

ZNAČILNOSTI MAKROFITOV IN NJIHOVA VLOGA V VODNIH EKOSISTEMIH

CHARACTERISTICS OF MACROPHYTES AND THEIR ROLE IN AQUATIC ECOSYSTEMS

Aleksandra GOLOB^{1*}

<http://dx.doi.org/10.3986/fbg0033>

IZVLEČEK

Značilnosti makrofitov in njihova vloga v vodnih ekosistemi

Makrofiti so rastline vodnih ekosistemov, ki jih vidimo s prostim očesom. Rastejo v vodi ali njeni neposredni bližini, in so lahko plavajoči in ukoreninjeni v substrat, prosto plavajoči, potopljeni in močvirski. V to skupino uvrščamo tudi makroalge, kot sta *Chara* in *Nittella*. Vodni makrofiti so zelo pomemben del vodnih ekosistemov. Na življenje v vodnem okolju so prilagojeni tako na morfološkem kot tudi na fiziološkem nivoju. Makrofiti so hrana za številne ribe in druge vodne živali ter predstavljajo življenjski prostor številnih vrst. Makrofiti varujejo rečne bregove pred erozijo. Privzemajo hranila in s tem vplivajo na kakovost vode. Značilnosti vodnih okolij, ki vplivajo na rast makrofitov, so svetloba, temperatura, hitrost toka, globina vode, vrsta sedimenta, kemizem vode in biološke interakcije.

Ključne besede: značilnosti makrofitov, amfibijske rastline, helofiti, vodni ekosistemi

ABSTRACT

Characteristics of macrophytes and their role in aquatic ecosystems

Macrophytes are aquatic plants that can be seen by the unaided eye in water ecosystems. They grow in or near water and can be emergent (helophytes), submergent, or floating. Term includes the macroalgae like *Chara* and *Nittella*. Aquatic macrophytes are very important to healthy aquatic ecosystems. Macrophytes can be categorized based on where and how they grow in water. They are adapted to aquatic conditions on morphological and physiological level. Macrophytes provide a source of food for fish and wildlife and habitat for many species. They protect river banks from wave action and erosion. They absorb nutrients from the water and affect the quality of water. Characteristics of water environment that affect the growing of macrophytes are light, temperature, current velocity, depth of the water, type of sediment, chemistry of water, and biological interactions.

Key words: properties of macrophytes, amphibious plants, helophytes, water ecosystems

¹ Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, *aleksandra.golob@bf.uni-lj.si

1 UVOD

Pojem vodni makrofiti se nanaša na zelo raznoliko skupino vodnih organizmov, ki imajo sposobnost fotosinteze in so dovolj veliki, da jih vidimo s prostim očesom. V to skupino uvrščamo vodne predstavnike semenk, praproti, mahov in nekaterih makroskopskih alg. Vodni makrofiti imajo zelo širok razpon velikosti, od vrste *Victoria amazonica* s premerom lista do 2,5 m, do predstavnikov rodu *Wolffia* s premerom lista manj kot 0,5 mm (CHAMBERS s sod. 2008). Glede na rastno obliko, način pritrditve in položaj v vodnem stolpcu, makrofite razvrščamo v pet različnih skupin (HUTCHINSON 1975). Emerzni makrofiti ali helofiti so rastline, ki razvijejo asimilacijske površine in večji del stebela nad vodno gladino (širokolistni rogoz - *Typha latifolia*, navadni trst - *Phragmites australis*). Plavajoči, ukoreninjeni makrofiti imajo značilne plavajoče liste, lahko pa tudi nekaj potopljenih listov (navadni vodni orešek *Trapa natans*, beli lokvanj - *Nymphaea alba*). Plavajoči, neukoreninjeni makrofiti prosto plavajo na vodni površini, saj niso ukoreninjeni v substrat (mala vodna leča - *Lemna minor*, vodna hijacinta - *Eichhornia crassipes*). Potopljeni, ukoreninjeni makrofiti imajo večino asimilacijskih površin pod vodno gladino in so ukore-

njeni v substrat (klasasti rmanec - *Myriophyllum spicatum*, češljasti dristavec - *Potamogeton pectinatus*). Potopljeni, neukoreninjeni makrofiti imajo značilne potopljene liste in prosto plavajo v vodnem stolpcu (tržižlna vodna leča - *Lemna trisulca*). Med makrofite uvrščamo tudi rastline, ki lahko uspevajo tako v vodi kot na kopnem. To so rastline z amfibijskim značajem ali amfititi. Kot prilagoditev na različne razmere lahko razvijejo cel niz različnih listov, od vodnih do popolnoma zračnih, ali se prilagajajo z različnimi rastnimi oblikami (vodna potopljena, vodna plavajoča in kopenska). Predstavniki amfibijskih rastlin so vodna dresen (*Polygonum amphibium*), trpotčasti porečnik (*Alisma plantago - aquatica*), vodna meta (*Mentha aquatica*) in številni drugi (HUTCHINSON 1975, CHAMBERS s sod. 2008).

Številni vaskularni makrofiti so kozmopolitski organizmi, saj se vsaj 11 % vrst pojavlja najmanj v treh bioregijah, 41 % vseh družin makrofitov pa se pojavlja v vsaj šestih bioregijah. Vrste, kot so *Ceratophyllum demersum*, *Najas marina*, *Potamogeton nodosus* in mnoge druge, najdemo v vsaj sedmih od osmih bioregij (SANTAMARIÁ 2002).

2 PRILAGODITVE MAKROFITOV NA RAZMERE V VODNEM OKOLJU

Ker so se vodni makrofiti sekundarno vrnili iz kopnega v vodno okolje, so razvili številne fiziološke in morfološke prilagoditve, predvsem na drugačne svetlobne razmere in na pomanjkanje kisika in ogljikovega dioksida (CHAMBERS s sod. 2008). Večina prilagoditev je dedno fiksiranih, torej so pridobljene v filogenetskem razvoju, manjši del prilagoditev pa je takšnih, ki nastanejo tekom ontogenetskega razvoja (DE WILDE s sod. 2014).

Pri višjih vodnih rastlinah so se razvile številne specifične morfološke in anatomske prilagoditve, t.i. hidromorfoze, ki so nastale zaradi delovanja vodnega okolja. Posebnost vodnih rastlin je aerenhim ali zračno tkivo. Gre za sistem zračnih prostorov, ki potekajo od listov, skozi listne peclje in stebela, vse do korenin, omogoča pa prehajanje plinov od listov do korenin in obratno. Aerenhim prav tako zmanjša specifično težo rastlinskih delov, kar zmanjšuje potrebo po opornih tkivih in povečuje vzgon rastline (HUTCHINSON 1975). Potopljeni listi vodnih rastlin so navadno tanki, lasasti ali drobno razcepljeni, zaradi česar je razmerje med površino in volumnom lista povečano, kar omogoča lažjo izmenjavo plinov ter učinkovitejše sprejemanje

hranil in vode. Povrhnjica potopljenih listov je tanka ali celo manjka, slabo razvita pa je tudi kutikula. Listne reže navadno niso razvite. Celice listne povrhnjice imajo žlezne diferenciacije, hidropote, ki služijo za absorpcijo ionov iz vode. Asimilacijsko tkivo ni diferencirano v stebričasto in gobasto tkivo, mezofil pa je sestavljen iz manjšega števila plasti celic, kar olajša prehajanje svetlobe in difuzijo snovi. Kloroplasti so koncentrirani blizu povrhnjice (CHAMBERS s sod. 2008). Plavajoči listi so debelejši od potopljenih. Po obliki so največkrat okrogli, ščitasti, ledvičasti ali podolgovati. Povrhnjica je enoplastna, a dobro razvita in pogosto pokrita z debelo kutikulo in epikutikularnimi voski. Na zgornji povrhnjici je veliko število listnih rež, na spodnji strani pa so številne hidropote. Mezofil lista je diferenciran v stebričasto in gobasto tkivo. Za plavajoče liste je značilen zmanjšan obseg prevajalnih tkiv, hidromorfni znak pa je obsežno aerenhimsko tkivo.

Steblo vodnih rastlin ima navadno enoplastno povrhnjico, prekrito s tanko kutikulo. Pogoste so hidropote, listne reže pa na steblih najdemo le izjemoma. Prevajalno tkivo potopljenih rastlin je slabo razvito, saj poteka absorpcija snovi preko celotne površine

rastline. Zaradi velike gostote vodnega medija je zmanjšan tudi obseg opornega tkiva, saj nima več prave vloge (HUTCHINSON 1975). V osrednjem delu namočena, maloštevilna mehanska tkiva predvsem povečujejo elastičnost stebila, ki je še posebej pomembna pri rastlinah hitro tekočih voda. Velik del volumna stebila pogosto zavzema aerenhim. Pri ukoreninjenih vodnih rastlinah korenine služijo za pritrditev in za črpanje hranil, medtem ko imajo pri neukoreninjenih le še vlogo črpanja. Nekatere vrste so korenine popolnoma izgubile. V primarni skorji korenin se lahko razvije aerenhim.

Potopljene rastline imajo relativno nizko produktivnost v primerjavi s kopenskimi in močvirskimi vrstami. V vodnem okolju se pojavita dva omejujoča dejavnika fotosinteze, in sicer zmanjšana jakost svetlobe, ki z globino pada in velika difuzijska upornost plinov (predvsem CO_2 in O_2). Zaradi pomanjkanja CO_2 so

vodne rastline razvile številne mehanizme za povečanje intercelularne vsebnosti ogljika. Nekaterim to omogoča fosfoenol piruvat karboksilaza (podoben metabolizem kot C_4 rastline), redke pa lahko izkoriščajo povečano vsebnost ogljikovega dioksida v vodi v nočnem času. Številne vrste lahko sprejemajo bikarbonat, saj je v večini voda to dominantna oblika ogljika (MADSEN s sod. 1996). Sprejemanje bikarbonata zahteva dodaten vložek energije v primerjavi z enostavno difuzijo CO_2 , zato aktivni privzem bikarbonata večinoma poteka le v primerih, ko je fotosinteza omejena zaradi pomanjkanja CO_2 (JONES 2005). Anatomske prilagoditve nekaterim omogočajo tudi delno izrabo CO_2 , ki nastaja pri dihanju in fotorespiraciji, nekatere pa se lahko preskrbujejo s CO_2 , ki nastaja v talnem substratu. Vrste, ki imajo plavajoče liste ali helofiti, lahko izkoriščajo tudi atmosferski CO_2 (CHAMBERS s sod. 2008).

3 ZNAČILNOSTI VODNEGA OKOLJA, KI VPLIVAJO NA USPEVANJE MAKROFITOV

Vodno okolje je, v primerjavi s kopenskim, povsem drugačno. V primerjavi z zrakom je voda bolj viskozen medij, je boljše topilo, temperaturne razmere v vodi pa so bolj stabilne. Po drugi strani pa voda povzroča večje sile, difuzija plinov v vodi pa je zmanjšana. Te značilnosti vodnega okolja imajo neposredne in posredne vplive na makrofite.

3.1 Svetloba

Svetloba je glavni omejujoč dejavnik za uspevanje potopljenih makrofitov in določa njihovo največjo globino uspevanja (HUSSNER s sod. 2010). Jakost svetlobnega sevanja je v vodi manjša kot v zraku in z globino pada (MADSEN s sod. 2001). Voda dobro prepušča fotosintezno aktivni spekter sevanja (PAR), močno pa absorbira valovne dolžine daljše od 700 nm. Svetlobne razmere v jezeru so zelo odvisne tudi od kalnosti jezerske vode. ROONEY & KALF (2000) sta empirično dokazala povezavo med Secchi-jevo globino in maksimalno globino uspevanja kritosemenk, mahov in parožnic.

3.2 Temperatura

Temperaturne spremembe v vodnih telesih so odraz klimatskih sprememb, ki se pojavljajo sezonsko. Temperatura jezerske vode se spreminja predvsem zaradi absorpcije sončnega sevanja, vplivajo pa tudi površin-

ski dotoki in odtoki, talna voda ter oddajanje toplote iz usedlin in zraka. Temperaturne spremembe v vodi so praviloma manjše in počasnejše kot na kopnem. Z naraščanjem temperature vode se zmanjšuje topnost nekaterih plinov (O_2 , CO_2 , N_2 , CH_4) v vodi (URBANIČ & TOMAN, 2003). Temperatura vpliva na številne fiziološke procese, kot so dormanca in tvorba turionov, kalitev semen in razvoj rastline, fotosinteza ter dihanje. Makrofiti hitreje rastejo ob višji temperaturi. ROONEY & KALF (2000) poročata, da nihanje temperature med letom vpliva na razporeditev in biomaso makrofitskih združb.

3.3 Gibanje vode

Gibanje vode je zelo pomemben dejavnik, ki vpliva na rast in razporeditev potopljenih makrofitov. V potokih in rekah na biomaso in vrstno sestavo makrofitov pogosto vpliva hitrost in smer vodnega toka. Vodni tok lahko na makrofite vpliva neposredno z mehanskimi poškodbami, ali posredno z vplivom na izmenjavo plinov in na značilnosti sedimenta. Sila, ki deluje na korenine makrofitov, je odvisna od hitrosti vodnega toka in od biomase rastlin. Kakšna sila deluje na makrofite je precej odvisno tudi od tega, pod kakšnim kotom glede na sediment raste. Pri normalni hitrosti vodnega toka je sila, ki deluje na spodnji del rastline, vsaj za polovico manjša, če rastlina raste pod kotom od 40° do 70° glede na sediment namesto pravokotno. Več študij

potrjuje, da se makrofiti nagnejo proti sedimentu v smeri vodnega toka, s čimer se zmanjša možnost poškodb rastlin (MADSEN s sod. 2001).

Vodni tok pomembno vpliva tudi na količino raztopljenih plinov in hranil v vodi kar se odraža na metabolizmu in rasti makrofitov. Raziskave kažejo na pozitivno povezavo med fotosintezo in privzemanjem hranil pri vodnih rastlinah ob rahlem povečanju hitrosti vodnega toka (WHEELER 1980, KOCH 1993), močnejše povečanje vodnega toka, pa na omenjena dejavnika vpliva negativno, saj poveča mehanski stres na rastlino (MADSEN s sod. 2001).

Za jezerske sisteme je predvsem pomembno valovanje, manj pa vodni tok. MADSEN in sod. (2001) navajajo, da energija valov lahko povzroči škodo makrofitom. Opazili so, da povečanje višine valov iz 0,1 m na 0,3 m zelo poveča število prelomov stebela pri vrsti *Myriophyllum spicatum*, kar pa ne pomeni nujno odmrtnosti odlomljenih fragmentov, ampak le ti lahko pripomorejo k razširjanju vrste. Po drugi strani makrofiti zmanjšujejo energijo valov in velikost toka, s čimer povečajo sedimentacijo snovi in zmanjšajo potencial za ponovno dvigovanje usedlin (MADSEN s sod. 2001).

3.4 Globina vode

Pogost dejavnik, ki omejuje razširjanje vrst, je globina vode. Raziskave so pokazale, da se število taksonov z globino zmanjšuje). Zaradi nenadne spremembe višine vodne gladine, se lahko produkcija makrofitov spremeni, določene vrste pa lahko celo izginejo (GABERŠČIK 1997). Tudi FELDMAN & NÖGES (2007) navajata, da pogosta nihanja vodne gladine v kombinaciji z eutrofikacijo, zelo znižata diverzitetu vrst makrofitov v jezerih.

3.5 Sediment

Vrsta sedimenta vpliva na možnost ukoreninjenja makrofitov. Preveč grob substrat onemogoča ustrezen razvoj korenin in rizomov, medtem ko preveč fin in rahel substrat ne omogoča dovolj dobre opore koreninskemu sistemu (Istvánovics s sod. 2008). Tudi vsebnost hranil v sedimentu je odvisna od vrste sedimentov. V peščenem sedimentu je vsebnost hranil, še posebej fosforja, manjša kot v mulju. Makrofiti v veliki meri privzemajo hranila iz sedimenta. Še posebej to velja za privzem fosforja. Direktni privzem hranil iz vode s pomočjo poganjkov poteka v manjši meri, saj je koncentracija hranil v sedimentu večja, kot v vodi (LEHMANN s sod. 1997).

3.6 Kemizem vode

Kemizem vode se spreminja glede na geološko podlago, vrsto zaledja in antropogene vplive (GABERŠČIK 1997). Kemijske lastnosti vode so pomemben dejavnik, ki uravnava pojavljanje in pogostost rastlinskih vrst v vodnem okolju. Predvsem so pomembni pH, trdota vode, količina raztopljenih hranil in plinov ter količina suspendiranih snovi. pH vode je odvisen predvsem od geološke podlage in rastlin, ki rastejo v vodi. Vpliva na mnoge biološke in kemijske procese v vodi. V neonesnaženih sistemih je pH odvisen predvsem od razmerja med CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} in tudi od drugih naravnih spojin, kot so huminske in fulvo kisline. Dnevno nihanje pH je pogosto rezultat fotosintezne aktivnosti in dihanja primarnih producentov v vodi (URBANIČ & TOMAN 2003). Večina vrst najbolje uspeva v vodah z nevtralnimi pH. Redke vodne rastline lahko uspevajo v izredno kislem okolju (pH maj kot 4), več je takih, ki jim ustreza bazično okolje (pH med 10 in 11).

Prosti kisik v vodi je bistven za dihanje vseh aerobnih organizmov ter za oksidacijske in redukcijske procese v vodi in sedimentu. Zaradi velike difuzijske upornosti je difuzija kisika v vodi za faktor 10^4 počasnejša kot v zraku (TSE & SANDALL 1979). Koncentracija kisika v vodi se spreminja v odvisnosti od temperature, atmosferskega tlaka, slanosti, turbulence, fotosintezne aktivnosti primarnih producentov in respiratorne aktivnosti življenjske združbe. Z višanjem temperature in slanosti vode se topnost kisika zmanjša, medtem ko z večanjem turbulence narašča. Pri raztapljanju kisika v vodi imajo ključno vlogo fizikalni in kemijski procesi, na njegovo končno koncentracijo in razporeditev v vodnem stolpcu pa bistveno vplivata primarna produkcija zelenih rastlin in razgradni procesi saprofitskih bakterij. S fotosintezno aktivnostjo se koncentracija kisika povečuje, medtem ko respiracijska aktivnost organizmov zmanjšuje vsebnost raztopljenega kisika (URBANIČ & TOMAN 2003).

Ogljik je v vodi prisoten kot prosti CO_2 , kot bikarbonatni ion (HCO_3^-) in karbonatni ion (CO_3^{2-}), ravnotežje med posameznimi oblikami pa je odvisno od pH. Pri nizkem pH prevladuje prosti CO_2 , pri nevtralnem bazičnem HCO_3^- , pri bazičnem pa CO_3^{2-} . V številni produktivnih vodnih telesih je koncentracija CO_2 majhna in predstavlja omejujoč dejavnik za fotosintezo, saj je difuzija raztopljenih plinov v vodi zelo počasna. Raztopljen anorganski ogljik je lahko vzrok za kompeticijo med potopljenimi rastlinami in perifiton-skimi algami (JONES 2005). Makrofiti lahko za fotosintezo v vodi uporabijo dva znana vira raztopljenega anorganskega ogljika. To sta HCO_3^- , ki je največkrat

dominantna oblika raztopljenega ogljika v vodi in CO_2 (MADSEN s sod. 1996).

V primerjavi z drugimi glavnimi hranili (ogljik, vodik, dušik, kisik in žveplo), je fosfor najmanj razširjen in je najpogostejše omejujoč dejavnik primarne produkcije v vodnih telesih (WETZEL 2001). V vodi je fosfor prisoten v obliki ortofosfata, ki je edina pomembna oblika fosforja za primarno produkcijo. Fosfor je ob prisotnosti kisika vezan v sedimente, ob odsotnosti kisika pa se iz njih sprošča. Oba procesa potekata kontinuirano v odvisnosti od razgradnje in izgradnje organskih spojin ter oksidacije anorganskih spojin. V vodi je fosfor redko prisoten v večjih koncentracijah, predvsem zaradi aktivnega privzemanja s strani primarnih producentov. Velike koncentracije v vodnih telesih kažejo na prisotnost onesnaženja, kar pospešuje

produktivnost alg in evτροφikacijske procese. Zvišanje koncentracije fosforja, kot posledica človeške aktivnosti, velja za osnovni vzrok evτροφikacije vodnih teles (URBANIČ & TOMAN 2003).

Dušik je poleg ogljika, vodika, kisika in fosforja, ena glavnih sestavin vsake žive celice. Pogosta oblika dušika v vodnih telesih je nitrat (NO_3^-), saj predstavlja končni produkt razgradnje organskih dušikovih spojin. Poleg nitrata sta pogosti anorganski obliki dušika v vodi še amonij NH_4^+ in nitrit NO_2^- (WETZEL 2001). Anorganski dušik sicer vpliva na bioprodukcijske procese v jezeru, čeprav je glavni regulator produkcije fosforja. Dušik lahko postane omejujoč dejavnik produkcije, ko pride do povečanega vnosa fosforja v vodno telo, kot rezultat spiranja s kmetijskih površin, odvajanja odpadkov v vodno telo in kot rezultat atmosferskega onesnaženja.

4 POMEN MAKROFITOV V VODNIH EKOSISTEMIH

Makrofiti imajo pomembno vlogo pri zgradbi in delovanju vodnega ekosistema (CHAMBERS s sod. 2008) in so pomembni za vzdrževanje stabilnosti vodnega ekosistema (MAZEJ & GABERŠČIK 1999). So pomemben člen pri pretoku energije in kroženju snovi v sistemu ter sodelujejo pri stabilizaciji sedimenta (KUCHAR s sod. 2009).

Ukoreninjeni makrofiti so živa povezava med sedimentom, vodo in (v primeru plavajočih in emerznih makrofitov) atmosfero v jezerih, rekah in močvirjih. Lahko vzpodbujajo izhajanje plinov iz sedimenta v atmosfero, ali pa oksigenirajo rizosfero in zvišajo redoks potencial sedimenta. V splošnem makrofiti tudi povečujejo izhajanje metana iz sedimenta v atmosfero (CROBIN s sod. 2006). Velika biomasa makrofitov v vodnem ekosistemu z obsežno fotosintezo in respiratorno aktivnostjo pogosto povzroča hipersaturacijo z raztopljenim kisikom podnevi in pomanjkanje raztopljenega kisika ponoči (MUAMMETOĞLU & SOYUPAK 2000).

Makrofiti zmanjšujejo hitrost vodnega toka v rekah in potokih. Odeje vodnih rastlin prav tako zmanjšujejo energijo vodnih valov s stoječih vodnih telesih. Oboje pripomore k večji sedimentaciji delcev in k manjši resuspenziji le teh, kar zmanjša motnost vode v vodnem ekosistemu in omogoča, da več svetlobe doseže rastline in jim omogoča fotosintezo (MADSEN s sod. 2001).

Vodni makrofiti očitno zmanjšujejo dvigovanje usedlin in erozijo jezerskega sedimenta, preko česar vplivajo tudi na sproščanje fosforja iz jezerskih usedlin. Rastoči makrofiti ne izločajo fosforja, lahko pa vplivajo na njegovo sproščanje iz sedimentov z znižanjem vre-

dnosti raztopljenega kisika zaradi respiracije, ali z znižanjem pH med intenzivno fotosintezo (HORPPILA & NURMINEN 2003). Po drugi strani pa makrofiti s sproščanjem O_2 iz korenin in poganjkov povzročajo povečano oksigenacijo sedimenta, kar zmanjša sproščanje fosforja iz sedimenta (HORPPILA & NURMINEN 2003).

Vodna telesa so pogosto preobremenjena s hranilnimi snovmi. Makrofiti so sposobni privzemati hranila tako iz proste vode kot iz sedimentov, ter jih vgraditi v lastno biomaso (ASAEDA s sod. 2001). Tudi HORVAT in sodelavci (2008) so z raziskavo ugotovili, da imajo makrofiti velik pomen pri uravnavanju hranil v akumulacijskem jezeru Komarnik, saj so bile koncentracije večine ionov, tudi celotnega fosforja in dušika, v jezeru nižje, kot v pritoku in odtoku. Vendar pa večina makrofitov po končani vegetacijski sezoni propade in hranila se vrnejo v jezerski sediment. Za predstavnike reda Charales je značilna počasna razgradnja, zato te rastline lahko zadržujejo hranila daljše obdobje (KRÓLIKOWSKA 1997).

Za večino plitkejših jezer sta značilni dve nasprotujoči si stabilni stanji. Za bistro stanje vode je značilno, da so dominantni primarni producenti vodni makrofiti, pri kalnem stanju pa je značilna velika biomasa fitoplanktona (HILT & GROSS 2008). MUYLEAERT in sodelavci (2010) ugotavljajo, da so submerzni makrofiti ključnega pomena za stabilizacijo bistrrega stanja jezerske vode, saj kontrolirajo biomaso fitoplanktona preko številnih mehanizmov, kot so zasenčevanje, omejevanje hranil, alelopatične interakcije, ustvarjanje skrivališč pred plenilci za zooplankton, ki s pašo kontrolira fitoplankton. Potopljeni makrofiti so vir hrane za nekatere

herbivore. Z makrofiti se prehranjujejo nekateri nevretenčarji, ribe in vodne ptice (SCHMIEDER s sod. 2006).

Deli vodnih teles, ki so porasli z makrofiti, so med najbolj produktivnimi in heterogenimi. Raznolike združbe makrofitov vzdržujejo diverziteto v vodnem okolju (CHAMBERS s sod. 2008), saj nudijo zatočišče in skrivališče zooplanktonu, številnim vodnim nevretenčarjem, ribam in vodnim pticam (MUAMMETOĞLU & SOYUPAK 2000). Makrofiti predstavljajo tudi ustrezno površino za nastajanje biofilmov (CRONIN s sod. 2006).

Med vodnimi makrofiti je nekaj najbolj invazivnih rastlin na svetu. Takšne so npr. *Salvinia molesta*, *Eichhornia crassipes* in *Hydrilla verticillata*. Veliko invazivnih vrst je tropskih ali subtropskih, zato bo globalno segrevanje vsekakor povečalo število in frekvenco pojavljanja teh vrst v zmernih klimatih (CHAMBERS s sod. 2008). Invazivne vrste vplivajo na strukturo avtohtone združbe. Invazivni uspeh vrste je odvisen od značilnosti okolja in strukture združbe (KUCHAR s sod. 2010a).

5 MAKROFITI IN KVALITETA VODA

Obrežni rastlinski sestoji so naravni čistilni sistemi, ki zadržujejo različne delce in raztopljene snovi, ki se spirajo v vodna telesa iz zaledja. Če je vnos snovi prevelik, pride do pospešene eutrofikacije (GABERŠČIK 1997). Makrofiti se odzivajo na različne okoljske vplive, posebno na spremembe v obrežnem pasu in zaledju vodnega telesa ter na spremembe hidrološkega režima. Posebno so občutljivi na organsko onesnaženje. Poslabšanje fizikalnih značilnosti in eutrofikacija vodnega telesa se odraža v spremembi razporeditve in v spremembi biodiverzitete vrst makrofitov, v povečanem številu odpornejših vrst makrofitov v vodnem telesu (HORVAT s sod. 2008; ZHOU et al. 2017) ter v zmanjšanju zastopanosti za onesnaženje občutljivih vrst (GABERŠČIK 1997).

Vodni makrofiti s svojimi koreninami iz sedimenta lahko črpajo težke kovine. Koncentracija kovin v rastlinah je lahko tudi 100 000 - krat večja kot v samem sedimentu (MAZEJ & GERM 2009). Določeni vodni makrofiti so lahko indikatorji vsebnosti majhnih količin težkih kovin v sedimentu, ki bi jih sicer težko zaznali (MAZEJ & GERM 2009).

Sestava in zastopanost makrofitske združbe odražata kvaliteto celotnega ekosistema. Makrofiti so eden izmed bioloških elementov Vodne direktive (DIREKTIVA 2000/60/ES) za oceno ekološkega stanja rek (KUCHAR s sod. 2010b).

6 ZAKLJUČEK

Makrofiti so pomemben element vodnih ekosistemov. Vzdržujejo diverziteto v vodnem okolju, saj predstavljajo habitat in hrano mnogim živalim. Povečujejo samočistilno sposobnost voda in so pokazatelji stanja

ter pritiskov in obremenitev v vodnih okoljih. Razporeditev in zastopanost makrofitov odražata stanje in kvaliteto vodnega okolja.

7 SUMMARY

Macrophytes are aquatic plants, that can be seen by the unaided eye in water ecosystems. They grow in or near water and can be emergent, submergent, or floating, and includes also helophytes. Term includes the macroalgae like *Chara* and *Nittella*. Aquatic macrophytes have an important role in aquatic ecosystems. Macrophytes can be categorized based on where and how they grow in water. Emerged macrophytes (helophytes) develop assimilation areas above the water (*Typha lati-*

folia, *Phragmites australis*), floating rooted macrophytes develop floating leaves and also submersed leaves (*Trapa natans*, *Nymphaea alba*), floating rootless macrophytes have natans leaves on the water surface (*Lemna minor*, *Eichhornia crassipes*), submersed rooted macrophytes have leaves entirely submerged (*Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton pectinatus*), submersed unrooted have leaves entirely submerged and float in water column (*Lemna trisulca*, *Ceratophyllum*

demersum). Macrophytes are adapted to aquatic conditions on morphological and physiological level. Characteristics of water environment that affect the growing of macrophytes in water are light, temperature, current velocity, depth of the water, type of sediment, chemistry of water like pH, oxygen, anorganic carbon, phosphorous and nitrogen, and biological interactions. Macrophytes have crucial role in aquatic ecosystems. They provide a source of food for fish and other animals, and habitat for many species. Macrophytes protect river banks from wave action and erosion. Rooted macrophytes may absorb nutrients from the substrate as well as absorbing them from the water, and thereby purify the water (ZHOU et al. 2017). Macrophytes at

the same time also represent a source of nutrients when they die. Energy is transferred to secondary producers when the dead plant material is eaten. Macrophytes provide shelter and spawning areas for aquatic insects and fish, and also surface for periphyton growth. Helophytes protect water banks from wave action and erosion and offer nesting area for birds. Distribution of macrophytes reflects the environmental conditions of habitat where they thrive (DU et al. 2017). Macrophytes are indicator of water quality and one of the biological elements that are required for the assessment of the ecological status of lakes and rivers by the EU Water Framework Directive (DIREKTIVE 2000/60/ES).

ZAHVALA

Projekt Mladi raziskovalci (št. raziskovalca: 34326) in Raziskovalni program (št. P1-0212 »Biologija rastlin«) je sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors acknowledge the project (No. of young researcher 34326) and Research core funding (No. P1-0212 »Biology of Plants«), which were financially supported by the Slovenian Research Agency.

LITERATURA - REFERENCES

- ASAEDA, T., V. K. TRUNG, J. MANATUNGE & T. VAN BON, 2001: *Modelling macrophyte – nutrient – phytoplankton interactions in shallow eutrophic lakes and the evaluation of environmental impacts*. Ecol. Eng. (Amsterdam) 16: 341-357.
- CHAMBERS, P. A., P. LACOUL, K. J. MURPHY & S. M. THOMAZ, 2008: *Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater*. Hydrobiologia (Amsterdam) 595: 9-26.
- CRONIN, G., W. M. LEWIS JR. & M. A. SCHIENSER, 2006: *Influence of freshwater macrophytes on the littoral ecosystem structure and function of young Colorado reservoir*. Aquat. Bot. (Amsterdam) 85: 37-43.
- DE WILDE, M., N. SEBEL, S. PUIJALON & G. BORNETTE, 2014: *Responses of macrophytes to dewatering: effects of phylogeny and phenotypic plasticity on species performance*. Evol. Ecol. (Heidelberg) 28: 1155-1167.
- DU, W., Z. LI, Z. ZHANG, Q. JIN, X. CHEN & S. JIANG, 2017: *Composition and biomass of aquatic vegetation in the Poyang Lake, China*. Scientifica (Cairo) doi: <https://doi.org/10.1155/2017/8742480>
- WATER FRAMEWORK DIRECTIVE, 2000/60/EC, 23. 2002. Council of the European Communities, Brussels. [http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/voda/vodna_direktiva/\[19.8.2017\]](http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/voda/vodna_direktiva/[19.8.2017])
- FELDMAN, T. & P. NÕges, 2007: *Factors controlling macrophyte distribution in large shallow Lake Võrtsjärv*. Aquat. Bot. (Amsterdam) 87: 15-21.
- GABERŠČIK, A., 1997: *Makrofiti in kvaliteta voda*. Acta Biol. Slov. (Ljubljana) 41: 141- 148.
- HILT S. & E. M. GROSS, 2008: *Can allelopathically active submerged macrophytes stabilise clear – water state in shallow lakes?* Basic Appl. Eco. (Amsterdam) 9: 422-432.
- HORPPILA, J. & L. NURMINEN, 2003: *Effect of submerged macrophytes on sediment resuspension and internal phosphorus loading in Lake Hiidenvesi (southern Finland)*. Water Res. (Amsterdam) 37: 4468-4474.

- HORVAT, B., O. URBANČ BERČIČ & A. GABERŠČIK, 2008: *Water quality and macrophyte community changes in the Komarnik accumulation lake (Slovenia)*. V: *Wastewater Treatment, Plant Dynamics and Management in Constructed in Natural Wetlands*. Vymazal J. (ur.). Springer science + Business Media B. V.: 13-22.
- HUSSNER, A., H. P. HOELKEN & P. JAHNS, 2010: *Low Light acclimated submerged freshwater plants show a pronounced sensitivity to increasing irradiances*. *Aquat. Bot. (Amsterdam)* 93: 17-24.
- HUTCHINSON, G. E., 1975: *A treatise on Lymnology. Volume III. Limnological botany*. John Wiley & Sons Inc. (New York): 660 str.
- ISTVÁNOVICS, V., M. HONTI, Á. KOVÁCS & A. OSZTOICS, 2008: *Distribution of submerged macrophytes along environmental gradients in large, shallow Lake Balaton (Hungary)*. *Aquat. Bot. (Amsterdam)* 88: 317-330.
- JONES, J. I., 2005: *The metabolic cost of bicarbonate use in the submerged plant Elodea nuttallii*. *Aquat. Bot. (Amsterdam)* 83: 71-81.
- KRÓLIKOWSKA, J., 1997: *Eutrophication processes in a shallow, macrophyte – dominated lake - species differentiation, biomass and the distribution of submerged macrophytes in Lake Łuknajno (Poland)*. *Hydrobiologia (Amsterdam)* 342/343: 411-416.
- KOCH, E. W., 1993: *The effects of water flow on photosynthetic processes on the alga Ulva lactua L.* *Hydrobiologia (Amsterdam)* 260/261: 457-462.
- KUHAR, U., N. KRŽIČ, M. GERM & A. GABERŠČIK, 2009: *Habitat characteristic of threatened macrophytes species in the watercourses of Slovenia*. *Verh. Internat. Verein. Limnol. (Stuttgart)* 30: 754-756.
- KUHAR, U., M. GERM & A. GABERŠČIK, 2010a: *Habitat characteristic of an alien species Elodea canadensis in Slovenia watercourses*. *Hydrobiologia (Amsterdam)* 656: 205-212.
- KUHAR, U., M. GERM, A. GABERŠČIK & G. URBANIČ, 2010b: *Development of a River Macrophyte Index (RMI) for assesing river ecological status*. *Limnologica*, doi: 10.1016/j.limno.2010.001
- LEHMANN, A., E. CASTELLA & J. B. LACHAVANNE, 1997: *Morphological traits and spatial heterogeneity of aquatic plants along sediment and depth gradients, Lake Geneva, Switzerland*. *Aquat. Bot. (Amsterdam)* 55: 281-299.
- MADSEN, J. D., P. A. CHAMBERS, W. F. JAMES, E. W. KOCH & D. F. WESTLAKE, 2001: *The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes*. *Hydrobiologia (Amsterdam)* 444: 71-84.
- MADSEN, T. V., S. C. MABERLY & G. BOWES, 1996: *Photosynthetic acclimation of submersed angiosperms on CO₂ and HCO₃⁻*. *Aquat. Bot. (Amsterdam)* 53: 15-30.
- MAZEJ, Z. & A. GABERŠČIK, 1999: *Species composition and vitality of macrophytes in different types of lakes*. *Acta Biol. Slov. (Ljubljana)* 42: 43-52.
- MAZEJ, Z. & M. GERM, 2009: *Trace element accumulation and distribution in four aquatic macrophytes*. *Chemosphere (Amsterdam)* 74: 642-647.
- MUAMMETOĞLU, A. B. & S. SOYUPAK, 2000: *A three – dimensional water quality – macrophyte interaction model for shallow lakes*. *Ecol. Modell. (Amsterdam)* 133: 161-180.
- MUYLAERT, K., C. PÉREZ-MARTÍNEZ, P. SÁNCHEZ-CASTILLO, T. L. LAURIDSEN, M. VANDERSTUKKEN, S. A. J. DECLERCK, K. VAN DER GUCHT, J. M. CONDE-PORCUNA, E. JEPPESEN, L. DE MEESTER & W. VYVERMAN, 2010: *Influence of nutrients, submerged macrophytes and zooplankton grazing on phytoplankton biomass and diversity along longitudinal gradient in Europe*. *Hydrobiologia (Amsterdam)* 653: 79-90.
- ROONEY, N. & J. KALFF, 2000: *Inter-annual variation in submerged macrophyte community biomass and distribution: the influence of temperature and lake morphometry*. *Aquat. Bot. (Amsterdam)* 68: 321-335.
- SANTAMARIÁ, L., 2002: *Why are most aquatic plants widely distributed? Dispersal, clonal growth and small-scale heterogeneity in a stressful environment*. *Acta Oecol. (Amsterdam)* 23: 137-154.
- SCHMIEDER, K., S. WERNER & H. G. BAUER, 2006: *Submersed macrophyte as a food source of wintering waterbirds at Lake Constance*. *Aquat. Bot. (Amsterdam)* 84: 245-250.
- TSE, F. C. & O. C. SANDALL, 1979: *Diffusion coefficients for oxygen and carbon dioxide in water at 25°C by unsteady state desorption from a quiescent liquid*. *Chem. Eng. Commun. (London)* 3: 147-153.
- URBANIČ, G. & M. J. TOMAN, 2003: *Varstvo celinskih voda*. Študentska založba (Ljubljana): 94 str.
- WETZEL, R., 2001: *Lymnology: Lake and river ecology*. 3 rd edition. Academic Press (New York): 1006 str.
- WHEELER, W. N., 1980: *Effect of boundary layer transport on the fixation of carbon by the giant kelp Macrocystis pyrifera*. *Mar. Biol. (Berlin)* 56: 103-110.
- ZHOU, Y., X. ZHOU, R. HAN, X. XU, G. WANG, X. LIU, F. BI, D. FENG, 2017: *Reproduction capacity of Potamogeton crispus fragments and its role in water purification and algae inhibition in eutrophic lakes*. *Sci. Total. Environ. (Amsterdam)* 580:1421-1428. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.108