Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie se zaměřením na vzdělávání

Terezie Zemanová

Vegetační struktura Baltského moře, vlivy ekologických gradientů a environmentální disturbance

Vegetation structure of the Baltic Sea, effects of ecological gradients and environmental disturbance

Typ závěrečné práce:

Bakalářská práce

Školitel: prof. RNDr. Jiří Neustupa, Ph.D.

Praha, 2026

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 12. 4. 2026 Terezie Zemanová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala svému školiteli prof. RNDr. Jiřímu Neustupovi, Ph.D., za jeho inspirativní vztah k algologii, také za ochotu a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Ráda bych poděkovala svým blízkým za podporu, vlídná slova a zájem během psaní této práce, ale i celého studia. Závěrem bych ráda vyjádřila dík všem vědcům i laikům se zájmem o Baltské moře a mořské ekosystémy obecně, díky kterým vzniká mnoho naučných publikací, smysluplných projektů, ale i každodenních rozhodnutí, která šetří toto jedinečné přírodní bohatství.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je rešerše publikací týkajících se charakteristiky a struktury vegetace Baltského moře a poskytnutí uceleného pohledu na ekologii těchto společenstev v Baltském moři s ohledem na ekologickou kvartérní historii regionu i budoucnost v rámci globální klimatické změny, znečištění životního prostředí a zejména eutrofizace. Zdroje byly čerpány z odborné zahraniční literatury, především článků odborníků z univerzit v zemích obklopujících Baltské moře. Práce může poskytnout základ pro pokračování a rozvíjení tohoto tématu v navazujících výzkumných pracích.

Klíčová slova: Baltské moře, makrofyty, brakický, disturbance, salinní gradient, eutrofizace

Abstract

The aim of this bachelor's thesis is to review the literature on the characteristics and structure of vegetation in the Baltic Sea and to provide a comprehensive overview of the ecology of these communities in the Baltic Sea, taking into account the region's Quaternary ecological history as well as its future in the context of global climate change, environmental pollution and especially eutrophication. Sources were drawn from specialized foreign literature, primarily articles by experts from universities in regions bordering the Baltic Sea. The thesis may serve as a foundation for the continuation and further development of this topic in advanced research.

Keywords: Baltic Sea, macrophytes, brackish, disturbance, salinity gradient, eutrophication

Obsah

ÚVOD 5

1 OCEÁNOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA BALTSKÉHO MOŘE 6

1.1 Geografický popis 6

1.2 Ekologická historie kvartéru 8

1.3 Klimatická charakteristika 9

1.4 Gradient salinity 10

1.5 Diskuze 11

2 STRUKTURA A CHARAKTERISTIKA BENTICKÉ VEGETACE BALTSKÉHO MOŘE A VLIV ABIOTICKÝCH FAKTORŮ 12

2.1 Obecná struktura 12

2.2 Struktura a charakteristika vegetace v závislosti na typu podloží 13

2.3 Vliv abiotických faktorů na strukturu a charakteristiku vegetace **Chyba! Záložka není definována.**

2.4 Vliv eutrofizace a anoxie na strukturu a charakteristiku vegetace 17

3 ANTROPOGENNÍ FAKTORY JAKO „NOVÝ“ DRUH DISTURBANCE PRO MAKROFYTOVÁ SPOLEČENSTVA 18

3.1 Eutrofizace jako významný důsledek neudržitelné antropogenní činnosti v Baltském moři 18

3.2 Příklady dalších antropogenních vlivů v Baltském moři 21

3.3 Dlouhodobá dynamika makrořasové vegetace 23

3.4 Ochrana Baltského moře a jeho makrofytových společenstev 24

ZÁVĚR 27

SEZNAM LITERATURY 30

Úvod

„Na světě není moře stejné jako Baltské moře“, píše v předmluvě své publikace Helena Telkäranta a nezbývá než s jejím výrokem souhlasit. Největší brakické moře na světě, které je zároveň velmi mělké a atidální, sezonně jeho značná část zamrzá. Není s podivem, že takové podmínky v průběhu jeho krátkého vývoje vytvořily naprosto unikátní prostředí pro život, zároveň ale s sebou přinesly mnoho výzev. Bohužel v dnešním světě se o Baltském moři doslýcháme i mimo akademickou obec jako o ekosystému vykazujícím známky degradace. Organizace (např. nejznámější HELCOM, Helsinki Commission – pozn. autorky) snažící se o nápravu a ochranu Baltského moře a jeho společenstev bijí na poplach. Mikroplasty, koncentrace těžkých kovů, povlaky „vodního květu“ vypouštějící toxiny, anoxické oblasti, výstižně nazvané *death-zones*, téměř všudypřítomná eutrofizace. Zmíněné problémy zákonitě ovlivňují trofické toky a narušují dosavadní podobu a funkci populací fauny i flóry (HELCOM, 2006). To vše jsou aktuální, reálné problémy států kolem Baltského moře, ale ve své podstatě i ostatních zemí světa a jeho obyvatel. Podmínky v Baltském moři mohou navíc sloužit jako „lupy“ pro globální problémy, s nimiž se můžeme setkat v oceánu, až bude k dispozici více údajů o anomálních jevech, které budou v budoucnu pravděpodobně pokrývat celou planetu hustěji a budou se objevovat po mnoho desetiletí. Účinky v Baltském moři se měří snáze a příslušné časové škály jsou kratší. Bohužel komplexní procesy odpovědné za zmíněné anomálie a za prostorové a časové variace těchto anomálií jsou zatím daleko od toho, aby byly zcela pochopeny, a to i v relativně malém vodním útvaru, jako je Baltské moře (Feistel et al., 2010).

V současnosti se pro indikaci stavu Baltského moře v určité oblasti, mimo jiné, využívají stélky organismů, které se v několika posledních let začínají dostávat do povědomí laiků a budí zájem vědců. Jedná se o makroskopické bentické řasy, které dokáží výše zmíněné, ale také nesou určitý potenciál pro farmaceutický, potravinářský i energetický průmysl. Jejich význam v přírodě je klíčový – jedná se o primární producenty, tedy organismy schopné produkce kyslíku a vyvazování a ukládání vzdušného oxidu uhličitého. Ve vodním prostředí mnohdy tvoří úkryty pro ostatní organismy či slouží jako stabilizátory sedimentů, což chrání pobřeží před erozí a zároveň může mít i čistící funkci.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na rešerši publikací zaměřených na vegetační struktury Baltského moře s přihlédnutím právě k makrořasovým společenstvům a jejich ekologii, která je značně ovlivněna gradienty a tlaky přirozenými, ale i antropogenními. Celkově tato práce

čítá tři hlavní kapitoly, úvod a závěr a seznam citované literatury. Kapitola 1 nabízí celkový nástin oceánografických reálií Baltského regionu, společně s vysvětlením, jaké environmentálně-historické, zejména kvarterní procesy, jej formovaly (kapitola 1.2). Kapitola 2 této práce pojednává o charakteristice a struktuře makrofytové vegetace, vlivu abiotických přírodních procesů na zmiňovanou vegetaci, přičemž u vlajkových druhů Baltského moře je hlouběji popsán jejich širší ekologický význam. V kapitole 3 je popsán i vliv antropogenně indukovaných jevů (3.1, 3.2) a je načrtnut dlouhodobý stav makrofytové vegetace Baltského moře s důrazem na hlavní změny (3.3). V kapitole 3.4 jsou představeny současné trendy v ochraně makrofytových společenstev Baltského moře a konkrétní aktéry. V závěru jsou shrnuty poznatky literatury a hodnocena její dostupnost a informativnost.

Ráda bych zde v úvodu vysvětlila potenciální nejasnost v používání termínů *makrofytová* a *makrořasová* společenstva. Tato práce se primárně týká společenstev, která jsou makrořasová, kvůli značné ekologické provázanosti, zejména v určitých oblastech Baltského moře, jsem se rozhodla pro zahrnutí i neřasových společenstev, tedy například společenstva druhu *Zostera marina*. *Zostera marina* není řasou, tvoří však analogické funkční struktury a působí na ni tytéž tlaky, jako například na hnědé řasy rodu *Fucus*. Termínem *makrofytová* společenstva jsou tedy myšlena řasová i neřasová společenstva zároveň.

1 Oceánografická charakteristika Baltského moře

1.1 Geografický popis

Baltské moře je vnitřním mořem Atlantského oceánu, které se rozprostírá od severního Německa a Polska na jihu téměř až k polárnímu kruhu na severu. Jedná se o relativně mělké kontinentální vnitrozemské moře, tj. polouzavřené moře, které má omezenou výměnu vody s oceánem a v němž cirkulaci vody ovlivňují spíše rozdíly v salinitě a teplotě než větry (Szaniawska, 2018). Jedná se o malé moře o rozloze přibližně 415 000 km^2 (včetně průlivu Kattegat) a délce pobřeží přibližně 8100 km. Je také mělké: největší hloubka je 459 m, průměrná hloubka je pouze 55 m. Jeho geografická poloha ho řadí do kategorie studených moří, což potvrzuje například každoroční zamrzání Botnického zálivu (Szaniawska, 2018). Odděluje Skandinávský poloostrov od zbytku kontinentální Evropy a je obklopeno devíti zeměmi – Dánskem, Estonskem, Finskem, Litvou, Lotyšskem, Německem, Polskem, Ruskem a Švédskem.

Latinský název „*Mare Balticum*“ (Baltské moře) se používal již v 11. století a může odkazovat na dánské průlivy (známé jako „belts“) nebo na to, že moře se táhne přes pevninu jako pás. Je také možné, že „baltas“ odkazuje v pobaltských jazycích, tj. litevštině a lotyštině na bílou barvu ledu a sněhu (Snoeijs-Leijonmalm et al., 2017).

Tradičně se dělí na pět hlavních oblastí: Beltové moře a úžina Kattegat (zahrnující Öresund) v západním Baltském moři, Vlastní Baltské moře (neboli Baltic Proper) s Arkonským mořem, Bornholmským mořem a Gotlandským mořem, dále pak Botnický záliv s Botnickým mořem a Ålandským mořem a Ostrovním moře, Finský záliv a Rižský záliv (Schiewer, 2008).

Většina přívodu vody pochází z řek, s výraznou sezónní i dlouhodobou variabilitou (Walday, 2002). Hlavní přítoky pocházejí z řek Něva, Visla, Němen, Odra a Daugava, přičemž Něva představuje 20 % přítoku sladké vody do celého Baltského moře. Voda z Baltského moře může v závislosti na hladině mořské vody a sezónních změnách vodního režimu pronikat daleko do vnitrozemí (Schiewer, 2008). Říční vody proudící do Baltského moře jsou příčinou kladné vodní bilance moře, ale jsou také zdrojem znečištěných vod, které přinášejí dusíkaté a fosforečné sloučeniny vyplavené z polí (Szaniawska, 2018).

Baltské moře je „mikro-přílivové“, což je v obecné oceánografii většinou definováno jako amplituda přílivu <2 m (Hayes, 1979). Přílivové změny jsou ve skutečnosti tak malé, že rozdíl mezi přílivem a odlivem je v podstatě nezjistitelný kdekoli v Baltském moři, protože je maskován mnohem většími výkyvy hladiny vody způsobenými změnami atmosférického tlaku a větry (Snoeijs-Leijonmalm et al., 2017).

Podle zjednodušeného systému lze celé pobřeží oblasti Baltského moře rozdělit do pěti typů pobřeží, která vznikla v různých časových obdobích a vlivem různých faktorů, jako jsou tektonické pohyby, ledovcová eroze, ledovcové usazování a pokračující větrné a pobřežní procesy. Zatímco na jižním a jihovýchodním pobřeží Baltského moře převládají otevřené písečné pláže nebo lagunové a boddenské pobřeží v severozápadní části převládají skalnatá souostrovní pobřeží. Fjordová a klifová pobřeží jsou vzácná. Velikost zrn hornin a sedimentů je důležitým environmentálním faktorem, např. určuje typ makrofytové vegetace a doprovodné fauny (Snoeijs-Leijonmalm et al., 2017).

1.2 Ekologická historie kvartéru

Během posledního milionu let prošla oblast Baltského moře nejméně třemi velkými vnitrozemskými dobami ledovými a souvisejícím zaledněním (důkazem je mimo jiné zvýšený výskyt jezer v nejseverněji položených státech obklopující Baltské moře) (Haakansson, 2003).

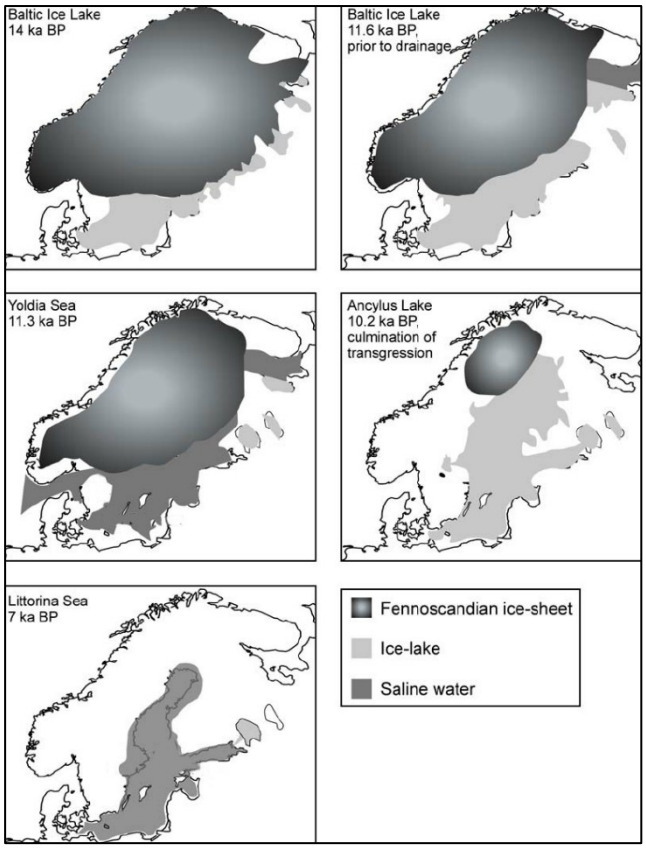
Baltské moře v dnešní podobě je relativně velmi mladé (Walday, 2002). Od doby před 20 000 lety byla baltská pánev zcela pokryta ledovcem a poté prošla několika střídavými fázemi sladkovodního a brakického prostředí, včetně brakického moře s vyšší slaností než současné Baltské moře. (Snoeijs-Leijonmalm et al., 2017). Poslední zalednění, které je pro nás nejdůležitější, nazývá se Vistulské, trvalo přibližně od 120 000 let před současností do přibližně 10 000 let před současností. Poslední odtávání ledovců v oblasti Baltského moře začalo před asi 15 000 lety.

Během elsterského a saalského období měla ledová pokrývka maximální tloušťku až 3 000 m. Vnitrozemský led zadržoval velké množství vody, což mělo vliv na hladinu moře. V období maximálního zalednění byla hladina moře asi o 120 m nižší než dnes.

Celá krajina Baltského moře je ovlivněna a formována ledovcovou činností (působila zde síla masy ledu) a izostatickým zdvihem pevniny, tj. zvedáním pevniny po jejím stlačení vnitrozemským ledovcem. Jak led tál a ustupoval, vzniklo Baltské ledové jezero. Následné zmírnění klimatu způsobilo další zmenšení ledu a před přibližně 10 000 lety si Baltské ledové jezero našlo nový odtok přes střední Švédsko. Vzniklo tak Yoldijské moře, které propojilo Baltské moře s Atlantikem. Brzy se však povrch středního Švédska zvedl nad hladinu moře a před asi 9 400 lety vzniklo nové jezero, Ancylus. Teplota postupně stoupala. Když se mezi dnešním Dánskem a Německem (u dnešního poloostrova Darss) vytvořil nový výtok, vzniklo před asi 8 000 lety moře Litorina. Všechny mořské organismy, které se dnes vyskytují v Baltském moři, musely přicestovat z Atlantického oceánu po otevření dánských průlivů před 8000 lety (Björck, 1995). Od období Litoriny až po současnost teplota i hladina moře klesaly, avšak s výkyvy. Výsledky poslední doby ledové jsou v dnešní baltské krajině stále viditelné, např. v podobě okrajových morén a ledovcových usazenin. Obr. 2 ilustruje proces formace Baltského moře od fáze Baltského ledovcového jezera až po moře Litorina.

Ústup ledu sice skončil před 8 000 lety, ale země v této oblasti se stále zvedá, i když ne signifikantně. Současné izostatické zvedání země je nejvýraznější v severní části regionu. V Botnickém zálivu činí 90 cm za 100 let, v centrální části Baltského moře (od Ölandu po Lotyšsko) klesá na nulu a v Německu dosahuje dokonce záporných hodnot, tj. ponoření.

To má významný dopad na mnoho současných ekologických a sedimentologických procesů (Haakansson, 2003).



Obr. 1*:* Paleogeografie fází prostředí Baltského moře. Vizualizaci vytvořil Joonas Virtasalo (Virtasalo, 2006).

1.3 Klimatická charakteristika

Baltské moře se rozprostírá od severu k jihu v délce přes 1 400 km. Zatímco jižní část Baltského moře leží v mírném pásmu, severní část má subarktické podnebí. Na jihu se průměrná měsíční teplota vzduchu pohybuje mezi 0 °C v zimě a 20 °C v létě, na severu se pohybuje mezi −9 °C v zimě a 18 °C v létě. To vede k průměrnému teplotnímu gradientu v povrchových vodách Baltského moře 4–5 °C mezi jihem a severem, a to jak v létě, tak v zimě. Největší rozdíly v teplotě povrchové vody jsou však sezónní.

Únor je v průměru nejchladnějším měsícem roku s teplotami povrchové vody v rozmezí <0 až 3 °C. Srpen je v průměru nejteplejším měsícem roku s teplotami povrchové vody v rozmezí 15 až 20 °C. Teplota vody u dna je po celý rok poměrně stabilní a pohybuje se od 2–6 °C. Kvůli

anomálii hustoty vody se Baltské moře chová spíše jako sladkovodní jezero než jako moře, pokud jde o tvorbu zimní ledové pokrývky - vertikální konvekce v moři nepřestává jako ve sladkovodním jezeře a mořská voda nezamrzá tak snadno, i když je vzduch studený. Většina Baltského moře zamrzá při teplotě kolem −0,4 °C, zatímco maximální hustoty dosahuje při teplotě kolem +2,5 °C. Voda proto zůstává na povrchu, když je její teplota mezi −0,4 a +2,5 °C, což urychluje další ochlazování a usnadňuje tvorbu ledu.

Povrchová voda Botnického zálivu a nejvýchodnější části Finského zálivu každoročně zamrzá. V severní části Botnického zálivu může ledová pokrývka přetrvávat až šest měsíců (Snoeijs-Leijonmalm et al., 2017). Počet dnů pokrytí ledem však kolísá z roku na rok (Jevrejeva et al., 1994).

1.4 Gradient salinity

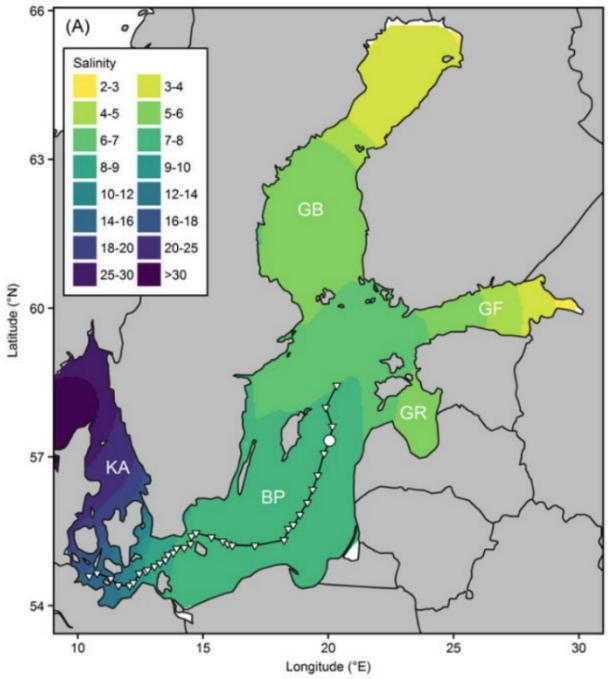
Baltské moře je největším brakickým vodním systémem na světě (Walday, 2002). Brakická voda Baltského moře je směsí oceánské vody z Atlantiku/Severního moře a sladké vody z řek povodí Baltského moře. Řeky přinášejí do Baltského moře různé množství rozpuštěných minerálních solí vyplavených ze zvětralých hornin, zejména uhličitanu vápenatého ($CaCO_3$). Tento přísun způsobuje odchylku ve složení rozpuštěných solí ve srovnání se standardní mořskou vodou, v níž dominují chloridy sodíku a hořčíku. Omezená výměna vody s otevřeným oceánem navíc brání rychlému vyrovnávání těchto rozdílů, takže vyšší koncentrace uhličitanu vápenatého přispívá k relativně stabilnímu alkalickému prostředí Baltského moře (Feistel et al., 2010). Voda Baltského moře se vyznačuje výraznými gradienty slanosti, a to jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru. Mělké a relativně úzké průlivy mezi Švédskem a Dánskem (Skagerrak a Kattegat) zajišťují omezenou výměnu vody s Atlantským oceánem. Existuje patrný gradient slanosti od téměř oceánských podmínek v severní části Kattegatu po téměř sladkovodní podmínky v severní části Botnického zálivu (Obr. 2a) (Walday, 2002).

Charakteristickým fenoménem je tzv. haloklina, kterou Snoeijs-Leijonmalm vysvětluje jako neviditelnou „skokovou vrstvu“, kde dochází k ostré změně salinity s hloubkou (Snoeijs-Leijonmalm et al., 2017). Slanost a stratifikace v hlubších pánvích souvisí s prouděním z hlavních baltských přítoků vody Severního moře, které se vyskytují sporadicky a transportují slanější a okysličenou vodu do spodních vrstev Baltského moře (Obr. 2b). Po těchto přítocích často následuje období stagnace bez přílivu slané vody ze Severního moře, během něhož permanentní haloklina slábne a v některých pánvích dokonce mizí. V oblastech, kde přetrvává stratifikace slanosti, se vytváří rozsáhlé oblasti s nedostatkem kyslíku (Matthäus, 2006).

Rozložení rostlinných a živočišných druhů je výrazně ovlivněno salinními gradienty Baltského moře (Walday, 2002). Jak je typické pro většinu brakických vodních systémů, počet mořských druhů klesá s klesající slaností. Obecně platí, že počet druhů patřících do třídy Bangiophyceae a Fucophyceae klesá a počet druhů patřících do třídy Chlorophyceae stoupá s klesajícím gradientem slanosti (Martin, 2000).

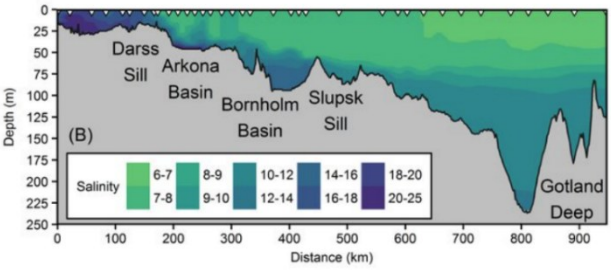
1.5 Diskuze

Baltské moře představuje světově unikátní a komplexní brakické prostředí. Jeho současné fyzikální charakteristiky jsou výsledkem kombinace geografických podmínek (jako je relativně vysoká zeměpisná šířka a boreální klima mající dopad na srážkový úhrn a přítok říčních vod do Baltského moře) a podmínek vytvořených zejména během období kvartéru (střídání brakického a mořského prostředí a postupný úbytek ledovcové pokrývky, který významně formoval tamní reliéf). Mělčiny vzniklé po ústupu ledovců ovlivňují vertikální cirkulaci slané vody, horizontální salinní gradient od západu k východu je determinován omezenou výměnou s otevřeným Severním mořem a zmiňovaným vlivem říčních přítoků. Je tedy patrné, že jednotlivé fyzicko-geografické a ekologicko-historické faktory Baltského moře jsou úzce propojené a společně určují jeho současný charakter. Náčrt současných podmínek podmořské krajiny Baltského moře je nezbytný pro kontext strukturálního i druhového složení makrofytových společenstev.



Obr. 2a: Rozložení slanosti u hladiny v hlavních podoblastech Baltského moře (KA: Kattegat, BP: Vlastní Baltské moře, GB: Botnický záliv, GF: Finský záliv, GR: Rižský záliv). Kruh označuje monitorovací stanici BY-15 (57°19'N 020°05'E) v Gotlandské hlubině

Převzato z článku Jense Davida Müllera, Ph.D (Müller, 2018)



Obr. 2b: Vertikální profily slanosti Baltského moře zobrazené jako interpolovaný průřez

Převzato z článku Jense Davida Müllera, Ph.D (Müller, 2018)

2 Struktura a charakteristika bentické vegetace Baltského moře a vliv abiotických faktorů

2.1 Obecná struktura

Pobřežní ekosystémy náleží ke globálním hotspotům biodiversity a produktivity (Spalding et al. 2007). Nacházejí se na rozhraní mezi pevninou, vzduchem a mořskými vodami, které všechny současně ovlivňují tamní společenstva (Cloern et al.2016). Nielsen ve své práci rozděluje 22 makrofytových oblastí Baltského moře, ve kterých eviduje celkem 422 druhů makrořas. Tabulka (Tab. 1) níže uvádí počty druhů u každého přítomné třídy.

Tab.1 – Převzato z Nielsen et al. 1995

Oddělení	Počet druhů
Bangiophyceae	156
Charophyceae	16
Chlorophyceae	110
Fucophyceae	128
Tribophyceae	12

Makrofyty jsou nesmírně důležité pro fungování celého ekosystému Baltského moře a pro udržení bentické biodiverzity (HELCOM, 2009). Funkce makrofytových společenstev v Baltském moři je totiž především tzv. habitat formující – slouží jako úkryt, místo pro rozmnožování nebo přichycení, případně i jako potrava nejrůznějším živočichům. Další významnou funkcí v ekosystémech může být také čištění vodního prostředí, díky zachycování sedimentů. Takto dokáží čistit prostředí například zelené řasy parožnatky (*Charophyceae*) (Torn et al., 2004). Nelze opomenout také fenomén posledních let, kterým je využívání řas jako bioindikátoru prostředí. Například Winde a kolektiv ve své studii použili řasu *Fucus vesiculosus* jako indikátor izotopů síry, uhlíku a dusíku. *F. vesiculosus* je schopen morfologicky i fyziologicky odrážet např. míru antropogenního znečištění (Winde et al., 2017).

Hlavní „baltické pobřežní zóny“ v kontextu ekologie pobřežních vod ve své publikaci uvádí a charakterizuje Schiewer (Schiewer, 2008). Ten se na rozdíl od Nielsena (Nielsen et al., 1995) zaměřuje pouze na čtyři oblasti – jižní pobřeží Baltského moře, východní pobřeží, severovýchodní pobřeží Baltského moře, západní pobřeží Baltského moře (Schiewer, 2008).

2.2 Struktura a charakteristika vegetace v závislosti na typu podloží

Pro jednoznačnější ilustraci struktury a charakteristiky makrofytové vegetace Baltského moře jsou však následující odstavce rozděleny nikoli podle geografických oblastí výskytu, ale podle substrátu, který dané makrofyty porůstají. Typ substrátu je totiž hlavním činitelem, který ovlivňuje druhové složení na regionální úrovni (HELCOM, 2009). Zmíněny jsou však příklady geografických areálů Baltského moře, kde se takový typ substrátu a vegetace nachází.

Měkké písčito-bahnité substráty mají původ v ledovcovém sedimentu, jsou časté v oblastech hlubších pánví, fjordových zálivů a kanálů (Schiewer, 2008). Sedimenty na dně se skládají

převážně z hrubozrnného písku, písčitého mořského bahna a deltového bahna (Krzymiski et al. 2004). Typicky se jedná o oblasti jižního a jihozápadního Baltského moře (pobřežní vody Dánska, Německa, Polska a Kaliningradské oblasti) a některé oblasti Východního Baltského moře (pobřežní vody Litvy, Lotyšska, části Estonska, Petrohradské oblasti).

V oblastech s písčitými dny často dominuje *Zostera marina* (Obr. 3) z řádu Alismatales, známá v angličtině jako tzv. „úhoří tráva“ (Schiewer, 2008). Přítomnost tohoto druhu snižuje pohyb vody, proto toto prostředí hostí velmi malý počet druhů rostlin a bezobratlých, zvyšuje také sedimentaci, v důsledku čehož je obsah organické hmoty v zónách výskytu druhu *Zostera marina* vyšší ve srovnání s okolním neporostlým písčitým substrátem (Martin et al., 2010). Porosty, také zvané „podmořské louky“, mají zajímavou schopnost měnit směr mořských proudů, stabilizovat sediment, čímž zabraňují erozi dna, a podílejí se na koloběhu prvků, látek a toku energie. Každá louka je odlišná a vyznačuje se specifickými environmentálními podmínkami. Gintowt a kolektiv uvádějí, že studie prokázaly, že i louky nacházející se ve stejné oblasti se mohou lišit svou funkčností (Gintowt et al., 2025). Louky *Z. marina* jsou ale také velmi důležité pro přezimující vodní ptactvo, kterému slouží jako zdroj potravy (Martin et al., 2010).

Mělké vody s nízkou salinitou a s měkkými písčitými substráty hostí také společenstva s vysokou dominancí zelených řas parožnatek (*Charophyceae*). Ze studie Baasturpa a kolektivu vyplývá, že jsou velmi ohroženy vymizením z měkkých sedimentů nejen v brakických vodách, ale i jezerech, rybnících, potocích v severských a většině ostatních evropských zemí (Baastrup-Spohr et al., 2013). Charofytové podmořské louky silně ovlivňují průhlednost vody, díky svým rhizoidům, kterými stabilizují sediment – v mělkých vodách tak fungují jako zásobárny živin. Jsou důležitou součástí potravní sítě bentických bezobratlých, vodního ptactva, ryb a rybích larev. Nejznámějšími druhy jsou *Chara aspera, Chara tomentosa, Chara baltica* (Obr. 4 b) (Martin et al., 2010). Torn a kolektiv uvádějí, že právě typ pobřeží s četnými mělkými zátokami s měkkým písčitým a bahnitým dnem spolu s nízkou slaností poskytuje parožnatkovým společenstvům vynikající prostředí, jako takové uvádí například oblasti u estonských ostrovů (Torn et al., 2004).

Tvrdé kamenité substráty odkazují na preglaciální povrch skalnatého podloží. Výskyt takových substrátů je typický v pobřežních regionech Švédska, Finska a severních částí Estonska. Jedná se o geografické lokality, které byly přímo ovlivněny činností ledovce a zároveň se nacházejí severněji než již zmiňované regiony typicky měkkých substrátů, proto jsou zde přítomné ledové

abrazní procesy, které historicky podporovaly, a i nadále podporují genezi a zachování tvrdých kamenitých sedimentů. V boreálních a subarktických oblastech může být taková ledová abrazní činnost důležitým faktorem pro strukturu společenstva skalnatých pobřeží (Bergeron & Bourget, 1986).

Tomuto typu substrátu dominují porosty chaluhy *Fucus vesiculosus* (Obr. 4c), vlajkového druhu Baltského moře. Porosty *F.vesiculosus* hostí relativně velké množství druhů rostlin a bezobratlých (Martin et al., 2010). I proto je *F. vesiculosus* nejdůležitějším fytobentickým druhem formující takzvané „fucusové pásy (belty)" sublitorálu, které mají pozitivní vliv na biodiverzitu, protože, jak bylo již zmíněno, poskytují zdroj potravy i stanoviště pro mobilní i sesilní faunu a jiná makrofytová společenstva, například často epifytické rody řas, *Ceramium* (Obr.4a), *Ectocarpus, Pilayella*, *Polysiphonia*, *Battersia* (Martin et al., 2010). *F. vesiculosus* není ani zdaleka jediným fucusovým druhem Baltského moře. Dalšími jsou *F. serratus, F. radicans*, přičemž *F. radicans* je relativní recentním a endemickým druhem Baltského moře. Zmíněné druhy obývají totožnou ekologickou niku a jejich význam pro Baltské moře je nesporný (Rinne & Salovius-Laurén, 2020). Důležité je zmínit existenci volně ležící formy (nepřichycené formy, pozn. autorky) rodu *Fucus*, která se pro svou nezávislost na substrátu může vyskytovat i v místech, která jsou pro *Fucus* značně atypická, příkladem mohou být zátoky, slaniska a ústí řek (Preston et al., 2025).

Dalším druhem tvořícím „pásy", hned pod těmi fucusovými, je červená řasa *Furcellaria lumbricalis* (Martin et al., 2010). Tato řasa roste typicky epiliticky v sublitorálu, přičemž husté porosty tvoří v centrální a severní části Baltského moře. Rozlehlé louky se v minulosti vyskytovaly v západní části Baltského moře v takovém množství, že se plánovalo sklízet tento druh pro výrobu karagenanu, v současnosti však *F. lumbricalis* v této oblasti nahradily druhy červených řas jako *Coccotylus truncatus, Delesseria sanguinea* nebo *Phycodrys rubens* (HELCOM, 2013). V případě poměrně vzácných volně ležících forem červených řas *F. lumbricalis a Coccotylus truncatus* je výskyt nezávislý na typu substrátu, protože nejsou k žádnému substrátu přichyceny (Paalme et al., 2013). Komunita těchto volně ležících forem je nejvíce rozvinuta v moři Západoestonského souostroví (Paalme et al., 2011).

Middelboe konstatuje, že skalnatá pobřeží s tvrdými kamenitými dny hostí více druhů než oblasti s měkkým pobřežím, kde jsou bentické makrořasy převážně omezeny na rozptýlené kameny obklopené sedimenty s měkkým dnem (Middelboe et al., 1997).

Obr. 3: Porosty neboli „mořské louky“ *Zostera marina*, podobně jako tato v oblasti Noer v Baltském moři, tvoří základ mělkých vodních habitatů

Převzato z Geomar.de, Autor snímku: Jan Dierking

Obr. 4: Fotografie vybraných vzorků: (a) *Ceramium tenuicorne* , (b) *Chara* spp., (c) *Fucus vesiculosus*

Převzato z Vahtmäe et al., 2025

2.4 Vliv eutrofizace a anoxie na strukturu a charakteristiku vegetace

Nejen mořský led, ale i mnohé jiné faktory mají vliv na eutrofizaci Baltského moře. Následující definice eutrofizace jasně indikuje, že struktura i charakteristika vegetace se s rostoucí eutrofizací vod mění, a to bohužel ne příznivě pro daná makrofytová společenstva, čímž je zásadně ohrožena celková biodiverzita (HELCOM, 2019). Eutrofizace je proces obohacování vody nadbytkem živin, především fosforu a dusíku, což vede ke zvýšenému růstu „vodního květu“ (př. *Cyanobacteria, Bacillariophyta, Dinoflagellata*), zvýšenému zákalu a úbytku kyslíku vedoucímu k anoxii (jedná se o úplný nedostatek kyslíku – pozn. autorky). Navíc, například kvetení toxických řas rodu Chrysochromulina v roce 1988 mělo negativní dopad na druhovou rozmanitost řas. Vytrvalé řasy byly toxiny řas viditelně poškozeny, avšak u většiny z nich již v září 1988 vyrostly nové stélky a také jednoleté řasy začaly opět osidlovat danou oblast (Pedersén a Snoeijs, 2001). Navzdory snahám o snížení přísunu živin z pevniny přetrvává úbytek kyslíku a rozšiřování anoxických oblastí. To je způsobeno neefektivním ukládáním fosforu za anoxických podmínek, což vede k jeho uvolňování ze sedimentů a podporuje eutrofizaci (Kuliński et al., 2022; Meier et al., 2023). Dlouhodobá eutrofizace může vyvolat změny ve složení druhů, kdy jsou druhy, jimž eutrofní podmínky vyhovují, zvýhodňovány přímo nebo prostřednictvím interakcí v potravním řetězci, a naopak (HELCOM, 2023). Následná anoxie dále narušuje ekologickou rovnováhu a kvalitu vody, vznikají zde tzv. *death-zones* bez flóry a fauny (Mehner, 2009). Mezi rané příznaky eutrofizace patří zvýšená koncentrace chlorofylu ve vodním sloupci a růst oportunistických řas. Tyto jevy vedou ke snížení průzračnosti vody (lze zjistit užitím Secciho disku – pozn. autorky) a ke zvýšenému ukládání organického materiálu na mořské dno, což zase zvyšuje spotřebu kyslíku a může způsobit jeho vyčerpání (HELCOM, 2023).

Eutrofizace dále výrazně umocňuje problémy způsobené přímo i nepřímo globální klimatickou změnou. Parn a kolektiv publikovali v roce výzkum zaměřený na spojení těchto dvou fenoménů. Uvádí zjištění, že úbytek mořské ledové pokrývky v důsledku změny klimatu mohl přispět k rychlejšímu dosažení dobrého environmentálního stavu Baltského moře. Pět ze šesti indikátorů v jejich studii naznačuje negativní dopad mořského ledu na stav eutrofizace Baltského moře, s výrazným nárůstem ledu pozorovaným na začátku 70. let 20. století, následovaným poklesem na konci 80. let (Parn et al., 2024).

Mořský led má zásadní vliv na turbulentní proudění na vodní hladině i pod ní, což ovlivňuje termodynamiku oceánu a míchání vody, dochází dále ke stratifikaci a neprostupnosti trofických sítí. Významným způsobem, kterým nárůst mořského ledu podporuje eutrofizaci, je ten, že led

samotný i sněhová pokrývka na něm fungují jako izolant, brání výměně tepla, oxidu uhličitého (CO_2) a dalších plynů mezi vzduchem a mořem a vytvářejí bariéru mezi oceánem a atmosférou. Sněhová pokrývka na mořském ledu navíc významně ovlivňuje rozložení světla. V důsledku toho mírný úbytek ledové nebo sněhové pokrývky zvyšuje sluneční záření pod vodní hladinou. Celý komplex těchto podmínek vede k akumulaci organické hmoty na mořském dně, což podporuje eutrofizaci (Parn et al., 2024).

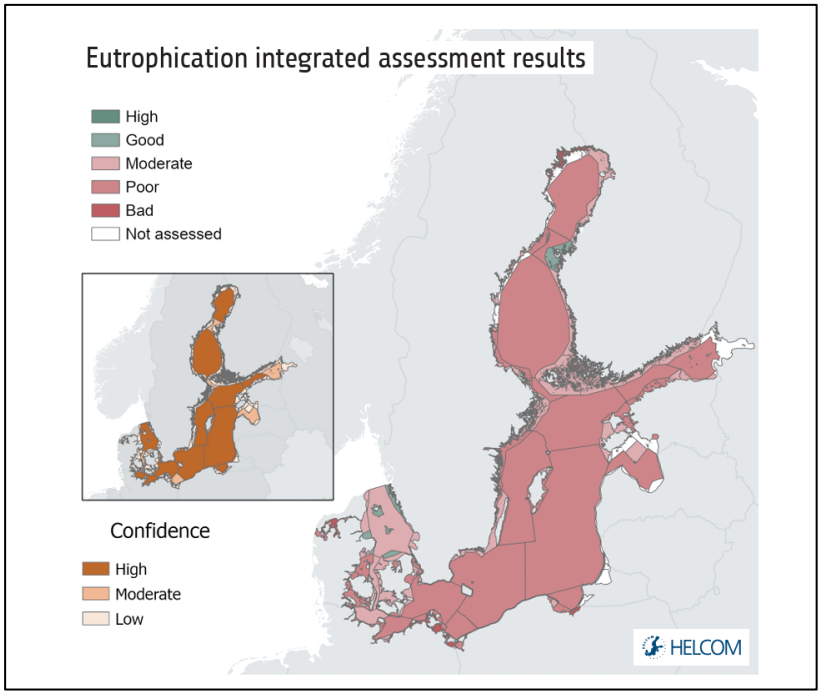
Je důležité poznamenat, že studie nezohlednila další jevy spojené se změnou klimatu, jako jsou změny srážek a teploty. Nicméně lze zvážit potenciální dopady rostoucích teplot. Vyšší teploty mohou vést ke zvýšené stratifikaci ve vodním sloupci, což snižuje vertikální míchání a omezuje transport živin z hlubších vrstev do povrchových vod, což by mohlo snížit kvetení řas (Hordoir & Meier, 2012). S klesajícím rozlohou a zmenšující se délkou trvání mořského ledu by však snížené hladiny živin v povrchové vrstvě a zvýšené turbulentní míchání, jak naznačuje tato studie, mohly upřednostňovat dominanci rozsivek a potenciálně snižovat pozdější proliferaci sinic. To by vedlo k efektivnějšímu trofickému přenosu, kdy by se primární produkce plněji spotřebovávala, což by vedlo k menšímu usazování organické hmoty na mořském dně a pozitivně by to přispělo ke snížení eutrofizace (Parn et al., 2024).

3 Antropogenní faktory jako „nový“ druh disturbance pro makrofytová společenstva

3.1 Eutrofizace jako významný důsledek neudržitelné antropogenní činnosti v Baltském moři

Baltské moře je vystaveno značnému antropogennímu tlaku, přičemž hlavním problémem je eutrofizace. Navzdory rozsáhlému úsilí o zmírnění zátěže živinami je obnova ekosystému pomalá (Elmgren et al., 2015), což má za následek přetrvávající anoxii v hlubokých vodách a opakující se květy planktonních sinic (Reckermann et al., 2022). Jak uvádí Blue Manifesto (vědecky podložený desetiletý akční plán, který zahájilo více než 100 environmentálních organizací s cílem chránit a obnovit evropské oceány a pobřeží do roku 2030 – pozn. autorky), rozlišování mezi dopady změny klimatu a eutrofizací vyvolanou člověkem je složité, ale klíčové pro udržení zdravého mořského ekosystému (Seas At Risk, 2020). Pravděpodobné je však, že klimatická změna spíše soustavně umocňuje antropogenní znečištění. Bylo rovněž naznačeno, že dopady a projevy globální změny klimatu se v Baltském moři projevují rychleji

než v jiných pobřežních oblastech světových oceánů a že Baltské moře lze proto považovat za „stroj času pro budoucí pobřežní oceán“ (Reusch et al., 2018). Počiny jako Blue Manifesto proto vznikají jako reakce na alarmující stav moří Evropy (více o ochraně a organizacích podporujících obnovu Baltského moře v závěru kapitoly 3). Nutno konstatovat, že přísun živin do Baltského moře se dle reportu HELCOM z roku 2023 výrazně snížil, avšak cíl pro maximální přípustné množství zatím nebyl ve všech povodích dosažen (HELCOM, 2023). Cíl maximálního přípustného množství pro dusík byl splněn v Botnickém zálivu, Botnickém moři, Dánských průlivech a Kattegatu. V centrálním Baltském moři a Finském zálivu byla hodnota maximálního přípustného množství překročena a výsledky pro Rižský záliv byly statisticky nejisté. Cíl pro maximální udržitelné hodnoty fosforu byl splněny v Botnickém zálivu, Botnickém moři, Dánských průlivech a Kattegatu. Ve zbývajících dílčích povodích bylo maximální přípustné množství překročen i u fosforu. Stav vod Baltského moře v souvislosti s eutrofizací ilustruje Obr. 6.

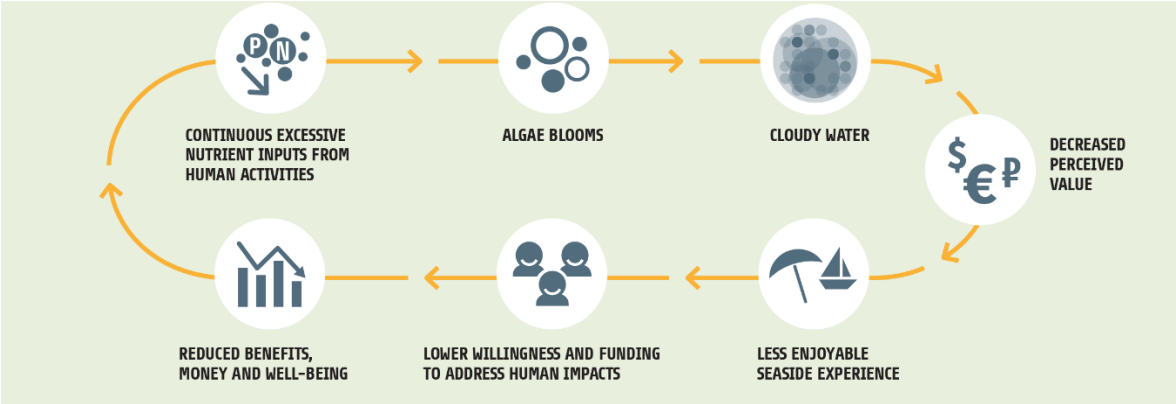


Obr. 6: Souhrn výsledků hodnocení eutrofizace vod Baltského moře z roku 2023

Převzato z HELCOM.fi

Znečištění vod Baltského moře poškozuje celý ekosystém a kvůli tomu i ekonomiku regionu. Vysoké náklady na čištění, snížené příjmy z cestovního ruchu, poškození rybářského vybavení a ztráta rybolovných možností kvůli změnám v rybích populacích, zvýšené náklady na dopravu do nezasažených oblastí a snížení kulturních a historických hodnot, to vše připravuje rozpočty o značný kapitál. HELCOM uvádí, že každoročně připraví slabý environmentální status

Baltského moře sektor cestovního ruchu až o 9 miliard euro. Očekává se, že dosažení dobrého stavu eutrofizace Baltského moře významně zvýší lidské blaho a přinese společnosti i mořskému ekosystému nemalé přínosy. Baltské moře má značný potenciál pro zpomalení globální klimatické změny – jeho fytoplankton a podmořské louky tvořené zmiňovaným makrofytem *Zostera marina* zachycují značné množství CO_2 z atmosféry, které přeměňují fotosyntézou na organický uhlík a ukládají ho na mořském dně (HELCOM, 2025). Stručné schéma ukazuje celý cyklus ekonomické zátěže Baltského moře v souvislosti s jeho eutrofizací (Obr. 7).



Obr. 7: Schéma ukazuje, že Baltské moře čelí důsledkům klimatických změn a úbytku biologické rozmanitosti, které jsou vyvolány určitými faktory vyplývajícími z neudržitelných lidských činností. Tyto faktory, jako je znečištění, splavování živin z hnojiv a škodlivé činnosti v pobřežních oblastech, vedly k úbytku biologické rozmanitosti a ke zhoršení kvality života lidí, stejně jako k rozsáhlým finančním ztrátám.

Převzato z HELCOM.fi

Na druhé straně, studie Schernewskeho a kolektivu upozorňují na to, že Baltské moře bylo vždy částečně eutrofizovaným systémem. Při konkrétním zaměření na Štětínský záliv zjistíme, že voda zde nikdy nebyla čistá a bentickým makrofytům se zde nedařilo. Za potenciální historické maximum považujeme pouze 36% pokrytí plochy zálivu makrofyty. Na vině může být přirozená mělkost zálivu. Stávající cíle týkající se průzračnosti vody se proto dle Schernewskeho a kolektivu jeví jako příliš ambiciózní a nereálné. Zdá se však, že se ekologicky cenné krytosemenné rostliny a charofyty zotavují. Jedním z opatření na podporu opětovného

osídlení makrofyty by mohlo být důsledné vyhýbání se mechanickým zásahům. Systematické zlepšování stavů rybích populací živících se jinými rybami (těmi, které v nadlimitní míře spásají a jinak poškozují řasové populace) může být také potažmo podpůrným opatřením ke snížení eutrofizace (Schernewski et al., 2023).

3.2 Příklady dalších antropogenních vlivů v Baltském moři

Eutrofizace není zdaleka jediným lidsky indukovaným problémem Baltského moře. Znečištění je generováno z mnoha zdrojů. Jedná se o odpady z hutnictví a pevninského průmyslu, lodní dopravu (př. koroze trupů lodí, únik paliva) a rybářský průmysl, odpadní vody z měst a atmosférickou depozici. V dnešním světě plném plastových výrobků a neuváženého nakládání s nimi není divu, že se i do Baltského moře, ať už přímo či pomocí říční sítě dostávají mikrofragmenty nejrůznějších plastových produktů.

Plastové částice mohou na organismy působit fyzicky (mechanicky) prostřednictvím požití, případně mohou sloužit jako přenašeče znečišťujících látek a jako nebezpečné substráty pro organismy a dále ovlivňovat vlastnosti sedimentů (Duis & Coors, 2016). Mikroplasty však mohou škodit i chemicky – chemické látky vznikající při rozkladu samotných plastových polymerů mohou mít negativní vliv na růst a fotosyntézu řas a mohou také poškodit mnoho druhů ryb a bezobratlých živočichů žijících v makrořasách (Esiukova et al., 2021). Stav makrofytů tak může být dobrým indikátorem ekologického stavu Baltského moře, jak však zmiňuje studie Gubelit a kolektivu, schopnost řas absorbovat nejrůznější polutanty, a zejména těžké kovy z průmyslu a hutnictví ovlivňuje příliš mnoho faktorů (Gubelit et al., 2023). Bilal a kol. (Bilal et al., 2018) zjistili, že různé druhy řas mají různou biosorpční kapacitu, která závisí na afinitě kovu k jejich buněčným stěnám. Důležité je také zohlednit fakt, že během sezóny se bioakumulační schopnost makrořas může měnit (Gubelit et al., 2023). Kromě toho biosorpční procesy ovlivňují faktory, jako je pH a koncentrace iontů Ca, Mg, K a Na v prostředí (Rajfur, 2013). Nutno uvést zjištění ze studie Steinhagen-Schneider, kdy akumulace těžkých kovů v makrořasách závisí jak na celkové koncentraci kovů v okolí, tak na jejich dostupnosti, která se zvyšuje s klesající slaností mořské vody. Příkladem může být, že řasy rostoucí v brakické vodě centrálního Baltu (slanost ~7‰) obsahují až desetinásobně více kadmia než řasy z mořské vody Severního moře (~30‰), protože nižší slanost zvyšuje biologickou dostupnost kovů (Steinhagen-Schneider, 1981). To naznačuje, že Baltské moře a jeho makrofyty jsou přirozeně podporovány v kumulaci těžkých kovů, zejména kvůli nízké slanosti a také kvůli nízké turbiditě vody.

Ekosystém Baltského moře je dnes zatížen nejrůznějšími látkami, které se rozkládají pomalu a hromadí se v tělech organismů. Nejškodlivější jsou látky, které se hromadí v potravním řetězci a koncentrují se na jeho vrcholu: v dravých rybách a v ptácích a savcích (včetně lidí), kteří se živí rybami. Mezi tyto látky patří některé těžké kovy. Jejich koncentrace jsou ve finských mořských oblastech sledovány obzvláště pečlivě, jak je zjevné ve studii popsané níže.

Využití kompostu z makrořas jako hnojiva je dnes již poměrně běžné v agrikultuře i hortikultuře. Ve výzkumu Gregera a kolektivu bylo zkoumáno, zda jsou těžké kovy kumulované v biomase řas přenášeny na plodiny, které byly touto biomasou pohnojeny, do té míry, že by hodnoty těžkých kovů v plodinách překročily oficiální limity EU. Kadmium (Cd) se ukázalo být kritickým prvkem – Jeho koncentrace v kompostech i plodinách překračovaly oficiální limity EU pro ornou půdu a kulturní rostliny. Ukázalo se také, že červené řasy přenášely do rostlin více Cd než hnědé řasy (konkrétně chaluha *Fucus serratus*), a to i přesto, že kompost z hnědých řas obsahoval Cd ve vyšší koncentraci. Závěrem studie uvádí, že na základě výsledků není doporučeno, aby byl řasový kompost ve velkém objemu využíván k pěstování potravinářských plodin (Greger et al., 2007). Na této studii je patrné, jak obzvlášť v dnešním globalizovaném světě mořské prostředí zamořené škodlivinami přímo snižuje kvalitu a nezávadnost potravních sítí, a tím lidské zdraví na genové i populační úrovni. Proto je nutné monitorovat stav Baltského moře a podstoupit kroky pro jeho zdravější budoucnost.

Baltské moře je kvůli jeho přetrvávajícím podmínkám náchylné k invazi nepůvodních druhů. Již zmiňovaná lodní doprava hraje důležitou roli v tom, jak se nepůvodní a invazivní druhy dostávají do Baltského moře. Nejdůležitějšími zdrojovými oblastmi pro invazivní druhy v Baltu jsou atlantické pobřeží Severní Ameriky, Ponto-kaspická oblast a západoevropské vody (Ojaveer et al., 2010). Introdukované druhy dokáží být značně ohrožující pro původní společenstva. Například *Gracilaria vermiculophylla* (Obr.8) je považována za jednoho z nejúspěšnějších invazních druhů mezi 23 makrořasami introdukovanými na evropské pobřeží. Probíhající eutrofizace, která způsobuje sníženou dostupnost světla a zvýšenou abundanci vláknitých řas, zůstává jedním z hlavních stresorů, přičemž se přidává i stresor v podobě konkurence s invazivními řasami jako je *Gracilaria vermiculophylla,* která pravděpodobně přispěla k úpadku původního *Fucus vesiculosus* (Bommarito, 2023).

Obr. 8: *Gracilaria vermiculophylla*

První záznam tohoto druhu z oblasti Kielského zálivu, Baltské moře, Německo. Druh identifikován Janem Ruenessem pomocí sekvencí DNA, fotografii pořídil Dirk Schories dne 21.08.2025

3.3 Dlouhodobá dynamika makrořasové vegetace

Mořské makrofyty prošly v posledních několika desetiletích znatelnými změnami v početnosti a druhovém složení, a to především v důsledku eutrofizace. Studie provedené v polovině minulého století jsou bohužel vzácné, ale o to cennější pro umožnění vhledu do změn v bentických společenstvech od raného nástupu masivní antropogenní eutrofizace Baltského moře. Mezi lety 1956 a 1993 byl pozorován pokles celkového počtu druhů/taxonů a nárůst pokrytí vláknitými řasami. Důležitý je také pokles hloubkového rozsahu výskytu *Fucus vesiculosus,* zřejmě kvůli snížené průhlednosti vody, právě v důsledku eutrofizace (Kautsky et al., 1986). Tyto změny ve fytobentických společenstvech pokračovaly i v letech 1993 až 2018, což naznačuje, že nedošlo ke změnám v dříve popsaných negativních trendech. Současné výsledky podporují zjištění, že eutrofizace severního Baltského moře je stále na vysoké úrovni, což zpomaluje nebo brání obnově fytobentosových společenstev na moři, a to navzdory pokroku pozorovanému v jiných oblastech. Pravděpodobnými hlavními hnacími silami změn jsou přímé a nepřímé účinky eutrofizace v kombinaci se zvýšenou teplotou vody, tj. vliv klimatických změn (Maarse et al., 2020).

Článek Viitasala a Bonsdorffa pojednávající o dlouhodobých změnách struktury i charakteristiky makrořasové vegetace Baltského moře označuje za hlavní příčiny rovněž

eutrofizaci a klimatickou změnu. Zdůrazňuje, že dopady klimatické změny nepůsobí izolovaně, ale vzájemně se kombinují a zesilují. Samotné okyselování oceánu má na makrořasy relativně malý přímý vliv, avšak v kombinaci s oteplováním a hypoxií může způsobit závažnou mortalitu, například u modelového organismu ekosystému Baltského moře, hnědé řasy *Fucus vesiculosus*. Dokumentovaný pokles průhlednosti vody v období let 1936 až 2017 vedl ke snížení vhodných ploch mořského dna pro tento druh o 45 % a na Ålandských ostrovech došlo k zmenšení hloubkového rozsahu výskytu na polovinu. Jako potenciální „náhradní" druh schopný částečně převzít ekologické funkce *Fucus vesiculosus* v nejsevernějších částech Baltského moře je uváděn endemický druh Baltského moře *Fucus radicans*, který je tolerantnější vůči nízké salinitě. Článek také poukazuje na to, že makrořasy a cévnaté rostliny reagují na klimatické změny do značné míry protichůdně. Pokles salinity poškozuje typicky mořské druhy jako *Furcellaria lumbricalis*, zatímco podporuje v propagaci sladkovodní cévnaté rostliny a charofyty, jejichž počty se v Dánsku snížily za posledních 70 let o 56 % (Viitasalo & Bonsdorff, 2022; Baasturp-Spohr et al. 2013). Zásadním ekologickým problémem však je, že makrořasy ustupují z tvrdých substrátů, zatímco cévnaté rostliny expandují na měkkých substrátech – tato náhrada není ekologicky ekvivalentní, protože oba typy rostlin obývají odlišné habitaty a plní odlišné ekosystémové funkce. Úbytek makrořas má proto vážné kaskádové dopady na celý ekosystém. Bezobratlí, ryby a ptáci závislí na porostech makrořas jsou přímo ohroženi jejich ztrátou (Viitsalo & Bonsdorff, 2022). Zároveň hrozí expanze oportunistických vláknitých zelených řas, jako je *Ulva intestinalis*, což může dále potlačovat zbývající populace *Fucus vesiculosus*, které byly už na některých místech nenávratně ztraceny. Významné poklesy výskytu *F. vesiculosus* se připisují stejnonožci *Idotea baltica*. Populacím *I. baltica* mohla napomáhat pokračující eutrofizace Baltského moře, série mírných zim v 90. letech 20. století a současný pokles některých potenciálních predátorů (Nilsson et al., 2004). V důsledku těchto procesů dochází celkovému snížení biodiverzity mělkovodních společenstev Baltského moře (Viitsalo & Bonsdorff, 2022).

3.4 Ochrana Baltského moře a jeho makrofytových společenstev

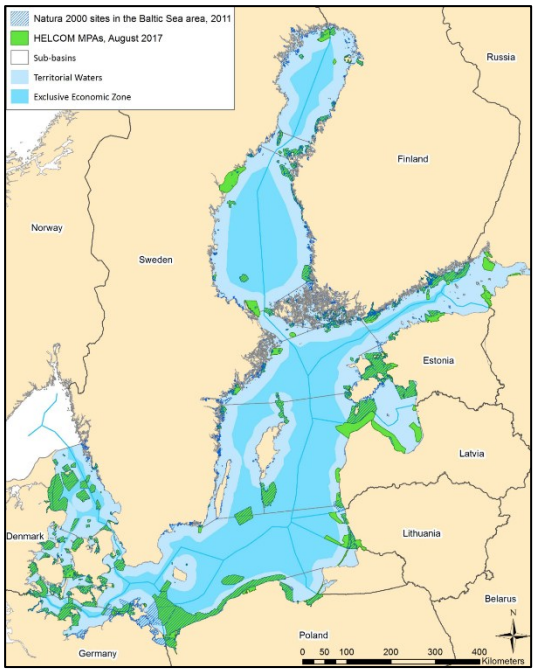
Hustě osídlená povodí a využívání zdrojů Baltského moře způsobují trvalé konflikty mezi ekonomickými zájmy a ochranou jedinečného prostředí Baltského moře. Proto je návrh účinného rozhraní mezi různými zainteresovanými stranami životně důležitý pro společenství v oblasti Baltského moře a má velký metodologický význam pro vědce, manažery a politiky nejen v Evropě, ale i po celém světě (Harff et al., 2011). Opatření ke zlepšení stavu životního

prostředí Baltského moře se realizují na mnoha úrovních, od subregionální až po globální. Na národní i místní úrovni odvádějí obyvatelé ve státech kolem Baltského moře důležitou práci a přijímají opatření ke snížení zátěže, zachování biologické rozmanitosti nebo obnově poškozených ekosystémů. Regionální koordinace v rámci HELCOM pomáhá identifikovat klíčové hrozby pro životní prostředí Baltského moře a určit opatření, která těží z regionální koordinace nebo ji vyžadují, aby měla potřebný účinek. Části Akčního plánu pro Baltské moře (BSAP, *Baltic Sea Action Plan* – pozn. autorky) se snaží zohlednit kombinaci tlaků, které vyplývají jak z lidské činností na souši, tak z činností na moři (HELCOM, 2021). Identifikují regionálně dohodnuté kroky, které jsou nezbytné pro to, aby země zastoupené v HELCOM dosáhly společných cílů. Hlavní cíle plánu týkající se řízení lidských činností a tlaků jsou: Baltské moře neovlivněné nebezpečnými látkami a odpadky, ekologicky udržitelné činnosti na moři a Baltské moře neovlivněné eutrofizací. Zapojují se i mezinárodní organizace jako Greenpeace (Obr. 9) a WWF (*World Wide Fund For Nature* – pozn. autorky). Jednotlivé zainteresované státy se také snaží o své vlastní iniciativy, příkladem může být finský *John Nurminen Foundation*. Původní snaha této organizace o vyzdvihnutí a ochranu zejména kulturního dědictví Baltského regionu se spojila se snahou docílit čistšího Baltského moře skrze komunikaci a osvětu, ale i konkrétní akce jako obnova podmořských luk, sklizeň rákosí či jednání se zástupci agrikulturních a průmyslových společností, konkrétně projekt sádrování polí a omezení znečištění z tankerů (johnnurmisensaatio.fi, 2026). Pro vysvětlení, sádrování polí může snížit odtok fosforu, který se značnou měrou podílí na posilování eutrofizace. Efektivní cestou je i přenesení tématu znečištění Baltského moře do nižších stupňů vzdělávacích organizací mládeže, čemuž přispívá mimo jiné projekt The Baltic Sea Project (Baltic Sea Project.org, 2026). Významnou roli v ochraně Baltského moře a jeho společenstev hrají také univerzity a vědecké obce v rámci Baltského regionu, ale také v mnoha jiných státech Evropy.

Společným rysem celé environmentální problematiky Baltského moře je, že nejúčinnějším způsobem, jak řešit vzniklé škody, je zabránit jejich vzniku nebo omezit jejich původní vstupy. Jakmile se polutanty dostanou do mořského prostředí, je zmírnění jejich dopadu a následná náprava ekosystému často velmi složitá, obtížná a nákladná ve srovnání s včasným zásahem. Různé tlaky mají různý rozsah dopadu, ale všechny způsobují nebo by mohly způsobit významné negativní účinky na ekosystém a jejich řešení je bezesporu důležité pro dosažení cíle, jímž je zdravé životní prostředí Baltského moře.

Níže přiložená mapa (Obr. 10) ilustruje počet a rozsah chráněných území v Baltském moři. Do roku 2013 bylo 64 % lokalit sítě Natura 2000 v Baltském moři zároveň součástí chráněných mořských oblastí HELCOM. Překrývající se oblasti mohou mít odlišný tvar i velikost, a to v závislosti na konkrétních ochranářských cílech. Chráněné mořské oblasti HELCOM se soustředí výhradně na pobřežní pásmo a mořské prostředí, kdežto lokality Natura 2000 mohou zasahovat také do vnitrozemí. Síť Natura 2000 zajišťuje ochranu přírodních stanovišť a druhů, které jsou považovány za významné z pohledu celé Evropské unie, zatímco síť HELCOM se zaměřuje specificky na ochranu mořských a pobřežních stanovišť a druhů typických pro oblast Baltského moře (HELCOM, 2017).

Obr. 9: „ZNEČIŠTĚNÉ A VYLOVENÉ – Vítejte v BALTSKÉM MOŘI!“ Greenpeace Polska
Převzato z TVN24, 2007



Obr. 10: Chráněné mořské oblasti HELCOM a oblasti Natura 2000 v Baltském moři. Data o chráněných mořských oblastech jsou ze srpna 2017 a data o síti Natura 2000 jsou z prosince 2011.

Převzato z: HELCOM.fi

Závěr

Tato bakalářská práce je rešerší zahraniční literatury, která pojednává o vegetaci Baltského moře a její současné podobě v důsledku různých environmentálních tlaků. Uvedená literatura zahrnuje široké období výzkumu Baltského moře od druhé poloviny 20. století až po recentní články. Starší články většinou sloužily jako nosné pilíře poskytující informační základ celého tématu a recentní poskytovaly zajímavé případové studie ilustrující změny ve vegetačních společenstvech Baltského moře. Díky tomu, že se jedná o široce studované téma po několik desetiletí, bylo snadné získat články, které jsou velice informativní. Jedinou slabší stránkou v rešeršní práci byl omezený počet ucelených zdrojů k tématu „dlouhodobá dynamika makrořasové vegetace“, bylo proto nutné mnohdy provést syntézu zdrojů a informace agregovat z jednotlivých zdrojů, ale ostatně i tak se pár komplexních výzkumů podařilo najít. Ve své diplomové práci bych se ráda věnovala ekologii makrofytů v oblasti Gdaňského zálivu a jejich sezonní dynamice v souvislosti s eutrofizací. Tato práce je doplněna o mou vlastní tvorbu v rámci kurzu vědecké ilustrace (Obr. 11).

Vegetace Baltského moře je nepostradatelným prvkem ekosystému. Zastává nejrůznější funkce od formování habitatů, přes zdroj obživy po stabilizaci sedimentu. S hloubkou poznání roste i schopnost využívat tyto přírodní zdroje lidmi v zemědělství, potravinářství, farmaceutickém průmyslu nebo například v udržitelném designu, což je případ *Zostera marina* jakožto vlákna k výrobě interiérových doplňků.

Na organismy Baltského moře jsou vyvíjeny environmentální tlaky, jako například znatelný salinní gradient, sezonní zamrzání, poryvy větru a teplotní výkyvy. V kombinaci s následky antropogenní excesivní činnosti, mezi něž patří eutrofizace a následná hypoxie a anoxie, koncentrace těžkých kovů v potravních sítích, všudypřítomné mikroplasty a ostatní přidružené jevy, je stav celého Baltského moře a jeho společenstev na hranici ekologického kolapsu. Největším současným problémem se jeví být eutrofizace a následné hypoxické či anoxické podmínky, které vedou k ztrátě vegetačních struktur, kvůli nedostatku kyslíku a světla pro fotosyntézu. Navzdory významnému snížení zatížení živinami od 80. let 20. století zůstává obsah živin v Baltském moři od roku 2000 stabilní nebo mírně zvýšený. Tato perzistence se připisuje historické akumulaci živin ve vodním sloupci a sedimentech, které mají dlouhou dobu zdržení, zejména fosfor má pomalejší rychlost obměny kvůli své tendenci vázat se na sedimenty (11 až 49 let) (Savchuk, 2018).

Kvůli neudržitelnému stavu, zhoršení kvality životního prostředí a výrazným ekonomickým ztrátám, se ve státech kolem Baltského moře začaly formovat organizace, pomáhající s obnovou a předcházením další degradace tamního ekosystému. Účastní se i mezinárodní organizace a v této součinnosti dosahují dílčích úspěchů, jejichž účinky se v budoucnu budou sčítat. Bude však muset být vynaloženo ještě mnoho úsilí ze strany těchto organizací, spolupracujících vzdělávacích institucí, a i každého jednotlivce, aby činili rozhodnutí s vědomím, že důsledky těch neuvážených mohou dlouhodobě a možná i nevratně poškodit unikátní prostředí Baltského moře.

Obr. 11: *Fucus serratus* a *Fucus vesiculosus*

Vlastní tvorba v rámci kurzu vědecké ilustrace

Seznam literatury

Baastrup-Spohr, L., Iversen, L. L., Dahl-Nielsen, J., & Sand-Jensen, K. (2013). Seventy years of changes in the abundance of Danish charophytes. *Freshwater Biology*, 58(8), 1682-1693.

Baltic Sea Project. (n.d.). *The Baltic Sea Project: Cooperation for sustainability in the Baltic Sea Region* [homepage]. UNESCO Associated Schools Network. Retrieved April 10, 2026, https://www.b-s-p.org/

Bergeron, P., & Bourget, E. (1986). Shore topography and spatial partitioning of crevice refuges by sessile epibenthos in an ice disturbed environment. *Marine Ecology Progress Series, 28*, 129-145.

Bilal, M., Rasheed, T., Sosa-Hernández, J. E., Raza, A., Nabeel, F., & Iqbal, H. M. (2018). Biosorption: an interplay between marine algae and potentially toxic elements—a review. *Marine drugs*, 16(2), 65.

Björck, S. (1995). A review of the history of the Baltic Sea, 13.0–8.0 ka BP. *Quaternary International*, 27, 19–40. https://doi.org/10.1016/1040-6182(94)00057-C

Bommarito, C., Díaz-Morales, D.M., Guy-Haim, T., Noè, S., Delasalle, J., Buchholz, B., Khosravi, M., Rilov, G., Sures, B. and Wahl, M. (2023), Warming and parasitism impair the performance of Baltic native and invasive macroalgae and their associated fauna. *Limnol Oceanogr*, 68: 1852-1864. https://doi.org/10.1002/lno.12390

Cloern, J. E., Robinson, A., Grenier, L., Grossinger, R. M., Boyer, K. E., Burau, J. R., Canuel, E. A., DeGeorge, J. F., Drexler, J. Z., Enright, C., Howe, E. R., Kneib, R. T., Mueller-Solger, A. B., Naiman, R. J., Pinckney, J. L., Schoellhamer, D. H., & Simenstad, C. A. (2016). Primary

production in the Delta: Then and now. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 14(3), Article 1. https://doi.org/10.15447/sfews.2016v14iss3art1

Dierking, J. (n.d.). [photograph of *Zostera marina* (seegrass meadow) near Noer] [Photograph]. GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel. https://www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/Pressemitteilungen/2023/pm41_SeegrasAusbreitung/2016-09-09_001_SeegraswieseNoer_Jan-Dierking_GEOMAR.JPG

Duis, K., & Coors, A. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe*, 28(1), 2.

Elmgren, R., Blenckner, T., & Andersson, A. (2015). *Baltic Sea management: Successes and failures*. Ambio, 44(Suppl 3), 335-344.

ESA. (2010, March 22). Baltic Sea [Satellite image]. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2010/03/Baltic_Sea

Esiukova, E. E., Lobchuk, O. I., Volodina, A. A., & Chubarenko, I. P. (2021). Marine macrophytes retain microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 171, 112738.

Feistel, R., Marion, G. M., Pawlowicz, R., & Wright, D. G. (2010).Thermophysical property anomalies of Baltic seawater. *Ocean Science*, 6(4), 949–981. https://doi.org/10.5194/os-6-949-2010

Gintowt, N. A., Kendzierska, H., & Janas, U. (2025). Seasonal dynamics of benthic infauna communities in *Zostera marina* meadows: effects of plant density gradients. *Biology*, 14(2), 153.

Greger, M., Malm, T., & Kautsky, L. (2007). Heavy metal transfer from composted macroalgae to crops. *European Journal of Agronomy*, 26(3), 257-265.

Gubelit, Y. I., Shigaeva, T. D., Kudryavtseva, V. A., & Berezina, N. A. (2023). Heavy metal content in macroalgae as a tool for environmental quality assessment: The eastern Gulf of Finland case study. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(9), 1640.

Gubelit, Y. I. (2015). Climatic impact on community of filamentous macroalgae in the Neva estuary (eastern Baltic Sea). *Marine Pollution Bulletin*, 91(1), 166-172.

Håkanson, L. (2003). A systems approach to the Baltic Sea. In L. Rydén, P. Migula, & M. Andersson (Eds.), Environmental science: Understanding, protecting and managing the environment in the Baltic Sea region (pp. 95–102). *Baltic University Press*.

Harff, J., Björck, S., & Hoth, P. (2011). The Baltic Sea Basin: introduction. *In The Baltic Sea Basin* (pp. 3-9). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Hayes, M. O. (1979). Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime. In S. P. Leatherman (Ed.), *Barrier islands* (pp. 1–27). Academic Press.

HELCOM. (2009). Biodiversity in the Baltic Sea (*Baltic Sea Environment Proceedings No. 116B*). Baltic Marine Environment Protection Commission (Helsinki Commission). https://helcom.fi/publications/bsep116b/

HELCOM. (2013). HELCOM Red List of Baltic Sea species in danger of becoming extinct (*Baltic Sea Environment Proceedings No. 140*). Helsinki Commission.

HELCOM. (2017). HELCOM MPAs and Natura 2000 areas. Baltic Marine Environment Protection Commission. Retrieved April 1, 2026, https://helcom.fi/action-areas/marine-protected-areas/helcom-mpas-and-natura-2000-areas/

HELCOM. (2019). HELCOM activities report for the year 2018: Translating the commitments into actions (*Baltic Sea Environment Proceedings No. 166*). https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/12/BSEP166.pdf

HELCOM. (2021). HELCOM *Baltic Sea Action Plan – 2021 update*. Baltic Marine Environment Protection Commission. https://helcom.fi/publications/helcom-baltic-sea-action-plan-2021-update/

HELCOM. (2023). *State of the Baltic Sea 2023.* https://helcom.fi/publications/holas3_sobs/

HELCOM. (2025). *Economic and social analyses: General [Report].* https://helcom.fi/wp-content/uploads/2025/09/HELCOM_EconomicSocialAnalyses_general.pdf

Hordoir, R., & Meier, H. E. M. (2012). Effect of climate change on the thermal stratification of the Baltic Sea: a sensitivity experiment. *Climate Dynamics*, 38(9), 1703-1713.

Jevrejeva, S., Drabkin, V. V., Kostjukov, J., Lebedev, A. A., Leppäranta, M., Mironov, Ye. U., Schmelzer, N., & Sztobryn, M. (2004). Baltic Sea ice seasons in the twentieth century. *Climate Research,* 25, 217–227. https://doi.org/10.3354/cr025217

John Nurmisen Säätiö. (2026). *Pelastamme Itämeren ja sen perinnön [homepage].* https://johnnurmisensaatio.fi/

Karpin, V., Heinsalu, A., & Virtasalo, J. J. (2021). Late Pleistocene iceberg scouring in the north-eastern Baltic Sea, west of Estonia. *Marine Geology*, 438, 106537.

Kautsky, H. (1995) Quantitive distribution of subblitoral plant and animal communities along the Baltic Sea gradient. In *Biology and Ecology of Shallow Coastal Waters: Proceedings of the 28th European Marine Biology Symposium*, Institute of Marine Biology of Crete, Iraklio, Crete, 1993 (Vol. 28, p. 23). Olsen & Olsen.

Kautsky, H., & Van der Maarel, E. (1990). Multivariate approaches to the variation in phytobenthic communities and environmental vectors in the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 60, 169-184.

Kautsky, H., Martin, G., Mäkinen, A., Borgiel, M., Vahteri, P., & Rissanen, J. (1999). Structure of phytobenthic and associated animal communities in the Gulf of Riga. *Hydrobiologia*, 393(0), 191-200.

Kautsky, N., Kautsky, H., Kautsky, U., & Waern, M. (1986). Decreased depth penetration of *Fucus* vesicolosus (L.) since the 1940's indicates eutrophication of the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 28, 1-8.

Krzyminski, W., Kruk-Dowgiallo, L., Zawadzka-Kahlau, E., Dubrawski, R., Kaminska, M., & Lysiak-Pastuszak, E. (2004). Typology of Polish marine waters. In G. Schernewski & M. Wielgat (Eds.), Baltic Sea typology (*Coastline Reports* No. 4, pp. 39–48). EUCC – The Coastal Union.

Kuliński, K., Rehder, G., Asmala, E., Bartosova, A., Carstensen, J., Gustafsson, B., ... & Undeman, E. (2022). Biogeochemical functioning of the Baltic Sea. *Earth System Dynamics*, 13(1), 633-685.

Maarse, F., Salovius-Laurén, S., & Snickars, M. (2020). Long-term changes in the phytobenthos of the southern Åland Islands, northern Baltic Sea. *Nordic Journal of Botany*, 38(10).

Martin, G. (2000). *Phytobenthic communities of the Gulf of Riga and the inner sea of the West-Estonian Archipelago*. Ülikooli Kirjastus.

Martin, G., Moller, T., Kotta, J., Daunys, D., Jermakovs, V., Bucas, M., ... & Aigars, J. (2010). Benthic marine habitats of the eastern Baltic Sea. *Estonian Marine Institute Report Series*, 15.

Matthäus, W. (2006). *The history of investigation of salt water inflows into the Baltic Sea: From the early beginning to recent results*. https://doi.iow.de/10.12754/msr-2006-0065

Mehner, T. (2009). *Encyclopedia of inland waters*. Academic Press.

Meier, H. M. (2006). Baltic Sea climate in the late twenty-first century: a dynamical downscaling approach using two global models and two emission scenarios. *Climate Dynamics*, 27(1), 39-68.

Meier, H. M., Barghorn, L., Börgel, F., Gröger, M., Naumov, L., & Radtke, H. (2023). Multidecadal climate variability dominated past trends in the water balance of the Baltic Sea watershed. *npj Climate and Atmospheric Science*, *6*(1), 58.

Middelboe, A. L., Sand-Jensen, K., & Brodersen, K. (1997). Patterns of macroalgal distribution in the Kattegat-Baltic region. *Phycologia*, 36(3), 208-219.

Müller, J. D. (2018). *Ocean acidification in the Baltic Sea: involved processes, metrology of pH in brackish waters, and calcification under fluctuating conditions* (Doctoral dissertation, Dissertation, Rostock, Universität Rostock, 2018).

Neumann, T. (2010). Climate-change effects on the Baltic Sea ecosystem: A model study. *Journal of Marine Systems*, 81(3), 213-224.

Nielsen, R., Kristiansen, A., Mathiesen, L., & Mathiesen, H. (1995). Distributional index of the benthic macroalgae of the Baltic Sea area. *Acta Botanica Fennica*, (155), 1-51.

Ojaveer, E. (2017). *Ecosystems and living resources of the Baltic Sea: their assessment and management.* Springer.

Nilsson, J., Engkvist, R., & Persson, L. E. (2004). Long-term decline and recent recovery of *Fucus* populations along the rocky shores of southeast Sweden, Baltic Sea. *Aquatic Ecology*, 38(4), 587-598.

Ojaveer H, Jaanus A, MacKenzie BR, Martin G, Olenin S, Radziejewska T, et al. (2010). *Status of Biodiversity in the Baltic Sea.* PLoS ONE 5(9): e12467. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012467

Paalme, T., Kotta, J., Kersen, P., Martin, G., Kukk, H., & Torn, K. (2011). Inter-annual variations in biomass of loose lying algae *Furcellaria–Coccotylus* community: The relative importance of

local versus regional environmental factors in the West Estonian Archipelago. *Aquatic botany*, 95(2), 146-152.

Paalme, T., Kotta, J., & Kersen, P. (2013). Does the growth rate of drifting *Furcellaria lumbricalis* and Coccotylus truncatus depend on their proportion and density?. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 62(2), 141.

Parn, O., Duteil, O., Garcia-Gorriz, E., Ferreira-Cordeiro, N., Lessin, G., Macias, D., ... & Stips, A. (2024). Effects of sea ice on Baltic Sea eutrophication. *Marine Pollution Bulletin*, 209, 117067.

Pedersen, M., & Snoeijs, P. (2001). Patterns of macroalgal diversity, community composition and long-term changes along the Swedish west coast. *Hydrobiologia*, 459(1), 83-102.

Preston, R., Blomster, J., Kautsky, L., Salovius-Lauren, S., & Schagerström, E. (2025). Untangling the literature on unattached *Fucus* (Phaeophyceae): an overview of current knowledge. *European Journal of Phycology*, 60(4), 389–413. https://doi.org/10.1080/09670262.2025.2532468

Rajfur, M. (2013). Algae as a source of information on surface waters contamination with heavy metals. *Ecological Chemistry and Engineering*. A, 20(10).

Reckermann, M., Omstedt, A., Soomere, T., Aigars, J., Akhtar, N., Bełdowska, M., ... & Zorita, E. (2022). Human impacts and their interactions in the Baltic Sea region. *Earth System Dynamics*, 13(1), 1-80.

Reusch, T. B., Dierking, J., Andersson, H. C., Bonsdorff, E., Carstensen, J., Casini, M., ... & Zandersen, M. (2018). The Baltic Sea as a time machine for the future coastal ocean. *Science advances*, 4(5), eaar8195.

Rinne, H., & Salovius-Laurén, S. (2020). The status of brown macroalgae *Fucus* spp. and its relation to environmental variation in the Finnish marine area, northern Baltic Sea. *Ambio*, 49(1), 118-129.

Savchuk, O. P. (2018). Large-scale nutrient dynamics in the Baltic Sea, 1970–2016. *Frontiers in Marine Science*, 5, 95.

Schernewski, G., Friedland, R., Paysen, S., Bucas, M., Dahlke, S., & von Weber, M. (2023). Macrophytes and water quality in a large Baltic lagoon: relevance, development and restoration perspectives. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1049181.

Schiewer, U. (Ed.). (2008). *Ecology of Baltic coastal waters*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73524-3

Schories, D. (2005). *Gracilaria vermiculophylla* [photograph, Image Ref. 7340]. AlgaeBase. https://img.algaebase.org/images/3EE735B1076ca3429BPuV2EB18E1/XA88XKghrh68.jpg.

Schubert, H., Feuerpfeil, P., Marquardt, R., Telesh, I., & Skarlato, S. (2011). Macroalgal diversity along the Baltic Sea salinity gradient challenges Remane's species-minimum concept. *Marine Pollution Bulletin*, 62(9), 1948-1956.

Seas At Risk. (2020, February 4). *Ocean Action*! Conference, speech of Dr Verbeek, executive director of Seas At Risk. https://seas-at-risk.org/events/ocean-action-conference-speech-of-dr-verbeek-executive-director-of-seas-at-risk/

Snoeijs-Leijonmalm, P., Schubert, H., & Radziejewska, T. (Eds.). (2017). *Biological oceanography of the Baltic Sea*. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0668-2

Spalding, M. D., Fox, H. E., Allen, G. R., Davidson, N., Ferdaña, Z. A., Finlayson, M., Halpern, B. S., Jorge, M. A., Lombana, A., Lourie, S. A., Martin, K. D., McManus, E., Molnar, J., Recchia, C. A., & Robertson, J. (2007). Marine ecoregions of the world: A bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*, 57(7), 573–583. https://doi.org/10.1641/B570707

Steinhagen-Schneider, G. (1981). *Fucus vesiculosus als Schwermetall-Bioakkumulator: der Einfluss von Temperatur, Salzgehalt und Metallkombination auf die Inkorporationsleistung* (Doctoral dissertation, Institut für Meereskunde Kiel).

Szaniawska, A. (2018). *Baltic crustaceans*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56354

Telkänranta, H. (2006). *The Baltic Sea: Discovering the sea of life*. Baltic Marine Environment Protection Commission.

Tikanmäki, M., Heinonen, J., Jokiniemi, A., & Eriksson, P. B. (2025). Design sea ice conditions for offshore wind power in the Baltic Sea. *Cold Regions Science and Technology*, 234, 104463.

Torn, K., Martin, G., Kukk, H., & Trei, T. (2004). Distribution of charophyte species in Estonian coastal water (NE Baltic Sea). *Scientia Marina*, 68(S1), 129–136. https://doi.org/10.3989/scimar.2004.68s1129

TVN24/PAP. (2007). Ekspresowa akcja ekologów w obronie Bałtyku (15.11.2007). TVN24. https://tvn24.pl/polska/ekspresowa-akcja-ekologow-w-obronie-baltyku-ra40401-ls3688161

Vahtmäe, E., Argus, L., Toming, K., Ligi, M., & Kutser, T. (2025). Hyperspectral library of submerged aquatic vegetation and benthic substrates in the Baltic Sea. *Earth System Science Data*, 17(4), 1685-1692.

Viitasalo, M., & Bonsdorff, E. (2022). Global climate change and the Baltic Sea ecosystem: direct and indirect effects on species, communities and ecosystem functioning. *Earth System Dynamics*, 13(2), 711-747. https://doi.org/10.5194/esd-13-711-2022

Virtasalo, J. J. (2006). *Late-Weichselian–Flandrian depositional history of the Archipelago Sea, northern Baltic Sea* [Doctoral dissertation, University of Turku]. Annales Universitatis Turkuensis.

Walday, M., & Kroglund, T. (2002). *The Baltic Sea—The largest brackish sea in the world*. European Environment Agency. https://www.eea.europa.eu/publications/report_2002_0524_154909/regional-seas-around europe/BalticSea.pdf

Winde, V., Böttcher, M. E., Voss, M., & Mahler, A. (2017). Bladder wrack (*Fucus vesiculosus*) as a multi-isotope bio-monitor in an urbanized fjord of the western Baltic Sea. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 53(6), 563-579.

Winterhalter, B., Flodén, T., Ignatius, H., Axberg, S., & Niemistö, L. (1981). Geology of the Baltic sea. In *Elsevier oceanography series* (Vol. 30, pp. 1-121). Elsevier.