutkainen ja sitä on tutkittu hyvin vähän; esimerkiksi saasteiden vaikutuksia tämän vyöhykkeen luontoon on vaikea ennustaa. Voimakkailla myrskyillä hienorakeinen aines sekoittuu veteen.

Vaihettumisvyöhykkeen alapuoleisella syvän veden alueella laskeutuu hienorakeinen aines sen sijaan jatkuvasti pohjaan. Vain satunnaiset Pohjanmereltä saapuvat suolaryöpyt (keskimäärin joka 15 vuosi) sekä hidas maankohoaminen palauttavat ravinteita syvän veden alueelta takaisin Itämeren aktiivisiin osiin.

Itämerelle tyypillinen jään ja murtoveden vuorovaikutussuhde on harvinainen prosessi maailmassa. Jään muodostuminen sekä jääjakson pituus kasvavat siirryttäessä pohjoiseen ja itään päin. Perämerellä jääjakson pituus on 4–6 kuukautta, Pohjanlahdella ja Suomenlahdella 2–4 kuukautta ja Varsinaisella Itämerellä alle kuukauden.

Jään muodostuminen vaikuttaa veden virtauksiin, sedimentaatioprosesseihin sekä rannan, rannikon

ja avoveden eliölajistoon. Se vaikeuttaa myös laivaliikennettä. Jokiuoman vaikutuspiirissä oleviin rannikkovesiin muodostuu keväisin murtoveden ja jään väliin makeanveden vyöhyke. Makea vesi on peräisin osittain joen tuomasta vedestä, osittain sulaneesta jäästä. Sillä on merkittävä vaikutus eliöstöön vedenpinnan tuntumassa.

# 3. ITÄMEREN HYDROGRAFIA; PITKITTÄISLEIKKAUS

Ylemmässä kuvassa nähdään, miten Itämeren suolapitoisuus pienenee siirryttäessä Tanskan salmista Perämeren pohjukkaan. Tämän kaltainen suolapitoisuusgradientti on tyypillinen jokisuistoille, joihin myös Itämeren voidaan sanoa kuuluvan. Itämereen virtaa makeaa vettä useista sadoista joista, kun taas suolainen vesi tunkeutuu Itämereen Tanskan salmien kautta. Koska vesi on sitä raskaampaa mitä suolaisempaa se on, suolapitoisuusvyöhykkeet eivät ole pystysuoria.

Happi loppuu Varsinaisella Itämerellä suolaisuuden harppauskerroksen eli halokliinin alapuolella (kts. 4) ja rikkivetyä ilmaantuu syvänteiden pohjan tuntumaan. Perämerellä happipitoisuus säilyy melko korkealla tasolla pohjaan saakka. Tämä johtuu siitä, että Perämerellä ei ole pysyvää halokliinia (1) ja koko vesipatsas sekoittuu vuosittain (2) sekä siitä, että Ahvenanmaan eteläpuolella sijaitsevat matalat salmet (60–70 m) estävät vähähappisen syvänveden virtaamasta Perämereen (3).

Kesällä pintaveden lämpötila on sitä korkeampi mitä etelämmässä ollaan (alempi kuva). Korkeimmat lämpötilat mitataan yleensä rannikolta ja matalasta vedestä. Kun tuuli on puhaltanut pitkään rannikolta avomeren suuntaan, tapahtuu kumpuamista. Rannikkotuuli kuljettaa merelle lämmintä pintavettä, joka korvautuu syvältä peräisin olevalla kylmällä vedellä. Tällaisen rannikkokumpuamisen yhteydessä syvävesi nostaa mukanaan ravinteita pintaan. Kuvasta näemme, miten kolme kylmän veden keskittymää on muodostunut Ruotsin kaakkoisrannikolle lounaistuulen vaikutuksesta.

# 4. ITÄMEREN HYDROGRAFIA; POIKKILEIKKAUS

Itämeren vesi on kesäisin kerrostunutta. Nämä kuvat esittävät vesipatsaan kerrostuneen rakenteen. Termokliini, lämpötilan nopean vaihettumisen vyöhyke, muodostuu 10–20 metrin syvyyteen. Termokliini estää kahden vesimassan sekoittumisen: yläpuoleisen lämpimän ja kiertävän kesäveden sekä alapuoleisen kylmän talviveden, joka ei kierrä. Syksyisin pintaveden jäähtyessä termokliini häviää ja vesimassat sekoittuvat keskenään. Perämerellä vesi sekoittuu pohjaa myöten, mutta Varsinaisella Itämerellä vain pysyvään halokliiniin (katso seuraava kalvo) saakka.

Myös suolapitoisuus vaihtelee vesipatsaan eri

osissa. Tämä johtuu siitä, että vesi muuttuu raskaammaksi suolapitoisuuden kasvaessa ja lämpötilan laskiessa. Pysyvä halokliini,suolapitoisuuden nopean vaihettumisen vyöhyke, esiintyy Varsinaisella Itämerellä 70–80 metrin syvyydessä. Vesipatsaassa tapahtuva syyskierto rajoittuu halokliiniin. Perämerellä ei pysyvää halokliinia esiinny, sillä suolapitoisuus ei muutu paljoa siirryttäessä pinnasta pohjaan.

Happipitoisuus on pysyvän halokliinin alapuolella hyvin alhainen. Tämä johtuu kahdesta syystä. Ensinnäkin, syvään veteen ei ole sekoittunut happea sen jälkeen kun tämä vesimassa saapui Pohjanmereltä ja laskeutui Tanskan salmien jälkeen ulos-virtaavan vähempisuolaisen veden alle. Toiseksi, kun syvään veteen vajoava eloperäinen aines hajotetaan, kuluu happea. 120–150 metrin syvyydessä oleva suolainen vesi on paikalleen pysähtynyttä, siitä on happi loppunut ja tilalle on muodostunut rikkivetyä (stagnaatiotila). Tämä vesi uusiutuu 15–20 vuoden välein, kun Pohjanmeren suolaista ja raskasta vettä virtaa runsaasti Tanskan salmien kautta Itämereen.

Perämerellä happipitoisuus laskee vähitellen siirryttäessä syvemmälle, mutta säilyy melko korkealla tasolla aina pohjaa myöten. Perämerellä ei ole pysyvää halokliinia, joten vesi kiertää vuosittain koko vesipatsaassa.

# 5. ITÄMEREN HYDROGRAFIA; STAGNAATIO

Varsinaisella Itämerellä esiintyy pysyvä suolaisuuden harppauskerros (halokliini) 70–80 metrin syvyydessä (katso edellisiä kalvoja). Halokliinin alapuolella veden suolapitoisuus on korkea ja tästä syystä vesi on raskasta. Edes syksyinen vedenkierto ei pysty rikkomaan halokliinia ja saamaan halokliinin alapuolella olevaa vettä liikkeeseen.

Heterotrofiset (toisenvaraiset) eliöt, jotka hajottavat vajoavaa eloperäistä ainesta, kuluttavat happea; veden happipitoisuus halokliinin alapuolella laskee vähitellen ja putoaa lopulta nollalukemiin. Tässä vaiheessa muodostuu myrkyllistä rikkivetyä ja kaikki korkeammat eliöt katoavat. Tätä hydrografista tilaa kutsutaan stagnaatioksi.

Ainoastaan suuri suolaisen veden pulssi Tanskan salmien kautta Pohjanmereltä Itämereen voi keskeyttää stagnaatio-tilan. Kuva A. esittää säännöllisen vuosittaisen sisäänvirtauksen. Näin pienellä sisäänvirtaavalla vesimäärällä ei ole vaikutusta syvänteiden vesiin. Kuvassa B näemme, kuinka ajoittaiset suuremmat suolaisen veden sisäänvirtaukset korvaavat Bornholmin syvänteen veden, mutta eivät vaikuta Gotlanninsyvänteen veteen.

Vain satunnaisesti, keskimäärin 15 vuoden välein,virtaa Itämereen niin suuria suolaisia vesimassoja, että ne pystyvät tunkeutumaan Gotlannin syvänteeseen (kuva C). Tällöin samansuuruinen vesimassa hapetonta mutta ravinnerikasta "seisonutta" syvännevettä työntyy pois uuden vesimassan tieltä. Pintaveden suolapitoisuus kohoaa väliaikaisesti koko Itämeren alueella, rehevöityminen lisääntyy ja monien kasvien ja eläinten levinneisyysalue muuttuu niiden suolapitoisuusvaatimusten mukaisesti. Esimerkiksi turska voi nyt kutea pohjoisempana ja useat mereiset planktoneliöt laajentavat levinneisyyttään Itämeren alueella.

# 6. ELÄINTEN JA KASVIEN LEVINNEISYYS JA RUNSAUS ITÄMERESSÄ

Lajilukumäärä on Itämeressä huomattavan paljon alhaisempi kuin muissa merissä, esimerkiksi Pohjanmeressä. Tämä johtuu kolmesta syystä. Ensinnäkin, sekä mereisten että makean veden lajien on fysiologisesti vaikea elää Itämeren alhaisissa lämpötiloissa ja alhaisessa suolapitoisuudessa. Suolapitoisuuden ja lämpötilan aiheuttama stressi vaikuttaa paitsi lajien levinneisyyteen myös niiden ruumiinkokoon, joka on monella lajilla Itämeressä pienempi kuin muualla. Mereisiä esimerkkejä: sinisimpukka *Mytilus trossulus*, jouhilevä *Chorda filum*, makean veden esimerkkejä: limakotilo *Lymnaea stagnalis*

Toinen syy, miksi Itämeren lajilukumäärä on niin alhainen, on Itämeren nuori ikä. Itämeren alue oli mannerjään peitossa vielä 12 000 vuotta sitten. Jääkauden jälkeen vesialtaan muoto ja suolapitoisuus ovat muuttuneet useita kertoja. On arvioitu, että Itämeri on ollut nykyisessä muodossaan noin 6 000 vuotta. Vain harvat lajit ovat tähän mennessä ehtineet kehittyä todellisiksi murtovesilajeiksi ja vain rajoitetulla määrällä mereisiä lajeja on ollut tarpeeksi aikaa kulkeutua Itämereen. Toisaalta Itämeren alueen historia on jättänyt jälkeensä jäännelajeja (reliktejä), lajeja, jotka ovat peräisin Pohjoiselta jäämereltä ja jääkauden aikaisista järvistä.

Itämeressä yleiset *Monoporeia* ja *Pontoporeia* (valkokatkat), *Saduria* (kilkki) ja *Mysis* (halkoisjalkainen) ovat tyypillisiä jäänne-eläimiä (glasiaalireliktejä). Eräät lajit, kuten merirokko *Balanus improvisus* ja hietasimpukka *Mya arenaria* ovat saapuneet Itämereen vasta viime vuosisadan aikana, ja lisää lajeja on edelleen odotettavissa. Kolmas syy Itämeren alhaiseen lajilukumäärään on vuorovesirantojen ja suurten syvyyksien puuttuminen. Tämä rajoittaa Itämeren erilaisten elinpaikkojen ja edelleen lajien määrää muihin meriin verrattuna.

Lajilukumäärä pienenee asteittain siirryttäessä Ruotsin länsirannikolta Perämerelle ja Suomenlahden pohjukkaan. Ruotsin länsirannikolla elää noin 1 500 makroskooppista mereistä eläinlajia, eteläisellä Itämerellä 150, Ahvenanmaan saaristossa 52 ja Perämerellä vain 2–3. Eräät makean veden lajit, etenkin eräät kalat ja vesikasvit, esiintyvät koko Itämeren alueella. Kuitenkaan yksikään Suomen järvien 21:stä simpukkalajista ei esiinny Itämeressä, missä suolapitoisuus ylittää 3 ‰ rajan, ja vain seitsemän 35:stä makean veden kotilolajista esiintyy yli 3 ‰ suolapitoisuudessa. Kuvassa näemme joidenkin yleisten mereisten (sininen viiva) ja makean veden (punainen viiva) lajien levinneisyysrajat.

Pohjaeläinten biomassa laskee vähitellen siirryttäessä Pohjanmereltä Perämeren pohjukkaan. Korkeat biomassa-arvot johtuvat ennen kaikkea simpukoiden runsaudesta. Mikroskooppisten pohjaeläinten (meiofauna) biomassa ei vaihtele samassa määrin kuin makroskooppisten pohjaeläinten (makrofauna), ja todellisuudessa mikroskooppiset pohjaeläimet ovat suhteellisesti runsaimmillaan Itämeren pohjoisimmissa ja itäisimmissä osissa.

| | makrofauna/ meiofauna suhde | pohjaeläinten biomassan paino ($g/m^2$) |
|---|---|---|
| Perämeri | 1:2,5 | 1–2 |
| Pohjanlahti | 10:1 | 10–25 |
| Varsinaisen Itämeren pohjoisosa | 20:1 | 50–150 |
| Tanskan salmet | 30:1 | 200–700 |

Tällä vuosikymmenellä on Suomen rannikolle levinnyt valtamerestä sekä jokireittejä myöten neljä ns. **uudislajia** (neoimmigrantti). Vaeltajasimpukka (*Dreissena*) vaatii kalkkia ja esiintyy Suomenlahden itäisimmissä ja rehevöityneimmissä osissa. Makeasta vedestä peräisin on myös petovesikirppu (*Cercopagis*), jota on esiintynyt massoittain itäisellä Suomenlahdella, mutta myös Riianlahdessa. Amerikan sukasjalkainen (*Marenzelleria*) löydettiin Itämerestä vuonna 1985, ja 90-luvun alussa se oli levinnyt jo Porin korkeudelle. Samoin kaspianmysidi (*Hemimysis*) löydettiin rannikoltamme vasta 90-luvun alussa, ja se näyttää runsastuneen merkittävästi. Tällaiset havainnot kertovat Itämeren ekosysteemin vähittäisistä muutoksista.

# 7. ITÄMEREN EKOSYSTEEMIT: PIIRTEITÄ JA VUOROVAIKUTUKSIA

**Ekosysteemi** rakentuu eliöyhteisöistä ja niiden kemiallisesta ja fysikaalisesta ympäristöstä. Itämerta voidaan pitää yhtenä suurena murtovesiekosysteeminä, missä Atlantin valtameren suolainen vesi sekoittuu 250 joen tuomaan makeaan veteen. Itämeri voidaan jakaa myös useisiin pienempiin ekosysteemeihin, kuten rannikon, avomeren ja syvien pohjien ekosysteemeihin.

Energia virtaa ekosysteemin läpi tuottajilta kuluttajille ja edelleen hajottajille. Näin muodostuu **ravintoverkko**. **Tuottajat** (autotrofiset kasvit) käyttävät auringon energiaa tuottaessaan eloperäistä (orgaanista) ainesta vedestä, hiilidioksidista ja ravinteista. Korkeammat vesikasvit ja makroskooppiset levät ovat rantavyöhykkeen tuottajia kun taas keijuston (planktonin) yksisoluiset levät vastaavat avomeren perustuotannosta. **Toisen asteen tuottajat** (bakteerit) muuntavat liuenneen eloperäisen aineksen kiinteäksi eloperäiseksi ainekseksi. Eläimet, joita kutsutaan kasvinsyöjiksi (herbivoreiksi) tai laiduntajiksi, syövät tuottajia. Ne ovat kuluttajia. Korkeamman asteen kuluttajat, joita nimitetään pedoiksi tai lihansyöjiksi (karnivoreiksi) syövät toisia eläimiä. Bakteereita ja muita eliöitä (organismeja), jotka käyttävät ravinnokseen kuolleita eläimiä ja kasveja (detritusta), kutsutaan **hajottajiksi**. Ne palauttavat ravinteita hajotustoiminnallaan mineraalimuotoon valmiiksi perustuottajien uudelleen käytettäväksi.

Itämeren **rannikkoekosysteemissä** (fytaali) tapahtuu voimakasta perustuotantoa, mikä johtuu osittain mantereelta valuvista ravinteista, osittain rannikkoalueen mataluudesta. Suurikokoiset makroskooppiset kasvit hallitsevat matalia rannikkoalueita. Lajikoostumus riippuu suuressa määrin pohjan laadusta (kovat pohjat, pehmeät sedimenttipohjat jne.). Rannikkoekosysteemi toimii useiden kalojen ja selkärangattomien eläinten kutualueena ja poikasten kasvuympäristönä.

**Ulapan ekosysteemillä** (pelagiaali) on tärkeä merkitys Itämeren perustuotannossa. Ravintoverkossa on kaksi reittiä perustuottajista (mikroskooppinen leväplankton) korkeimman asteen petoihin (esim. lohi, hylkeet). Energia ja materia voivat kulkea ravintoverkon läpi joko eläinplanktonin ja vapaan veden kalojen (silakka ja kilohaili) tai mikrobisilmukan kautta. Planktonkukinnat ovat tyypillisiä avomeren ekosysteemille. Useimmat Itämeren kalalajit ovat riippuvaisia avomeren ekosysteemistä.

**Syvien pehmeiden pohjien ekosysteemi** (benthos) hallitsee valtaosaa Itämeren pohjan pinta-alasta. Rannikko- ja avomeren ekosysteemistä peräisin oleva kuollut eloperäinen aines kerääntyy (sedimentoituu) syville pehmeille pohjille, missä hajottajat käyttävät sen ravinnokseen ja samalla hajottavat sen. Pohjaeläinyhteisöt muodostuvat pääosiltaan harvoista avainlajeista. Itämeren liejusimpukka (*Macoma balthica*) on tärkein pohjaeläinyhteisön laji useimmissa Itämeren osissa, mutta Perämereltä ja Suomenlahden pohjukasta simpukat puuttuvat ja siellä meiofaunalla on tärkeä merkitys. Useimmat syvät pehmeät pohjat sijaitsevat 50–150 metrin syvyydessä. Yli 80 metrin syvyydessä Suomenlahdella ja Varsinaisella Itämerellä on laajoja pohja-alueita vailla elämää, mikä johtuu halokliinin alapuolella olevista hapettomista olosuhteista.

Itämeri on vuorovaikutuksessa sitä ympäröivän maan ja ilman kanssa. Itämereen kulkeutuu ravinteita sekä maalta että ilmasta. Itämerellä on runsas linnusto, joista suurin osa on muuttolintuja. Vesilinnuista merkittävin on haahka, joka syö pääasiassa sinisimpukkaa. Minkki ja piisami ovat maaeläimiä, jotka saavat ravintoa Itämerestä. Monilla hyönteistoukilla, kuten surviaissääskillä, on tärkeä merkitys Itämeren pohjaeläinyhteisöissä.

# 8. ITÄMEREN RANNIKKOEKOSYSTEEMIT

Itämeren rannikko eroaa eniten valtamerten rannikosta siitä syystä, että Itämerestä puuttuu vuorovesivyöhyke. Sen sijaan epäsäännölliset, tuulten aiheuttamat vedenpinnan korkeudenvaihtelut saattavat ylittää Perämerellä jopa 2 metriä.

Meren rannan poikkileikkaus (profiili) voidaan jakaa neljään vyöhykkeeseen. **Litoraali** on ylimmän ja alimman vedenkorkeuden välillä oleva vyöhyke. Se koostuu geolitoraalista ja hydrolitoraalista. **Geolitoraali** on vedenpinnan keskikorkeuden yläpuolinen osa, **hydrolitoraali** sen alapuolinen osa.

Vedenalaiset vyöhykkeet ovat **sublitoraali** ja **profundaali**. Profundaalissa ei ole enää riittävästi valoa kasvillisuudelle ja pohjaa peittää vajonnut kuollut eloperäinen aines (sedimentoitunut detritus). Profundaalin avainlajit ovat pohjaeläimiä ja mikrobeja. Kasvillisuusvyöhykkeestä käytetään myös termiä **fytaali**.

Eri rantatyypeillä on niille tyypillinen kasvi- ja eläinlajisto. Lajistot koostuvat tosin osittain samoista lajeista ja on tavallista, että jopa yksittäisen yksilön elinpiiri voi ulottua yli rantatyyppirajojen. Rantaekosysteemit ovat paljon epävakaampia kuin avomeren tai syvien pehmeiden pohjien ekosysteemit, mikä johtuu muun muassa suurista lämpötilan vaihteluista. Rantavyöhykkeen eliöyhteisöille on lisäksi luonteenomaista vuodenaikaisvaihtelu.

*Seuraavissa kappaleissa suluissa esiintyvät numerot jaksojaimet viittaavat oheiseen kuvaan.*

Ainoat pehmeillä pohjilla elävät levät ovat mikroleviä. Makrolevät eivät pysty kiinnittymään pehmeälle pohjalle, sillä niillä ei ole juuristoa. Hiekkapohjilla (A) esiintyvä putkilokasvi, meriajokas (*Zostera marina*) (1) muodostaa laajoja vedenalaisia ruohostoja. Piikkikampeloita ja kampeloita (2), tokkoja ja hietakatkarapuja (3) elää matalilla hiekkapohjilla. Sydänsimpukka (4) ja hietasimpukka (5) kaivautuvat hiekkaan ja hankkivat ravintoa ja puhdasta vettä hiekan pinnalta hengitysputkensa avulla. Kirjava, usean senttimetrin mittainen merisukasjalkainen, esiintyy runsaana hiekassa. Vesirajassa lukuisat kotilot (6) syövät hiekalla kasvavia mikroleviä. Kotilot ovat kahlaajalintujen (7) ravintoa.

Pehmeä sedimenttipohja (B) rajoittuu toisinaan rannan myötäiseen järviruokokasvustoon (8), mikä tarjoaa suotuisan elinympäristön monille kaloille, hyönteisille, niiden nuoruusvaiheille sekä useille muille selkärangattomille niin vedenpinnan alakuin yläpuolellakin. Pehmeällä sedimentillä kasvaa järviruo'on lisäksi muitakin putkilokasveja ja ne houkuttelevat alueelle runsaasti kaloja.

Ahven (9), piikkikalat ja tokot ovat yleisiä matalassa vedessä, turska (10) ja simput (11) hieman syvemmällä. *Corophium*-liejukatka on tyypillinen äyriäinen pehmeiden sedimenttipohjien matalissa osissa kun taas suurikokoinen kilkki (12) niiden syvemmissä osissa. Liejusimpukka (13), joka elää pohjasedimenttiin kaivautuneena, on yleinen sekä matalalla että syvällä, kun taas valkokatka (14), liejusukasjalkainen ja makkaramato ovat tyypillisiä syvemmällä.

Kivikkorannoilla (C) elää runsaasti *Hydrobia*-kotiloita (15), jotka syövät mikroleviä kivien pinnalta. Joskus myrsky lennättää irronnutta rakkolevää kuivalle maalle (D). Mädäntynyt levämassa ravitsee muuten köyhää maaperää, jonne saattaa vähitellen juurtua esimerkiksi tervaleppä. Tervaleppä selviää ulkosaariston ankarassa ilmastossa.

Kalliolammikot (E) ovat tyypillisiä monille Itämeren saarille. Koska ne ovat kooltaan pieniä, ne ovat epävakaita ympäristöjä fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien vaihdellessa voimakkaasti. Veden suolapitoisuus ja lämpötila kohoavat nopeasti kuivalla ja kuumalla ilmalla, kun taas voimakkaiden sateiden tai myrskyjen aikana tulee kalliolammikoihin uutta vettä. Kalliolammikoille tyypillisiä eläimiä ovat mm. vesikirput ja lukuisat hyönteiset sekä niiden nuoruusvaiheet (surviaissääsken toukat, pikkumalluaiset, vesimittarit).

Kalliorannan (F) geolitoraalivyöhykkeen musta ja liukas pinta on joko *Verrucaria*-jäkälän tai *Calothrix*-si-

nilevän muodostamaa kasvustoa. Hydrolitoraalivyöhykkeen rihmaleväkasvuston tärkeimmät lajit ovat vihreä ahdinparta (*Cladophora*) sekä *Pilayella* ruskolevä. Lajit ovat lyhytikäisiä ja muuttuvat kesän mittaan ja vuodenajasta toiseen. Rihmalevät ja niiden pinnalla kasvavat mikrolevät ovat monien selkärangattomien ja niiden nuoruusvaiheiden ravinnonlähde. Äyriäiset kuten leväsiirat (18), leväkatkat (19) ja halkoisjalkaiset (mysidit) (20) ovat tyypillisiä rihmalevävyöhykkeen selkärangattomia. Talvella jää irrottaa rihmalevät hydrolitoraalivyöhykkeestä ja keväällä uudet levät kasvavat tilalle.

Monivuotinen rakkolevä (21) kasvaa sublitoraalin yläosassa. Se on monien selkärangattomien ja kalojen (hauki (22), ahven (9), kivinilkka) suoja ja ravinnonlähde. Rakkolevävyöhykkeen alapuolella kasvaa punaleviä (23). Ne pystyvät käyttämään syvälle tunkeutuvaa vihreää valoa ja tämän vuoksi selviytymään sublitoraalivyöhykkeen syvemmissä ja pimeämmissä osissa. Eläinlajisto on samankaltainen kuin rakkolevävyöhykkeessä, joskin sinisimpukka on syvemmällä yleisempi.

Kalliorannat voivat olla joko jyrkkiä (G) tai loivia (H), ja vähemmän (suojaisa) tai enemmän (eksponoitu) tuulten ja aaltojen vaikutuspiirissä. Rihmalevät (17), litteäliuskaiset rakkolevät(21), merirokot (25) ja sinisimpukat hallitsevat jyrkkiä, eksponoituja kalliorantoja. Joitain kitukasvuisia mäntyjä ja katajia (26) esiintyy eksponoiduilla kallioilla muodostaen kauniita kääpiöityneitä kasvumuotoja. Minkki (27) pyydystää kalaa kalliorannalta ja haahka (28) käyttää ravinnokseen sinisimpukoita.

Rakkolevä ei esiinny Perämerellä. Siellä kalliorantojen eliöyhteisö on yksinkertainen, kotilot hallitsevat eläinlajistoa. Suuret *Laminaria*-ruskolevät (kelppi) ilmaantuvat Itämeren eteläosissa rakkolevien alapuolella.

# 9. AVOMEREN EKOSYSTEEMI; VUOSIRYTMI

Talvella vedessä on paljon ravinteita, mutta valon puute rajoittaa levien kasvua. Planktoneliöiden talvehtivia lepomunia esiintyy etenkin pohjalla. Keväällä, kun jää sulaa ja valon määrä kasvaa, planktonit alkavat lisääntyä huimaa vauhtia: levät kukkivat, vesi muuttuu ruskeaksi ja ravinteet kuluvat loppuun. Kevätkukinnan aikana kasviplankton muodostuu ensi sijassa piilevistä ja dinoflagellaateista, kun taas loppukesällä sinilevät (syanobakteerit) ovat runsaimmillaan.

Kasvinsyöjäplankton (herbivorit) ja hieman myöhemmin petoeläinplankton (karnivorit) runsastuu, koska vedessä on niille paljon ravintoa. Ravinteiden ehtyessä leväkukinta kuitenkin loppuu ja kuollut levämassa vajoaa pohjalle (sedimentaatio).

Levien vähenemistä seuraa eläinplanktonin väheneminen. Kesän alussa vesi on jälleen kerran kirkasta. Vesipatsaan yläosa on lämmennyt ja veteen muodostuu termokliini. Termokliini on vesikerros, joka jakaa vesipatsaan lämpimään pintaveteen ja kylmään syvempään veteen. Vesi ja siinä oleva levästö kiertää vain termokliinin yläpuolella. Satunnainen vedenkumpuaminen rikkoo veden kerrostuneisuuden tuoden kylmää, ravinnerikasta vettä pintaan. Mikäli kumpuamista seuraa lämmin ja tyyni ajanjakso, alkavat sinilevät loppukesällä kukkia ja avomeren pinnalle ilmestyy kelluvista levistä muodostuvia lauttoja.

Samoin kuin kevään leväkukintaa, myös loppukesän sinileväkukintaa seuraa eläinplanktonin runsastuminen ja lopulta sedimentaation voimistuminen. Syksyllä termokliini häviää ja vesipatsas sekoittuu pinnasta pohjaa myöten. Sekoittumisen aikaansaa pintaveden jäähtyminen ja voimakkaat syysmyrskyt. Ravinteita nousee runsaasti pintavesiin, mutta leväkeijusto on siirtymässä talvilevolle odottamaan kevään parempia valaistusolosuhteita.

# 10. AVOMEREN EKOSYSTEEMI; RAKENNE

Avomeren ekosysteemi on monimutkainen fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten tekijöiden vuorovaikutusverkosto. Vasta 1980-luvulla alkoivat tutkijat hahmottaa tämän ekosysteemin toimintaperiaatteita. On käynyt ilmi, että perustuotannossa syntynyt materia ja energia kulkeutuu korkeimman asteen kuluttajille (petoäyriäisille ja kaloille) kahta reittiä pitkin. Reittejä kutsutaan laidunnusketjuksi ja mikrobisilmukaksi.

**Laidunnusketjussa** herbivorieläinplankterit käyttävät ravinnokseen perustuotantoa. Ketjun pituus kasvinsyöjistä korkeimman asteen kuluttajiin vaihtelee. Lyhyimmässä ketjussa korkeimman asteen kuluttajat, kuten suuret kalat, syövät kasvinsyöjiä. Kasvinsyöjät voivat olla alkuna myös pitkälle ketjulle, jossa kooltaan yhä suuremmat kuluttajat siirtävät energiaa ja ainesta eteenpäin ja lopulta korkeimman asteen kuluttajille. Ravinteet palautuvat takaisin planktonlevien käyttöön kuolleiden levien ja eläinten sedimentaation ja pohjalla tapahtuvan hajotustoiminnan ansiosta.

**Mikrobisilmukka** oli aiemmin heikosti tunnettu ja sen merkitystä väheksyttiin. Mikrobisilmukka alkaa kasviplanktonin ja muiden eliöiden erittämästä liuenneesta eloperäisestä aineksesta (DOM, dis-

solved organic matter). DOM muodostaa bakteerien ravinnonlähteen. Bakteerit yhdessä yhteyttävien sinilevien (syanobakteerien) kanssa ovat edelleen pienten flagellaattien (nanoflagellaattien) ravintoa. Flagellaateista ketju jatkuu siimaeliöiden välityksellä eläinplanktoniin ja edelleen korkeimman asteen kuluttajiin. Mikrobisilmukassa ravinteet palautuvat tehokkaasti takaisin perustuottajille bakteerien hajotustoiminnan ansiosta. Mikrobisilmukka on tehokkain lämpimässä vedessä termokliinin yläpuolella.

# 11. AVOMEREN EKOSYSTEEMI; MITTAKAAVOJA

Meidän on vaikea ymmärtää elävien eliöiden mittasuhteita etenkin sen vuoksi, että osaa niistä ei voi nähdä paljain silmin. Mittasuhteita on helpompi ymmärtää, jos vertaamme eliöiden mittasuhteita ihmiselle tuttuihin etäisyyksiin. Jos bakteerin pituutta kuvataan kävelymatkalla lähimpään kauppaan tai naapuriin, niin silloin harmaahylkeen pituutta vastaisi matka maasta kuuhun!

Kysymys mittasuhteista ei ole tärkeä ainoastaan eliöiden kokoa verrattaessa, vaan myös niiden **käyttämän tilan** suhteen. Vaikka vesipisarassa on miljoonia bakteereita, eivät bakteerit elä ahtautuneena (kuin silakat purkissa), vaan yksilöiden välillä on paljon tilaa. On hyvä kuitenkin muistaa, ettei bakteerin ja esimerkiksi silakan tilantarve ole kuitenkaan suhteessa niiden kokoon, vaan kala tarvitsee suhteessa paljon enemmän tilaa kuin bakteeri liikkumiseen ja ravinnon hankintaan. Myös eliöiden **elinkaaren** pituudessa on mittasuhteilla tärkeä merkitys. Planktonlevän elinikä voi olla vain muutama tunti kun taas harmaahylje saavuttaa sukukypsyyden vasta usean vuoden ikäisenä ja saattaa elää useita vuosikymmeniä.

# 12. REHEVÖITYMINEN JA SEN SEURAUKSET

Kun suuria määriä kasvien (siis myös levien) kasvuun vaikuttavia ravinteita joutuu vesiympäristöön, vesi rehevöityy. Itämeressä tällaisia ravinteita ovat fosfori ja typpi eri muodoissaan. Suuri osa rehevöitymisestä on ihmistoiminnan tulosta. Vesi rehevöityy myös silloin, kun suolaista vettä virtaa Tanskan salmista Itämereen, laskeutuu syvänteisiin ja samalla työntää ravinnerikasta syvännevettä pintaan. Tätä kutsutaan Itämeren sisäiseksi kuormitukseksi.

Rehevöitymisellä on sekä positiivisia että negatiivisia seurauksia. Rehevöitymisen positiivisista vaikutuksista voimme mainita eläinplanktonin, pohjaeläinten ja kalojen runsastumisen halokliinin yläpuolella. Mutta kun rehevöityminen jatkuu, ne-

gatiiviset vaikutukset alkavat hallita tilannetta. Pikkukalojen ja äyriäisten elinpaikkana toimivan rakkolevän määrä vähenee, sillä levälle elintärkeän valon läpäisevyys vedessä on heikentynyt ja rakkolevän päälle kasvaneet levät ja pikkueläimet ovat runsastuneet haitallisen paljon. Sedimentaatio kasvaa, mikä edelleen kiihdyttää hajottajaeliöiden hapenkulutusta halokliinin alapuolella. Kun happi loppuu, muodostuu tilalle rikkivetyä ja pohjaeläinten ja kalojen elinolosuhteet käyvät todella huonoiksi. Kun elämä pohjalta katoaa, pohjasedimentin sekoittaminen (bioturbaatio) loppuu ja syvien pohjien rakenne muuttuu.

# 13. REHEVÖITYMISEN KEHITTYMINEN ITÄMERESSÄ

Sedimenttianalyysit, jotka kertovat Itämeren historiasta, ovat osoittaneet, että stagnaatio (syvänneveden seisahtuneisuus) happikatoineen ja rikkivetyineen on luonnollinen ilmiö Itämeren syvänteissä. Tällä hetkellä syvien pohjien pinta-alasta noin 100 000 $km^2$ on hapetonta. Vaikka luonnolliset fysikaaliset tekijät ovatkin päävastuussa hapen puutteesta, on ilmiötä edesauttamassa eloperäisen aineksen laskeutuminen pohjaan (sedimentaatio). Sedimentaatio on lisääntynyt Itämeressä tällä vuosisadalla 60 %.

Itämereen joutuvan fosforin määrä on noin kahdeksankertaistunut ja typen määrä nelinkertaistunut tämän vuosisadan alun tilanteesta. Ravinteiden joutuminen Itämereen kiihtyi huomattavasti toisen maailmansodan jälkeen ja saavutti huippunsa 60- ja 70- luvuilla. Joidenkin Itämeren maiden osalta typpipäästöjen kasvu on hidastunut ja fosforipäästöt jopa vähentyneet viime vuosikymmenenä. Fosforipäästöjen väheneminen on hidastanut rehevöitymistä kuitenkin vain Perämerellä, missä fosfori on tärkein kasvua rajoittava ravinne.

Yhä lisääntyvän rehevöitymisen biologisia seurauksia on vaikeampi havaita, sillä luonnossa esiintyy ajallista ja paikallista vaihtelua, mikä aiheuttaa näytteenotto-ongelmia. Eräät muutokset voidaan kuitenkin selvästi osoittaa. Kasvi- ja eläinyhteisöjen lajikoostumus on muuttunut. Nämä muutokset ovat selkeimmin nähtävissä typpeä sitovien syanobakteerien kohdalla.

Kasviplanktonin biomassan on arvioitu runsastuneen 30–70 % vuosisadan alusta lähtien, kun taas eläinplanktonin on havaittu runsastuneen 50 % pelkästään ajanjaksolla 1951–69. Matalien vesien makroskooppisten pohjaeläinten runsaudet ovat 3–5 -kertaistuneet ajanjaksolla 1920–76, kun taas syvissä vesissä niiden biomassa on vähentynyt. Suuria alueita Itämeren syvistä pohjista on autioitunut pohjaeläinten hävittyä alueelta. Kalojen määrä on moninkertaistunut tällä vuosisadalla, mutta koska kalojen määriin ja biomassoihin vaikuttavat monet muutkin tekijät kuin rehevöityminen, ei kalojen runsauden muutosta tule tulkita ainoastaan rehevöitymisestä johtuvaksi ilmiöksi.

# 14. MISTÄ ITÄMERTA REHEVÖITTÄVÄT RAVINTEET OVAT PERÄISIN?

Ravinteet joutuvat Itämereen ilmasta, maasta, vedestä ja sedimentistä (meren pohjasta). Puolet Itämereen joutuvasta typestä saapuu ilmateitse ja on peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä (liikenne, voimalaitokset, tehtaat) sekä maatalouksista haihtuvasta ammoniakista. Typpikuormitus on voimakkainta Varsinaisella Itämerellä, mikä on lähimpänä tiheästi asuttua ja raskaasti teollistunutta Keski-Eurooppaa.

Vain 10 % fosforista on peräisin ilmasta. Puolet fosforikuormituksesta tulee Itämereen jokia myöten. Suurin osa tästä ylimääräisestä fosforista on peräisin maanviljelyksen ja metsänhoidon liiallisesta lannoitustoiminnasta. Paikallisia ravinnelähteitä, niin kutsuttuja pistekuormittajia, ovat mm. metsäteollisuuden tuotteita käsittelevät laitokset sekä yhdyskunnat (ulosteet, lannoitteet, pesuaineet).

Vaikka pistekuormittajat ovat saaneet paljon huomiota osakseen poliittisissa sopimuksissa, ovat ilman ja jokien kuljettamien ravinteiden hajapäästöt suurimmassa vastuussa Itämeren kokonaisravinnekuormituksesta. Paikallisesti voi pistekuormittajilla olla merkittäväkin vaikutus rannikkoympäristöön. Esimerkiksi kirjolohen kasvatus, jonka rehevöittävä vaikutus koko Itämeren mittakaavassa on pieni, aiheuttaa vakavia paikallisia saariston rehevöitymisongelmia.

# 15. YMPÄRISTÖMYRKYT JA ITÄMERI

Myrkylliset aineet joutuvat Itämereen joko suoraan teollisuuslaitosten ja yhdyskuntien päästöinä (pistekuormitus) tai hajakuormituksena; koko valuma-alueelta valuvien jokivesien mukana tai muualta kulkeutuvien ilmamassojen laskeumina. Teollisuusprosessit eivät yksinään aiheuta myrkkypäästöjä, vaan niitä aiheutuu myös raaka-aineiden hankinnassa, energian tuotannossa, kuljetuksessa sekä teollisuustuotteiden käytössä ja hävittämisessä.

Klooratut orgaaniset yhdisteet, jotka muodostavat suurimman osan halogenoiduista orgaanisista yhdisteistä ja joihin mm. DDT, PCB ja dioksiinit kuuluvat, ovat äärimmäisen vaarallisia Itämeren saastuttajia. Nämä yhdisteet ovat luonteeltaan pysyviä, rasvaliukoisia ja myrkyllisiä. Halogenoitujen orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärää ympäristönäytteissä kuvataan AOX-indeksillä, joka kuvaa imeytyvien, orgaanisesti sitoutuneiden halogeenien määrää.

Sellu- ja paperiteollisuus on päävastuussa suurimmasta osuudesta Itämeren klooratuista orgaanisista saasteista. Suomi ja Ruotsi ovat tärkeitä sellun ja paperin tuottajia, ja näin myös AOX-arvot ovat korkeita Perämeren alueella. Viime aikoina tapahtunut menetelmien kehittyminen ja valkaisemattoman paperin käyttö ovat laskeneet halogenoitujen orgaanisten myrkkyjen päästöjä merkittävästi. Vaikka päästöt ovat pienenemässä, pohjasedimentteihin kerrostuneet halogenoidut orgaaniset yhdisteet ovat edelleen uhkana Itämeren elävälle luonnolle.

Teollisuuden raskasmetallipäästöt ovat vähentyneet viime vuosikymmeninä. Tästä huolimatta ovat kadmiumin, lyijyn, kuparin ja nikkelin pitoisuudet matalassa Itämeressä yhä Pohjanmeren pitoisuuksia korkeampia ja elohopeapitoisuus Pohjanmeren tasolla. Itämeren elohopean ja kadmiumin pitoisuudet ovat yhä kasvussa hajapäästöjen

ja ilmateitse pitkiäkin matkoja kulkeutuvien saasteiden seurauksena.Seuraavasta taulukosta nähdään, kuinka suuri osuus Itämereen joutuvista raskasmetalleista oli vuonna 1990 peräisin ilmasta.

| % | Zn | Cu | Cd | Pb | Hg |
|---|---|---|---|---|---|
| Perämeri | 60 | 88 | 87 | 95 | 50 |
| Pohjanlahti | 50 | 86 | 85 | 94 | 54 |
| Varsinainen Itämeri | 56 | 36 | 48 | 97 | 50 |
| Beltit | 56 | 50 | 60 | 93 | 40 |

(Lähde: Marine Pollution '90. Action Programme, Swedish Environmental Protection Agency, Sweden 1990)

Itämeri on hyvin herkkä öljysaasteelle, sillä vesi on kylmää ja pitkään jään peitossa. Öljyä joutuu Itämereen pääasiassa maalta käsin pienistä jatkuvista vuodoista sekä paikallisesti onnettomuuksissa tapahtuvista öljypäästöistä. Öljyonnettomuuksilla on vakavia vaikutuksia linnustoon ja rantaeliöyhteisöihin, kun taas pienemmät jatkuvat päästöt uhkaavat koko Itämeren ekosysteemiä, etenkin sen biologisia yhteisöjä ja sedimenttejä. Lisää tietoa tarvitaan etenkin pohjaan laskeutuvien ja hiukkasiin sitoutuvien erittäin myrkyllisten PAH-yhdisteiden (petroleum hydrocarbons) pitoisuuksista.

# 16. YMPÄRISTÖMYRKKYJEN VAIKUTUKSET LUONTOON

Ympäristömyrkkyjen vaikutuksia elävään luontoon voidaan seurata monella tasolla – tutkimalla soluja, elimiä, yksilöitä, populaatioita, yhteisöjä ja ekosysteemejä. Myrkyn vaikutukseen voivat vaikuttaa eri tekijät (kuten kasvuympäristö, lämpötila, happitilanne, vuodenaika tai eliön kehitysvaihe). Itämeressä mereiset eliöt ovat alhaisen suolapitoisuuden ja alhaisten lämpötilojen rasittamia, mikä saattaa lisätä niiden herkkyyttä ympäristömyrkyille.

Hyvä esimerkki ympäristömyrkyn suorasta vaikutuksesta eliöön on sellua valkaisevan tehtaan läheisyydessä eläneiden kalojen evien ja luurangon epämuodostuminen. Myrkyn vaikutus voi ilmetä myös epäsuorasti esimerkiksi muutoksena aktiivisuudessa tai elinympäristön valinnassa. Simpukoiden kaivautumisaktiivisuuden muutos ja äyriäisten heikentynyt saalistuskyky ovat kaksi esimerkkiä siitä, miten eliöt reagoivat epäsuorasti kohonneisiin raskasmetallipitoisuuksiin.

Vesikasveja voidaan käyttää raskasmetallien bioindikaattoreina Itämeren matalan veden ekosysteemissä. Vesikasvit pysyvät paikoillaan, ne ottavat ravinteita sedimentistä juurillaan, ne ovat yleisiä, ja ne ovat sopivia tutkimuskohteita sekä luonnossa että laboratoriossa. Kasvien ja niitä ympäröivän veden raskasmetallipitoisuuksien välillä on havaittu olevan positiivinen riippuvuussuhde. Vesikasvit toimivat myös sedimentin ja eläinten välisenä yhdyssiteenä. Teollisuuspäästöjen vähetessä ovat vesikasvit alkaneet vallata takaisin saastuneita ja autioituneita alueita. Nämä kasvit siirtävät sedimentin raskasmetalleja Itämeren matalien vesien ekosysteemien ravintoketjuihin.

Biologiset mittaukset paljastavat useiden eri kemiallisten yhdisteiden yhdessä tuottamia myrkkyvaikutuksia. Valkaistua sulfaattisellua tuottavan tehtaan päästöjen kemikaalit aiheuttavat vakavia häiriöitä esimerkiksi kalojen elintärkeisiin biokemiallisiin ja fysiologisiin toimintoihin. Tyypillisiä aineenvaihdunnallisia muutoksia ovat mm. kiihtynyt entsyymiaktiivisuus, häiriintynyt ionitasapaino sekä muuttuneet veriarvot. Veren EROD-entsyymin aktiviteettia voidaan käyttää herkkänä ja luotettavana myrkkyjen bioindikaattorina luonnonkalapopulaatioissa.

Ympäristömyrkkyjen pitoisuuksia voidaan mitata suoraan elävästä materiaalista käyttämällä eliöiden elimistä otettuja näytteitä, esimerkiksi mittaamalla elohopeapitoisuuksia kalan lihaskudoksesta. Tässä kalvossa näemme silakan lihaksesta mitattuja lyijy- ja elohopeapitoisuuksia vuosina 1979–88. Elohopeapitoisuudet ovat yleisesti ottaen alhaisia Itämeressä paitsi Pohjanlahdella, ja sielläkin ne ovat laskeneet jatkuvasti. Kalojen lyijypitoisuudet vaihtelevat runsaasti niin alueellisesti kuin ajallisestikin, eikä mitään selkeitä suuntauksia ole havaittavissa. Lyijyn korkeimmat pitoisuudet on mitattu Itämeren eteläosista. Lievää laskua on tutkitulla aikaperiodilla havaittavissa, mikä johtunee siirtymisestä lyijyttömään polttoaineeseen.

# 17. ITÄMERI KALASTUSALUEENA

Itämeri on tuottoisa kalastusalue. Silakka, kilohaili ja turska ovat Itämeren taloudellisesti tärkeimpiä kalalajeja. 1980-luvun alussa vuosittaiset eri maiden yhteenlasketut kalasaaliit olivat noin 900 000 tonnia, mutta viime vuosina saaliit ovat pienentyneet 600 000 tonnin vuositasolle. Pienentymiseen ovat vaikuttaneet silakan heikko markkinatilanne sekä pienet turskakannat. Turskakannat ovat jääneet Itämeren alhaisen suolapitoisuusjakson takia alhaiselle tasolle 1980-luvulla.

Itämeren kalastusta säätelee Kansainvälinen Itämeren Kalastuskomissio. Komissio suosittelee vuosittaiset suurimmat sallittavat saaliit tärkeimmille kalalajeille (TAC) ja jakaa kiintiöt eri valtioiden kalastusalueiden kesken Kansainvälisen Merentutkimusneuvoston (ICES) ohjeiden mukaisesti.

Vuonna 1991 Venäjän ja Baltian maiden, Ruotsin sekä Suomen silakkasaaliit olivat Itämeren suurimmat. Kilohailin pyynnissä tärkeimpiä valtioita tai yhteisöjä olivat Venäjä ja Baltian maat, Puola sekä EU, kun taas turskanpyynnin suurimmat saaliit pyysivät EU, Ruotsi ja Puola.

# 18. VESIENSUOJELU JA TEOLLISUUS: MENETELMIÄ

Teollisuuden vesiensuojelun tärkeimpänä tehtävänä on kehittää ja ottaa käyttöön sellaisia tuotantoprosesseja, jotka minimoivat ympäristölle haitalliset vaikutukset – ns. puhdas teknologia. Raaka-aineiden ja kemikaalien valinnassa tulisi suosia aineita, jotka aiheuttavat mahdollisimman vähän ympäristöongelmia prosessin eri vaiheissa. Puhtaaseen teknologiaan kuuluu myös vedenkäytön vähentäminen. Tästä myönteisinä esimerkkeinä voidaan mainita vastavirtahuuhtelutekniikka selluloosan ja pintakäsiteltyjen metalliesineiden pesussa. Puhdasta vettä johdetaan systeemiin prosessin loppupäästä, kun taas väkevöitynyttä, likaantunutta vettä poistetaan prosessin alkupäästä, ja sen jälkeen se puhdistetaan.

Puhdas jäähdytysvesi ja prosessijätevesi tulisi johtaa erillisissä viemäreissä. Runsaasti jäähdytysvettä käyttävän teollisuuden tulisi käyttää suljettua systeemiä, missä kiertävä vesi jäähdytetään uudelleen esimerkiksi jäähdytystorneissa.
Teollisuuden jätevesikuormitusta voidaan edelleen pienentää erilaisten käsittelyprosessien avulla. Valtaosa teollisuusjätevesistä käsitellään biologisesti aktiivilietemenetelmällä, aivan kuten yhdyskuntajätevedetkin. Biologiset jätevesipuhdistamot, joita käytetään sellu- ja paperiteollisuudessa, ovat hyviä esimerkkejä onnistuneista ratkaisuista. Näissä poistetaan jätteen sisältämästä orgaanisten aineiden ($BOD_7$) määrästä 90 prosenttia. Monet myrkylliset aineet, kuten klooratut yhdisteet, hajoavat samanaikaisesti.

# 19. ITÄMEREN SUOJELU: KANSAINVÄLINEN YHTEISTYÖ

Itämeren tila on erittäin huolestuttava. Itämeri on äärimmäisen herkkä pilaantumiselle, sillä se on harvinaisen matala, kylmä ja eristynyt merialue ja sen suuri valumaalue on tiheästi asuttu. Itämeri on myös yksi maailman tutkituimmista merialueista. Ympäristöasiat ilmaantuivat Euroopan diplomaattien esityslistoille 1900-luvun puolivälissä. Ensimmäinen Itämeren alueen suojelusopimus allekirjoitettiin Gdanskissa vuonna 1973; se käsitteli Itämeren kalakantojen säännöstelyä.

Itämeren alueen merellisen ympäristön suojelusopimus (Helsingin sopimus) allekirjoitettiin vuonna 1974. Sopimuksesta huolehtii Helsinki komissio (HELCOM; tai Itämeren merellisen ympäristönsuojelukomissio). Helsingin sopimus astui virallisesti voimaan vuonna 1980, jolloin kaikki silloiset rannikkovaltiot olivat vahvistaneet sopimuksen. Tämä sopimus pyrki "kahlitsemaan" kaikki ne lähteet, jotka saastuttivat Itämerta niin maalta kuin laivoista käsin. Vuoden 1974 sopimus kaikkine liitteineen on edelleen voimassa. Nykyisiä sopimusosapuolia ovat Suomi, Ruotsi, Tanska, Saksa, Puola, Liettua, Viro ja Venäjä. Latvia on toistaiseksi huomioitsijana.

Vuonna 1988 päätettiin kunnianhimoisesti vähentää typen, fosforin, raskasmetallien ja orgaanisten ympäristömyrkkyjen päästöjä puoleen ajanjaksolla 1987–95. Päätös liitettiin vuoden 1990 julkilausumaan, jolla pyritään vauhdittamaan HELCOMin työtä. Itämeren maiden pääministereiden allekirjoittama vuoden 1990 julkilausuma perusti korkean tason erikoisryhmän (HELCOM ad hoc level Task Force) laatimaan "kriisiohjelman" (esim. hankkimaan suojeluohjelmalle tehokkaan rahoituksen).

Kahdeksan rannikkovaltiota allekirjoitti uuden Helsingin sopimuksen vuonna 1992. Tärkein edistysaskel oli, että sopimus tuli käsittämään kaikki merialueet Itämeren alueen rannikkovedet ja sisävedet mukaanlukien. Seuraavat uudet periaatteet lisättiin: saastuttaja maksaa-periaate, paras mahdollinen teknologia, ympäristöystävällisin toimenpide sekä varovaisuusperiaate. Helsingin sopimus on kunnianhimoinen mutta realistinen ja se on kansainvälisesti korkeasti arvostettu.

Mm. seuraavat kansainväliset epäpoliittiset kansalaisjärjestöt toimivat HELCOMin kokouksissa tarkkailijoina:

**CCB** (*Coalition Clean Baltic*) koostuu 20 jäsenjärjestöstä, joita toimii kaikissa Itämeren alueen maissa. CCB pyrkii edistämään Itämeren alueen ympäristön ja luonnon suojelua.

**Greenpeace International** tähtää rauhaan ja ekologiseen tasapainoon maapallolla. Merten saastu-

misen estäminen on yksi Greenpeacen tärkeimmistä työsaroista.

**WWF** (Maailman Luonnonvarain Säätiö) on maailman laajin luonnonsuojelujärjestö. Se on toiminut menestyksekkäästi esimerkiksi Itämeren hylkeiden ja merikotkien suojelussa. UNESCOlla on kansainvälinen Itämerta koskeva ympäristökasvatushanke, Itämeriprojekti.

**Uppsalan yliopisto** toteuttaa laajaa *"The Baltic University"*-ohjelmaa, jota voidaan seurata satelliittivälitteisesti koko Itämeren alueella

# 20. ITÄMEREN TULEVAISUUS

Itämeren luonnonympäristö on uhattuna. Rehevöityminen lisääntyy jatkuvasti, jopa kiihtyvässä määrin. Vaikka tehtaiden ja yhdyskuntien myrkkypäästöt ovat pienenemässä, ilman myrkkysaasteet ovat edelleen vakava ongelma Itämeren alueella.

Itämerellä on sattunut joitakin öljyonnettomuuksia, mutta kuitenkin vakavilta pitkäaikaisilta ympäristövaikutuksilta ollaan vältytty. Emme kuitenkaan voi luottaa hyvään onneen. Öljyonnettomuudet ovat yksi Itämeren luonnon vakavimmista uhkista.

Aiemmin tapahtunut sotateollisuuden jätteiden upottaminen saattaa tulevaisuudessa aiheuttaa vakavia myrkkyongelmia. Maailmanlaajuinen kasvihuoneilmiö on seurausta fossiilisten polttoaineiden käytöstä, jolloin ilmakehään erittyy suuria määriä hiilidioksidia. Kasvihuoneilmiön on arvioitu kohottavan Itämeren lämpötilaa 4–5 asteella seuraavan 100 vuoden aikana. Vaikka tämän myötä Itämeressä pystyisi elämään yhä enemmän lajeja, monet harvinaiset kylmien vesien lajit häviäisivät. Kasvihuoneilmiön myötä on arvioitu myös vedenkorkeuden nousevan, jopa nopeammin kuin maankohoaminen maata paljastaa, joten rantaviiva siirtyisi mantereen suuntaan ja muuttaisi nykyisen suuntauksen.

Itämeren ympäristön huono tila on perintöä aiemmilta teollisuustoiminnoilta, joissa vesi- ja ilmansaasteiden ehkäisyyn ei käytetty mitään tai korkeintaan hyvin puutteellista teknologiaa. Tilanne on monessa Itämeren maassa parantunut, mutta aiemmissa itäblokin valtioissa tilanne on edelleen sietämätön. Näiden valtioiden tilannetta on entisestään vaikeuttamassa ne ongelmat, jotka liittyvät tämänhetkisiin poliittisiin ja taloudellisiin uudistuksiin.

Yhdyskuntajätteiden käsittely on puutteellista useissa Itämeren valuma-alueen osissa. Valuma-alueella elää 80 miljoonaa asukasta ja on arvioitu, että noin 30 miljoonan ihmisen jätevedet päätyvät Itämereen käsittelemättöminä.

Heikosta suunnitelmallisuudestaan (ylilannoitus, vesiensuojelun kannalta huonosti sijaitsevat pellot) johtuen maatalous on paljolti vastuussa Itämeren rehevöitymisestä. Ilmansaasteet ja kasvihuoneilmiö ovat maailmanlaajuisia ongelmia ja tämän vuoksi vastuu niistä jakautuu koko maapallon väestön kesken. Itämeri on hyvin herkkä saasteille, sillä se on matala ja osittain eristynyt; vedenvaihto ympäröivien vesien kanssa on niukkaa.

Asenteiden ja toimintojen pitäisi muuttua niin virallisella kuin yksilötasollakin. Itämeren pelastamista edistävää ammattitaitoa on kartutettava ja sitä tukevaa teknologiaa kehitettävä. Kansainvälinen virallisen tason yhteistyö on kanavoitu pääasiassa HELCOMin (Helsinki komissio) kautta. Vaikka kansainvälisiä sopimuksia on kritisoitu niiden jähmeydestä ja tehottomuudesta, on selvää, että ilman niitä Itämeren tila olisi huomattavan paljon heikompi. Esimerkkinä positiivisista tuloksista voidaan mainita eräiden myrkyllisten aineiden pitoisuuksien laskun Itämeren eliöissä mm. DDT:n käyttökiellon ansiosta.

HELCOMin erikoistyöryhmä (Task Force) perustettiin laatimaan Itämeren suojelun kriisiohjelma. Tämä ohjelma pyrkii kehittämään menetelmiä, joilla Itämeren ympäristön tilaa voitaisiin ratkaisevasti parantaa. Ohjelma käynnistyi vuonna 1993 ja päättyy vuoden 2013 lopulla. Ohjelman on arvioitu maksavan 18 miljardia ECU:a. Ohjelma keskittyy pistekuormittajiin (80 % rahoituksesta), mutta se yrittää ratkaista myös hajakuormitukseen liittyviä ongelmia. Toimintaohjelma on kunnianhimoinen ja taloudellisesti erittäin vaativa. Rahoitukseen osallistuvat pääasiassa neljä kansainvälistä pankkia: Euroopan jälleenrakennus- ja kehityspankki (EIRD), Euroopan investointipankki (EIB), Pohjoismainen investointipankki (NIB) ja Maailmanpankki (WB). G7-valtioilta on pyydetty tukea toimintaohjelman toteuttamiseksi.

Ihmisten mielipiteiden ja käyttäytymisen on muututtava. Käytettävien energianlähteiden ja kulkuvälineiden valinnassa sekä energiankäytössä tulee pyrkiä pienimpään mahdolliseen ympäristön rasitukseen. Kierrätyksen tulee olla osana ihmisten jokapäiväistä elämää ja kemikaalien päivittäisessä käytössä on toimittava vastuullisesti. Kansalaisilla on oikeus vaatia poliitikoilta ympäristöystävällisiä päätöksiä.

**ISBN 951-45-8128-8**

Itämeri-bibliografia: http://otatrip.hut.fi/vtt/baltic/intro.html

## KÄYTETTY KIRJALLISUUS:

**Grimwall, A. et al.** (1991), cited in: Backlund P., Holmbom, B., Leppäkoski, E. Åbo Akademi University (1992): The Baltic Sea Environment, The Baltic University, session 5: Industrial Emissions and Toxic Pollutants, p 18., Fyris-Tryck AB, Uppsala.

**HELCOM** (1993): Second Pollution Load Compilation, PLC-2.

**Jansson, B.-O., Wilmot, W & Wulff, F.** (1984): Coupling the sub-systems – the Baltic Sea as a case study. 549–595 pp. In: Flows of Energy and Materials in Marine Ecosystems, Theory and Practice, 733 pp., Fasham, M.I.R. (ed.). Plenum Publishing Corporation. New York.

**Ministry of Environment, Finland** (1992): Itämeren tila. Tilan arvio vuosien 1985-1988 Helsinki–komission seurantatulosten perusteella. Esite 40. 18 pp.

## OHEISLUKEMISTOA:

**Furman, E.R.** (1992): Saariston luonto. ss. 140. Otava, Keuruu.

**Leithe-Eriksen, R.** (1992): The Baltic. The Seas of Europe. Greenpeace. pp. 144. Collins & Brown Ltd, London.

**Pohjoismaiden neuvosto** (1989): Pohjois-Euroopan meret • Pohjois-Euroopan ympäristö. ss. 247. Nordstedts tryckeri, Tukholma.

**Segerstråle, S. G.** (1957): Baltic Sea. Treatise on Marine Ecology and Paleontology (1) Geol. Soc. America, Memoir 67 (751–800).

**The Baltic University, The Baltic Sea Environment** (1992): Sessions 1–10, Fyris-Tryck AB, Uppsala.

**Voipio. A. & Leinonen, M.** (1984): Itämeri. ss. 180. Kirjayhtymä, Rauma.

**Vuorinen, I.** (1994): Itämeren ympäristön tila. ss. 134. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus, Turku.