

# Vrstna sestava aerofitskih alg na izbranih lokacijah v Sloveniji nakazuje dinamične spremembe v združbi

Aleksandra KRIVOGRAD KLEMENČIČ<sup>1</sup> & Damjan BALABANIČ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Inštitut za celulozo in papir, Bogiščičeva 8, SI-1000 Ljubljana; E-mail: aleksandra.krivograd-klemencic@icp-lj.si

**Izvleček.** V različnih letnih časih v letih 2005 in 2006 smo vzorčevali alge na petih različnih aerofitskih lokacijah. Za medsebojno primerjavo smo vzorčna mesta izbrali na trhlem lesu, apnenčastih skalah, betonu in prsti. Vzorčili smo na smrekovem štoru (*Picea abies*) na Jelovici, vlažnih skalah na izviru Šice na Radenskem polju, na vhodu v kraško jamo Huda luknja in v opuščnem železniškem predoru pri jami Huda luknja. Skupno smo nabrali 17 vzorcev alg. Identificirali smo 94 taksonov, ki pripadajo 38 rodovom in štirim razredom alg. Po številu identificiranih taksonov so prevladovala kremenaste alge, sledile so cianobakterije, Chlorophyceae in Xanthophyceae. Razen na smrekovem štoru na Jelovici, kjer so prevladovala Chlorophyceae, so na drugih lokacijah prevladovala Bacillariophyceae. Skupno smo identificirali 20 taksonov, ki doslej še niso bili zabeleženi na območju Slovenije. Rodova *Podohedra* in *Poloidion* sta v Sloveniji ugotovljena prvič. Na združbo je vplival tudi tip substrata, ki so ga kolonizirale aerofitske alge.

Ključne besede: alge, aerofitski habitati, jame, smrekov štor, apnenčaste skale

**Abstract. SPECIES COMPOSITION OF AEROPHYTIC ALGAE FROM SELECTED LOCALITIES IN SLOVENIA INDICATES DYNAMIC CHANGES IN A COMMUNITY** – In the years 2005 and 2006, algal samples were collected seasonally at five different aerophytic sampling sites. We compared samples from decayed wood stump, limestone rocks, concrete and soil. The samples were collected from a stump of *Picea abies* on the Jelovica plateau, damp rocks at Šica spring on Radensko polje, karst cave Huda luknja entrance and at the abandoned railway tunnel near Huda luknja cave. Altogether, 17 algal samples were collected. 94 algal taxa from 38 genera and four classes were determined. Most of them belonged to diatoms, followed by cyanobacteria, Chlorophyceae and Xanthophyceae. Bacillariophyceae were the predominant group of algae on wet rocks at Šica spring, karst cave Huda luknja entrance and on the abandoned railway tunnel, while the Chlorophyceae were predominant on a stump of *Picea abies* on the Jelovica plateau. At other localities, Bacillariophyceae prevailed. Altogether, 20 taxa were identified for the first time in Slovenia. The genera *Podohedra* and *Poloidion* are new records for Slovenia. The algal community was also influenced by the type of substrate colonized by aerophytic algae.

Key words: algae, aerophytic habitats, caves, *Picea abies* stump, limestone rocks

## Uvod

Alge so značilni prebivalci vodnih ekosistemov ter vlažnih predelov, ki so izpostavljeni svetlobi. V klasični botanični literaturi med alge v širšem smislu prištevamo poleg evkariontskih alg tudi prokariotske cianobakterije (Van den Hoek et al. 2002). Zaradi nezahtevnih prehranskih navad, preproste zgradbe, hitre rasti in različnih spolnih ter nespolnih načinov razmnoževanja imajo alge veliko sposobnost prilagajanja tudi zelo ekstremnim ekološkim razmeram. Alge pogosto najdemo v okoljih, kjer drugi organizmi ne preživijo (Van den Hoek et al. 2002). Zlasti cianobakterije so sposobne kolonizirati najrazličnejše ekstremne habitate, npr. termalne izvire in puščave. Njihova sposobnost preživetja in vrstna pestrost je najverjetneje povezana s sposobnostjo prilagoditve na spremenjene ekološke razmere (Komárek & Anagnostidis 1998).

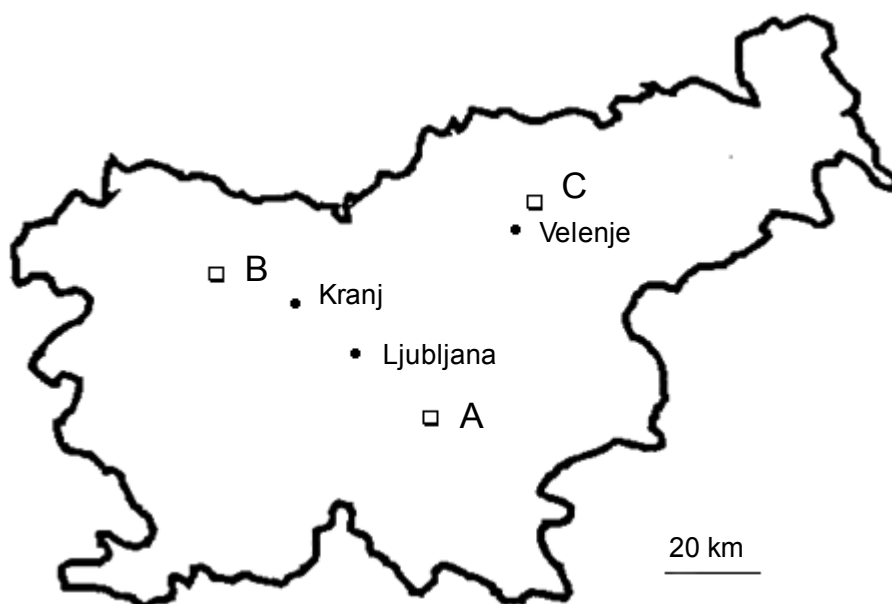
Terestrične alge so v Sloveniji zelo slabo raziskane. Po Lazarju (1975) se je z njimi v manjši meri ukvarjala še Krivograd Klemenčič (2002). Aerofitske alge na vhodih v kraške jame in ob umetnih svetilih v jamah so raziskane v večji meri (Golubić 1967; Martinčič et al. 1981; Krivograd Klemenčič 2005; Mulec 2008; Mulec et al. 2007; Mulec & Kosi 2008).

Namen raziskave je bil ugotoviti vrstno sestavo združb alg in pogostost pojavljanja posameznih vrst alg na izbranih vzorčnih mestih v aerofitskih habitatih ter ugotoviti, katere skupine alg prevladujejo na vhodu v kraško jamo, na tleh pri vhodu v jamo, v opuščnem železniškem predoru in na smrekovem štoru v različnih letnih časih.

## Metode

Vzorke alg smo nabirali v obdobju med 2005 in 2006. Vzorčna mesta smo izbrali na različnih podlagah: trhel les, apnenčaste skale, beton in prst (Tab. 1). Na posameznih vzorčnih mestih smo nabrali najmanj enega in največ štiri vzorce. Skupno smo nabrali 17 vzorcev na petih vzorčnih mestih. Vzorce alg smo nabirali tako, da smo jih z ostrim predmetom (nožem) postrgali s površine in jih dali v manjšo količino destilirane vode. Vzorce smo že na terenu fiksirali s 35-odstotnim formaldehidom v razmerju ena proti devet, tako da je bila končna koncentracija formaldehida v vzorcih približno 4 %. V laboratoriju smo vzorce alg pregledali

pod svetlobnim mikroskopom Nikon Eclipse E400 in Nikon Eclipse TE300, opremljenim z digitalno kamero Nikon Digital Camera DXM 1200, Japonska, ter programsko opremo za analizo slike Lucia 4.6 (Laboratory Imaging s.r.o., Češka). Da smo lahko identificirali diatomeje do nivoja vrste, smo morali vzorce predhodno primerno obdelati s koncentrirano  $\text{HNO}_3$  (Schaumburg et al. 2004). Iz očiščenih vzorcev smo pripravili trajne preparate z naphraxom (Schaumburg et al. 2004). Trajne preparate kremenastih alg smo pregledali pod 1000-kratno povečavo s pomočjo faznega kontrasta. Druge skupine alg smo pregledali pod 600-kratno in 1000-kratno povečavo, po potrebi smo uporabili fazni kontrast. Pri pregledu vzorcev smo ocenili pogostost posameznih taksonov alg na način, kot ga je opisala Grbović (1994).



**Slika 1.** Zemljevid Slovenije z označenimi vzorčnimi mesti. Legenda: A – skale pri izviru Šice, B – smrekov štor na Jelovici, C – Huda luknja (vhod v jamo, tla pri vходу v jamo, opuščeni železniški predor).

**Figure 1.** Map of Slovenia with marked sampling sites. Legend: A – rocks at the Šica spring, B – stump of *Picea abies* on the Jelovica plateau, C – Huda luknja (cave entrance, ground along the cave entrance, abandoned railway tunnel).

**Tabela 1.** Seznam vzorčnih mest, tip podlage, obrasle z algami, in datumi vzorčenja.**Table 1.** Sampling sites, type of a substratum overgrown by algae, and dates of sampling.

Vzorčno mesto	Podlaga	Datumi vzorčenja
smrekov štor na Jelovici	trhel les	28.6.2005, 9.9.2005, 16.11.2005, 22.6.2006
skale na izviru Šice	apnenec	14.6.2005, 19.8.2005, 3.11.2005, 19.3.2006
Huda luknja (vhod v jamo)	apnenec	8.1.2005, 7.5.2005, 21.8.2005, 31.10.2005
Huda luknja (tla pri vhodu v jamo)	prst	7.5.2005
Huda luknja (opuščeni železniški predor)	beton	8.1.2005, 7.5.2005, 21.8.2005, 31.10.2005

Za identifikacijo alg smo uporabili sledeče identifikacijske ključne: Ettl (1978), Hindák et al. (1978), Krammer & Lange Bertalot (1997a, b, 2004a, b), Ettl & Gärtner (1995), Komárek & Anagnostidis (1998, 2005).

Podobnost v vrstni sestavi združb alg in pogostosti pojavljanja posameznih taksonov alg na posameznih vzorčnih mestih smo vrednotili z multivariatno klastersko analizo (Bray-Curtisov koeficient podobnosti) (Clarke & Warwick 1990). Za klasterske analize in izdelavo dendrograma smo uporabili računalniški program CLUSTER (Šiško 2003).

## Rezultati in razprava

Na petih vzorčnih mestih na kopnem smo skupno identificirali 94 taksonov alg, ki pripadajo 38 rodovom in štirim razredom (Tab. 2). Po številu identificiranih taksonov so prevladovali Bacillariophyceae s 70 (74 %) taksoni, sledile so cianobakterije s 13 (14 %), Chlorophyceae z 10 (11 %) in Xanthophyceae z enim (1 %) taksonom. Skupno smo ugotovili 20 taksonov, ki doslej še niso bili zabeleženi na območju Slovenije (Vrhovšek et al. 2006, Krivograd Klemenčič et al. v tisku). Rodova *Podohedra* in *Poloidion* sta bila v Sloveniji ugotovljena prvič (Krivograd Klemenčič et al. v tisku).

**Tabela 2.** Vrstni sestav alg na vseh vzorčnih mestih v letih 2005 in 2006. Legenda: A – skale na izviro Šice, B – smrekov štor na Jelovici, C1 – Huda luknja (vhod v jamo), C2 – Huda luknja (tla pri vходу v jamo), C3 – Huda luknja (opuščeni železniški predor). Z znakom + so označeni novi taksoni za Slovenijo.

**Table 2.** Algal species list for all sampling sites in the years 2005 and 2006. Legend: A – rocks at the Šica spring, B – stump of *Picea abies* on the Jelovica plateau, C1 – Huda luknja (cave entrance), C2 – Huda luknja (ground along the cave entrance), C3 – Huda luknja (abandoned railway tunnel). With +, new taxa for Slovenia are designated.

Takson/vzorčno mesto	A	B	C1	C2	C3
<b>PROKARYOTA</b>					
<b>CYANOPHYTA</b>					
CYANOPHYCEAE					
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli	.	.	.	.	•
<i>Geitleria calcarea</i> Friedmann	.	.	•	.	.
<i>Gloeocapsa compacta</i> Kützing	.	.	.	.	•
<i>Gloeocapsa decorticans</i> (A. Braun) Richter	.	.	•	.	.
+ <i>Gloeocapsa lignicola</i> Rabenhorst	.	•	.	.	.
<i>Gloeocapsopsis</i> sp.	•	.	.	.	.
<i>Heteroleibleinia fontana</i> (Hansgirg) Anagnostidis & Komárek	.	.	•	.	.
+ <i>Leptolyngbya gracillima</i> (Zopf ex Hansgirg) Anagnostidis & Komárek	.	.	•	.	.
<i>Leptolyngbya</i> sp.	.	•	.	.	.
<i>Nostoc paludosum</i> Kützing	.	.	.	.	•
+ <i>Phormidium papyraceum</i> Gomont ex Gomont	.	.	•	.	•
<i>Phormidium</i> spp.	•	.	.	.	.
<i>Phormidium uncinatum</i> (Agardh) Gomont	•	.	.	.	•
<b>EUKARYOTA</b>					
<b>HETEROKONTOPHYTA</b>					
XANTHOPHYCEAE					
<i>Heterococcus</i> sp.	.	.	.	.	•
BACILLARIOPHYCEAE					
<i>Achnanthes biasolettiana</i> Grunow	.	.	•	.	.
<i>Achnanthes coarctata</i> (Brébisson) Grunow	•	.	.	.	•
+ <i>Achnanthes kryophila</i> Petersen	.	.	•	.	•
<i>Achnanthes minutissima</i> Kützing	•	.	.	.	.
<i>Amphipleura pellucida</i> (Kützing) Kützing	•	.	.	.	.
+ <i>Amphora inariensis</i> Krammer	•	.	.	.	.
<i>Amphora montana</i> Krasske	•	.	.	.	.
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	.	.	.	•	.
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	•	.	.	.	.

Takson/vzorčno mesto	A	B	C1	C2	C3
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	•	.	.	.	.
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	•	.	.	.	.
<i>Cymbella microcephala</i> Grunow	•	.	.	.	.
<i>Cymbella minuta</i> Hilse	•	.	.	.	.
<i>Cymbella rupicola</i> Grunow	.	.	•	.	•
<i>Cymbella silesiaca</i> Bleisch	•	.	.	.	.
+ <i>Cymbella similis</i> Krasske	.	.	•	.	.
<i>Cymbella sinuata</i> Gregory	•	.	.	•	.
<i>Denticula tenuis</i> Kützing	•	.	.	.	.
<i>Diatoma ehrenbergii</i> Kützing	•	.	.	.	.
<i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	•	.	.	.	.
<i>Diatoma moniliformis</i> Kützing	•	.	.	.	.
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	•	•	.	.	.
<i>Diploneis oblongella</i> (Nägeli) Cleve-Euler	•	.	.	.	.
<i>Eunotia praerupta</i> Ehrenberg	.	.	•	.	.
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	•	.	•	•	•
<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	•	.	.	.	.
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	•	.	.	•	.
<i>Gomphonema angustum</i> Agardh	•	.	.	.	.
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	•	.	.	.	.
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	•	.	.	.	•
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	•	.	.	.	.
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	•	.	•	.	.
<i>Melosira varians</i> Agardh	•	.	.	.	.
<i>Meridion circulare</i> var. <i>circulare</i> (Greville) C. A. Agardh	•	.	.	.	.
<i>Navicula aerophila</i> Krasske	•	.	•	.	•
<i>Navicula bacillum</i> Ehrenberg	.	.	•	.	.
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	•	.	.	.	.
<i>Navicula cincta</i> (Ehrenberg) Ralfs	.	.	.	•	•
<i>Navicula contenta</i> Grunow	•	.	•	•	•
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	•	.	.	.	.
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot	•	.	.	.	.
<i>Navicula elginensis</i> var. <i>elginensis</i> (Gregory) Ralfs	.	.	.	•	.
<i>Navicula gallica</i> var. <i>perpusilla</i> (Grunow) Lange-Bertalot	.	.	•	.	•

Takson/vzorčno mesto	A	B	C1	C2	C3
+ <i>Navicula insociabilis</i> Krasske	.	.	•	•	.
<i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg	•	.	.	.	.
<i>Navicula menisculus</i> var. <i>menisculus</i> Schumann	•	.	.	.	.
<i>Navicula menisculus</i> var. <i>upsaliensis</i> Grunow	•	.	.	.	.
<i>Navicula mutica</i> var. <i>mutica</i> Kützing	•	.	•	.	•
<i>Navicula nivalis</i> Ehrenberg	.	.	.	.	•
+ <i>Navicula nivaloides</i> Bock	.	.	•	.	•
<i>Navicula pseudoscutiformis</i> Hustedt	.	.	•	.	.
<i>Navicula pupula</i> var. <i>pupula</i> Kützing	•	.	.	.	.
+ <i>Navicula soehrensensis</i> Krasske	.	.	.	•	.
<i>Navicula</i> spp.	•	.	.	.	.
<i>Navicula suecorum</i> var. <i>dismutica</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	.	.	.	.	•
+ <i>Navicula tenelloides</i> Hustedt	.	.	.	•	.
<i>Navicula tripunctata</i> (O. F. Müller) Bory	•	.	.	.	.
<i>Navicula viridula</i> var. <i>viridula</i> (Kützing) Ehrenberg	•	.	.	.	.
+ <i>Nitzschia alpina</i> Hustedt	.	.	.	•	•
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	•	.	.	.	.
<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W. Smith	•	.	.	.	.
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	•	.	.	.	.
<i>Nitzschia</i> spp.	•	.	.	.	.
+ <i>Orthoseira dendroteres</i> (Ehrenberg) Crawford	.	.	•	.	•
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg	.	.	•	.	•
+ <i>Pinnularia intermedia</i> (Lagerstedt) Cleve	.	.	•	.	.
+ <i>Pinnularia obscura</i> Krasske	•	.	.	.	.
<i>Pinnularia</i> sp.	.	.	.	.	•
+ <i>Stauroneis obtusa</i> Lagerstedt	.	.	•	.	.
<i>Surirella minuta</i> Brébisson	•	.	.	.	.
<b>CHLOROPHYTA</b>					
CHLOROPHYCEAE					
<i>Apatococcus lobatus</i> (Chodat) J. B. Petersen	.	.	.	.	•
<i>Chlamydomonas</i> sp.	.	.	.	.	•
+ <i>Coccomyxa confluens</i> (Kützing) Fott	.	•	.	.	.
<i>Keratococcus raphidioides</i> Pascher	.	•	.	.	.
+ <i>Podohedra bicaudata</i> Geitler	.	•	.	.	.

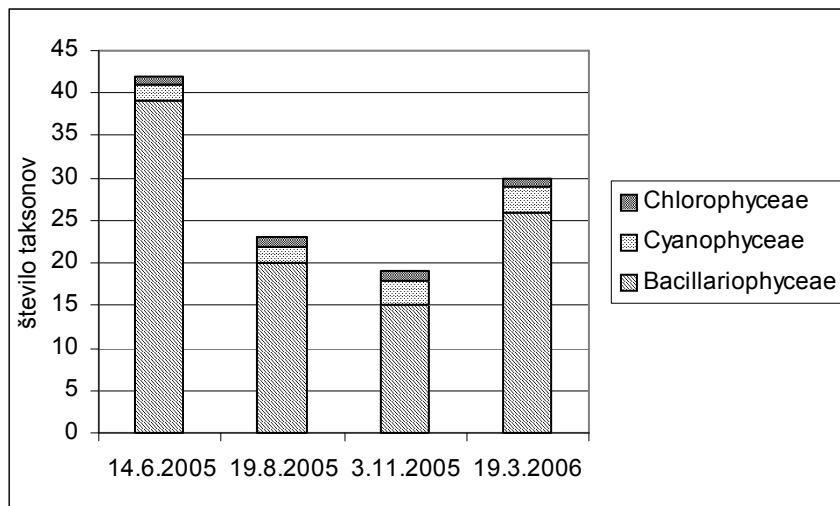
Takson/vzorčno mesto	A	B	C1	C2	C3
+ <i>Podohedra falcata</i> Düringer	.	•	.	.	.
+ <i>Poloidion didymos</i> Pascher	.	.	•	.	.
+ <i>Trentepohlia annulata</i> Brand	.	•	.	.	.
<i>Trentepohlia aurea</i> (L.) Martius	•	.	.	.	•
<i>Ulothrix variabilis</i> Kützing	.	.	.	•	•
<b>Skupno število taksonov</b>	<b>51</b>	<b>8</b>	<b>25</b>	<b>12</b>	<b>28</b>
			<b>94</b>		

## Skale na izvoru Šice

Na skalah na izviru vodotoka Šice na Radenskem polju smo skupno identificirali 51 taksonov iz treh razredov alg. Po številu identificiranih taksonov so prevladovali kremenaste alge s 47 (92 %) taksoni, sledile so cianobakterije s tremi (6 %) in Chlorophyceae z enim (2 %) taksonom. Številčno najbolj zastopana sta bila rodova *Navicula* s 13 in *Cymbella* s petimi taksoni. Najvišje število taksonov smo ugotovili v vzorcu, nabranem 14.6.2005, v tem vzorcu so bili pogosti taksoni *Achnanthes minutissima*, *Diatoma ehrenbergii*, *Fragilaria ulna*, *Meridion circulare* var. *circulare* in *Navicula menisculus*. V drugih treh vzorcih so bili vsi taksoni zastopani le posamično. Vzrok za nižjo diverzitetu in pogostost alg v vzorcih, nabranih meseca avgusta, novembra in marca, je lahko nižja vsebnost vlage, ki je poleg svetlobe glavni omejujoči dejavnik za uspevanje alg na kopnem (Johansen 1999). Razmerje alg po razredih se je med vzorčevanji pretežno ohranilo (slika 2). Delež kremenastih alg se je gibal med 80 % in 90 %, delež cianobakterij med 5 % in 16 % in delež alg iz skupine Chlorophyceae med 2 % in 5 %. Med kremenastimi algami je bilo 47 % taksonov takšnih, za katere Ettl & Gärtner (1995) navajata, da uspevajo tudi aerofitsko. Edina predstavnica razreda Chlorophyceae je *Trentepohlia aurea*, za katero so Vrhovšek et al. (2006) zapisali, da je najbolj razširjena terestrična alga v Sloveniji. V vseh štirih vzorcih so bili zabeleženi taksoni *Phormidium* sp., *P. uncinatum*, *Achnanthes minutissima*, *Cocconeis placentula*, *Cymbella minuta*, *Fragilaria ulna*, *Gomphonema angustatum*, *Meridion circulare* var. *circulare*, *Navicula aerophila*, *N. contenta*, *N. menisculus*, *N. mutica* var. *mutica* in *Trentepohlia aurea*.

Sestava alg po razredih je prikazana na sliki 2. Največje število taksonov (42) smo določili v vzorcu, nabranem meseca junija, najmanjše (19) pa v vzorcu, nabranem meseca novembra. V vseh štirih vzorcih so po številu določenih taksonov prevladovali Bacillariophyceae z več kot 78 % vseh določenih taksonov alg. Kremenastim algam so sledile cianobakterije in Chlorophyceae. V vseh štirih vzorcih so bili zastopani predstavniki vseh treh razredov alg.





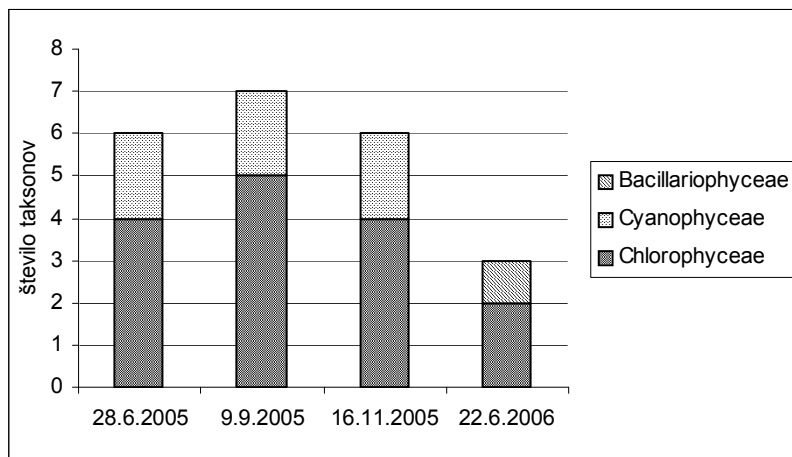
**Slika 2.** Sestava alg po razredih na vzorčnem mestu skale na izviru Šice v letih 2005 in 2006.  
**Figure 2.** Algal classes on sampled rocks at the Šica spring in years 2005 and 2006.

## Smrekov štor na Jelovici

Na smrekovem štoru (*Picea abies*) na Jelovici smo skupno identificirali 8 taksonov iz treh razredov alg. Po številu identificiranih taksonov so prevladovali Chlorophyceae s petimi (63 %), sledile so cianobakterije z dvema (25 %) in kremenaste alge z enim taksonom (12 %). Glavna omejujoča dejavnika za uspevanje alg na kopnem sta pomanjkanje vlage in hranil (Round 1973). Uher et al. (2005) so ugotovili, da na vzorčnih mestih z več vlage prevladujejo zelene alge, na bolj sušnih mestih pa cianobakterije. Iz razreda kremenastih alg smo identificirali le vrsto *Diatoma vulgare*, za katero je značilno posamično pojavljanje na vlažnem mahu in prsti (Ettl & Gärtner 1995). Cvijan & Blaženčič (1996) sta zapisala, da so zračne epifitske vrste alg večinoma cianobakterije in pripadnice razreda Chlorophyceae, manj zastopan je razred kremenastih alg. Na smrekovem štoru sta se masovno pojavljali vrsti *Podohedra bicaudata* in *Trentepohlia annulata*, ki sta aerofitski vrsti z značilnim pojavljanjem na štorih iglavcev (Ettl & Gärtner 1995). *T. annulata* je bila edina vrsta, ki je bila zabeležena v vseh štirih vzorcih. Pogosti sta bili še vrsti *Coccomyxa confluens* in *Keratococcus raphidioides*, obe vrsti sta aerofitski z značilnim pojavljanjem na vlažnem lesu in drugih vlažnih podlagah (Ettl & Gärtner 1995). V vzorcih, nabranih meseca junija 2005, septembra in novembra, je bila tudi cianobakterija *Gloeocapsa lignicola*, katere pojavljanje je omejeno na vlažen les in lubje dreves (Komárek & Anagnostidis 1998).

Johansen (1999) je ugotovil, da izpostavljenost suši, visokim koncentracijam kisika in pomanjkanju hranil izključuje vodne vrste alg iz aerofitskih habitatov. Na smrekovem štoru smo identificirali le dva taksona (*Leptolyngbya* sp., *Diatoma vulgaris*), ki se pojavljata tudi v vodnih okoljih, kar nakazuje obstoj niš z višjo vsebnostjo vlage, primerljivih z vodnim okoljem. Število identificiranih taksonov alg se v posameznih vzorcih ni veliko razlikovalo (najvišje število taksonov (8) smo identificirali 9.9.2005, najnižje (3) pa 22.6.2006), izjema je bil vzorec, nabran 22.6.2006, v katerem smo identificirali le tri taksona alg, vsi trije taksoni pa so bili zabeleženi le posamično. Vzrok za nizko diverzitetu in abundanco alg v vzorcu je bila nižja vsebnost vlage; smrekov štor je bil opazno manj moker in manj obrasel z algami in mahovi. V vzorcu, nabranem 22.6.2006, cianobakterij ni bilo, identificirali pa smo kremenasto algo *Diatoma vulgaris*.

Sestava alg po razredih je prikazana na sliki 3. Največje število taksonov (7) smo določili v vzorcu, nabranem meseca septembra, najmanjše (3) pa v vzorcu, nabranem meseca junija 2006. leta.



**Slika 3.** Sestava alg po razredih na vzorčnem mestu smrekov štor na Jelovici v letih 2005 in 2006.

**Figure 3.** Algal classes on sampling site stump of *Picea abies* on the Jelovica plateau in 2005 and 2006.

## Huda luknja

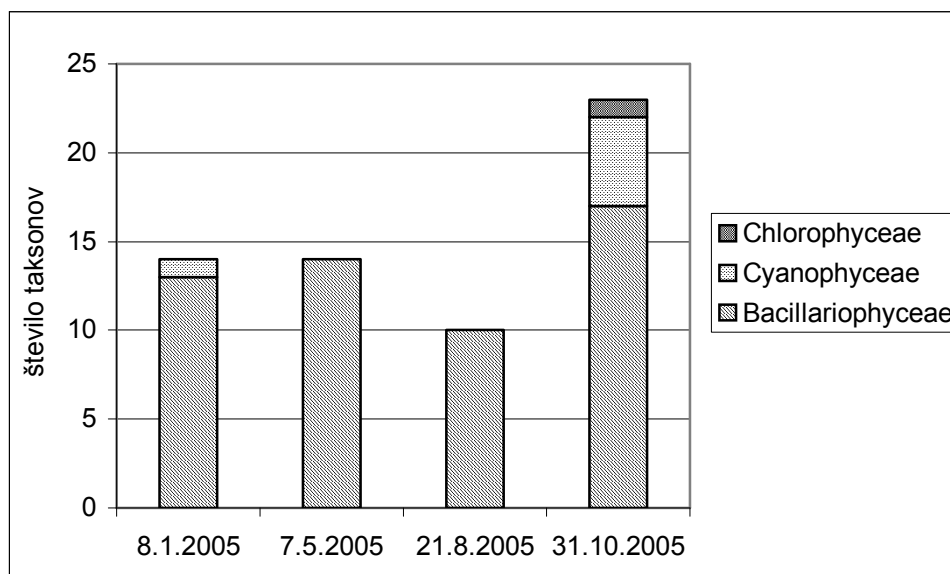
V Hudi luknji smo na vseh treh vzorčnih mestih skupaj identificirali 47 taksonov iz štirih razredov alg. Po številu identificiranih taksonov so prevladovala kremenaste alge, sledile so cianobakterije, Chlorophyceae in Xanthophyceae. Številčno najbolj zastopan je bil rod *Navicula* s 14 taksoni. Kremenasta alga *Navicula contenta* se je masovno pojavljala tako na skalah pri vhodu v jamo kot v opuščnem železniškem predoru. Je splošno razširjena vrsta z ekološkim težiščem na meji zrak/voda, pogosta je v habitatih z močno zmanjšano svetlobno intenziteto, kjer pogosto nastopa skupaj z vrsto *Navicula gallica* (Krammer & Lange-Bertalot 1997a). *Navicula gallica* var. *perpusilla* je bila zabeležena na obeh vzorčnih mestih, na skalah pri vhodu v jamo je bila pogosta, v opuščnem železniškem predoru pa posamična. *Navicula contenta* je bila v jamah Slovenije ugotovljena še v Postojnski jami, Črni jami, Pivki jami, jami Pekel pri Zalogu, Škocjanskih jamah, Županovi jami in Krški jami (Dobat 1972, Martinčič et al. 1981, Krivograd Klemenčič 2005). V opuščnem železniškem predoru so se masovno pojavljale še vrste *Navicula nivaloides*, *Pinnularia borealis* in *Apatococcus lobatus*. *N. nivaloides* je aerofitska vrsta, ki se v večjem številu pojavlja na vlažnih zidovih in skalah. *P. borealis* je značilna vrsta terestričnih habitatov (Kawecka & Olech 1993), čeprav jo najdemo tudi v vodnih okoljih. *A. lobatus* (sin. *Pleurococcus vulgaris*) pa je znana kot ena najpogostejših aerofitskih vrst alg na severni polobli (Neustupa 2001, Uher et al. 2005), splošno je razširjena tudi v kopenskih habitatih Slovenije (Lazar 1975, Vrhovšek et al. 2006). Krivograd Klemenčič (2002) je ugotovila masovno pojavljanje vrste *A. lobatus* na betonskem zidu, deblu lipe (*Tilia platyphyllos*) ter na kamnitem zidu pred vhomom v Krško jamo. V naši raziskavi sta bili na skalah pri vhodu v jamo pogosti vrsti še *Navicula insociabilis* in *N. pseudoscutiformis*, v opuščnem železniškem predoru pa *Achnanthes coarctata*, *Cymbella rupicola* in *Navicula mutica* var. *mutica*. *A. coarctata* in *N. mutica* sta značilni predstavnici terestričnih habitatov (Kawecka & Olech 1993). Na obeh vzorčnih mestih je bila pogosta vrsta še *Orthoseira dendroteres*, *Navicula insociabilis* pa se je v večjem številu pojavljala na tleh pri vhodu v jamo. Ettl & Gärtner (1995) sta zapisala, da je vrsta *N. insociabilis* značilna predstavnica talne flore.

### Huda luknja – vhod v jamo

Na vzorčnem mestu Huda luknja – vhod v jamo smo skupno identificirali 25 taksonov iz treh razredov alg. Po številu identificiranih taksonov so prevladovala kremenaste alge z 19 (76 %) taksoni, sledile so cianobakterije s petimi (20 %) in Chlorophyceae z enim (4 %) taksonom. Številčno najbolj zastopan je bil rod *Navicula* z osmimi taksoni. *Navicula contenta* je bila prevladujoča vrsta v vzorcu, nabranem 7.5.2005. Pogosti so bili še taksoni *Navicula gallica* var. *perpusilla*, *N. insociabilis*, *N. pseudoscutiformis* in *Orthoseira dendroteres*. V vseh štirih

vzorcih so bili ugotovljeni taksoni *Cymbella rupicola*, *Navicula aerophila*, *N. contenta*, *N. gallica* var. *perpusilla*, *N. insociabilis*, *N. mutica* var. *mutica* in *N. pseudoscutiformis*.

Sestava alg po razredih je prikazana na sliki 4. Največje število taksonov (23) smo ugotovili v vzorcu, nabranem meseca oktobra, najmanjše (10) pa v vzorcu, nabranem meseca avgusta. V vzorcih, nabranih meseca avgusta in maja, so bile le predstavnice razreda kremenastih alg. V vzorcu, nabranem meseca januarja, smo poleg kremenastih alg določili še cianobakterijo *Geitleria calcarea*. V vzorcu, nabranem meseca oktobra, so bile zastopane predstavnice vseh treh razredov alg, in sicer Bacillariophyceae s 74 %, Cyanophyceae z 22 % in Chlorophyceae s 4 %.



**Slika 4.** Sestava alg po razredih na vzorčnem mestu Huda luknja – vhod v jamo v letu 2005.  
**Figure 4.** Algal classes at sampling site Huda luknja – cave entrance in 2005.

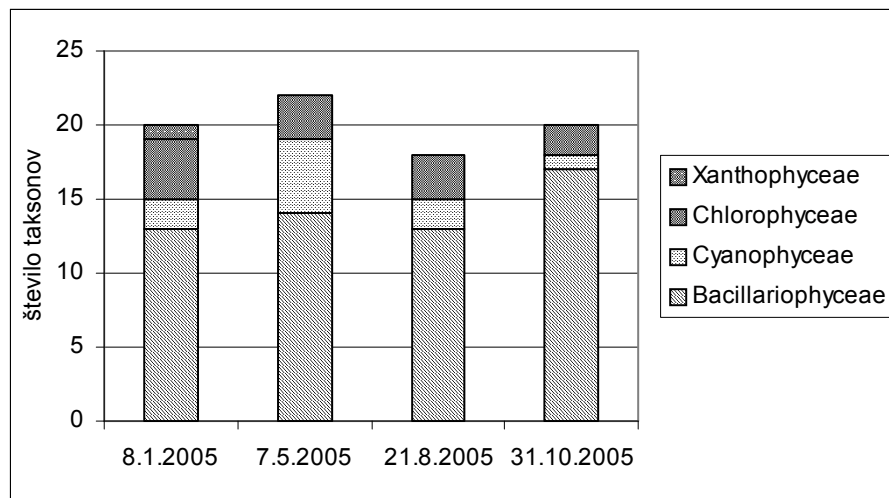
#### Huda luknja – tla pri vhodu v jamo

Na vzorčnem mestu Huda luknja – tla pri vhodu v jamo smo skupno identificirali 12 taksonov iz dveh razredov alg. Po številu identificiranih taksonov so prevladovala kremenaste alge z 11 (92 %) taksoni, sledile so Chlorophyceae z enim (8 %) taksonom. Številčno najbolj zastopan je bil rod *Navicula* s šestimi taksoni. Pogosta vrsta je bila kremenasta alga *Navicula insociabilis*.

### Huda luknja – opuščeni železniški predor

Na vzorčnem mestu Huda luknja – opuščeni železniški predor smo skupno identificirali 28 taksonov iz štirih razredov alg. Po številu identificiranih taksonov so prevladovala kremenaste alge z 18 (64 %) taksoni, sledile so cianobakterije s petimi (18 %), Chlorophyceae s štirimi (14 %) in Xanthophyceae z enim (4 %) taksonom. Številčno najbolj zastopan je bil rod *Navicula* z osmimi taksoni. Masovno so se pojavljale vrste *Navicula contenta*, *N. nivaloides* in *Pinnularia borealis* (8.1.2005) ter *Apatococcus lobatus* (21.8.2005). Pogosti so bili še taksoni *Achnanthes coarctata*, *Cymbella rupicola*, *Navicula mutica* var. *mutica* in *Orthoseira dendroteres*. V vseh štirih vzorcih so bili taksoni *Achnanthes coarctata*, *A. kryophila*, *Cymbella rupicola*, *Fragilaria capucina*, *Navicula aerophila*, *N. contenta*, *N. gallica* var. *perpusilla*, *N. mutica* var. *mutica*, *N. nivalis*, *N. nivaloides*, *N. suecorum* var. *dismutica*, *Orthoseira dendroteres*, *Pinnularia borealis*, *Apatococcus lobatus* in *Trentepohlia aurea*.

Sestava alg po razredih je prikazana na sliki 5. Največje število taksonov (22) smo določili v vzorcu, nabranem meseca maja, najmanjše (18) pa v vzorcu, nabranem meseca avgusta. Po številu identificiranih taksonov so prevladovala kremenaste alge z več kot 64 % vseh identificiranih taksonov alg, njihov delež se je spreminjal od 64 % v mesecu maju do 85 % v mesecu oktobru. Kremenastim algam so po številu identificiranih taksonov sledile Chlorophyceae z 20 % v mesecu januarju, 16 % v mesecu avgustu in 10 % v mesecu oktobru. V vzorcu, nabranem meseca maja, so kremenastim algam sledile cianobakterije z deležem 23 %. Predstavnika razreda Xanthophyceae (*Heterococcus* sp.) smo določili le v vzorcu, nabranem meseca januarja.

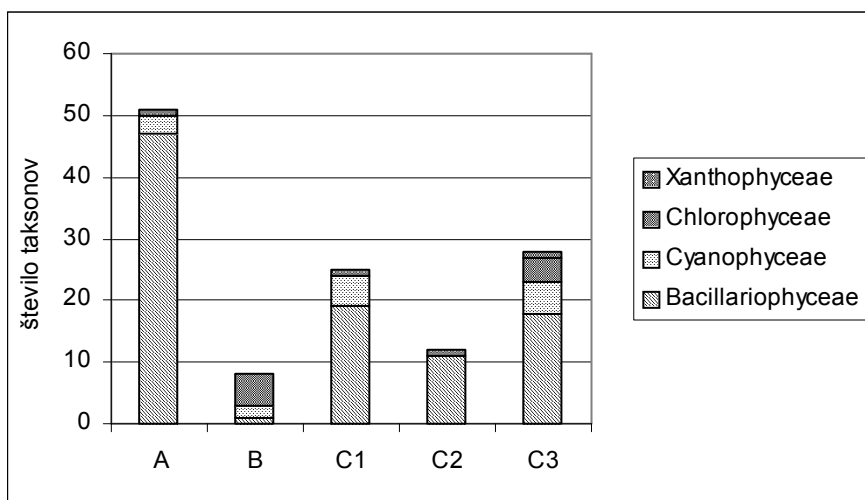


**Slika 5.** Sestava alg po razredih na vzorčnem mestu Huda luknja – opuščeni železniški predor v letu 2005.

**Figure 5.** Algal classes at sampling site Huda luknja – abandoned railway tunnel in 2005.

### Sestava alg po razredih na vseh vzorčnih mestih

Na vseh petih vzorčnih mestih smo ugotovili predstavnike štirih različnih razredov alg (slika 6), razred Xanthophyceae je bil zabeležen le na vzorčnem mestu opuščeni železniški predor pri jami Huda luknja. Chlorophyceae so po številu identificiranih taksonov s 63 % prevladovala na smrekovem štoru na Jelovici, na drugih štirih vzorčnih mestih so prevladovala kremenaste alge z več kot 64 % vseh identificiranih taksonov alg. Cianobakterije so bile zabeležene na štirih vzorčnih mestih, razen na vzorčnem mestu tla pri vhodu v jamo Huda luknja. Največji delež so s 25 % vseh identificiranih taksonov alg sestavljale na smrekovem štoru na Jelovici.



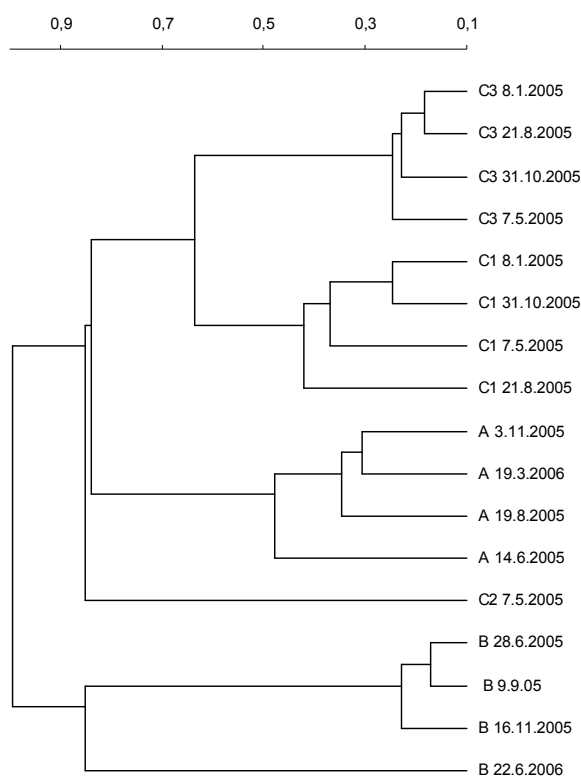
**Slika 6.** Sestava alg po razredih na vseh vzorčnih mestih v letih 2005 in 2006. Legenda: A – skale na izviri Šice, B – smrekov štor na Jelovici, C1 – Huda luknja (vhod v jamo), C2 – Huda luknja (tla pri vhodu v jamo), C3 – Huda luknja (opuščeni železniški predor).

**Figure 6.** Algal classes at all sampling sites in the years 2005 and 2006. Legend: A – rocks at the Šica spring, B – stump of *Picea abies* on the Jelovica plateau, C1 – Huda luknja (cave entrance), C2 – Huda luknja (ground along the cave entrance), C3 – Huda luknja (abandoned railway tunnel).

### Bray-Curtisov koeficient podobnosti

Na dendrogramu klasične analize (slika 7) smo razločili tri skupine vzorcev. V prvo skupino spadajo vzorci, nabrani na smrekovem štoru na Jelovici, v drugo skupino vzorci, nabrani na mokrih skalah na izviri Šice, in v tretjo skupino vzorci, nabrani v Hudi luknji. V analizi ugotovljeni trije klastri ustrezajo trem različnim aerofitskim habitatom. Vzorec, nabran 22.6.2006 na smrekovem štoru na Jelovici, se precej razlikuje od drugih treh vzorcev, nabranih na istem vzorčnem mestu (različnost več kot 0,8), vzrok za tako veliko razliko v vrstni

sestavi združbe alg na istem vzorčnem mestu je bila najverjetneje manjša količina padavin v obdobju pred vzorčenjem. To kaže na vpliv spremenjenih okoljskih parametrov na aerofitsko združbo. Tako smo 22.6.2006 na smrekovem štoru zabeležili le tri vrste alg. Tudi vzorec, nabran na tleh pred vhodom v jamo Huda luknja, je bil precej različen (različnost več kot 0,8) od vzorcev, nabranih na skalah pred vhodom v jamo in na stenah opuščenega železniškega predora. Vzorčni mesti na vhodu v jamo in v opuščeni železniški predoru sta zelo blizu skupaj, vendar so rezultati klastrske analize pokazali, da so bile prostorske spremembe (mesto vzorčenja) v sestavi združbe alg večje od časovnih (čas vzorčenja). Vzorčni mesti se med seboj razlikujeta predvsem po različnem substratu (apnenec, beton) in različni količini vlage.



**Slika 7.** Dendrogram podobnosti na osnovi Bray-Curtisovega indeksa podobnosti za vsa vzorčna mesta. Legenda: A – skale na izviro Šice, B – smrekov štor na Jelovici, C1 – Huda luknja (vhod v jamo), C2 – Huda luknja (tla pri vhodu v jamo), C3 – Huda luknja (opuščen železniški predor).

**Figure 7.** Bray-Curtis dendrogram of similarity for all sampling sites. Legend: A – rocks at the Šica spring, B – stump of *Picea abies* on the Jelovica plateau, C1 – Huda luknja (cave entrance), C2 – Huda luknja (ground along the cave entrance), C3 – Huda luknja (abandoned railway tunnel).

Alge smo vzorčevali v različnih letnih časih, vendar kljub vplivom sezonskih dejavnikov, npr. spremenjene vlage, posamezne združbe (smrekov štor, skale in jama) ohranjajo svojo značilno sestavo (slika 7). Alge se v habitatih, ki so bolj izpostavljeni sezonskim nihanjem, prilagajajo na spremembe (1) z nižanjem celokupnega števila taksonov, vendar ohranjajo razmerja posameznih razredov alg (izvir Šica), ali (2) z deloma spremenjeno sestavo združbe oziroma deležem razredov alg (štor, vhod v jamo, železniški predor). Na združbo vpliva tudi tip substrata, ki ga kolonizirajo aerofitske alge.

## Povzetek

Namen raziskave je bil ugotoviti vrstno sestavo združb alg in pogostost pojavljanja posameznih vrst alg na izbranih vzorčnih mestih v aerofitskih habitatih ter ugotoviti, katere skupine alg prevladujejo glede na substrat na posameznih vzorčnih mestih. Vzorce alg smo nabirali v različnih letnih časih v letih 2005 in 2006 na petih različnih vzorčnih mestih. Alge smo vzorčevali na različnih podlagah: trhljem lesu, apnenčastih skalah, betonu in prsti. Vzorcili smo na smrekovem štoru na Jelovici, mokrih skalah na izviri Šice na Radenskem polju in v kraški jami Huda luknja. Skupno smo nabrali 17 vzorcev alg. Identificirali smo 94 taksonov alg, ki pripadajo 38 rodovom in štirim razredom. Po številu identificiranih taksonov so prevladovali Bacillariophyceae, sledile so cianobakterije, Chlorophyceae in Xanthophyceae. Skupno smo ugotovili 20 taksonov, ki doslej še niso bili zabeleženi na območju Slovenije. Rodova *Podohedra* in *Poloidion* sta bila v Sloveniji ugotovljena prvič. Na vseh petih vzorčnih mestih smo ugotovili predstavnike štirih različnih razredov alg, razred Xanthophyceae je bil ugotovljen le na vzorčnem mestu opuščene železniškega predora pri jami Huda luknja. Chlorophyceae so po številu identificiranih taksonov s 63 % prevladovali na smrekovem štoru na Jelovici, na drugih štirih vzorčnih mestih so prevladovali kremenaste alge z več kot 64 % vseh identificiranih taksonov alg. Cianobakterije so bile ugotovljene na štirih vzorčnih mestih, na vzorčnem mestu tla pri vhodu v jamo Huda luknja jih nismo identificirali. Največji delež so s 25 % vseh identificiranih taksonov alg sestavljale na smrekovem štoru na Jelovici. Na združbo je vplival tudi tip substrata, ki so ga kolonizirale aerofitske alge.

## Summary

The aim of our investigation was to establish species structure and relative abundance of algal taxa in selected aerophytic habitats and to find out which algal groups are dominant on selected substrata. The samples were collected seasonally in the years 2005 and 2006 at five different sampling sites. Adhered algae were sampled from different substrata: decayed wood, limestone rocks, concrete and soil. The samples were collected on a stump of *Picea abies* on



the Jelovica plateau, wet rocks at the Šica spring on Radensko polje, and at karst cave Huda luknja. Altogether, 17 algal samples were collected. 94 algal taxa from 38 genera and four classes were determined. Most of them belonged to Bacillariophyceae, followed by cyanobacteria, Chlorophyceae and Xanthophyceae. Altogether, 20 taxa were registered for the first time in Slovenia. The genera *Podohedra* and *Poloidion* are new records for Slovenia. On all five sampling sites, four algal classes were recorded. Xanthophyceae were present only at Huda luknja – abandoned railway tunnel sampling site. Chlorophyceae were dominant by the number of identified taxa with 63 % on a stump of *Picea abies* on the Jelovica plateau, whereas on other four sampling sites Bacillariophyceae were the predominant group with more than 64 % identified algal taxa. Cyanobacteria were present at four sampling sites, but were missing at Huda luknja – cave entrance sampling site and had the biggest share (25 %) on a stump of *Picea abies* on the Jelovica plateau. The algal community was influenced by the type of substrate colonized by aerophytic algae.

## Literatura

- Clarke K.R., Warwick R.M. (1990): Lecture notes for the training workshop on the statistical treatment and interpretation on marine community data. Split, 26. June - 6. July 1990. Part II - Long term programme for pollution monitoring and research in the Mediterranean sea. FAO, UNESCO, UNEP, Split.
- Cvijan M., Blaženčič J. (1996): Flora algi Srbije, Cyanophyta. Naučna knjiga, Beograd, 290 pp.
- Dobat F. (1972): Ein Ökosystem im Aufbau: Die »Lampenflora Schanhöhlen«. Umschau Wiss. Technik 72(15): 493-494.
- Ettl H. (1978): Xanthophyceae, 1. Teil. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 3. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 530 pp.
- Ettl H., Gärtner G. (1995): Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 721 pp.
- Golubić S. (1967): Die Binnengewässer. Algenvegetation der Felsen. Eine ökologische Algenstudie im dinarischen Karstgebiet. Band XXIII. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 183 pp.
- Grbovič J. (1994): Uporabnost različnih postopkov za oceno kakovosti hudourniških vodotokov. Doktorska disertacija. Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Ljubljana, 113 pp.
- Hindák F., Marvan P., Komárek J., Rosa K., Popovský J., Lhotský O. (1978): Sladkovodné riasy. Slovenské pedagogické nakladateľstvo, Bratislava, 724 pp.
- Johansen J.R. (1999): Diatoms of aerial habitats. The diatoms: applications for the environmental and earth sciences. Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp. 213-264.
- Kawecka B., Olech M. (1993): Diatom communities in the Vanishing and Ornithologist Creek, King George Island, South Shetlands, Antarctica. Hydrobiologia 269/270: 327-333.

- Komárek J., Anagnostidis K. (1998): Cyanoprokaryota, 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 19/1. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 548 pp.
- Komárek J., Anagnostidis K. (2005): Cyanoprokaryota, 2. Teil: Oscillatoriales. In: Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 19/1. Elsevier Spektrum Akademischer Verlag, München, 759 pp.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1997a): Bacillariophyceae, 1. Teil: Naviculaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/1. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 876 pp.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (1997b): Bacillariophyceae, 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/2. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 596 pp.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (2004a): Bacillariophyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/3. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576 pp.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. (2004b): Bacillariophyceae, 4. Teil: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema, Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4. In: Ettl H., Gärtner G., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/4. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 437 pp.
- Krivograd Klemenčič A. (2002): Kopenske alge na betonskem zidu, kamnitem zidu, apnenčasti skali in deblu lipe (*Tillia platyphyllos*) v Sloveniji. *Natura Sloveniae* 4(2): 21-30.
- Krivograd Klemenčič A., Vrhovšek D. (2005): Algal flora of Krška jama Cave, Slovenia. *Acta Musei Nationalis Pragae* 61(1/2): 77-80.
- Krivograd Klemenčič A., Toman M.J., Balabanič D. Contribution to the algal flora in Slovenia. *Acta Biologica Slovenica*, in press.
- Lazar J. (1960): Alge Slovenije. Seznam sladkovodnih vrst in ključ za določanje. SAZU, Ljubljana, 279 pp.
- Lazar J. (1975): Razširjenost sladkovodnih alg v Sloveniji. SAZU, Ljubljana, 83 pp.
- Martinčič A., Vrhovšek D., Batič F. (1981): Flora v jamah Slovenije z umetno osvetlitvijo. *Biološki vestnik* 29(2): 27-56.
- Mulec J., Kosi G., Vrhovšek D. (2008): Characterization of cave aerophytic algal communities and effects of irradiance levels on production of pigments. *Journal of cave and karst studies* 70(1): 3-12.
- Mulec J., Kosi G., Vrhovšek D. (2007): Algae promote growth of stalagmites and stalactites in karst caves (Škocjanske jame, Slovenia). *Carbonates and evaporates* 22 (1): 6-10.
- Mulec J., Kosi G. (2008): Algae in the aerophytic habitat of Račiške ponikve cave (Slovenia). *Natura Sloveniae* 10(1): 39-49.
- Neustupa J. (2001): Aerofytické řasy tropického deštného lesa – zkušenosti z Malajského poloostrova. *Czech Phycology*, Olomouc 1: 31-35.
- Round F.E. (1973): The biology of the algae. Second edition. Edward Arnold, London, 278 pp.

Schaumburg J., Schmedtje U., Schranz C., Köpf B., Schneider S., Meilinger P., Hofmann G., Gutowski A., Foerster J. (2004): Instruction Protocol for the Ecological Assessment of Running Waters for Implementation of the EU Water Framework Directive: Macrophytes and Phytobenthos. Bavarian Water Management Agency, München, 89 pp.

Šiško M. (2003): »Računalniški program CLUSTER« (unpublished).

Uher B., Aboal M., Kovacic L. (2005): Epilithic and chasmoendolithic phycoflora of monuments and buildings in South-Eastern Spain. *Cryptogamie, Algol.* 26(3): 275-358.

Vrhovšek D., Kosi G., Krivograd Klemenčič A., Smolar-Žvanut N. (2006): Monografija sladkovodnih in kopenskih alg v Sloveniji. ZRC Sazu, Ljubljana, 167 pp.