

Močvare i njihova ekološka važnost

Basrek, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2009

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:688074>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO - MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

MOČVARE I NJIHOVA EKOLOŠKA VAŽNOST
WETLANDS AND THEIR ECOLOGICAL IMPORTANCE

Luka Basrek

Preddiplomski studij biologije

(Undergraduate Study of Biology)

Mentor: doc. dr. sc. Zlatko Mihaljević

SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
2	DEFINICIJA.....	2
3	NASTANAK MOČVARA.....	3
4	FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTVA VODE.....	4
5	HIDROLOŠKA SVOJSTVA MOČVARA.....	4
6	MOČVARNO BILJE.....	5
7	MIKROBIOTA.....	8
7.1	Bakterije.....	8
7.2	Gljive.....	10
7.3	Alge.....	10
7.4	Beskralješnjaci.....	11
7.4.1	Vodeni insekti.....	11
8	MAKROBIOTA.....	11
8.1	Ptice močvarice.....	12
8.2	Ribe.....	13
8.3	Vodozemci, gmazovi I sisavci.....	13
9	PROMJENE U MOČVARAMA.....	14
9.1	Makrosukcesija.....	14
9.2	Fluktuacije i mikrosukcesija.....	14
10	FUNKCIJE MOČVARA.....	15
10.1	Primarna produkcija.....	15
10.2	Razlaganje mrtve organske tvari.....	16
10.3	Hranidbene mreže.....	16
10.4	Kruženje nutrijenata.....	17
10.4.1	Ciklus ugljika.....	18
10.4.2	Ciklusi dušika i sumpora.....	19
10.4.3	Ciklus fosfora.....	20
11	BUDUĆNOST MOČVARA.....	20
11.1	Gubitak močvara.....	20
11.2	Degradacija močvara i invazivne vrste.....	21
11.3	Globalne klimatske promjene.....	21
11.4	Obnova močvara.....	22
12	LITERATURA.....	23
13	SAŽETAK.....	24
14	SUMMARY.....	25

1 UVOD

Iako čovjek već jako dugo proučava močvare, tek krajem 20. stoljeća shvaća važnost i specifičnost močvarnih ekosustava. Naime do tada su močvare pretežno istraživali botaničari, ornitolozi i limnolozi koji su se bavili samo dijelom močvare koji je bio bitan za skupinu organizama kojom su se oni bavili, ne uviđajući važnost močvara kao cjeline. Smatralo se da su močvare prijelazna zona između kopnenih i vodenih ekosustava, a zbog sličnosti sa kopnenim ekosustavima, močvare su često bile kategorizirane kao vlažne verzije kopnenih sustava ili plitki dijelovi jezera. U ovom radu biti će objašnjeno što su to močvare, po čemu ih razlikujemo od drugih ekosustava, zašto su važne, te specifičnosti organizama koji žive u njima.

Postoji niz skupina biljaka i životinja koje su specifične za močvare. Na prvi pogled vidjet ćemo biljke koje strše iz zemlje koja je prekrivena ili je zasićena vodom, ali tu se nalaze i biljke koje plutaju ili se nalaze ispod površine vode. Od životinja, najskarakterističnija skupina su ptice, od kojih su mnoge ograničene samo na močvarna područja. Močvarna područja su dakle područja jedinstvene flore i faune. Močvare se međusobno jako razlikuju, a izgled najviše ovisi o 2 čimbenika: izvoru vode tj. hidrološkom čimbeniku te o geografskoj lokaciji tj o geomorfologiji (van der Valk, 2006.).

Močvarna staništa nalazimo na svim kontinentima osim na Antarktici. Pokrivaju površinu od oko $5,5 \times 10^6 \text{ km}^2$. Procijenjeno je da je oko 5% Zemljine površine prekriveno močvarama. Geografska rasprostranjenost je nejednaka, sa velikim močvarnim područjima u arktičkom i subarktičkom području Sjeverne Amerike, Europe i Azije te područja vezana uz velike rijeke i jezera Južne Amerike i Afrike. Od svih močvarnih staništa oko polovica su tresetišta. Tresetišta se razlikuju od drugih močvarnih staništa po vrsti tla čiji slojevi se satoje od djelomično razgrađenih ostataka biljaka, tj od treseta (van der Valk, 2006.).

Velike površine močvara (oko 50%) su uništene ljudskom aktivnošću kao što je melioracija, izgradnja brana i kopanje rudnika, a trend uništenja močvarnih staništa se i dalje nastavlja.

2 DEFINICIJA

Termin močvara obuhvaća veliku raznolikost staništa, od mangrova duž tropske obalne linije do tresetišta koja se nalaze južno od Arktika. Slijedeće definicije omogućuju prepoznavanje zajedničkih karakteristika između ovih jako različitih ekoloških sustava.

a) Ekološka definicija – Glavni čimbenik u močvarnim područjima je voda. U velikoj mjeri, hidrologija određuje kemijska svojstva tla, topografiju i vegetaciju. Sva močvarna područja imaju dotoke vode koji trpe gubitke barem sezonski. Teško je reći koliko točno vode treba imati neko područje u bilo kojem razdoblju da bi se moglo nazvati močvarnim područjem. Močvarno područje može imati stajaću vodu tokom cijele godine ili samo u jednom dijelu godine. Močvarna područja imaju zajedničke ekološke karakteristike i sa vodenim i sa kopnenim ekosustavima. Ipak, dvije karakteristike zajedno ih čine jedinstvenima. Prva karakteristika je anaerobni sediment. Do anaerobnih uvjeta u sedimentu zasićenom vodom dolazi jer dostupni kisik vrlo brzo biva potrošen. Anaerobni sloj obično nije ograničen samo na dno već i na sloj vode iznad dna, pa je prisutnost kisika limitirajući čimbenik za mnoge biljke i životinje. Zbog toga, organizmi koji žive u močvarama moraju imati različite prilagodbe, bilo anatomske, morfološke, fiziološke ili pak prilagodbe u ponašanju, koje im omogućuju pronalazak, uzimanje, pohranu i iskorištavanje kisika. Druga karakteristika su velike biljke zajednički nazvane makrofiti. Makrofiti koji habitusom najčešće izgledaju kao kopnene biljke, glavni su primarni proizvođači u močvarnim područjima. Alge su pak najveći primarni proizvođači u vodenim ekološkim sustavima (potoci, rijeke, jezera). Alge mogu biti prisutne i u močvarnim područjima te mogu preuzeti ulogu glavnog primarnog proizvođača. S obzirom da dominiraju makrofiti, vegetacija močvarnih područja ima mnogo toga zajedničkog s vegetacijom kopnenih ekosustava.

b) Međunarodna definicija (definicija Ramsarske konvencije) – 1971. godine održana je međunarodna konvencija o močvarnim područjima u gradu Ramsaru u Iranu, a sazvala ju je IUCN (International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources). Postignut je dogovor o močvarnim područjima od međunarodne važnosti, naročito staništa važnih za ptice močvarice, a taj dogovor je poznat i kao Ramsarska konvencija. Predstavlja okvir za međunarodnu suradnju u očuvanju i pametnom korištenju močvarnih staništa i

njihovih bogatstava. U smislu ove Konvencije močvarna staništa obuhvaćaju područja močvara, cretova, tresetišta ili vode, kako prirodna tako i umjetna, stalna ili povremena, sa stajaćom ili tekućom vodom, slatkom, bočatom ili slanom, uključujući područja morske vode duboke do 6 metara za vrijeme oseke.

(http://www.dzzp.hr/projekti_crowet.htm#ramsar)

3 NASTANAK MOČVARA

Za nastanak močvara najbitnije je da postoji stalni izvor vode. Kako bi voda ostala u močvari, močvare moraju biti na nižoj nadmorskoj visini od okoline. Glavni izvor vode određen je geomorfološkim karakteristikama područja i lokalnim klimatskim uvjetima, a ne određuje samo količinu vode koja je prisutna i vrijeme kada će biti prisutna, već određuje i kemijske karakteristike vode, a to je vrlo bitno za biološki sastav močvarnog ekološkog sustava. Primjerice, močvarno područje čiji glavni izvor vode su padaline imati će znatno drukčija svojstva od onog čiji se izvor nalazi u podzemlju.

Moguć je i prelazak područja na višoj nadmorskoj visini u močvare ako dođe do promjena u hidrologiji te tlo postaje zasićeno vodom, a taj proces se zove paludifikacija. Paludifikacija može nastupiti ako iz nekog razloga biljke prestanu vršiti transpiraciju, a to se najčešće događa zbog sječe šuma i zbog požara.

Podzolizacija je još jedan mehanizam uspostave močvarnih ekoloških sustava gdje se oksidi željeza i aluminijski talože u jedan sloj koji postaje slabo propustan za vodu. Posljedica toga je porast vlažnosti tla i spuštanje pH, što omogućuje vrstama roda *Sphagnum* (mah tresetar) da se nasele što dodatno smanjuje drenažu vode i povećava zasićenje tla vodom. Smanjuje se intenzitet razgradnje organskih ostataka zbog niskog redoks potencijala i niskog pH. Na taj način iz kopnenih ekosustava nastaje tresetište. Ako se paludifikacija nastavi mogu se formirati spuštene ili uzdignuta tresetišta. Kako se tresetišta sve više šire, vegetacija u njima lokalno se dijeli u zone uslijed razvoja topografski nepravilnog sustava, kemijskog gradijenta u vodi i dotoka vode u tresetište (van der Valk, 2006.).

Velika populacija dabrova može uzrokovati nastanak močvara na način da izgradnjom brana stvaraju niz plitkih rezervoara vode. Ako rezervoari opstanu duže vrijeme, dolazi do sedimentacije i naseljenja močvarnim biljkama. Ako se to dogodi, dabrovi će napustiti takva novonastala močvarna područja. U većini slučajeva će tok vode odnijeti neodržavanu branu

te močvarno područje neće opstati. Ako je brana dovoljno čvrsta ili je tok vode vrlo slab, može se razviti dugotrajni močvarni ekosustav ili pak tresetište, u slučaju da ga nasele vrste koje stvaraju treset (van der Valk, 2006.).

4 FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTVA VODE

Voda prekriva 71% Zemljine površine, a svega 3% ukupne količine čini slatka voda. Najveći dio vode na Zemlji u tekućem je obliku. Voda je u tekućem obliku 770 puta gušća od zraka, a ima i visoku viskoznost, zbog čega pruža veliki otpor za kretanje organizmima koji žive u vodenom stupcu, ali istovremeno pruža potporu plutajućim biljkama, zbog čega one nemaju turgor niti skeletno tkivo, već koriste vodu kao potporu. Vodene struje izazvane razlikama u temperaturi, vjetrom ili gravitacijom su vrlo važne za kretanje mikroskopski malih organizama. Voda ima visoki toplinski kapacitet zbog čega su promjene u temperaturi manje nego u terestričkim ekosustavima. Ima maksimalnu gustoću na 4°C, a ne na 0 °C, zbog čega led ima za 8% manju gustoću od vode na 4 °C. Zbog tog svojstva led pluta na vodi, a to omogućuje opstanak života tijekom zime u vodenoj sredini. Voda je odlično otapalo pa zbog toga ima ulogu izvora nutrijenata, CO₂, O₂, itd., za biljke, alge i gotovo sve organizme koji žive u njoj. Voda porijeklom iz zemlje ima mnogo otopljenih tvari dok voda porijeklom od padalina ima malo otopljenih tvari.

5 HIDROLOŠKA SVOJSTVA MOČVARA

S obzirom da su vode u močvarama plitke, jako su podložne promjenama, a najmanje promjene u razini vode mogu uzrokovati velike promjene u pojedinim mikrostaništima unutar močvare. S obzirom da količina padalina varira od godine do godine, tako varira i količina vode u močvarama, posebice u onima čiji su glavni izvor vode padaline. Kao odgovor na te promjene, flora i fauna se stalno mora prilagođavati novonastalim uvjetima. U nekim klimatskim zonama postoje suho-vlažni ciklusi, gdje ciklus može trajati i do 20 godina, pa se organizmi koji žive u takvim uvjetima moraju prilagoditi.

Za ptice močvarice su suha razdoblja bitna, jer olakšavaju pronalazak hrane, a posebice kad imaju mlade koji još nisu postali samostalni.

6 MOČVARNO BILJE

Močvarnim biljkama smatramo one vrste koje normalno nalazimo na močvarnim područjima, u ili na vodi, ili gdje je tlo potopljeno ili zasićeno vodom dovoljno dugo da se razviju anaerobni uvjeti u zoni korijena, te koje su razvile neke specijalne prilagodbe anaerobnom okolišu (Cronk, Fennessy. 2005).

Neke od prilagodbi su:

1. Močvarne biljke posjeduju niz zračnih komora između lista i korijena, kao adaptaciju na anoksiju, a kroz njih se kisik i drugi plinovi mogu preraspodjeliti između različitih dijelova biljke. Zračne komore mogu zauzimati i do 50% volumena biljke. Zbog tih struktura, emergentne biljke se ponašaju kao cijevi koje povezuju supstrat sa atmosferom. Dio kisika koji dopiše u korijen, može difundirati u okolni supstrat i to se naziva radijalni gubitak kisika, a najčešće se događa u mladim korijenima. U submerznih biljaka to nije moguće, pa one primaju plinove difuzijom iz vode. Ti zračni prostori također služe kao rezerva plinova. Zračne komore su česte i dobro razvijene u zeljastih biljaka dok drvenaste biljke imaju neke druge prilagodbe poput lenticela i zračnog korijenja. Neke biljke imaju adventivno korijenje koje se razvija uz površinu vode gdje ima najviše kisika. (van der Valk, 2006.).
2. Heterofilija – močvarne biljke često posjeduju dva tipa listova. Podvodni listovi nemaju kutikulu, tanki su i nemaju puči. Često nemaju cjelovite rubove, kako bi lakše podnosili silu koju stvaraju vodene struje. Listovi iznad površine koji su u doticaju sa zrakom su deblji, te imaju kutikulu i puči.
3. Vegetativno se razmnožavaju čime nastaju klonovi. Usljed učestalih promjena u razini vode znatno se smanjuje uspješnost oprašivanja, stvaranja i klijanja sjemenki, te zbog toga vegetativno razmnožavanje povećava šanse za opstankom. U poplavnim godinama bolje uspijevaju biljke s vegetativnim razmnožavanjem dok u suhim godinama bolje uspijevaju neke druge biljke, zbog čega postoje promjene u dominantnim vrstama što nazivamo fluktuacijama (van der Valk, 2006.).

Močvarno bilje dijelimo na:

1. Emergentne biljke – ukorijenjene su u tlo sa bazalnim dijelovima koji uobičajeno rastu ispod površine vode, ali njihovi listovi i stabljike (fotosintetski dijelovi) te reproduktivni organi su u zraku. Većina biljaka ove skupine su zeljaste iako ima i drvenastih. Od svih močvarnih biljaka, ova skupina je najsličnija terestričkim biljkama, oslanjajući se na prostor iznad vode za razmnožavanje, a na tlo kao jedini izvor nutrijenata. Često naseljavaju plitka obalna područja gdje su dominantne iz razloga što koriste svjetlost prije nego što ona uspije doći do plutajućih biljaka (Cronk, Fennessy. 2005).
2. Submerzne biljke (podvodno bilje) – sa mogućim izuzetkom cvijeta, ove biljke provode čitav život ispod površine vode, a rasprostranjene su u obalnim područjima, estuarijima i u tekućicama. Većina ih je ukorijenjena u supstrat iako postoje neke iznimke gdje biljka čitav život provodi u vodenom stupcu. Fotosintetski organi su ispod vode, listovi i stabljika ne sadrže lignin pa su mekani, listovi su produženi i nalik vrpci ili višedijelni što omogućuje dovoljnu fleksibilnost kako bi mogli podnijeti vodena gibanja bez oštećenja. Općenito, krajnji dio biljke ne dodiruje površinu vode iako veći dio biljke može ležati neposredno ispod površine u horizontalnom položaju. U većine vrsta cvjetovi se nalaze u zračnom mediju te se oplodnja odvija ili uz pomoć kukaca ili uz pomoć vjetra, a u drugih se polen prenosi pomoću vode. One uzimaju otopljeni kisik i ugljikov dioksid izravno iz vodenog stupca, a mnoge imaju sposobnost korištenja otopljenog bikarbonata (HCO_3^-) za fotosintezu. Biljke koje su zakorijenjene uzimaju većinu nutrijenata iz supstrata iako mogu primiti neke mikroelemente iz vodenog stupca. Biljke bez korijena su u potpunosti ovisne o vodenom stupcu kao jedinom izvoru nutrijenata (Cronk, Fennessy. 2005).
3. Biljke plutajućih listova – to su biljke čiji listovi plutaju na površini dok je njihov korijen usidren u supstratu, a listovi su s korijenom povezani pomoću peteljki ili kombinacijom peteljki i stabljike. Većina vrsta iz ove skupine imaju okrugle, ovalne ili srčolike listove sa cjelovitim rubom, što reducira kidanje, i sa kožastom debelom teksturom koja štiti od herbivora i pretjeranog ulaska vode. Puči, kroz koje zrak ulazi u biljku smještene su samo sa gornje strane lista (Cronk, Fennessy. 2005).
4. Plutajuće biljke – listovi i peteljke plutajućih biljaka slobodno plutaju na vodi, a ako posjeduju korijen, on također slobodno visi u vodu i nije usidren za podlogu. Korijen osim što služi za apsorpciju nutrijenata, služi i kao uteg koji stabilizira biljku. Kreću se na vodi nošene vjetrom ili vodenim strujama. U ovu skupinu spadaju neke od najmanjih

kritosjemenjača kao što su predstavnici rodova *Lemna* i *Wolffia*. Najčešće se razmnožavaju vegetativno (Cronk, Fennessy. 2005).

Vodeno bilje je osnova hranidbenih lanaca i kao takvo ključno je za protok energije u ekološkom sustavu. Kroz proces fotosinteze, vodeno bilje povezuje anorganski okoliš sa onim organskim. Neke vodene biljke imaju visoku primarnu proizvodnju koja se može uspoređivati sa onom u tropskim kišnim šumama. Za razliku od kopnenih ekoloških sustava, većina proizvedene organske tvari se ne koristi kao hrana herbivorima, već se proslijeđuje u detritivorne hranidbene lance. Vodeno bilje čini ključna staništa za mnoge organizme kao što su epifitske bakterije, perifiton, makroskopski beskralješnjaci i ribe. Vrlo snažno utječe na kemijski sastav vode, djelujući dvojako, kao odvodi nutrijenata uzimajući ih i trošeći, te kao crpke nutrijenata, premještajući tvari iz sedimenta u vodeni stupac. Njihova sposobnost poboljšavanja kvalitete vode kroz uzimanje nutrijenata, metala i drugih zagađivača je dobro istražena. Submerzne biljke u vodu otpuštaju kisik kojeg zatim drugi organizmi koriste za respiraciju. Isto tako stabiliziraju obalu, smanjujući eroziju. Vegetacija može kontrolirati vodni režim na razne načine, kao što su nakupljanje treseta, bacanje sjene na vodu (što utječe na temperaturu vode) i transpiracija. Primjerice, močvarne biljke mogu graditi treset do trenutka kad površinska voda više ne dotječe u močvarno područje.

Močvarne biljke imaju veliki utjecaj na fizikalna (temperatura, prodiranje svjetla, karakteristike tla) i kemijska obilježja močvara (otopljeni kisik, dostupnost nutrijenata), te čine bazu za sve biološke sustave močvarnih područja. One su predvodnici produkcije ekoloških sustava i ciklusa nutrijenata, djelomice iz razloga što zauzimaju granično područje između sedimenta i vodenog stupca. Iako su neke od prilagodbi koje posjeduju močvarne biljke pronađene i u srodnih terestričkih vrsta, mnoge značajke su jedinstvene ili ako ih nalazimo i drugdje, u močvarnih biljaka su dostigle visok stupanj (Cronk, Fennessy. 2005).

Zeljaste biljke mogu iz godine u godinu mijenjati brojnost i veličinu individualnih biljaka ovisno o uvjetima koji vladaju te godine. Kao rezultat velikih promjena neke vrste mogu izumrijeti te druge vrste zauzmu njihovo mjesto. Kao odgovor na novonastale uvjete postoje tri vrste promjena: rast biljaka što dovodi do povećanja biomase, fluktuacije (promjene u gustoći pojedinih biljnih vrsta iz godine u godinu kao odgovor na promjene u uvjetima) i mikrosukcesija (uspostavljanje novih i izumiranje postojećih vrsta kao odgovor na promjene).

Neke biljke imaju alelopatiju, tj ispuštaju tvari koje sprečavaju rast ili klijanje drugih vrsta. Drugi čimbenici koji mogu ograničiti neke vrste ili smanjiti njihovu gustoću su herbivori i patogeni. Također, problemi u rasprostranjivanju dijaspora mogu ograničiti neku biljku na određeno područje iako su uvjeti povoljni i na drugim lokacijama (van der Valk, 2006.).

7 MIKROBIOTA

U mikrobiota spada većina mikroorganizama i organizama jedva vidljivih golim okom, a prisutni su i u drugim vodenim ekološkim sustavima, ne samo u močvarama. Osim mikroorganizama u mikrobiota ubrajamo i beskralješnjake, koji su vrlo često vidljivi golim okom. Makroskopske životinje za život u močvari moraju razviti posebne prilagodbe, pa je veći postotak tih vrsta specifičan za močvare. Iako mikrobiota nisu specifični za močvare, njihova važnost u ekološkom sustavu je vrlo velika. Igraju važnu ulogu u hranidbenim mrežama i u ciklusima nutrijenata.

7.1 Bakterije

Veličine su 0,5-2 μm . Klasificiraju se s obzirom na metabolizam. Bakterije koje nalazimo u močvarama su jednake onima koje nalazimo u jezerima i vodotocima sličnih kemijskih karakteristika. Mogu biti slobodno plutajuće, ili se mogu nalaziti na biljkama ili tlu, ili pak u samom sedimentu. Imaju visoku stopu metabolizma i kratak reproduksijski ciklus, a oboje je ovisno o temperaturi. U močvarama nalazimo većinom saprofitske bakterije te mnogo rijede fotosintetske. Neke od njih su poznate kao patogeni. Od fotosintetskih srodnika, dosta su česte cijanobakterije (van der Valk, 2006.).

U močvarama su prisutne heterotrofne i autotrofne bakterije. Heterotrofne bakterije koriste organske tvari iz okoliša kao izvor energije i kao sirovinu za sintezu staničnih komponenti. Igraju i važnu ulogu u razgradnji mrtvih organizama. Autotrofne bakterije koriste C-1 molekule (CO_2 , metan, metanol) kao izvor ugljika. Razlikujemo fotoautotrofe koji koriste sunčevu energiju dok kemoautotrofi oksidacijom anorganskog supstrata dobivaju energiju. Neke bakterije su i autotrofi i heterotrofi, pa ih nazivamo miksotrofi.

Postoje dva oblika metabolizma:

a) disimilacija – Postoji pet osnovnih načina dobivanja energije tj disimilacije u bakterija: fotosinteza, fermentacija, aerobno disanje, anaerobno disanje i metanogeneza. Anaerobno disanje i metanogeneza su specifični za bakterije.

Fotosinteza se može odvijati na dva načina: uz prisustvo kisika (oksigena fotosinteza) i bez prisustva kisika (anoksigena fotosinteza). Za oksigenu fotosintezu, gdje se iz CO_2 i molekule H_2O dobiva molekula šećera potrebna je neka od molekula klorofila i prisustvo izvora energije. Među bakterijama i njihovim srodnicima, jedino cijanobakterije mogu vršiti oskigenu fotosintezu. U anoksigenoj fotosintezi, H_2S se može koristiti kao elektron donor tj. kao reduzens. Kao rezultat akumulacije žive i mrtve organske tvari nastale fotosintezom, močvare su kemijski reducirana staništa. Heterotrofi koriste energiju pohranjenu u reduciranim organskim molekulama njihovom oksidacijom (van der Valk, 2006.).

Fermentacija je aerobni proces u kojem se organski supstrat sekvencijalno transformira i u kojem nema vanjskog elektron akceptora. Fermentacija rezultira sa malim količinama energije u odnosu na disanje. Konačni produkt fermentacije je etanol ili laktat. U aerobnom disanju, krajnji akceptor elektrona je kisik. Ovaj proces rezultira sa najviše energije od svih procesa, a jednak je aerobnom disanju u gljiva, algi, viših biljaka i životinja. Većina bakterija oksidira organsku tvar ali postoje i bakterije koje oksidiraju anorgansku tvar i zovu se kemoautotrofi. U močvarama postoje četiri važne skupine kemoautotrofnih bakterija: metanogene, nitrificirajuće, sulfid oksidirajuće te željezo i mangan oksidirajuće. Metanogene bakterije oksidiraju metan do ugljičnog dioksida, nitrificirajuće bakterije oksidiraju amonijak do nitrita u dva koraka, sulfid oksidirajuće bakterije oksidiraju sulfid do sulfata, a željezo i mangan oksidirajuće bakterije oksidiraju fero ion (Fe_2^+) i reducirani oblik mangana (Mn_2^+) do njihovih oksidiranih oblika feri iona (Fe_3^+) i Mn_3^+ . Oksidacija Fe i Mn se može odvijati bez bakterija uz prisustvo kisika (van der Valk, 2006.).

U anaerobnom disanju postoji vanjski terminalni akceptor elektrona, ali to nije kisik. To mogu biti nitrat, sulfat te oksidirani oblici željeza i mangana.

b) asimilacija - bakterijama su potrebni razni elementi (C,O,N,H,P,S) kako bi mogle sintetizirati različite spojeve nužne za život (šećeri, aminokiseline, nukleinske kiseline, enzimi, proteini, itd.). Kad je za uzimanje tih elemenata potrebna energija, tada se to naziva asimilatorni metabolizam. Najbitniji proces asimilacije odvija se tijekom oksigene fotosinteze gdje se ugljični dioksid asimilira u organsku molekulu tijekom Calvinovog ciklusa. Fiksacija dušika (asimilacijska redukcija N_2) može se odvijati samo u anaerobnim

uvjetima, jer kisik uništava jedan od enzima koji sudjeluju u fiksaciji, dinitrogenaza reduktazu. Cijanobakterije mogu fiksirati dušik i uz prisustvo kisika zahvaljujući posebnim stanicama – heterocistama (imaju debeli ovoj koji sprječava ulazak kisika u stanicu). Neke bakterije koje fiksiraju dušik ulaze u simbiozu sa biljkama, posebice onima iz porodice *Fabaceae*. U anaerobnim uvjetima bakterije mogu fiksirati amonijak, a u aerobnim uvjetima mogu asimilirati nitrata koje onda reduciraju do amonijaka. (van der Valk, 2006.).

7.2 Gljive

Postoje parazitske i saprofitske gljive, a neke mogu biti oboje, ovisno o uvjetima. Ekološki, igraju vrlo važnu ulogu u razgradnji biljnih i životinjskih ostataka. Imaju sposobnost razgradnje velikih organskih polimera kao što su hitin, celuloza, pektini, hemiceluloza i škrob. S obzirom da bakterije koje žive u anaerobnom supstratu ne mogu razgraditi složene organske polimere, a gljive tamo nisu prisutne, razgradnja organskih tvari je vrlo spora. Gljive ne mogu opstati u tom supstratu iz razloga što su bakterije kompetitivnije za kisik, pa i ono malo kisika što ima gljive ne mogu dobiti.

7.3 Alge

Filogenetski su odvedenija grupa fotosintetskih organizama koje nalazimo u svim vodenim ekološkim sustavima. Postoje malene alge koje ne možemo vidjeti golim okom pa sve do velikih kolonija velikih nekoliko metara. To su “jednostavne” eukariotske biljne stanice koje imaju klorofil *a* kao fotosintetski pigment i u pravilu imaju slobodne reproduktivne strukture. Tu ne spadaju modrozelenice alge (cijanobakterije) jer su one prokarioti, pa ih zbog toga smatraju fotosintetskim bakterijama.

Plankton se najvećim dijelom sastoji od algi i beskrležnjaka i njihovih razvojnih stadija. Alge čine fitoplankton, a beskrležnjaci koji plutaju u vodenom stupcu čine zooplankton. Osim u planktonu, alge nalazimo u perifitonu (alge pričvršćene na neku biljku ili površinu ispod vode) i metafitonu (na površini vode, nisu pričvršćene). Perifiton se ponekad koristi kao termin za neplanktonske alge.

7.4 Beskralješnjaci

Najbitniji beskralješnjaci su mahovnjaci, žarnjaci, spužve, plošnjaci, kolnjaci, oblići, mekušci, kolutićavci, različiti pauci, insekti te rakovi. Nalazimo ih u bentosu, u vodenom stupcu (plankton i nekton), na i u biljkama, na kamenju i u sedimentu. Većina ima kompleksne razvojne cikluse sa više stadija. Za njih, kao i za druge životinje, glavni problem je nedostatak kisika u vodenom stupcu i u sedimentu.

7.4.1 Vodeni insekti

Najbitnije skupine insekata u močvarama su Ephemeroptera (vodencvjetovi), Odonata (vretenca), Plecoptera (obalčari), Hemiptera (polukrilci), Coleoptera (kornjaši), Diptera (dvokrilci) i Trichoptera (tulari). Njihovi raniji razvojni stadiji su obično vrlo dobro prilagođeni na život u vodi dok odrasli obično žive izvan vode. Prilagodbe koje posjeduju ličinke: preobrazba udova u spljoštene veslolike strukture, dlake na nogama kako bi povećali površinu, produljenje tijela ličinke koje omogućuje crvoliko kretanje kroz supstrat, snažne kukice koje im omogućuju penjanje po kamenju i po biljkama, neke vrlo egzotične prilagodbe kao primjerice mlaz iz rectuma kod ličinki vretenaca. Najvažniji problem s kojim se vodeni insekti suočavaju je kako doći do kisika. Postoje 2 skupine kukaca s obzirom na način na koji se opskrbljuju kisikom. Prva skupina kukaca udiše zrak, a druga iskorištava kisik iz vode (van der Valk, 2006.).

Ličinke dipterske skupine *Chironomidae* najbolje su prilagođene na smanjene koncentracije kisika. Osim što posjeduju hemoglobin koji značajno povećava iskorištenje kisika u uvjetima jako male koncentracije kisika, ličinke mogu postati inaktivne na par tjedana ili mjeseci. Žive u sedimentu i procjenjuje se da ih može biti par tisuća po m² močvare, a važna su hrana za mnoge ribe i ptice (van der Valk, 2006.).

8 MAKROBIOTA

U makrobiota močvara ubrajamo ptice, ribe, gmazove, vodozemce i sisavce. Makrofiti i makrofauna močvara se razlikuju po tome koliko često ih nalazimo u močvarnim područjima i

prema tom kriteriju podijeljeni su u četiri skupine: obligatni, amfibijski, fakultativni te vrste koje slučajno dospiju u močvaru

Obligatne vrste nalazimo ili u vodenom stupcu ili na potopljenom sedimentu. To su vrste koje ne mogu preživjeti bez vode, osim u nekom mirujućem stadiju. Organizme iz ove skupine, primjerice ribe, često nalazimo i u drugim vodenim ekosustavima. Mnogi makrofiti spadaju u ovu kategoriju.

Amfibijske vrste provode barem dio svog života u vodi, a dio na kopnu. Ovo je vrlo velika i raznolika skupina koja uključuje vodozemce, gmazove i ptice.

Fakultativne vrste su one koje možemo naći i u močvarnim i u kopnenim ekološkim sustavima. Razlikuju se od amfibijskih vrsta po tome što nemaju niti jedan životni stadij koji nužno mora provesti dio života u vodi. Zbog toga kod isušivanja močvara fakultativne vrste preživljavaju, a amfibijske ne (van der Valk, 2006.).

8.1 Ptice močvarice

Različiti tipovi vegetacije u močvarama pružaju niz mikrostaništa koje ptice mogu iskoristiti kao izvor vode, hrane i kao sklonište. Tijekom evolucije, mnoge su se vrste ptica prilagodile na različita močvarna mikrostaništa. Zajedničkim nazivom te ptice zovu se ptice močvarice, a obuhvaćaju ronce, gnjurce, patke, guske, labudove, čaplje, rode, ibise, prutke, kulike, ždralove, kokošice, pelikane, plamence, pjevice, koseve, galebove, čigre, ćurline vodomare i grabljivice. Od svih njih, uz močvare se najčešće povezuju patke i ćurline. Većina prilagodbi služi za ulazak i izlazak iz močvara (slijetanje na vodu, plivanje, poletavanje sa vode, hodanje po plitkoj vodi te polijetanje sa muljevitog sedimenta) te za uzimanje hrane. Noge su prilagođene plivanju, ronjenju, hodanju po blatu, gaženju po plitkoj vodi te hvatanju plijena. Ovisno o vrsti hrane kljun je oblikom i funkcijom prilagođen ishrani. Vodonepropusno perje je također dosta česta prilagodba. Među močvarnim pticama nalazimo herbivorne (pr. guske), omnivorne (pr. patke) i karnivorne vrste (pr. čaplje). Prehrana se često mijenja sezonski, pa tako neke ženke patki tijekom nesenja jaja postaju karnivorne kako bi zadovoljile povećanu potrebu za proteinima. Slične promjene u prehrani može izazvati i mitarenje. Neke ptice poput koseva, palčića i trstenjaka gnijezde u močvarama, ali nemaju nikakve posebne prilagodbe za život u močvari. To ukazuje na to da i ptice koje nisu morfološki prilagođene za život u močvarnom staništu pokazuju ovisnost o močvarama, bilo

za hranu ili za gnježđenje. Činjenica da u močvarama nalazimo gotovo sve vrste ptica ukazuje na njihovu važnost za ptičji svijet (van der Valk, 2006.).

8.2 Ribe

Najveći problemi sa kojima se ribe u močvarama suočavaju su periodi sa vrlo niskim koncentracijama kisika ili bez kisika te periodi sa vrlo niskim vodostajem. Ribe se razlikuju prema toleranciji na nedostatak kisika, pa su tako močvare vrlo selektivne za sastav vrsta koje ćemo naći. Prva prilagodba na smanjene koncentracije kisika je migracija u dijelove koji imaju više kisika, a te migracije mogu biti dnevne ili sezonske. Neke ribe odlaze do sloja uz površinu gdje ima najviše kisika kako bi ventilirale svoje škrge, dok druge imaju specijalizirane organe za udisanje zraka. Postoji oko 350 vrsta riba koje mogu iskoristiti kisik iz zraka. Među ribama koje udišu zrak razlikujemo fakultativne vrste, tj. one koje samo u uvjetima niske koncentracije kisika u vodi udišu zrak, te one koje kontinuirano udišu zrak (neke od njih ne mogu iskorištavati kisik niti iz dobro oksigenirane vode). Iz razloga što te ribe moraju stalno biti blizu površine konstantno su izložene predatorima iz zraka. Zbog toga se najčešće skrivaju u zajednicama makrofita. Budući da takve prilagodbe zahtijevaju mnogo energije, močvarne ribe su obično manje od njihovih srodnika iz drugih akvatičkih ekoloških sustava.

8.3 Vodozemci, gmazovi i sisavci

Velika močvarna područja uz rijeke imaju najveću raznolikost kralježnjaka. Žabe i daždevnjaci su vrlo česti stanovnici močvara, ali većinom koriste močvare samo za polaganje jaja, dok odrasli oblici velik dio života provode u kopnenim ekološkim sustavima. Iz razloga što ribe pojedu mnogo jaja i ličinki vodozemaca, većina preferira močvare u kojima ima malo ili uopće nema riba (van der Valk, 2006.).

Mnogi gmazovi provode većinu života u močvarama, primjerice aligatori i kornjače. Močvare su idealna staništa za njih, jer im pružaju idealne uvjete za regulaciju tjelesne temperature. Voda im pomaže da se rashlade, a sunčana mjesta da povise svoju tjelesnu temperature.

Od sisavaca koji se klasificiraju kao vođeni, vrlo malo njih obitava u močvarama. Najveći sisavac kojeg nalazimo u močvarama svijeta je nilski konj, *Hippopotamus amphibius*, a živi u afričkim močvarama. Većina amfibijskih i fakultativnih sisavaca u močvarama su maleni. Obično imaju tanka izdužena tijela i noge prilagođene plivanju, a u močvare dolaze radi hrane i u vrijeme kad imaju mlade (van der Valk, 2006.).

9 PROMJENE U MOČVARAMA

Postoje dugoročne promjene koje traju par stotina ili tisuća godina i u tom periodu se taloži sediment ili treset što dovodi do promjena u svojstvima tla. Te dugoročne promjene zovu se makrosukcesija. Kratkoročne promjene traju par godina ili desetljeća i to su reverzibilne promjene kao što su promjene u razini vode uzrokovane vlažno-sušnim ciklusima. Te promjene nazivamo mikrosukcesivnim i ponekad negativno djeluju na makrosukcesivne promjene jer taloženje organskog materijala može biti reducirano ili čak negativno tijekom sušnih perioda. (van der Valk, 2006.).

9.1 Makrosukcesija

Makrosukcesija se često naziva okopnjavanjem jer močvare postaju pliće ispunjavajući se talogom ili tresetom te se naposljetku pretvaraju u kopneni sustav. U praksi se to vrlo rijetko događa, a gubitak močvara prirodnim putem najčešće je rezultat promjene klime, promjene toka rijeke i promjena u razini mora. U posljednjih nekoliko tisuća godina razlog nestanka većine močvara bilo je isušivanje i vađenje treseta ljudskom aktivnošću. Močvare su smještene u nizinskim predjelima te skupljaju okolnu vodu čak ako su i ispunjene talogom autohtonog ili alohtonog porijekla.

9.2 Fluktuacije i mikrosukcesija

Ako su promjene u razini vode između godina male (manje od 50 cm), tada su fluktuacije, tj promjene u gustoći populacija pojedinih vrsta, primarna vrsta promjene. Ako su promjene veće (100 cm i više), tada se javlja sukcesija tj. promjena u sastavu vrsta (van der Valk, 2006.).

10 FUNKCIJE MOČVARA

To su mjerljive karakteristike močvara kao što su primarna produkcija, hranidbeni lanci, kruženje nutrijenata, vodni kapacitet i drugo. Postoje i različite koristi koje ljudsko društvo ima od močvara a to su primjerice: drvo, krzno, riba, patke, treset, reduciranje poplava, pročišćavanje voda i drugo. Makrofiti sakupljaju najveći dio sunčeve energije koja ulazi u močvarni ekosustav te su najveći živi rezervoari fosfora i dušika. Najveći broj funkcija močvara su posljedica prisustva makrofita (van der Valk, 2006.).

10.1 Primarna produkcija

Živi ili mrtvi biljni materijal prisutan u močvarama, najvećim dijelom porijeklom je od oksigene fotosinteze. Oksigena fotosinteza je redukcija CO₂ do organskih tvari uz pomoć svjetlosne energije zarobljene pomoću klorofila pri čemu je voda reducens, a vrše ju makrofiti, alge i cijanobakterije. Ukupna količina ugljika fiksiranog fotosintezom kroz neki period naziva se bruto primarnom produkcijom (BPP). Biljke, međutim, vrše respiraciju i na svjetlu i u tami kako bi osigurale energiju potrebnu za rast i život. Zbog toga je količina organskih tvari koje se skupljaju manja od one nastale fotosintezom, za količinu organske tvari potrošene respiracijom (R). To se zove neto primarna produkcija (NPP) i računa se kao:

$$NPP = BPP - R$$

Iako je moguće mjeriti NPP, najčešće se skupe sve biljke koje žive na određenoj površini močvare te se izmjeri njihova biomasa. Podaci dobiveni mjerenjem biomase su u pravilu manji od NPP iz razloga što u biomasu nisu uračunati gubici zbog herbivora, bolesti i opadanja listova, cvjetova i slično. U biomasu bi trebalo uključiti i podzemne i nadzemne dijelove biljaka, ali najčešće se radi samo sa podacima o nadzemnim dijelovima biljaka. Procijenjena godišnja totalna primarna produkcija jako varira i kreće se od 100 do 9000 g/m². U močvarama koje imaju velike promjene u količini vode iz godine u godinu, biomasa se jako mjenja.

Makrofiti nisu jedini primarni producenti u močvarama. Alge i cijanobakterije također značajno pridonose primarnoj produkciji. Značaj njihove produkcije se često zanemaruje jer alge zauzimaju manji prostor od makrofita. Gledajući prinos biomase po vegetacijskom

ciklus, alge imaju značajno manju produkciju, ali kad uzmemo u obzir da alge imaju mnogo bržu izmjenu tvari i da imaju više ciklusa godišnje, u mnogim močvarnim sustavima alge mogu imati jednako visoku primarnu produkciju kao i makrofiti. Njihova produkcija jako varira između vegetacijskih zona i od godine do godine.

10.2 Razlaganje mrtve organske tvari

Nakon smrti, ostaci organizama postaju dostupni heterotrofnim bakterijama kao izvor energije. Razlaganje ostataka oslobađa preostalu energiju i kemijske elemente koje su makrofiti i alge asimilirali tijekom života. Količina i kvaliteta organske tvari proizvedene u močvarama uvelike utječe na druge funkcije močvara, posebice na hranidbene lance i kruženje nutrijenata. Organski ostaci su kompleksna smjesa od najjednostavnijih spojeva kao što su monosaharidi i i aminokiseline pa do dugolančanih polimera poput lignina. Bakterije vrlo brzo koloniziraju organske ostatke i kako se broj bakterija povećava, tako se i brzina razgradnje proporcionalno povećava. Kad se lako iskoristive molekule potroše, razina razgradnje pada. Nakon što se mikroorganizmi nasele na organske ostatke dobivamo nerazdvojivu smjesu mikroorganizama i organskih tvari koju nazivamo detritus. Gustoća mikroorganizama može biti stotinu milijuna po cm kvadratnom, pa detritus često ima više fosfora i dušika po molekuli ugljika od netaknutih ostataka. Zbog toga detritus ima mnogo veću hranjivu vrijednost nego sami organski ostaci i njime se hrane mnogi organizmi, koje nazivamo detritivori.

Prije početka razgradnje mikroorganizmi moraju osigurati dovoljno dušika i fosfora iz okoliša. Omjer C:N mora biti manji od 30 da bi mineralizacija mogla početi. U početnim fazama razgradnje organskih ostataka, asimilacija nutrijenata od strane bakterija može nadvisiti otpuštanje nutrijenata tijekom mineralizacije ostataka.

Osim sastava organskih ostataka, na brzinu razgradnje utječu i okolišni čimbenici kao što su pH, temperatura, koncentracija kisika, jer oni utječu na vrstu i količinu prisutnih mikroorganizama. Razgradnja je najviša u aerobnim uvjetima i temperaturi iznad 25 °C.

10.3 Hranidbene mreže

Primarna produkcija močvara podržava mnoge heterotrofne organizme od bakterija pa do nilskog konja. U većini močvara, samo 5-10% biomase makrofita iskorištavaju

“grazeri”(životinje koje brste), većinom mali sisavci i beskralježnjaci. Neke močvare služe kao pašnjaci domaćim životinjama, pa je u njima mnogo veći postotak iskorištenja biomase makrofita. Beskralješnjaci koji su “grazeri” i filtratori koriste velike količine biomase algi. Ipak, najveći dio biomase proizveden od algi i makrofita postane mrtva organska tvar.

Postoje dva osnovna puta kojima se energija premješta iz jedne trofičke razine u drugu: autotrofni (herbivorni) i heterotrofni (detritivorni) put. U autotrofnom putu herbivore jedu žive makrofite ili alge. U heterotrofnom putu bakterije jedu ostatke makrofita, algi i životinja, a zatim beskralješnjaci pojedu bakterije. Nekad se smatralo da je heterotrofni put mnogo važniji od autotrofnog, ali nakon što je dokazano da alge nose značajan dio produkcije u močvarama, smatra se da je autotrofni put jednako važan ili važniji od heterotrofnog.

Hranidbeni lanci i mreže su najjednostavnije rečeno, prikazi tko jede koga.

Postoje tri osnovna načina analize prehrane heterotrofa:

1. promatranje pojedinih životinja na terenu ili u laboratoriju kako bi vidjeli što jedu
2. proučavanje sadržaja želuca životinja kako bi vidjeli što su pojeli
3. korištenje stabilnih izotopa ili drugih markera koji ostaju stabilni kroz cijelu hranidbenu mrežu

Promatranje životinja i sadržaja želuca su najčešće upotrebljavanje metode u većih organizama poput riba i ptica močvarica. Te metode su korisne za određivanje vrste i količine hrane koju neka određena vrsta jede, ali su nepraktične za određivanje cijele hranidbene mreže. Stabilni izotopi i slični markeri mogu nam pokazati prijenos energije i esencijalnih elemenata od producenta do potrošača.

Mnogi organizmi na višim trofičkim razinama močvara su karnivorne vrste koje se hrane beskralješnjacima i malom ribom (pr. patke i mnoge ptice močvarice). Beskralješnjaci nisu uvijek prisutni u gustoćama koje podupiru te vrste. Močvarne ptice koriste sušna razdoblja, jer kada se spusti razina vode, plijen je dostupniji pa oni lakše mogu prehraniti svoje mlade.

10.4 Kruženje nutrijenata

Ciklusi nutrijenata predstavljaju prikaz gdje su nutrijenti smješteni u močvari, kako se nutrijenti transportiraju s jednog mjesta na drugo te kemijskih promjena do kojih dolazi. Najbitniji ciklusi nutrijenata u močvarama su ciklusi ugljika, dušika, sumpora i fosfora. Dominantni ciklus je ciklus ugljika.

10.4.1 Ciklus ugljika

Ugljik je najzastupljeniji element u svim živim bićima te njegov udio iznosi 45-55%. Udio dušika je 2-10%, a udjeli sumpora i fosfora su znatno manji. Najviše nutrijenata u močvarama se nalazi u tlu i u makrofitima. Makrofiti su pumpe nutrijenata koje premještaju sumpor, dušik i fosfor iz sedimenta. Ciklus ugljika je središnji ciklus u razumijevanju zašto je močvarni sediment anaeroban, zašto močvare pohranjuju ugljik i zašto oslobađaju metan i druge stakleničke plinove. Ciklus ugljika je povezan sa drugim mikrobnim ciklusima, a energija potrebna za transformaciju dušičnih i sulfatnih nutrijenata dolazi iz spojeva nastalih u ciklusu ugljika. Najveći dio ugljika u močvarama nastao je oksigenom fotosintezom u algama i makrofitima. Iako je dio te organske tvari pojeđen od herbivora, za ciklus ugljika to je samo kratko skretanje sa puta za pretvorbu ugljika u DOC (topljivi oblik koji se izlučuje izravno u vodeni stupac gdje ga mogu uzeti aerobni organizmi i na kraju se mineralizira) ili u POC (Particulate organic carbon compartments – čestični oblik ugljika koji možemo naći u različitim oblicima, a s vremenom se razbija u sve manje čestice koje mogu biti pretvorene ili u DOC ili u CO₂). Dio POC-a se ne razlaže, već pada na dno močvara gdje ga prekrivaju nove naslage organskih tvari i tako dospijeva u anaerobne i reduktivne uvjete. U anaerobnim uvjetima, fermentatori hidroliziraju veće organske molekule (lignin, celuloza, hemiceluloza) u manje molekule (masne kiseline, acetat, alkoholi,...). Mnogi mikroorganizmi sposobni za anaerobnu respiraciju mogu koristiti te spojeve kao izvor energije oksidacijom do CO₂ dok god je pogodni terminalni akceptor elektrona prisutan. U vrlo reduktivnim uvjetima, kad su ostali terminalni akceptor elektrona potrošeni, metanogene bakterije mogu proizvoditi metan iz produkata fermentacije, ponekad koristeći CO₂ kao elektron akceptor. Mnogo organske tvari u močvarama se naposljetku iskoristi u anaerobnoj respiraciji kao izvor energije, a ta energija služi kao gorivo za transformaciju mnogih kemijskih spojeva u ciklusu dušika i sumpora.

Jedna uobičajena karakteristika močvara je visok sadržaj organske tvari u sedimentu u usporedbi sa okolnim terestričkim sustavima, tj. u močvarama se manje organske tvari koja se proizvede svake godine u potpunosti mineralizira. Iz razloga što se mnogo razgradnje odvija u anaerobnim uvjetima, razgradnja je manje učinkovita nego u okolnim kopnenim sustavima.

10.4.2 Ciklusi dušika i sumpora

Oba su podložna redoks reakcijama koje uključuju oksidaciju reduciranih oblika kao što su NH_4^+ i H_2S ili redukciju visoko oksidiranih spojeva poput NO_3^- i SO_4^{2-} . Kao u svim redoks reakcijama, neke se primarno odvijaju u aerobnim uvjetima, a neke u anaerobnim uvjetima. pet najbitnijih takvih reakcija je:

1. Fiksacija dušika – Plinoviti N_2 se može pretvoriti u NH_4^+ . U močvarama su mnoge anaerobne bakterije, neke fakultativno anaerobne bakterije i cijanobakterije, primarni fiksatori dušika. Za taj proces potrebna je energija.
2. Nitrifikacija – Pretvorba NH_4^+ u NO_3^- . Odvija se samo u aerobnim uvjetima. Uobičajeno, jedino mjesto gdje možemo naći NH_4^+ u močvarama je anaerobni supstrat. Ponekad ga možemo naći u stupcu vode kad difundira iz sedimenta, ili je tu dospio mineralizacijom organskih ostataka, sa površine. U aerobnoj zoni, brzo se oksidira do nitrata u više koraka uz pomoć bakterija (*Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrobacter*).
3. Denitrifikacija – Kad nitrati difundiraju u anaerobnu zonu, nitrati mogu poslužiti kao terminalni akceptori elektrona u anaerobnom disanju mnogih anaerobnih bakterija. Denitrifikacija je pretvorba nitrata u plinoviti dušik(N_2) ili dušikov oksid N_2O . Denitrifikacija trajno uklanja nitrate iz močvara.
4. Imobilizacija – Pretvorba anorganske forme u organsku uz pomoć biljaka.
5. Amonifikacija – Pretvorba organskog dušika u NH_4^+ , a može se odvijati i u aerobnim i u anaerobnim uvjetima.

Močvare su dobri odvodni za dušik jer kad povežemo amonifikaciju sa nitrifikacijom u aerobnoj zoni i denitrifikacijom u anaerobnoj zoni, može ukloniti bilo koji oblik dušika iz močvare pretvarajući ga u plinoviti dušik.

Ciklus sumpora ima mnoge sličnosti sa ciklusom dušika. Različiti kemijski oblici sumpora se mogu naći u močvarama. Sumpor također nalazimo u različitim oksidacijskim stanjima, a s obzirom da je H_2S plinovit, vrlo lako se može odstraniti iz močvara. U anaerobnim uvjetima, SO_4^{2-} , koji može biti terminalni akceptor u anaerobnom disanju, može se reducirati do H_2S . H_2S često reagira sa željezom te tvori netopivi željezni sulfid.

10.4.3 Ciklus fosfora

Različit je od ciklusa ugljika, dušika i sumpora jer ne uključuje niz redoks reakcija. U močvarama fosfor nalazimo u dva oblika, anorganskom kojeg nazivamo i ortofosfat te organskom. Ciklus fosfora je taložni ciklus. Anorganski fosfat imobilizacijom, tj kad ga neki organizmi uzmu, prelazi u organski fosfat. Organski fosfat prelazi u anorganski mineralizacijom. Fosfor vrlo brzo nestaje iz mrtve organske tvari jer ga uzimaju mikroorganizmi. I mineralizacija i imobilizacija se mogu odvijati i u aerobnim i u anaerobnim uvjetima. Glavni mehanizmi za uklanjanje anorganskog fosfora iz vodenog stupca su adsorpcija na sediment i ko-taloženje sa karbonatima. Močvarno tlo ima ograničen kapacitet za vezanje fosfora. Zakopavanje organskih ostataka sa fosforom vezanim na njih čini močvare odvodom za fosfor.

11 BUDUĆNOST MOČVARA

Oko 50% svjetskih močvara je već izgubljeno, a u nekim regijama izgubljeno je i 99% močvara. U zaštiti močvara najviše se naglašava važnost močvara kao staništa za ptice močvarice. Iako su močvare do danas prepoznate kao važni i vrlo vrijedni ekološki sustavi, još uvijek su nedovoljno zaštićene i nestaju diljem svijeta. Ne samo da nestaju, već i one koje opstaju postaju sve više degradirane.

11.1 Gubitak močvara

U zemljama koje su uvele zakone protiv isušivanja i zatrpavanja močvara, gubitak močvara se je značajno smanjio. Kako bi se omogućio razvitak močvara, često je potrebno provesti obnovu močvara. U većini zemalja ne postoje zakoni koji sprečavaju uništavanje močvara.

Jedan od najučinkovitijih programa za očuvanje močvara je Ramsarska konvencija. Cilj je Ramsarske konvencije pametno korištenje močvara. Ramsarska konvencija je jedini međunarodni mehanizam za zaštitu močvara i rezultirao je zaštitom mnogih velikih močvarnih područja u svijetu. Do kolovoza 2009 bilo je 149 zemalja potpisnica, 1879

lokaliteta na popisu, ukupne površine 181365679 ha. Kad je osnovana, Ramsarska konvencija je imala za cilj zaštititi ključna staništa za ptice selice. U Hrvatskoj su 4 lokaliteta uvrštena na Ramsarski popis: Lonjsko polje, Crna Mlaka, Kopački rit i donji tok rijeke Neretve.

Iako pretvorba močvarnih područja u poljoprivredna predstavlja jedan od glavnih problema u Africi, Aziji i Južnoj Americi, projekti vezani uz vodu su još jedan veliki problem. Odvodnjom velikih količina vode iz nekih močvarnih sustava vezanih uz rijeke, odvodi se i velika količina sedimenta, te se razina vode spušta. Na kraju razina pada ispod morske, te more počinje ulaziti u rijeku i na kraju uništava slatkovodni močvarni ekološki sustav.

11.2. Degradacija močvara i invazivne vrste

Povećan ulazak nutrijenata u močvare, posebice onih ispranih sa poljoprivrednih površina, promjene u hidrologiji i invazivne vrste, najčešći su uzroci degradacije močvara. Invazivne vrste su vrste koje se povijesno nisu nalazile na nekom području, a svojom aktivnošću su istisnule neke druge vrste koje su prije obitavale na tom staništu. Postoje brojne invazivne vrste, a njihova agresivnost rezultira smanjenjem biodiverziteta.

Močvara Everglade je proučavana kako bi se vidjeli utjecaji ulaska nutrijenata ispranih s poljoprivrednih zemljišta. Voda koja dolazi sa poljoprivrednih zemljišta je mnogo bogatija nutrijentima, pogotovo fosforom, od vode koja je prije postojanja poljoprivrednih zemljišta tim kanalima ulazila u močvaru, a to je dovelo do istiskivanja nekih vrsta makrofita. Istraživanja su pokazala da je povećani unos nutrijenata glavni razlog tome, ali požari i promjene u hidrologiji također igraju važnu ulogu. Niz postupaka je proveden kako bi se višak fosfora uklonio iz močvara.

11.3 Globalne klimatske promjene

Utječu na močvare na dva načina:

1. Promjene u temperaturi i padalinama mijenjaju hidrologiju močvara, a na taj način posredno i floru i faunu.
2. Mogu uzrokovati otpuštanje velikih količina ugljika pohranjenog u močvarama

Močvare pohranjuju ugljik 10-20 puta brže nego što to čine terestrički ekosustavi. Taj visoki postotak se javlja zbog sporije dekompozicije u anaerobnim uvjetima i nižih temperatura u borealnim i arktičkim regijama gdje je smješteno najviše močvara. Zbog toga, danas močvare sadrže oko 40% sedimentnog ugljika od ukupne količine sedimentnog ugljika. Iako prekrivaju samo 3% površine kopna, tresetišta sadrže oko 25% sedimentnog ugljika. Iako su močvare važan spremnik za ugljik, ne očekuje se da će moći pohraniti sav višak ugljika kako će razina CO₂ rasti i uzrokovati globalno zatopljenje. Predviđa se upravo suprotno, tj. da će globalno zatopljenje smanjiti period u kojem se močvare na sjeveru nalaze pod ledom svake godine, izlažući močvare kisiku, a to će dovesti do oksidacije ugljika što bi moglo znatno povećati godišnju emisiju CO₂ i CH₄. Procjenjuje se da su močvare izvor emisije oko 40% CH₄ na Zemlji. Zbog kolebanja u razini vode koja imaju snažan utjecaj na emisiju stakleničkih plinova, pad razine vode bi mogao rezultirati u povećanoj emisiji CO₂ kako se sve više organske tvari oksidira u aerobnim uvjetima, i na taj način smanjiti razinu CH₄.

11.4 Obnova močvara

Dosad su sve provedene obnove močvara bile relativno male, obnavljajući močvare površine od nekoliko ha. Postoje planovi za obnovu riječnih močvarnih ekoloških sustava površine nekoliko tisuća ili čak desetaka tisuća hektara. Jedan od glavnih kriterija u obnovi i uspostavi novih močvara je da su prisutne vrste biljaka i životinja koje karakteriziraju močvaru kakvu mi želimo napraviti. Drugi važan kriterij je da to mjesto ima neke od glavnih funkcija močvara, primjerice da barem 90% fosfora koji dolazi na to mjesto ostaje na tom mjestu. Tresetišta su močvarni ekosustavi koja je najteže obnoviti. Neke obnovljene ili novonastale močvare nikada neće biti poput onih prirodnih. To je zbog bioloških ili okolišnih prepreka koje ne možemo ukloniti. Zbog toga cilj obnove ne treba biti uspostaviti močvaru koja će biti identična močvari koja se prethodno nalazila na tom mjestu, već uspostava močvare koja će osigurati očuvanje što većeg biodiverziteta i diverziteta gena.

12 LITERATURA

Arnold G. van der Valk (2006) : The Biology of Freshwater wetlands. Oxford University Press, New York

Julie C. Cronk, M. Siobhan Fennessy (2001): Wetland Plants, Biology and Ecology. Lewis Publishers, New York, str. 4 – 102

Internetski izvori:

http://www.dzzp.hr/projekti_crowet.htm#ramsar

SAŽETAK

Močvare su ekološki sustavi koji imaju mnoge sličnosti i sa vodenim i sa kopnenim ekosustavima. Dvije značajke čine ih jedinstvenima: anaerobni supstrat (nastaje jer bakterije vrlo brzo iskorištavaju dostupni kisik u vodom zasićenim tlima) i prisustvo makrofita. Makrofiti imaju veliki utjecaj na svojstva močvara, jer su glavni primarni proizvođači, a djeluju kao crpke nutrijenata iz supstrata u vodeni stupac, utječu na hidrologiju i smanjuju eroziju tla te čine najveći spremnik nutrijenata, tijekom i nakon života. Razgradnja organske tvari jedan je od ključnih procesa koji se zbivaju u močvarama. Glavni razlagači u močvarama su bakterije i gljive, koje na taj način imaju središnju ulogu u kruženju nutrijenata. Močvare imaju vrlo visok kapacitet pročišćavanja vode i sprečavanja poplava. Za ekologiju močvara su vrlo bitni i beskralješnjaci jer su njihovi razvojni stadiji često glavna hrana većim životinjama kao što su ribe i ptice. Močvare su vrlo bitno stanište za ptice i ribe koje u močvarama pronalaze izvor hrane i mjesto za podizanje mladunaca. Iz razloga što se močvare konstantno uništavaju, a čovjek je često glavni krivac za to, potrebno je zaštititi močvare zakonskim propisima i obrazovati ljude koji žive ili rade u močvarnim područjima, kako bi se spriječilo daljnje uništavanje. Također treba unaprijediti tehnologiju obnove močvara.

13 SUMMARY

Wetlands are ecological systems which have many features in common with both aquatic and terrestrial systems. They have two features that together make them unique: anaerobic soil (develops because dissolved oxygen in water saturated soils is quickly depleted by microorganisms) and large plants, collectively called macrophytes. Macrophytes have big influence on wetland properties because they are main primary producers, and they strongly influence water chemistry, acting as both nutrient sinks through uptake, and as nutrient pumps, moving compounds from the sediment to the water column. They influence the hydrology and sediment regime of wetlands, through sediment and shoreline stabilization. They are the biggest reservoir of nutrients during and after their life. Litter decomposition is one of the most important processes in wetlands. Fungi and bacteria have central position in litter decomposition and consequently central position in nutrient cycles. Wetlands have very high capacity of purifying water and in flood control. Invertebrates and their larvae are very important for wetlands ecology because they are often main food for bigger animals like birds and fish. Wetlands are very important habitat for birds and fish because they are good source of food and nesting sites. Because wetlands are constantly being destroyed, and man is often main reason for that, it is necessary to make laws to protect wetlands and to educate people who live or work there. Procedures for restoration of wetlands should be also improved.