

# MOGUĆNOST UPORABE SAMONIKLIH VODENIH I MOČVARNIH BILJNIH VRSTA U BILJNIM UREĐAJIMA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

## POTENTIAL FOR USING WILD AQUATIC AND MARSHLAND PLANT SPECIES IN CONSTRUCTED WETLANDS FOR WASTEWATER TREATMENT

Zvezdana Stančić<sup>1\*</sup>, Lucija Baić<sup>1</sup>, Valentina Kraš<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska

\*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: zvezdana.stancic@gfv.hr

**Sažetak:** Biljni uređaji omogućavaju ekološki i ekonomski isplativ način pročišćavanja manjih količina otpadnih voda. U Republici Hrvatskoj postoji nekoliko biljnih uređaja, ali i mogućnosti za izgradnju novih. Rade na principu prirodnih eutrofnih vodenih ekosustava. Organske i hranjive tvari glavna su onečišćivala u većini otpadnih voda. Mikroorganizmi i biljke preuzimaju te tvari i proizvode biomasu te na taj način sudjeluju u pročišćavanju vode. Od biljnih vrsta, u Hrvatskoj najčešće se koristi trska, a rijetko neke druge vrste. Suprotno tome, hrvatska flora i vegetacija poznate su po svojoj bioraznolikosti. Stoga je cilj ovog rada bio ispitati mogućnosti korištenja većeg broja samoniklih biljnih vrsta u biljnim uređajima za pročišćavanje otpadnih voda. Odabrano je 80 vrsta koje rastu na močvarnim i vodenim staništima s različitim ekološkim uvjetima. Biljne vrste su analizirane s obzirom na pripadnost skupini vodenih ili močvarnih vrsta, visinu biljaka, dubinu korijena te prilagodbe na ekološke čimbenike okoliša koje su izražene pomoću ekoloških indeksa (za svjetlost, temperaturu, kontinentalnost, vlagu, reakciju supstrata, hranjive tvari, salinitet). Rezultati su pokazali da biljne vrste imaju vrlo različita svojstva te se mogu koristiti u biljnim uređajima s vrlo različitim i specifičnim tehnološkim zahtjevima. Na primjer, za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda koje sadrže velike količine organskih i hranjivih tvari, koje su približno neutralne reakcije, u uvjetima kontinentalne klime, pogodne su biljke kao što su trska (*Phragmites australis* (Cav.) Steud.); širokolisni rogoz (*Typha latifolia* L.), jezerski oblič (*Scirpus lacustris* L.), velika pirevina (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.), trstasti blještac (*Phalaris arundinacea* L.), razgranjeni ježinac (*Sparganium erectum* L.), žuta perunika (*Iris pseudacorus* L.), klasasti krocanj (*Myriophyllum spicatum* L.), mala vodena leća (*Lemna minor* L.), podvodna vodena leća (*Lemna trisulca* L.) i druge. U uređajima se može koristiti jedna i više vrsta. Moguće prednosti korištenja većeg broja biljnih vrsta su poboljšanje učinkovitosti pročišćavanja otpadnih voda, predstavljaju zamjenska vodena i močvarna staništa za biljne i životinjske vrste te pridonose estetskoj vrijednosti krajobraza.

**Ključne riječi:** Makrofiti, pročišćavanje vode, Hrvatska.

**Abstract:** Constructed wetlands provide an ecological and inexpensive method of wastewater treatment. In the Republic of Croatia, there are several constructed wetlands, and also the opportunity to build new ones. They work on the principle of natural eutrophic water ecosystems. Organic matter and nutrients are the main pollutants in most wastewater. Microorganisms and plants incorporate such substances into their cells and produce biomass, in this way purifying the water. Among the plant species, in Croatia, the most commonly used is reed, and rarely anything else. In contrast, Croatian flora and vegetation are known for their high biodiversity. Therefore, the aim of this study was to investigate the possibility of using a larger number of wild aquatic and marshland plant species in constructed wetlands for wastewater treatment. Eighty species were selected, all native to aquatic and marshland habitats with different environmental conditions. The plant species were analysed with respect to division into aquatic and marshland species, plant height, depth of roots, and adaptation to environmental conditions using ecological indices (for light, temperature, continentality, moisture, soil reaction, nutrients and salinity). The results showed that the plant species have very different properties and can be used in constructed wetlands with very different and specific technological requirements. For instance, for the treatment of municipal and domestic wastewater which contains large amounts of nutrients and is of approximately neutral reaction, in the conditions of a continental climate, suitable plants include reed (*Phragmites australis* (Cav.) Steud.); broad-leaved cattail (*Typha latifolia* L.), lakeshore bulrush (*Scirpus lacustris* L.), great manna grass (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.), reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.), simplestem bur-reed (*Sparganium erectum* L.), yellow flag (*Iris pseudacorus* L.), spiked water-milfoil (*Myriophyllum spicatum* L.), common duckweed (*Lemna minor* L.), star duckweed (*Lemna trisulca* L.) and others. In constructed wetlands, one or more species can be used. The possible advantages of using a larger number of plant species are: to improve the efficiency of wastewater treatment, for constructed wetlands to serve as replacement aquatic and marshland habitats for plant and animal species, and to contribute to the aesthetic value of the landscape.

**Keywords:** Macrophytes, water purification, Croatia.

Received: 31.03.2016 / Accepted: 27.05.2016

Published online: 04.07.2016

Znanstveni rad / Scientific paper

## 1. UVOD

Biljni uređaji su projektirani i izvedeni prema načelima prirodnih močvarnih ekosustava. Sastoje se od vodenog medija, supstrata, biljaka i mikroorganizama. Koriste se radi pročišćavanja otpadnih voda. Mogu biti izgrađeni na različite načine, kao površinski (otpadna voda vidljiva na površini uređaja), podpovršinski uređaji (otpadna voda teče kroz supstrat) s horizontalnim protokom otpadne vode, podpovršinski s vertikalnim protokom otpadne vode te kombinacije različitih tipova (U.S. EPA 1988, 2000; Ružinski & Anić Vučinić 2010; Vymazal 2010, Malus & Vouk 2012). U biljnim uređajima otpadna voda obrađuje se fizikalnim, biološkim i kemijskim procesima. Ti procesi uključuju taloženje i filtraciju suspendiranih tvari, razgradnju organskih tvari mikroorganizmima, asimilaciju hranjivih tvari biljkama i mikroorganizmima te razne kemijske reakcije (U.S. EPA 1988; Ružinski & Anić Vučinić 2010). Biljni uređaji mogu se koristiti za obradu različitih vrsta otpadnih voda (Vymazal 2008, 2010; Vymazal & Kröpfelová 2008; Wallace & Knight 2006, Kadlec & Wallace 2008).

Kod pročišćavanja otpadnih voda u biljnim uređajima koriste se biljke koje prirodno rastu u i uz vodene ekosustave. Prema analizi u knjizi Vymazal & Kröpfelová (2008), na području Europe najčešće se koristi trska (*Phragmites australis* (Cav.) Steud.); rjeđe širokolisni rogoz (*Typha latifolia* L.), trstasti blještac (*Phalaris arundinacea* L.), žuta perunika (*Iris pseudacorus* L.), jezerski oblič (*Scirpus lacustris* L.), razgranjeni ježinac (*Sparganium erectum* L.), velika pirevina (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.); a vrlo rijetko neke druge vrste.

Biljke imaju višestruku ulogu: vrlo razvijenim korijenjem stvaraju veliku površinu za razvoj mikroorganizama za koje se smatra da imaju glavnu ulogu u pročišćavanju otpadnih voda, vrše prijenos kisika u zonu korijenja što omogućuje razgradnju organskih tvari, vežu dio hranjivih tvari iz otpadne vode, svojim korijenjem stabiliziraju površinu biljnog uređaja, osiguravaju dobre uvjete za fizičku filtraciju, štite od smrzavanja tijekom hladnog dijela godine, pridonose povećanju estetske vrijednosti biljnih uređaja i drugo (Malus & Vouk 2012).

Budući da je Hrvatska poznata po raznolikosti biljnih vrsta i staništa (Radović 2000), cilj je ovoga rada bio utvrditi koje se samonikle vodene i močvarne biljke mogu koristiti u biljnim uređajima za pročišćavanje otpadnih voda s obzirom na njihova svojstva kao što su visina, dubina korijenja i ekološki indeksi.

## 2. METODE RADA

### 2.1. Odabir biljnih vrsta

U svrhu odabira vodenih i močvarnih vrsta iz skupina papratnjača i sjemenjača korištena je Phytosociological Database of Non-Forest Vegetation in Croatia (Stančić 2012), Nacionalna klasifikacija staništa Republike Hrvatske (NKS 2014) i znanstveni radovi (Stančić 2007, 2008a, 2008b, 2009, 2010; Stančić et al. 2010). Odabrane su vrste koje su s jedne strane česte na vodenim i močvarnim staništima Hrvatske, a s druge strane koje su

zastupljene na različitim tipovima navedenih staništa i time prilagođene različitim ekološkim čimbenicima.

Latinski nazivi vrsta usklađeni su prema Euro+Med PlantBase (2005), dio vrsta koje se ne nalaze u navedenom izvoru prema Flora Europaea, volumen 1-5 (Tutin et al. 1968-1980, 1993). Hrvatski nazivi preuzeti su iz Domac (1994).

### 2.2. Podjela na vodene i močvarne vrste

Biljke koje se koriste u biljnim uređajima možemo podijeliti u vodene i močvarne vrste.

Vodne biljke su one koje žive u potpunosti uronjene u vodu ili na površini vode imaju plivajuće listove, a cvjetovi i plodovi strše izvan vode. Za njihov opstanak potrebna je stalna prisutnost vode na staništu ili veći dio godine.

Močvarne biljke su one koje rastu ukorijenjene na dnu vodenih staništa, a izvan vode strše njihovi listovi, stabljike, cvjetovi i plodovi. Veći dio habitusa takvih biljaka uglavnom se nalazi izvan vode. Rastu na staništima gdje je stalno prisutna voda, na staništima koja su pod vodom kraći ili duži period, ili čak na staništima bez vode na površini, ali u tom slučaju s visokom razinom podzemne vode.

Za vodene i močvarne biljke u literaturi koristi se zajednički naziv makrofiti koji podrazumijeva makroskopske biljke vidljive golim okom, dok se pod mikrofita podrazumijevaju mikroskopski vidljive alge (Krausch 1996).

### 2.3. Visina biljaka

Visina biljaka preuzeta je iz knjiga Flora Europaea, volumen 1-5 (Tutin et al. 1968-1980, 1993). Biljke su prema visini podijeljene u tri skupine: do 50 cm, od 50 do 100 cm i iznad 100 cm. Podjela je rađena posebno za vodene i posebno za močvarne vrste tako da su analizirane vrste svrstane u šest kategorija. Kod izrade grafa u obzir su uzimane srednje vrijednosti visina.

### 2.4. Dubina korijena

Podaci o dubini korijena preuzeti su iz knjiga: Kutschera (1960) i Kutschera et al. (1982, 1992). Biljke su prema dubini korijena podijeljene u tri skupine: do 50 cm, od 50 do 100 cm i iznad 100 cm. Dubina korijena analizirana je za samo 11 vrsta. Razlog tome je što u literaturi ima vrlo malo podataka o dubini korijenja.

### 2.5. Ekološki indeksi

Abiotički ekološki čimbenici predstavljaju utjecaje iz nežive prirode na žive organizme. Biljke mogu rasti u određenom rasponu ekoloških čimbenika. Vrijednosti za neke od ekoloških čimbenika u ovome radu izražene su pomoću ekoloških indeksa.

Ekološki indeksi za područje umjerene kontinentalne klime preuzeti su iz Ellenberg et al. (1991), a za područje mediteranske klime iz Pignatti et al. (2005).

Objašnjenje ekoloških indeksa prema [Ellenberg et al. \(1991\)](#):

- za svjetlost (L) – prikazuju srednji godišnji intenzitet svjetlosti potreban biljci za rast, raspon vrijednosti: 1-9 (1 – biljke na staništima s vrlo malo svjetlosti, 9 – biljke na potpuno osvijetljenim mjestima);
- za temperaturu (T) – prikazuju srednju godišnju temperaturu na staništu, raspon vrijednosti: 1-9 (1 – hladna, pretežito planinska područja, 9 – topla, pretežito mediteranska područja);
- za kontinentalnost (K) – prikazuju udaljenost staništa neke biljke od morske obale prema unutrašnjosti, raspon vrijednosti: 1-9 (1 – priobalna područja, 9 – unutrašnjost Europe);
- za vlagu (F) – prikazuju vlažnost tla na staništu, raspon vrijednosti: 1-12 (1 – vrlo suha staništa, 12 – vodena staništa gdje je gotovo uvijek prisutna voda);
- za reakciju tla (R) – prikazuju količinu vapnenca u tlu (što je veći sadržaj vapnenca tlo je manje kiselo), raspon vrijednosti: 1-9 (1 – kisela tla, 9 – bazična tla bogata vapnencem);
- za hranjive tvari (N) – prikazuju količinu mineralnih tvari potrebnih biljci za vrijeme maksimalnog rasta, raspon vrijednosti: 1-9 (1 – staništa vrlo siromašna dušikom, 9 – staništa vrlo bogata dušikom);
- za salinitet (S) – prikazuju koncentracije soli (prvenstveno klorida) u tlu, raspon vrijednosti: 0-9 (0 – biljke koje ne podnose sol na staništu, 9 – biljke na staništima s vrlo visokom koncentracijama soli u tlu).

Ostale korištene oznake prema [Ellenberg et al. \(1991\)](#): X – vrsta nije osjetljiva na oscilacije ekološkog čimbenika, ? – neistraženo ponašanje vrste.

Objašnjenje ekoloških indeksa prema [Pignatti et al. \(2005\)](#):

- za svjetlost (L) – prikazuju intenzitet svjetla na prirodnim staništima potreban biljkama tijekom maksimalnog razvoja lista, raspon vrijednosti: 1-12 (1 – označava hladovinu gdje prolazi svega 1 % svjetlosti, a 12 – potpunu izloženost sunčevom zračenju);
- za temperaturu (T) – prikazuju prosječne godišnje temperature na staništima pojedinih vrsta, raspon vrijednosti: 1-12 (1 – označava izrazito hladna staništa pretežito u visokim planinama, a 12 – vruća mediteranska i pustinjska staništa);
- za kontinentalnost (C) – prikazuju geografsku udaljenost staništa spram mora i oceana, raspon vrijednosti: 1-9 (1 – prikazuje vrste uz morsku obalu, a 9 – vrste rasprostranjene duboko u kontinentalnom području);
- za vlagu (U) – prikazuju stupnjeve vlažnosti tla, raspon vrijednosti: 1-12 (1 – predstavlja vrlo suha staništa gdje rastu vrste s dubokim korijenjem, 12 – vodena staništa gdje rastu vodne biljke);
- za reakciju tla (R) – prikazuju kiselost ili alkaličnost tla, raspon vrijednosti: 1-9 (1 – označava vrlo kisela tla, a 9 – vrlo lužnata tla);

- za hranjive tvari (N) – prikazuju ponašanje vrsta spram količine hranjivih tvari u tlu, raspon vrijednosti: 1-9 (1 – označava slabu zastupljenost dušika, nitrata i organskih tvari, a 9 – njihovu dobru zastupljenost na staništu);
- za salinitet (S) – prikazuju udio soli u vodi ili tlu, raspon vrijednosti: 1-3 (1 – predstavlja staništa s niskim koncentracijama soli, a 3 – staništa s visokim koncentracijama soli u tlu).

Ostale korištene oznake prema [Pignatti et al. \(2005\)](#): X – široki raspon vrijednosti, 0 – nedovoljno informacija.

Ovdje su objašnjene samo minimalne i maksimalne brojčane vrijednosti ekoloških indeksa, dok se detaljna objašnjenja svih vrijednosti nalaze u originalnim radovima ([Ellenberg et al. 1991](#); [Pignatti et al. 2005](#)).

### 3. REZULTATI RADA I RASPRAVA

U ovom radu analizirano je 80 samoniklih zeljastih biljnih vrsta koje rastu na vodenim i močvarnim staništima Hrvatske te imaju potencijal za korištenje u biljnim uređajima za pročišćavanje otpadnih voda.

Popis biljaka i svi prikupljeni podaci nalaze se u **Tablici 1** na kraju rada.

Neke od najčešćih vodenih i močvarnih vrsta prikazane su na **Slikama 17-30** na kraju rada.

Drvenaste vrste nisu uključene u analizu zbog njihove potrebe za velikim podzemnim prostorom, dubokog korijenja i velike snage korijenja koje može probiti nepropusni sloj uređaja.

#### 3.1. Vodene i močvarne biljne vrste

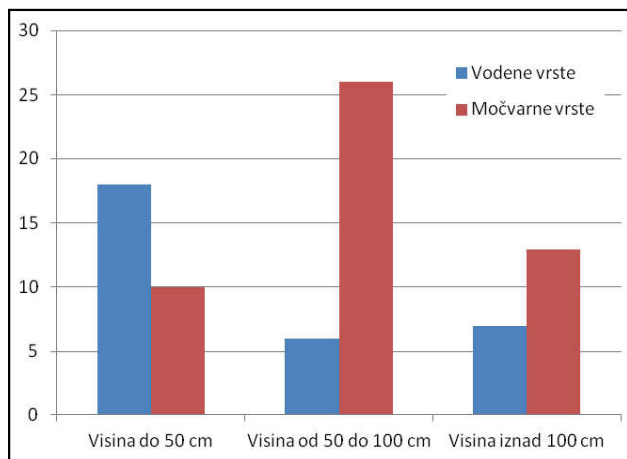
Među 80 analiziranih vrsta utvrđeno je 49 močvarnih vrsta i 31 vrsta vodenih biljaka. Močvarne vrste su zbog karakteristika svojeg rasta pogodne za biljne uređaje sa slobodnim vodnim licem i za biljne uređaje s podpovršinskim tokom. Vodene vrste su pogodne samo za biljne uređaje sa slobodnim vodnim licem ([Malus & Vouk 2012](#)) ili za tzv. površinske uređaje ([Ružinski & Anić Vučinić 2010](#)) i to za one tipove gdje biljke ili slobodno plutaju po površini ili su potpuno uronjene u vodu. Neke vrste vodenih biljaka stvaraju veliku biomasu u relativno kratkom vremenu i takve biljke je potrebno u određenim vremenskim razmacima uklanjati ([Sim 2003](#)). Uklanjanje vodenih biljaka potrebno je zbog toga što gusto razvijene biljke počinju obamirati i taložiti se na dnu bazena i time ponovno otpuštati hranjive tvari koje su prethodno uklonjene iz otpadne vode. Prilikom odstranjivanja biljaka uvijek treba ostaviti jedan njihov dio u uređaju kako bi se mogle ponovno obnoviti.

#### 3.2. Visina biljaka

Analiza biljaka prema visini prikazana je na grafu (**Slika 1**). Odabrane vrste zastupljene su u svim kategorijama, s time da su u kategoriji visine do 50 cm više zastupljene vodene vrste, dok su u kategorijama od 50 do 100 cm i iznad 100 cm više zastupljene močvarne vrste.

Podaci o visini vodenih i močvarnih biljaka daju mogućnost odabira vrsta prema tehničkim zahtjevima uređaja. Neke vrste s većom visinom mogu stvarati veću

biomasu i time iz otpadne vode ukloniti više hranjivih tvari. Među analiziranim vrstama u najviše močvarne biljke spadaju: trska (*Phragmites australis*), močvarni ljutak (*Cladium mariscus* (L.) Pohl), velika pirevina (*Glyceria maxima*), jezerski oblič (*Scirpus lacustris*), širokolisni rogoz (*Typha latifolia*); a među najviše vodene: klasasti krocanj (*Myriophyllum spicatum* L.), pršljenasti krocanj (*Myriophyllum verticillatum* L.) i plutajući mriješnjak (*Potamogeton nodosus* Poir.).

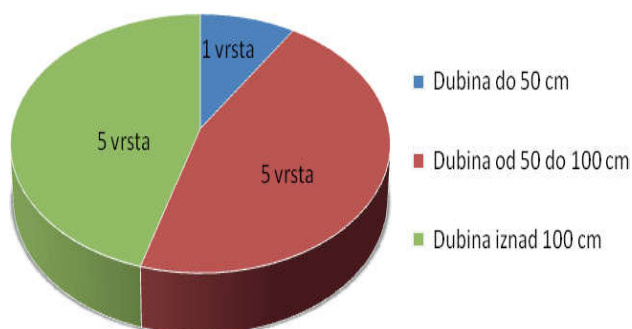


Slika 1. Analiza vodenih i močvarnih biljnih vrsta prema visini

### 3.3. Dubina korijena

Među analiziranim vrstama (Slika 2) samo jedna vrsta pripada kategoriji dubine korijena do 50 cm, 5 vrsta kategoriji dubine korijena od 50 do 100 cm i 5 vrsta kategoriji dubine korijena iznad 100 cm.

Prilikom konstrukcije uređaja važno je znati dubinu korijena kako bi se odredila optimalna visina supstrata u koji će se zasaditi biljke, a ujedno je važna i razgranatost korijenovog sustava zbog toga što se u zoni rizosfere nalazi najveći broj mikroorganizama koji imaju važnu ulogu u pročišćavanju otpadnih voda (U.S. EPA 1988).

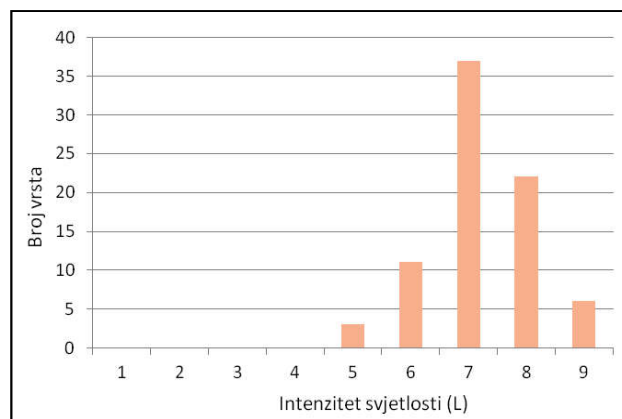


Slika 2. Analiza dubine korijena vodenih i močvarnih biljnih vrsta

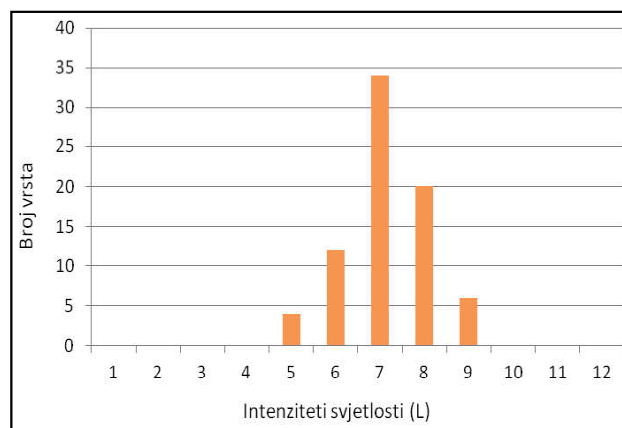
### 3.4. Ekološki indeksi

#### 3.4.1. Svjetlost

Rezultati analize ekoloških indeksa za svjetlost prema Ellenberg et al. (1991) prikazani su na Slici 3. Ukupno je analizirano 79 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom svjetlosti 7 (37 vrsta), zatim slijede vrste s indeksom 8 (22 vrste), 11 vrsta s indeksom 6, 6 vrsta s indeksom 9 i 3 vrste s indeksom 5. Među analiziranim vrstama nalaze se biljke koje mogu uspijevati u rasponu osvjetljenosti od onih koje rastu u polusjeni (npr. klasasti krocanj – *Myriophyllum spicatum*) (indeks 5) do onih koje rastu na potpuno osvjetljenim staništima (npr. močvarni ljutak – *Cladium mariscus*) (indeks 9).



Slika 3. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za svjetlost prema Ellenberg et al. (1991)



Slika 4. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za svjetlost prema Pignatti et al. (2005)

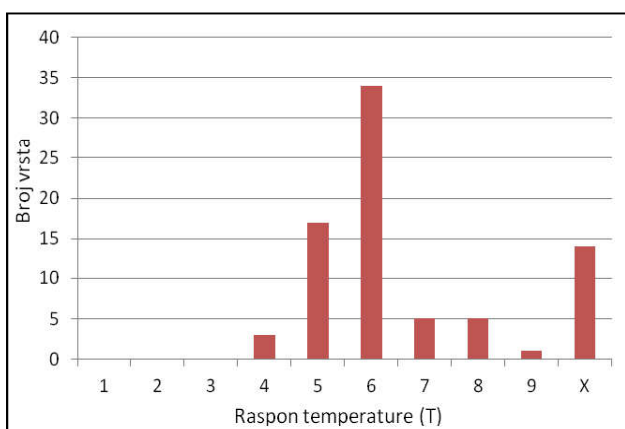
Rezultati analize ekoloških indeksa za svjetlost prema Pignatti et al. (2005) prikazani su na Slici 4. Ukupno je analizirano 76 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom svjetlosti 7 (34 vrste), zatim slijede vrste s indeksom 8 (20 vrsta), s indeksom 6 (12 vrsta), s indeksom 9 (6 vrsta) i s indeksom 5 (4 vrste). Među analiziranim vrstama nalaze se biljke prilagođene na čitav raspon ekološkog čimbenika, od biljaka hlada koje mogu podnijeti kratku izloženost direktnom sunčevom zračenju (npr. mekana voščika – *Ceratophyllum submersum* L.) (indeks 5) do onih koje

rastu potpuno izložene suncu u blagoj klimi s čestim oblacima (npr. obalni oblič – *Scirpus litoralis* Schrad.) (indeks 9).

Na temelju podataka o indeksima svjetlosti za kontinentalni (Ellenberg et al. 1991) i mediteranski dio Hrvatske (Pignatti et al. 2005) može se vršiti odabir biljnih vrsta ovisno o zahtijevanoj osvjetljenosti uređaja. Npr. uređaji mogu biti smješteni u djelomičnoj sjeni obližnjih objekata ili stabala drveća ili direktno izloženi sunčevoj svjetlosti.

### 3.4.2. Temperatura

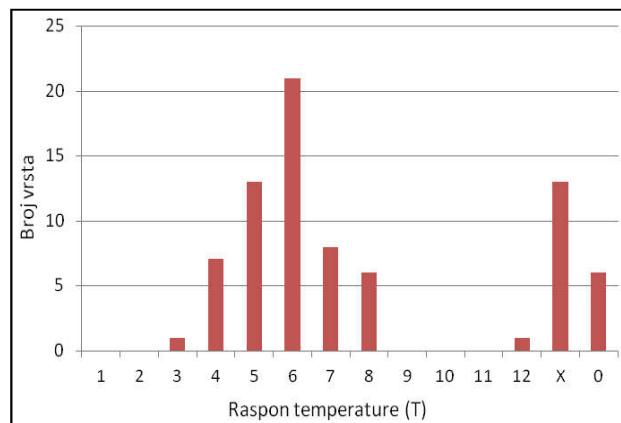
Rezultati analize ekoloških indeksa za temperaturu prema Ellenberg et al (1991) prikazani su na Slici 5. Ukupno je analizirano 79 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom temperature 6 (34 vrste), zatim slijede vrste s indeksom 5 (17 vrsta), 14 vrsta koje imaju veliku toleranciju spram oscilacija temperature s oznakom X, po 5 vrsta s indeksom temperature 7 i 8, 3 vrste s indeksom 4 i 1 vrsta s indeksom 9. Dakle, u setu podataka zastupljene su vrste od onih koje žive na nižim temperaturama u visokim gorama (npr. riječna preslica – *Equisetum fluviatile* L.) (indeks 4) do onih koje žive na vrlo toplim staništima mediteranske klime (npr. četverolisna raznorotka – *Marsilea quadrifolia* L.) (indeks 9) te onih koje imaju širok raspon tolerancije na temperaturu (npr. potočna čestoslavica – *Veronica beccabunga* L.) (indeks X).



Slika 5. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za temperaturu prema Ellenberg et al. (1991)

Rezultati analize ekoloških indeksa za temperaturu prema Pignatti et al. (2005) prikazani su na Slici 6. Ukupno je analizirano 76 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom temperature 6 (21 vrsta), zatim s po 13 vrsta slijedi indeks 5 i skupina s oznakom X, 8 vrsta s indeksom 7, 7 vrsta s indeksom 4, po 6 vrsta s indeksom 8 i s oznakom 0 te po 1 vrsta s indeksom 3 i 12. Može se vidjeti da su dobiveni rezultati vrlo slični onima kod analize ekoloških indeksa za temperaturu prema Ellenberg et al. (1991) s tom razlikom da je ovdje izdvojena skupina s oznakom 0 koja obuhvaća biljke s nedovoljno informacija o prilagodba određenoj temperaturi (npr. patuljasti rogoz – *Typha minima* Hoppe).

Podaci o ekološkim indeksima za temperaturu mogu biti korisni prilikom odabira vrsta za biljne uređaje u područjima s različitim vrijednostima srednjih mjesečnih i godišnjih temperatura zraka.



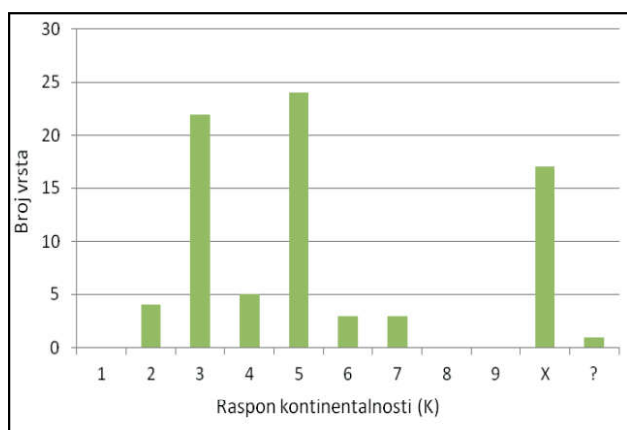
Slika 6. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za temperaturu prema Pignatti et al. (2005)

### 3.4.3. Kontinentalnost

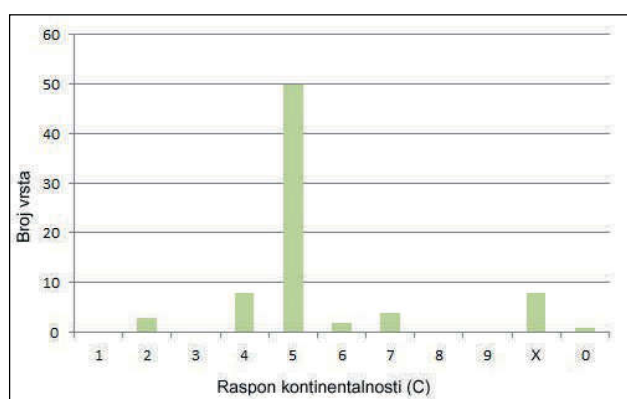
Rezultati analize ekoloških indeksa za kontinentalnost prema Ellenberg et al. (1991) prikazani su na Slici 7. Ukupno je analizirano 79 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom 5 (24 vrste), zatim slijede vrste s indeksom 3 (22 vrste), 17 vrsta koje imaju veliku toleranciju spram kontinentalnosti (oznaka X), dok su znatno manje zastupljene vrste s indeksom 4 (5 vrsta), s indeksom 2 (4 vrste), s indeksom 6 i 7 (po 3 vrste) te skupina s nepoznatim ponašanjem vrste s oznakom ? (1 vrsta). Kao što je vidljivo vodene i močvarne vrste pokazuju različito ponašanje u odnosu na svojstvo kontinentalnosti, od onih koje dolaze u blizini morske obale (npr. obični ljepušak – *Hydrocotyle vulgaris* L.) (indeks 2) do onih koje rastu duboko u kontinentu (npr. amfibijski grbak – *Rorippa amphibia* (L.) Besser) (indeks 7), uključujući i vrste koje ne pokazuju pravilnost u pojavljivanju u odnosu na udaljenost od morske obale (npr. trska – *Phragmites australis*) (oznaka X).

Rezultati analize ekoloških indeksa za kontinentalnost prema Pignatti et al. (2005) prikazani su na Slici 8. Ukupno je analizirano 76 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom kontinentalnosti 5 (50 vrsta), zatim sa znatno manje vrsta slijedi indeks 4 i skupina s oznakom X (po 8 vrsta), indeks 7 (4 vrste), indeks 2 (3 vrste), indeks 6 (2 vrste) te skupina s nedovoljno informacija o vrsti s oznakom ? (1 vrsta). Dobiveni rezultati su slični onima kao kod analize ekoloških indeksa za kontinentalnost prema Ellenberg et al. (1991) s tom razlikom da je ovdje daleko najbrojnija skupina koja pripada indeksu 5, a u koju se ubrajaju biljke s područja srednje umjerene klime (npr. močvarna jezernica – *Eleocharis palustris* (L.) R. Br.) (Pignatti et al. 2005).

Temeljem podataka o kontinentalnosti mogu se izabrati vrste prilagođene različitim klimatskim uvjetima, od kontinentalne do mediteranske klime, ovisno o lokaciji gdje se uređaj gradi.



Slika 7. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za kontinentalnost prema Ellenberg et al. (1991)



Slika 8. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za kontinentalnost prema Pignatti et al. (2005)

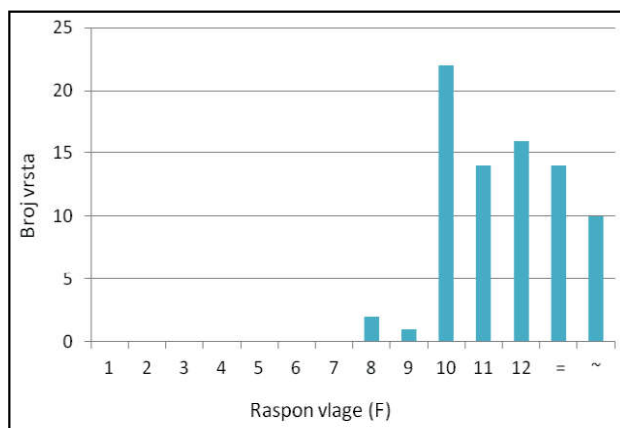
### 3.4.4. Vlaga

Rezultati analize ekoloških indeksa za vlagu prema Ellenberg et al. (1991) prikazani su na Slici 9. Ukupno je analizirano 79 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom vlage 10 (22 vrste), zatim slijede vrste s indeksom 12 (16 vrsta), s indeksom 11 i skupina biljaka na povremeno poplavljenim staništima s oznakom = (po 14 vrsta), skupina biljaka na staništima s velikim oscilacijama vlažnosti s oznakom ~ (10 vrsta), a najmanje je zastupljen indeks 8 (2 vrste) i indeks 9 (1 vrsta). Kao što je vidljivo (Slika 9) među analiziranim vrstama zastupljene su različite skupine biljaka od onih koje rastu na vlažnim staništima bez poplavne vode (npr. močvarna preslica – *Equisetum palustre* L.) (indeks 8) do onih koje žive potopljene u vodi (npr. podvodna vodena leća – *Lemna trisulca* L.) (indeks 12) te vrste koje podnose povremeno poplavljanje (npr. žuta perunika – *Iris pseudacorus*) i velike oscilacije vlage na staništu (npr. purpurna vrbica – *Lythrum salicaria* L.).

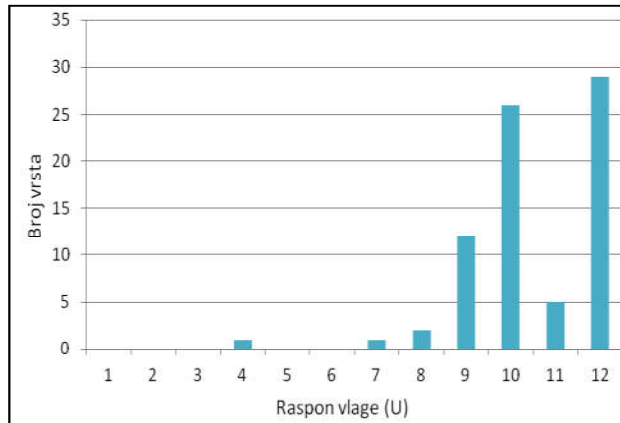
Rezultati analize ekoloških indeksa za vlagu prema Pignatti et al. (2005) prikazani su na Slici 10. Ukupno je analizirano 76 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom vlage 12 (29 vrsta), zatim slijede biljke s indeksom 10 (26 vrsta), s indeksom 9 (12 vrsta), s indeksom 11 (5 vrsta), s indeksom 8 (2 vrste) te s indeksima 4 i 7 (po 1 vrsta). Iako se objašnjenja za indekse pod istim brojevima razlikuju

između Ellenberg et al. (1991) i Pignatti et al. (2005), s time da Ellenberg et al. (1991) imaju još i dodatne oznake, u suštini su dobiveni vrlo slični rezultati.

Rezultati ovoga rada upućuju da se za izgradnju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda mogu odabrati različite biljke, od onih koje su prilagođene stalnoj prisutnosti vode na staništu, onih koje mogu podnositi velike oscilacije vlage prilikom rada uređaja do onih koje mogu rasti na vlažnom supstratu bez stagnirajuće vode na površini.



Slika 9. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za vlagu prema Ellenberg et al. (1991). Kratice: ~ – veće oscilacije vlage na staništu, = – pokazatelj povremeno poplavljenih područja

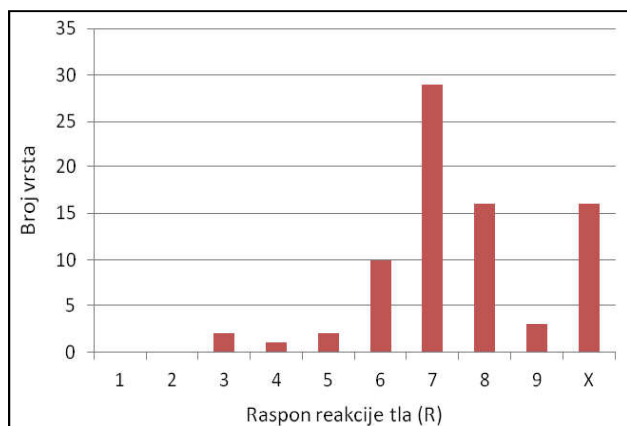


Slika 10. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za vlagu prema Pignatti et al. (2005)

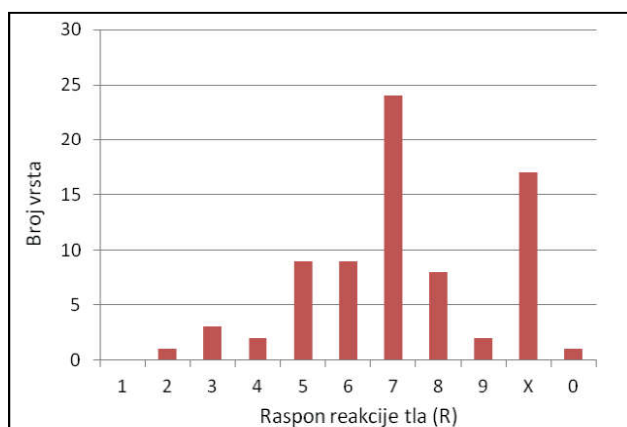
### 3.4.5. Reakcija tla

Rezultati analize ekoloških indeksa za reakciju tla prema Ellenberg et al. (1991) prikazani su na Slici 11. Ukupno je analizirano 79 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom reakcije 7 (29 vrsta), zatim slijedi indeks 8 i skupina biljaka s oznakom X (po 16 vrsta), indeks 6 (10 vrsta), indeks 9 (3 vrste), indeksi 3 i 5 (po 2 vrste) i indeks 4 (1 vrsta). Analizom prilagodbe biljaka na reakciju tla pokazalo se da su u setu podataka zastupljene različite kategorije, od onih biljaka koje mogu rasti na kiselim tlima (npr. kljunasti šaš – *Carex rostrata* Stokes) (indeks 3), do onih koje mogu rasti na alkaličnim tlima (npr. močvarni ljutak – *Cladium mariscus*) (indeks 9), a najbrojnije su one

koje imaju optimum razvitka u neutralnom do blago kiselom ili blago alkaličnom području (npr. trstasti blještac – *Phalaris arundinacea*) (indeks 7), s time da postoje i vrste koje mogu podnijeti vrlo široki raspon reakcije tla (npr. žuta perunika - *Iris pseudacorus*) (indeks X).



**Slika 11. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za reakciju tla prema Ellenberg et al. (1991)**



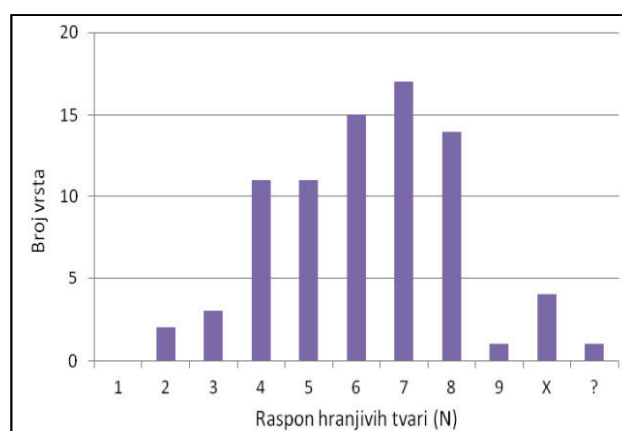
**Slika 12. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za reakciju tla prema Pignatti et al. (2005)**

Rezultati analize ekoloških indeksa za reakciju tla prema Pignatti et al. (2005) prikazani su na Slici 12. Ukupno je analizirano 76 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom reakcije tla 7 (24 vrste), zatim slijedi skupina biljaka s oznakom X (17 vrsta), indeksi 5 i 6 (po 9 vrsta), indeks 8 (8 vrsta), indeks 3 (3 vrste), indeksi 4 i 9 (po 2 vrste) te indeks 2 i skupina biljaka s nedovoljno informacija s oznakom 0 (po 1 vrsta). Dobiveni su vrlo slični rezultati kao i kod analize reakcije tla prema Ellenberg et al. (1991) s tom razlikom da je ovdje još dodatno izdvojena skupina biljaka za koju ne postoji dovoljno informacija.

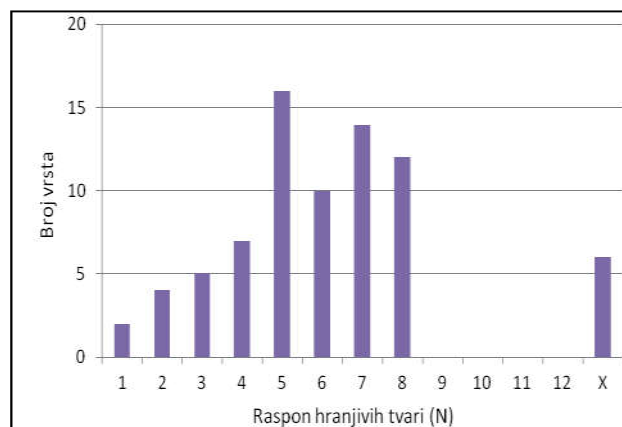
Podaci o reakciji supstrata za pojedine biljne vrste vrlo su važni jer se otpadne vode razlikuju prema svojoj pH vrijednosti.

### 3.4.6. Hranjive tvari

Rezultati analize ekoloških indeksa za hranjive tvari prema Ellenberg et al. (1991) prikazani su na Slici 13. Ukupno je analizirano 79 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom 7 (17 vrsta), zatim slijedi indeks 6 (15 vrsta), indeks 8 (14 vrsta), indeksi 4 i 5 (po 11 vrsta), skupina s oznakom X (4 vrste), indeks 3 (3 vrste), indeks 2 (2 vrste) te indeks 9 i skupina s oznakom ? (po 1 vrsta). Rezultati pokazuju da su u setu podataka zastupljene biljke koje mogu rasti u rasponu od staništa siromašnih hranjivim tvarima (npr. patuljasti rogoz – *Typha minima*) (indeks 2), do onih koja su iznimno bogata hranjivim tvarima (npr. velika plevina – *Glyceria maxima*) (indeks 9), a postoje i vrste koje pokazuju vrlo široku toleranciju na količinu hranjivih tvari (obični borak – *Hippuris vulgaris* L.) (indeks X) te vrste za koje ne postoji dovoljno informacija (?).



**Slika 13. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za hranjive tvari tla prema Ellenberg et al. (1991)**



**Slika 14. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za hranjive tvari prema Pignatti et al. (2005)**

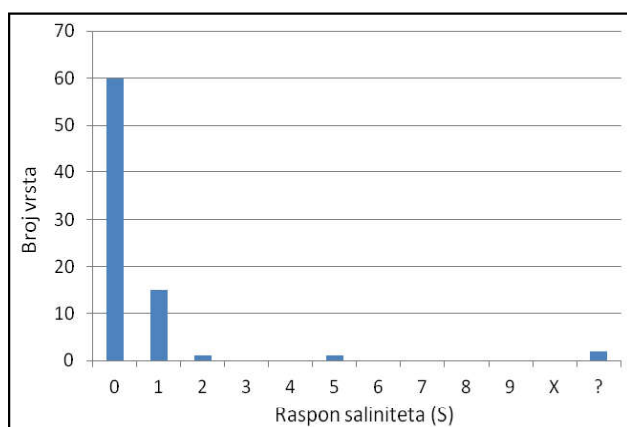
Rezultati analize ekoloških indeksa za hranjive tvari prema Pignatti et al. (2005) prikazani su na Slici 14. Ukupno je analizirano 76 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom hranjivih tvari 5 (16 vrsta), zatim slijedi indeks 7 (14 vrsta), indeks 8 (12 vrsta), indeks 6 (10 vrsta), indeks

4 (7 vrsta), skupina s oznakom X (6 vrsta), indeks 3 (5 vrsta), indeks 2 (4 vrste) i indeks 1 (2 vrste). Dobiveni rezultati (Slika 14) vrlo su slični s rezultatima analize ekoloških indeksa za hranjive tvari prema Ellenberg et al. (1991) (Slika 13).

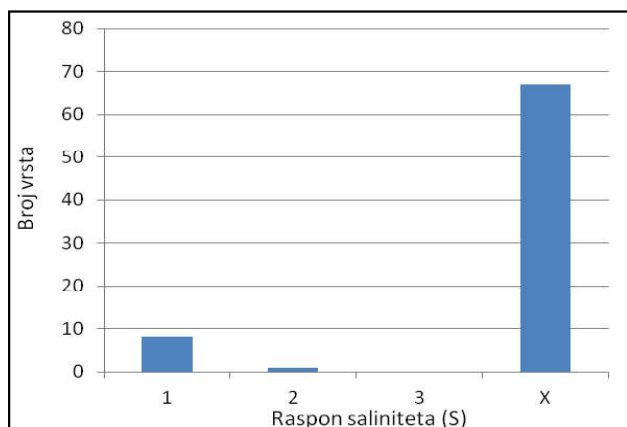
Otpadne vode mogu biti opterećene različitim koncentracijama hranjivih tvari pa indeksi za hranjive tvari omogućuju optimalni odabir biljnih vrsta. Ukoliko su vode više opterećene hranjivim tvarima pogodnije su vrste s većim indeksom.

### 3.4.7. Salinitet

Rezultati analize ekoloških indeksa za salinitet prema Ellenberg et al. (1991) prikazani su na Slici 15. Ukupno je analizirano 79 vrsta. Najzastupljenije su vrste s indeksom 0 (60 vrsta), zatim slijedi indeks 1 (15 vrsta), skupina biljaka s oznakom ? (2 vrste) te indeksi 2 i 5 (po 1 vrsta). Na osnovi analize dobiveno je da većina ispitivanih vrsta ne podnosi sol u tlu (indeks 0), jedan dio podnosi manje koncentracije soli do 0,1 % Cl (npr. jezerski oblič – *Scirpus lacustris*) (indeks 1), dok samo dvije vrste podnose nešto veću koncentraciju soli u podlozi (primorski rančić – *Scirpus maritimus* L.) (indeks 2) i (žabokrečina – *Zannichellia palustris* L.) (indeks 5).



Slika 15. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za salinitet prema Ellenberg et al. (1991)



Slika 16. Analiza ekoloških indeksa vodenih i močvarnih vrsta za salinitet prema Pignatti et al. (2005)

Rezultati analize ekoloških indeksa za salinitet prema Pignatti et al. (2005) prikazani su na Slici 16. Ukupno je analizirano 76 vrsta. Najzastupljenije su vrste s oznakom X (67 vrsta), zatim slijedi indeks 1 (8 vrsta) i indeks 2 (1 vrsta). Dobiveni su vrlo slični rezultati kao i kod analize indeksa prema Ellenberg et al. (1991) s time da su na Slici 15 biljke koje ne podnose sol na staništu označene indeksom 0, a na Slici 16 oznakom X.

Podaci o salinitetu ukazuju da li su pojedine vrste prilagođene povišenim koncentracijama soli u tlu na osnovi čega se mogu odabrati biljke u priobalnim područjima gdje postoji utjecaj morske ili bočate vode u biljnim uređajima.

### 3.5. Mogućnosti korištenja samoniklih biljnih vrsta u biljnim uređajima za pročišćavanje otpadnih voda u Hrvatskoj

U Hrvatskoj, s obzirom na potrebe pročišćavanja otpadnih voda (Tušar 2009), naročito objekata udaljenih od sustava javne odvodnje (Kivaisi 2001), postoje mogućnosti i potrebe za izgradnju novih biljnih uređaja. Zasad je u našoj zemlji izgrađen relativno mali broj takvih uređaja (Bieco 2003; Shalabi 2004; Ružinski & Anić Vučinić 2010; Nadilo 2013; Šperac et al. 2013):

- autokamp Bijar na otoku Cresu, za otpadne vode autokampa, zasađen trskom, prvi biljni uređaj u Hrvatskoj;
- pilot biljni uređaj Jakuševac kod Zagreba, za pročišćavanje dijela procijednih voda odlagališta otpada, zasađen trskom;
- autokamp Glavotok na otoku Krku, izgrađen za obradu otpadnih voda iz autokampa, zasađen trskom;
- autokamp Politin na otoku Krku, za otpadne vode autokampa;
- Žminj u Istri, za komunalne otpadne vode, zasađen trskom i lepršavim sitom (*Juncus effusus* L.);
- Vinogradci između Belišća i Valpova, za komunalne otpadne vode, zasađen trskom;
- Lukač kod Virovitice, za komunalne otpadne vode, zasađen trskom;
- Vrlika, za komunalne otpadne vode;
- Goričica kod Siska, za pročišćavanje procijednih voda odlagališta otpada;
- pilot biljni uređaj Hrušćica kod Ivanja Reke, zasađen šašem;
- još nekoliko uređaja u fazi je projektiranja i izgradnje.

Prema navedenim podacima u većini uređaja u Hrvatskoj koristi se trska.

Nadalje, u dostupnim publikacijama o biljnim uređajima nudi se tek nekoliko vrsta koje je moguće upotrijebiti (Vymazal & Kröpfelová 2008; Malus & Vouk 2012; Ružinski & Anić Vučinić 2010), s time da su neki radovi napisani za druga klimatska i geografska područja (U.S. EPA 1988, 2000; Sim 2003; Surrency et al. 2003, Wallace & Knight 2006; Taylor 2009) te sadrže vrste koje uglavnom ne rastu na prirodnim staništima Europe.

U ovome radu predlaže se 80 vrsta (49 močvarnih i 31 vodenih) između kojih se može izabrati jedna ili više koje



svojim morfološkim osobinama i prilagodbama na prirodnim staništima, izraženim pomoću ekoloških indeksa, mogu biti pogodne za specifične uvjete pojedinih biljnih uređaja. Analizirana svojstva pokazuju koje je vrste najbolje izabrati s obzirom na visinu biljaka (količinu biomase), dubinu supstrata, osvjetljenost uređaja, prosječne mjesečne i godišnje temperature lokacije, prisutnost površinske i podpovršinske vode u uređaju i njezine oscilacije, pH reakciju otpadne vode, količinu hranjivih tvari i salinitet (**Tablica 1**).

Nadalje, usporedba rezultata analize ekoloških indeksa prema [Ellenberg et al. \(1991\)](#) i [Pignatti et al. \(2005\)](#) pokazuje vrlo slične vrijednosti, s time da su ekološki čimbenici prema [Pignatti et al. \(2005\)](#), osim saliniteta, više raščlanjeni nego prema [Ellenberg et al. \(1991\)](#). Nadalje, kod primjene treba uzimati u obzir da ekološki indeksi prema [Ellenberg et al. \(1991\)](#) više odgovaraju za kontinentalni dio, a prema [Pignatti et al. \(2005\)](#) za mediteranski dio Hrvatske.

Prilikom odabira biljaka trebalo bi isključivo birati autohtone vrste koje prirodno rastu na močvarnim staništima područja gdje se uređaj gradi zbog njihove prilagodbenosti klimi. Također, trebalo bi birati one vrste koje imaju tendenciju brzog stvaranja velike biomase i koje su dominantne na svojim prirodnim staništima kao što su: trska (*Phragmites australis*; **Slika 17 i 18**), trsci sličan trsasti blještac (*Phalaris arundinacea*; **Slika 19 i 20**), širokolisni rogoz (*Typha latifolia*; **Slika 21 i 22**), močvarni ljutak (*Cladium mariscus*; **Slika 23 i 25**), kruti šaš (*Carex elata* All.; **Slika 24**), rižasta tajnica (*Leersia oryzoides* (L.) Sw.; **Slika 26**), razgranjeni ježinac (*Sparganium erectum*; **Slika 27**), žuta perunika (*Iris pseudacorus*; **Slika 28**), riječna preslica (*Equisetum fluviatile*; **Slika 29**), klasasti krocanj (*Myriophyllum spicatum*; **Slika 30**) te druge vrste. Također se preporuča konzultirati biologa specijaliziranog za vodenu i močvarnu vegetaciju.

Na primjer, za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda, otpadnih voda s farmi i sl., koje sadrže velike količine hranjivih tvari, koje su približno neutralne reakcije, u uvjetima kontinentalne klime, pogodne su sljedeće biljke: trska (*Phragmites australis*); širokolisni rogoz (*Typha latifolia*), jezerski oblič (*Scirpus lacustris*), velika pirevina (*Glyceria maxima*), trstasti blještac (*Phalaris arundinacea*), razgranjeni ježinac (*Sparganium erectum*), žuta perunika (*Iris pseudacorus*), klasasti krocanj (*Myriophyllum spicatum*), mala vodena leća (*Lemna minor* L.), podvodna vodena leća (*Lemna trisulca* L.) i druge.

U Hrvatskoj zasad ne postoji komercijalna prodaja samoniklih vodenih i močvarnih vrsta u rasadnicima. Jedina mogućnost je da se vrste presade s prirodnih staništa ili da se sakupi njihovo sjeme i zasije. U tu svrhu potrebno je nabaviti odgovarajuće dozvole Državnog zavoda za zaštitu prirode i nadležnog ministarstva, a kod vađenja biljaka s prirodnih staništa treba paziti da se ta prirodna staništa što manje unište i da ostane dovoljno individua potrebnih za njihov opstanak u prirodi.

Nikako se ne preporuča korištenje stranih, a posebice invazivnih vrsta ([Boršić et al. 2008](#)), kao što je na primjer kanadska vodena kuga (*Elodea canadensis* Michx.; **Slika 31**), zbog opasnosti za biološku raznolikost područja i očuvanja autohtone flore i vegetacije.

U biljnim uređajima može se koristiti jedna i više vrsta. Korištenje većeg broja vrsta može povećati učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda. Biljni uređaji s više biljnih vrsta mogu služiti kao zamjenska staništa za ugrožene biljne i životinjske vrste koje sve više nestaju zbog gubitka prirodnih staništa, mogu imati edukativnu ulogu te povećati estetsku vrijednost krajobraza u kojem se nalaze.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovi rezultata ovoga rada može se zaključiti sljedeće:

- U biljnim uređajima koji će se u budućnosti graditi u Hrvatskoj može se upotrijebiti daleko veći broj vrsta nego što se trenutno koristi. U ovome radu obrađeno je 49 vrsta močvarnih i 31 vrsta vodenih biljaka, koje su ili česte u flori Hrvatske ili su karakteristične za različite tipove vodenih i močvarnih staništa.
- Prilikom odabira vrsta treba obratiti pozornost na njihova morfološka svojstva (visinu, dubinu korijenja) i prilagodbe na ekološke čimbenike prirodnih staništa (svjetlost, temperaturu, kontinentalnost, vlagu, reakciju tla, hranjive tvari, salinitet) (**Tablica 1**).
- Preporuka je da se koriste autohtone vodene i močvarne biljke koje su dominantne na prirodnim staništima, odnosno koje stvaraju znatnu biomasu.

#### 5. LITERATURA

- Bieco (2003) Bieco, zaštita okoliša, tehnologija za biljni uređaj. Rijeka, dostupno: <http://www.bieco.hr/hr/biljni.htm>, korišteno: 15.05.2016.
- Boršić I, Milović M, Dujmović I, Bogdanović S, Čigić P, Rešetnik I, Nikolić T, Mitić B (2008) Preliminary check-list of invasive alien plant species (IAS) in Croatia. *Nat Croat* 17:55-71
- Domac R (1994) Flora Hrvatske, Priručnik za određivanje bilja. Školska knjiga, Zagreb
- Ellenberg H, Weber H, Düll R, Wirth V, Werner W, Paulißen D (1991) Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scr Geobot* 18:1-258
- Euro+Med PlantBase (2005) dostupno: [www.em-plantbase.org](http://www.em-plantbase.org), korišteno: 24.04.2016.
- Kadlec RH, Wallace SD (2008) *Treatment Wetlands*. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, Florida
- Kivaiš AK (2001) The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecol Eng* 16 (4): 545-560
- Krausch H-D (1996) *Farbatlas Wasser- und Uferpflanzen*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Kutschera L (1960) *Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen*. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main
- Kutschera L, Lichtenegger E, Sobotik M (1982) *Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Kutschera L, Lichtenegger E, Sobotik M (1992) *Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Malus D, Vouk D (2012) Priručnik za učinkovitu primjenu biljnih uređaja za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda. Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- Nadilo B (2013) Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda u Vrlici, jeftinija gradnja i veća učinkovitost. *Građevinar* 65: 931-941

- NKS - Nacionalna klasifikacija staništa Republike Hrvatske (2014) Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, dostupno: <http://www.dzpp.hr/stanista/nacionalna-klasifikacija-stanista-rh/nacionalna-klasifikacija-stanista-rh-740.html>, korišteno: 25.04.2016.
- Pignatti S, Menegoni P, Pietrosanti S (2005) Valori di bioindicazione delle piante vascolari della Flora d'Italia. *Braun-Blanquetia* 39:3-97
- Radović J (ed) (2000) An Overview of the State of Biological and Landscape Diversity of Croatia with the Protection Strategy and Action Plans. Ministry of Environmental Protection and Physical Planning, Nature Protection Division, Zagreb
- Ružinski N, Anić Vučinić A (2010) Obrada otpadnih voda biljnim uređajima. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb
- Shalabi M (2004) Constructed wetlands in Croatian Adriatic area. In: Proc. 9th Internat. Conf. Wetland Systems for Water Pollution Control, ASTEE 2004 and Cemagref, Lyon, France, pp. 307-312
- Sim CH (2003) The use of constructed wetlands for wastewater treatment. Wetlands International - Malaysia Office, Selangor
- Stančić Z (2007) Marshland vegetation of the class *Phragmito-Magnocaricetea* in Croatia. *Biologia* 62 (3):297-314
- Stančić Z (2008a) New plant community (*Caricetum buekii* Hejny et Kopecký in Kopecký et Hejny 1965) from Croatia. *Nat Croat* 17 (1):15-26
- Stančić Z (2008b) Ass. *Eleocharitetum palustris* Schennikow 1919 in Croatia. *Nat Croat* 17 (4):335-355
- Stančić Z (2009) The species *Carex randalpina* B. Walln. and association *Filipendulo ulmariae-Caricetum randalpinae* ass. nov. hoc loco in Croatia. *Nat Croat* 18 (2):353-366
- Stančić Z (2010) Marshland vegetation of the class *Phragmito-Magnocaricetea* in northwest Croatia (Krapina river valley). *Biologia* 65 (1):39-53
- Stančić Z (2012) Phytosociological Database of Non-Forest Vegetation in Croatia. Short Database Report. In: Dengler J, Oldeland J, Jansen F, Chytrý M, Ewald J, Finckh M, Glöckler F, Lopez-Gonzalez G, Peet RK, Schaminée JHJ (eds) Vegetation databases for the 21st century. *Biodiversity & Ecology* 4:391-391
- Stančić Z, Žganec K, Gottstein S (2010) Marshland vegetation of Plitvice Lakes National Park in Croatia. *Candollea* 65 (1):147-167
- Surrency D, Carter J, Owsley CM, Kirkland M (2003) Wetland plants selected for constructed wetlands and stormwater systems. USDA Natural Resources Conservation Service, Thomson, Georgia
- Šperac M, Kaluder J, Šreng Ž (2013) Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda. *e-GFOS* 7:76-86 <http://dx.doi.org/10.13167/2013.7.8>
- Taylor CR (2009) Selecting plant species to optimize wastewater treatment in constructed wetlands. PhD thesis. Montana State University, Bozeman, Montana
- Tušar B (2009) Pročišćavanje otpadnih voda. Kigen i Gfv, Zagreb
- Tutin TG, Burges NA, Chater AO, Edmondson JR, Heywood VH, Moore DM, Valentine DH, Walters SM, Webb DA (eds) (1993) *Flora Europaea* 1. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge
- Tutin TG, Heywood VH, Burges NA, Moore DM, Valentine DH, Walters SM, Webb DA (eds) (1964-1980) *Flora Europaea* 1-5. Cambridge University Press, Cambridge
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) (1988) *Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment. Design Manual.* EPA/625/1-88/022. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio
- U.S. EPA (2000) *Constructed wetlands treatment of municipal wastewater. Manual.* EPA 625/R-99/010, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio
- Vymazal J (2008) Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review. In: Sengupta M, Dalwani R (eds) *The 12th World Lake Conference, Proceedings of Taal 2007.* Jaipur, India, pp. 965-980
- Vymazal J (2010) *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.* Water 2: 530-549
- Vymazal J, Kröpfelová L (2008) *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow.* Springer, Dordrecht, The Netherlands
- Wallace SD, Knight RL (2006) *Small-Scale Constructed Wetland Treatment Systems. Feasibility, Design Criteria, and O&M Requirements.* Water Environment Research Foundation, Alexandria, Virginia



Slika 17. Trska (*Phragmites australis* (Cav.) Steud.)



Slika 18. Trska (*Phragmites australis* (Cav.) Steud.) na staništu, Vransko jezero, Dalmacija



Slika 19. Trsasti blještac (*Phalaris arundinacea* L.)



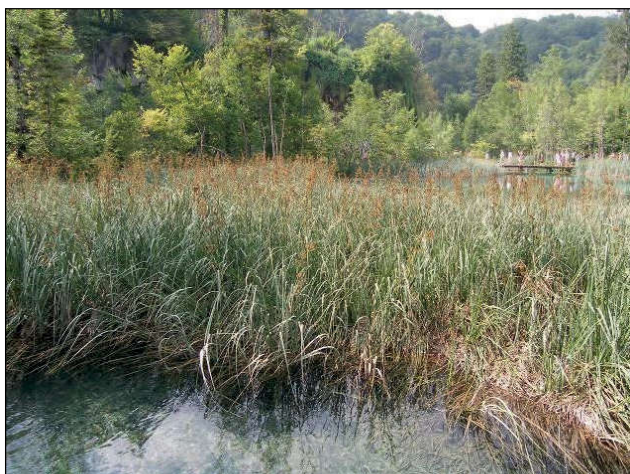
Slika 20. Trsasti blještac (*Phalaris arundinacea* L.) na staništu, dolina rijeke Krapine



Slika 21. Širokolisni rogoz (*Typha latifolia* L.) na staništu, Budinščina



Slika 22. Širokolisni rogoz (*Typha latifolia* L.)



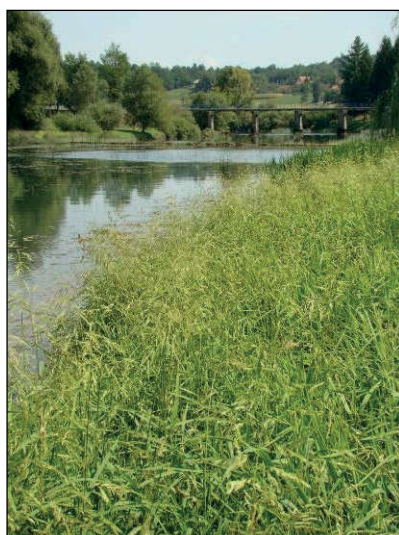
Slika 23. Močvarni ljutak (*Cladium mariscus* (L.) Pohl) na staništu, Plitvička jezera



Slika 24. Kruti šaš (*Carex elata* All.) na staništu, Bedekovčina



Slika 25. Močvarni ljutak (*Cladium mariscus* (L.) Pohl)



Slika 26. Rižasta tajnica (*Leersia oryzoides* (L.) Sw)



Slika 27. Razgranjeni ježinac (*Sparganium erectum* L.)



Slika 28. Žuta perunika (*Iris pseudacorus* L.), okolica Luke, dolina rijeke Krapine



Slika 29. Riječna preslica (*Equisetum fluviatile* L.) na staništu, Plitvička jezera



*Slika 30. Klasasti krocanj  
(Myriophyllum spicatum L.)*



*Slika 31. Kanadska vodena kuga  
(Elodea canadensis Michx.)*

Tablica 1. Prikaz samoniklih zeljastih vodenih i močvarnih biljnih vrsta Hrvatske koje je moguće koristiti u biljnim uređajima za pročišćavanje otpadnih voda.

Latinski naziv vrste (Euro+Med PlantBase 2005)	Hrvatski naziv vrste (Domac 1994)	Vodena ili močvarna biljka	Visina biljke (cm) (Tutin et al. 1968-1980, 1993)	Dubina korištena (cm)	Ekološki indeksi													
					(Ellenberg et al. 1991)					(Pignatti et al. 2005)								
					L	T	K	F	R	N	S	L	T	C	U	R	N	S
<i>Acorus calamus</i> L.	obični idirod	močvarna	15-90		8	5	6	10	7	7	0	8	6	5	10	7	7	0
<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	obični žabočun	močvarna	do 100		7	5	X	10	X	8	0	7	X	X	10	X	8	0
<i>Azolla filiculoides</i> Lam.	-	vodena	2		6	8	3	11	X	8	0	6	12	5	12	X	8	0
<i>Berula erecta</i> (Huds.) Coville	uspravni grešun	močvarna	30-100		8	6	3	10	8	6	1	8	6	4	10	X	7	0
<i>Butomus umbellatus</i> L.	štitasti vodojzub	močvarna	do 100		6	6	5	10~	X	7	?	6	0	5	10	0	8	0
<i>Callitriche hamulata</i> Kütz. ex Koch	jesenska žabovlatka	vodena	20-50		8	4	2	10~	6	4	0	7	7	2	12	2	1	0
<i>Callitriche stagnalis</i> Scop.	jezerska žabovlatka	vodena	70-100		7	5	?	10	6	4	1	9	8	5	12	5	1	0
<i>Carex acuta</i> L.	nježni šaš	močvarna	30-120(-150)		7	5	7	9=	6	4	0	7	4	7	9	6	4	0
<i>Carex acutiformis</i> Ehrh.	močvarni šaš	močvarna	(30-)50-150	152	7	X	3	9~	7	5	0	7	5	5	9	7	5	0
<i>Carex buekii</i> Wimm.	šaš	močvarna	40-120		8	6	6	8	8	6	0	6	4	6	10	4	2	0
<i>Carex elata</i> All.	kruti šaš	močvarna	20-120	103	8	X	2	10~	X	5	0	8	5	4	10	X	4	0
<i>Carex paniculata</i> L.	mešičasti šaš	močvarna	40-100(-150)		7	X	3	9	6	4	0	7	5	4	9	9	4	0
<i>Carex riparia</i> Curtis	obalni šaš	močvarna	(30-)50-150		7	6	3	9=	7	4	0	7	5	5	10	6	5	0
<i>Carex rostrata</i> Stokes	kijunasti šaš	močvarna	20-100		9	X	X	10	3	3	0	8	4	4	10	4	2	0
<i>Carex vesicaria</i> L.	mjehurasti šaš	močvarna	120	126	7	4	X	9=	6	5	0	7	4	X	9	6	5	0
<i>Carex vulpina</i> L.	lisičji šaš	močvarna	30-100	60	9	6	5	8=	X	5	0							
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	kruta voščika	vodena	30-150		6	7	X	12~	8	8	0							
<i>Ceratophyllum submersum</i> L.	mekana voščika	vodena	20-80		5	8	5	12	8	7	0	5	8	5	12	8	7	0
<i>Cladium mariscus</i> (L.) Pohl	močvarni ljutak	močvarna	125-250		9	6	3	10	9	3	0	9	X	5	10	9	3	1
<i>Cyperus flavescens</i> L.	žučkasti oštrik	močvarna	1-50		9	6	4	7=	X	4	0	6	6	5	9	5	5	0
<i>Cyperus longus</i> L.	dugi oštrik	močvarna	20-150		8	8	3	9=	X	5	0	8	7	5	11	5	5	0
<i>Eleocharis palustris</i> (L.) R. Br.	močvarna jezernica	močvarna	do 100		8	X	X	10	X	?	0	8	6	5	10	3	3	0
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	kanadska vodena kuga	vodena	20-100(-300)		7	6	5	12	7	7	0	6	7	5	12	7	8	0
<i>Equisetum fluviale</i> L.	riječna preslica	močvarna	10-60		8	4	X	10	X	5	0	8	4	X	10	X	6	0
<i>Equisetum palustre</i> L.	močvarna preslica	močvarna	30-150	250	7	X	5	8	X	3	0	7	X	5	7	X	3	0
<i>Galium palustre</i> L.	cretna bročika	močvarna	(5-)15-70(-80)		6	5	3	9=	X	4	0	7	5	4	8	5	3	0
<i>Glyceria fluitans</i> (L.) R. Br.	plivajuća pirevina	močvarna	(20-)40-120(-150)		7	X	3	9=	X	7	0	7	6	5	9	5	5	0
<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.	velika pirevina	močvarna	(60-)80-200(-250)	95	9	5	X	10~	8	9	0	9	5	5	10	8	7	0
<i>Glyceria plicata</i> (Fr.) Fr.	naborana pirevina	močvarna	(30-)40-80(-100)		8	5	3	10~	8	8	0	7	3	5	10	5	5	0
<i>Hippuris vulgaris</i> L.	obični borak	močvarna	(4-)30-60(-150)		7	5	X	10	8	X	0	7	6	5	12	8	5	0

Latinski naziv vrste (Euro+Med PlantBase 2005)	Hrvatski naziv vrste (Domac 1994)	Vodena ili močvarna biljka	Visina biljke (cm) (Tutin et al. 1968-1980, 1993)	Dubina korištena (cm)	Ekološki indeksi (Ellenberg et al. 1991)										Ekološki indeksi (Pignatti et al. 2005)									
					L	T	K	F	R	N	S	L	T	C	U	R	N	S						
<i>Hottonia palustris</i> L.	močvarna rebratica	vodena	30-90		7	6	5	12	5	4	0	7	6	5	11	5	4	0						
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	žabogriz	vodena	2-10		7	6	4	11	7	6	0	8	8	5	12	7	8	0						
<i>Hydrocotyle vulgaris</i> L.	obični ljepušak	močvarna	do 25	6	7	5	2	9~	3	2	1	9	6	5	9	3	3	0						
<i>Iris pseudacorus</i> L.	žuta perunika	močvarna	60-120		7	6	3	9=	X	7	0	7	7	5	10	6	7	0						
<i>Leersia oryzoides</i> (L.) Sw.	rižasta tajnica	močvarna	do 100		8	6	3	10	8	8	0	8	5	5	10	0	8	0						
<i>Lemma gibba</i> L.	grbasta vodena leća	vodena	7		8	6	3	11	8	8	1	7	6	5	12	7	8	0						
<i>Lemma minor</i> L.	mala vodena leća	vodena	0,1-0,8		7	5	3	11	X	6	1	7	X	5	12	X	X	0						
<i>Lemma trisulca</i> L.	podvodna vodena leća	vodena	0,2-2		7	6	3	12	7	5	1	8	X	5	12	7	6	0						
<i>Ludwigia palustris</i> (L.) Elliott	močvarna mekčina	močvarna	3-50		8	7	3	9=	4	4	0	7	6	5	9	5	6	0						
<i>Lycopus europaeus</i> L.	obična vučja noga	močvarna	20-120		7	6	5	9=	7	7	0	7	6	5	9	X	7	0						
<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	obični profirak	močvarna	50-160	90	6	X	X	8~	X	X	0	7	X	7	9	X	X	0						
<i>Lythrum salicaria</i> L.	purpurna vrbica	močvarna	50-150	95	7	5	5	8~	6	X	1	7	5	5	8	7	X	0						
<i>Marsilea quadrifolia</i> L.	četverolisna razno-rootka	močvarna	7-20		7	9	5	10	7	6	0	9	8	5	10	X	7	0						
<i>Mentha aquatica</i> L.	vodena metvica	močvarna	(10-)20-90		7	5	3	9=	7	5	0	7	5	5	9	7	4	0						
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	klasasti krocanj	vodena	do 300		5	6	X	12	9	7	?	5	X	X	12	8	5	0						
<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	pršljenasti krocanj	vodena	do 300		5	6	5	12	7	8	0	5	6	5	12	6	7	0						
<i>Najas marina</i> L.	morska podvodnica	vodena	5-45		9	5	4	12	9	6	1	5	8	2	12	7	6	1						
<i>Nasturtium officinale</i> (L.) R. Br.	ljekovita potočarika	močvarna	10-100		7	X	3	10	7	7	0	7	4	5	11	7	7	0						
<i>Nuphar lutea</i> (L.) Sm.	žuti lokvanj	vodena	do 10		8	6	4	11	7	6	0	8	X	5	12	6	X	0						
<i>Nymphaea alba</i> L.	bijeli lopoč	vodena	50-200		8	6	3	11	7	5	0	8	X	5	12	7	7	0						
<i>Oenanthe aquatica</i> (L.) Poir.	vodena trbulja	močvarna	do 150		7	6	5	10	7	6	0	7	6	5	10	7	5	0						
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	trstasti blještac	močvarna	do 200	139	7	5	X	9=	7	7	0	7	X	X	8	7	7	0						
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud.	trska	močvarna	80-350(-1000)		7	5	X	10	7	7	0	7	5	X	10	7	5	1						
<i>Polygonum amphibium</i> L.	rahlocvjetni kačun	močvarna	5-40	60	7	6	X	11	6	4	0	7	X	X	11	X	7	0						
<i>Potamogeton natans</i> L.	plivajući mrijesnjak	vodena	30-90		6	5	5	11	7	5	0	6	4	5	12	7	4	0						
<i>Potamogeton nodosus</i> Poir.	plutajući mrijesnjak	vodena	do 300		6	6	5	12	8	5	0	6	6	5	12	7	6	0						
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	češnjasti mrijesnjak	vodena	do 230		6	X	5	12	8	8	1	6	0	5	12	7	5	1						
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	prorasli mrijesnjak	vodena	2-11		6	X	X	12	7	6	1	6	0	0	12	7	4	0						
<i>Potamogeton pusillus</i> L.	maleni mrijesnjak	vodena	15-80		6	5	5	12	6	X	1	6	5	5	12	7	8	0						
<i>Ranunculus fluitans</i> Lam.	podvodni žabnjak	vodena	60-200		8	6	2	12	X	8	0	8	6	4	12	X	8	0						
<i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	tankolisni žabnjak	vodena	30-80		7	X	X	12	8	7	0	7	X	X	12	X	X	1						

Latinski naziv vrste (Euro+Med PlantBase 2005)	Hrvatski naziv vrste (Domac 1994)	Visina biljke (cm) (Tutin et al. 1968-1980, 1993)	Dubina korištena (cm)	Ekološki indeksi (Ellenberg et al. 1991)										Ekološki indeksi (Pignatti et al. 2005)										
				L	T	K	F	R	N	S	L	T	C	U	R	N	S	L	T	C	U	R	N	S
<i>Rorippa amphibia</i> (L.) Besser	amfibijski grbak	40-120		7	6	7	10	7	8	0	7	5	7	10	7	8	0	7	5	7	10	7	8	0
<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	obična strelica	30-100		7	6	4	10	7	6	0	7	0	5	10	7	6	0	7	0	5	10	7	6	0
<i>Salvinia natans</i> (L.) All.	plivajuća nepačka	8-20		7	8	5	11	7	7	0	8	6	5	4	8	7	0	8	6	5	4	8	7	0
<i>Scirpus lacustris</i> L.	jezerski oblič	do 300		8	6	3	11	7	6	1	8	5	5	11	7	5	0	8	5	5	11	7	5	0
<i>Scirpus litoralis</i> Schrad.	obalni oblič	30-200									9	8	4	10	6	6	1	9	8	4	10	6	6	1
<i>Scirpus maritimus</i> L.	primorski rancić	30-120		8	6	X	10	8	7	2	8	X	4	10	8	5	2	8	X	4	10	8	5	2
<i>Scirpus tabernaemontani</i> C. C. Gmel.	sivi oblič	do 150		8	7	6	10	7	8	0	8	7	6	10	8	x	1	8	7	6	10	8	x	1
<i>Sparganium erectum</i> L.	razgranjeni ježinac	(30-)50-150(-200)		7	6	5	10	7	7	0	7	6	5	10	X	5	0	7	6	5	10	X	5	0
<i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Schleid.	višekorjenska bar- ska leća	4-10		7	6	5	11	6	6	1								7	6	5	12	X	7	0
<i>Stratiotes aloides</i> L.	rezac	15-50		7	6	5	11	8	6	0	7	7	5	12	7	8	0	7	5	12	7	8	0	
<i>Trapa natans</i> L.	vodeni orašac	50-200		8	7	5	11	6	8	0	8	7	5	12	6	8	0	8	7	5	12	6	8	0
<i>Typha angustifolia</i> L.	uskoljsni rogoz	do 200		8	7	5	10	7	7	1	8	7	5	10	X	7	0	8	7	5	10	X	7	0
<i>Typha latifolia</i> L.	širokoljsni rogoz	200 ili više		8	6	5	10	7	8	1	8	6	5	10	X	8	0	8	6	5	10	X	8	0
<i>Typha minima</i> Hoppe	patuljasti rogoz	25-75		8	X	7	9=	8	2	0	8	0	7	9	8	2	0	8	0	7	9	8	2	0
<i>Utricularia vulgaris</i> L.	obična mješinka	do 100		7	6	X	12	5	4	0	7	6	X	12	6	6	0	7	6	X	12	6	6	0
<i>Vallisneria spiralis</i> L.	uvijuša	do 40		7	8	3	12	7	7	0	6	5	5	12	5	5	0	6	5	5	12	5	5	0
<i>Veronica beccabunga</i> L.	potočna čestoslavica	10-70		7	X	3	10	7	6	0	7	X	5	10	7	6	0	7	X	5	10	7	6	0
<i>Wolffia arrhiza</i> (L.) Wimm.	beskorjenska sitna leća	do 15		7	6	5	11	7	6	0	7	6	5	12	3	2	0	7	6	5	12	3	2	0
<i>Zannichellia palustris</i> L.	žabokrečina	20-40		6	6	5	12	8	8	5	6	0	2	12	7	6	1	6	0	2	12	7	6	1