

# Razširjenost kremenastih alg v izviri na območju Julijskih Alp (SZ Slovenija)

Tanja MENEGALIJA<sup>1</sup> & Gorazd KOSI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Triglavski narodni park, Ljubljanska c. 27, SI-4260 Bled; E-mail: tanja.menegalija@tnp.gov.si

<sup>2</sup> Nacionalni inštitut za biologijo, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana; E-mail: gorazd.kosi@nib.si

**Izvleček.** Od maja do oktobra 1999 smo v dvomesečnih presledkih vzorčili kremenaste alge v 16 kraških izviri na območju Julijskih Alp (Slovenija). Za raziskave sezonskih sprememb v združbi kremenastih alg smo v štirih izviri vzorčili enkrat mesečno. Za vzorčenje smo uporabili metodo strganja alg s površine kamnov. Na vseh vzorčnih mestih smo izmerili tudi fizikalne in kemijske parametre. Glavni namen naloge je bila kvalitativna ocena združb kremenastih alg. V izviri smo skupno določili 60 vrst. V združbah kremenastih alg so se pokazale nekatere podobnosti z izviri in potoki na različnih geografskih območjih. V večini vzorcev je najvišjo relativno pogostost dosegla vrsta *Achnanthes minutissima*. Pojavljale so se tudi vrste, značilne za izvire (krenofilne), skupaj z redkimi in ogroženimi vrstami. S klustersko analizo, ki je temeljila na združbah kremenastih alg, smo določili pet skupin izvirov. Hitrost vodnega toka in občasne presahnitve izvira sta dejavnika, ki sta najbolj vplivala na razvoj združbe kremenastih alg v izbranih izviri. V nekaterih izviri sta na združbo kremenastih alg vplivali tudi zasenčenost izvira ter trdota vode. Shannon-Wienerjev diverzitetni indeks je bil najvišji v stalnih izviri.

Ključne besede: kremenaste alge, perifiton, izviri, Julijske Alpe

**Abstract. DISTRIBUTION OF DIATOMS IN SPRINGS IN THE JULIAN ALPS (NW SLOVENIA)** - In the Julian Alps (Slovenia), the diatom communities of 16 mountain springs were studied between May and October 1999. Four of them were sampled monthly for a more detailed investigation of seasonal changes in community structure. The sampling was performed by scraping of the rock surface. In all sampling stations, physical and chemical parameters were measured. The purpose of the work was qualitative assessment of the diatom communities. The diatom flora of these springs consisted of 60 diatom taxa and showed similarities with springs and headwater stream diatom communities from different geographic areas. *Achnanthes minutissima* reached the highest relative abundance in most of the samples. Characteristic spring taxa (krenophiles) were present, but also included subdominant and rare taxa. Five different spring types were identified, with respect to diatom assemblages, using cluster analysis. Current velocity and periodical dryness in a spring appeared to be the dominant environmental factor affecting diatom distribution in selecting karst springs. In some springs, however, peculiar environmental factors (dim light, ionic strength) affected the structure of diatom assemblages. The Shannon-Wiener diversity index was the highest in permanent springs.

Keywords: diatoms, periphyton, springs, Julian Alps

## Uvod

Na območju Julijskih Alp so številni večji in manjši kraški izviri. Zaradi kraškega zaledja je njihovo zlivno območje precej nedoločeno. Številni med njimi imajo zaledje visoko v gorah, od koder se vode po podzemnih špranjah, razpokah in tudi večjih kanalih stekajo v izvire. Izviri so večinoma v dolinah, pod večjimi zakraselimi in golimi visokogorskimi planotami (Komna, Kriški podi,...) ali pa pod nekoliko nižjimi in z gostim iglastim gozdom poraščenimi planotami (Jelovica, Mežakla, Uskovnica,...) (Brancelj et al. 1995).

Z biološkega stališča imajo izviri več vlog. So posredniki med podzemeljskim svetom brez svetlobe in osvetljenim svetom površinskih voda, in obratno. Mnogi današnji prebivalci podzemlja so našli pot v podzemlje prav skozi izvire. Druga vloga izvirov je stik med kopnim in vodo. Pri vsakem izviru je vsaj neposredna okolica izvira vedno vlažna. Tu najdemo rastline in živali, ki uspevajo dobro le v vedno vlažni zemlji. V helokrenih izviroh je preplet kopnih in vodnih organizmov tako popoln, da je včasih težko ločiti med kopnim in vodo. Izviri so tudi most med preteklostjo in sedanostjo. V izviroh so našli primerno življenjsko okolje organizmi, ki niso prenesli ohlajevanja ob nastopu zadnje ledene dobe, in organizmi, ki niso prenesli ogrevanja vode, ko se je ledena doba končala. Izviri so tudi zatočišča za vrste, ki potrebujejo stabilne razmere v okolju in razmeroma čisto vodo. Z vidika ohranjanja biotske raznovrstnosti je torej vloga izvirov neprecenljiva. V izviroh je voda še vedno dokaj čista, vendar so zaradi svoje prostorske omejenosti izviri zelo ranljivi življenjski prostori. Občutljivi so za različne motnje iz okolja, kot so: odvzem vode, odstranitev okoliške vegetacije, teptanje živine in vnos hranil (Cantonati et al. 2006).

Kremenaste alge so najpomembnejša komponenta mikroflore v gorskih izviroh (Cantonati 1998). Nekatere zelo pogoste in razširjene vrste (*Achnanthes lanceolata*, *Diatoma mesodon*, *Meridion circulare*) so skupne izvirov in potokom na različnih geografskih območjih (Cantonati 1998). Podobnosti med gorskimi in nižinskimi izviroi so zelo velike (*Achnanthes lanceolata*, *Cocconeis placentula* in *Eunotia exigua* so ene izmed prevladujočih vrst) (Warncke 1980). V izviroh na kremenasti podlagi živijo kremenaste alge z borealno-alpsko razširjenostjo, v tistih na karbonatni podlagi pa predvsem kozmopolitske vrste. Združbe kremenastih alg hitro tekočih izvirov so podobne združbam kremenastih alg v gorskih potokih z mnogimi reofilnimi vrstami (Cantonati 1998). Za počasi tekoče izvire so značilne drugačne združbe kremenastih alg kot v hitro tekočih izviroh (Sabater & Roca 1990). Izviri so pogosto oligotrofni življenjski prostori, katerih raziskanost je neprimerno manjša od bolj obremenjenih biotopov (Cantonati 1998). V izviroh so pogoste subdominantne in redke vrste (Sabater & Roca 1990). Kremenaste alge so

zelo natančni kazalci organskega obremenjevanja vode (Lange-Bertalot 1978) ter zakisovanja (Van Dam et al. 1993).

Glede na to, da so v Sloveniji kremenaste alge v izviri slabše raziskane, je bil glavni namen naloge določiti vrstno sestavo združb kremenastih alg, ki živijo v izbranih šestnajstih izviri na območju Julijskih Alp. Naslednji namen naloge je bil ugotoviti, kateri dejavniki okolja v posameznem izviru določajo in usmerjajo razvoj združb kremenastih alg.

## Območje raziskave

Izbrana vzorčna mesta oziroma izviri so razporejeni po vseh glavnih dolinah na območju Julijskih Alp (Sl. 1). Večina leži na nenaseljenih ali manj naseljenih območjih. Enajst izvirov leži v povirju reke Save, pet v povirju reke Soče. Na severnem delu Julijskih Alp smo izvire izbrali v dolinah Vrata (izvir št. 1), Krma (izvir št. 2) in Radovna (izviri št. 3, 4, 5, 6). Na jugozahodnem predelu so izviri v dolini Save Bohinjke (izvira št. 7, 8), v dolini Voje (izvira št. 9, 10) in ob Bohinjskem jezeru (izvir št. 11). Izbrani izviri na zahodnem delu ležijo v dolini Tolminke (izvir št. 12), v Trenti (izvira št. 14, 15) in v Zadnjici (izvir št. 16). Izvir št. 13 je nad dolino Soče pri naselju Drežniške Ravne. Izbrani izviri ležijo večinoma v gozdu, na nadmorskih višinah od 410 do 955 m. Podlaga je karbonatna. Devet izvirov je stalnih z bolj ali manj počasnim tokom vode (izviri št. 1, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 15), drugi pa v sušnih mesecih presahnejo (izvira št. 4, 14) ali pa se mesto iztoka vode pomakne po strugi navzdol (izviri št. 2, 3, 7, 12, 16). Večina izvirov je reokrenih. To je tudi najpogostejši tip izvira v Alpah (Di Sabatino s sod. 1997). Vključili pa smo tudi limnokreni (izvir št. 9) in reokreni hidropetrični izvir (izvir št. 13). Vsi izviri so naravni, z izjemo enega (izvir št. 2), kjer se del vode zbira v betonskem zbiralniku.



**Slika1.** Zemljevid Slovenije z označenimi vzorčnimi mesti (SZ Slovenija) (1 = Vrata 2 = Krma, 3 = Frčkov rovt, 4 = Zatrep, 5 = Lipnik, 6 = Črna rečica, 7 = Soteska, 8 = Nomenj, 9 = Kropa, 10 = Voje 11 = pri Boh. jezeru, 12 = Tolminka, 13 = Tresli, 14 = Kršovec, 15 = Roja, 16 = Krajcarica)

**Figure1.** Map of Slovenia with marked sampling sites (NW Slovenia) (1 = Vrata, 2 = Krma, 3 = Frčkov rovt, 4 = Zatrep, 5 = Lipnik, 6 = Črna rečica, 7 = Soteska, 8 = Nomenj, 9 = Kropa, 10 = Voje, 11 = at the lake Bohinj, 12 = Tolminka, 13 = Tresli, 14 = Kršovec, 15 = Roja, 16 = Krajcarica)

## Metode in materiali

Od maja do oktobra 1999 smo vzorčili kremenaste alge v šestnajstih izviri na območju Julijskih Alp. Vzorčenje je potekalo v enomesečnih presledkih v štirih izviri (Roja, izvir pri Peričniku, Črna rečica, izvir pri ribogojnici ob Bohinjskem jezeru), v dvomesečnih presledkih pa na preostalih dvanajstih izviri (maj, julij, september).

Vzorčili smo po metodi nabiranja in strganja kamnov. Tri do štiri kamne, velikostnega razreda od pet do deset centimetrov, smo nabrali v kadico, jih temeljito ostrgali s krtačko in sprali z vodo iz izvira. Vsebinsko kadice smo prelili v manjšo plastenko, dodali 36,5% formalin v razmerju ena proti devet ter plastenko opremili s podatki (kraj in čas nabiranja). V laboratoriju smo vzorce kremenastih alg pripravili za mikroskopiranje s koncentrirano  $\text{HNO}_3$  (A.P.H.A. 1992).

Alge smo določevali in šteli pod svetlobnim mikroskopom (fazni kontrast) pri  $1000\times$  povečavi. V vsakem vzorcu smo določili 500 lupinic za vsako vrsto kremenaste alge. Iz dobljenih podatkov smo izračunali relativno pogostost. Kremenaste alge smo določili po ključih: Krammer in Lange-Bertalot (1986) ter Vrhovšek (1985).

V vsakem vzorcu smo določili relativno pogostost posamezne vrste, Shannon-Wienerjev indeks vrstne diverzitete, podobnost oziroma različnost združb med posameznimi vzorci in vzorčnimi mesti smo prikazali z multivariatno klustersko analizo na osnovi Bray-Curtisovega koeficienta različnosti (Clarke in Warwick 1990).

Meseca maja smo na vseh šestnajstih izviri izmerili tudi vsebnost kisika v vodi ( $\text{mg l}^{-1}$ ), nasičenost s kisikom (%), prevodnost ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ ) ter pH vrednost. V nadaljnjih vzorčenjih naštetih parametrov nismo več merili.

Temperaturo vode smo merili pri vsakem vzorčenju. Za kemijske analize pa smo odvzeli vzorce v litrskih plastenkah in jih v roku 24 ur analizirali na Nacionalnem inštitutu za biologijo v Ljubljani, kjer smo določili naslednje parametre:  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , tot. N,  $\text{PO}_4^{3-}$ , tot. P, KPK,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_2$ , kalcij, alkaliteta, pH, prevodnost. Vse kemijske analize so bile opravljene po standardnih metodah (A.P.H.A. 1992).

## Rezultati in diskusija

### Fizikalni in kemijski dejavniki

Vsi izviri, ki smo jih raziskovali, so kraški, vendar med njimi obstajajo razlike. Najbolj so se razlikovali pretoki. V izviri, kjer je podzemeljsko pretakanje vode enostavno, pretok vode po padavinah hitro naraste in upade, nekateri izviri pa kažejo manjšo odvisnost od padavin.

Značilna termična stabilnost za izvire se je pokazala tudi v naši raziskavi (Tab. 1). Nekoliko večje temperaturne razlike so lahko posledica majhne vodnatosti in izpostavljenosti soncu. Pravilo, da se z večanjem nadmorske višine temperatura vode v izviri znižuje, v našem primeru ne drži. Vzrok je zbirno območje visoko v gorah. Zato se tudi temperature razlikujejo od povprečne letne temperature kraja. V dolini Soče so letne temperature zraka zaradi mediteranskih vplivov (Melik 1950) za nekaj stopinj višje od temperature vode v izviri.

Meritve kisika, ki smo jih opravili v posameznih izviri, so bile enkratne, zato so podatki zgolj okvirni (Tab. 1). Teh podatkov, ki kažejo na dobre kisikove razmere v izviri, ne moremo posploševati. Verjetno bi bile razmere nekoliko slabše v jesenskih mesecih, ko je razgradnja organskih snovi največja, ter v poletnih mesecih, ko so pretoki vode najnižji. Vendar pa je za kraške izvire značilno, da se voda v podzemeljskih prostorih dobro premeša in obogati s kisikom. Visoke vrednosti kisika so lahko tudi posledica sončne lege izvirov. Na sončnih mestih je primarna produkcija perifitona visoka, kar pa tudi poveča vsebnosti kisika, vendar le podnevi.

Izmerjene vrednosti električne prevodnosti (Tab. 2) so bile visoke ( $150 - 438 \mu\text{Scm}^{-1}$ ), kar je značilno za karbonatno podlago. Nekoliko nižje so bile vrednosti v izviri (Roja, Krajcarica), kjer je zadrževalni čas vode v podzemlju kratek. Septembrsko in oktobrsko povečanje prevodnosti je verjetno posledica razgradnje alohtonih organskih snovi (odpadlo listje).

Vrednosti pH (Tab. 2) v izbranih izviri so zelo malo nihale (7,5 – 8,1), kar kaže na veliko pufrsko kapaciteto raziskovanih voda. Nekoliko višje vrednosti so lahko posledica onesnaženja ali povečane primarne produkcije perifitona. Vrednosti alkalitete so nekoliko nižje v izviri, kjer se voda po podzemlju hitro pretaka (Roja, Krajcarica, Tolminka). Zaradi kratkega zadrževalnega časa se raztopi manj apnenca.

Izviri so oligotrofni življenjski prostori, z nižjimi koncentracijami hranil (Sabater & Roca 1990). To je značilno tudi za raziskovane izvire. Količine nitratnih ionov (Tab. 2) v izbranih izviri so bile razmeroma nizke, kar kaže, da je zbirno območje še dokaj neobremenjeno z dušikovimi spojinami. Nekoliko višje vrednosti nitratnih ionov v izviru v Soteski ( $4 - 4,8 \text{ mg l}^{-1}$ ) so lahko posledica turizma in pašništva na Jelovici. Količina fosforja v vodotokih je odvisna od prispevnega področja in od izpiranja s kopnega. V neonesnaženih vodah je okoli  $10 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$  ortofosforja in približno  $25 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$  skupnega fosforja (Newbold 1992). Vsebnosti ortofosforja skupnega fosforja, izmerjene v preiskovanih izviri, so bile le na nekaterih mestih nekoliko povišane (Tab. 2), kar lahko pripišemo odsotnosti primarnih proizvajalcev v podzemlju ali izpiranju kopnega ob padavinah.

**Tabela 1.** Vrednosti fizikalnih parametrov v 16 kraških izviri na območju Julijskih Alp, izmerjenih od maja do septembra 1999 (tip izvira: R = reokreni, L = limnokreni, Hr = higropetrični reokreni, povprečna hitrost vodnega toka: 1 =  $<0,1 \text{ ms}^{-1}$ ; 2 =  $0,1 - 0,3 \text{ ms}^{-1}$ ; 3 =  $0,3 - 0,6 \text{ ms}^{-1}$ ; 4 =  $>0,6 \text{ ms}^{-1}$ )

**Table 1.** Values of physical parameters in 16 karst springs in the Julian Alps measured from May to September 1999 (spring type: R = rheocrene, L = limnocrene, Hr = hygropetric rheocrene; mean flow rate: 1 =  $<0.1 \text{ ms}^{-1}$ ; 2 =  $0.1 - 0.3 \text{ ms}^{-1}$ ; 3 =  $0.3 - 0.6 \text{ ms}^{-1}$ ; 4 =  $> 0.6 \text{ ms}^{-1}$ )

	Nadm. višina [m]	Tip izvira	Povprečna hitrost vodnega toka	Temp. [°C]	O <sub>2</sub> [mg l <sup>-1</sup> ]	Nasičenost [%]
1 – Vrata	730	R	2	5,8 - 5,9	14,5	129
2 – Krma	955	R	1	5,8 - 6,9	10,8	97
3 – Frčkov rovt	690	R	1	7,8 - 9,5	13,7	125
4 – Zatrep	660	R	4	6,1 - 6,6	-	-
5 – Lipnik	650	R	4	6,7 - 7,1	15,4	136
6 – Črna rečica	650	R	3	7,6 - 7,9	11,2	103
7 – Soteska	550	R	2	6,5 - 6,6	14	128
8 – Nomenj	620	R	2	8,2 - 8,5	14	128
9 – Kropa	700	L	2	6,8 - 6,9	12,3	125
10 – Voje	685	R	2	6,7 - 6,9	14,5	130
11 – pri Boh. jezeru	530	R	2	8,1 - 8,5	12,2	126
12 – Tolminka	690	R	2	5,6 - 5,7	-	-
13 – Tresli	620	Hr	1	14,1 - 16,0	14,2	146
14 - Kršovec	410	R	1	7,6 - 8,2	13,1	124
15 – Roja	480	R	4	6,0 - 6,5	12,7	117
16 – Krajcarica	720	R	2	5,4 - 5,9	11,9	110

**Tabela 2.** Vrednosti kemijskih in fizikalnih parametrov v 16 kraških izvirih na območju Julijskih Alp, izmerjenih od maja do septembra 1999.**Table 2.** Values of chemical and physical parameters in 16 karst springs in the Julian Alps measured from May to September 1999.

	pH	Prevodnost [ $\mu\text{Scm}^{-1}$ ]	Alkaliteta [ $\mu\text{eqVl}^{-1}$ ]	Ca [ $\text{mgL}^{-1}$ ]	$\text{NO}_3^-$ [ $\text{mgL}^{-1}$ ]	Tot. N [ $\text{mgL}^{-1}$ ]	Orto P [ $\mu\text{gL}^{-1}$ ]	Tot. P [ $\mu\text{gL}^{-1}$ ]
1 – Vrata	7,8-8,2	189-257	1743-1896	25-31	0,8-2,1	1,4-1,8	2,7-18,9	11-42
2 – Krma	7,5-8,1	213-278	2002-2179	30-36	1,6-2,4	1,5-1,7	0,2-4,4	11-15
3 – Frčkov rovt	7,4-8	304-416	2755-3226	46-51	3,4-3,2	1,6-2	3,8-5,6	7-15
4 – Zatrep	7,4-8	223-328	2096-2532	38-41	0,8-2	1,5-1,6	6,5-8	10-34
5 – Lipnik	7,6-7,9	259-352	2300-2811	46-51	1,1-2,5	1,5-1,6	2,9-59,3	10-19
6 – Črna rečica	7,5-8	296-405	2520-3176	46-51	0,9-3,1	1,5-2	3,6-11	5-50
7 – Soteska	7,6-8	225-322	2029-2438	36-45	4-4,8	1,9-2,2	1,3-51,1	14-147
8 – Nomenj	7,8-7,9	279-350	2809-2824	44-49	2-2,2	1,5-1,7	4	8-30
9 – Krova	7,5-7,8	275-359	2614-2827	48-54	1,4-2,1	1,5-1,7	3,4-5,6	10-42
10 – Voje	7,7-8	197-256	1876-2230	31-42	1-1,4	1,4-1,7	3,6-5,1	5-39
11 – pri Boh. jezeru	7,5-8	242-323	2329-2764	38-46	1,1-1,6	1,2-3,1	3,3-4,5	7-52
12 – Tolminka	7,8-8,1	150-239	1484-1760	21-29	2,1-3,7	1,6-2	0,4-8,9	10-20
13 – Tresli	7,7-8,1	342-438	3403-3754	60-69	0,2-0,9	1,1-1,6	0,4-8,7	9-35
14 – Kršovec	7,8-8	224-290	2070-2118	41-44	2,3-2,9	1,7-1,8	7,4	22-23
15 – Roja	7,7-8,1	162-228	1578-1712	25-33	1,8-2,1	1,3-2	4,4-25	8-48
16 – Krajcarica	7,9-8,1	162-236	1473-1889	26-28	1,1-2,3	1,4-1,7	3,3-7,3	7-16

## Biološki dejavniki

Skupno smo v 16 izvirih določili 60 vrst kremenastih alg (Tab. 3). Enajst vrst je bilo prvič najdenih na območju Slovenije (baza podatkov NIB, DABA). Največ vrst je bilo zabeleženih v sončnem izviru (Tresli, 26 vrst), manj v senčnih izvirih (Črna rečica, 7 vrst) ter v izvirih, kjer je bilo nihanje pretoka veliko (Krajcarica, 7 vrst). Najbolj so bile pogoste vrste iz rodu *Achnanthes*, ki predstavljajo tudi prvo stopnjo v razvoju perifitonske združbe na poti do klimaksa (Rott 1991), ter vrste iz rodov *Cymbella*, *Gomphonema* in *Navicula*. V vrstni sestavi alg v preiskovanih izvirih se kažejo nekatere podobnosti z izviri v Italiji (Cantonati 1998) na karbonatni podlagi. Najbolj značilna vrsta izvirov v Italiji *Achnanthes minutissima* (Cantonati 1998) je bila tudi pri nas najpogostejša. Raziskave so pokazale, da v izvirih s hitrejšim tokom prevladujejo majhne vrste iz rodu *Achnanthes* in *Navicula*, ki se pritrjujejo plosko na podlago, značilna pa je odsotnost vrst, ki se na podlago pritrjujejo s peclji (*Gomphonema*, *Cymbella*) (Stevenson et al. 1996). Hitrosti vodnega toka so le v treh preiskovanih izvirih presegale  $0,6 \text{ ms}^{-1}$  (tab. 1). Najvišja je bila izmerjena v izviru Roja, kjer se pojavlja vrsta *Diatoma vulgaris*, ki



je značilna za vodotoke, kjer hitrosti presegajo  $0,3 \text{ ms}^{-1}$ . V izviri s počasnim tokom vode so se pojavljale epipelične alge iz rodov *Nitzschia*, *Caloneis*, *Gyrosigma* (Round 1981).

V preiskovanih izviri so bile zelo pogoste majhne vrste iz rodu *Navicula*. Prednost majhnih vrst je v tem, da niso tako izpostavljene toku, kar je v izviri s hitro tekočo vodo velika prednost. Vrste rodu *Gomphonema* so prevladovali v izviri s počasnim tokom vode (Vrata, Tresli, Kropa). Te vrste se zaradi pritrdjevanja s peclji dvignejo nekoliko nad podlago, zato jim počasen tok vode ustreza. V literaturi omenjena združba *Diatoma-Meridion*, značilna za potoke in izvire na krasu (Margalef 1949), v nobenem izviru ni bila razločno razvita. Vrsta *Meridion circulare* je bila bolj pogosta v dveh izviri (Soteska, Kršovec), vendar nikoli skupaj z vrstami iz rodu *Diatoma*. Vrsta *Achnanthes biasolletiana*, ki je bila značilna za nekaj izvirov v Italiji (Cantonati 1998), je tudi pri nas vsaj v treh izviri pogosta (Vrata, Nomenj, Voje). Zabeleženih je bilo veliko vrst (30% od vseh določenih), ki so značilne samo za čiste vode, pojavljale pa so se tudi vrste, ki so odporne proti višjim vsebnostim organskih snovi, kot so *Nitzschia palea*, *Cymbella minuta* in *Cymbella silesiaca* (Krammer & Lange-Bertalot 1986). Zastopanost teh vrst pa nikjer ni bila velika. V vzorcih so se pojavljale tudi tri krenofilne vrste (*Diatoma mesodon*, *Eunotia exigua*, *Meridion circulare*) (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

**Tabela 3.** Seznam vrst, določenih v šestnajstih izviroh na območju Julijskih Alp (SV Slovenija) (\* = prvič najdena na območju Slovenije)**Table 3.** Diatoms collected from 16 karst springs in the Julian Alps (NW Slovenia) (\* = found for the first time in Slovenia)

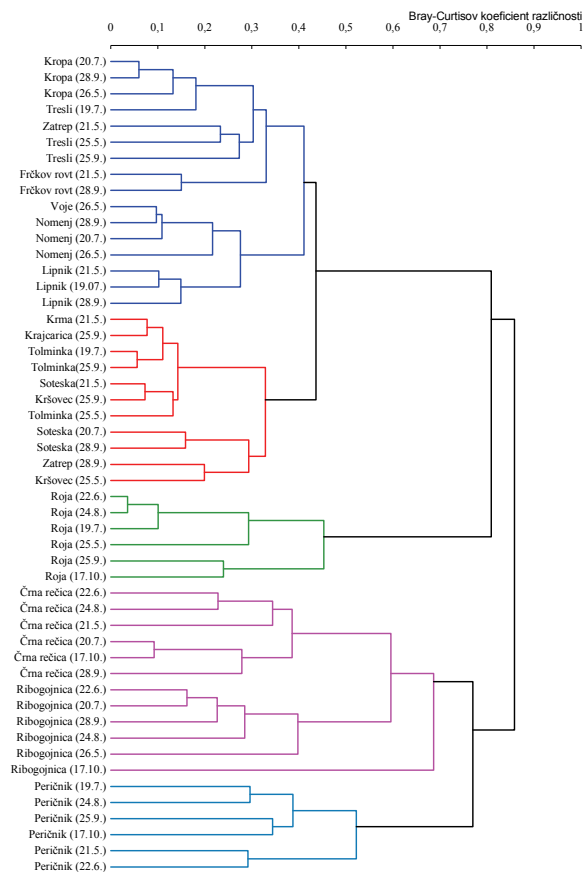
1. <i>Achnanthes biasolletiana</i> Grunov *	31. <i>Eunotia exigua</i> (Brebisson) Rabenhorst
2. <i>Achnanthes delicatula</i> Grunov	32. <i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-B.
3. <i>Achnanthes laevis</i> Oestrup	33. <i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) DeToni
4. <i>Achnanthes exigua</i> Grunov	34. <i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst
5. <i>Achnanthes lanceolata</i> (Breb.) Grunov	35. <i>Gomphonema angustum</i> Agardh
6. <i>Achnanthes minutissima</i> Kützing	36. <i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg
7. <i>Achnanthes montana</i> Krasske *	37. <i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg
8. <i>Achnanthes oestrupii</i> Hustedt *	38. <i>Gomphonema parvulum</i> Kützing
9. <i>Achnanthes</i> sp.	39. <i>Gyrosigma scalproides</i> (Rabenhorst) Cleve
10. <i>Amphora pediculus</i> Grunov	40. <i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) W. Smith
11. <i>Caloneis bacillum</i> (Grunov) Cleve	41. <i>Meridion circulare</i> Agardh
12. <i>Caloneis pulchra</i> Messikommer *	42. <i>Navicula contenta</i> Grunow
13. <i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	43. <i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot
14. <i>Cymbella affinis</i> Kützing	44. <i>Navicula elginensis</i> Gregory *
15. <i>Cymbella alpina</i> Grunov	45. <i>Navicula gallica</i> (W. Smith) Van Heurck *
16. <i>Cymbella amphicephala</i> Naegeli	46. <i>Navicula medioconvexa</i> Hustedt *
17. <i>Cymbella aspera</i> (Ehrenberg) Peragallo	47. <i>Navicula minuscula</i> Grunow
18. <i>Cymbella delicatula</i> Kützing	48. <i>Navicula mutica</i> Kützing
19. <i>Cymbella lacustris</i> Cleve *	49. <i>Navicula paramutica</i> Bock *
20. <i>Cymbella microcephala</i> Grunov	50. <i>Navicula pupula</i> Kützing
21. <i>Cymbella minuta</i> Hilse	51. <i>Navicula tripunctata</i> (Müller) Bory
22. <i>Cymbella silesiaca</i> Bleisch	52. <i>Navicula</i> sp.
23. <i>Cymbella sinuata</i> Gregory	53. <i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow
24. <i>Denticula tenuis</i> Kützing	54. <i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith
25. <i>Diatoma mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	55. <i>Nitzschia recta</i> Hantzsch
26. <i>Diatoma vulgaris</i> Bory	56. <i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith
27. <i>Diploneis oblongella</i> (Naegeli) Cleve-Euler	57. <i>Orthoseira roseana</i> (Rabenhorst) O'Meara
28. <i>Diploneis ovalis</i> Cleve	58. <i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg
29. <i>Ephitemia goepertiana</i> Hilse *	59. <i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg
30. <i>Ellerbeckia arrenaria</i> (Moore) Crawford	60. <i>Surirella tenuis</i> A Mayer *

Na osnovi rdečega seznama ogroženih vrst kremenastih alg, ki velja za Nemčijo in centralno Evropo (Lange-Bertalot & Steindorf 1996), smo vrstam, ki smo jih določili v preiskovanih izviri, določili stopnjo ogroženosti. Od vseh vrst, ki smo jih našli, je 28% vrstam pripisana različna stopnja ogroženosti v tem delu Evrope. Osem odstotkov vrst je ogroženih, sedem odstotkov redkih in trinajst odstotkov v upadanju. Od vrst, ki smo jih določili v obravnavanih izviri, jih v kategorijo ogroženih vrst v Nemčiji in centralni Evropi spada šest, ki so bile dokaj pogoste pri nas vsaj v enem izviru (*Achnanthes delicatula*, *Achnanthes montana*, *Ephitemia goepertiana*, *Gomphonema angustum*, *Navicula elginensis*, *Navicula medioconvexa*) (Lange-Bertalot & Steindorf 1996). Druge redke in ogrožene vrste so se pojavljale posamično (*Cymbella alpina*, *Cymbella amphicephala*, *Cymbella aspera*, *Cymbella delicatula*, *Cymbella lacustris*, *Diploneis oblongella*, *Diploneis ovalis*, *Navicula paramutica*, *Orthoseira roseana*, *Stauroneis anceps*, *Surirella tenuis*) (Lange-Bertalot & Steindorf 1996). Vrste, obravnavane kot ogrožene, so predvsem prebivalci oligotrofnih vodotokov. S čedalje večjim obremenjevanjem voda te vrste alg počasi izginjajo. V našem primeru je v vseh izviri šlo za zelo čiste vode, zato o ogroženosti posameznih vrst ne moremo govoriti. Verjetno pa bi bila situacija nekoliko drugačna, če bi vzorčili v izviri na bolj poseljenih območjih, kjer vode niso več tako čiste. Vrstno raznolikost najučinkoviteje ohranjamo z varovanjem oligotrofnih življenjskih prostorov. Večina kremenastih alg je kozmopolitskih, zato težko govorimo o ogroženosti posameznih vrst (Kosi & Vrhovšek 1996).

Zaradi bolj ali manj stalne temperature v izviri na sezonsko dinamiko vpliva svetloba (Ward & Dufford 1979). V času vzorčenja je bila večina izvirov v senci, zato vpliv svetlobe na sezonsko dinamiko lahko zanemarimo. Odsotnost vrste *Diatoma mesodon*, ki je značilna za izvire in potoke na karbonatni podlagi (Margalef 1949), lahko razložimo s tem, da je to vrsta, ki se pojavlja predvsem v zimskih mesecih na sončnih mestih (Cox 1990). Drug dejavnik, ki lahko vpliva na pojavljanje vrst in s tem na sezonsko dinamiko, pa je vodni tok (Oemke & Burton 1986). Za kraške izvire je značilno nihanje pretoka. Občasno lahko tudi presahnejo, ob padavinah pa hitro narastejo. S povečanim pretokom se poveča hitrost vodnega toka, ki popolnoma uniči obstoječe alge, ali pa ostanejo majhne vrste iz rodov *Achnanthes*, *Cocconeis* in *Navicula*, ki se močneje pritrjujejo (Hynes 1976). Vendar je moč tega dejavnika odvisna od hidroloških značilnosti posameznih vodotokov. V izviri, kjer se pretoki vode malo spreminjajo, so združbe dokaj stalne in stabilne, v izviri, kjer se pretoki občasno povečani, pa so spremembe v združbi alg velike. Popolnemu uničenju alg sledi ponovno naseljevanje, ki zahteva svoj čas. Da se združba alg ponovno razvije, mora preteči sedem do štirinajst dni. V zgodnji fazi razvoja združbe je vrstni sestav drugačen kot v zreli združbi (Oemke & Burton 1986). Zgoraj omenjene ugotovitve so se pokazale tudi v naših izviri. V nekaterih vzorcih smo našli zelo malo ali skoraj nič alg. V izviri s spremenljivim pretokom prevladujejo vrste

omenjenih rodov (*Achnanthes*, *Cocconeis* in *Navicula*). Za izvira, ki sta presahnila v poletnih mesecih (Kršovec, Zatrep), pa je bila značilna drugačna vrstna sestava v pomladnih in jesenskih vzorcih.

Mnogi avtorji (Cantonati 1998, Sabater & Roca 1990) so izvire na osnovi vrstne sestave združb kremenastih alg razdelili na več skupin, glede na pretok in hitrost vode. Na karbonatni podlagi se pojavljajo različne vrste kremenastih alg v majhnih, majhnih do srednje velikih ter občasno suhih izvirih (Cantonati 1998). Kvalitativna podobnost vzorcev je razvidna iz klusterske analize združb kremenastih alg posameznih vzorčnih mest (Sl. 2). Preiskovane izvire lahko razdelimo na pet večjih skupin. Izviri s podobnimi hidrološkimi razmerami so si med seboj najbolj podobni. Prvo večjo skupino tvorijo stalni, majhni do srednje veliki izviri z zelo počasnim tokom vode. Za te izvire so značilne vrste *Achnanthes biasolletiana*, *Achnanthes lanceolata*, *Achnanthes minutissima*, *Cocconeis placentula* in *Gomphonema angustum*. Zaradi dokaj stabilnih razmer je raznovrstnost kremenastih alg večja. Izviri, kjer je nihanje pretoka večje, tvorijo svojo skupino. Za te izvire je značilno, da se ob visokih vodah spremenijo v hudournike, ob nizkih pa voda le mezi izpod kamenja. Za te izvire sta značilni vrsti *Navicula contenta* in *Navicula gallica*, ki sta pogosti na vlažnih kamnih in mahovih (Krammer & Lange-Bertalot 1986). Raznovrstnost je v teh izvirih zaradi pogostih motenj (visoki pretoki, suša) nizka. Značilnost izvira Roja sta hitrejši tok vode in močna zasenčenost. Vsi vzorci tega izvira tvorijo eno skupino, za katero so značilne majhne vrste (*Navicula contenta*, *Navicula gallica*) in vrste, prilagojene na senco. Majhne vrste kremenastih alg so bolj prilagojene na visoke hitrosti vodnega toka. Raznovrstnost je zaradi večje hitrosti vode nižja. Za izvir Črna rečica in izvir pri ribogojnici je bila značilna vrsta *Achnanthes delicatula*, ki je zelo pogosta v izvirih, bogatih z apnencem (Lange-Bertalot & Krammer 1986). Vzorci izvira v Vratih tvorijo svojo skupino. Za ta izvir sta bili značilni stalnost in počasnost vodnega toka. Kamni so porasli z mahom, zato je bilo v vzorcih veliko epifitskih vrst (*Cocconeis placentula* in *Cymbella sinuata*) (Lange-Bertalot & Krammer 1986). Visoka biodiverziteteta alg je posledica stabilnih razmer (pretok). Znotraj omenjenih skupin so si med seboj najbolj podobni vzorci z istih vzorčnih mest, razlikujeta pa se izvira Zatrep in Kršovec. Omenjena dva izvira sta v poletnih mesecih presahnila. Jesenska združba kremenastih alg pa se je razlikovala od spomladanske. Bogastvo vrst v teh dveh izvirih je bilo manjše jeseni kot spomladi, kar je posledica daljšega sušnega obdobja v poletnih mesecih, ko je združba kremenastih alg propadla. V času septembrskega vzorčenja je bila združba v zgodnji fazi razvoja.



**Slika 2.** Prikaz klasterne analize izvirov na območju Julijskih Alp (SZ Slovenija) na podlagi obstoječih kremenastih alg in njihove relativne pogostosti

**Figure 2.** Cluster analysis of spring communities from the Julian Alps (NW Slovenia) based on the presence of diatoms and their relative abundance

Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa (Tab. 4) v izviroh so bile razmeroma nizke, kar je posledica manjšega števila vrst ter prevlade ene vrste. Vrednosti so bile najvišje v izviroh s stalnim in počasnim tokom (Vrata), nižje pa v izviroh s hitro tekočo vodo. Manjše število vrst je lahko tudi posledica pomanjkanja hranil v izviroh ter osenčenosti, ki jo povzroča obrežna vegetacija (Vannote et al. 1980). Na diverzitetu alg vplivajo tudi motnje iz okolja (Stevenson et al. 1996). Prav tako pa lahko močno prevladujoče vrste znižajo vrednost Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa (Statzner 1981).

**Tabela 4.** Vrednosti Shannon-Wienerjevega diverzitetnega indeksa v 16 izvirih na območju Julijskih Alp (SV Slovenija) od maja do oktobra 1999**Table 4.** Shannon-Wiener diversity index in 16 springs in the Julian Alps (NW Slovenia) from May to September 1999

	maj		junij		julij		avgust		september		oktober	
	H'	H <sub>max</sub>	H'	H <sub>max</sub>	H'	H <sub>max</sub>	H'	H <sub>max</sub>	H'	H <sub>max</sub>	H'	H <sub>max</sub>
1 – Vrata	3,23	4,17	3,13	4,09	2,73	3,91	3	3,81	2,59	4,09	1,96	4,09
2 – Krma	0,91	2,58										
3 – Frčkov rovt	2,45	3							2,62	3,58		
4 – Zatrep	3,23	4,25							2,08	3,17		
5 – Lipnik	2,24	3,58			1,61	3,32			1,02	3		
6 – Črna rečica	1,55	3	1,75	3	1,57	2,81	2,12	3	2,18	3,17	1,83	2,81
7 – Soteska	1,93	3,32			3,34	4			3,11	3,46		
8 – Nomenj	2,76	3,91			2,41	3,58			2,76	3,17		
9 – Kropa	1,63	2,58			1,9	2,58			2,04	3,17		
10 – Voje	2,59	3,91										
11 – pri Boh. jezeru	2,52	3,32	1,48	2,81	1,88	3,17	2,22	3,17	1,3	3	2,93	3,81
12 – Tolminka	0,87	3,17			1,95	3,59			2,15	3,32		
13 – Tresli	2,62	4,25			2,53	4,52			4,15	4,70		
14 – Kršovec	2,61	3,17							1,79	2,81		
15 – Roja	1,9	3,17	1,23	3	1,35	2,58	1,27	3,32	2,59	3,91	2,6	3,46
16 – Krajcarica									1,56	2,81		

## Summary

The diatoms of 16 karst springs in the Southern Limestone Alps (Slovenia, SE Europe) were studied from May to September 1999, together with the major chemical parameters of the water and selected physical characteristics of the springs. The springs are located in an area of 800 km<sup>2</sup>, between 410 and 955 m a.s.l., and drain into two rivers whose catchments are separated by up to 2,864 m high mountain ranges. The Soča river drains into the Adriatic Sea, the Sava into the Black Sea. Springs showed relatively large fluctuations in discharge and small variations in temperature (normally about 1°C) during the period of our study. In the laboratory, water samples were analyzed for pH, conductivity ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), alkalinity ( $\mu\text{eq l}^{-1}$ ), nitrate ( $\text{mg l}^{-1}$ ), and ortho-phosphate ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ), following standard methods (APHA 1992).

Bacillariophyta were scraped from randomly collected stones and stored in 4% formaldehyde solution. In the laboratory, samples were prepared for determination following

standard methods (APHA 1992). 500 individuals from each spring were counted and determined, the presence of algae was presented as relative abundances.

Differences between the diatom communities of the springs and temporal variations were examined from the Shannon index of general diversity (Shannon and Weaver 1949). Sampling sites were arranged by cluster analysis into groups on the basis of their overall resemblance. Measures of resemblance were obtained using the Bray-Curtis index of dissimilarity (Clarke & Warwick 1990). Data on relative abundance were used, and the results presented as dendrogram.

All the springs but Tresli are surrounded by forest vegetation. Saturation with oxygen was normally above 100%. The temperature of the water was between 5.4 and 9.5°C. The exception was the spring Tresli (14.1 -16°C). pH values varied from 7.5 to 8.1, alkalinity from 1473 to 3754  $\mu\text{eq l}^{-1}$  and conductivity from 150 to 438  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . The nitrate content was from 0.2 to 4.8  $\text{mg l}^{-1}$  and phosphorus concentrations (as ortho-P) varied from 0.2 to 59.3  $\text{mg l}^{-1}$ .

The diatom flora of these springs consisted of 60 diatom taxa and showed similarities with springs and headwater stream diatom communities from different geographic areas. *Achnanthes minutissima* reached the highest relative abundance in most of the samples. Characteristic spring taxa (crenophiles) were present, but also included subdominant and rare taxa. Five different spring types were identified, with respect to diatom assemblages, using cluster analysis. Current velocity and periodical dryness in a spring appeared to be the dominant environmental factor affecting diatom distribution in selecting karst springs. In some springs, however, peculiar environmental factors (dim light, ionic strength) affect the structure of diatom assemblages. The Shannon-Wiener diversity index was the highest in permanent springs.

## Literatura

- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (1992): Standard methods for the examination of water and wastewater. 18. izdaja, American Public Health Association, Washington D.C.
- Brancelj A., Gaberščik, A., Urbanc-Berčič O., Šiško M., Jerebič A. (1995): Fizikalne, kemijske in biološke analize v petih izvirih na območju Triglavskega narodnega parka. Inštitut za biologijo, Ljubljana, 9 str.
- Cantonati M. (1998): Diatom communities of springs in the southern Alps. *Diatom Research* 13(2): 201-220.
- Cantonati M., Gerecke R., Bertuzzi E. (2006): Springs of the Alps – sensitive ecosystems to environmental change: from biodiversity assessments to long – term studies. *Hydrobiologia* 562: 59-96.

- Clarke K.R., Warwick R.M. (1990): Lecture notes for the training workshop on the statistical treatment and the 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. (MED POL-Phase II), FAO, Unesco, Unep, 42 str.
- Cox E.J. (1990): Studies on the algae of a small softwater stream. Occurrence and distribution with particular reference to the diatoms. Arch. Hydrobiol./Suppl. 83: 525-552.
- Di Sabatino A., Gerecke R., D'Alfonso S., Cicolani B. (1997): Prime considerazioni sulla biodiversita delle sorgenti Italiane: la taxocenosi ad acari acquarici (Acari, Actinedida, Hydrachnidia). S. It. E. Atti 18: 171-174.
- Gams I. (1974): Kras. Zgodovinski, naravoslovni in geografski oris. Slovenska matica, Ljubljana, str. 40-60.
- Hynes H.B.N. (1976): The ecology of running waters. 3. izdaja. Liverpool University Press, 555 str.
- Kosi G., Vrhovšek D. (1996): Sladkovodne alge. Narava Slovenije, stanje in perspektive, Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana, str. 143-146.
- Lange-Bertalot H., Krammer K. (1986-1991): Süßwasserflora von Mitteleuropa (H. Ettl, J. Gerloof, H. Heynig, D. Mollenhauer), *Bacillariophyceae. Naviculaceae*, 2/1, 876 str. *Bacillariaceae, Ephitemiaceae, Surirellaceae*. 2/2, 596 str. *Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. 2/3, 576 str. *Achnantheaceae*, 2/4, 437 str. G. Fischer, Stuttgart, New York.
- Lange-Bertalot H. (1978): Diatomeen-Differentialarten anstelle von Leitformen: ein geeinneteres Kriterium der Gewässerbelastung. Algol. Stud. 21: 393-427.
- Lange-Bertalot H., Metzeltin D. (1996): Indicators of Oligotrophy. Iconographia Diatom. 2: 1-390.
- Lange-Bertalot H., Steindorf A. (1996): Rote Liste der limnischen Kieselalgen (*Bacillariophyceae*) Deutschlands. Schr.-R. F. Vegetationskunde 28: 633-677.
- Lazar J. (1969): Prispevek k flori alg Triglavskega narodnega parka. Varstvo narave (Nature conservation) 6: 37-50.
- Müller P. (1980): Biogeographie. Ulmer, Stuttgart, 366 str.
- Margalef R. (1949): Las asociaciones de algas en las aguas dulces de pequeno volumen del noreste de Espana. Vegetatio 1: 258-284.
- Melik A. (1950): Planine v Julijskih Alpah. Dela SAZU, Ljubljana, 98 str.
- Newbold J.D. (1992): Cycles and spirals of nutrients. River Handbook - Volume one, Hydrological and ecological Principles. Blackwell Scientific Publications, Oxford, str. 469-475.
- Odum E.P. (1971): Fundamentals of ecology. Saunders, Philadelphia, 564 str.
- Patrick R. (1977): Ecology of freshwater diatoms and diatom communities. The biology of diatoms. University of California Press, Berkeley, 328 str.
- Robinson C.T., Rushforth, S.R. (1987): Effects of physical disturbance and canopy cover on attached diatom community structure in an Idaho stream. Hydrobiologia 154: 49-59.
- Rott E. (1991): Methodological aspects and perspectives in the use of periphyton for monitoring and protecting rivers. V: Whitton B.A., Rott E., Friedrich G. (ur.), Use of algae for monitoring rivers. Institut für Botanik, University of Innsbruck, Innsbruck, str. 9-16.



- Round F.E. (1981): The ecology of algae. University Press, Cambridge, 653 str.
- Sabater S., Roca J.R. (1990): Some factors affecting distribution of diatom assemblages in Pyrenean springs. *Freshwater Biology* 24: 493-507.
- Shannon C.E., Weaver W. (1949): The mathematical theory of communication. University of Illinois press, Urbana, 117 str.
- Statzner B. (1981): Shannon-Weaver of the macrobenthos in the Schierenseebrooks (North Germany) and problems of its use for the interpretation of the community structure. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 21: 782-786.
- Steinman A.D., McIntire C.D. (1986): Effects of current velocity and light energy on the structure of periphyton assemblages in laboratory streams. *J. Phycol.* 22: 352-361.
- Stevenson R.J., Bothwell M.L., Lowe R.L. (1996): *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, San Diego, 753 str.
- Sumita M., Watanabe T. (1983): New general estimation of river pollution using new diatom community index (NDCI). Biological indicators based on specific composition epilithic diatom communities. *Jap. J. Limnol.* 44(4): 329-340.
- Van Dam H., Mertens A., Janmaat L.M. (1993): De invloed van atmosferische depositie op diatomeeën en chemische samenstelling van het water in sprengen, beken en bronnen (The impact of atmospheric deposition on diatoms and chemistry in running waters in The Netherlands). IBN-report 052. DLO Institute for forestry and nature research, Wageningen, 124 str.
- Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. (1994): A coded checklist and ecological indicator values of fresh water diatoms from the Netherlands. *Netherlands journal of aquatic ecology* 28(1): 117-133.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E. (1980): The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.
- Vinson D.K., Rushforth S.R. (1989): Diatom species composition along a thermal gradient in the Portneuf River, Idaho, USA. *Hydrobiologia* 185: 41-54.
- Ward J.V., Dufford R.G. (1979): Longitudinal and seasonal distribution of macroinvertebrates and epilithic algae in a Colorado spring brook-pond system. *Arch. Hydrobiologia* 86(3): 284-321.
- Warncke E. (1980): Spring areas: ecology, vegetation and comments on similarity coefficient applied to plant communities. *Holarctic ecology* 3: 233-308.
- Wilhm J.L., Dorris T.C. (1980): Biological parameters for water quality criteria. *Bioscience* 18: 477-488.