

# Nitrati i fosfati u listincu tijekom razgradnje na sedrenim barijerama

---

Radić, Maja

Master's thesis / Diplomski rad

2010

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:090866>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
BIOLOŠKI ODSJEK

DIPLOMSKI RAD

MAJA RADIĆ

ZAGREB, 2010.

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

MAJA RADIĆ

**NITRATI I FOSFATI U LISTINCU TIJEKOM RAZGRADNJE  
NA SEDRENIM BARIJERAMA**

Diplomski rad

Zagreb, 2010.

*Rad je izrađen u Zoologijskom Zavodu  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu  
pod vodstvom doc.dr.sc Renate Matoničkin Kepčija  
i pomoćnim vodstvom dr.sc. Marka Miliše*

*Zahvaljujem doc.dr.sc. Renati Matoničkin Kepčija na pruženoj pomoći i  
savjetima tijekom izrade rada.*

*Veliko hvala dr.sc. Marku Miliši na strplivosti i pomoći tijekom izrade rada.*

*Također zahvaljujem Aniti Belančić na ustupljenim uzorcima.*

*Najveće hvala obitelji i prijateljima koji su mi uvijek bili potpora  
u najtežim trenucima studija.*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

### NITRATI I FOSFATI U LISTINCU TIJEKOM RAZGRADNJE NA SEDRENIM BARIJERAMA

MAJA RADIĆ

Prirodoslovno-matematički fakultet, Zoologijski zavod, Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Razgradnja listinca bukve (*Fagus sp.*) i lopuha (*Petasites spp.*) praćena je 2007. godine u akvatoriju NP Plitvička jezera. Metodom "paketića listinca" dobiveni su podaci o brzini raspadanja listinca tijekom jednogodišnjeg razdoblja te za dvije kraće eksperimentalne serije. Listinac lopuha, kao zeljaste biljke, se razgrađivao znatno brže od listinca bukve, koja kao drvenasta biljka ima veći udio lignina te je zbog toga process razgradnje sporiji. Na listincu lopuha i bukve se nitrati apsorbiraju tokom hladnijih mjeseci, a ispiru tijekom toplijih mjeseci. Generalno listinac bukve ima manji sadržaj nitrata. Koncentracija fosfata raste na listincu lopuha s vremenom ekspozicije, dok se s listinca bukve fosfati uglavnom ispiru. Razlog za takve trendove apsorpcije nitrata i fosfata je razlika u mikrobnj aktivnosti na listincu tijekom godine, pri čemu temperatura vode ima ključan utjecaj.

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici, Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Ključne riječi: bukva, lopuh, listinac, Plitvička jezera, temperature vode  
(43 stranica, 29 slika, 3 tablice, 33 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Mentor: Doc. dr. sc. Renata Matonićkin Kepčija

Pomoćni voditelj: dr. sc. Marko Miliša

Ocijenili:

Doc. dr. sc. Renata Matonićkin Kepčija

Doc. dr. sc. Renata Šoštarić

Prof. dr. sc. Ines Radanović

Doc. dr. sc. Nenad Judaš

Rad prihvaćen: 18.02.2010.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Graduation Thesis

### NITRATES AND PHOSPHATES IN LEAF LITTER DURING DECOMPOSITION ON TUFA BARRIERS

MAJA RADIĆ

Faculty of Science, Department of Zoology, Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Leaf litter decomposition of two species; common beech (*Fagus sp.*) and butterbur (*Petasites spp.*) was investigated during 2007 in lakes of Plitvička jezera national park. Data on decomposition rate were gathered for the whole year exposition as well as for two short experimental series using the methods of "leaf packs". Leaf litter of butterbur, as herbaceous plant, showed faster decomposition compared to leaf litter of common beech, which, as woody species, have higher proportion of lignin making the process of decomposition slower. On both species nitrates were absorbed during cold seasons, while process of leaching dominated during warm seasons. Generally, the beech leaf litter had lower content of nitrates. Concentration of phosphates mainly increases with exposition time on butterbur leaf litter, while they were mainly leached from beech leaf litter. Difference in the activity of microorganisms during the year, mainly influenced by water temperature is a possible reason for observed trends.

Thesis deposited in Central biological library, Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Key words: beech, butterbur, leaf litter, Plitvice lakes, water temperature  
(43 pages, 29 figures, 3 tables, 33 references, original in: Croatian)

Supervisor: Doc. dr. sc. Renata Matoničkin Kepčija

Assistant supervisor: Dr. sc. Marko Miliša

Reviewes:

Doc. dr. sc. Renata Matoničkin Kepčija

Doc. dr. sc. Renata Šoštarić

Prof. dr. sc. Ines Radanović

Doc. dr. sc. Nenad Judaš

Thesis accepted: 18.02.2010.

## **SADRŽAJ**

|                                                             |               |
|-------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>1.0 UVOD</b>                                             | <b>1</b>      |
| <b>1.1. Razgradnja listinca u slatkovodnim ekosustavima</b> | <b>1</b>      |
| <b>1.2. Uloga nitrata i fosfata u vodenim ekosustavima</b>  | <b>2</b>      |
| <b>1.3. Eutrofikacija i osedranje</b>                       | <b>3</b>      |
| <b>1.4. Ciljevi istraživanja I radna hipoteza</b>           | <b>5</b>      |
| <br><b>2.0 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA</b>                        | <br><b>6</b>  |
| <b>2.1. Nacionalni park Plitvička Jezera</b>                | <b>6</b>      |
| 2.1.1. Flora i fauna Plitvičkih jezera                      | 7             |
| 2.1.2. KlimaPlitvičkih jezera                               | 8             |
| <b>2.2. Istraživačke postaje</b>                            | <b>8</b>      |
| <br><b>3.0. METODE I MATERIJALI</b>                         | <br><b>10</b> |
| <b>3.1. Plan pokusa</b>                                     | <b>10</b>     |
| <b>3.2. Uzimanje uzorka I obrada</b>                        | <b>12</b>     |
| <b>3.3. Analiza uzorka</b>                                  | <b>12</b>     |
| 3.3.1. Spektrofotometrijsko određivanje nitrata             | 12            |
| 3.3.2. Postupak određivanja količine nitrata u listincu     | 13            |
| 3.3.3. Spektrofotometrijsko određivanje fosfat              | 13            |
| 3.3.4. Postupak određivanja količine fosfata u listincu     | 14            |
| <br><b>4.0. REZULTATI</b>                                   | <br><b>15</b> |
| <b>4.1. Temperatura</b>                                     | <b>15</b>     |
| <b>4.2. Masa listinca</b>                                   | <b>16</b>     |
| 4.2.1. Jednomjesečna ekspozicija                            | 16            |
| 4.2.2. Jednogodišnja ekspozicija                            | 18            |
| 4.2.3. Osmotjedna ekspozicija                               | 19            |
| 4.2.3.1. Zima                                               | 19            |
| 4.2.3.2. Ljeto                                              | 20            |



|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| <b>4.3. Nitrati</b>              | 22 |
| 4.3.1. Jednomjesečna ekspozicija | 22 |
| 4.3.2. Jednogodišnja ekspozicija | 23 |
| 4.3.3. Osmotjedna ekspozicija    | 24 |
| 4.3.3.1. Zima                    | 25 |
| 4.3.3.2. Ljeto                   | 26 |
| <b>4.4. Fosfati</b>              | 27 |
| 4.4.1. Jednomjesečna ekspozicija | 27 |
| 4.4.2. Jednogodišnja ekspozicija | 29 |
| 4.4.3. Osmotjedna ekspozicija    | 30 |
| 4.4.3.1. Zima                    | 30 |
| 4.4.3.2. Ljeto                   | 31 |
| <b>5.0. RASPRAVA</b>             | 33 |
| <b>6.0. ZAKLJUČAK</b>            | 38 |
| <b>7.0. LITERATURA</b>           | 39 |

## 1.0. UVOD

### 1.1. Razgradnja listinca u slatkovodnim ekosustavima

U gornjim tokovima tekućica s razvijenom obalnom vegetacijom listinac alohtonog podrijetla je jedan od glavnih izvora hranjivih tvari i energije za vodene zajednice (FERREIRA & GRAÇA 2006). Brzina razgradnje listinca razlikuje se od jedne biljne vrste do druge. PETERSEN & CUMMINS (1974) su predložili tzv. kontinuum stope razgradnje od sporog do brzog. Zeljaste vrste se u pravilu razgrađuju brže od drvenastih vrsta (ALLAN 1995). Razgradnja listinca je složen proces u vodenim ekosustavima. Sastoji se od niza etapa od kojih je prva ispiranje organskih i anorganskih spojeva (*eng. leaching*). U drugom stadiju listinac koloniziraju mikroorganizmi (bakterije i gljive). Najvažniju ulogu u ovoj fazi imaju gljive skupine Hyphomycetes (WEBSTER & BENFIELD 1986). Makrobeskralježnjaci, odnosno funkcionalna skupina usitnjivača (*eng. shredders*) imaju značajnu ulogu u trećem stadiju razgradnje listinca. Smatra se da prethodna mikrobna obrada (kondicioniranje) listinca pogoduje usitnjivačima (GRAÇA et al. 2001.). Biotički i abiotički čimbenici također utječu na brzinu razgradnje, npr. na višim temperaturama vode, u vodi s više organske tvari i u vodama s višim pH razgradnja listinca je brža (ALLAN 1995.). Na brzinu razgradnje listinca utječu i hidrodinamičke sile. Utjecaj brzine strujanja vode može biti izravan: veća brzina strujanja vode stimulira rast populacije gljiva u nakupinama listinca (FERREIRA & GRACA 2006) i neizravan: djelovanje mase vode veće brzine prenosi veću količinu energije na površinu lista i list se mehanički lomi.

U početnoj fazi listinac spada u kategoriju krupno usitnjene organske tvari (*eng. coarse particulate organic matter* - CPOM; CPOM > 1 mm). Fragmentacijom ovih krupnih čestica nastaje fino usitnjena organska tvar (*eng. fine particulate organic matter* - FPOM; 1 mm > FPOM > 0.5 µm).

Kada listinac uđe u vodeni sustav dolazi do ispiranja tj. otapanja organskih i anorganskih spojeva. Ta prva faza je kratkotrajna te se smatra da je većina spojeva isprana u roku od nekoliko dana. U roku od 24 sata listinac ispiranjem izgubi i do 25% suhe mase (WEBSTER & BENFIELD 1986).

Razgradnjom listinca njegov sastav se mijenja (npr. udio dušika, nitrata, fosfora, fosfata i drugih biološki važnih elemenata i spojeva). Na razgradnju listinca utječe

kemizam okolne vode, i obratno razgradnjom listinca mijenja se i okolna voda, odnosno njen pH, razina kisika i koncentracija otopljenih tvari u vodi (MASIFWA 2004).

## 1.2. Uloga nitrata i fosfata u vodenim ekosustavima

Ekosustavi su podijeljeni u dvije velike skupine: vodeni i kopneni. Medij u kojemu se odvija život vodenih ekosustava je voda. Važnu ulogu u održavanju života imaju spojevi otopljeni u vodi – nutrijenti. Za život i razvoj svih organizama potrebni su vrlo specifični okolišni uvjeti (npr. količina nutrijenat). Među trofički najbitnije kemijske elemente i njihove spojeve ubrajaju se dušik (nitrati,  $\text{NO}_3^-$ ; nitriti,  $\text{NO}_2^-$ ; amonijev ion,  $\text{NH}_4^+$ ) i fosfor (fosfati,  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Kruženje ova dva elementa u prirodi je od iznimne važnosti i određuje stanje određenog ekosistema.

Dušik je jedan od najrasprostranjenijih elemenata u prirodi. Najvećim dijelom je sastojak atmosfere u obliku molekularnog dušika ( $\text{N}_2$ , oko 78%), dok ga u litosferi najčešće pronalazimo kao soli nitratne kiseline ( $\text{NO}_3^-$ ), soli nitritne kiseline ( $\text{NO}_2^-$ ) i soli amonijaka ( $\text{NH}_4^+$ ). Dušik je sastavni element svih živih organizama i kao takvog ga nalazimo u obliku aminokiselina, tj. bjelančevina. Iz organskog oblika dušik se vraća u anorganski posredstvom bakterija i drugih mikroorganizama koje nazivamo razlagači. Biljke mogu koristiti samo dušik iz nitrata. Za apsorpciju elementarnog dušika iz zraka, nitrita i amonijaka nemaju razvijene sustave. Iz tog razloga biljkama pomažu autotrofni kemosintetski organizmi, nitrificirajuće bakterije. Te bakterije imaju sposobnost oksidiranja amonijaka u nitrite i oksidacije nitrita u nitrate. Tim procesima tlo se obogaćuje nutrijentima. U vodenim ekosustavima dušik u obliku nitrata koriste prvenstveno alge, mahovine i više vodeno bilje. Osim prirodnog kruženja dušika i njegovih spojeva, čovjek svojim djelovanjem dodatno «obogaćuje» okoliš njegovim spojevima. Mnoge tvornice kao međuprodukt svog djelovanja ispuštaju plinovite dušikove okside ( $\text{N}_x\text{O}_y$ ) koji su topljivi u vodi. Isti ti spojevi otopljeni u vodi padaju na tlo kao kisele kiše i zakiseljuju je.

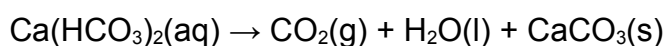
Fosfor je biljkama i životinjama esencijalni hranjivi i građevni element. U živim organizmima ga nalazimo u obliku fosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) i hidrogenfosfata ( $\text{HPO}_3^{2-}$ ). Jedan je od građevnih elemenata DNA i RNA, služi kao izvor energije (npr. ATP) i glavni je sastojak staničnih membrana (fosfolipidi). Kalcijev fosfat je glavni građevni element kosti. Npr. maseni udio fosfora u organizmu čovjeka je 0,63%.

Fosfor, odnosno fosfati u vodenim ekosustavima nalaze se potpuno otopljeni ili u sastavu koloidnih čestica (u detritusu, sedimentu, mulju). U vode fosfati mogu dospjeti različitim putevima. Mnoge prirodne vode obogaćuju se fosfatima razgradnjom organske tvari i ispiranjem zemljišta (pogotovo poljoprivrednih na kojima se primjenjuju umjetna gnojiva). Velika količina fosfata u vode dopijeva iz kućanstva i otpadnih voda industrijskih postrojenja. Deterdženti i sredstva za čišćenje kao glavnu komponentu imaju fosfor. Jedan od najvažnijih limitirajućih čimbenika primarne produkcije su fosfati. Određena količina fosfata je neophodna za rast i razvoj životinja i biljaka. Biljke i alge pri procesu fotosinteze koriste fosfate u obliku ortofosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Ako se u vodenom ekosustavu fosfati nalaze u suvišku, vodena vegetacija počinje rasti i bujati. U takvim uvjetima ostatak života se «guši», jer nabujala vodena vegetacija iskoristi sav kisik za svoj metabolizam. Osim nutritivne vrijednosti fosfora i njegovih soli, on ima veliku ulogu i u stvaranju sedrenih barijera. Naime fosfati se ugrađuju u kristalnu rešetku kalcita i inhibiraju taloženje (PLANT & HOUSE 2002).

### 1.3. Eutrofikacija i osedranje

Fenomen nastanka sedrenih barijera je glavna karakteristika krških tekućica, a među prvima ga opisuje FRANIĆ 1910. Tokom 20.-tog stoljeća mnogi znanstvenici su se bavili istraživanjem sedrenih barijera tipičnih za krške vode. Veliku zaslugu kod stvaranja barijera ima vodeno bilje, alge i mahovine, koje pomažu precipitiranju kalcita.

Krška podloga Plitvičkih jezera (vapnenac i dolomit) zbog svojih osobina (topivosti), obogaćuju vodu otopljenim kalcijevim karbonatom u obliku bikarbonata ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ). Voda Plitvičkih jezera je ovim spojem «prezasićena». Kišnica prolazeći kroz površinski sloj zemlje apsorbira ugljikov (IV) oksid ( $\text{CO}_2$ ) i nastaje ugljična kiselina ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Ova kiselina otapa vapnenac i dolomit. Voda plitvičkih jezera je zbog ovog procesa izrazito mineralizirana (prezasićena kalcijevim i magnezijevim bikarbonatom  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  i  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ). Poremećajem kemijske ravnoteže isplinjavanjem  $\text{CO}_2$  uslijed prolaska vode preko barijera i brzaca, kalcijev karbonat se izlučuje u obliku sitnih kristalića i taloži se.



Prezasićenost vode kalcijevim solima osnovni je uvjet za stvaranje sedre. Osim toga, voda mora biti čista, ne smije sadržavati povećane koncentracije organskih tvari, koje su

snažna zapreka odvijanju jedinstvenog procesa osedavanja na Plitvičkim jezerima ( SRDOČ i sur. 1985).

Prisutnost algi i mahovina su također jedan od bitnih čimbenika stvaranja sedre. One daju oblik stvorenoj sedri, a ovisno o vrsti biljne zajednice određuju i tipove sedre. Promatrajući jednu sedrenu tvorevinu na kojoj rastu mahovine može se zamijetiti da su mladi izdanci mahovina zeleni, mekani i na njima nema još istaložene sedre. Starije mahovine (npr. prošlogodišnje) su žućkaste boje i potpuno su obložene sedrom (okamenjene) i predstavljaju fitogenu sedru. Alge (*Diatomeae* i druge) i bakterije koje žive na okamenjenim mahovinama izlučuju galertastu (sluzastu) tvar na koju se lijepe prvi kristalići kalcita (kristalna klica) oko kojih će se vrlo brzo nakupiti drugi kristalići te polako stvarati sedrenu barijeru.

Eutrofikacija je prirodan proces propadanja jezera. Porastom koncentracije nutrijenata (fosfata, nitrata i dr.) povećava se primarna produkcija. Razvoj fitoplanktona utječe na povećanu sekundarnu produkciju (razmnožavanje algivora, a posredno i organizama sljedećih trofičkih razina). Pri normalnim uvjetima (optimalna količina kisika) odumrla organska tvar pada na dno gdje posredstvom razlagača dolazi do mineralizacije te se oslobađa nova količina nutrijenata za primarnu produkciju. Uslijed povećane količine nutrijenata moguće su brze i negativne kaskadne promjene. Proliferacijom algi povećava se i količina odumrlog materijala. Velike količine organske tvari talože se na dno. Dolazi do velike potrošnje kisika uslijed mineralizacije. Velikom potrošnjom kisika dolazi do hipoksije, a zatim slijedi anoksija. Nerazgrađena organska tvar pada na dno jezera, smanjuje se njegova dubina i postaje sve pliće. Jezero se s vremenom zatrpa.

Za vrijeme raspada listinca dolazi do oslobađanja dušikovih i fosforovih spojeva, koji su glavni uzroci procesa eutrofikacije. Osim toga prilikom svake razgradnje pa tako i razgradnje listinca povećava se razina CO<sub>2</sub>, pH se snižuje, povećava se otpuštanje organske tvari. Sve ove kemijske promjene koje se događaju pri procesima razgradnje mogu izazvati promjene i u trofiji i u osedavanju (GOLUBIC & SCHNEIDER 1979, SRDOČ et al. 1985).

#### 1.4. Ciljevi istraživanja i radna hipoteza

Proces razgradnje listinca važna je komponenta u funkcioniranju vodenog sustava, pogotovo osedravajućeg. Razgrađeni listinac utječe na razvoj sedrenih barijera i vodenom ekosustavu direktno daje potrebne nutrijente. Stoga su ciljevi bili:

- utvrđivanje utjecaja brzine strujanja vode na količine nitrata i fosfata u listincu tijekom njegove razgradnje
- praćenje utjecaja temperature na količine nitrata i fosfata u listincu
- usporedba sastava listinca tijekom razgradnje u uvjetima sporog i brzog osedravanja i određivanje utjecaja razgradnje listinca na proces osedravanja

U skladu s iznesenim literaturnim navodima formirala sam radne hipoteze:

1. Veća količina nutrijenata pohranjena je i posljedično se u vodi više nutrijenata otpušta iz listinca drvenaste vegetacije.
2. Otpuštanje nutrijenata brže je pri višim brzinama strujanja vode zbog stalnog donosa nove (nutrijentima slabo zasićene) vode.
3. Otpuštanje nutrijenata brže je tijekom ljetnih mjeseci, ali zbog pojačane metaboličke aktivnosti pri višim temperaturama količine se brzo troše tako da ne smatram da bi bio stvoren suvišak nutrijenata koji bi značajnije pomaknuo trofičku ravnotežu sustava osim ako bi se u sustav dovodile i dodatne količine nutrijenata (npr. turističkim opterećenjem).

## 2.0. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Nacionalni park Plitvička Jezera

Istraživanje je provedeno u Nacionalnom parku «Plitvička jezera» koji je proglašen nacionalnim parkom 8. travnja 1949. godine. Plitvička jezera predstavljaju hidrogeološki fenomen, te su zbog toga 26. listopada 1979. godine upisana na popis svjetske prirode i kulturne baštine UNECSO-a.

Plitvička jezera smještena su u krškom području Dinarida između dvaju planinskih masiva: Male Kapele i Ličke Plješevice, u Lici, središnjem dijelu Republike Hrvatske. Nacionalni park se prostire na području dvije županije, 91% je na području Ličko-senjske, a 9% na području Karlovačke županije.

Oko 80% vodene površine otpada na dva najveća jezera, Prošćansko i Kozjak, koja su ujedno i najdublja jezera, redom 37 i 46 metara. Visinska razlika između početka sustava kojeg predstavlja ušće potoka Matice u Prošćansko jezero na 636 m i kraja Plitvičkih jezera kojeg predstavlja početak toka rijeke Korane na 484 m, je 153 m. Plitvička jezera sastavljena su još od 16 kaskadnih krških jezera (ili jezerskih nakupina). Voda se iz jednog jezera u drugo prelijeva preko sedrenih barijera u slapovima. Jezera se s obzirom na geološku podlogu dijele na Gornja i Donja jezera. Gornja jezera nalaze se u reljefno otvorenoj dolomitnoj ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ) dolini, a Donja jezera u vapnenačkom ( $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$ ) kanjonu. Gornja i Donja jezera razlikuju se i po stopi osedranja, u sustavu Donjih jezera osedranje je intenzivnije.

Smjer pružanja Plitvičkih jezera je jug-sjever u duljini od 8 km. Jezera se međusobno razlikuju po morfometrijskim pokazateljima. Fluvijalna erozija, tektonika i akumulacija kalcijevog karbonata (sedra, bigar, travertin, tufa) važne su za postanak jezerskih bazena. Jezera su nastala u riječnoj dolini čiji je gornji dio stepenasto rasjednuta. Sedrene barijere stvorene su na poprečnim dolinskim pragovima preko kojih se voda prelijeva iz viših u niža jezera.

Voda u Plitvička jezera dolazi iz mnogih izvora: Bijelom i Crnom rijekom (koje utječu u Jezera spojene u Maticu), potocima Plitvicom i Rječicom te mnogim podzemnim izvorima. Glavne karakteristike vode plitvičkog hidrosustava su prezasićenost

karbonatima, niske koncentracije hranjivih soli, niski KPK ( $< 3 \text{ mg O}_2 / \text{L}$ ) i visoka zasićenost kisikom ( $> 85\%$ ).

### 2.1.1. Flora i fauna Plitvičkih jezera

Na relativno maloj površini Nacionalnog Parka zabilježeno je veliko bogatstvo biljnih i životinjskih vrsta. U pogledu bogatstva flore viših biljaka zabilježeno je 1267 biljnih vrsta koje su svrstane u 112 biljnih porodica (ŠEGULJA & KRGA 1988). Park se ističe sa 22 vrste koje su zaštićene Zakonom o zaštiti prirode Republike Hrvatske. Jedne od tih vrsti su gospina papučica (*Cypripedium calceolus*) - najljepša orhideja Europe. Ona je rijetka i ugrožena vrsta šumskih prostora i zbog toga se nalazi u Crvenoj knjizi biljnih vrsta RH i na IUCN-ovoj Crvenoj listi u kategoriji ugroženih svojti. Nacionalni park Plitvička jezera su jedino nalazište zlatne jezičnice (*Ligularia sibirica*) u cijeloj Hrvatskoj, ali i šire – prostoru jugoistočne Europe. Plitvička jezera sadrže i cretna područja na kojima su mnoge zaštićene biljne vrste, a među njima se mogu istaknuti mnoge mesojedne biljke (tustica kukcolovka (*Pinguicula vulgaris*)). Detaljnija istraživanja flore nižih biljaka PEVALEKA (1924) dokazala su da vodene alge i mahovine formativno sudjeluju u stvaranju sedre, te da su sedra i sedrotrvorne biljke najvažniji faktor koji utječe na morfologiju Plitvičkih jezera.

Istraživanja livada i šuma su pokazala veliko bogatstvo leptira. Prema tekućim istraživanjima na području Plitvičkih jezera nalazi se 321 vrsta leptira od čega 76 vrsta otpada na danje leptire, a 245 vrsta na noćne. Znanstvenici pretpostavljaju da je to samo 50% potencijalne faune leptira (KUČINIĆ i & MALICKY 2001). Posebno istraživana skupina kukaca na području Plitvičkih jezera su tulari, kojih je trenutno registrirano 80 vrsta.

Jezera i brojni njihovi pritoci imaju obilježja tipičnih pastrvskih visinskih voda. Potočna pastrva je jedan od prastanovnika ovih jezera. Populacije ove alohtone vrste potisnute su populacijama unesenih vrsta klena i crvenperke. Na području Parka zabilježeno je dvanaest vrsta vodozemaca, a zbog klimatskih uvjeta (duge zime, debeli zimski pokrivač) brojnost gmazova je relativno mala. Na području Plitvičkih jezera zabilježeno je 157 vrsta ptica, što po brojnosti te skupine svrstava Plitvička jezera u treći po redu park u Hrvatskoj. Na području Parka zabilježeno je preko 50 vrsta sisavaca, a prema novim istraživanjima utvrđeno je 20 vrsta šišmiša (MRAKOVČIĆ 1998).



### 2.1.2. Klima Plitvičkih jezera

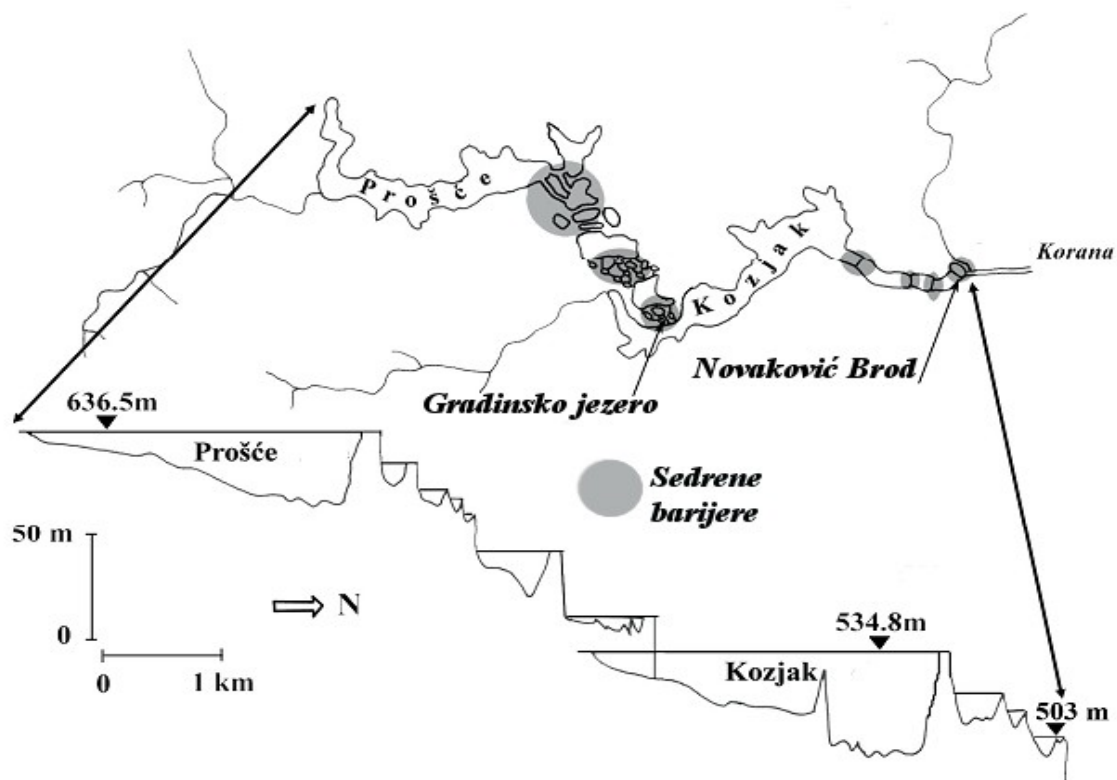
Plitvička jezera udaljena su od mora 50 km zračne udaljenosti, a nalaze se na planinskom prijevoju nadmorske visine od 700 do 800 m. Sredozemna klima ima slab utjecaj te na Plitvičkim jezerima prevladava prijelazni tip između primorske i kopnene klime. U Nacionalnom parku ljeta su sunčana i relativno duga, dok su zime oštre i bogate snijegom.

Proljeća su hladna i kišovita. Srednja dnevna temperatura zraka je niža od 8 °C. Jutarnje temperature u lipnju često znaju biti niže od 0 °C. Prosječna ljetna podnevna temperatura je 24 °C. U najtoplijim danima zrak ne prelazi temperaturu od 36 °C. Vrućih dana s temperaturom višom od 30 °C ima samo jedan ili dva u mjesecu. Jutarnje temperature su niske. Prosječna jutarnja temperatura je 9 °C. Početak jeseni na Plitvičkim jezerima je ugodan. Srednje temperature zraka su oko 13 °C, u podne oko 20 °C, a jutarnja je oko 6 °C. Inače je jesen kratka i u studenom prelazi na zimsku klimu. Zimska oborina je snijeg, rijeđe kiša. Najviše snijega padne u studenom (oko 200 mm), a najmanje u siječnju (oko 80 mm).

### 2.2. Istraživačke postaje

Istraživanja su provedena na istraživačkim postajama na dvije sedrene barijere (slika 1). Ove dvije postaje su reprezentativne za sedrene barijere s obzirom na mahovinski pokrov i hidrauličke uvjete.

3. Postaja G: barijera između Gradinskog jezera (površina 0,04 km<sup>2</sup>; najveća dubina jezera 15 m ) i jezerskog kompleksa Burgeti, u sustavu Gornjih jezera.
4. Postaja NB: barijera između jezera Kaluđerovac (površina 0,02 km<sup>2</sup>; najveća dubina jezera 13 m ) i Novaković Broda, u sustavu Donjih jezera.



**Slika 1.** Položaj istraživanih postaja u hidrosustavu Plitvičkih jezera

Obje postaje karakteriziraju slični uvjeti okoliša. Okolnu vegetaciju zastupa bukva i jela (*Fagus sylvatica* i *Abies alba*), a akvatičku floru karakterizira vegetacija lopuha i vrbe (*Petasites* sp i *Salix* sp.) i mahovinski pokrov *Pellia calycina*, *Cratoneurum commutatum*, *Brachythecium rivulare*, *Brium pseudotriquetrum* (ALEGRO osobna komunikacija) na sedrenom supstratu.

Listinac i ksilemski ostaci okolne vegetacije (*Fagus sylvatica* i *Abies alba*) u bentalu čine usitnjenu organsku tvar u različitim stupnjevima fragmentacije u lotičkim i lentičkim staništima u kaskadnom sustavu Plitvičkih jezera. Vegetacija iz akvatorija (npr. *Petasites*, *Cladium*, *Salix* i *Phragmites*) čine manji dio usitnjene organske tvari.

### 3.0. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Plan pokusa

Istraživanje je provedeno u razdoblju od siječnja 2007. do prosinca 2007. Cilj istraživanja je bilo praćenje vremenske dinamike razgradnje listinca. Standardna metoda za istraživanje listinca je "metoda paketića listinca" (eng. *leaf packs*) (npr. CHENG et al. 1997 FERREIRA & GRACA 2006, MARKS et al. 2006, LeROY & MARKS 2007). Ova metoda odgovara prirodnom procesu, listinac se akumulira u nakupine i zadržava se određen broj dana na određenim strukturama. Listinac se može i vezati na sedrene barijere precipitacijom kalcijeva karbonata.



Slika 2. Listinac bukve na padinama oko jezera (fotografija A. Belančić)

U istraživanju je praćena razgradnja dvaju vrsta listinaca: alohtoni listinac (potječe od okolne vegetacije), bukve (*Fagus sylvatica*) i autohtoni listinac (raste na samim barijerama) lopuha (*Petasites* spp.). Ove vrste česte su na području Nacionalnog parka Plitvička jezera, te su zato odabrane za proučavanje. Lopuh je česta biljka na sedrenim barijerama i spada u skupinu brzo raspadajućih vrsta. Bukva, koje je pak česta u obalnoj vegetaciji jezera, spada u skupinu sporo raspadajućih vrsta (PETERSEN & CUMMINS 1974).

Lišće bukve sakupljeno je po opadanju, a lišće lopuha je rezano zeleno jer vegetacijski ciklus lopuha ne nudi mogućnost sakupljanja odumrlog lišća. Vanjsko lišće rozete vene i (još zeleno) upada u vodu gdje započinje proces razgradnje.



**Slika 3.** Lopuh na sedrenim barijerama Plitvičkih jezera (fotografija A. Belančić)

Sakupljeno lišće sušeno je na zraku standardnim postupkom (TAYLOR & BÄRLOCHER 1996). U plastične mrežaste vrećice dimenzija 20 × 30 cm s otvorima veličine 2×10 mm stavljeno je po 10 g suhog listinca. Paketići su privezani za metalnu cijev koja je pričvršćena za dno sedrenih barijera okomito na smjer strujanja vode. Paketići listinca su postavljeni na istraživačke postaje koje predstavljaju kombinaciju dviju stopa taloženja sedre (visoka oko 1 g sedre/g listinca×tjedan i niska oko 0,25 g sedre/g listinca×tjedan) i dvije brzine strujanja vode (brza > 60 cm/s i spora <30 cm/s).



**Slika 4.** Paketić sušenog listinca pripremljenog za ekspoziciju u vodi (fotografija A. Belančić)

Razgradnja listinca praćena je tokom cijele godine. Uzorci su uzimani jednom mjesečno. Nakon uzimanja uzorka postavljali su se novi paketići listinca koji su se eksponirali tijekom sljedećeg mjeseca. Na taj način ostvareno je uzorkovanje listinca izloženog 1 do 12 mjeseci te 12 uzoraka izloženih po jedan mjesec tijekom cijele godine.

Također u dva razdoblja praćena je kratkoročna razgradnja listinca sa istim dizajnom eksperimenta, ali s tjednim uzorkovanjem. Takve tjedne serije trajale su kroz 8 tjedana. Ovaj dio pokusa postavljen je zimi i ljeti, kako bi se procijenio utjecaj temperature na proces razgradnje listinca. Zimska serija trajala je tijekom siječnja i veljače 2007. godine, a ljetna serija tijekom lipnja i srpnja 2007. godine.

### **3.2. Uzimanje uzoraka i obrada**

Listinac je nakon izlaganja u vodi sakupljan navedenom dinamikom. Paketići sa listincem brzo su podizani, a voda iz paketića je skupljana za analizu u posebne posude. U plastičnim vrećicama paketići su preneseni u laboratorij. Listinac je izvađen iz vrećica, ispran i izdvojen (od životinja i nakupljenog materijala) te ostavljen da se osuši na zraku. Osušeni uzorci listinca su izvagani. Nakon vaganja uzorak je ispran 12%-tnom klorovodičnom kiselinom do prestanka stvaranja mjehurića, cca 15 sekundi, kako bi se uklonili ostaci sedre ( $\text{CaCO}_3$ ). Nakon djelovanja klorovodične kiseline uzorak je ispran destiliranom vodom. Uzorak je ponovo osušen na zraku i izvagan kako bi utvrdili masu istaložene sedre.

### **3.3. Analiza uzoraka**

Za analizu količine nitrata i fosfata koja je preostala u listincu nakon izlaganja u pokusu raspadanja listinca obavljena je ekstrakcija u vodi. Suho lišće je samljeveno i po 300 mg uzorka je ekstrahirano u 100 mL destilirane vode inkubacijom u vodenoj kupelji pri temperaturi od 90 °C 3 puta po 2 sata tijekom 3 dana. U ovako dobivenim ekstraktima mjerene su količine nitrata i fosfata.

#### **3.3.1. Spektrofotometrijsko određivanje nitrata u vodi**

Nitrati su određivani u kratkom vremenu nakon sakupljanja uzoraka. Količina nitrata u vodi određivana je metodom natrijeva salicilata ( $\text{NaC}_7\text{H}_5\text{O}_3$ ).

Djelovanjem nitrata iz vode na prstenastu organsku molekulu natrijevog salicilata, u prisutnosti jake kiseline ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  konc.) nastaje nitrosalicilna kiselina koja je žute boje.



Uzorku se naknadno dodaje kalij-natrijev-tartarat, koji ima ulogu stabilizirati žutu nitrosalicilnu kiselinu nastalu reakcijom. O koncentraciji nitrata u uzorku vode ovisi intenzitet obojenja nastale otopine. Koncentracija nitrata određuje se spektrofotometrijski mjerenjem apsorbancije pri valnoj duljini 420 nm (ljubičasti dio vidljivog spektra).

### 3.3.2. Postupak određivanja količine nitrata u ekstraktu listinca

Pipetom sam uzela 20 mL uzorka ispitivane vode i stavila u malu staklenu zdjelicu. Uzorku sam dodala 1 mL 0,5% otopine natrijevog salicilata ( $\text{NaC}_7\text{H}_5\text{O}_3$ ). Pripremljenu otopinu sam ostavila ispod infracrvene lampe dok sva tekućina nije isparila.

Suhom talogu sam dodala 1 mL koncentrirane sumporne kiseline ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $D=1,8$ ) i pričekala 10 minuta kako bi se talog otopio. Uzorku sam dodala 25 mL destilirane vode, nakon toga 7 mL 30% otopine natrijeve lužine i 0,6% otopine kalij-natrijeva tartarata ( $\text{C}_4\text{H}_4\text{NaO}_6$ ). Ovisno o koncentraciji nitrata u otopini dolazi do pojave žutog obojenja različitog intenziteta. Uzorak sam prelila u menzuru i dolila destilirane vode do oznake 50 mL.

U drugoj staklenoj zdjelici provodila sam identičan postupak sa deioniziranom vodom za slijepu probu.

Apsorbanciju uzorka mjerila sam spektrofotometrijski pri valnoj duljini 420 nm u kiveti promjera 10 mm, a prethodno sam slijepom probom baždabila spektrofotometar. Prema izmjerenoj apsorbanciji koncentraciju nitrata očitala sam iz standardnog dijagrama za nitrate.

### 3.3.3. Spektrofotometrijsko određivanje fosfata u vodi

Fosfati se u prirodnim i otpadnim vodama nalazi uglavnom u obliku ortofosfata, kondenziranih fosfata i organski vezanog fosfata. Fosfati su soli fosforne kiseline, i kao takvi mogu postojati u tri oblika (ortofosfati,  $\text{PO}_4^{3-}$ ; difosfati,  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ; metafosfati  $\text{PO}_3^-$ ). Kondenzirani fosfati nastaju dehidracijom ortofosfatnog radikala i uključuje metafosfate, pirofosfate i polifosfate.

Za određivanje i dokazivanje fosfata u vodi služi molibdat ionom ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ). Molibdat ion nastaje od molibdenovog(VI) oksida ( $\text{MoO}_3$ ). Molibdenov (VI) oksid ima amfoterna svojstva, ali su mu kisela svojstva znatno više izražena. Netopljiv je u vodi. Topljiv je u lužinama i u njima nastaje  $\text{MoO}_4^{2-}$ . Ako se zakiseljenim otopinam molibdata doda neko redukcijsko sredstvo, nastaje tamnomodra koloidna otopina (molibdensko modrilo), spoj koji sadrži molibden u dva stupnja oksidacije, +5 i +6.

Prilikom dokazivanja fosfora s amonijevim molibdatom,  $((\text{NH}_4)\text{MoO}_4)$ , reaktivni fosfor reagira s molibdatom u kiseloj sredini ( $\text{pH} < 1$ ) stvarajući fosfomolibdatni kompleks. Ovaj kompleks  $((\text{NH}_4)_3\text{PO}_4)\text{MoO}_3$  se reducira s kositrovim kloridom ( $\text{SnCl}_2$ ). Nastaje intenzivno plavo obojenje molibdenskog modrila.

O koncentraciji ortofosfata u uzorku vode ovisi intenzitet plavog obojenja nastale otopine. Koncentracija fosfata određuje se mjerenjem apsorbancije pri valnoj duljini 690 nm (crveni dio vidljivog spektra). Ovom metodom mogu se izmjeriti i vrlo male količine ortofosfata u uzorku, oko 0,003 mg P/L.

#### 3.3.4. Postupak određivanja količine fosfata u ekstraktu listinca

Deterdženti sadrže fosfate i postoji mogućnost da se uzorak nepotrebno zagadi. Iz tog razloga suđe koje sam koristila prije upotrebe sam isprala razrijeđenom sumpornom kiselinom ( $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O} = 1:40$ ) i dobro isprala destiliranom vodom. U Erlenmayerovu tikvicu od 50 mL stavila sam 25 mL uzorka vode. Uzorku vode dodala sam 1 mL amonij-molibdat reagensa i pomiješala. Uzorku sam dodala 3 kapi kositar-klorid reagensa i promiješala. Pomoću pH-indikator papira izmjerila sam pH otopine ( $\text{pH} < 1$ ). Uzorak sam ostavila 10 minuta da odstoji. U zasebnoj Erlenmayerovoj tikvici provodila sam identičan postupak s deioniziranom vodom za slijepu probu. Pomoću slijepe probe baždabila sam spektrofotometar. Apsorbanciju uzorka mjerila sam u kiveti promjera 25 mm pri valnoj duljini 690 nm. Koncentraciju fosfata u uzorku isčitavala sam iz standardnog diagrama za fosfate.

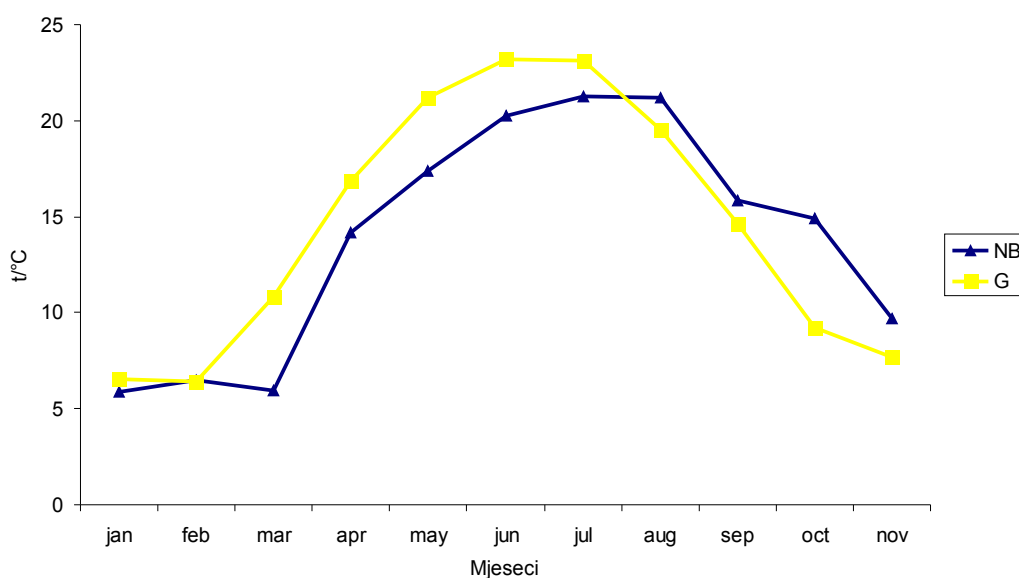
## 2. 4.0. REZULTATI

### 3. 4.1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode

Temperatura vode na istraživanim postajama kretala se u rasponu od 5,4 °C do 23,8 °C (Slika 5.) u jednogodišnjem razdoblju istraživanja.

Najniža temperatura vode bila je izmjerena na postaji NB u sporoj struji vode, a ona je iznosila 5,4°C. Najviša temperatura izmjerena je na postaji G u brznoj struji vode, a ona je iznosila 23,8 °C.

Temperatura vode u prosjeku je malo viša na G mjernoj postaji ( $13,2 \pm 6,5$ ) nego na postaji NB ( $13,1 \pm 6,6$ ).



**Slika 5.** Izmjerene temperature vode na svim mjernim postajama

U zimskim mjesecima temperatura vode se kreće u rasponu od 5 do 10 °C, dok se u ljetnim mjesecima ona kreće između 17 i 25 °C.

Temperatura vode nije se statistički značajno razlikovala među postajama prema Mann-Witney U testu ( $p > 0,05$ ), kao ni ostali mjereni čimbenici vode (Tablica 1).



**Tablica 1.** Fizikalno-kemijske karakteristike vode (sr.vrijednost  $\pm$  SD) na postajama NB I G.

| Čimbenik                                               | Postaja G          | Postaja NB         |
|--------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| O <sub>2</sub> (mg/l)                                  | 10,22 $\pm$ 1,87   | 10,05 $\pm$ 1,77   |
| pH                                                     | 8,32 $\pm$ 0,11    | 8,36 $\pm$ 0,12    |
| Konduktivitet ( $\mu$ S/cm)                            | 363 $\pm$ 19       | 362 $\pm$ 20       |
| N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)                  | 0,395 $\pm$ 0,140  | 0,387 $\pm$ 0,075  |
| P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l)                 | 0,0033 $\pm$ 0,005 | 0,0042 $\pm$ 0,005 |
| KPK <sub>KMnO<sub>4</sub></sub> (mg O <sub>2</sub> /l) | 1,036 $\pm$ 0,410  | 1,091 $\pm$ 0,397  |

#### 4. 4.2. Masa listinca

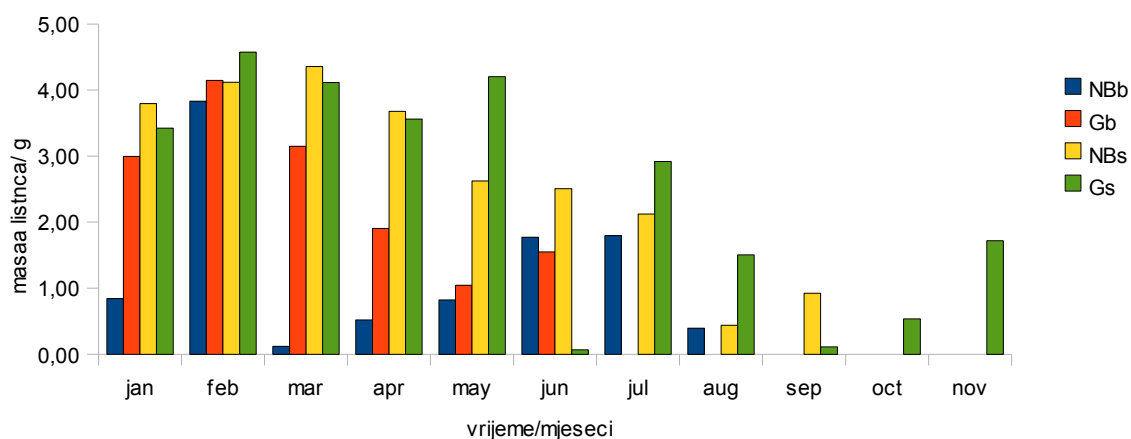
Početna masa obje vrste listinca za analizu gubitka mase bile su 10 g. Vremenske ekspozicije listinca su bile:

1. jednomjesečna ekspozicija tokom godine
2. cjelogodišnja ekspozicija
5. osmotjedna ekspozicija tokom zime
6. osmotjedna ekspozicija tokom ljeta

##### 4.2.1. Jednomjesečna ekspozicija

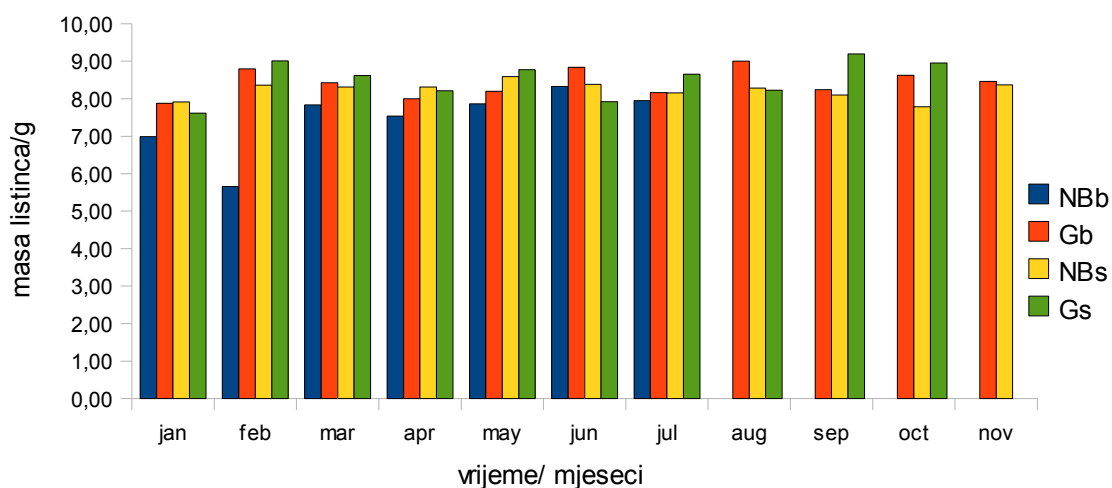
Tokom jednomjesečne ekspozicije promatrala se brzina raspadanja listinca, odnosno njegov gubitak na masi tijekom vremena.

Listinac lopuha najbrže gubi na masi na mjernoj postaji G u listopadu i to u sporoj struji vode. Početna masa listinca od 10 g se smanji do mase od 0,1119 g. Najsporiji raspad listinca je na mjernoj postaji G u sporoj struji vode. Konačna masa koju postigne listinac lopuha u jednomjesečnoj ekspoziciji je 4,6 g (slika 6.).



**Slika 6.** Promjena mase listinca lopuha tokom godine na svim mjernim postajama (jednomjesečna ekspozicija)

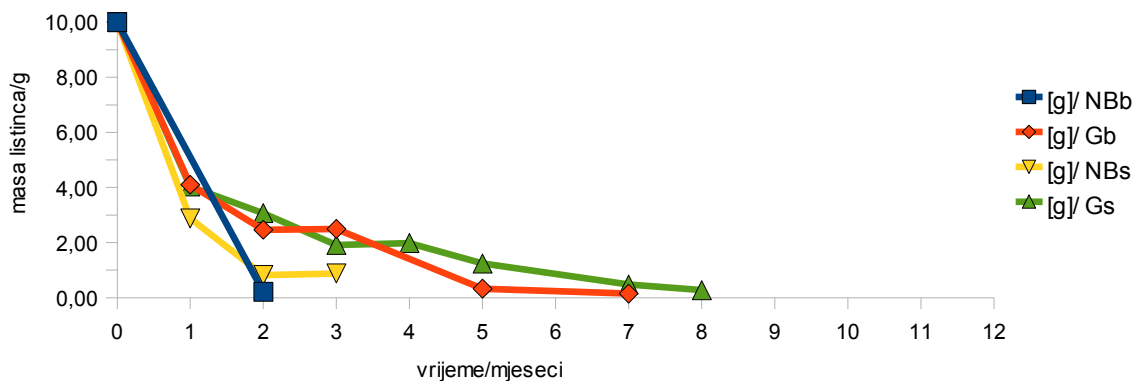
Listinac bukve puno se sporije raspada od listinca lopuha. U jednomjesečnoj ekspoziciji bukve vrijednosti mase su puno veće u usporedbi sa lopuhom. Najbrži raspad listinca bukve događa se tokom veljače na mjernoj postaji NB u brznoj struji vode. Početna masa listinca bukve bila je 10 g a konačna 5,6548g. Najsporiji raspad listinca bukve je tokom listopada na mjernoj postaji G u sporij struji vode. Od početne mase od 10 g masa listinca se smanjila na 9,2 g (Slika 7.).



**Slika 7.** Promjena mase listinca bukve tokom godine na svim mjernim postajama (jednomjesečna ekspozicija)

#### 4.2.2. Jednogodišnja ekspozicija

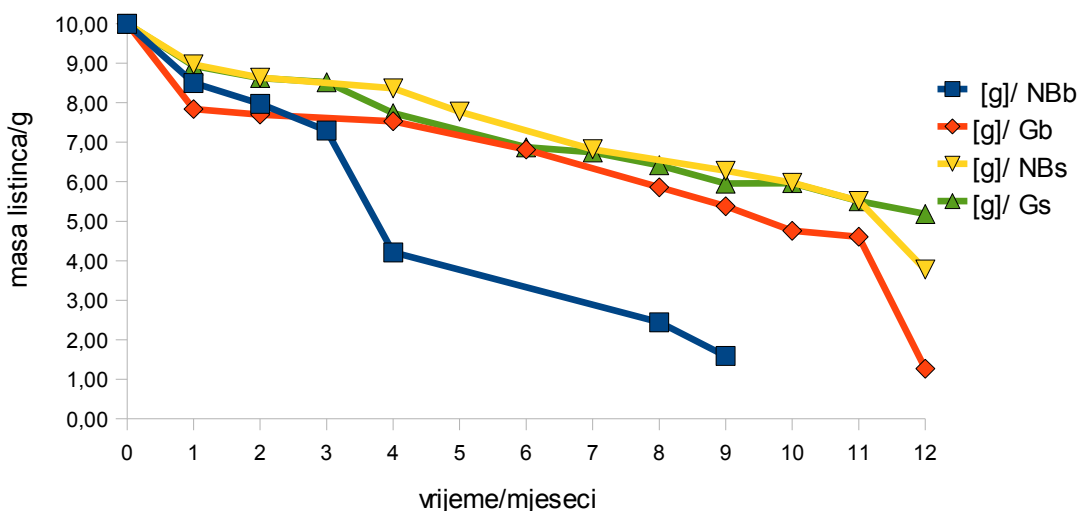
Tokom jednogodišnje ekspozicije listinca lopuha vidi se njegova potpuna razgradnja na dijelu postaja (Slika 8.)



**Slika 8.** Promjena mase listinca lopuha tokom jednogodišnje ekspozicije

Listinac lopuha se najbrže raspao na mjernoj postaji NB u brznoj i u sporjoj struji vode (Slika 8.) Najsporije se lopuh raspada na postaji G u sporjoj struji vode.

Listinac bukve moguće je pratiti kroz svih 12 mjeseci zbog sporijeg raspada.



**Slika 9.** Promjena mase listinca bukve tokom jednogodišnje ekspozicije

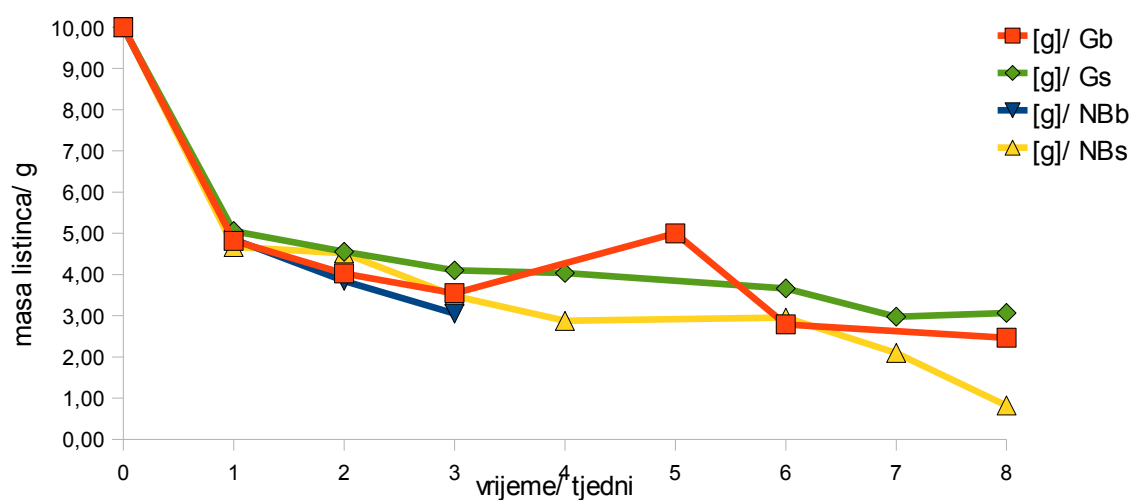
Bukvin listinac u brznoj struji vode brže se raspada nego u sporijoj struji vode. Najbrži raspad ima listinac u brznoj struji vode je na mjernoj postaji NB. Nakon njega slijedi ga mjerna postaja G također u brznoj struji vode. Najsporiji raspad listinca bukve je na mjernoj postaji G u sporjoj struji vode (Slika 9.).

#### 4.2.3. Osmotjedna ekspozicija

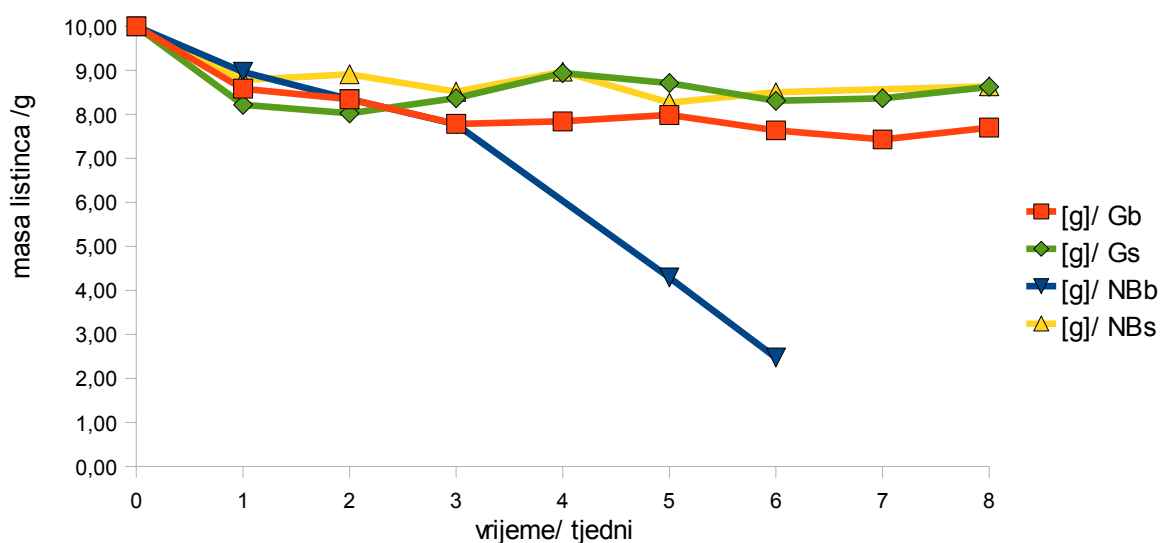
Tokom tjedne ekspozicije listinac se podže sa postaja svaki tjedan. Zbog kraćeg vremenskog perioda ekspozicije možemo bolje pratiti promjena u masi listinca obiju vrsta. Vremenski period promatranja razlike u masama je kraći i stoga precizniji.

##### 4.2.3.1 Zima

Listinac lopuha tokom 8 tjedana u zimskom periodu brzo se raspada. Najbrža stopa raspadanja zabilježena je za obje vrste na postaji NB smještenoj u sustavu Donjih jezera bez obzira na brzinu strujanja (Slike 10. i 11. ).



**Slika 10.** Promjena u masi listinca lopuha u tjednoj ekspoziciji (8 tjedana zimi)



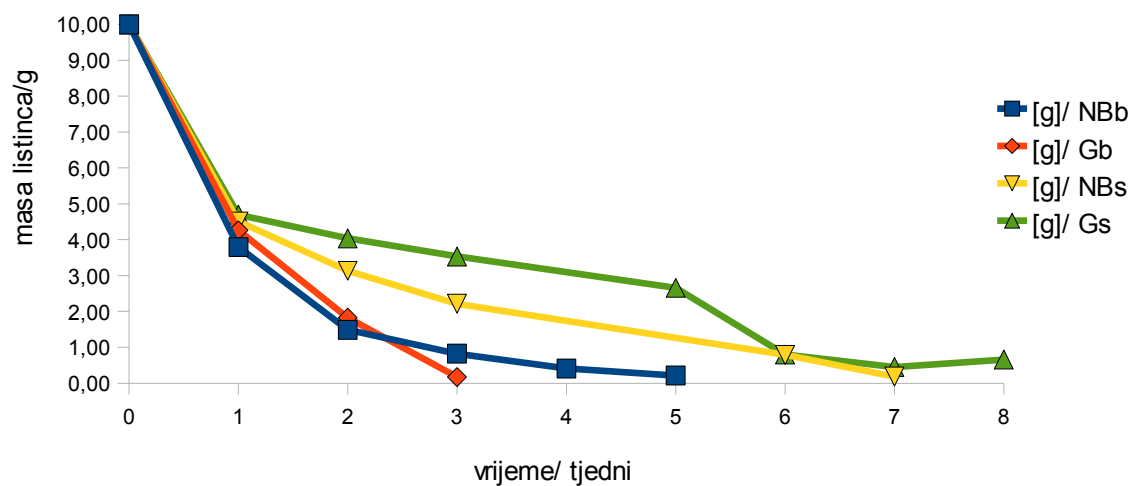
**Slika 11.** Promjena u masi listinca bukve u tjednoj ekspoziciji (8 tjedana zimi)

Najniža zabilježena masa listinca lopuha tokom tjedne ekspozicije zimi je 0,8195 g, dok je najmanja vrijednost mase listinca bukve 2,4738 g (Slike 10 i 11.).

#### 4.2.3.2. Ljeto

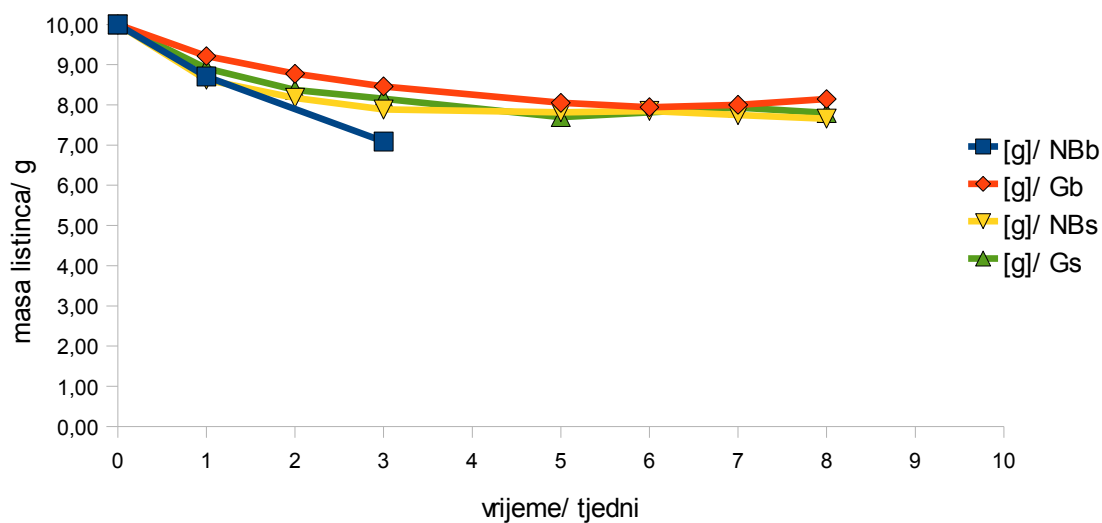
Mjerna postaja G za listinca lopuha na brzjoj struji vode i postaja NB za listinac bukve također na brzjoj struji vode izuzimaju se iz analize zbog nedovoljnog broja podataka (Slike 12. i 13.).

Promjena u masi listinca lopuha u ljetnoj ekspoziciji događa se brže nego kod listinca bukve. Najbrži raspad pokazuje listinac lopuha na mjernoj postaji NB bez obzira na brzinu strujanja vode (NBb 0,2139 g i NBs 0,1858g) (Slika 12.).



**Slika 12.** Promjena u masi listinca lopuha u tjednoj ekspoziciji (8 tjedana ljeti)

Listinac bukve sporije se raspada nego listinac lopuha. Najbrži raspad listinac bukve dostiže na mjernoj postaji NB u brzoj struji vode, gdje se masa smanjila do 25 % (Slika 13.).



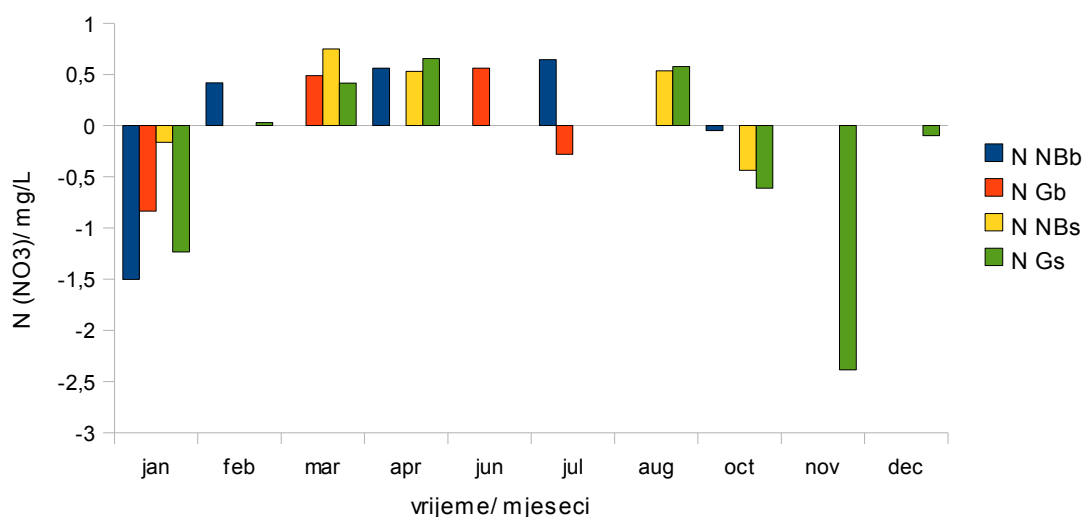
**Slika 13.** Promjena u masi listinca bukve u tjednoj ekspoziciji (8 tjedana ljeti)

### 4.3. Nitrati

Početna masa listinca tokom analize nitrata bila je 300 mg. Kontrolna vrijednost nitrata listinca lopuha bila je  $1,11 \text{ mg L}^{-1}$ , dok je kontrolna vrijednost listinca bukve bila  $1,07 \text{ mg L}^{-1}$ . Vrijednosti na grafikonima pokazuje su kao razliku između kontrolne vrijednosti i ekstrahiranih vrijednosti nitrata listinca obju vrsta.

#### 4.3.1. Jednomjesečna ekspozicija

Tokom jednomjesečne ekspozicije u godinu dana vidljivo je da na svim mjernim postajama količina nitrata u listincu ovisi o temperaturi. Tokom hladnijih mjeseci manje nitrata se otpušta u vodu nego tokom toplijih mjeseci (Slike 14. i 15.). Taj trend nije bio statistički značajan, osim za listinac bukve na postaji Gs (Tablica 2).

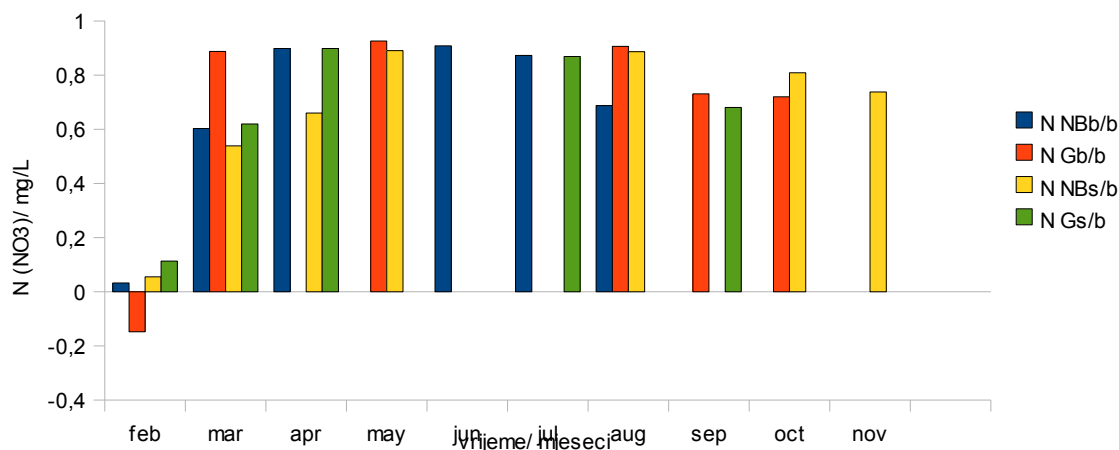


**Slika 14.** Razlika početne i konačne vrijednosti nitrata listinca lopuha tokom godine (jednomjesečna ekspozicija)

Najveće povećanje koncentracije nitrata je za listinac lopuha u listopadu na mjernoj postaji G u sporoj struji vode (razlika početne i konačne vrijednosti je bila  $-2,39 \text{ mg L}^{-1}$ ). Najveći pad u koncentraciji nitrata u listincu lopuha je na mjernoj postaji NB u sporoj struji vode ( $0,75 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Slika 14.).

Najveća vrijednost apsorbiranog nitrata na listincu bukve je  $-0,15 \text{ mg L}^{-1}$ . Maksimalna vrijednost ispranog listinca bukve ostvarena je na mjernim postajama NB i G

u brzoj struji vodi tokom srpnja i obje iznose 0,91 mg L<sup>-1</sup> (Sika 15.) .



**Slika 15.** Razlika početne i konačne vrijednosti nitrata listinca bukve tokom godine (jednomjesečna ekspozicija)

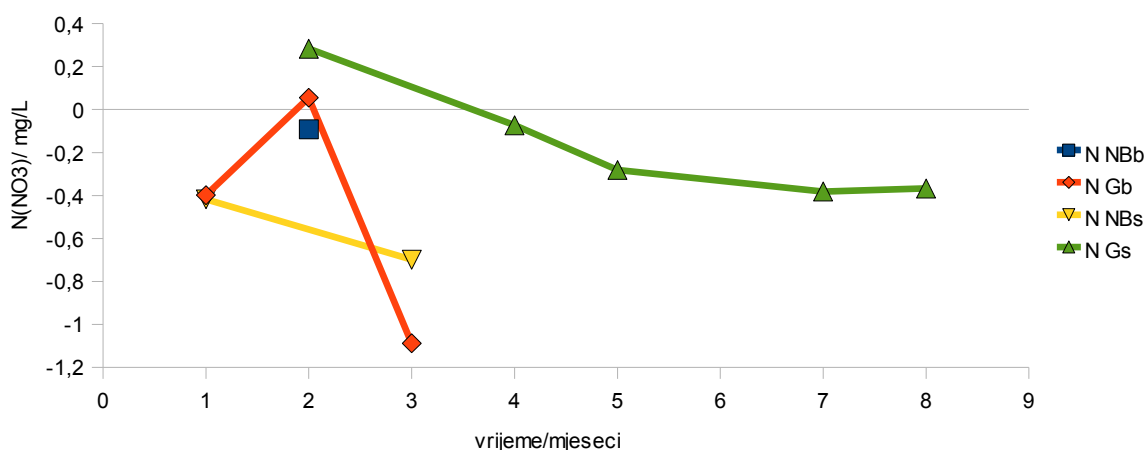
**Tablica 2.** Koeficijenti korelacije (Spearman R) između temperature vode i razlike (početna – konačna) u koncentraciji nitrata za listinac bukve i lopuha u jednomjesečnoj ekspoziciji.

| Listinac | Postaja-brzina | N        | R           | p            |
|----------|----------------|----------|-------------|--------------|
| Lopuh    | NBb            | 5        | 0.70        | 0.188        |
|          | Gb             | 4        | 0.80        | 0.200        |
|          | NBs            | 5        | 0.00        | 1.000        |
|          | Gs             | 8        | 0.33        | 0.420        |
| Bukva    | NBb            | 6        | 0.77        | 0.072        |
|          | Gb             | 6        | 0.43        | 0.397        |
|          | NBs            | 7        | 0.71        | 0.071        |
|          | Gs             | <b>5</b> | <b>0.90</b> | <b>0.037</b> |

#### 4.3.2. Jednogodišnja ekspozicija

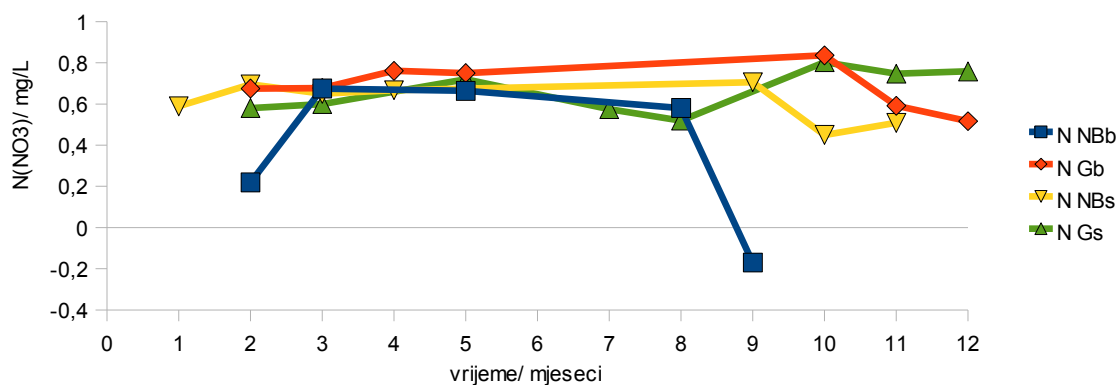
Cjelogodišnja ekspozicija listinca lopuha ne daje dovoljno rezultata zbog prebrzog raspada. Mjerna postaja G u sporoj struji vode pokazuje trend ispiranja nitrata sa listinca lopuha. U toplijim mjesecima listinac apsorbira nitrata (Slika 16.).





**Slika 16.** Razlika početne i konačne vrijednosti nitrata listinca lopuha tokom jednogodišnje ekspozicije

Maksimalna vrijednost za apsorbirane nitratre listinca bukve je  $-0,37 \text{ mg L}^{-1}$ . Sadržaj nitrata na listincu bukve se povećava na mjernoj postaji NB u brznoj struji vode nakon devetomjesečne ekspozicije. Sve ostale ispitivane postaje listinca bukve pokazuju trend ispiranja nitrata (Slike 16. i 17.).



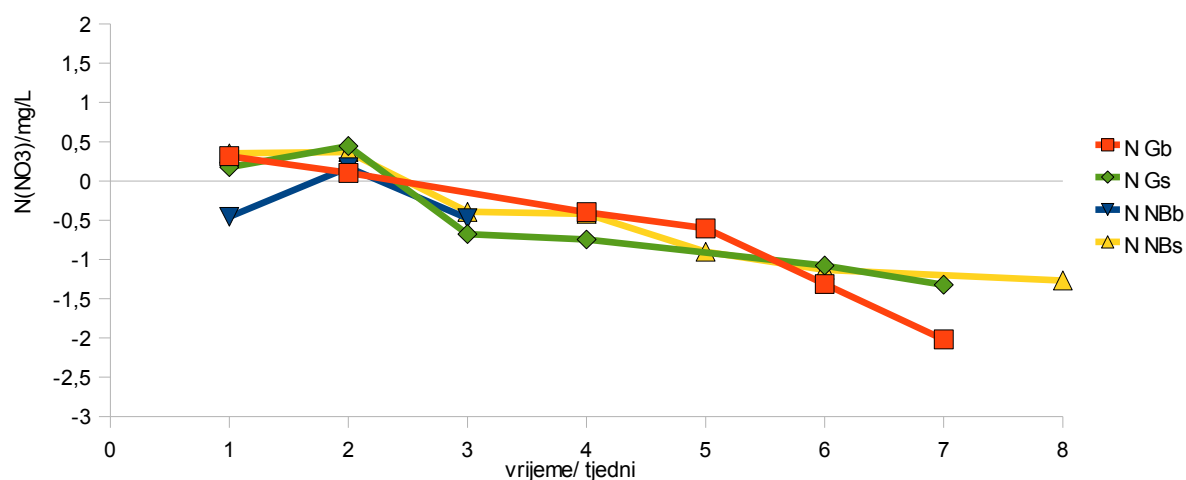
**Slika 17.** Razlika početne i konačne vrijednosti nitrata listinca bukve tokom jednogodišnje ekspozicije

#### 4.3.3. Osmotjedna ekspozicija

Tjedna ekspozicija omogućava kraći vremenski period proučavanja ispitivanih parametara, u ovom slučaju količine nitrata koji ostaju u listincu.

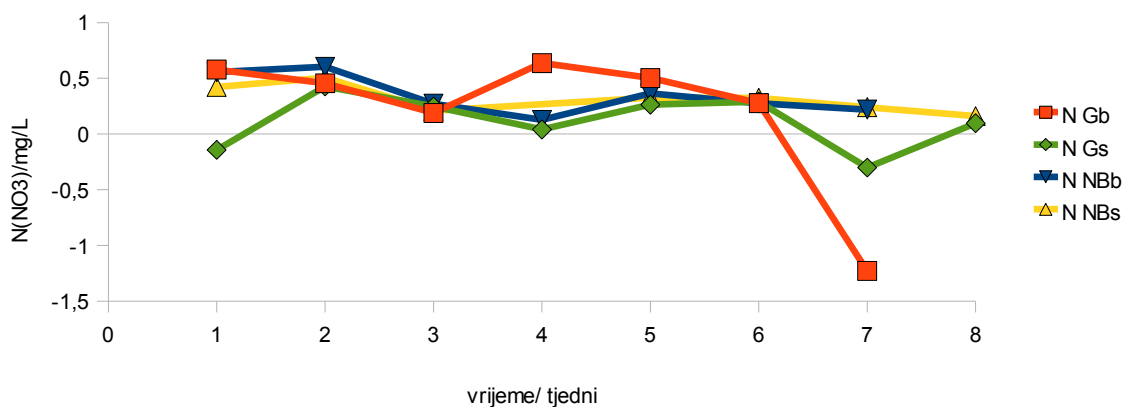
#### 4.3.3.1. Zima

Listinac lopuha apsorbira nitrate. Najbrže apsorpcija nitrata dešava se na brznoj struji vode na mjernoj postaji G ( $-2,02 \text{ mg L}^{-1}$ ). Zbog nedovoljne količine podataka na mjernoj postaji NB pri brznoj struji vode nije bilo moguće napraviti potpunu analizu (Slika 18.).



**Slika 18.** Razlika početne i konačne vrijednosti nitrata listinca lopuha tokom tjedne ekspozicije ( osam tjedana zimi)

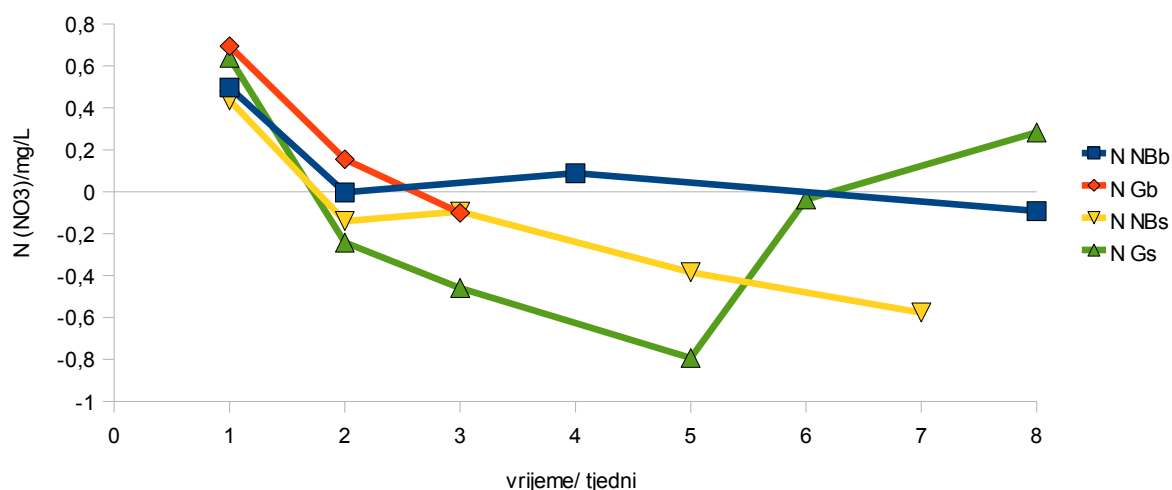
Listinac bukve u zimskoj tjednoj ekspoziciji pokazuje nepravilan trend ispiranja i apsorpcije nitrata. Na mjernoj postaji G pri različitim brzinama struje vode dolazi do različitih rezultata. U brznoj struji vode sadržaj nitrata na listinac bukve je veći nego na početku ( $-1,23 \text{ mg L}^{-1}$ ), dok se u sporij struji vode tokom 8 tjedana gotovo sav nitrat ispire ( $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Slika 19.).



**Slika 19.** Razlika početne i konačne vrijednosti nitrata listinca bukve tokom tjedne ekspozicije (osam tjedana zimi)

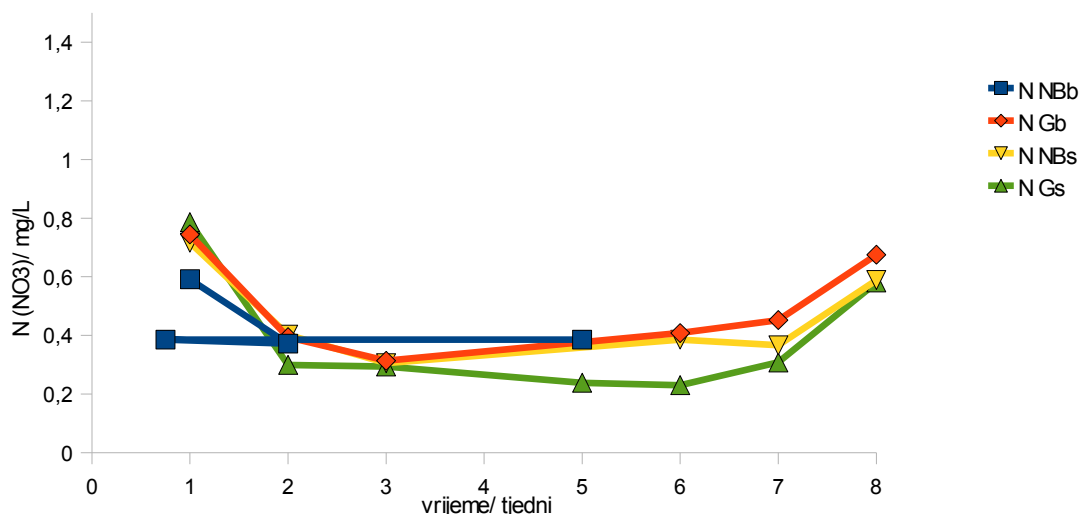
#### 4.3.3.2. Ljeto

Zbog brzog raspada listinca lopuha mjerna postaja Gb sadrži 3 mjerne točke i zbog toga se ne mogu upotrijebiti za analizu. Nakon ispiranja nitrata iz listinca dolazi do apsorpcije nitrata (Slika 20.). Vrijednosti apsorbiranog nitrata veće su od vrijednosti apsorbiranog nitrata tokom zimskih mjeseci listinca lopuha (Slika 20. i 21.).



**Slika 20.** Razlika početne i konačne vrijednosti nitrata listinca lopuha tokom tjedne ekspozicije (osam tjedana ljeti)

Listinac bukve tijekom ljetne ekspozicije otpušta nitrate. Nakon 5 tjedana ekspozicije listinac količina nitrata je veća nego početna (Slika 21.). Nakon ponove apsorpcije nitrata sve tri postaje listinca bukve pokazuju slične vrijednosti (NBs 0,59 mg L<sup>-1</sup>, Gb 0,68 mg L<sup>-1</sup> i Gs 0,58 mg L<sup>-1</sup>).



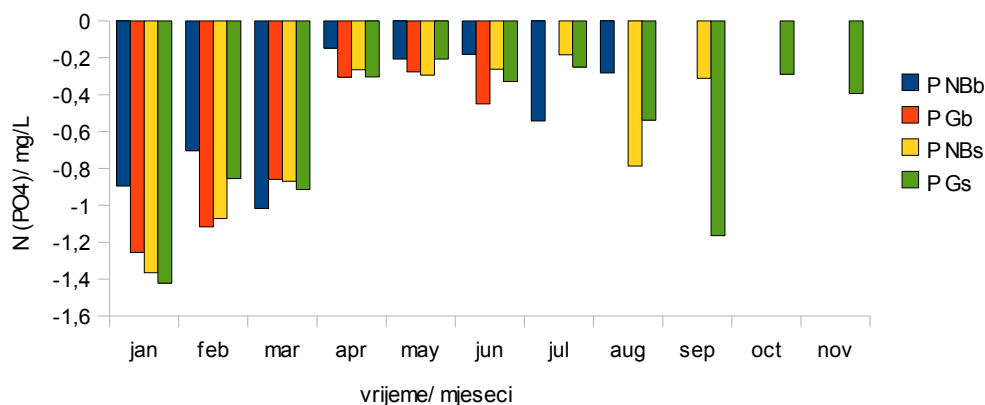
**Slika 21.** Razlika početne i konačne vrijednosti nitrata listinca bukve tokom tjedne ekspozicije (osam tjedana ljeti)

#### 4.4. Fosfati

Za analizu fosfata korišteno je 300 mg listinca obiju vrsta. Kontrolna vrijednost fosfata listinca lopuha bila je  $0,53 \text{ mg L}^{-1}$ , dok je kontrolna vrijednost listinca bukve bila  $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ . Vrijednosti na grafikonima pokazuje su kao razliku između kontrolne vrijednosti i ekstrahirane vrijednosti fosfata listinca obiju vrsta.

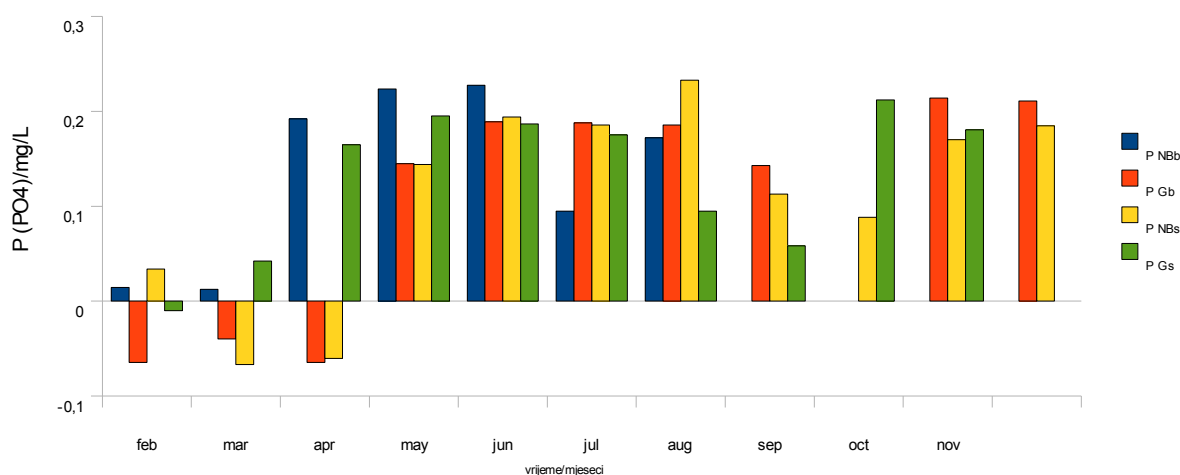
##### 4.4.1. Jednomjesečna ekspozicija

Tokom jednomjesečne ekspoziciji koncentracija fosfata se povećava u listincu lopuha. U toplijim mjesecima manje fosfata se veže nego u zimskim. Korelacija između temperature vode i promjene koncentracije fosfata je statistički značajna za sve postaje (Tablica 3). U sporij struji vode fosfati se više veže nego u bržoj struji vode (Slika 22.). Najveće vrijednosti vezanog fosfata na listincu lopuha su tokom veljače i listopada na mjernoj postaji G u sporij struji vode.



**Slika 22.** Razlika početne i konačne vrijednosti fosfata listinca lopuha tokom godine (jednomjesečna ekspozicija)

Listinac bukve u jednomjesečnoj ekspoziciji pokazuje vezanje fosfata tokom hladnijih mjeseci, dok se u toplijim mjesecima fosfati ispiru (Slika 23.). Korelacija između temperature vode i promjene u koncentraciji fosfata statistički je značajna za listinac bukve na postajama NBb i NBs (Tablica 3). Najmanje fosfata ispire se na mjernoj postaji NB u sporoj struji vode tokom rujna, dok se najviše fosfata ispire tokom veljače na mjernoj postaji NB u brznoj struji vode.



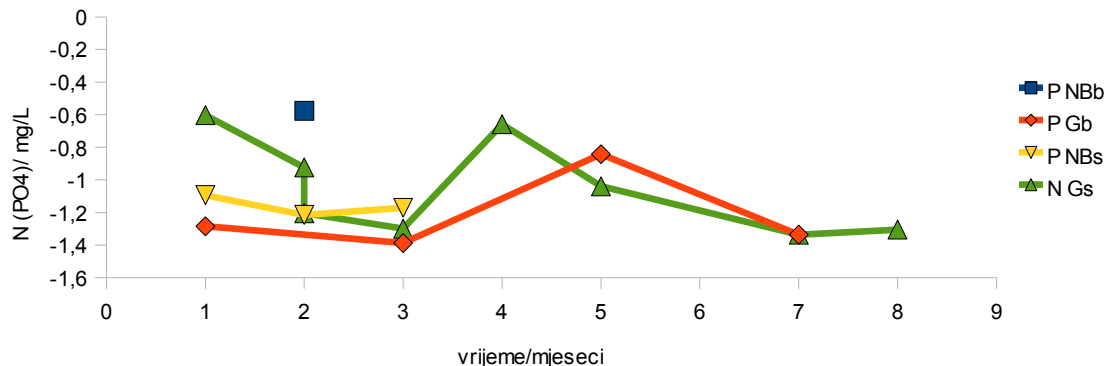
**Slika 23.** Razlika početne i konačne vrijednosti fosfata listinca bukve tokom godine (jednomjesečna ekspozicija)

**Tablica 3.** Koeficijenti korelacije (Spearman R) između temperature vode i razlike (početna – konačna) u koncentraciji fosfata za listinac bukve i lopuha u jednomjesečnoj ekspoziciji.

| Listinac | Postaja-brzina | N  | R    | p     |
|----------|----------------|----|------|-------|
| Lopuh    | NBb            | 8  | 0.74 | 0.037 |
|          | Gb             | 6  | 0.94 | 0.005 |
|          | NBs            | 9  | 0.88 | 0.002 |
|          | Gs             | 11 | 0.70 | 0.016 |
| Bukva    | NBb            | 7  | 0.86 | 0.014 |
|          | Gb             | 11 | 0.33 | 0.318 |
|          | NBs            | 11 | 0.74 | 0.010 |
|          | Gs             | 10 | 0.50 | 0.143 |

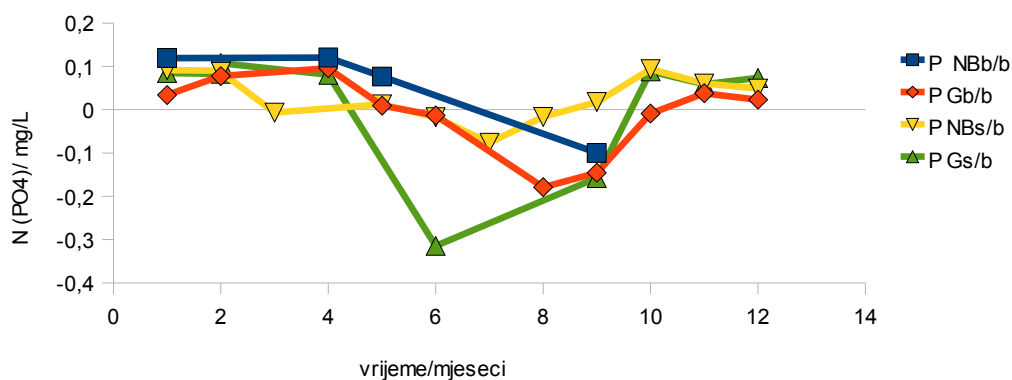
#### 4.2.2. Jednogodišnja ekspozicija

Rezultati za mjerne postaje NBs i NBb nisu vjerodostojne za analizu jer ne sadrže dovoljno podataka za analizu. Mjerne postaje Gb i Gs pokazuju određenu pravilnost da tokom hladnih mjeseci apsorbiraju fosfate, a tokom toplijih mjeseca ga otpuštaju (Slika 23.).



**Slika 24.** Razlika početne i konačne vrijednosti fosfata listinca lopuha tokom jednogodišnje ekspozicije

Tokom jednogodišnje ekspozicije bukvina listinca primjećuje se vezanje fosfata na listinac. U hladnijim mjesecima fosfat se ispire s listinca, dok se u toplijim mjesecima fosfat veže na listinac. Listinac lopuha na sporoj struji vode (mjerna postaja G) više apsorbira fosfate nego listinac u brznoj struji vode (postaja NB) (Slika 24.).



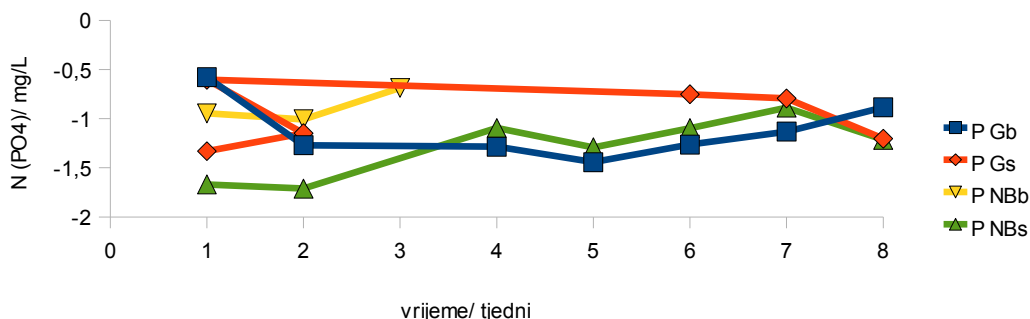
**Slika 25.** Razlika početne i konačne vrijednosti fosfata listinca bukve tokom jednogodišnje ekspozicije

Vrijednost vezanog fosfata manje su kod bukve (-0,31) nego kod lopuha (-1,34). Kako se listinac lopuha brže razgrađuje od listinca bukve, tako listinac lopuha brže i više veže fosfate (Slike 24. i 25.).

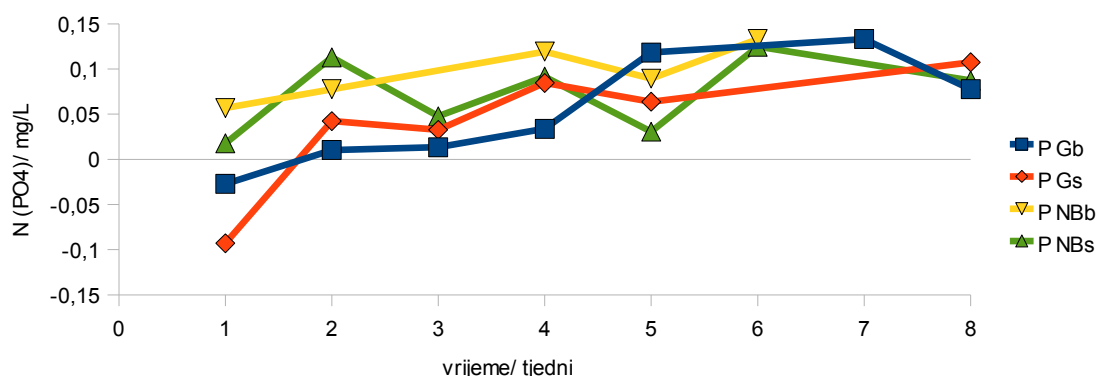
#### 4.4.3. Osmotjedna ekspozicija

##### 4.4.3.1. Zima

U kraćem vremenskom razdoblju praćenja otpuštanja i vezanje fosfata na listincu lopuha tokom zimske tjedne ekspozicije vidljivi su blagi periodi otpuštanja i avezanja fosfata (slika 26.). Vrijednost fosfata listinca su negativne, dakle više se fosfata veže u zimskim periodima nego što se otpušta. Mjerna postaja NBb nije vjerodostojna jer sadrži samo 3 točke, a to nije dovoljno za detaljnu analizu fosfata. Ostale 3 postaje pokazuju pravilne periode vezanja i otpuštanja fosfata.



**Slika 26.** Razlika početne i konačne vrijednosti fosfata listinca lopuha tokom tjedne ekspozicije (osam tjedana zimi)

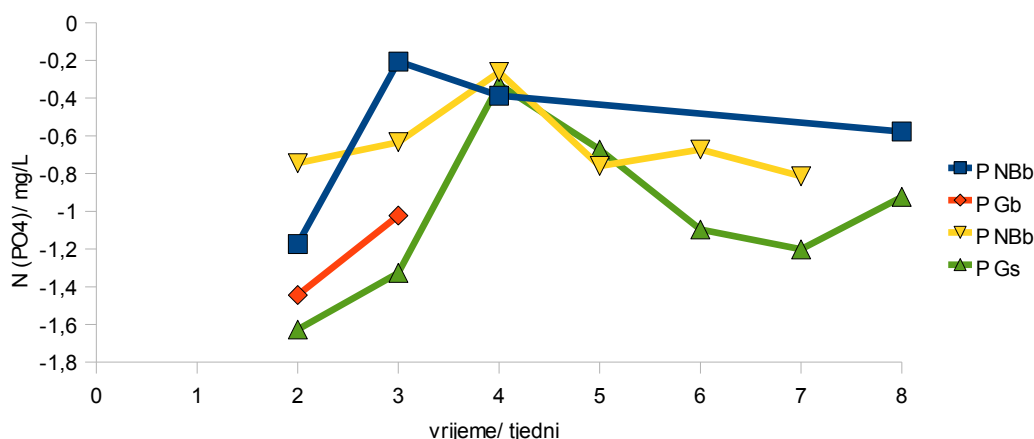


**Slika 27.** Razlika početne i konačne vrijednosti fosfata listinca bukve tokom tjedne ekspozicije (osam tjedana zimi)

Bukvin listinac za vrijeme tjedne zimske ekspoziciji otpušta fosfate (Slika 27.). Sve četiri mjerne postaje pokazuju sličnu tendenciju ispiranja i vezanja fosfata.

#### 4.4.3.2. Ljeto

Kretanja fosfata tokom ljetnih tjedana pretežno je u obliku naizmjenične apsorpcije i ispiranja fosfata s listinca lopuha (Slika 28.). Pri brznoj struji vode dolazi do sporije apsorpcije fosfata (NBb i Gb). Podaci za mjernu postaju G pri brznoj struji vode ne koriste se u analizi jer nema dovoljno podataka.

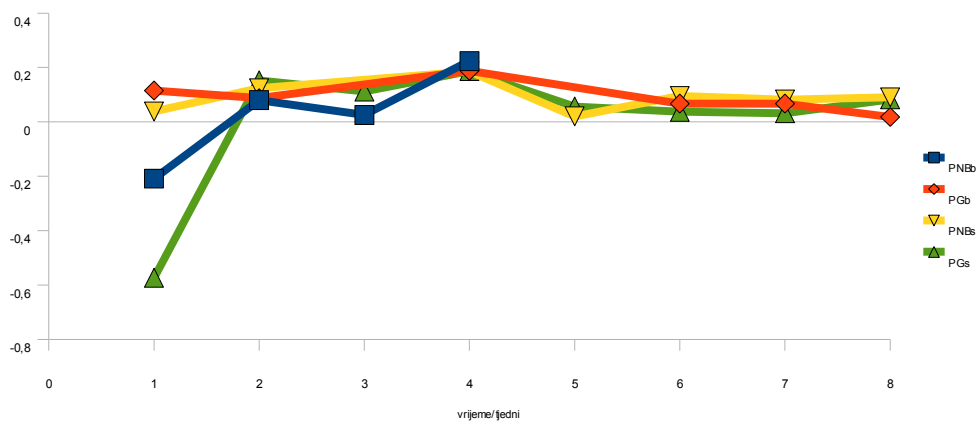


**Slika 28.** Razlika početne i konačne vrijednosti fosfata listinca lopuha tokom tjedne ekspozicije (osam tjedana ljeti)

Za razliku od lopuha, bukvin listinac otpušta fosfate (Slika 29.). Kroz 8 tjedana ekspozicije listinca vidljivo je da se gotovo sav fosfat ispere s listinca. Mjerna postaja NB



pri brzjoj struji vode se ne može koristiti u analizi zbog nedovoljne količine podataka. Ostale tri postaje (Gb, NBs i Gs) pokazuju vrlo bliske vrijednosti tokom analize količine fosfata.



**Slika 29.** Razlika početne i konačne vrijednosti fosfata listinca bukve tokom tjedne ekspozicije (osam tjedana ljeti)

## 5. 5.0. RASPRAVA

Raspad listinca lopuha i bukve istraživan je na četiri istraživačke postaje unutar Nacionalnog parka Plitvička jezera. Postaje su bile postavljene na Gornjim jezerima (između Gradinskog jezera i jezerskog kompleksa Burgeti) i na Donjim jezerima (između jezera Kaluđerovac i Novaković Broda) na brznoj i sporjoj struji vode. Raspad listinca lopuha i bukve praćen je tijekom razdoblja od godinu dana.

Na brzinu raspada listinca u vodotokovima utječu kako unutrašnji čimbenici, kemijska i fizikalna svojstva listinca, tako i vanjski čimbenici kao što su biotički čimbenici, temperatura, kemizam vode i lokacija (GESSNER et al. 1997, ABELHO 1999).

Analizom podataka o vrsti listinca možemo zaključiti da se listinac lopuha na svim mjerenim postajama brže raspada od listinca bukve. Listinac bukve je kvalitetniji, mehanički tvrdi, te sadrži više lignina. Veća koncentracija lignina za vrijeme raspada listinca povezana je sa sporijim raspadom listinca (BOULTON & BOON 1991). Fenolni spojevi u listincu za vrijeme raspada mogu stvarati komplekse sa proteinima i drugim organskim spojevima koji sadrže dušik, a kemijski se pokazuju kao lignini (SUBERKROPP et al. 1976).

Najbrži raspad listinca lopuha u jednomjesečnoj ekspoziciji je na mjernoj postaji G u sporjoj struji vode tokom lipnja. Masa listinca se smanji za 99,3%. Na svim mjernim postajama najsporiji raspad listinca lopuha je tokom veljače (pad mase za oko 55%). Kao što je već spomenuto listinac bukve se sporije raspada od listinca lopuha na svim mjernim postajama tokom svih mjeseci bez obzira na brzinu strujanja vode. Početna masa listinca smanji se za maksimalnih 44%, a minimalno za 10%.

Iz podataka dobivenih analizom mase listinca lopuha i bukve ustvrdila sam da brzina strujanja vode ima veliki utjecaj na listinac lopuha, dok na listinac bukve nema toliki utjecaj. Smatram da je za to odgovorna zeljasta građa lopuha koja ga čini podložnijim mehaničkoj fragmentaciji. Pad mase listinca bukve

tokom jednomjesečne ekspozicije približno je jednak na svim mjernim postajama, uz toleranciju od 10%.

U jednogodišnjoj seriji vidljiv je eventualni utjecaj osedravanja na brzinu razgradnje, pri čemu je jače osedravanje ubrzalo razgradnju listinca lopuha na obje brzine strujanja, dok je u slučaju listinca bukve taj učinak evidentan samo na brznoj struji vode. BELANČIĆ et al. (2009) to pripisuju učinku tanke prevlake sedre koja se stvara na listincu te ga čini krhkim i podložnijim mehaničkoj fragmentaciji, a što je jače izraženo u brznoj struji vode.

Jednotjedna ekspozicija omogućava preciznije i točnije praćenje raspada listinaca obje vrste. Listinac lopuha tokom ljetne ekspozicije brže se raspada nego tokom zimske ekspozicije. Pad mase tokom 8 tjedana ljetne ekspozicije je za 99% (na postajama NBb i NBs se potpuno raspao), dok je u zimskom razdoblju pad mase za 76%. Tokom osmotjedne ekspozicije ljeti i zimi listinac bukve pokazuje manji pad mase. U oba slučaja masa listinca se smanji za oko 24%.

Lopuh se na svim postajama potpuno raspao prije kraja jednogodišnjeg eksperimentalnog razdoblja, dok se listinac bukve potpuno fragmentirao samo na postaji NBb nakon 10 mjeseci. Ovakvi rezultati ukazuju na znatno bržu mineralizaciju makrofita.

Krupno i sitno ustnjena tvar i otopljene organske tvari koje potječu od listinca alohtonog i autohtonog podrijetla u priobalnoj zoni predstavljaju važan izvor energije i nutrijenata za produkciju samog toka (BENFIELD 1997, WALLACE et al. 1997, FINDLAY & SINSABAUGH, 1997). Nutrijenti koji se ispiru iz listinca, njihova imobilizacija i dekompozicija, vezani su uz ciklus nutrijenata cijelog toka (SUBERKROPP et al. 1976, GESSNER, 1991, ENRIQUEZ et al. 1993).

Analizom nitrata i fosfata iz listinca vidljive su promjene tijekom cijele godine. U hladnijim mjesecima listinac lopuha pokazuje veće količine nitrata u svom sastavu nego u ljetnim mjesecima. Mikro-organizmi (bakterije, gljive i alge) naseljavaju listinac nakon prvog tjedna ekspoziciji. Tijekom tog

naseljavanja, masa listinca i dalje stagnira, ali zbog povećane količine organizama na listincu (WEBSTER & BENFIELD 1986) kemijska analiza pokazuje veću količinu nitrata, te time djelomično tumačim dobivene rezultate.

Listinac lopuha zbog svoje zeljaste građe i bržeg raspada apsorbira veću količinu nitrata. Generalno gledajući cijelu jednogodišnju ekspoziciju listinac lopuha se brže raspada, te se na većini mjernih postaja potpuno raspao prije kraja eksperimenta. Iz tog razloga, na mjernim postajama NB bez obzira na brzinu strujanja za listinac lopuha nismo imali dovoljno podataka za analizu nitrata. Zbog svoje karakterističnog kvalitativnog sastava listinac lopuha pokazuje trend apsorbaranja nitrata tokom hladnijih mjeseci i ispiranje nitrata tokom toplijih mjeseci.

U vrijeme hladnijih mjeseci kada je primarna produkcija vode niža, listinac bukve apsorbira nitrati. Tijekom toplijih mjeseci iz bukvina listinca se ispiru nitrati.

Osmotjednom ekspozicijom listinca obiju vrsta pratili smo razliku u količini nitrata tokom kraćeg vremenskog perioda. Tokom zimske i ljetne osmotjedne ekspoziciji listinac lopuha pokazao je početno smanjenje koncentracije nitrata (tijekom dva, odnosno jednog tjedna) nakon čega slijedi porast koncentracije nitrata. Takvu dinamiku spominju TRISKA & BUCKLEY (1978), koji smanjenje koncentracije nitrata na početku procesa razgradnje tumače gubitkom zbog ispiranja (*leaching loss*) dok kasniji porast pripisuju kolonizaciji mikroorganizama. Rast udjela dušika u listincu tijekom raspadanja zabilježili su i CASSAS & GESSNER (1999). Listinac bukve, međutim, i zimi i ljeti pokazuje trend ispiranja nitrata tijekom osmotjedne ekspozicije, uz porast koncentracije na G postajama pri kraju ekspozicije zimi. Praćenje koncentracija nitrata u listincu tijekom jednogodišnjeg razdoblja ukazao je na slične trendove, te se općenito koncentracija nitrata povećavala u listincu lopuha, a padala ili ostajala ista u listincu bukve. I u slučaju listinca lopuha (za postaju Gs gdje se najsporije raspadao) i u slučaju bukve, uočljivo je da je nakon 5, odnosno 3 mjeseca dosegnut određeni plato, odnosno koncentracija koja je manje-više ista slijedećih mjeseci, što je u skladu s ABELHO (2001).

Velike vrijednosti nitrata i fosfata uzrokuje brži raspad listinca (MAYER & JOHNSON 1983), što uzrokuje veću sekundarnu produkciju beskralješnjaka u vodotoku.

Lopuhov listinac tijekom jednomjesečne ekspozicije pokazuje povećanje koncentracije fosfata (oko 130% više od početne vrijednosti). U hladnijim mjesecima porast je najveći na mjernoj postaji G u sporoj struji vode, dok je najniži na mjernoj postaji Nb u brznoj struji vode. Topliji mjeseci pokazuju manji porast koncentracije fosfata. Bukvin listinac tokom jednomjesečne ekspozicije generalno pokazuje ispiranje fosfata i to za oko 50% od početne vrijednosti. Iznimka su hladnija razdoblja kada dolazi i do porasta koncentracije fosfata u dijelu uzoraka. Utjecaj temperature na ovu kratkoročnu dinamiku pokazao se statistički značajan, te sam pretpostavila da pri nižim temperaturama dolazi do značajne mikrobne kolonizacije listinca, ali sporije razgradnje biljnog materijala, u odnosu na više temperature. Poznato je da porastom temperature dolazi do veće metaboličke aktivnosti i gljiva i bakterija koje sudjeluju u razgradnji listinca (ABELHO, 2001). Listinac lopuha pri tome je supstrat koji mikro-organizmi više preferiraju, vjerojatno zbog toga jer se lakše razgrađuje.

Zimska i ljetna osmotjedna ekspozicija lopuha također pokazuju tendenciju porasta koncentracije fosfata. Zimi listinac lopuha pokazuje blagi rast koncentracije fosfata, dok ljeti pokazuje skokovite periode opadanja i rasta koncentracije fosfata. Za razliku od listinca lopuha, listinac bukve u zimskom i ljetnom osmotjednom periodu pokazuje trend otpuštanja fosfata. U obje vremenske ekspozicije vidljiv je blagi pad u količini fosfata listinca bukve.

Dinamika fosfata na listincu lopuha u skladu je s literaturnim podacima (npr. CASSAS & GESSNER 1999, GESSNER 2000), dok odstupanja uočena za listinac bukve tumačim slabijom mikrobnom kolonizacijom pod utjecajem specifičnosti istraživanih područja. U tom smislu je osedranje moglo smanjiti dostupnost listinca. O ometanju mikrobne razgradnje zbog osedranja diskutiraju i CASAS et al. (2006). CASAS & DESCALS (1997) su utvrdili nižu raznolikost i aktivnost hifomiceta na listincu na postaji s jačim osedranjem. Niske koncentracije

nitrata i fosfata u okolnoj vodi, kao što je slučaj s vodom Plitvičkih jezera, također mogu uzrokovati nižu aktivnost i produkciju vodenih hifomiceta, time čineći razgradnju listinca sporijom (ABELHO, 2001).

## 6.0. ZAKLJUČCI

Razgradnja nitrata i fosfata listinca lopuha i bukve na sedrenim barijerama u području Nacionalnog parka Plitvička jezera istraživani su u razdoblju od siječnja 2007. do prosinca 2007. Na osnovu dobivenih rezultata istraživanja mogu se izvesti slijedeći zaključci:

1. Raspad listinca lopuha i bukve ovise o mnogim fizičko-kemijskim čimbenicima od kojih se mogu izdvojiti temperatura i brzina strujanja vode.
2. Brzina strujanja vode ima veći utjecaj na razgradnju listinca lopuha čija zeljasta građa ga čini podložnijim mehaničkoj fragmentaciji.
3. Listinac drvenaste građe se sporije raspada, u njemu je pohranjena veća količina nutrijenata i posljedično tome se iz listinca otpušta više nutrijenata.
4. Generalno se pri bržim strujanjima vode, zbog stalnog donosa nove (nutrijentima slabo zasićene) vode brže otpuštaju nutrijenti.
5. Tijekom ljetnih mjeseci, kada su temperature više, zbog pojačane metaboličke aktivnosti količina nutrijenata u listincu je viša, dok se u zimskim hladnijim mjesecima nutrijenti prvenstveno ispiru iz listinca.
6. Koncentracija nitrata na lopuhu inicijalno pada da bi zatim rasla s vremenom ekspozicije, dok koncentracija fosfata raste s vremenom ekspozicije. Oba trenda smatram posljedicom mikrobne kolonizacije.
7. U listincu bukve s vremenom ekspozicije pada koncentracija nitrata, dok koncentracija fosfata ne pokazuje pravilnost.

## 7.0. LITERATURA

- ABELHO, M. (1999) Once Upon a Time a Leaf: From Litterfall to Breakdown in Stream. Departamento de Zoologia, Doktorska disertacija, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal
- ABELHO, M. (2001) From litter fall to breakdown in stream: a Review. *The Scientific World* **1**: 656-680.
- ALLAN, J.D. (1995) Stream Ecology. Structure and function of running waters. Chapman & Hall, London, 388 pp.
- BELANČIĆ A., MATONIČKIN KEPČIJA R., MILIŠA M., PLENKOVIĆ MORAJ A., HABDIJA I. (2009) Flow velocity effect on leaf litter breakdown in tufa depositing system (Plitvice lakes, Croatia), *International Review of Hydrobiology* (1434-2944) **94 (4)**: 391-398.
- BENFIELD E.P. (1997) Comparison of litterfall input to stream. *Journal of North American Benthological Society*, **16**:104-108.
- BOULTON, A. J. & BOON, P.I. (1991) A review of methodology used to measure leaf litter decomposition in lotic environments: time to turn over an old leaf? *Australian Journal of Freshwater Research* **42**: 1-43.
- CASAS, J. J. & DESCALAS E. (1997) Aquatic hyphomycetes from Mediterranean stream contrasting in travertine precipitation. *Freshwater Biology* **41**: 781-793.
- CASAS, J. J. & GESSNER, M. O. (1999) Leaf litter breakdown in a Mediterranean stream characterised by travertine precipitation. *Freshwater Biology* **41**: 781-793.



- CASAS, J. J., GESSNER, M. O., LANGTON, P. H. , CALLE, D., DESCALS, E. & SALINAS, M. J. (2006) Diversity of patterns and processes in rivers of eastern Andalusia. *Limnetica* **25**: 155–170.
- CHENG, Z. L., ANDRE, P. & CHIANG, C. (1997) Hyphomycetes and macroinvertebrates colonizing leaf litter in two Belgian streams with contrasting water quality. *Limnetica* **13(2)**: 57-63.
- ENRIQUEZ, S., DUARTE, C. M. & SAND-JENSEN, K. (1993) Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C:N:P content. *Oecologia* **94**: 457–471.
- FERREIRA V. J. L. & M. A. S. GRAÇA (2006) Do invertebrate activity and current velocity affect fungal assemblage structure in leaves? *International Review of Hydrobiology*, **91**: 1–14.
- FINDLAY S. & SINSABAUGHT R.L., (1997) Unraveling the source and bioavailability of dissolved organic matter in lotic aquatic systems. *Marine and Freshwater Research*, **50** 781-790.
- FRANIĆ, D (1910) Plitvička jezera i njihova okolica. Tisak kraljevske zemaljske tiskare, Zagreb, 439 pp.
- GESSNER, M.O. (1991) Differences in processing dynamics of fresh and drier leaf litter in a stream ecosystem, *Freshwater Biology*, **26**: 387-398.
- GESSNER, M.O., (2000) Breakdown and nutrient dynamics of submerged *Phragmites* shoots in the littoral zone of a temperate hardwater lake. *Aquatic botany*, **66**: 9-20.
- GESSNER, M.O., SUBERKROPP, K. & CHAUVET, E. (1997) Decomposition of plant litter by fungi in marine and freshwater ecosystem. U: WICKLOW,

D.T. & SÖDERSTRÖM B. (ur.) The Mycota: A Comprehensive Treatise and Fungi as Experimental Systems for Basic and Applied Research. Vol 4. Environmental and Microbial Relationships., Springer-Verlag, Berlin, 303-322.

- GOLUBIC, S. & SCHNEIDER, J. (1979) Carbonate dissolution. U: TRUDINGER, P.A. & SWAINE D. J. (ur.) Biogeochemical cycling of mineral-forming elements. Elsevier, Amsterdam, 107-129.
- GRAÇA, M.A.S., FERREIRA, R.C.F., & COIMBRA, C.N. (2001) Litter processing along a stream gradient: the role of invertebrates and decomposers. *Jurnal of North American Benthological Society*. **20(3)**: 408-420.
- KUČINIĆ, M. & MALICKY, H. (2001) *Rhyacophila dorsalis plitvicensis*, a new subspecies (Trichoptera: Rhyacophilidae) from Croatia. *Nova supplementa entomologica* **15**: 145-147.
- LEROY, C. J. & MARKS, J. C. (2007) Litter quality, stream characteristics, and litter diversity influence decomposition rates and macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, **51**: 605–617.
- MARKS, J. C., PARNELL, R. A. JR., CARTER, C., DINGER, E. C. & HADEN, A. (2006) Interactions between geomorphology and ecosystem processes in travertine streams: implications for decommissioning a dam on Fossil Creek, Arizona. *Geomorphology*, **77**: 299–307.
- MAYER J.L. & JOHNSON C. (1983) The influence of elevated nitrate concentration on rate of leaf decomposition in a stream. *Freshwater Biology*, **13**, 177-183.

- MRAKOVČIĆ, M. (1998) Živi svijet jezera i oko njih Plitvička jezera, Prirodoslovno turistički vodič fotomonografija Turistička naklada d.o.o. Zagreb
- PETERSEN, R.C. & CUMMINS, K. W. (1974) Leaf processing in a woodland stream. *Freshwater Biology*, **4**, 343-368 .
- PEVALEK, I. (1924) Geobotanička i algološka istraživanja cretova u Hrvatskoj i Sloveniji. Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti. Knjiga 230, 29–117.
- PLANT, L.J., HOUSE, W. A. (2002) Precipitation of calcite in the presence of inorganic phosphate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **203**: 143–153.
- SRDOČ, D., HORVATINČIĆ, N., OBELIĆ, B., KRAJCAR, I. & SLIEPČEVIĆ, A. (1985) Procesi taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera. *Carsus lugoslaviae* **11**: 101–204.
- SUBERKROPP K., & KLUG, M. J. (1976) Fungi and bacterial associated with leaves during processing in a woodland stream, *Ecology* **57**: 707-719.
- ŠEGULJA, N., KRG, M. (1988) Floristical and phytocenological characteristic of the Brezovačko polje area (Plitvice Lakes National Park). *Periodicum Biologorum* **91**: 166-167.
- TAYLOR, B.R. & BÄRLOCHER F. (1996) Variable effects of air-drying on leaching losses from tree leaf litter. *Hydrobiologia* **325**: 173-182.
- TRISKA, F.J. & BUCKLEY B.M (1978) Patterns of nitrogen uptake and loss in relation to litter disappearance and associated invertebrate biomass in six streams of the Pacific Northwest, U.S.A. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie* **20**: 1324-1332.

- WEBSTER J. R. & BENFIELD E.F. (1986) Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics* **17**: 567-594.