

# Typen vaikutus Itämeressä

Toni Silvennoinen

Kandidaatin tutkielma

Kemian Opettajankoulutusyksikkö

Kemian laitos

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Helsingin yliopisto

Palautus pvm. 21.3.2017

Työn ohjaajat:

Maija Aksela

Mika Polamo

## Sisällysluettelo

|                                            |           |
|--------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Sanasto .....</b>                    | <b>1</b>  |
| <b>2. Johdanto .....</b>                   | <b>2</b>  |
| <b>3. Itämeri .....</b>                    | <b>3</b>  |
| 3.1 Itämeren hydrologia.....               | 4         |
| 3.2 Itämeren saliniteetti.....             | 5         |
| 3.3 Itämeren rehevöityminen .....          | 6         |
| <b>4. Typpi.....</b>                       | <b>9</b>  |
| 4.1 Typen olomuodot ja typen kierto.....   | 9         |
| 4.2 Kaasujen liukeneminen nesteeseen ..... | 10        |
| 4.2.1 Henryn laki.....                     | 10        |
| <b>5. Typpi Itämeressä .....</b>           | <b>10</b> |
| 5.1 Typen kiertokulku Itämeressä.....      | 11        |
| 5.2 Itämeri ja ilmastonmuutos.....         | 14        |
| <b>6. Yhteenveto .....</b>                 | <b>15</b> |
| <b>Lähteet .....</b>                       | <b>16</b> |

## 1. Sanasto

Diazotroofinen bakteeri = Pystyy sitomaan ja pelkistämään ilmakehästä veteen liuennutta molekulaarista typpeä

Ekosysteemi = Eliöiden ja niiden ympäristön fysikaalis-kemiallisten (aineiston)? muodostama kokonaisuus

Halokliini = Vedessä olevan suolagradientin harppauskerros, eli kerros jonka jälkeen suolagradientti muuttuu voimakkaasti

Heterotrofinen bakteeri = Toisenvarainen bakteeri. Heterotrofiset bakteerit hankkivat energiansa joko hajottamalla orgaanista ainesta tai sitomalla liuenneita yhdisteitä vesimassasta

Stagnaatio = Veden seisovuus

Suolapulssi = Voimakas suolaisen ja hapekkaan veden virtaus

Termokliini = Vedessä olevan lämpötilan harppauskerros, eli kerros jonka jälkeen lämpötila muuttuu voimakkaasti

Vesipatsas = Vedessä mitatun kuvitteellisen patsaan korkeus

## 2. Johdanto

Itämeri on nuori meri, noin 15 000 vuotta sitten mannerjään eteläreuna perääntyi meren nykyisen etelärannikon kohdalle. Itämeren lopullinen nykymuoto muovautui noin 2000 vuotta sitten Fennoskandian kilven kohotessa ja suolagradientin määrän laskiessa. Itämeri on murtovesialue, veden suolapitoisuus on paljon pienempi kuin valtameren veden, mutta veden suolapitoisuus on järviveteen verrattuna on paljon suurempi, tämä seikka tekee tästä merestä ainutkertaisen maailmassa. Itämeri on myös erittäin hauras ja haavoittuvainen, meriliikenne ja ympäristömyrkyt vahingoittavat meren kantokykyä entisestään ja aiheuttavat sille tarpeetonta haittaa.<sup>1</sup>

Typen vaikutus on maailmalla suuri, koska hengittämämme ilma on noin 78-prosenttisesti typpeä, sillä on myös suuri merkitys merissä. Typpi on yksi perustuotannon raaka-aines ja sen valumat sekä liukeneminen mereen on yksi merielämän tärkeimmistä prosesseista. Typpi on yksi suurimmista ravinnonlähteistä Itämerellä ja monet bakteerit sekä levät käyttävät sitä yhteyttämisessään. Sen liiallinen määrä meressä aiheuttaa kuitenkin rehevöitymistä ja vaikuttaa negatiivisesti ekosysteemien kuten Itämeren normaaliin toimintaan.

Itämeren toimintaa on pakko ymmärtää, jotta ymmärtäisimme siinä tapahtuvia prosesseja. Itämeren suolapitoisuuden ainutkertaisuutta ja sen muodostumista on myös pakko käsitellä, jotta ymmärtäisimme mistä ja miten meren ekosysteemi muodostuu. Tämä työ pyrkii valaisemaan typen liukenemisen vaikutusta merielämään, tarkemmin Itämeren elämään. Typen liukenemisen vaikutuksista suurin paino on sinileväesiintymillä ja perustuotannon lisääntymisellä. Tässä työssä selvitetään myös sitä, mistä typpeä tulee Itämereen, ja mitkä ovat sen pitkäkestoiset vaikutukset.

### 3. Itämeri

Itämeren pinta-ala on 392 978 km<sup>2</sup>, keskisyyvyys on noin 54 metriä ja meren tilavuus on 21 205 km<sup>3</sup>. Näitä lukuarvoja käyttämällä Itämeren uloimman alueen katsotaan ulottuvan Tanskan salmiin. Itämeren suolapitoisuus on 0-32 promillea keskusolapitoisuuden ollessa noin 7,4 promillea, tämä vastaa yhtä viidesosaa valtamerten suolapitoisuuksista.<sup>2</sup>

Vähäisestä suolapitoisuudesta johtuen Itämeri jäätyy kovilla talvipakkasilla, mikä aiheuttaa ongelmia merta ympäröivien yhdeksän valtion asukkaille, mutta myös sen ainutkertaiseen ekosysteemiin totuneelle eläimistölle ja kasvistolle.<sup>3</sup>



Kuva 1. Itämeri.

(Suomen ympäristökeskus)<sup>25</sup>

Suolapitoista vettä virtaa Itämereen Tanskan salmien läpi Pohjanmerestä, ja makeaa vettä sekoittuu Itämerta ympäröivien maiden joista ja puroista virtaamalla. Valtameren suolainen vesi laimenee jo Skagerrakin ja Kattegatin merialueilla.<sup>4</sup> Itämereen virtaa 14 valtion makeita järvi –ja jokivesiä paljon suuremmalta valuma-alueelta kuin mitä sen oma pinta-ala on, jopa neljä kertaa suuremmalta alueelta, noin 1 650 000 km<sup>2</sup>. Tämä tekee yhteensä noin 440 km<sup>3</sup> vuodessa.<sup>5</sup> Itämeri on maailman toiseksi suurin murtovesiallas,

Hudsoninlahti on suurin. Merestä puuttuu myös valtameriä leimaava vuorovesi. Murtovesiominaisuuksien johdosta Itämeren ekosysteemi on monimuotoinen ja sen kasvi – ja eläinkunta on joutunut tottumaan vaihtelevaan elinympäristöön. Eläimistö ja kasvisto Itämerellä vaihteleeikin suuresti siirryttäessä rannikolta ulapalle.<sup>6, 7</sup>

### 3.1 Itämeren hydrologia

Itämeren vedenvaihto pysyy vakiona vedenlisäyksen ja vedenpoistuman suhteen. Itämeren vesitasapainoon vaikuttavat satavan veden määrä, joka on keskimäärin noin 500 – 600 millimetriä vuodessa, valuma-alueelta virtaavan veden määrä sekä Tanskan salmien kautta saapuva suolainen vesi. Nämä ovat tasapainossa haihtuvan veden määrään ja Pohjanmereen poistuvan veden määrään.<sup>8</sup> Tasapainoa voidaan kuvata tilavuuden muutoksella ajan suhteen seuraavalla kaavalla:

$$dV/dt = Q_F + P - E + Q_0 - Q_1 + T_E + S_E \quad ^9$$

$V$  = Itämeren tilavuus

$t$  = aika

$Q_F$  = Makean veden saapuma jokivalumista

$P$  = Makean veden saapuma sadevesien mukana

$E$  = Veden haihtuma

$Q_0$  = Suolaisen veden saapuma Tanskan salmien kautta (inflow)

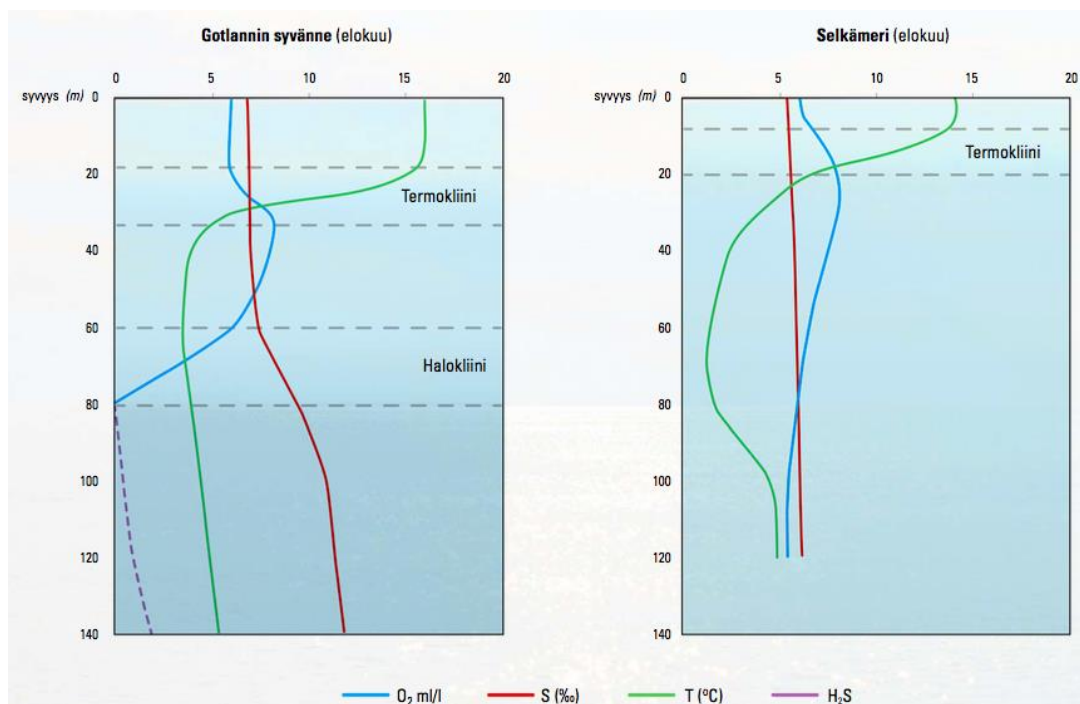
$Q_1$  = Veden poistuma Tanskan salmen kautta (outflow)

$T_E$  = Lämpötilan aiheuttama tilavuuden muutos

$S_E$  = Saliniteetin aiheuttama tilavuuden muutos (supistuminen)

Tärkein Itämeren suolagradientin muutos tapahtuu vedenvaihdossa valtameren kanssa. Tanskan salmen kautta virtaa Itämereen suolaista vettä Pohjanmerestä. Tämä suolainen vesi saapuu Itämereen virtauksina, ja keskimääräinen vuosittainen sisäänvirtaus on noin 1200 km<sup>3</sup>. Edellä mainittu suuren makean veden määrän ja vedenvaihdon vähäisyyden vuoksi Itämeren vesi on voimakkaasti kerrostunutta. Pintavesi on kevyttä, lämmintä, ja vähäsuolaista, pohjavesi taas on raskasta, kylmää ja runsassuolaista. Näin muodostuu kaksi pystysuoraa kerrosta vesipatsaaseen kahden vesikerroksen väliin.<sup>7</sup>

Näitä kerroksia kutsutaan *halokliiniksi*, mikä määrittää suolapitoisuuden harppauskerroksen, sekä *termokliiniksi*, mikä taas määrittää veden lämpötilan harppauskerroksen (Kuva 2). Termokliini syntyy kesäisin auringon lämmittäessä pintavesiä. Sen harppauskerros sijaitsee noin 10 – 20 metrissä ja halokliinin harppauskerros noin 40 – 80 metrissä. Syksyisin, kun pintavesi jäähtyy lämpötilan vaikutuksesta, ja syysmyrskyt saapuvat sekoittamaan meriveden vesipatsasta, termokliini häviää, mutta halokliinin jälkeen vesipatsaassa pinta – ja pohjavesi eivät enää sekoitu keskenään.<sup>7, 10</sup>

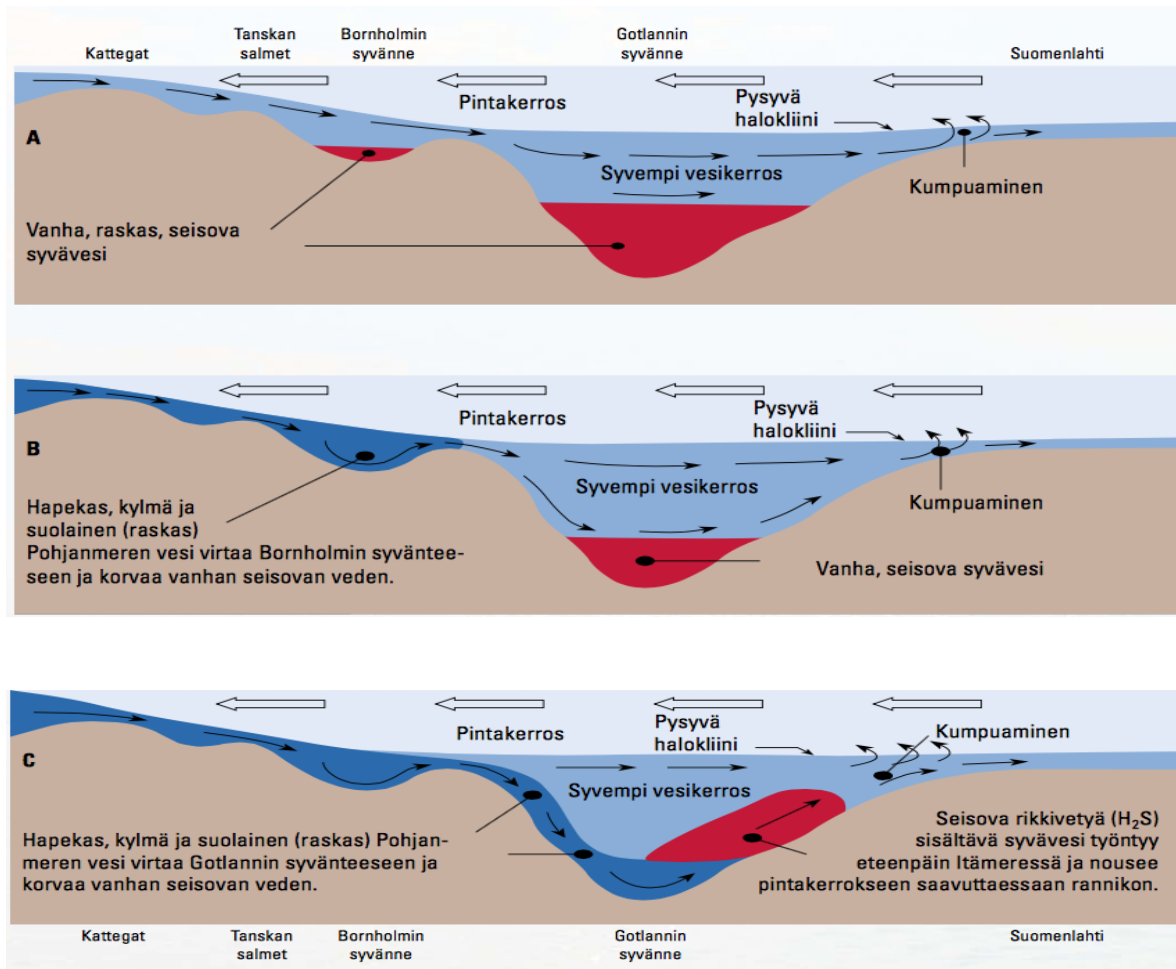


Kuva 2. Itämeren Termokliini- ja halokliinikerrosten muodostumisten kuvaajat (Suomen ympäristökeskus)<sup>26</sup>

### 3.2 Itämeren saliniteetti

Koska suolaisempi syvemmällä oleva vesi on tiheämpää kuin pintavesi, syntyy suolaisuusgradientti. Mitä syvemmälle kohti pohjaa mennään, sitä suolaisemmaksi vesi muuttuu. Pohjanlahdella veden ollessa hyvin vähäsuolaista, ei oikeastaan muodostu halokliinia. Noin kerran kymmenessä vuodessa saapuu erittäin voimakas sisäänvirtaus, suolapulssi. Suolapulssit vaativat erityiset sääolot tapahtuakseen. Suolapulssien aikana raskas suolapitoinen, mutta runsashappinen vesi työntyy merenpohjaan ja puskee edeltään

vanhan seisovan syväveden. Näiden suolapulssien aikana Itämereen saapuu noin 200 – 400 km<sup>3</sup> suolaista valtamerivettä.<sup>11</sup>



Kuva 3. Suolapulssien eteneminen.  
(Suomen ympäristökeskus)<sup>27</sup>

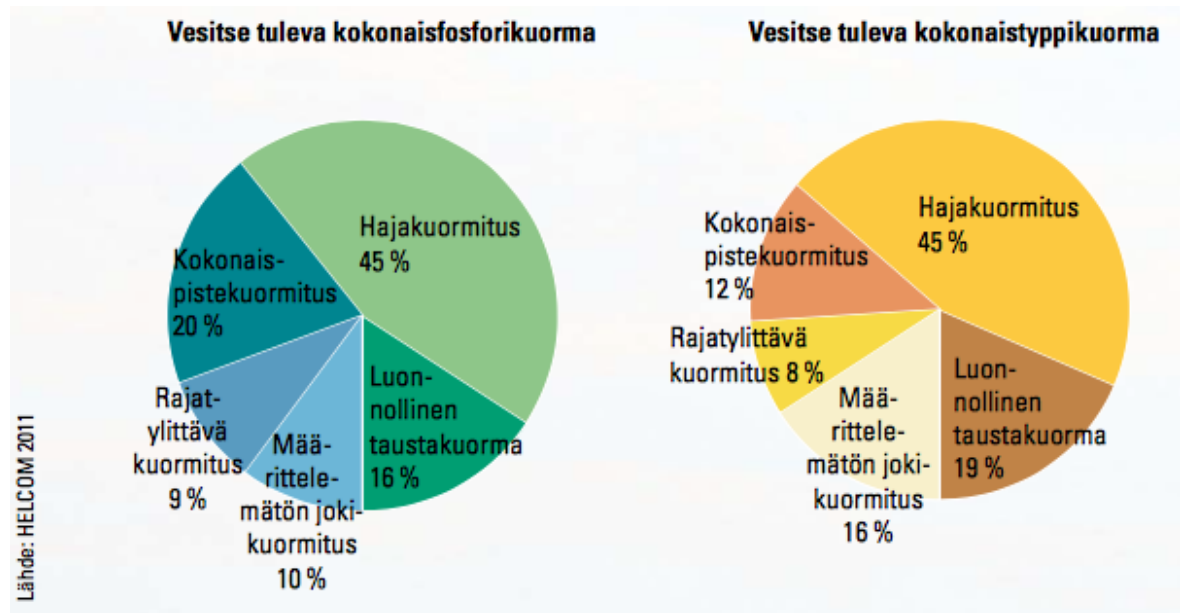
Suolapulssien välillä Itämeren pohjassa vallitsee vähähappinen eli hypoksinen tila. Tällöin merenpohjan veden voidaan sanoa olevan stagnaatiotilassa. Stagnaatiotilassa hypoksia kasvaa, ja tarpeeksi pitkän ajan jälkeen merenpohjan happi on kulutettu kokonaan loppuun. Tällöin voidaan puhua anoksiasta, eli täysin hapettomasta tilasta. Hapettomissa olosuhteissa merenpohjan rikkivetypitoisuudet (H<sub>2</sub>S) kasvavat sulfaattien (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) pelkistyyssä.<sup>12</sup>

### 3.3 Itämeren rehevöityminen

Itämeren rehevöitymiseen vaikuttaa suurelta osin ihmisten toiminnasta johtuva haitallinen kuormitus. Rehevöitymisen aiheuttaa ravintoaineiden, lähinnä typen ja fosforin, liiallinen



kuormitus Itämereen. Nämä ravinteet ovat peräisin kahdesta lähteestä, piste –ja hajakuormituksesta. Pistekuormitus tarkoittaa sitä, että kuormituksen lähde voidaan tarkasti rajata tiettyyn kohtaan. Hajakuormituksesta puhuttaessa ei tarkkaa linjanvetoa kuormituksen lähteisiin voi tehdä. Pistekuormituksen piiriin kuuluvat kalaviljelylaitokset ja teollisuuden jätevesien puhdistamot. Hajakuormitukseen kuuluvat ilmalaskeumat, jokien mukana tulevat märkälaskeumat ja vesiviljelyn lähteet.<sup>13</sup>



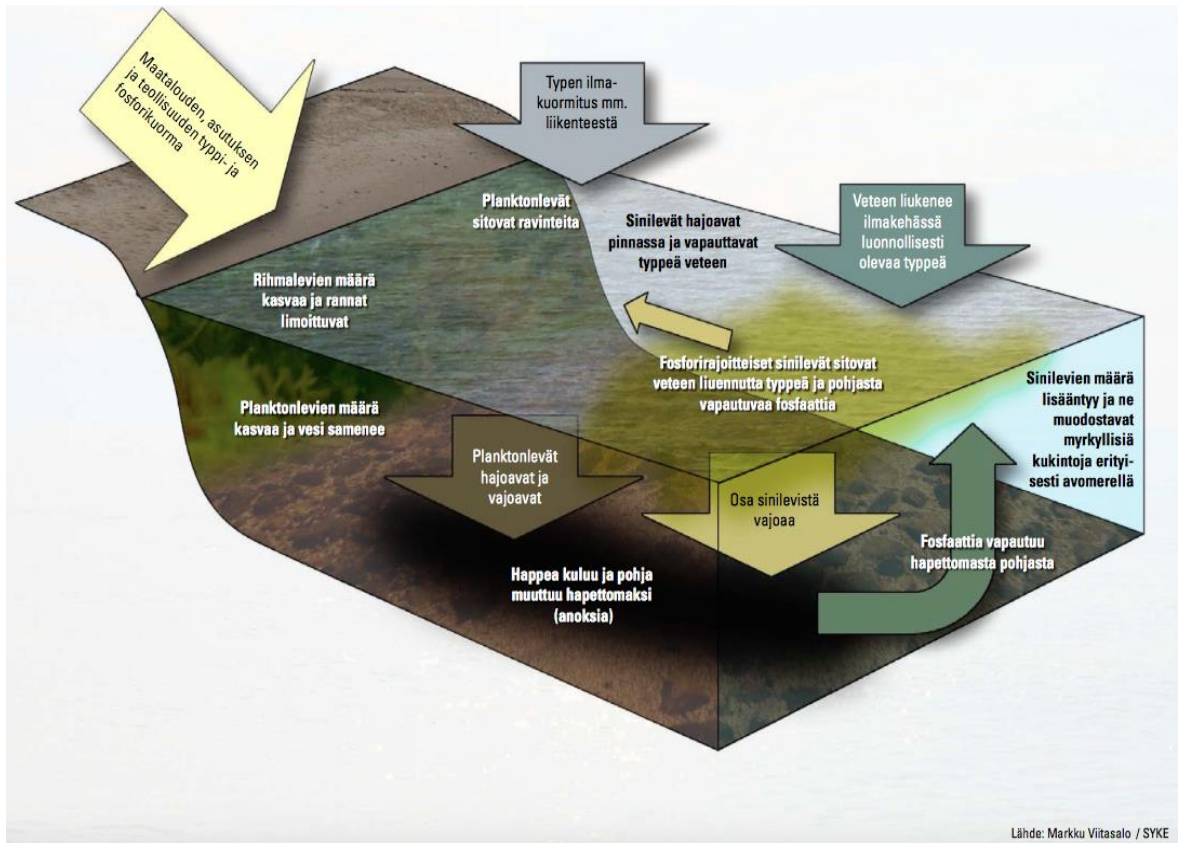
Kuva 4. Typen ja fosforin kuormat.

(Suomen ympäristökeskus)<sup>28</sup>

Suuret määrät typpeä ja fosforia aiheuttavat meressä suuren kasviplanktonin tuotannon, mikä johtaa lisääntyneisiin leväkukintoihin. Kasviplanktonin määrän kasvaessa vesi samenee, pohjien hapettomien olojen pinta-alat lisääntyvät ja kalakuolemat lisääntyvät. Rehevöitymisen pahin uhkakuva on koko meriekosysteemin toiminnan häiriintyminen. Itämeri meriekosysteeminä on erittäin herkkä rehevöitymiselle sen mataluuden, rajoittuneen vedenvaihdon ja ihmistoiminnan lisääntymisen valuma-alueilla johdosta.<sup>14</sup>

Lämpiminä kesinä sinileviä voi tavata suurina massaesiintyminä. Sinilevät suosivat korkeita lämpötiloja ja ilmaantuvat vasta, kun veden pintalämpötila on huipussaan. Koska sinilevät pystyvät sitomaan ilmasta veteen liuennutta typpeä, eivät ne tarvitse veden epäorgaanisia typpiyhdisteitä käyttöönsä. Sinilevien noustessa vesipatsaan syvemmiltä osilta pintaan saakka, tuovat ne mukanaan elintoimintoihinsa tarvittavaa fosforia. Eläinplanktonit, jotka käyttävät sinilevää ravinnoksi, eivät enää tähän vuodenaikaan käytä

juuri lainkaan sinilevää ravinnonlähteinään. Sinileviä kertyy yhä enemmän, ja kun ne hajoavat kuoltuaan, vapautuu niistä fosfaatteja ja ammoniumia muiden perustuottajien ravinnonlähteiksi. Näin ollen sinileväkukinnat tarjoavat ravintoa meren pintakerrokseen.<sup>15</sup>

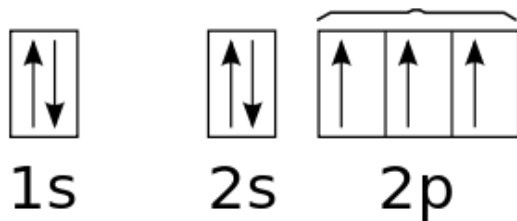


Kuva 5. Rehevöitymisen sykli  
(Suomen ympäristökeskus)<sup>29</sup>

Typen ja fosforin suhde kuvaa perustuottajille käytettävissä olevien ravinteiden määrää. Planktonlevien typen ja fosforin käyttöä varsinaisella Itämerellä kuvataan suhteella 8 : 1, tämä ilmaisee typen olevan rajoittava tekijä fosforiin verrattuna. Perämerellä suhde on käänteinen. Molekulaarista typpeä sitomaan kykeneviä sinileviä ja niiden massaesiintymä tavataan sellaisissa vesissä, joissa on fosforiyliljäämiä. Näitä alueita ovat juuri ne, joissa typpeä on vähemmän suhteessa fosforiin.<sup>16</sup>

## 4. Typpi

Typpi (kemiallinen merkki N) on alkuaine, joka esiintyy luonnossa kaksiatomisena kaasuna  $N_2$ , typen atomit ovat molekyylissä kiinni toisissaan erittäin kestävän kolmoissidoksen avulla. Molekulaarisen typen ( $N_2$ ) sidosenergia on 950 kJ/mol, mikä tarkoittaa sitä, että tämän kolmoissidoksen katkaisemiseen tarvitaan paljon energiaa. Se on eräs syy siihen, että typpi on kasvukunnassa kasvua rajoittava tekijä. Typpi on epämetalli ja sillä on viisi elektronia uloimmalla elektronikuorellaan.<sup>17</sup>



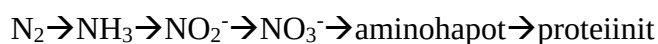
Kuva 5. Typen elektronikonfiguraatio.

(Wikimedia commons)<sup>30</sup>

Typpi on hajuton, mauton ja ilmaa kevyempi kaasu, sitä on myös maaperässä ja vesissä erilaisina suoloina.

### 4.1 Typen olomuodot ja typen kierto

Typpi esiintyy molekulaarisena typpenä ( $N_2$ ), ammoniakkina ( $NH_3$ ), nitriittinä ( $NO_2^-$ ), nitraattina ( $NO_3^-$ ) sekä erilaisina orgaanisina yhdisteinä. Typen kiertokulkua luonnossa tuottajilta kuluttajille ja edelleen maa –tai vesiekosysteemien kiertoon voidaan kuvata seuraavan reaktioketjun avulla:



Reaktioketjun mukaan etenevät reaktiot ovat energeettisesti suotuisia, siis spontaaneja reaktioita. Jotkin bakteerit ja mikro-organismit toimivat katalyytteinä nopeuttaen reaktion dynamiikkaa.<sup>18</sup>

## 4.2 Kaasujen liukeneminen nesteeseen

Ilmakehän ja veden välisellä rajapinnalla tapahtuu kaasujen vaihtoa. Meren ja ilman välisen rajapinnan kautta siirtyy veteen kaikkia ilmakehän kaasuja. Kaasujen liukoisuus veteen pienenee lämpötilan ja suolagradientin kasvaessa. Lämpenemisen yhteydessä kaasuja siirtyykin vedestä ilmakehään.<sup>19</sup>

### 4.2.1 Henryn laki

Henryn laki on William Henryn vuonna 1803 kehittämä laki kaasujen liukenemiseen. Kaasut liukenevat nesteeseen Henryn lain mukaisesti. Yksinkertaiset kaasut, kuten happi ( $O_2$ ) ja typpi ( $N_2$ ) liukenevat veteen, mutta eivät käy läpi mitään muuta kemiallista reaktiota veden kanssa. Tämän lain mukaan tasapainossa kaasujen liukeneminen nesteisiin vakiolämpötilassa on suoraan verrannollinen kaasun osapaineeseen. Kaasujen mooliosuudet voidaan laskea kaavan 1 avulla.<sup>19</sup>

#### Kaava 1.

$$c = p_d H$$

$c$  = kaasun mooliosuus ilmaistuna  $\text{mol}^{-1} \text{L}^{-1}$

$p_d$  = kaasun osapaine ilmaistuna pascaleina (Pa)

$H$  = kaasulle ominainen Henryn vakio ilmaistuna  $\text{mol}^{-1} \text{L}^{-1} \text{Pa}^{-1}$

Typpi on kemiallisesti hyvin reagoimaton eli inertti kaasu kolmoissidoksensa johdosta, jonka takia se liukenee hyvin Henryn lain mukaisesti. Molekulaarisen typen Henryn vakion arvo on 25 celsiusasteen lämpötilassa  $6.4 \times 10^{-9} / \text{mol L}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ <sup>20</sup>

## 5. Typpi Itämeressä

Typpeä saapuu Itämereen eri kuormituksen lähteistä. Valumavesien typpi on peräisin vesistöistä liuenneena orgaanisiin partikkeleihin sidottuna, orgaanisiin aineksiin sidottuna, nitriittinä ( $\text{NO}_2^-$ ), nitraattina ( $\text{NO}_3^-$ ) ja ammonium – ionina ( $\text{NH}_4^+$ ). Typen lähteinä toimivat maaperän rapautuminen, maanviljelyksen lannoitustuotteet lähinnä lihan tuotannosta,

talouksien jätevedet, maaperän rapautuminen, kalan kasvatustilat sekä teollisuuspäästöt.<sup>7</sup>

Hapettomissa oloiloissa, kuten Itämeren pohjassa orgaanista ainesta pystytään hajottamaan käyttämällä hyväksi muita happea sisältäviä spesieksiä. Nitraatti voi toimia elektronin vastaanottajana ja nitraatti voi näin pelkistyä nitriitiksi, ammonium –ioniksi, typen oksideiksi tai molekulaariseksi typpikaasuksi.<sup>21</sup>

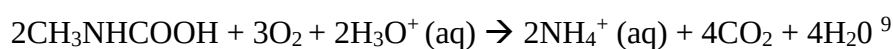
## 5.1 Typen kiertokulku Itämeressä

### Typen sidonta

Typpeä kiertää vesisysteemeissä, tätä säätelevät eri mikrobien välittämät hapetus – ja pelkistysreaktiot. Hapetus-pelkistysreaktiot toimivat joko hapellisissa tai hapettomissa oloissa. Tietyt diazotroofiset bakteerit, kuten syanobakteerit eli *sinilevät* pystyvät sitomaan ja pelkistämään (eli fiksaamaan) ilmakehästä veteen liuennutta typpeä (N<sub>2</sub>). Tämä tapahtuu syanobakteerien nitrogeenasi –entsyymien avulla, joka toimii katalyyttinä.<sup>9</sup> Syanobakteerit saavat pelkistysreaktioista energiaa ja substraatteja. Liuennut epäorgaaninen typpi ilmenee Itämeressä joko ei-biologisista lähteistä, kuten valuma-aineena, tai diazotroofi – bakteerien pelkistysreaktioissa syntyneenä. Se sitoutuu orgaanisiin partikkeleihin, tai syanobakteerit sulauttavat ne omaan biomassaansa.<sup>7, 22</sup>

### Ammonifikaatio

Perustuottajat ottavat käyttöönsä nämä epäorgaanista typpeä sisältävät partikkelit. Perustuottajien kuollessa ne uppoavat pohjan sedimenttiin ja hajoavat. Ne mineralisoidaan hajottajabakteerien avulla epäorgaaniseksi typeksi, joka ammonifikaatio –prosessissa muunnetaan ammoniumiksi (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Mineralisaatio alkaa jo vesipatsaan happea sisältävissä osissa ja jatkuu pohjalla hapettomissa oloissa. Suurin osa tyyppistä on orgaanisissa aineksissa proteiinien aminohapoissa. Ammonifikaatiota voidaan kuvata seuraavalla reaktioyhtälöllä.<sup>22</sup>



proteiini

ammonium - ioni

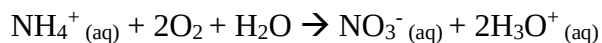
## Nitrifikaatio

Nitrifikaatioprosessissa ammoniumia ( $\text{NH}_4^+$ ) hapetetaan autotroofisten bakteerien avulla hapen ( $\text{O}_2$ ) läsnä ollessa nitriitiksi ( $\text{NO}_2^-$ ) ja edelleen nitraatiksi ( $\text{NO}_3^-$ ). Nitrifikaatiolle optimaalinen pH on 6,5 – 8 välillä, ja reaktionopeus laskee huomattavasti pH:n pudotessa alle kuuden. Vähähappisissa oloissa syntyy nitrifikaation sivutuotteena dityppioksidia ( $\text{N}_2\text{O}$ ), joka vapautuu ilmakehään ja on eräs kasvihuonekaasuista.<sup>22</sup>

Nitrifikaatio tapahtuu kahdessa osassa:

1.  $2\text{NH}_4^+_{(\text{aq})} + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NO}_2^-_{(\text{aq})} + 4\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$
2.  $2\text{NO}_2^-_{(\text{aq})} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^-_{(\text{aq})}$

Kokonaisreaktio:

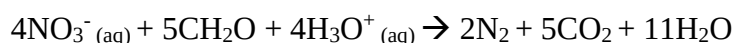


## Denitrifikaatio

Täydellisintä tekijää typen palautumiseen maa –ja vesisysteemeistä ilmakehään kutsutaan *denitrifikaatioksi*. Denitrifikaatio tapahtuu yleensä meressä syvissä, orgaanisesti rikkaissa paikoissa. Denitrifikaatio –reaktioita on useita erilaisia, ja niitä tapahtuu heterotrofisten bakteerien säätelämänä. Yksi näistä reaktioista on nitraatin pelkistys molekulaariseksi typpikaasuksi. Nitraatti toimii elektronin vastaanottajana orgaanisten aineksien hapetusreaktioissa, kuten edellä mainittiin.<sup>22</sup>

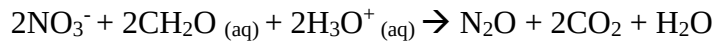
Koska heterotrofiset eli toisenvaraiset organismit toimivat reaktioiden säätelijöinä, ja denitrifikaatio tapahtuu hypoksisissa olosuhteissa, suuri määrä helposti hajotettavaa orgaanista ainesta suosii denitrifikaatiota.<sup>22</sup>

1. Reaktio hypoksisissa olosuhteissa:



$\text{CH}_2\text{O}$  = Formaldehydi

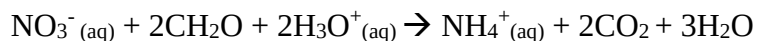
## 2. Reaktio hapen läsnä ollessa:



Näin huomaamme, että hapettomissa olosuhteissa saamme molekulaarista typpikaasua takaisin ilmakehään, ja hapen läsnä ollessa syntyy dityppioksidia.

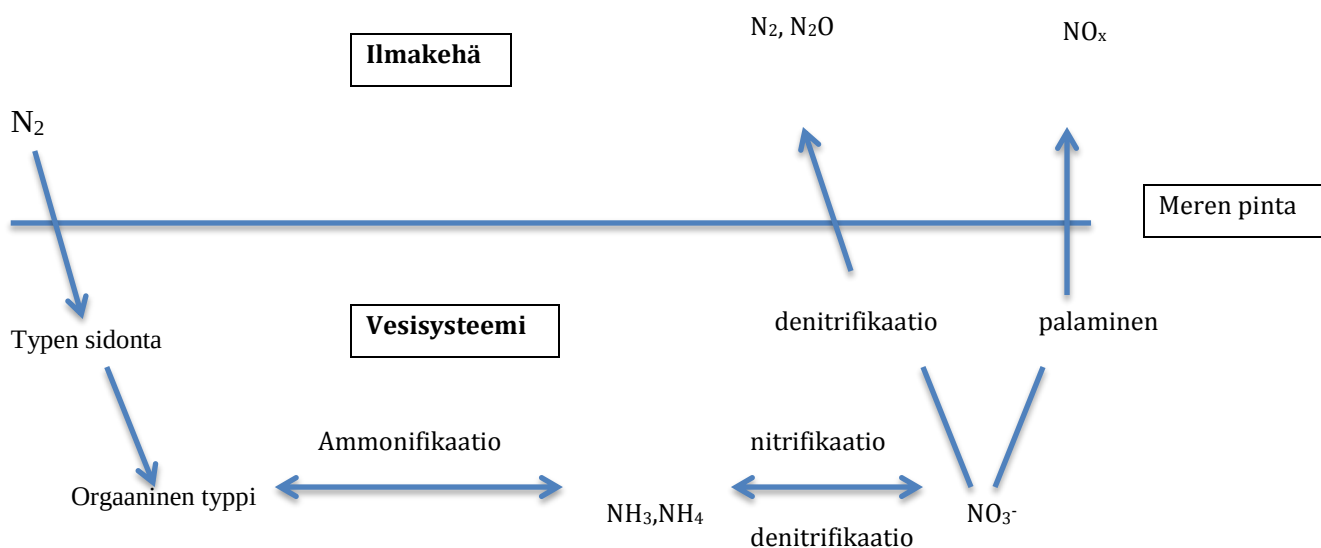
Kolmas denitrifikaatio –prosessi johtaa ammonium –ionin irtoamiseen. Tätä ammoniumia organismit voivat käyttää soluproteiinien synteesissä itsessään, jolloin on kyse sidonta – denitrifikaatiosta. Emäksisissä olosuhteissa ammonium on deprotonoidussa tilassa, joten se voi vapautua ilmakehään. Tällöin on kyse dissimilatorisesta denitrifikaatiosta. Reaktio tapahtuu joko hapellisissa tai hapettomissa oloissa, mutta hapettomissa oloissa reaktiota katalysoi *Bacterium denitrificans* –bakteeri.<sup>22</sup>

## 3. Reaktio ammonium –ionin irtoamiseen denitrificans –spesieksen katalysoimana:



### Palaminen

Fossiiliset polttoaineet ja biomassa sisältävät typpeä eri määrän. Kun näitä materiaaleja poltetaan, typpi palaa takaisin ilmakehään typen oksideina ( $\text{NO}_x$ ).<sup>22</sup>



Yhteenveto typen kiertokulusta merisysteemeissä.<sup>23</sup>

## 5.2 Itämeri ja ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksen takia sademäärät ovat nousussa ja merien pintalämpötilojen on ennustettu nousevan useilla asteilla. Suomessa lämpötilan on ennustettu nousevan 1-3 astetta, ja sademäärän on ennustettu kasvavan 0-15% vuoteen 2020 mennessä suhteessa vuosien 1961 – 1990 vertailupohjaan.<sup>24</sup> Sademäärän lisääntyminen ja meriveden lämpeneminen on suoraan verrannollinen ravinnekuormituksen kasvuun. Lämpötilan nousu aiheuttaa lisää järvi- ja jokivalumia, ja tämä lisää ravinteiden kuormitusta Itämereen. Valuma-alueiden lisääntynyt makean veden määrä myös laimentaa Itämeren suolagradienttia, ja tästä johtuen meri muuttuu entistä makeammaksi. Lämpeneminen ja suolagradientin muutos on haitallista jo muutenkin hauraaseen Itämeren ekosysteemiin.

Ravinteiden lisääntyessä perustuotanto kasvaa ja rehevöityminen vilkastuu. Tämän johdosta lisää orgaanista ainesta saapuu merenpohjaan ja hapen määrä merenpohjassa vähenee entisestään. Fosforia vapautuu enemmän pohjan sedimentistä, ja sinileväkukinnat kasvavat räjähdysmäisesti. Sinilevien määrän kasvaessa ne pystyvät sitomaan ilmakehästä entistä enemmän typpeä, ja perustuotannon määrä kasvaa edelleen. Perustuotanto kiihtyy, ja pohjasedimenttiin saapuu lisää orgaanista ainesta, näin haitallinen sykli on valmis.<sup>7</sup>

Ilmastonmuutoksen aiheuttama lämpötilan nousu lisää myös hiilen määrää Itämeressä. Esimerkiksi Pohjanlahdella on paljon järvi- ja jokivalumia, jotka sisältävät orgaanista hiiltä liuenneena veteen. Tämä ei aiheuta rehevöitymistä, koska orgaaninen hiili lisää niiden mikrobien kasvua, jotka kilpailevat ravinteista typpeä ja fosforia käyttävien levien kanssa. Tällöin rehevöityminen etenee hitaammin, kuin jos itse ravintoaineita tulisi valumavesien kautta enemmän.<sup>7</sup>

Ilmastonmuutokseen sitoutuva hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) määrän kasvu aiheuttaa vesistöjen, kuten Itämeren, happamuutta. Hiilidioksidin liuetessa veteen syntyy hiilihappoa (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), joka laskee veden pH:ta kaavan 2. mukaan.



Kaava 2.



Veden pH:n laskiessa hauras ekosysteemi vahingoittuu vielä enemmän. Tarkkaa pH:n laskun vaikutusta ei täysin tunneta, mutta ainakin useiden kuorellisten eliöiden kuoren kalkin muodostus estyy, ja tämä lisää muutosta Itämeren lajiston tasapainotilaan.<sup>7</sup>

## 6. Yhteenveto

Itämeri on pieni, hauras ja erittäin uniikki meri koko maailman mittakaavassa. Tällä merellä on erityispiirteitä, joita tässä tutkielmassa on esitelty, ja nämä piirteet tekevät siitä erittäin monimuotoisen ekosysteemin monille eri kasvi- sekä eläinlajeille, jotka sitä asuttavat. Itämerta ympäröivät maat ja niistä saapuvat järvi- ja jokivalumat. Nämä kattavat yli neljä kertaa suuremman pinta-alan kuin itse meri, ja tuovat mukanaan suuria määriä ravinteita. Nämä ravinteet aiheuttavat Itämeren ainutkertaiselle ekosysteemille tarpeetonta kuormitusta, ja liiallisessa määrin tämä kuormitus heikentää tämän meren kantokykyä.

Typpi on suurimmassa määrin juuri se ravintoaine, joka aiheuttaa tarpeetonta kuormitusta Itämerelle. Typeä käytetään niin maataloudessa kuin kalataloudessakin ja näitä piste- sekä hajakuormituksen lähteitä on Itämerellä ja sen valuma-alueilla paljon. Typeä on jo ilmakehässä 78% hengittämästämme ilmasta, ja tätä pystyvät syanobakteerit eli sinilevät sitomaan. Kaikki lisätyppi, jota ihmistoiminnan aiheuttamana pääsee Itämereen, vain lisää sen kantokyvyn rasitusta.

Itämeri on jo kokemassa ilmastonmuutoksen aiheuttamia lämpiämisen johdosta suuria muutoksia, ja niillä jo itsessään tulee olemaan suuret vaikutukset meren toimintaan. Ihmisten toiminta ja siitä johtuva typen määrän lisäys Itämereen aiheuttaa sen rehevöitymistä entisestään, ja näitä kahta asiaa yhdistelemällä Itämeren veden laatu ja sen ainutkertainen ekosysteemi ovat vaarassa.

## Lähteet

1. Voipio, A., Leinonen, M. *Itämeri*. Rauma: Kirjayhtymä Oy. 1984. pp. 7-10
2. Myrberg, K., Leppäranta, M., Kuosa, H. *Itämeren fysiikka, tila ja tulevaisuus*. Yliopistopaino, Helsinki. 2006. s. 15 – 19, 44-45
3. viite 1, s.41-42
4. Voipio, A. Institute of Marine Research, Helsinki, Finland, *The Baltic Sea*. Elsevier Scientific Publishing Company, The Netherlands. 1981. s. 125 - 133.
5. viite 2, s. 17-19, 92-95
6. viite 1, s. 63-92
7. Furman, E., Pihlajamäki, M., Välipakka, P., Myrberg, K. *Itämeri – Ympäristö ja ekologia*. SYKE, Helsinki. 2014. [http://www.syke.fi/fi-FI/Julkaisut/Esitteet/Itameri\\_ymparisto\\_ja\\_ekologia\\_tietopake\(28801\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Julkaisut/Esitteet/Itameri_ymparisto_ja_ekologia_tietopake(28801)) Luettu: 21.12.2016
8. viite 2, s. 92-95
9. Wulff, F., Rahm, L., Larsson, P. *A Systems Analysis of the Baltic Sea*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Saksa. 2001. s. 40-42
10. viite 4, s. 135-147
11. viite 2, s. 170-181
12. viite 4, s. 188-194

13. Perttilä, M. Meri - Report series of the Finnish Institute of Marine Research. Meriympäristön kemian perusteet 2. painos. No 53. 2006.  
<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/157953/Meri%20No%2053%202006%20OCR.pdf?sequence=1> Luettu: 20.12.2016. s. 100-104
14. Haahti, H., Kaartokallio, H. *Rehevöityminen*. Teoksessa Raateoja, M. MERI – Report series of the Finnish Institute of Marine research No. 64. Itämeri 2008 – Merentutkimuslaitoksen Itämeriseurannan vuosiraportti. Finnish Institute of Marine research, Helsinki. 2008. s. 31-33
15. viite 9, s. 177-191
16. viite 1, s. 73-77
17. viite 15, s. 24-26
18. viite 15, s.24-25
19. Horne, R. A. *Marine Chemistry* – The Structure of Water and the Chemistry of the Hydrosphere. John Wiley & Sons, Inc, USA. 1969. pp. 190 - 291
20. vanLoon, GW., Duffy, SJ., *Environmental chemistry* – a global perspective. Oxford University Press INC. New York, USA. 2011. s. 252-256
21. viite 20, s. 364-370
22. viite 20, s. 372-379
23. viite 20, s. 379
24. Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Ruosteenoja, K. *Climate change projections for Finland during the 21st century*. Boreal Env. Res 9: 127 - 152  
<http://www.borenv.net/BER/pdfs/ber9/ber9-127.pdf> Luettu: 22.12.2016

#### **Kuvien lähteet**

- 25-29. Furman, E., Pihlajamäki, M., Välipakka, P., Myrberg, K. *Itämeri – Ympäristö ja ekologia*. SYKE, Helsinki. 2014. [http://www.syke.fi/fi-FI/Julkaisut/Esitteet/Itameri\\_ymparisto\\_ja\\_ekologia\\_tietopake\(28801\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Julkaisut/Esitteet/Itameri_ymparisto_ja_ekologia_tietopake(28801)) Haettu: 3.2.2017
30. Wikimedia Commons. *Typen elektronikonfiguraatio*. Haettu: 21.12.2016  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Orbital\\_diagram\\_nitrogen\\_-\\_Hund%27s\\_Rule.svg?uselang=fi](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Orbital_diagram_nitrogen_-_Hund%27s_Rule.svg?uselang=fi)