

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Bojana KROFLIČ

KREMENASTE ALGE V USEDLINAH LJUBLJANSKEGA BARJA

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

DIATOMS IN SEDIMENTS OF LJUBLJANSKO BARJE

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so bili v sodelovanju z Nacionalnim inštitutom za biologijo pregledani trajni preparati usedline »Na mahu 1«. Vzorci so bili pridobljeni na Slovenski akademiji znanosti in umetnosti.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Mihaela J. Tomana.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: prof. dr. Alenka GABERŠČIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Mihael J. TOMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Danijel VRHOVŠEK

Datum zagovora: 25. 1. 2007

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Podpisana se strinjam z objavo naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Bojana Kroflič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 561.26:582.261(497.4 Ljubljansko barje)(043.2)=863
KG	kremenaste alge/paleolimnologija/usedline/
KK	
AV	KROFLIČ, Bojana Kroflič
SA	TOMAN, Mihael J. (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI	2007
IN	KREMENASTE ALGE V USEDLINAH LJUBLJANSKEGA BARJA
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 57 str., 22 pregl., 13 sl., 2 pril., 48 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Vrtino »Na mahu 1« na vzhodnem delu Ljubljanskega barja so izvrtali maja 2003. Za analizo kremenastih alg smo odvzeli 60 vzorcev iz različnih globin. Pripravili smo trajne preparate in prešteli ter določili 500 frustul v vsakem podvzorcu. Izračunali smo vrednosti trofičnega diatomejskega indeksa (TDI). Združbe smo primerjali na osnovi Bray-Curtisovega indeksa podobnosti. Glavni cilji naloge so bili, na podlagi ekoloških značilnosti posameznih vrst v vzorcih, določiti kakovost in naravo vodnega telesa v različnih obdobjih v preteklosti in rekonstruirati sukcesijo jezera in nastanek barja na območju vrtine. Ugotovili smo, da vzorci stari približno 10.600 do 9400 let kažejo na globoko oligotrofno vodno telo, kar dokazujejo dominantne vrste <i>Aulacoseira italica</i>, <i>Cyclotella ocellata</i>, <i>Cyclotella radiosa</i> in <i>Gomphonema angustum</i>. Pred približno 9400 do 6700 leti je bilo vodno telo verjetno plitvo in mezo-evtrofno do evtrofno, kar dokazujejo dominantne bentične alge <i>Fragilaria construens</i> in <i>Fragilaria pinnata</i>. Pred približno 6700 do 5600 leti so prevladovale vrste <i>Gomphonema angustum</i>, <i>Mastogloia smithii</i> in <i>Navicula bryophila</i>, kar kaže na plitvo oligotrofno vodno telo. To je postalo pred približno 5600 leti ponovno evtrofno, kar s svojo prisotnostjo dokazujeta vrsti <i>Fragilaria construens</i> in <i>Fragilaria pinnata</i>. Vodni ekosistem je prehajal v kopenskega, saj v najmlajših šotnih vzorcih ni bilo kremenastih alg.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 561.26:582.261(497.4 Ljubljansko barje)(043.2)=863
CX diatoms/paleolimnology/sediments
CC
AU KROFLIČ, Bojana
AA TOMAN, Mihael J. (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
PY 2007
TI DIATOMS IN SEDIMENTS OF LJUBLJANKSO BARJE
DT Graduation Thesis (University studies)
NO X, 57 p., 22 tab., 13 fig., 2 ann., 48 ref.
LA sl
AL sl/en

AB Sediment core »Na mahu 1« in the eastern part of Ljubljansko barje was collected in may 2003. 60 samples from different levels were sampled for diatom analyses. Permanent slides were made and 500 diatoms (frustuls) were counted in each subsample. Values of the trophic diatom index (TDI) were calculated. Diatom communities were compared based on Bray-Curtis Index of similarity. The purpose of the work was to define quality and nature of a water body based on the ecological characteristics of species in the samples in different periods of the past, and to reconstruct succession of the lake and bog formation. Samples from 10.600 to 9400 cal yr. BP with dominant species *Aulacoseira italica*, *Cyclotella ocellata*, *Cyclotella radiosa* and *Gomphonema angustum* indicate that a deep oligotrophic water body. From about 9400 to 6700 cal yr. BP the water body was shallow and mezo-eutrophic to eutrophic according to dominance of the species *Fragilaria construens* and *Fragilaria pinnata*. Species *Gomphonema angustum*, *Mastogloia smithii* and *Navicula bryophila* prevailed from approx. 6700 to 5600 cal yr. BP, characteristic for shallow oligotrophic water body. Before 5600 the water body became eutrophic again according to the presence of species *Fragilaria construens* and *Fragilaria pinnata*. Water ecosystem has changed to terrestrial, no diatoms were found in the peaty samples.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	IX
KAZALO PRILOG	X
1 UVOD.....	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 SUKCESIJA JEZERA.....	3
2.1.1 Sukcesija.....	3
2.1.1.1 Vrste sukcesij.....	3
2.1.2 Ekološke sukcesije v vodnih ekosistemih	4
2.2 BARJE	6
2.2.1 Tipi barj	6
2.3 ZGODOVINA LJUBLJANSKEGA BARJA.....	8
2.3.1 Nastanek jezera.....	8
2.3.2 Nastanek barja	10
2.3.2.1 Nekdaj.....	10
2.3.2.2 Včeraj.....	11
2.3.2.3 Danes	12
2.3.2.4 Jutri	12
2.4 PALEOLIMNOLOGIJA	13
2.4.1 Biološki indikatorji	14
2.5 KREMENASTE ALGE.....	15
2.5.1 Kremenaste alge kot paleolimnološki indikatorji.....	16
3 MATERIAL IN METODE.....	18
3.1 VZORČNO MESTO IN VZORČENJE	18
3.2 ANALIZA VZORCEV Z INVERTNIM SVETLOBNIM MIKROSKOPOM.....	19
3.2.1 Priprava kremenastih alg za mikroskopiranje z invertnim svetlobnim mikroskopom.....	19
3.2.2 Kvantitativna ocena združbe kremenastih alg.....	20
3.3 ANALIZA VZORCEV Z VRSTIČNIM ELEKTRONSKIM MIKROSKOPOM....	21
3.3.1 Priprava kremenastih alg za mikroskopiranje z vrstičnim elektronskim mikroskopom.....	21
3.3.2 Uporaba vrstične elektronske mikroskopije za analizo kremenastih alg v vzorcih	21
3.4 STATISTIČNA ANALIZA PODVZORCEV.....	21
3.4.1 Izračun relativne pogostosti vrst v vzorcih.....	22
3.4.2 Odvisnost števila vrst v podvzorcu od števila prešteti kremenastih alg.....	22
3.4.3 Trofični diatomejski indeks	23
3.4.4 Klasterska analiza združb kremenastih alg.....	24

4 REZULTATI	25
4.1 DELEŽI KREMENASTIH ALG V USEDLINAH »NA MAHU 1« V 54 VZORCIH	25
4.2 EKOLOŠKE ZNAČILNOSTI DOMINANTNIH VRST KREMENASTIH ALG...	29
4.3 VREDNOSTI TROFIČNEGA DIATOMEJSKEGA INDEKSA (TDI)	40
4.4 KLASTERSKA ANALIZA ZDRUŽB KREMENASTIH ALG.....	41
5 RAZPRAVA IN SKLEPI.....	43
5.1 RAZPRAVA.....	43
5.2 SKLEPI.....	50
6 POVZETEK (SUMMARY)	52
ZAHVALA	58
PRILOGE	59

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1. Pregled zaporedja dob od konca starega würma do danes s pripadajočo klimo in pelodnimi analizami. Podatke smo povzeli po treh avtorjih: Šerclju, 1963 (Š.), Geistru, 1995 (G.) in Joganu, 1999 (J.)	9
Preglednica 2. Globine, s katerih so bili vzeti vzorci za mikroskopski pregled usedline na lokaciji »Na mahu 1«. V praznih vzorcih ni bilo kremenastih alg.«	19
Preglednica 3. Določitev stopnje trofije vodnega telesa na podlagi izračunanega trofičnega diatomejskega indeka (TDI) (Rott in sod., 1999)	24
Preglednica 4. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Aulacoseira italica</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	29
Preglednica 5. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Cyclotella ocellata</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	30
Preglednica 6. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Cyclotella radiosa</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003; ...	30
Preglednica 7. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Cymbella affinis</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003; ...	31
Preglednica 8. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Cymbella silesiaca</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	31
Preglednica 10. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Fragilaria construens</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	32
Preglednica 11. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Fragilaria pinnata</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	33
Preglednica 9. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Denticula tenuis</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988;	34
Preglednica 12. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Gomphonema angustum</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	34
Preglednica 13. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Mastogloia smithii</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	35
Preglednica 14. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Navicula bryophila</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	35
Preglednica 15. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste <i>Navicula jaerenfeltii</i> po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	36
Preglednica 18. Pregled ekoloških zahtev dominantnih vrst v plasti N – 1, povzeto po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	37

Preglednica 19. Pregled ekoloških zahtev dominantne vrste v plasti N – 2, povzeto po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	37
Preglednica 20. Pregled ekoloških zahtev dominantnih vrst v plasti N – 3, povzeto po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	38
Preglednica 21. Pregled ekoloških zahtev dominantnih vrst v plasti N – 4, povzeto po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	39
Preglednica 22. Pregled ekoloških zahtev dominantnih vrst v plasti N – 5, povzeto po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;	39

KAZALO SLIK

Slika 1. Sukcesija jezerskega ekosistema, zaradi naplavljanja delcev, sedimentiranja dela lastne organske proizvodnje v močvirje in šotno barje (Abel, 1996).....	4
Slika 2. Vzorčno mesto »Na mahu 1«: vrtanje vrtine z Livingstonovim batnim vrtalnikom.	18
Slika 3. Del vrtine »Na mahu 1«: odvzem vzorcev s prostornino 1 cm ³	19
Slika 4. Podvzorec z manjšim številom vrst: naraščanje števila vrst v odvisnosti od števila prešteti kremenasti alg v podvzorcu.	22
Slika 5. Vzorec z večjim številom vrst: naraščanje števila določenih vrst v odvisnosti od števila prešteti kremenasti alg v podvzorcu.....	23
Slika 6. Deleži kremenasti alg v odstotkih v usedlinah »Na mahu 1« po globinah upoštevajoč vrste po abecednem redu od <i>Achnantes exigua</i> do <i>Cymbella</i> spp.....	25
Slika 7. Deleži kremenasti alg v odstotkih v usedlinah »Na mahu 1« po globinah upoštevajoč vrste po abecednem redu od <i>Denticula tenuis</i> do <i>Mastogloia smithii</i>	26
Slika 8. Deleži kremenasti alg v odstotkih v usedlinah »Na mahu 1« po globinah upoštevajoč vrste po abecednem redu od <i>Melosira arentii</i> do <i>Tabelaria fenestrata</i> . .	27
Slika 9. <i>Aulacoseira italica</i> , fotografija pri 1000 x povečavi.....	29
Slika 10. <i>Fragilaria construens</i> , fotografiranje z elektronskim vrstičnim mikroskopom pri 8.000 x povečavi.....	32
Slika 11. <i>Fragilaria pinnata</i> , fotografija z elektronskim vrstičnim mikroskopom pri 14.000 x povečavi.....	33
Slika 12. Spreminjanje vrednosti trofičnega indeksa v podvzorcih iz različnih globin	40
Slika 13. Dendrogram podobnosti kremenasti alg na osnovi Bray – Curtisovega indeksa podobnosti v podvzorcih vrtine »Na mahu 1«. Številka podvzorca predstavlja globino v cm s katere smo vzeli vzorec.....	41

KAZALO PRILOG

Priloga A, Vrednosti trofičnega diatomejskega indeksa (TDI) za različne vzorce

Priloga B, Opis sedimenta vrtine »Na mahu 1. Avtorica: dr. Maja Andrič

1 UVOD

Mokrišča so pomembni ekosistemi. So sestavni del kroženja vode, napajajo vodonosnike, zmanjšujejo nevarnost poplav, varujejo pred erozijo, zadržujejo usedline in hranilne snovi ter zmanjšujejo obremenjenost vode. So zibelka biotske pestrosti, vir hrane in pitne vode, pomembni za kmetijsko pridelavo in živinorejo ter omogočajo rekreacijske dejavnosti, zato so družbenega in kulturnega pomena (Beltram, 2005).

Mokrišča obsegajo različne habitatne tipe, predvsem celinske vode, obalne in priobalne habitatne tipe ter močvirja in barja (Beltram, 2005).

Med slovenska mokrišča sodi tudi Ljubljansko barje, ki ima vse značilnosti potrebne za uvrstitev na Seznam mokrišč mednarodnega pomena. Danes je sicer Ljubljansko barje s 150 km² ekstenzivna kulturna krajina, ki je ob pomladanskem in jesenskem deževju poplavljen. Je mednarodno pomembno območje za ptice (IBA), predvsem za redke in ogrožene travniške vrste. Na njem gnezdi polovica slovenske populacije kosca, globalno ogrožene vrste, štiri druge ogrožene vrste pa imajo na Barju več kot 30 odstotkov celotne slovenske populacije (Beltram, 2005).

Z nastankom in razvojem Ljubljanskega barja so se ukvarjali različni avtorji (Šercelj, Melik, Šifrer,...) v 20. stoletju. Raziskave so večinoma temeljile na pelodnih in sedimentnih analizah vrtin iz različnih predelov Ljubljanskega barja. Te raziskave so razkrile ugrezanje in nasipavanje Ljubljanskega polja ter klimatske spremembe v preteklosti na tem območju. Sprememb vodnega ekosistema na podlagi ekoloških značilnostih kremenastih alg in njihova prisotnost v usedlinah Ljubljanskega barja do sedaj še ni nihče raziskal.

Sukcesija jezera in nastanek barja sta splošno znana. V določenih klimatskih in jezerskih okoljskih razmerah se jezero stara od oligotrofnega do evtrofnega stanja ter od bolj globokega jezera, ki z usedanjem jezerskih usedlin postaja bolj plitvo. Na koncu jezero preide v terestični ekosistem.

Kremenaste alge so dobri paleolimnološki indikatorji, ker se zaradi silicijeve stene ohranijo v jezerskih sedimentih. Za posamezne vrste poznamo ekološke niše, na podlagi katerih lahko predvidevamo, kakšna je bila kakovost vode. Zato sta bila ideja in cilj diplomske naloge raziskati, kakšni sta bili kakovost in globina vode v različnih obdobjih sukcesije jezera na delu območja Ljubljanskega barja, kjer so arheologi zvrtili vrtino imenovano Na mahu 1.

Diplomsko delo smo izvedli v okviru interdisciplinarnega projekta. Poleg kremenastih alg so različni avtorji opravili radiokarbonske datacije sedimenta, analize peloda, stabilnih izotopov in geokemizma. Na podlagi teh in naših analiz smo rekonstruirali verjeten potek sukcesije jezera, hidrologije in klimatskih sprememb na območju barjanske vrtine »Na mahu 1«, ki so imele tudi vpliv na človeške populacije na tem območju v preteklosti.

Kremenaste alge v usedlinah Ljubljanskega barja še niso bile raziskane, zato je diplomsko delo pionirska naloga na tem področju.

Pred pregledom vzorcev iz usedlin vrtine »Na mahu 1« smo predpostavili, da sta sukcesija jezera na Ljubljanskem barju in nastanek Barja potekala od globljega jezera, v katerem so se nalagale avtohtone in alohtone usedline, preko plitvega jezera ali močvirja in končno do barja. Predvidevali smo tudi, da je bilo jezero v preteklosti oligotrofno, torej prehransko revno, kasneje je preko mezotrofne stopnje postalo evtrofno oziroma prehransko bogato.

Cilji diplomskega dela so bili:

- določiti kremenaste alge in njihovo pestrost v vzorcih usedlin iz vrtine »Na mahu 1«,
- na podlagi ekoloških značilnosti posameznih vrst kremenastih alg najdenih v vzorcih določiti kakovost in naravo vodnega telesa v različnih obdobjih v preteklosti,
- rekonstruirati sukcesijo jezera in nastanek barja na območju vrtine »Na mahu 1«.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SUKCESIJA JEZERA

2.1.1 Sukcesija

Ekološka sukcesija je spreminjanje vrstne sestave življenjskih združb v času in prostoru. Je posledica abiotskih in biotskih dejavnikov. Razvoj gre od preprostejše organiziranosti v raznovrstno in zapleteno združbo (Tarman, 1992).

2.1.1.1 Vrste sukcesij

Tarman (1992) navaja da je **primarna** sukcesija proces osvajanja nenaseljenega območja, **sekundarna** sukcesija pa je obnova združbe po veliki okoljski motnji, navadno po naravnih katastrofah (po požaru, poplavi,...). Če motnja ni prevelika, se združba obnovi v izhodno obliko združbe.

Poznamo še **avtotrofno** sukcesijo, kjer temeljijo prehranjevalne povezave na proizvodnji zelenih rastlin (rastlinsko osvajanje tal in kasnejše priseljevanje živali) in **heterotrofno** sukcesijo (zaporedne naselitve živali – razkrojevalcev v mrtvem lesu). Tudi sukcesija v jezeru ali reki po močnem organskem onesnaženju je primer heterotrofne sukcesije.

Vzroki za **alogene** sukcesije so izven združbe, v dejavnikih okolja (poplave, pozebe, suše,...). Kadar pa so vzroki za sukcesije v spremenjenih interakcijah organizmov v združbi, gre za **avtogene** sukcesije.

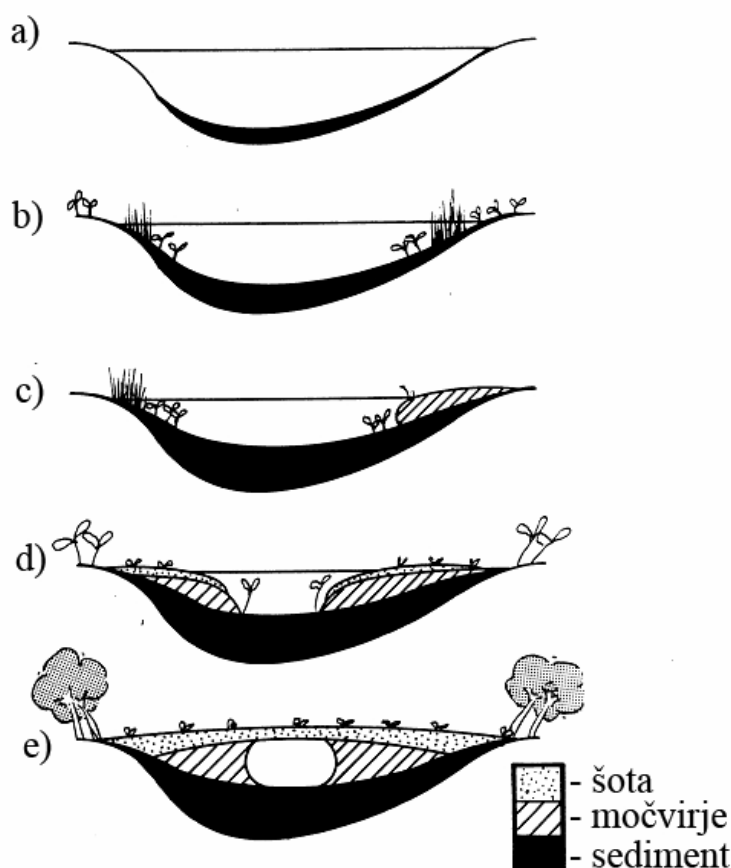
Naravne sukcesije potekajo v kopnih in vodnih ekosistemih. Vse več je umetno povzročenih sukcesij zaradi vplivov ljudi in posegov v okolje. Takšna je npr. zajezitev rek in ustvarjanje umetnih jezer. Številni rečni organizmi izginejo, jezerski se naselijo spontano ali pa jih tja prinese človek (ribje vrste).

Pri vseh sukcesijah je začetna izmenjava vrst zelo hitra. Z napredovanjem sukcesije se proces izmenjave vrst upočasni in na koncu preneha. V tistem trenutku združba doseže zrelost imenovano **klimaksno stanje**. Zrelost, ki jo označuje velika raznolikost združbe, je posledica medvrstnih odnosov in njihove populacijske dinamike.

2.1.2 Ekološke sukcesije v vodnih ekosistemih

Jezera, umetna jezera in ribniki postajajo s staranjem plitvejša. Spreminjajo se v močvirja in se naposled izsušijo. Kjer so bila pred tisočletji jezera, so danes barja in gozdovi. Na potek sukcesije vplivajo neživi dejavniki, kot so erozijski pojavi in naplavljanje suspendiranih delcev s pritoki v jezero. Obseg sedimentacije določa hitrost zmanjševanja jezerske globine. Zaradi tega se spreminjajo fizikalni in kemični parametri v jezerski vodi. Več je hranil, zaradi plitvosti se spreminjajo toplotne in svetlobne razmere, kar vpliva na strukturo in produktivnost združb. Prebitek organske proizvodnje, ki se useda na dno, dodatno prispeva k zmanjšanju jezerske globine. Vodni makrofiti se širijo proti sredini plitvega jezera, ki se spreminja v močvirje. Prvotno jezero prerastejo šotni mahovi in druge barjanske rastline (Tarman, 1992).

Wetzel (2001) pa navaja, da sukcesijo od globokega jezera do nastanka barja zagotavlja ustrezna klima in sicer obilo padavin ter visoka relativna vlažnost skozi vse leto.



Slika 1. Sukcesija jezerskega ekosistema, zaradi naplavljanja delcev, sedimentiranja dela lastne organske proizvodnje v močvirje in šotno barje (Abel, 1996).

Tarman (1992) navaja, da se tekom sukcesije spreminja tudi vrstna sestava živalstva. Jezerske vodne zoocenoze zamenjajo močvirske. Takšno sukcesijo je preživelo veliko Barjansko jezero pri Ljubljani po mostiščarskem času (v holocenu). Njegov prehod iz vodnega v kopenski ekosistem so v zadnjih 200 letih pospešile tehnične regulacije Ljubljanice, izkop Grubarjevega kanala in kopanje osuševalnih jarkov na Barju. Podobno usodo doživljajo tudi druga jezera na Zemlji. Čas za popolni prehod iz vodnega v kopenski ekosistem je odvisen od jezerske globine, velikosti pritokov, geološke zgradbe okolice, podnebnih razmer in biološke produktivnosti jezera.

S staranjem jezera se spreminjajo lastnosti, ki vplivajo na bioprodukcijo jezerskih združb. Nutrienti v plitvem jezeru hitreje krožijo med usedlinami in jezersko površino, kjer poteka fotosinteza. Na hitrost sukcesije vpliva tudi vnašanje hranil v jezero oz. njegova prehranjenost ali eutrofikacija. Vnos hranil poveča produktivnost jezerskih organizmov, ki s svojimi proizvodi pospešujejo prehod iz vodnega v kopenski ekosistem. Sukcesija večine jezer poteka od oligotrofne, preko mezotrofne do eutrofne stopnje, torej od nizke do visoke vsebnosti hranil.

Čeprav poteka splošna ontogeneza jezer od nizke proti višji produktivnosti, pa Wetzel (2001) navaja, da poznamo mnogo primerov, kjer je bila produktivnost jezera v njegovih zgodnejših obdobjih višja kot v starejših.

Paleolimnološke raziskave vulkanskega jezera v Italiji, Lago di Monterosi, so pokazale spremembe v produktivnosti zaradi sprememb prispevnega območja 2000 let p. n. št., ko so zgradili cesto ob jezeru. To je bilo najprej precej produktivno, kar je verjetno povezano s sproščanjem s kalijem bogatih snovi in visoko vsebnostjo fosforja. 20.000 let p. n. št. je bila sedimentacijska stopnja zelo nizka, kar kaže na zelo nizko produktivnost vse do 5000 let p. n. št. in do dobe Rimljanov. To je bilo hladno in suho obdobje, ki je sledilo zadnji poledenitvi. Manjše povečanje produktivnosti opazimo konec tega obdobja, kar je verjetno posledica manjše spremembe klime in nekaterih človeških aktivnosti. Znatno povečanje hranil in produktivnosti se je pojavilo malo po 2000 p. n. št.. Sprememba sedimentacije sovпада z izgradnjo rimske ceste okrog leta 171 p. n. št.. Zaradi povečanega vnosa fosforja in alkalnih snovi, posebej kalcija, je jezero postalo eutrofno. Posledica tega je bila povečana sedimentacija organskih snovi. Produktivnost jezera se je po tej motnji spet znižala, ko se je spremenila raba prispevnega območja.

Koncept spreminjanja jezera iz oligotrofije v eutrofijo ni vedno univerzalen. Produktivnost jezera je namreč odvisna od vnosa hranil, klime in morfologije. Akumulacija dušika, fosforja in organskih snovi v usedlinah je ponavadi visoka v zgodnjih obdobjih po

poledenitvi, ko so hranila lahko dostopna. Nato akumulacija upade, ker se spiranje snovi zmanjša zaradi izčrpanja prispevnega območja. Danes je povečanje ali zmanjšanje produktivnosti jezer ponavadi neposredno povezano z motnjami in vnosi, ki jih povzroča človek.

Sukcesijo ali ontogenezo celinskih vodnih ekosistemov določajo interakcije različnih mehanizmov, ki vplivajo na stopnjo avtotrofne produkcije in izkoriščanje organskih snovi. Kopičenje organskih snovi v usedlinah narašča, podobno kot pri primarni ekološki sukcesiji na kopnem. Evtrofikacija stopnjuje kroženje hranil, povečuje se plast brez kisika, kar je povezano z akumulacijo organskih snovi.

Nastanek in ontogenija barja kot sukcesije jezera se geomorfološko razlikuje od razvoja mokrišč, kjer se organska snov makrofitov v večji meri razgradi. V zmerno suhih regijah poteka sukcesija jezera preko močvirja neposredno do kopenskega ekosistema. Ko se mokrišče »posuši« se na organskih tleh naselijo kopenske rastline, ki izpodrinejo vodne makrofite. V zmernem podnebju pa je večinoma dovolj vlage za kolonizacijo in končno prevlado šotnih (*Sphagnum*) in drugih mahov ter nastanek barja.

2.2 BARJE

Po ramsarski klasifikaciji so visoka in nizka barja brez dreves tipi mokrišč, ki jih je potrebno ohranjati s preudarno rabo (Beltram, 2005).

2.2.1 Tipi barij

Martinčič (1996) navaja, da glede na hidrološke razmere in količino mineralnih snovi razlikujemo ombrogena in geogena barja.

Ombrogena barja nimajo pritokov in odtokov vode. Njihov edini vir hranil in vode so padavine. To so rastišča revna z minerali – oligotrofna rastišča. Njihovi glavni elementi so šotni mahovi (*Sphagnum*).

Geogena barja imajo dotok in odtok vode. Delimo jih na: **topogena** barja, ki imajo dotok mineralno bogate pobočne vode, **soligena**, ki so preskrbljena s talno in pobočno vodo in **fluvigena** ali **limnogeni**, ki so sezonsko poplavljeni.

Glede na položaj v pokrajini ločimo visoka, prehodna in nizka barja. Martinčič (2003) navaja, da je površina **visokega barja** zaradi rasti sfagnumske šote dvignjena nad nivo talne vode, zato je pod vplivom mineralno revne padavinske vode. Wetzel (2001) pa navaja, da se zaradi zaraščanja mahov, še posebej šotnih (*Sphagnum*), zniža vsebnost kationov in pH, kar zmanjša stopnjo dekompozicije in poveča neto akumulacijo organskih snovi. Akumulacija organskih snovi, rast rastlin na površini in izvrstna kapilarnost odmrlih in živih poganjkov mahov dvignejo nivo vode nad normalen nivo jezera. Tako se lahko vegetacija razvije malo (ponavadi < 50 cm) nad nivojem vode.

Martinčič (1996) navaja, da je za visoko barje značilna počasna mineralizacija, rast rastlin pa je omejena s hranili (dušik, fosfor, kalij). pH je nizek (3,5 do 4,5), kalcija je manj kot 2 mg/L, električna prevodnost je visoka. Značilna so velika temperaturna nihanja, ker so temperature nižje kot v okoljnih sistemih, navadno so barja mrazišča. Značilne vrste so ombrotrofi. Kislost šotnih barj je odvisna od:

- produkcije in akumulacije nekaterih organskih snovi (huminske in fulvo kisline),
- poliuronske kisline,
- kationske izmenjave: ob vezavi Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ in težkih kovin se sprošča H^+ in nastanejo kisline,
- odlaganja dušikovih in žveplovih oksidov iz zraka, morskih aerosolov (Na^+ , Mg^{2+} , Cl^-) in vetrne erozije s polj (Ca^{2+} , Mg^{2+}),
- oksidacije in redukcije žveplovih snovi (redukcija poviša pH, oksidacija ga zniža),
- hidrološkega režima.

Večina rastlin visokih barj ima posebno organizacijo in rastno obliko: šotni mahovi, pritlikavo grmičevje z majhnimi vedno zelenimi listi ter visoko stopnjo skleromorfности, pritlikave trajne dvokaličnice in karnivorne rastline. Visoka barja so pomembna pri kroženju ogljika in vode, so habitati za specializirane organizme (mikoriza, privzem N_2) in so pričevalci zgodovine onesnaženja.

Prehodna barja imajo dostop do mineralno bogate podtalnice ali površinske vode. pH je od 4 do 5, kalcija je okrog 5 mg/L. Mešajo se ombrotrofne in mineralotrofne vrste.

Nizko barje je barje, katerega površina ni dvignjena nad obrobje in je pod vplivom mineralno bogate podtalnice ali vode z obrobja. pH je večinoma bazičen in celo preseže vrednosti 8, kalcija je nad 5 mg/L, nizka je električna prevodnost. Za nizka barja so značilne mineralotrofne vrste.

Nizka barja so lahko na povirnih delih, v plitvih depresijah in tudi tam, kjer ni trajne površinske vode, ampak je velika zamočvirjenost zaradi vode v podlagi. Nizka barja so lahko oligotrofna – kadar je v podlagi malo nitratov in fosfatov. Če pa je v podlagi in vodi veliko fosfatov in nitratov, so nizka barja minerotrofna (evtrofna).

Sukcesija rastlin na barjih gre preko vseh oblik od alg, mahov, cvetnic (zelišč), cvetnic (polgrmov) do cvetnic (lesnih rastlin) (Martinčič, 1996).

2.3 ZGODOVINA LJUBLJANSKEGA BARJA

2.3.1 Nastanek jezera

Šercelj (1974/75) navaja, da je bila v mindelsko-riški medledeni dobi na Barju enotna ravnica, plitvo močvirje ali barje.

V riški ledeni dobi se je začelo barje ugrezati. Melik (1946) navaja, da je na nastanek jezera poleg ugrezanja vplivalo tudi epirogenetsko dvigovanje Posavskega hribovja. Poleg tega je Sava z nasipavanjem proda zavrla odtok Ljubljani, ki se je razlila v jezero (Melik, 1946). Prvo nasipanje v mlajšem pliocenu so sprožili tektonski premiki. Nastanek jezera v pliocenu je bila tako posledica tektonike in nanosa usedlin.

Melik (1946) navaja, da je v kvartarju nastala zadnja ojezeritev, ki je trajala vse do mostiščarske dobe. Nastala je zaradi savskega vršaja, ki ga je nasula reka in preprečila odtok Ljubljani. Največja globina jezera je znašala najmanj 13 do 14 m. Barsko jezero zadnje ojezeritve je trajalo tako dolgo, dokler Sava s svojimi pritoki ni razrezala vršaja. Postopoma je odteklo. Poleg tega so Ljubljansko jezero zasipali pritoki s svojimi naplavinami.

Vodotoki, ki izvirajo iz kraških izvirov (Ljubljana, Bistra in Ižica), imajo majhen strmec, zato so nanašali raztopljen apnenec. Vodotoki, ki izvirajo v zaledju in pritečejo na Barje kot površinski tokovi (Iška, Gradaščica, Borovniščica, Želimeljščica, Škofeljščica in drugi manjši pritoki), imajo navadno hudourniški značaj in so nanašali prod ter pesek.

Preglednica 1. Pregled zaporedja dob od konca starega würma do danes s pripadajočo klimo in pelodnimi analizami. Podatke smo povzeli po treh avtorjih: Šerclju, 1963 (Š.), Geistru, 1995 (G.) in Joganu, 1999 (J.)

Trajanje	Klima	Pelod
Stari würm (3 poledenitve, 2 toplejši obdobji) (G.), Glacial (W I), konec starega würma (Š.)		
115.000-75.000 let (J.) obdobje 20.000 let (G.)	< 10° C pov. julajska T (G.)	bor, smreka, breza (Š.)
Göttweiški interstadial (G.)		
obdobje 15.000 let (G.)	> 15° C pov. julajska T (G.)	listnati gozd (hrast, gaber) (G.) listavci: hrast, gaber, malo buke (Š.)
Poledenitev (G.), Glacial W II (Š.)		
25.000-15.000 let najhladnejše obdobje (J.), obdobje 3.000 let (G.)		nihanje borovca (Š.)
Paudorfski interstadial (G.)		
25.000 (G.) obdobje 1.000 let (G.)	~ 14° C pov. julajska T (G.)	upad bora (G.) hrast, gaber, bukev (Š.)
Mlajši würm (G.), Glacial, W III (Š.)		
15.000-10.000 let (J.)	~ 10° C pov. julajska T (G.)	iglavci, malo zelišč, tajga (G.) subarktično podnebje: alpska drežica (<i>Selaginella selaginoides</i>) – indikator hladnega podnebja, bor, kasneje nekaj breze, vrbe, jelše – tajga (Š.)
Pozni würm (G.), Kasni glacial (Š.), Pozni glacial (drias) (J.)		
obdobje 7.000 let (G.)		
Najstarejši drias (G.)		
15.000 - 13.300 BP (J.)		<i>Pinus</i> (J.)
Bölling (G.)		
13.300 - 12.500 BP (J.)	~ 14° C pov. julajska T (G.)	listavci (G.)
Starejši drias (G.)		
12.500 - 12.000 BP (J.)		izključno bor (G.) mezofilni listavci, bukev (Š.)
Allerröd (G.)		
12.000 - 11.000 BP (J.)	~ 17° C pov. julajska T (G.)	listavci (G.) mezofilni listavci, bukev (Š.)
Mlajši drias (G.)		
11.000 - 10.300 BP (J.)		
Holocen (G.)		
10.300 do danes (J.)		bukev (Š.)
Preboreal – otoplitev (G.)		
pred 10.000 leti (G.)		hrastovo – leskovi gozdovi (Š.)
Boreal (G.)		
do 7.700 (J.)	toplo, suho (G.)	bukev (G.) faza buke (Š.)
Atlantik (G.)		
(7.700 – 5.300) (neolitik do 4.000) (J.) obdobje 4.000 let (G.)	toplo, vlažno (G.)	jelka, upad buke (Š.)
Subboreal (G.)		
5.300 – 2.500 (J.)	bolj suho od danes (J.)	faza buke (Š.)
Subatlantik – danes (G.)		
2.500 – danes (J.)	hladno, vlažno (G.)	antropogeni vpliv: umik buke (Š.), bor (G.)

2.3.2 Nastanek barja

2.3.2.1 Nekdaj

Martinčič (2003) navaja, da je barje na Ljubljanskem barju začelo nastajati pred približno **3800 leti**, ko je zaradi podnebnih sprememb pričelo propadati mostiščarsko jezero in se spreminjati v močvirja. Sprva se je odlagalo organsko blato, gyttja. Postopoma so nastala mineralno bogata **močvirja** in **nizka barja**, kjer je začela nastajati **šota**.

Pavšič (1989) navaja, da šota nastaja v močvirnih območjih, ko se ozemlje enakomerno ugreza, da ne pride niti do osušitve močvirja, niti do ojezeritve. Na Barju so bile vsaj trikrat dane razmere za nastanek šote.

Martinčič (2003) navaja, da je bila šota, ki jo gradijo trst, šaši in mahovi debela največ 2 do 3 m. Ostankov šotnih mahov (*Sphagnum*) v njej ni. Šele kasneje je na tej šotni podlagi začelo na nekaterih mestih nastajati sfagnumsko barje. Nastajalo naj bi v predelih, kjer ni bilo vpliva s kalcijem bogatih vodotokov.

Izgradnja **Grubarjevega in Zornovega prekopa**, sta zelo vplivala na vodni režim barja. Največje spremembe so se zgodile v letih od 1823 do 1857, ko so izkopali 955.506 m kanalov in jarkov ter 6.508 m cest, kolovozov in štrardonov z obojestranskimi jarki. Vse to je spremljalo obsežno rezanje šote in požiganje površinskih plasti.

Površine z značilnim videzom visokega barja naj bi se v sredini 18. stoletja ohranile le še na treh mestih: v okolici Bevk, pri osamelcu Grmez proti Igu ter pri Vnanjih Goricah in Plešivcu.

Pri Bevkah je bila površina barja dvignjena nad okolico. Ta del je bil **ombrotrofen**, odvisen od padavin. Zamočvirjeno površino so poraščali šotni mahovi, krnjave brez, rdeči bor in jesenska vresa. Skupaj so uspevale ombrotrofne, ombro-mineralotrofne in mineralotrofne vrste, torej je imel predel značaj prehodnega barja. Na Bevškem mahu je bilo več jezerc, **jezerskih oken**, ki so nastala z erozijo v šotni podlagi, poraščale pa so jih šotni mah, navadna mešinka in alga *Draparnaldia*.

Tudi površina barja okrog **Grmeza** je bila nekoliko dvignjena. Porasla z redkimi pritlikavimi brezami, rdečim borom, šotnimi mahovi in mešanico vrst visokega in nizkega barja. Tudi tu je bilo **prehodno barje**. Jezerca so se za razliko od Bevk napajala z mineralno bogato podtalnico.

2.3.2.2 Včeraj

Martinčič (2003) navaja, da je bilo na **začetku 20. stoletja** le še okrog **1400 ha šotnih površin**, kar pa ne pomeni takšne površine barja. Močvirne predele so izsušili, vsa nekdanja jezerca so propadla. Predele z neporezano šoto so zarasli bor, breze, ponekod celo dob. Šotnega barja v primarni obliki ni bilo več, niti nizkega niti sfagnumskega. Ker se je rezanje šote nadaljevalo, je sredi 20. stoletja ostalo le še približno **135 ha** šotnih površin.

Šoto so gospodarsko izkoriščali, največ kar domačini **za kurjenje** in za potrebe tovarn. K tanjšanju šotne plasti je prispevalo tudi **požiganje šote**, s čimer naj bi izboljševali kmetijske površine (Pavšič, 1989).

Martinčič (2003) navaja, so s propadanjem barja polagoma izginile številne rastlinske vrste. Najprej so **propadle mineralotrofne vrste**, značilne za nizka barja. Kjer so uspevale skupaj z ombrotrofnimi vrstami, jih je izsušitev rastišč bolj prizadela. Število ombrotrofnih vrst je do danes ostalo skoraj nespremenjeno, ker so fragmenti z neporezano in kemično nespremenjeno šoto predstavljali njihova potencialna sekundarna rastišča. Dokler so še rezali šoto, so se ombrotrofne vrste naseljevale na spodnji rob šotišč, kjer je bila podlaga dovolj vlažna. Nato so polagoma propadle zaradi zaraščanja z brezo in modro stožko in nato z združbo bora in breze.

Na **Goriškem mahu** je bila leta 1960 19,5 ha velika strnjena površina neporezane šote, kjer so s košnjo in požiganjem ohranjali resavo in tako preprečevali zaraščanje z lesnimi vrstami. V jarke, zarezane v šotno podlago, so se sekundarno naselile skoraj vse ombrotrofne vrste, ki so tedaj uspevale na Ljubljanskem barju.

Barje **Mali plac** je dvignjeno približno 10 m nad sedanjo barjansko ravnino in ni imelo povezave z Bevškim mahom. Bilo je nižinsko visoko/prehodno barje, ki je bilo v sredini dvignjeno, obkrožal ga je jelšev grez. Vsa šota je sfagnumska. Ker je bil pred časom izkopan jarek za odvajanje vode, se je barje začelo zaraščati z lesnatimi vrstami. Večji del površine je poraščala združba šotno vresovje, šotno brezovje z nekaj smrekami in bori. Tu so še leta 1993 uspevale različne barjanske vrste, med njimi tudi take, ki so drugod že izginile: različne vrste šotnih mahov, okroglolista in srednja rosika, bela kljunka, nožničevi munec in barska vijolica.

2.3.2.3 Danes

Prepoved rezanja šote v šestdesetih letih prejšnjega stoletja je zavarovala šoto, ne pa nekdanjih barjanskih vrst. Ob rezanju šote so se na golo, vlažno površino ponovno naseljevale nekdanje barjanske vrste. Prepoved rezanja pa je omogočila naseljevanje lesnih vrst, predvsem breze. Prišlo je do intenzivnega zaraščanja neporezanih šotnih površin, predvsem z brezo. Barjanske vrste (šotni mahovi, okroglostna rosika, dlakava mahovnica, bela kljunka) so zaradi premajhne konkurenčnosti in zaradi zasenčenja skoraj v celoti propadle.

Goriški mah je bil z jarki še pred desetletjem najbogatejše rastišče ombrotrofnih vrst na Ljubljanskem barju. Opustitev nekdanje rabe teh površin in posledično zaraščanje resave z brezo ter naravno zaraščanje jarkov so povzročili množično zmanjšanje barjanskih vrst.

Barje Mali plac se je zaradi izkopa jarka zaraščalo z brezo in rdečim borom. Porodila se je zamisel, da bi z dvigom vode v podlagi upočasnili oz. proces zaraščanja. Leta 1993 so s spremembo odtoka močno dvignili gladino vode in poplavlili dve tretjini barja. Na najglobljih mestih je bila voda globoka skoraj 1 m. V komaj šestih letih od poplavljenja je visoko/prehodno barje Mali plac kot vrsta barjanskega ekosistema propadlo. Propadli so nožničavi munec, ki je s tem izumrl na Ljubljanskem barju, rožmarinka, okroglostna rosika, več vrst mahov, verjetno tudi barska vijolica (Martinčič, 2003). Nauk te zgodbe je, da nestrokovno ljubiteljsko naravovarstvo naredi več škode kot koristi.

Na nekdanji zamočvirjeni površini barja, ki jo je po posegu prekrivala voda, so nastale nove združbe (togo šašje, kljunasto šašje, sestoji mlahavega ježka) in amfibijske vrste.

2.3.2.4 Jutri

Martinčič (2003) navaja, da je na Malem placu zopet vzpostavljen odprt odtok, »jezero« je odteklo. Nekaj ostalih barjanskih vrst je preživel. Predlaga, da bi z ustreznim uravnavanjem odtoka ohranili plitvo površinsko vodo in trenutno močvirsko oz. amfibijsko vegetacijo ter v višje jugovzhodnem delu nasadili barjanske vrste. Tako bi na 1,5 ha pričarali obiskovalcem ves rastlinski svet nekdanjega Ljubljanskega barja. Na Goriškem mahu pa bi naredili učno pot, s pomočjo katere bi skrbeli, da bi se v jarkih ohranil reven nadomestek barja.

2.4 PALEOLIMNOLOGIJA

Wetzel (2001) navaja, da so bile v preteklosti spremembe vodnih ekosistemov posledica sprememb klime; danes so predvsem posledica človeške aktivnosti. Te spremembe so vplivale na prispevna območja, zaloge vode, vsebnost hranil in produktivnost celinskih voda.

Jezera delujejo kot naravne pasti za usedline. Snov, ki vstopi, ali se proizvede v jezerskem ekosistemu, se usede na dno. Klimatske spremembe in spremembe, ki jih je povzročil človek so tako zabeležene v **jezerskih usedlinah**. Ti zapisi so statičen zapis dinamičnega ekosistema, ki se kratkoročno (sezonsko) in dolgoročno spreminja. Paleolimnologija razlaga zaporedje usedlin in procese, ki so vplivali na spremembe celinskih ekosistemov. Njen glavni cilj je razumevanje razmer v preteklosti, sprememb produktivnosti in regulacijskih dejavnikov, ki so povzročili, da je jezero prešlo iz ene stopnje produktivnosti v drugo. Z razumevanjem preteklosti lahko napovemo, kaj se bo dogajalo z jezerskim ekosistemom v prihodnosti.

K jezerskim usedlinam prispevajo zunanji in notranji viri snovi. **Alohtone snovi** prinese tok vode iz prispevnega območja ali pridejo iz zraka (listje, prah). **Avtohtone snovi** nastanejo iz materiala, ki se proizvede v jezeru (odmrli organska snov, kemične oborine kot so karbonati in silicijeve frustule kremenastih alg). Kopičenje organskih snovi v jezerskih usedlinah je posledica večje produkcije. Predpostavlja se, da stopnja organskega odlaganja predstavlja zapis produktivnosti v preteklosti. To temelji na predpostavki, da je bila stopnja razgradnje konstantna oziroma jo lahko ocenimo. Predpostavlja se tudi, da je večina organske snovi v jezerih avtohtonega izvora.

Večinski delež usedlin predstavlja mineralni detrit, katerega izvor je prispevnega območje. Ta delež naraste z zmanjševanjem velikosti in volumna jezera in je zelo visok v akumulacijah. Življenje in življenjski procesi so od teh mineralnih snovi odvisni. Usedline torej omogočajo delni zapis življenja v jezeru ter značilnosti kemičnih in biogenih snovi prispevnega območja. Nekatere spremembe v prispevnem območju npr. mineralna sestava, biotične posebnosti, vsebnost in vrsta peloda se odražajo v usedlinah in so lahko zelo uporabni. Na primer klimatske spremembe lahko ugotavljamo neposredno iz sprememb rudninskih snovi ali posredno iz sprememb pelodnih ostankov kopenskih rastlin v jezerskih usedlinah. To je pomembno za interpretacijo razmer v okolju.

Fosilni zapis v usedlinah vključuje morfološke ostanke specifičnih organizmov, različne snovi, ki jih proizvajajo organizmi, lahko pa tudi razgradnje produkte.

Sestava usedlin je odvisna od geomorfologije jezerske kotanje in geologije prispevnega območja. Čeprav so se mnoga jezera izoblikovala v intervalih med ledenimi in medledenimi dobami, so večino jezer iz zgodnjih ledenih dob zapolnili nanosi ledenikov ali so se izsušila. Številna današnja jezera so nastala kot posledica zadnje ledene dobe. Obstajajo tudi izjeme in sicer zelo stara jezera, na primer v razpokah v Afriki in Aziji, večina jezer pa je mlajših od 20.000 let.

Regionalna geologija in klima določajo primarne usedline, ki jih spreminjajo biološki procesi prispevnega območja in procesi v jezeru. Gibanje vode kot so valovi in tokovi razvrščajo delce snovi glede na njihovo velikost in kinetično energijo potrebno za premeščanje. Trije glavni procesi, ki vplivajo na transport delcev v osrednjo depresijo jezerske kotanje so:

- a) obrobno valovanje, ki povzroča turbulenco in mešanje usedlin v litoralu jezera, ki se zato odložijo v globljih plasteh,
- b) jesensko premešanje po poletni stratifikaciji in
- c) polzenje usedlin zaradi tokov iz plitvin v globljo vodo.

Malo usedlin se akumulira na strmem pobočju $> 14 \%$, na $< 4 \%$ pa ima polzenje manjši vpliv. Morfologija jezerske kotanje določa prevladujoč proces v razporejanju usedlin. Posledica tega je gradient od grobih delcev blizu obale do finih delcev usedlin v globlji vodi. Ta gradient določajo različni mehanizmi, ki so povezani z morfologijo jezerske kotanje. Na primer, odlaganje usedlin v litoralu ali deltah rek se povečuje toliko časa, dokler ne postanejo gravitacijsko nestabilne in spolzijo globlje v kotanjo, kjer jih prekrijejo fine usedline, mlajše po nastanku.

2.4.1 Biološki indikatorji

Wetzel (2001) navaja, da ima paleolimnologija dolgo zgodovino, ki se je začela z analizami ostankov vodnih in kopenskih organizmov. Ohranjanje odmrlih organizmov v usedlinah je nepopolno in odvisno od tipa organizma ter dejavnikov okolja v času sedimentacije. Prevladujejo pelod in spore kopenskih rastlin, frustule kremenastih alg (Diatomeae), ciste bičkastih zlatorjavih alg (Chrysomonadales), spikule spužv družine Spongolidae idr. Ostanki nekaterih drugih skupin alg se tudi lahko pojavijo, vendar večinoma niso reprezentativne. Cladocera (vodne bolhe) in Chironomidae (trzače) so najbolj pogoste in raznovrstne med živalskimi ostanki. Številne ostanke lahko določimo do vrst, posebej kremenaste alge (Diatomeae), lepotke (Desmidiaceae), vodne bolhe (Daphnidae), dvoklopnike (Ostracoda) in hrošče (Coleoptera). Kadar so v vodi le določeni

stadiji življenjskega cikla (npr. ciste bičkastih zlatorjavih alg ali trpežna jajca kotačnikov – Rotatoria) živali, je določanje zelo težavno in največkrat mogoče le do rodu ali družine.

Dominantni organizmi, ki jih najdemo v usedlinah lahko pripadajo litoral ali pelagialu jezera. Ostanke obalnih organizmov lahko premeščajo valovi in tokovi, ki se razlikujejo glede na značilnosti prispevnega območja in jezerske kotanje.

Rastline proizvajajo pelod in spore v velikih količinah, vendar jih le nekaj izpolni njihovo razmnoževalno vlogo. Večina pelodnih zrn ima zaščitno plast (eksina) in so odporna na razkroj v okolju brez kisika, npr. v usedlinah večine stoječih voda. Taksonomija peloda večinoma temelji na strukturi zaščitne plasti, katere zgradba je relativno dobro poznana za rastline mnogih predelov sveta. Pelod je relativno pogost v usedlinah, zato rabimo za analizo manjšo količino usedlin. Če poznamo starost vzorca usedline (določimo jo z različnimi datacijskimi tehnikami) v katerem je pelod, lahko sklepamo na vegetacijo v in okoli jezera v preteklosti. Na podlagi tega lahko sklepamo, kako se je spreminjala vegetacija prispevnega območja skozi čas.

Paleopalinologija ali pelodna analiza temelji na dejstvu, da se cvetni prah vsako leto ob cvetenju rastlin razprši po zraku in se potem kot »pelodni dež« useda na zemljo, na jezera in močvirja. Tu se useda skupaj z drugimi usedlinami na dno, kjer se v anoksičnih razmerah ohrani neomejeno dolgo. Čeprav je zunanja stena pelodnega zrna debela komaj nekaj tisočink milimetra, se tako dobro ohrani, da ostane zrno razpoznavno deset tisoč in milijone let (Šercelj, 1974).

2.5 KREMENASTE ALGE

Vrstno pestra in številčna skupina alg fitoplanktona so kremenaste alge ali diatomeje. Mnoge vrste so pritrjene in vezane na litoral. Skupna značilnost je celična stena (frustula) iz silicijevega dioksida, ki varuje protoplazemski del celice. Živijo posamič (solitarno) ali se celice povežejo v različno oblikovane kolonije. Delimo jih na radialno somerne Centrales in na dvobočno somerne Pennales. Frustula je sestavljena iz pokrovčkom podobnih valv, ki se prilegajo ena drugi. Struktura silicijevih celičnih sten je pomemben taksonomski znak (Wetzel, 2001).

Jogan (2001) navaja, da frustulo imenujemo tudi teka, ki jo sestavljata večja epiteka in manjša hipoteka. Ravna površina teke se imenuje valva, ukrivljen bočni rob pa plevra (cingulum).

Wetzel (2001) navaja, da imajo valve dvobočno somernih kremenastih alg Pennales različne odebelitve in razširitve. Nekatere vrste imajo žleb – rafo, ki poteka čez celo celično steno ali le preko njenega dela, druge pa imajo udrtino v osnem delu celične stene – psevdorafo. Poznamo štiri glavne skupine dvobočno somernih kremenastih alg Pennales, ki se razlikujejo na podlagi strukture in niso nujno monofiletske:

- a) Araphidineae imajo pseudorafo (*Asterionella*, *Diatoma*, *Fragilaria* in *Synedra*),
- b) Raphidioidineae z okrnjeno rafo na koncih celice (*Actinella*, *Eunotia*),
- c) Monoraphidineae, ki imajo rafo na eni valvi, na drugi pa psevdorafo (*Achnanthes* in *Cocconeis*) in
- d) Biraphidineae z rafo na obeh valvah (*Amphora*, *Cymbella*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia* in *Surirella*).

Kremenaste alge se najpogosteje razmnožujejo vegetativno s celično delitvijo, ponavadi ponoči. Spolno se razmnožujejo periodično po ponavljajočih delitvah, ko celice dosežejo minimalno kritično velikost, to je 30 – 40 % maksimalne velikosti. Spolno razmnoževanje inducirajo tudi vrstno specifične razmere v okolju, ki so kombinacija svetlobe, temperature, hranil, kovin v sledih, organskih rastnih dejavnikov in osmolarnosti. Po spolnem razmnoževanju imajo celice ponovno maksimalno velikost. Dvobočno somerne kremenaste alge Pennales se razmnožujejo z izogamijo z ameboidnimi gametami, medtem ko se radialno somerne Centrales razmnožujejo z oogamijo. Po združitvi dveh gamet se razvije avksospora, ki se deli takoj ali pa preživi obdobje mirovanja.

Diatomeje asimilirajo velike količine silicija in znatno vplivajo na silicijev cikel v jezerih in rekah, (Wetzel, 2001). So indikatorji okoljskih razmer v vodnih ekosistemih. Pomembnost kremenastih alg temelji na njihovi vlogi v prehranjevalni verigi, sodelujejo pri bioegenem prezračevanju površinskih vod in v biogeokemijskih ciklih. Kot ena najbolj vrstno bogatih komponent v vodotokih so kremenaste alge pomemben element biodiverzitete in genetskega materiala, ker se neposredno odzovejo na mnoge fizikalne, kemijske in biološke spremembe v vodnih ekosistemih kot so temperatura, koncentracija hranil in herbivorija (Stevenson & Pan, 1999).

2.5.1 Kremenaste alge kot paleolimnološki indikatorji

Najbolj pogosti in večinoma dobro ohranjeni mikrofosili alg so silicijeve frustule diatomej (Canter-Lund & Lund, 1995). Zaradi tega so uporabni paleolimnološki indikatorji. Veliko njihovih ostankov je dobro ohranjenih in lahko na podlagi morfologije frustul določimo vrstno sestavo. Poleg tega je poznana fiziologija in ekologija mnogih vrst, kar omogoča

rekonstrukcijo verjetnih jezerskih razmer v preteklosti in oceno preteklih združb kremenastih alg (Wetzel, 2001).

Wetzel (2001) navaja, da so kremenaste alge zelo uporabne za ugotavljanje sprememb okolja. Hitro se odzivajo na spremembe življenjskih razmer, še posebej kemičnega stanja. Raznovrstne združbe kremenastih alg zato vsebujejo veliko ekoloških informacij. Z identifikacijo sprememb vrstne sestave alg v usedlinah lahko ugotavljamo spremembe, ki so bile posledica eutrofikacije jezera, kislosti ali klimatskih sprememb.

Na splošno velja, da so radialno somerne kremenaste alge (Centrales) vezane bolj na oligotrofne vode, medtem ko planktonske radialno somerne (Pennales) najdemo v bolj eutrofnih vodah. Iz razmerja teh dveh indikatorskih skupin kremenastih alg v usedlinah lahko interpretiramo kronologijo pozitivnih in negativnih sprememb produktivnosti.

Povečano razmerje Araphidinae (*Fragilaria*, *Asterionella* in *Synedra*): Centrales (A/C) se je izkazalo kot dober indikator eutrofnosti jezer. Vendar omenjeno povečano razmerje A/C ni univerzalno in je značilno samo za jezera z zmerno vsebnostjo skupnega fosforja in nizko alkalnostjo. Poleg tega lahko v jezerih, kjer se populacije vrst *Araphidinae* (npr. *Fragilaria*) povečajo kot odgovor na naselitev ljudi in povečan vnos hranil, nekatere radialno somerne kremenaste alge (*Stephanodiscus*, *Aulacoseira*) narastejo še bolj.

Na sedimentacijo kremenastih alg v jezerih vplivajo tudi vsebnosti različnih snovi v vodi. Relativno malo povečanje fosforja lahko poveča produkcijo kremenastih alg in sedimentacije, kar končno povzroči redukcijo silicija in njegova vsebnost posledično določa produkcijo kremenastih alg.

Kljub vsemu pa Wetzel (2001) navaja, da je natančnost rekonstrukcije preteklih združb le na podlagi kremenastih alg v usedlinah vprašljiva zaradi različnega raztapljanja frustul med sedimentacijo in po njej. Nekaj raziskav na to temo si je nasprotujočih, vendar je jasno, da se stopnje raztapljanja razlikujejo med posameznimi jezerskimi sistemi v odvisnosti od njihove kemijske in morfometrične preteklosti. Ugotovili so na primer, da se frustule, ki se sedimentirajo v litoralni in plitvi profundalni coni, bolj raztapljajo kot tiste, ki se sedimentirajo v globoki profundalni coni. Pod rahlo kislimi pogoji, kakršni so v hipolimniju nekaterih meromiktičnih jezer, se frustule kremenastih alg bolj raztapljajo kot v sedimentih z višjim pH-jem.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 VZORČNO MESTO IN VZORČENJE

Mesto vrtine »Na mahu 1« ($45^{\circ}58'45''$ S, $14^{\circ}32'36''$ V) se nahaja 8 km južno od Ljubljane, v vzhodnem delu Ljubljanskega barja.

Vrtino »Na mahu 1« so izvrtali maja 2003 z Livingstonovim batnim vrtalnikom (prilagojenim po Streifu), povezanim z električnim kladivom Makita HM 1800 in prenosnim generatorjem. Vzorce so odvzeli iz vrtine na terenu, jih zavili v tanko aluminijasto folijo in debelo plastično ponjavo ter jih shranili v temi pri 4°C .



Slika 2. Vzorčno mesto »Na mahu 1«: vrtanje vrtine z Livingstonovim batnim vrtalnikom.

3.2 ANALIZA VZORCEV Z INVERTNIM SVETLOBNIM MIKROSKOPOM

3.2.1 Priprava kremenastih alg za mikroskopiranje z invertnim svetlobnim mikroskopom

Iz vrtine barjanskih sedimentov, izvrtane do globine 7 m, smo vzeli 60 vzorcev s prostornino 1 cm^3 iz različnih delov, ki predstavljajo različne globine (slika 3, preglednica 2). Te smo raztopili v 10 ml vode in jih shranili v epruvetah.



Slika 3. Del vrtine »Na mahu 1«: odvzem vzorcev s prostornino 1 cm^3 .

Preglednica 2. Globine, s katerih so bili vzeti vzorci za mikroskopski pregled usedline na lokaciji »Na mahu 1«. V praznih vzorcih ni bilo kremenastih alg.«

Prazni vzorci	Kvantitativno obdelani vzorci					
0	112	192	288	368	456	600
40	120	216	296	376	464	610
48	128	224	304	384	472	640
72	136	232	312	400	480	650
104	144	240	320	408	488	
528	152	248	328	416	492	
	160	256	336	424	512	
	168	264	344	432	544	
	176	272	352	440	560	
	184	280	360	448	576	

Pripravili smo trajne preparate: na objektno stekelce smo odpipetirali $50\text{ }\mu\text{L}$ vzorca, ga sušili v sušilniku pri $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ približno 10 min, dodali kapljico evaprola ter prekrili s krovnim stekelcem. $50\text{ }\mu\text{L}$ vzorca tako predstavlja 1 podvzorec. Naredili smo 4 podvzorci

za posamezen vzorec, da smo lahko izbrali najbolj kvaliteten podvzorec za določanje in štetje kremenastih alg.

3.2.2 Kvantitativna ocena združbe kremenastih alg

S pregledom pod invertnim svetlobnim mikroskopom pri 1000 x povečavi smo določili osnovno taksonomsko sestavo kremenastih alg v posameznih podvzorcih. Značilne taksone smo fotografirali.

V vsakem podvzorcu smo nato prešteli in določili 500 alg. Uporabljali smo ključne za določanje kremenastih alg (Krammer & Lange-Bertalog, 1988). Iz dobljenih podatkov smo izračunali deleže posameznih vrst v podvzorcu s programom Microsoft Excel. Tako smo določili relativno pogostost posameznih vrst. Izrisali smo diagrame relativne pogostosti vrst (slike 6, 7 in 8) po posameznih globinah s pomočjo programov: Microsoft Excel, Psimpoll 3.0, UltraEdit-32 in Ghostscript. Ti diagrami vključujejo podatke o starosti vzorcev, ki temeljijo na radiokarbonskih datacijah ter prikazujejo strukturo sedimenta.

Vzorci vrstine smo razdelili na 5 plasti (N – 1 do N – 5) na podlagi pelodnih analiz. Te plasti kažejo na spremembo klime v različnih obdobjih v preteklosti. Večinoma se plasti usedlin ujemajo tudi s spremembami trofije vodnega okolja, ki smo jo določili na osnovi ekoloških značilnosti dominantnih kremenastih alg in s trofičnim indeksom.

Vzorci iz plasti N – 1 so stari približno 10.700 do 9000 let, torej spadajo v začetek holocena, v preboreal, ko je otoplitev omogočala rast hrastovo – leskovim gozdovom (Gaister, 1995), (preglednica 1).

Plast N – 2 zajema vzorce stare približno 9000 do 8700 let in spadajo v boreal (Gaister, 1995), (preglednica 1).

V obdobje pred približno 8700 do 6800 leti smo uvrstili plast N – 3. Takrat je toplo in suho podnebje (Gaister, 1995) omogočalo rast bukve (Gaister, 1995 in Šercelj, 1963), (preglednica 1).

N – 4 obsega vzorce stare približno 6800 do 5600 let, ki spadajo v atlantik, ko je topla in vlažna klima omogočala rast jelke (Gaister, 1995 in Šercelj, 1963), (preglednica 1).

Plast N – 5 predstavljajo vzorci mlajši od 5800 let. Kremenaste alge smo našli samo v najstarejših vzorcih te plasti, torej še v obdobju atlantika.

3.3 ANALIZA VZORCEV Z VRSTIČNIM ELEKTRONSKIM MIKROSKOPOM

3.3.1 Priprava kremenastih alg za mikroskopiranje z vrstičnim elektronskim mikroskopom

Vodno suspenzijo kremenastih alg smo centrifugirali 10 min pri 4000 obratih. Odlili smo supernatant in preleili vsebino z 2 mL koncentrirane solitrne kisline (HNO_3). Vzorec smo nato segrevali v digestoriju toliko časa, da so začele izhajati bele pare. Po ohladitvi smo preostanek dvakrat sprali z destilirano vodo.

Za mikroskopiranje smo vzorec najprej dehidrirali v alkoholni vrsti (70, 80, 90, 100 % etanol). Nato smo vzorec prevedli v aceton. Kapljico acetonske suspenzije smo nanegli na nosilec za mikroskopiranje in vzorec posušili na zraku. Preparate smo naprašili z zlatom. Tako pripravljena vzorca smo mikroskopirali z vrstičnim elektronskim mikroskopom JEOL 840 A.

3.3.2 Uporaba vrstične elektronske mikroskopije za analizo kremenastih alg v vzorcih

Z vrstičnim elektronskim mikroskopom smo pregledovali značilne vrste ter tiste, ki so premajhne za korektno taksonomsko določitev s svetlobnim mikroskopom. Te smo določili s pomočjo ključev za določanje kremenastih alg (Krammer & Lange-Bertalog, 1988).

3.4 STATISTIČNA ANALIZA PODVZORCEV

Izračunali smo relativno pogostost vrst v posameznih podvzorcih in izrisali diagrame (slike 6, 7 in 8). Analizirali smo odvisnost števila vrst v podvzorcu od števila preštetihi frustul v podvzorcu (sliki 4 in 5). Izračunali smo trofične diatomejske indekse vzorcev in izrisali diagram. Primerjali smo združbe kremenastih alg v podvzorcih z Bray-Curtisovim indeksom podobnosti in izrisali dendrogram podobnosti.

3.4.1 Izračun relativne pogostosti vrst v vzorcih

V posameznem podvzorcu smo prešteli in določili 500 frustul. Izračunali smo deleže posameznih vrst v podvzorcu in jih izrazili v odstotkih po enačbi:

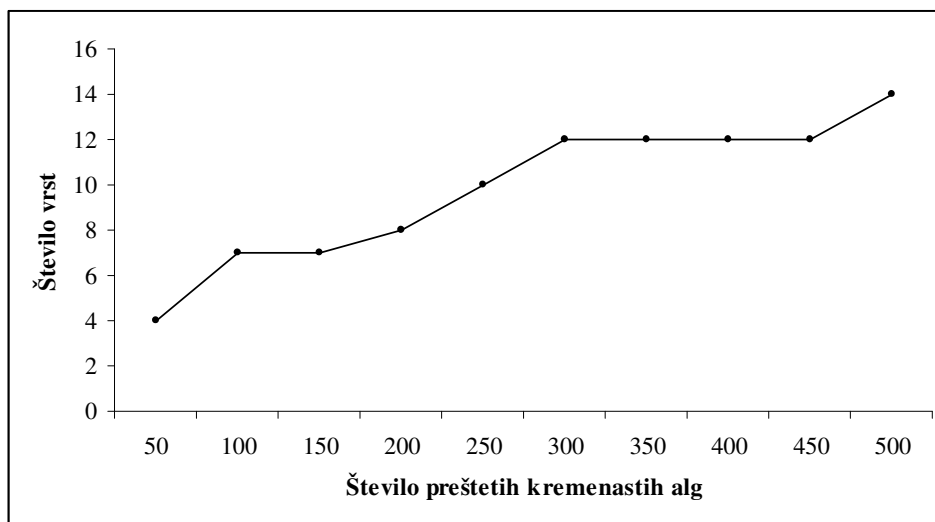
$$A_i = \frac{n_i}{500} \times 100 \quad \dots(1)$$

A_i – relativna pogostost vrste i v podvzorcu

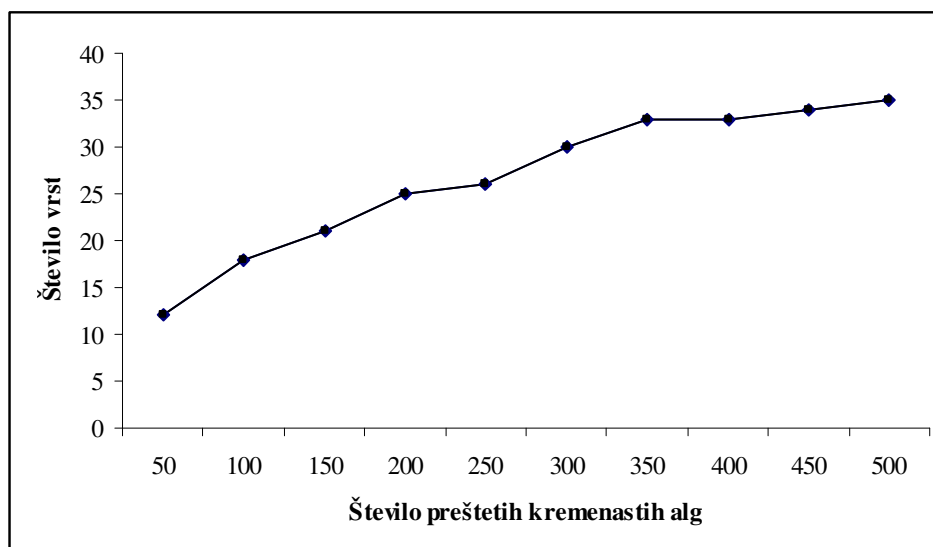
n_i – število osebkov vrste i v podvzorcu

3.4.2 Odvisnost števila vrst v podvzorcu od števila prešteti kremenastih alg

Zanimalo nas je, kako narašča število identificiranih vrst v podvzorcu v odvisnosti od prešteti frustul v podvzorcu. Primerjali smo podvzorec z manjšim in večjim številom vrst (sliki 4 in 5). Prešteli in določili smo 50 frustul in zabeležili število vrst. Postopek smo ponovili pri 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 in 500 prešteti frustul v podvzorcu.



Slika 4. Podvzorec z manjšim številom vrst: naraščanje števila vrst v odvisnosti od števila prešteti kremenastih alg v podvzorcu.



Slika 5. Vzorec z večjim številom vrst: naraščanje števila določenih vrst v odvisnosti od števila prešteti kremenasti alg v podvzorcu.

Iz primerjave slik 4 in 5 smo ugotovili, da število vrst v podvzorcu najbolj narašča do 350 prešteti frustul v podvzorcu, nato naraščanje pojenja. V podvzorcu z manjšim številom vrst smo določili 4 nove vrste v drugi polovici štetja frustul (od 250 do 500), v podvzorcu z večjim številom vrst je bila razlika večja. Če bi v podvzorcu z večjim številom vrst prešteli samo 250 frustul, ne bi upoštevali 10 vrst.

3.4.3 Trofični diatomejski indeks

Indeks za monitoring trofičnega stanja rek temelji na združbi kremenasti alg (trofični diatomejski indeks, TDI). Izbrali so 86 taksonov glede na njihovo indikatorsko vrednost in enostavnost identifikacije. Testirali so ga na 70 vzorčnih mestih, kjer ni bilo pomembnejšega organskega onesnaženja in ugotovili, da je uporabljeni indeks bolj povezan s koncentracijo fosforja v vodi kot drugi diatomejski indeksi (Kelly & Whitton, 1995).

Čeprav večina avtorjev navaja, da lahko uporabljamo TDI le za tekoče vode, Taylor & Francis (2004) navajata, da je Rottov trofični diatomejski indeks najprimernejši za alpska jezera.

Indikatorske in trofične vrednosti za posamezno vrsto kremnasti alg ter enačbo za izračun trofičnega diatomejskega indeksa smo povzeli iz: Intruction Protocol for the ecological Assessment of Running Waters for Implementation of the EU Water Framework Directive: Macrophytes and Phytobenthos (Schaumburg in sod., 2005) ter Instruction Protocol for the

ecological Assessment of Lakes for Implementation of the EU Water Framework Directive: Macrophytes and Phytobenthos (Schaumburg in sod., 2005).

Vrednosti trofičnega diatomejskega indeksa, ki določajo stopnjo trofije (preglednica 3) smo povzeli po avstrijskem trofičnem diatomejskem indeksu (Rott in sod., 1999).

$$TI = \frac{\sum_{i=1}^n TW_i \times G_i \times H_i}{\sum_{i=1}^n G_i \times H_i} \quad \dots(2)$$

TI – trofični diatomejski indeks

TW_i – trofična vrednost za vrsto i

G_i – indikatorska vrednost za vrsto i

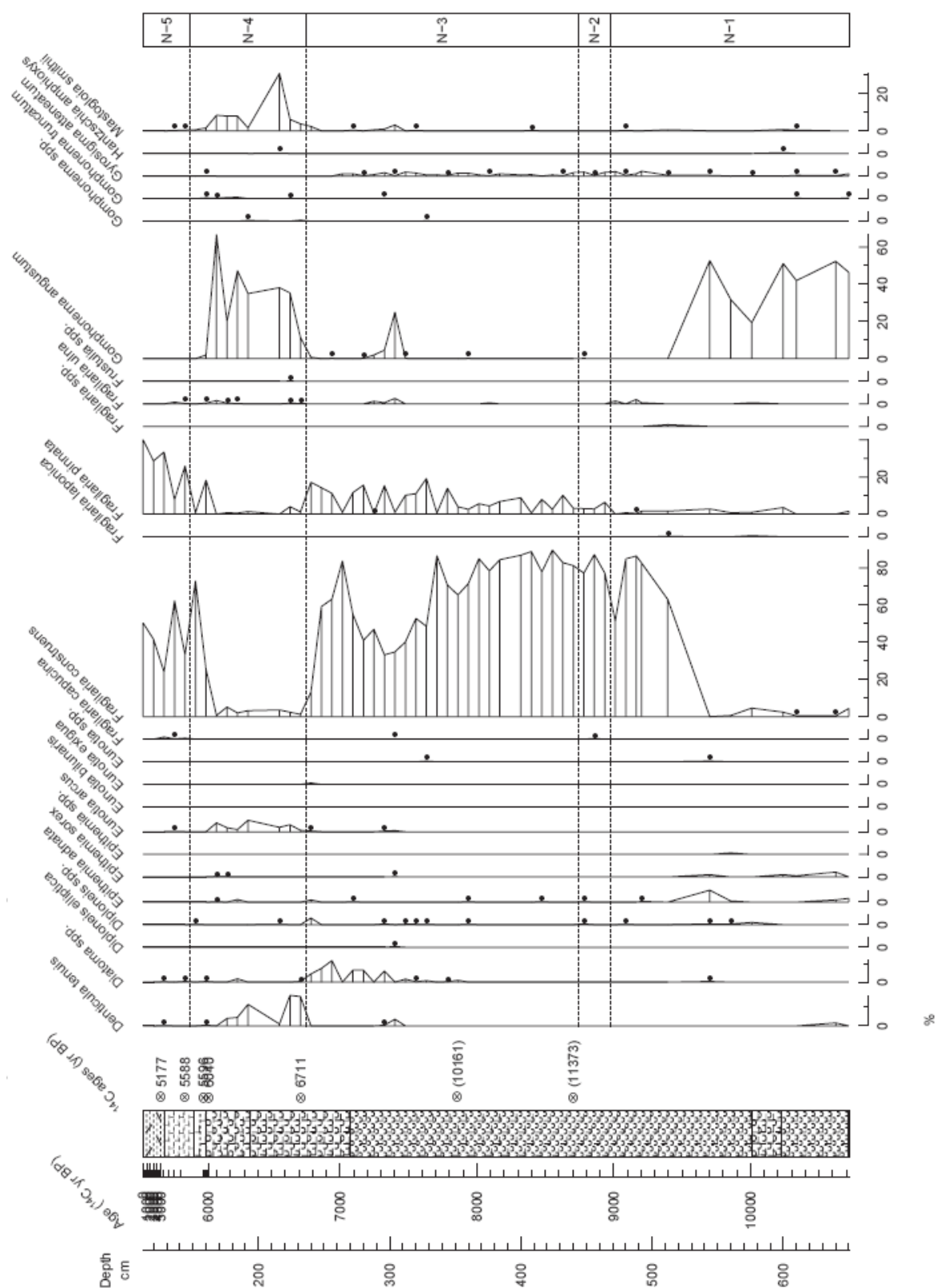
H_i – relativni delež vrste i v vzorcu

Preglednica 3. Določitev stopnje trofije vodnega telesa na podlagi izračunanega trofičnega diatomejskega indeksa (TDI) (Rott in sod., 1999)

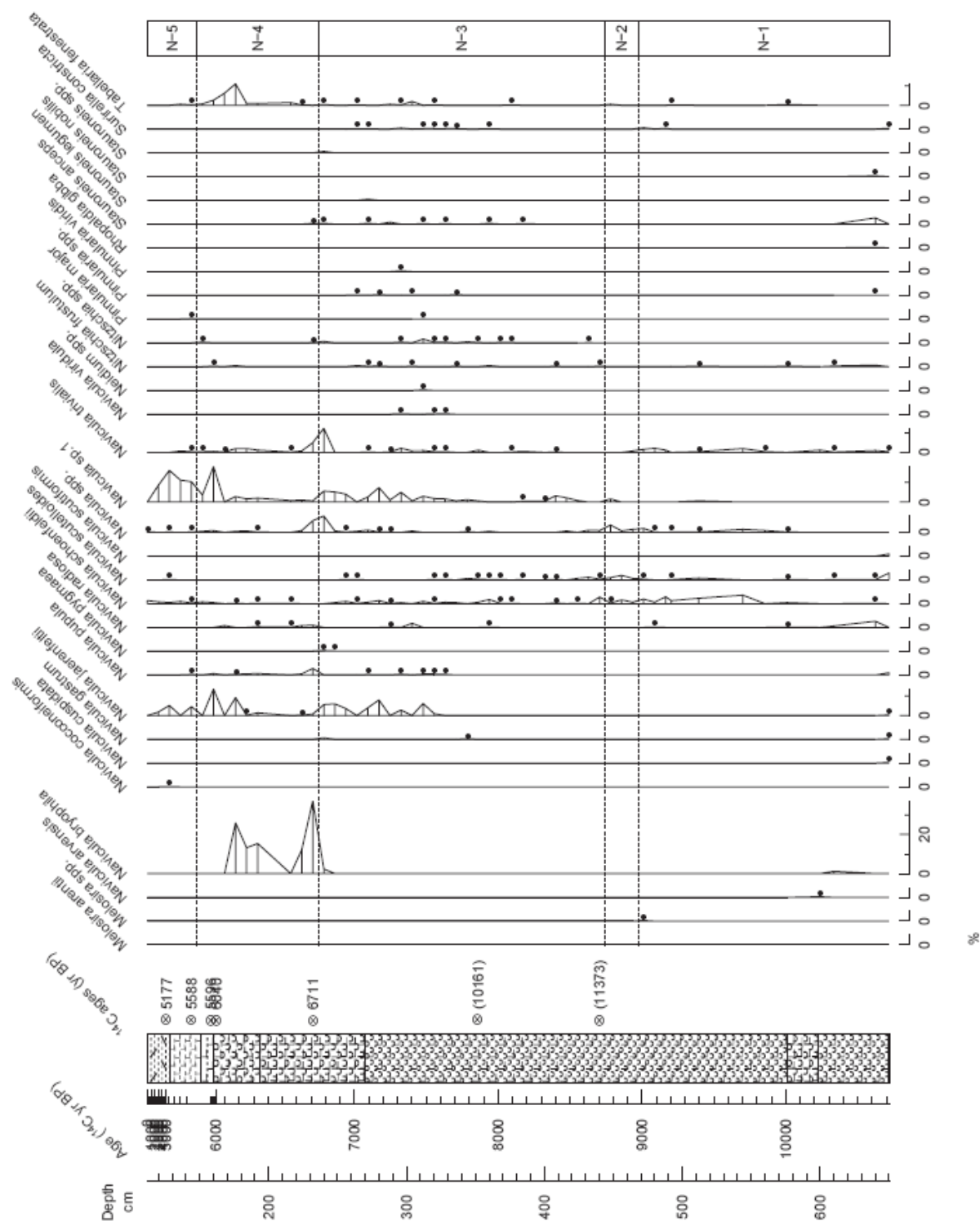
Trofični indeks	Stopnja trofije	Skupni letni fosfor (mg/L)	Ekstremne vrednosti skupnega letnega fosforja (mg/L)
$\leq 1,0$	Ultraoligotrofno	$< 0,005$	$< 0,010$
1,1 – 1,3	Oligotrofno	$< 0,010$	$< 0,020$
1,4 – 1,5	Oligo-mezotrofno	0,010 – 0,020	$< 0,050$
1,6 – 1,8	Mezotrofno	$< 0,030$	$< 0,100$
1,9 – 2,2	Mezo-evtrofno	0,030 – 0,050	$< 0,150$
2,3 – 2,6	Evtrofno	0,030 – 0,100	$< 0,250$
2,7 – 3,1	Ev-politrofno	$> 0,100$	$> 0,250$
3,2 – 3,4	Politrofno	0,250 – 0,650	$> 0,650$
$> 3,5$	Poli-hipertrofno	$> 0,650$	$> 0,650$

3.4.4 Klasterska analiza združb kremenastih alg

Združbe kremenastih alg v posameznih vzorcih smo primerjali na osnovi Bray-Curtisovega indeksa podobnosti in izrisali dendrogram podobnosti. Primerjava združb temelji na relativni pogostosti posameznih vrst.



Slika 7. Deleži kremenastih alg v odstotkih v usedlinah »Na mahu 1« po globinah upoštevajoč vrste po abecednem redu od *Denticula tenuis* do *Mastogloia smithii*.



Slika 8. Deleži kremenastih alg v odstotkih v usedlinah »Na mahu 1« po globinah upoštevajoč vrste po abecednem redu od *Melosira arentii* do *Tabelaria fenestrata*.

Slike 6, 7 in 8 prikazujejo deleže kremenastih alg v odstotkih v usedlinah »Na mahu 1«.

Vrtino smo razdelili na 5 plasti (od N – 1 do N – 5) na podlagi pelodnih analiz. Te plasti kažejo na spremembo klime v različnih obdobjih v preteklosti.

V plasti N – 1 prevladuje 5 vrst kremenastih alg: *Gomphonema angustum*, *Fragilaria construens*, *Aulacoseira italica*, *Cyclotella ocellata* in *Cyclotella radiosa*.

Vrsta *Fragilaria construens* prevladuje v podvzorcih iz plasti N – 2, pojavi se vrsta *Fragilaria pinnata*.

Vrsta *Fragilaria construens* prevladuje tudi v plasti N – 3, njen delež nekoliko upade v vzorcih od pred približno 7.600 do 7.100 leti (slika 7) oziroma v vzorcih od globine 272 do 312 cm (preglednica 2). Z večjim deležem so v vzorcih plasti N – 3 zastopane še vrste *Fragilaria pinnata*, *Aulacoseira italica* in *Navicula jaerenfeldii*.

Iz slik 6, 7 in 8 lahko razberemo, da je v plasti N – 4 prišlo do znatnih sprememb v sestavi dominantnih vrst kremenastih alg. Deleži vrst *Fragilaria construens*, *Fragilaria pinnata* in *Aulacoseira italica* močno upadejo. V plasti N – 4 prevladuje bentična vrsta *Gomphonema angustum*. Pojavijo se nekatere nove vrste v malo večjem deležu: *Cymbella affinis*, *Cymbella silesiaca*, *Denticula tenuis*, *Mastogloia smithii* in *Navicula bryophila*.

V plasti N – 5 pride ponovno do spremembe, saj prevladujeta vrsti *Fragilaria construens* in *Fragilaria pinnata*.

V najmlajših vzorcih ni bilo kremenastih alg.

4.2 EKOLOŠKE ZNAČILNOSTI DOMINANTNIH VRST KREMENASTIH ALG

Ekološke značilnosti dominantnih kremenastih alg v vzorcih vrtine »Na mahu 1« smo strnili v preglednice od 4 do 15 iz treh virov (van Dam in sod., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003).

Aulacoseira italica

Preglednica 4. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste *Aulacoseira italica* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

pH	cirkumneutralno, pH ~ 7
Cl⁻ (mg/L)	< 500
Slanost (‰)	< 0,9
Metabolizem dušika	N - avtotrofi, tolerirajo povišane koncentracije organskega dušika
Potreba po kisiku	> 75% nasičenost
Saprobnost	β - mezosaprob, II. kakovostni razred, 70 – 85 % nasičenost s kisikom
Stopnja trofije	mezo - evtrofno
Vlažnost	večinoma v vodnih telesih, redno tudi na mokrih in vlažnih prostorih
Razširjenost, habitat	kozmpolit, v litoralu +/- evtrofnih jarkov, ribnikov, jezer in v tekočih vodah, tudi na vlažnih mestih, veliko v fosilnem materialu; planktonska



Slika 9. *Aulacoseira italica*, fotografija pri 1000 x povečavi

Aulacoseira italica je planktonska vrsta (Hemphill – Haley & Lewis, 2003), čeprav lahko v literaturi tudi zasledimo opise, da je litoralna vrsta (Kramer & Lange-Bertalog, 1988), ki jo najdemo v bolj ali manj evtrofnih jarkih, ribnikih, bajerjih, velikih lužah, jezerih, pa tudi v počasi tekočih vodah.

Cyclotella ocellata

Preglednica 5. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste *Cyclotella ocellata* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

pH	alkalofil, pH > 7
Cl⁻ (mg/L)	< 100
Slanost (‰)	< 0,2
Metabolizem dušika	N - avtotrofi, tolerirajo zelo nizke koncentracije organskega dušika
Potreba po kisiku	~ 100 % nasičenost
Saprobnost	oligosaprobnna, I. ter I. – II. kakovostni razred, > 85 % nasičenost s kisikom
Stopnja trofije	mezo - evtrofno
Vlažnost	nikoli oz. zelo redko izven vodnih teles
Razširjenost, habitat	kozmpolit, v litoralju stojećih vod, ampak tudi v tekoćih vodah; planktonska

Cyclotella ocellata je planktonska vrsta (Hemphill – Haley & Lewis, 2003), ćprav Kramer in Lange-Bertalog (1988) navajata, da je litoralna vrsta v stojećih vodah, ki jo najdemo tudi v tekoćih vodah. Najdemo jo v mezo-evtrofnih in oligosaprobnih vodnih telesih.

Cyclotella radiosa

Preglednica 6. Povzetek ekoloćkih zahtev dominantne vrste *Cyclotella radiosa* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

pH	alkalofil, pH > 7
Cl⁻ (mg/L)	< 500
Slanost (‰)	< 0,9
Metabolizem dušika	N - avtotrofi, tolerirajo zelo nizke koncentracije organskega dušika
Potreba po kisiku	> 75 % nasićenost
Saprobnost	β-mezosaprobnna, II. kakovostni razred, 70 – 85 % nasićenost s kisikom
Stopnja trofije	evtrofno
Vlažnost	nikoli oz. zelo redko izven vodnih teles
Razširjenost, habitat	kozmpolit, v pelagialu, pogosto v evtrofnih vodah; planktonska

Cyclotella radiosa je planktonska vrsta (Hemphill – Haley & Lewis, 2003), ki je pogosta v pelagialu evtrofnih vod (Kramer & Lange – Bertalog, 1988). Najdemo jo tudi v β-mezosaprobnih in evtrofnih vodah (van Dam et. al., 1994).

Cymbella affinis

Preglednica 7. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste *Cymbella affinis* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

pH	alkalofil, pH > 7
Cl⁻ (mg/L)	< 500
Slanost (‰)	< 0,9
Metabolizem dušika	N - avtotrofi, tolerirajo zelo nizke koncentracije organskega dušika
Potreba po kisiku	~ 100 % nasičenost
Saprobnost	β-mezosaprobna, II. kakovostni razred, 70 – 85 % nasičenost s kisikom
Stopnja trofije	evtrofno
Vlažnost	večinoma v vodnih telesih, včasih na mokrih mestih
Razširjenost, habitat	kozmpolit, v litoralu kot epiliton (pritrjene na skalah, kamnih, prodnikih) in epifiton (pritrjene na rastlinah), v stoječih in tekočih vodah; bentična

Cymbella affinis je bentična vrsta, ki jo najdemo v litoralu kot epilitsko vrsto (pritrjena na skalah, kamnih, prodnikih) in epifitsko (pritrjena na rastlinah) v stoječih in tekočih vodah (Kramer & Lange-Bertalog, 1988). Nahaja se v β-mezosaprobnih in evtrofnih vodah, včasih tudi na mokrih mestih, večinoma pa v vodnih telesih.

Cymbella silesiaca

Preglednica 8. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste *Cymbella silesiaca* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

pH	cirkumneutralno, pH ~ 7
Cl⁻ (mg/L)	< 500
Slanost (‰)	< 0,9
Metabolizem dušika	N - avtotrofi, tolerirajo povišane koncentracije organskega dušika
Potreba po kisiku	> 50 % nasičenost
Saprobnost	α - mezosaprobna, III. kakovostni razred, 25 – 70 % nasičenost s kisikom
Stopnja trofije	oligo - evtrofno
Vlažnost	nikoli oz. zelo redko izven vodnih teles
Razširjenost, habitat	kozmpolit, v stoječih in tekočih oligotrofnih do evtrofnih vodah; bentična

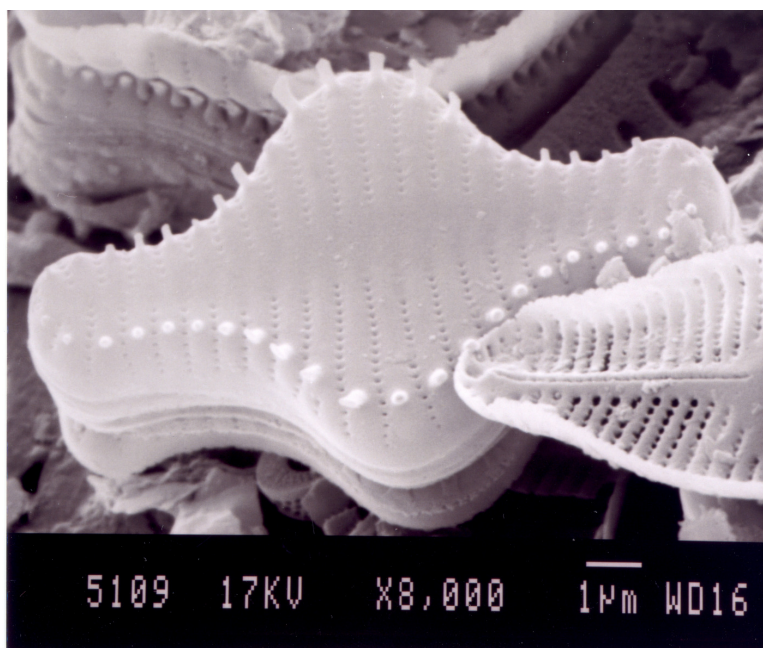
Cymbella silesiaca je bentična vrsta kremenastih alg, ki živi tako v stoječih kot tudi tekočih vodah. Nikoli ni, oziroma je zelo redko izven vodnih teles v α-mezosaprobni in oligo-evtrofni vodi.

Fragilaria construens

Preglednica 9. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste *Fragilaria construens* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

pH	alkalofil, pH > 7
Cl⁻ (mg/L)	< 500
Slanost (‰)	< 0,9
Metabolizem dušika	N - avtotrofi, tolerirajo zelo nizke koncentracije organskega dušika
Potreba po kisiku	~ 100 % nasičenost
Saprobnost	β-mezosaprobna, II. kakovostni razred, 70 – 85 % nasičenost s kisikom
Stopnja trofije	mezo - evtrofno
Vlažnost	nikoli oz. zelo redko izven vodnih teles
Razširjenost, habitat	kozmpolit, pogoste v stoječih vodah, manj v tekočih; bentična

Bentična vrsta *Fragilaria construens* je značilna za stoječe vode, manj za tekoče. Najdemo jo v β-mezosaprobnih in mezo-evtrofnih vodah. Nikoli ni, oziroma je zelo redko izven vodnih teles.



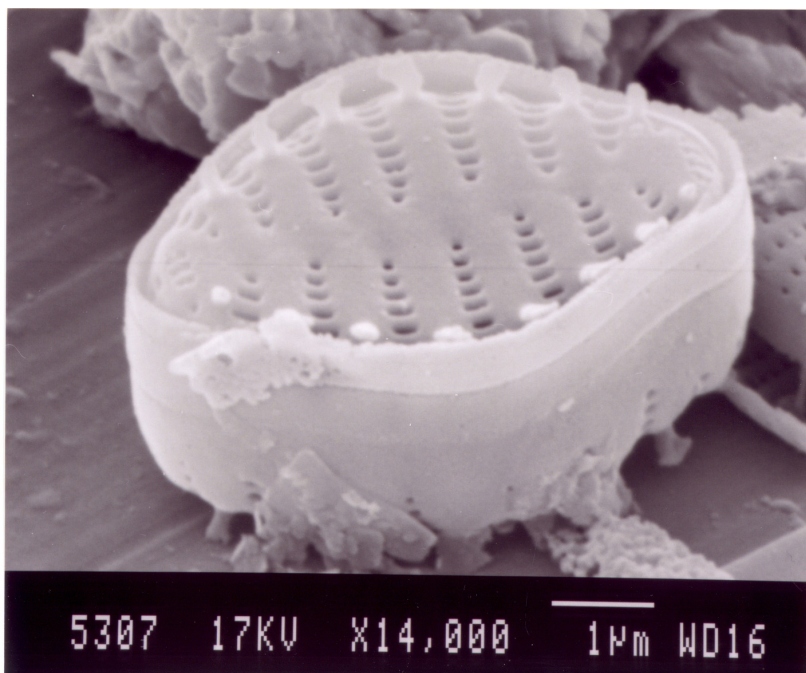
Slika 10. *Fragilaria construens*, fotografiranje z elektronskim vrstičnim mikroskopom pri 8.000 x povečavi

Fragilaria pinnata

Preglednica 10. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste *Fragilaria pinnata* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

pH	alkalofil, pH > 7
Cl⁻ (mg/L)	< 500
Slanost (‰)	< 0,9
Metabolizem dušika	N - avtotrofi, tolerirajo povišane koncentracije organskega dušika
Potreba po kisiku	~ 100 % nasičenost
Saprobnost	β-mezosaprobnost, II. kakovostni razred, 70 – 85 % nasičenost s kisikom
Stopnja trofije	oligo - evtrofno
Vlažnost	večinoma v vodnih telesih, redno tudi na mokrih in vlažnih prostorih
Razširjenost, habitat	kozmpolit, v zmerno distrofnih, kislih barjanskih in brakičnih vodah z zmerno povišano elektroprevodnostjo; bentična

Fragilaria pinnata je bentična vrsta (Hemphill – Haley & Lewis, 2003), ki se pojavlja v β-mezosaprobnih in oligo-evtrofnih vodah. Redno se nahaja tudi izven vodnih teles. Van Dam et. al. (1994) in Kramer & Lange-Bertalog (1988) še navajajo, da jo najdemo v zmerno distrofnih, kislih barjanskih in brakičnih vodah z zmerno povišano elektroprevodnostjo.



Slika 11. *Fragilaria pinnata*, fotografija z elektronskim vrstičnim mikroskopom pri 14.000 x povečavi

Denticula tenuis

Preglednica 11. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste *Denticula tenuis* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988;

pH	alkalofil, pH > 7
Cl⁻ (mg/L)	< 100
Slanost (‰)	< 0,2
Metabolizem dušika	N - avtotrofi, tolerirajo zelo nizke koncentracije organskega dušika
Potreba po kisiku	~ 100 % nasičenost
Saprobnost	oligosaprobna, I. ter I. – II. kakovostni razred, > 85 % nasičenost s kisikom
Stopnja trofije	mezotrofno
Vlažnost	večinoma v vodnih telesih, redno tudi na mokrih in vlažnih prostorih
Razširjenost, habitat	kozmpolit, pogosto v litoralu voda s srednjo elektroprevodnostjo

Vrsta *Denticula tenuis* živi v oligosaprobnih in mezotrofnih vodah. Večinoma je v vodnih telesih, vendar se redno nahaja tudi izven njih. Pogosta je v litoralu voda s srednjo elektroprevodnostjo.

Gomphonema angustum

Preglednica 12. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste *Gomphonema angustum* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

pH	alkalofil, pH > 7
Cl⁻ (mg/L)	< 500
Slanost (‰)	< 0,9
Metabolizem dušika	N - avtotrofi, tolerirajo zelo nizke koncentracije organskega dušika
Potreba po kisiku	~ 100 % nasičenost
Saprobnost	oligosaprobna, I. ter I. – II. kakovostni razred, > 85 % nasičenost s kisikom
Stopnja trofije	oligotrofno
Razširjenost, habitat	kozmpolit, pogosto v oligotrofnih vodah, pH in elektroprevodnost skoraj nimata vpliva (izključujoč ekstremne vrednosti), znatno upade v evtrofnih vodah; bentična

Gomphonema angustum je bentična vrsta, ki je značilna za oligotrofne vode. Redka je v onesnaženih in evtrofnih vodah.

Mastogloia smithii

Preglednica 13. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste *Mastogloia smithii* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

pH	alkalofil, pH > 7
Cl⁻ (mg/L)	500 - 1000
Slanost (‰)	0,9 – 1,8, brakične – celinske vode
Saprobnost	β-mezosaprobna, II. kakovostni razred, 70 – 85 % nasičenost s kisikom
Vlažnost	večinoma v vodnih telesih, redno tudi na mokrih in vlažnih prostorih
Razširjenost, habitat	kozmpolit, v brakičnih in celinskih vodah s srednjo do povišano elektroprevodnostjo, pogosto v litoralu jezer in v izviri; bentična, povezana s širjenjem barja in posledično z akumulacijo šote;

Bentična vrsta *Mastogloia smithii* je značilna za brakične vode in celinske s srednjo do povišano elektroprevodnostjo. Pogosta je v litoralu jezer in v izviri. Od drugih dominantnih kremenastih alg v vzorcih se razlikuje glede vsebnosti Cl⁻ v vodi (500 – 1000 mg/L) in slanosti vode (0,9 – 1,8 ‰). Značilna je za β-mezosaprobne vode, večinoma je v vodnih telesih, redno pa jo najdemo tudi na mokrih in vlažnih prostorih. *Mastogloia smithii* je povezana s širjenjem barja in posledično z akumulacijo šote (Hemphill – Haley & Lewis, 2003).

Navicula bryophila

Preglednica 14. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste *Navicula bryophila* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

pH	cirkumneutralno, pH ~ 7
Cl⁻ (mg/L)	< 100
Slanost (‰)	< 0,2, celinske vode
Metabolizem dušika	N - avtotrofi, tolerirajo zelo nizke koncentracije organskega dušika
Potreba po kisiku	~ 100 % nasičenost
Saprobnost	oligosaprobna, I. ter I. – II. kakovostni razred, > 85 % nasičenost s kisikom
Stopnja trofije	mezoetrofno
Vlažnost	skoraj izključno izven vodnih teles
Razširjenost, habitat	kozmpolit, lokalno veliko v vlažnem mahu; bentična

Vrsta *Navicula bryophila* živi v oligosaprobni in mezotrofni vodah izključno izven vodnih teles. Lokalno jo je veliko v vlažnem mahu.

Navicula jaerenfeltii

Preglednica 15. Povzetek ekoloških zahtev dominantne vrste *Navicula jaerenfeltii* po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

pH	alkalofil, pH > 7
Cl⁻ (mg/L)	500 - 1000
Slanost (‰)	0,9 – 1,8, brakične – celinske vode
Metabolizem dušika	N - avtotrofi, tolerirajo povišane koncentracije organskega dušika
Potreba po kisiku	> 50 % nasičenost
Saprobnost	α - mezosaprobna, III. kakovostni razred, 25 – 70 % nasičenost s kisikom
Stopnja trofije	evtrofno
Vlažnost	večinoma v vodnih telesih, redno tudi na mokrih in vlažnih prostorih
Razširjenost, habitat	kozmpolit, pogosto v vodah s spremenljivo kakovostjo, večinoma epipelične (na, v usedlinah), presihajoče, tolerirajo onesnaženje; bentična

Litoralna vrsta *Navicula jaerenfeltii* naseljuje oligosaprobne in evtrofne vode. Večinoma jo najdemo na ali v usedlinah.

Po posameznih plasteh (N – 1 do N – 5) smo strnili ekološke značilnosti dominantnih vrst (preglednice 18 – 22).

Preglednica 16. Pregled ekoloških zahtev dominantnih vrst v plasti N – 1, povzeto po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

Dominantne vrste	pH, Cl (mg/L), Slanost (‰);	Potreba po kisiku	Saprobnost, stopnja trofije, vlažnost;	Habitat
<i>Gomphonema angustum</i>	pH > 7, < 500, < 0,9	~ 100 % nasičenost	oligosaprobna, oligotrofno	oligotrofne vode, upade v odpadnih in evtrofnih vodah, bentična
<i>Fragilaria construens</i>	pH > 7, < 500, < 0,9	~ 100 % nasičenost	β-mezosaprobna, mezo-evtrofno, nikoli oz. redko izven vodnih teles	v stoječih vodah, manj v tekočih, bentična
<i>Aulacoseira italica</i>	pH ~ 7, < 500, < 0,9	> 75% nasičenost	β-mezosaprob, mezo-evtrofno, redno tudi izven vodnih teles	v litoralu +/- evtrofnih jezerih in v tekočih vodah, planktonska
<i>Cyclotella ocellata</i>	pH > 7, < 100, < 0,2	~ 100 % nasičenost	oligosaprobna, mezo-evtrofno, nikoli oz. redko izven vodnih teles	v litoralu stoječih vod, tudi v tekočih vodah, planktonska
<i>Cyclotella radiosa</i>	pH > 7, < 500, < 0,9	> 75 % nasičenost	β-mezosaprobna, evtrofno, nikoli oz. redko izven vodnih teles	v pelagialu, pogosto v evtrofnih vodah, planktonska

V plasti N – 1 prevladujejo tri planktonske vrste *Aulacoseira italica*, *Cyclotella ocellata* in *Cyclotella radiosa*. Te živijo v mezo-evtrofnih in evtrofnih vodnih telesih. Bentična vrsta *Gomphonema angustum* je značilna za oligotrofne vode, vrsta *Fragilaria construens* pa za mezo-evtrofne.

Preglednica 17. Pregled ekoloških zahtev dominantne vrste v plasti N – 2, povzeto po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

Dominantna vrsta	pH, Cl (mg/L), Slanost (‰);	Potreba po kisiku	Saprobnost, stopnja trofije, vlažnost;	Habitat
<i>Fragilaria construens</i>	pH > 7, < 500, < 0,9	~ 100 % nasičenost	β-mezosaprobna, mezo-evtrofno, nikoli oz. redko izven vodnih teles	v stoječih vodah, manj v tekočih, bentična

Za plast N- 2 je značilna bentična vrsta *Fragilaria construens*, ki živi v mezo-evtrofnih večinoma stoječih vodnih telesih.

Preglednica 18. Pregled ekoloških zahtev dominantnih vrst v plasti N – 3, povzeto po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

Dominantne vrste	pH, Cl (mg/L), Slanost (‰);	Potreba po kisiku	Saprobnost, stopnja trofije, vlažnost;	Habitat
<i>Fragilaria construens</i>	pH > 7, < 500, < 0,9	~ 100 % nasičenost	β-mezosaprobna, mezo-evtrofno, nikoli oz. redko izven vodnih teles	v stoječih vodah, manj v tekočih, bentična
<i>Fragilaria pinnata</i>	pH > 7, < 500, < 0,9	~ 100 % nasičenost	β-mezosaprobna, oligo-evtrofno, redno tudi izven vodnih teles	v zmerno distrofnih, kislih barjanskih in brakičnih vodah z zmerno povišano elektroprevodnostjo, bentična
<i>Aulacoseira italica</i>	pH ~ 7, < 500, < 0,9	> 75% nasičenost	β-mezosaprob, mezo-evtrofno, redno tudi izven vodnih teles	v litoralu +/- evtrofnih jezerih in v tekočih vodah, planktonska
<i>Navicula jaerenfeltii</i>	pH < 7, < 500, < 0,9	~ 100 % nasičenost	oligosaprobna, oligo-mezotrofno,	v litoralu, bentična

V plasti N – 3 prevladujejo bentične vrste *Fragilaria construens*, *Fragilaria pinnata* in *Navicula jaerenfeltii*, ki se nahajajo v mezo-evtrofnih in oligo-mezotrofnih vodah. Planktonska vrsta *Aulacoseira italica* prav tako živi v mezo-evtrofnih vodah.

Preglednica 19. Pregled ekoloških zahtev dominantnih vrst v plasti N – 4, povzeto po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

Dominantne vrste	pH, Cl (mg/L), Slanost (‰);	Potreba po kisiku	Saprobnost, stopnja trofije, vlažnost;	Habitat
<i>Gomphonema angustum</i>	pH > 7, < 500, < 0,9	~ 100 % nasičenost	oligosaprobna, oligotrofno	oligotrofne vode, upade v odpadnih in evtrofnih vodah, bentična
<i>Mastogloia smithii</i>	pH > 7, 500 – 1000, 0,9 – 1,8		β-mezosaprobna, redno tudi izven vodnih teles	v brakičnih in celinskih vodah s srednjo do povišano elektroprevodnostjo, pogosto v litoralju jezer in v izvrih, bentična
<i>Navicula bryophila</i>	pH ~ 7, < 100, < 0,2	~ 100 % nasičenost	oligosaprobna, mezotrofno, izključno izven v. t.	lokalno veliko v vlažnem mahu, bentična
<i>Denticula tenuis</i>	pH > 7, < 100, < 0,2	~ 100 % nasičenost	oligosaprobna, mezotrofno, redno tudi izven vodnih teles	pogosto v litoralju voda s srednjo elektroprevodnostjo
<i>Navicula jaerenfeltii</i>	pH < 7, < 500, < 0,9	~ 100 % nasičenost	oligosaprobna, oligo-mezotrofno,	v litoralju, bentična
<i>Cymbella affinis</i>	pH > 7, < 500, < 0,9	~ 100 % nasičenost	β-mezosaprobna, evtrofno, včasih na mokrih mestih	v litoralju kot epifiton in epifiton, v stojećih in tekoćih vodah, bentična
<i>Cymbella silesiaca</i>	pH ~ 7, < 500, < 0,9	> 50 % nasičenost	α-mezosaprobna, oligo-evtrofno, nikoli oz. redko izven v.t.	v stojećih in tekoćih oligotrofnih do evtrofnih vodah, bentična

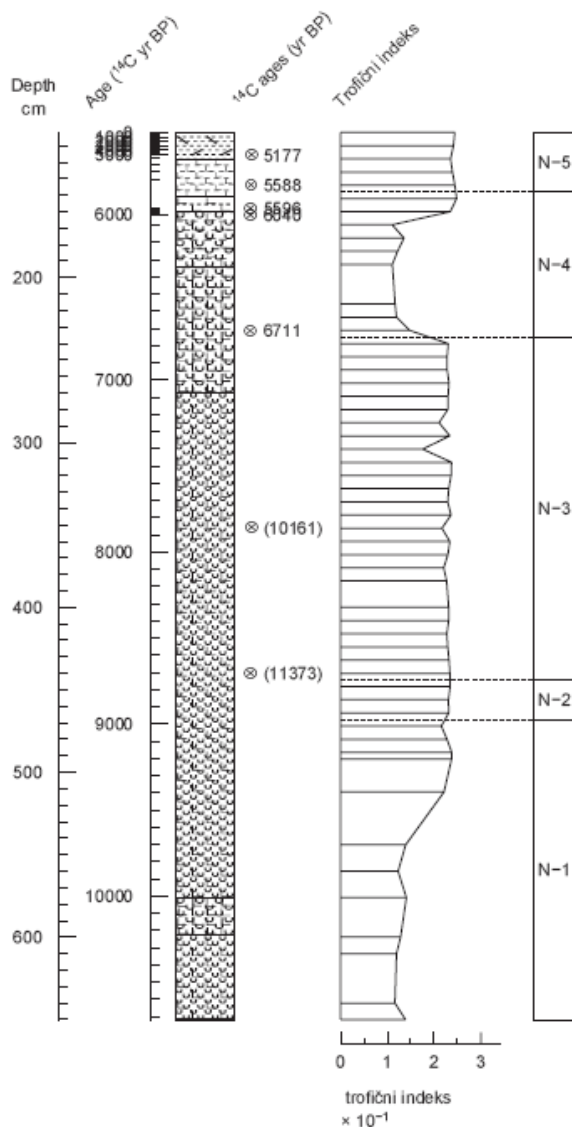
V plasti N – 4 prevladujejo bentične vrste *Gomphonema angustum*, *Mastogloia smithii*, *Navicula bryophila*, *Denticula tenuis*, *Navicula jaerenfeltii*, *Cymbella affinis* in *Cymbella silesiaca*.

Preglednica 20. Pregled ekoloških zahtev dominantnih vrst v plasti N – 5, povzeto po van Dam et. al., 1994; Kramer & Lange-Bertalog, 1988; Hemphill – Haley & Lewis, 2003;

Dominantni vrsti	pH, Cl (mg/L), Slanost (‰);	Potreba po kisiku	Saprobnost, stopnja trofije, vlažnost;	Habitat
<i>Fragilaria construens</i>	pH > 7, < 500, < 0,9	~ 100 % nasičenost	β-mezosaprobna, mezo-evtrofno, nikoli oz. redko izven vodnih teles	v stojećih vodah, manj v tekoćih, bentična
<i>Fragilaria pinnata</i>	pH > 7, < 500, < 0,9	~ 100 % nasičenost	β-mezosaprobna, oligo – evtrofno, redno tudi izven vodnih teles	v zmerno distrofnih, kislih barjanskih in brakićnih vodah z zmerno povišano elektroprevodnostjo, bentična

Za plast N – 5 sta znaćilni bentićni vrsti *Fragilaria construens*, ki se nahaja v mezo-evtrofnih vodah in *Fragilaria pinnata*, ki se nahaja v oligo - evtrofnih vodah.

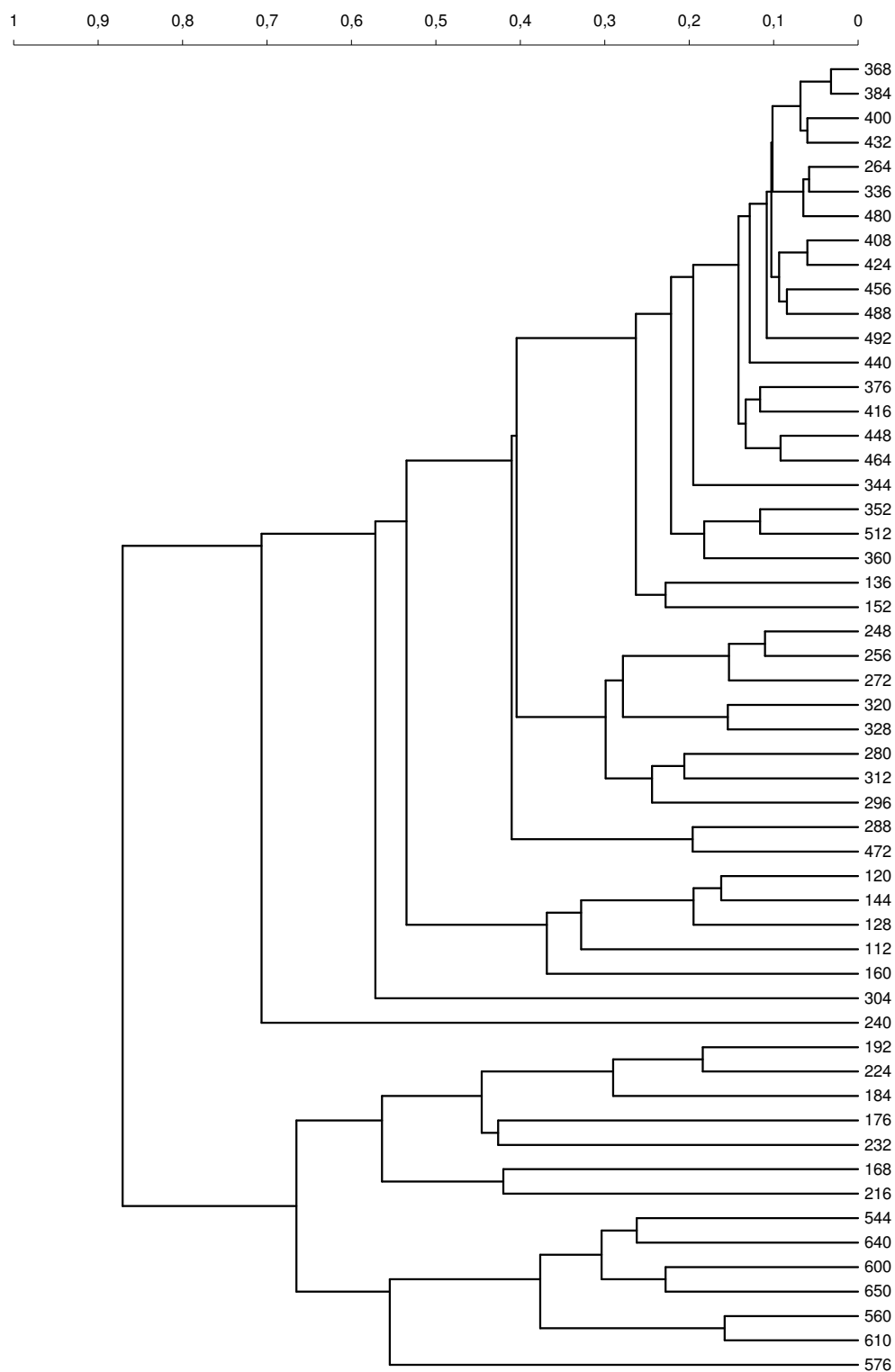
4.3 VREDNOSTI TROFIČNEGA DIATOMEJSKEGA INDEKSA (TDI)



Slika 12. Spreminjanje vrednosti trofičnega indeksa v podvzorcih iz različnih globin

Slika 12 prikazuje spreminjanje vrednosti trofičnega diatomejskega indeksa TDI (Rott in sod., 1999) v podvzorcih iz različnih globin vrtine »Na mahu 1«. Vrednosti TDI v plasti N – 1 do globine 544 cm so nižje od 1,5, kar kaže na oligotrofno in oligo-mezotrofno vodno telo (preglednica 3, priloga A). V plasteh N – 2 in N – 3, to je v vzorcih od 512 do 240 cm globine so vrednosti TDI okrog 2,3, torej je bila voda mezo-evtrofna do evtrofna. V plasti N – 4 so vrednosti nižje, med 1,1 in 1,4. Vodno telo je ponovno postalo oligotrofno. V najmlajši plasti N – 5 pa so vrednosti med 2,5 in 3,3, torej je bila voda evtrofna.

4.4 KLASTERSKA ANALIZA ZDRUŽB KREMENASTIH ALG



Slika 13. Dendrogram podobnosti kremenastih alg na osnovi Bray – Curtisovega indeksa podobnosti v podvzorcih vrtnice »Na mahu 1«. Številka podvzorca predstavlja globino v cm s katere smo vzeli vzorec.

Iz dendrograma podobnosti na osnovi Bray-Curtisovega indeksa podobnosti ugotavljamo, da se je naredilo 5 klastrov. Podvzorci iz globin 544, 640, 600, 650, 560, 610 in 576 cm sestavljajo samostojen klaster in pripadajo spodnjemu delu plasti N – 1. Podvzorci iz globin 192, 224, 184, 176, 232, 168 in 216 cm spadajo v plast N – 4. Ti podvzorci so najbolj podobni podvzorcem iz N – 4. Podvzorci iz plasti N – 5 (iz globin 120, 144, 128, 112 in 160 cm) tudi sestavljajo samostojen klaster. Delu plasti N – 3 pripadajo podvzorci iz globin 248, 256, 272, 320, 328, 280, 312 in 296 cm. Zadnji klaster tvori večina ostalih podvzorcev, ki spadajo v plasti N – 2 in del N – 3.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Kremenaste alge v usedlinah Ljubljanskega barja doslej še niso raziskali. V Sloveniji so kremenaste alge v usedlinah analizirali z vrtino iz Lovrenškega jezera na Pohorju (Brancelj s sod., 1999) in s tremi vrtinami v skladovnico velenjske udornine (Brezigar s sod., 1987).

V vrtini iz Lovreškega jezera (Brancelj s sod., 1999) so raziskovali, kako se spreminja absolutno število ostankov kremenastih alg po plasteh in izpostavili nekaj dominantnih vrst. Osredotočili so se na onesnaževanje zraka v 19. stoletju z dušikovimi in žveplovimi oksidi, kar so dokazovale dominantne kremenaste alge značilne za zakisane vode visokih barij in z nekoliko višjimi potrebami po vsebnosti elektrolitov. Sukcesije jezera na podlagi kremenastih alg v daljšem časovnem obdobju niso raziskali, saj je bilo globlje od 20 cm zelo malo ostankov kremenastih alg.

Vrtine skladovnice velenjske udornine (Brezigar s sod., 1987) so bile precej globlje od vrtine »Na mahu 1«, saj zajemajo obdobja od pliocena do holocena (okrog 1000 m), mi pa smo raziskovali samo 7 m holocenskih plasti. V spodnjih plasteh so določili alkalofilne perifitonske kremenaste alge, ki so značilne za začetno fazo jezerskega razvoja ali za močvirja in nizka jezera (*Fragilaria* sp., *Epithemia* sp. in *Cymbella* sp.). Sledijo značilne planktonske vrste globljih oligotrofnih in evtrofnih jezer. Z ostalimi analizami so v mlajših plasteh ugotovili prehod v plitvo jezero in nato v kopenski ekosistem. Mi smo se ukvarjali samo s holocenskimi plastmi in potrdili sukcesijo jezera od globljega oligotrofnega do plitvega evtrofnega jezera ter končno prehod vodnega ekosistema v kopnega, ki je posledica staranja jezera zaradi nalaganja alohtonih in avtohtonih usedlin.

V tujini so opravili veliko multidisciplinarnih raziskav, ki so vključevale tudi analize kremenastih alg v usedlinah. Na Danskem so na primer raziskovali vpliv človeka v zadnjih 7000 letih na sukcesijo jezera Dallund (Bradshaw s sod., 2005). Ugotovili so, da je bilo jezero pred 6000 leti relativno globoko z nizkimi koncentracijami skupnega fosforja. Zmerno povečanje hranil v jezeru je bilo v bronasti in železni dobi, ko je postajalo jezero tudi plitvejše. Evtrofikacija je povečana od srednjega veka do danes.

V 54 podvzorcih usedlin iz vrtine »Na mahu 1« smo določili 500 kremenastih alg. Izračunali smo deleže vrst v podvzorcih in izrisali diagrame (slike 6, 7 in 8). Za dominantne vrste smo natančno preučili ekološke zahteve iz literature. Izračunali smo trofične diatomejske indekse za vse podvzorke. Pri tem smo upoštevali deleže vseh vrst v

podvzorcu, za katere obstaja trofična in indikatorska vrednost v literaturi. Podvzorci smo primerjali z Bray-Curtisovim indeksom podobnosti.

Vrtino smo razdelili na 5 plasti (od N – 1 do N – 5) na podlagi pelodnih analiz. Te plasti kažejo na spremembo klime v različnih obdobjih v preteklosti. Večinoma se plasti usedlin ujemajo tudi s spremembam trofije vode, ki smo jo določili na osnovi ekoloških značilnosti dominantnih kremenastih alg in s trofičnim indeksom.

Gomphonema angustum je bentična vrsta, ki je značilna za oligotrofne vode, redka je v onesnaženih in evtrofnih vodah (preglednica 12). Ugotovili smo (slika 7), da prevladuje v najstarejših podvzorcih od približno 10.600 let, to je od globine 650 cm (preglednica 2). Proti koncu plasti N – 1, to je na globini 512 cm v podvzorcih starih približno 9400 let, njen delež upade.

Aulacoseira italica je planktonska vrsta (Hemphill – Haley & Lewis, 2003), čeprav lahko v literaturi tudi zasledimo opise, da je litoralna vrsta (Kramer & Lange-Bertalog, 1988), ki jo najdemo v bolj ali manj evtrofnih jarkih, ribnikih, bajerjih, velikih lužah, jezerih, pa tudi v počasi tekočih vodah (preglednica 4). Prevladuje v najstarejših vzorcih (slika 6), saj je njen delež največji v plasti N – 1. Iz primerjave slik 6 in 7 lahko ugotovimo, da se deleži vrst *Aulacoseira italica* in *Gomphonema angustum* zelo spreminjajo in lahko bi trdili, da sta ti dve vrsti izključujoči. V vzorcu iz globine 576 cm (preglednica 2) ima vrsta *Aulacoseira italica* največji delež, medtem ko delež vrste *Gomphonema angustum* na tej globini upade. Obratno ugotavljamo iz slik 6 in 7, da na globini 544 cm (preglednica 2) prevladuje vrsta *Gomphonema angustum*, delež vrste *Aulacoseira italica*, pa zelo upade.

Cyclotella ocellata je planktonska vrsta (Hemphill – Haley & Lewis, 2003), čeprav Kramer in Lange-Bertalog (1988) navajata, da je litoralna vrsta v stoječih vodah, ki jo najdemo tudi v tekočih vodah (preglednica 5). Nahaja se v mezo-evtrofnih in oligosaprobnih vodnih telesih. Od ostalih dominantnih vrst se razlikuje po nižji vsebnosti Cl^- (< 100 mg/L) in nižji slanosti ($< 0,2$ ‰) (preglednica 18). Njen delež v plasti N – 1 je največji v istih podvzorcih kot delež vrste *Gomphonema angustum* (sliki 6 in 7).

Cyclotella radiosa je planktonska vrsta (Hemphill – Haley & Lewis, 2003), ki je pogosta v pelagialu evtrofnih vod (Kramer & Lange – Bertalog, 1988). Najdemo jo tudi v β -mezosaprobnih in evtrofnih vodah (van Dam et. al., 1994). V plasti N – 1 ima večji delež v tistih vzorcih kot vrsti *Gomphonema angustum* in *Cyclotella ocellata*. Iz slik 6 in 7 lahko ugotovimo, da se deleži v vzorcih spreminjajo podobno kot deleži vrste *Gomphonema angustum*.

Predvidevamo, da vzorci kremenastih alg od globine 650 do 512 cm oziroma od približno 10.600 do 9.400 let kažejo, da je bilo takrat na območju vrtine »Na mahu 1« bolj ali manj globoko jezero. Planktonske vrste *Aulacoseira italica*, *Cyclotella ocellata* in *Cyclotella radiosa* dokazujejo to stanje. Globina vode se je verjetno spreminjala, na kar kažejo spremembe deležev bentičnih in planktonskih vrst. Tako na globini 544 cm prevlada bentična vrsta *Gomphonema angustum* nad planktonskimi vrstami, katerih delež nato spet naraste. Takrat je bilo jezero verjetno plitvejše. Časovni okvir sovpada z dosedanjimi raziskavami na Ljubljanskem barju, saj Gaister (1995) navaja, da je v prehodni allerödski otoplitvi morda zaradi udara nastalo večje jezero, v katerem se je s časoma nabrala 8 metrov debela plast ilovice. Navaja, da naj bi to obdobje trajalo okrog 5000 let v obdobju od mlajšega driasa do atlantika, ko se je začela odlagati jezerska kreda. Kremenaste alge v podvzorcih vrtine »Na mahu 1« tudi kažejo, da se je od približno 10.600 do 9400 let spreminjalo tudi trofično stanje jezera. Ko je prevladovala bentična vrsta *Gomphonema angustum* je bilo jezero verjetno bolj oligotrofno, ko pa je prevladovala planktonska vrsta *Aulacoseira italica*, je bilo bolj mezo-evtrofno. Planktonski vrsti *Cyclotella ocellata* (živi v oligosaprobnih in mezo-evtrofnih vodah) ter *Cyclotella radiosa* (nahaja se v β -mezosaprobnih in evtrofnih vodah) sta zastopani z manjšim deležem in kažeta na s hranili bolj obremenjeno vodo.

Slika 12 prikazuje spreminjanje vrednosti trofičnega diatomejskega indeksa TDI (Rott in sod., 1999) v podvzorcih iz različnih globin vrtine »Na mahu 1«. Ugotovili smo, da so vrednosti trofičnega diatomejskega indeksa v najglobljih vzorcih do globine 544 cm nižje od 1,5; sklepamo, da je bila voda oligotrofna in oligo-mezotrofna. TDI tako kaže na manjše spreminjanje obremenjenosti vode, kot lahko sklepamo samo na podlagi ekoloških značilnosti dominantnih vrst. V izračunu trofičnega diatomejskega indeksa smo upoštevali vse vrste v posameznem podvzorcu, za katere smo v literaturi našli podatke za izračun TDI. Za planktonsko vrsto *Cyclotella radiosa* ni podatkov, vendar kljub temu menimo, da kremenaste alge v najstarejših plasteh vrtine odražajo oligotrofno oz. oligo-mezotrofno stanje vode.

Iz dendrograma podobnosti na osnovi Bray-Curtisovega indeksa podobnosti (slika 13) ugotavljamo, da podvzorci iz globin 544, 640, 600, 650, 560, 610 in 576 cm sestavljajo klaster. V teh podvzorcih prevladujejo vrste *Aulacoseira italica*, *Cyclotella ocellata*, *Cyclotella radiosa* ter *Gomphonema angustum* in predstavljajo starejšo polovico plasti N – 1, za katero menimo, da jo opredeljuje oligotrofna oz. oligo-mezotrofna globlja voda.

Iz slike 7 ugotavljamo, da proti koncu plasti N – 1 začne prevladovati bentična vrsta *Fragilaria construens*, ki je značilna za stoječe β -mezosaprobne in mezo-evtrofne vode, manj za tekoče. Nikoli ni, oziroma je zelo redko izven vodnih teles (preglednica 10). Sklepamo, da je jezero od globine 512 cm oziroma od približno 9400 let postalo bolj plitvo in mezo-evtrofno, ker upade delež planktonskih vrst in vrste *Gomphonema angustum*, ki je značilna za oligotrofne vode.

Vrednosti TDI v vzorcih od 512 do 240 cm globine so okrog 2,3 zato sklepamo, da je bila voda v drugi polovici plasti N – 1 ter v plasteh N – 2 in N – 3 mezo-evtrofna do evtrofna (preglednica 3).

V plasti N – 2 prevladuje vrsta *Fragilaria construens* in pojavi se vrsta *Fragilaria pinnata* (slike 6, 7 in 8). Na podlagi tega menimo, da je bila voda plitvejša in mezo-evtrofna. Vrednosti TDI so okrog 2,3 (slika 12, preglednica 3, priloga A), kar kaže na evtrofno okolje.

V plasti N – 3 prevladuje vrsta *Fragilaria construens*, njen delež nekoliko upade v vzorcih od približno 7.600 do 7.100 let (slika 7) oziroma v vzorcih od globine 272 do 312 cm (preglednica 2). Z večjim deležem so v vzorcih plasti N – 3 zastopane še vrste *Fragilaria pinnata*, *Aulacoseira italica* in *Navicula jaerenfeldii*.

Fragilaria pinnata je bentična vrsta (Hemphill – Haley & Lewis, 2003), ki se pojavlja v β -mezosaprobnih in oligo-evtrofnih vodah (preglednica 11). Redno se nahaja tudi izven vodnih teles. Van Dam et. al. (1994) in Kramer & Lange-Bertalog (1988) še navajata, da jo najdemo v zmerno distrofnih, kislih barjanskih in brakičnih vodah z zmerno povišano elektroprevodnostjo. Iz tega sklepamo, da je bila v času od približno 8700 do 6700 let voda plitvejša.

Planktonska vrsta *Aulacoseira italica* se še pojavlja v plasti N – 3, njen delež nekoliko naraste v podvzorcu iz globine 288 cm, to je takrat, ko delež bentične vrste *Fragilaria construens* nekoliko upade (sliki 6 in 7). Vrsta *Aulacoseira italica* se redno pojavlja tudi na mokrih in vlažnih prostorih (Kramer & Lange-Bertalog, 1988). V podvzorcu iz globine 304 cm naraste delež bentične oligotrofne vrste *Gomphonema angustum*, kar kaže na manjšo spremembo kakovosti vode. To lahko ugotovimo tudi iz diagrama TDI. Voda je bila verjetno mezotrofna (slika 12, preglednica 3, priloga A).

V zgornjem delu plasti N – 3 se začne pojavljati litoralna vrsta *Navicula jaerenfeldtii*, ki naseljuje oligosaprobne in oligo-mezo-evtrofne vode.

Menimo, da je za plast N – 3 značilna plitva mezo-evtrofna voda, saj prevladuje vrsta *Fragilaria construens*, verjetno pa je prišlo vmes tudi do izboljšanja kakovosti vode, ker je upadel njen delež.

Iz dendrograma podobnosti na osnovi Bray-Curtisovega indeksa podobnosti razberemo, da podvzorci iz globin 248, 256, 272, 320, 328, 280, 312 in 296 cm predstavljajo samostojen klaster. Ti podvzorci pripadajo plasti N – 3, kjer upade delež vrste *Fragilaria construens* in narasteta deleža vrst *Aulacoseira italica* in *Gomphonema angustum*. Vrednosti trofičnega diatomejskega indeksa v teh vzorcih ne kažejo na spremembo kakovosti vode. Verjetno je bila evtrofna, ker so vrednosti TDI okrog 2,3.

Iz slik 6, 7 in 8 lahko razberemo, da je v plasti N – 4 prišlo do znatnih sprememb v sestavi dominantnih vrst kremenastih alg. Iz tega sklepamo tudi na spremembo kakovosti vode. Deleži vrst *Fragilaria construens*, *Fragilaria pinnata* in *Aulacoseira italica* močno upadejo.

V plasti N – 4 prevladuje bentična vrsta *Gomphonema angustum*, ki je značilna za oligosaprobne in oligotrofne vode. Zanj je značilno, da znatno upade v evtrofnih vodah (Kramer & Lange-Bertalog, 1988), zato sklepamo, da je bila voda v času od približno 6.700 do 5.600 let oligotrofna.

V plasti N – 4 se pojavijo nekatere nove vrste v malo večjem deležu. *Cymbella affinis* je bentična vrsta, ki jo najdemo v litoralu kot epilitsko vrsto (pritrjena na skalah, kamnih, prodnikih) in epifitsko (pritrjena na rastlinah) v stoječih in tekočih vodah (Kramer & Lange-Bertalog, 1988). Nahaj se v β -mezosaprobni in evtrofnih vodah, včasih je tudi na mokrih mestih, večinoma pa v vodnih telesih (preglednica 7). Njen delež je največji v podvzorcu na globini 192 cm, torej v približno 6300 let starih usedlinah (slika 6).

Bentična vrsta *Cymbella silesiaca* živi tako v stoječih kot tudi tekočih vodah. Nikoli ni, oziroma je zelo redko izven vodnih teles v α -mezosaprobni in oligo-evtrofni vodi (preglednica 8). Njen delež je največji v vzorcu na globini 224 cm, to je pred približno 6.600 leti (slika 6).

V plasti N – 4 se z večjim deležem pojavi tudi vrsta *Denticula tenuis*, ki živi v oligosaprobni in mezotrofnih vodah. Večinoma je v vodnih telesih, vendar se redno nahaja tudi izven njih. Pogosta je v litoralu voda s srednjo elektroprevodnostjo (preglednica 9).

Bentična vrsta *Mastogloia smithii* je značilna za brakične vode in celinske s srednjo do povišano elektroprevodnostjo (preglednica 13). Pogosta je v litoralu jezer in v izviri. Od drugih dominantnih kremenastih alg v vzorcih se razlikuje glede vsebnosti Cl^- v vodi (500 – 1000 mg/L) in slanosti vode (0,9 – 1,8 ‰). Značilna je za β -mezosaprobne vode, večinoma je v vodnih telesih, redno pa jo najdemo tudi na mokrih in vlažnih prostorih. Povezana je s širjenjem barja in posledično z akumulacijo šote (Hemphill – Haley & Lewis, 2003).

Bentična vrsta *Navicula bryophila* se v vzorcih v plasti N – 4 pojavlja v večjem deležu pred približno 6700 do 6200 leti (slika 8). Nahaja se v oligosaprobnih in mezotrofnih vodah (preglednica 14). Lokalno jo je veliko v vlažnem mahu.

V plasti N – 4 so z največjim deležem zastopane vrste *Gomphonema angustum*, *Mastogloia smithii* in *Navicula bryophila* (slike 6, 7 in 8). Predvidevamo, da je bila voda plitva in oligotrofna. Vrsta *Mastogloia smithii* kaže na vodo s srednjo do povišano elektroprevodnostjo in kar je najbolj zanimivo, na nastajanje barja in akumulacijo šote. Tudi vrsta *Navicula bryophila* dokazuje plitvo vodo in nastajanje mahov. Prav tako so prevladujoče vrste v plasti N – 4 bentične, litoralne, kar kaže na plitvo vodo (preglednica 21). Tudi vrsta *Denticula tenuis* je značilna za vode s srednjo elektroprevodnostjo, zato sklepamo, da je imela plitva in oligotrofna voda višjo elektroprevodnost.

Iz diagrama z izračunanimi vrednostmi trofičnega diatomejskega indeksa (slika 12) ugotavljamo, da so vrednosti med 1,1 in 1,4. Iz preglednice 3 sklepamo, da je bila voda v obdobju od 6700 do 6100 let verjetno oligotrofna. Na podlagi ekoloških značilnosti posameznih dominantnih vrst in vrednostih TDI trdimo, da je bilo okolje v vzorcih iz plasti N – 4 oligotrofno.

Iz dendrograma podobnosti na osnovi Bray-Curtisovega indeksa podobnosti (slika 13) ugotavljamo, da vzorci iz globin 192, 224, 184, 176, 232, 168 in 216 cm sestavljajo samostojen klaster. To so vzorci iz plasti N – 4, v katerih prevladujejo vrste *Gomphonema angustum*, *Mastogloia smithii* in *Navicula bryophila*, ki kažejo na plitvo oligotrofno vodo. Ta klaster je najbolj podoben klastru, ki vsebuje vzorce iz prve polovice plasti N – 1, v katerih prevladujejo vrste *Aulacoseira italica*, *Cyclotella ocellata*, *Cyclotella radiosa* in *Gomphonema angustum*. Tudi v teh vzorcih ekološke značilnosti kremenastih alg in TDI kažejo na oligo-mezotrofno in oligotrofno vodo.

V plasti N – 5 pride ponovno do spremembe, saj prevladujeta vrsti *Fragilaria construens* (živi v mezo-evtrofnih vodnih telesih) in *Fragilaria pinnata*, ki je značilna za zmerno distrofne, oligo – evtrofne, kisle barjanske in brakične vode z zmerno povišano elektroprevodnostjo (Kramer & Lange-Bertalog, 1988). Vrsta *Fragilaria construens* se nikoli oziroma zelo redko pojavlja izven vodnih teles, medtem ko se vrsta *Fragilaria pinnata* redno pojavlja tudi izven vodnih teles. Sklepamo, da je bila voda plitva, morda je imela zmerno povišano elektroprevodnost, zagotovo pa je bila mezo – evtrofna.

Iz diagrama TDI prav tako ugotavljamo, da kremenaste alge v vzorcih iz plasti N – 5, kažejo na evtrofno vodo, saj so vrednosti TDI med 3,3 in 2,5 (priloga A).

Iz dendrograma podobnosti na osnovi Bray-Curtisovega indeksa podobnosti razberemo, da vzorci iz globin 120, 144, 128, 112 in 160 sestavljajo klaster in predstavljajo plast N – 5, v kateri prevladujeta vrsti *Fragilaria construens* in *Fragilaria pinnata*. Ta klaster je najbolj podoben plastem N – 2 in N – 3, v katerih prevladujejo vrste *Fragilaria construens*, *Fragilaria pinnata* in *Aulacoseira italica*.

V najmlajših vzorcih iz globin 0, 40, 48, 72 in 104 cm ni bilo kremenastih alg. Te vzorce smo odvzeli iz plasti šote (priloga B) in spadajo v obdobje pred približno 5000 do danes. Martinčič (2003) navaja, da je barje na Ljubljanskem barju začelo nastajati pred približno 3800 leti, ko je zaradi podnebnih sprememb mostiščarsko jezero pričelo propadati in se spreminjati v obsežna močvirja. Predvidevamo, da v najmlajših vzorcih ni kremenastih alg, ker je bilo barje dvignjeno nad nivo talne vode, zato kremenaste alge niso mogle živeti.

Pri rekonstrukciji preteklih razmer na podlagi ostankov kremenastih alg se zavedamo, da naša interpretacija ni popolnoma zanesljiv odraz preteklosti na Ljubljanskem barju. Naša rekonstrukcija se je omejila samo na vzorce iz vrtnice »Na mahu 1«. Poleg tega Wetzel (2001) navaja, da so profili kremenastih alg v usedlinah problematični zaradi različnega raztapljanja frustul med sedimentacijo in po njej, zato je lahko vprašljiva natančnost rekonstrukcije preteklih združb. Ugotovili so na primer, da se frustule, ki se sedimentirajo v litoralni in plitvi profundalni coni, bolj raztapljajo kot tiste, ki se sedimentirajo v globoki profundalni coni. Pod rahlo kislimi pogoji, kot so v hipolimniju nekaterih meromiktčnih jezer, se frustule kremenastih alg bolj raztapljajo kot v sedimentih z višjim pH (Wetzel, 2001). Teh dejstev naša interpretacija v celoti ne upošteva.

Pri raziskovalnem delu smo se soočili tudi z nekaterimi pomanjkljivostmi metode. Kremenaste alge smo določali in šteli z invertnim mikroskopom pri 1000 - kratni povečavi.

Tako je bilo nemogoče določiti manjše kremenaste alge. Schaumburg s sodelavci (2005) predlaga 1000 do 1200 – kratno povečavo za štetje in določanje kremenastih alg.

V tujini organizirajo tečaje za študente, na katerih se usposobijo za določanje kremenastih alg. Mi te možnosti nimamo, zato je taksonomsko poznavanje kremenastih alg diplomantke ali diplomanta pri nas verjetno manj zanesljivo.

Sodobne paleolimnološke raziskave in monitoring tekočih in stoječih voda so podprti s programsko rekonstrukcijo ekoloških značilnosti v preteklosti ali sedanjosti. Uporaben program je npr. Omnidia, ki je slovenskim študentom nedostopen za izdelavo diplomske naloge.

5.2 SKLEPI

Na podlagi kremenastih alg kot paleolimnoloških indikatorjev smo rekonstruirali spreminjanje trofičnosti in globine vode v vzorcih vrtnice »Na mahu 1«.

Menimo, da najstarejši vzorci plasti N – 1 pred približno 10.600 do 9400 leti kažejo na bolj ali manj globoko oligotrofno in oligo-mezotrofno vodo. To dokazujejo dominantne vrste *Aulacoseira italica*, *Cyclotella ocellata*, *Cyclotella radiosa*, *Gomphonema angustum* in vrednosti TDI.

V vzorcih proti koncu plasti N – 1 začne prevladovati vrsta *Fragilaria construens*. Na podlagi tega in vrednosti TDI v vzorcih sklepamo, da je jezero pred približno 9400 leti postalo bolj plitvo in evtrofno.

V plasti N – 2 prevladuje vrsta *Fragilaria construens*, vrednosti TDI opredeljujejo evtrofno vodo. Sklepamo, da je bila voda v obdobju pred približno 9000 do 8700 let plitva in evtrofna.

Iz ekoloških značilnosti dominantnih kremenastih alg (*Fragilaria construens*, *Fragilaria pinnata*, *Navicula jaerenfeltii*) in izračunanih vrednosti TDI sklepamo, da je za plast N – 3 pred približno 8700 do 6800 leti značilna plitva mezoevtrofna do evtrofna voda.

Sklepamo, da prevladujoče kremenaste alge (*Gomphonema angustum*, *Mastogloia smithii* in *Navicula bryophila*) ter vrednosti TDI v plasti N – 4 v vzorcih od približno 6700 do

6100 dokazujejo plitvo in oligotrofno vodo s srednjo do povišano elektroprevodnostjo. Vrsta *Mastogloia smitii* verjetno nakazuje nastajanje barja.

Iz vrednostih TDI sklepamo, da plast N – 5 opredeljuje evtrofna voda, iz dominantnih vrst pa sklepamo, da je bila voda plitva, morda je imela zmerno povišano elektroprevodnost.

Sklepamo, da v najmlajših vzorcih ni kremenastih alg, ker je bilo barje dvignjeno nad nivo talne vode, zato niso imele pogojev za življenje.

6 POVZETEK (SUMMARY)

Ljubljansko barje je 150 km² veliko območje, na katerem so številni pomembni mokriščni habitati. Je pomemben ekosistem, ki ga je potrebno ohranjati s preudarno rabo in trajnostnim razvojem. Je mednarodno pomembno območje za ptice (IBA), predvsem za redke in ogrožene travniške vrste.

Pretekle raziskave o nastanku in razvoju Ljubljanskega barja (Šercelj, Melik, Šifrer,...) so razkrile ugrezanje in nasipavanje Ljubljanskega polja ter klimatske spremembe v preteklosti na tem območju.

Razvoja Ljubljanskega barja do sedaj še niso raziskovali s pomočjo kremenastih alg. Te so dobri paleolimnološki indikatorji, ker se zaradi silicijeve celične stene sorazmerno dobro ohranijo v usedlinah in nam na podlagi svojih ekoloških značilnosti lahko povedo v kakšnih vodah so uspevale. Iz združbe kremenastih alg lahko tako sklepamo, kakšni sta bili prehranjenost in globina vode v različnih obdobjih v preteklosti. Tako lahko rekonstruiramo nastanek in razvoj jezera ter prehod jezerskega ekosistema v kopnega.

Vrtino »Na mahu 1« so izvrtali maja 2003 v vzhodnem delu Ljubljanskega barja 8 km južno od Ljubljane. Za analizo kremenastih alg smo odvzeli 60 vzorcev iz različnih globin. Suspendirali smo jih v vodi in pripravili trajne preparate, ki so predstavljali podvzorke. V vsakem podvzorcu smo z invertnim svetlobnim mikroskopom pri 1000 – kratni povečavi prešteli in določili 500 alg s pomočjo ključev za določanje. Izračunali smo deleže posameznih vrst v podvzorcu in izrisali diagrame relativne pogostosti vrst v podvzorcih. Z vrstičnim elektronskim mikroskopom smo pregledovali in določili vrste, ki so bile premajhne za določitev pri 1000 – kratni povečavi.

Ugotavljali smo odvisnost števila vrst v podvzorcu od števila prešteti kremenastih alg in ugotovili, da bi bila napaka v podvzorcu z večjim številom vrst večja, če bi prešteli samo 250 in ne 500 alg. Izračunali smo trofični diatomejski indeks (TDI) za posamezne podvzorke. TDI je povezan s koncentracijo fosforja v vodi in kaže na stopnjo trofije. Iz diagrama TDI smo ugotovili, da se je kakovost vode med razvojem jezera spreminjala. Združbe kremenastih alg smo primerjali na osnovi Bray-Curtisovega indeksa podobnosti in izrisali diagram podobnosti.

Na podlagi kremenastih alg kot paleolimnoloških indikatorjev smo rekonstruirali spreminjanje trofičnosti in globine vode v preteklosti na območju vrtine »Na mahu 1«. Podvzorci iz plasti N – 1 od približno 10.600 do 9400 let kažejo na bolj ali manj globoko

oligotrofno vodo. To dokazujejo večji deleži dominantnih planktonskih vrst *Aulacoseira italica*, *Cyclotella ocellata*, *Cyclotella radiosa* ter *Gomphonema angustum*, ki je značilna za oligotrofne vode. Vrednosti TDI (nižje od 1,5) potrjujejo oligotrofijo.

Proti koncu plasti N – 1 in v plasti N – 2 prevladuje bentična vrsta *Fragilaria construens*, ki je značilna za mezo-evtrofne vode. Vrednosti TDI so bile okrog 2,3. Menimo, da je voda postala bolj plitva in evtrofna.

Za plast N – 3 (pred 8700 – 6800 leti) je značilna plitva mezo-evtrofna do evtrofna voda, kar dokazujejo vrste *Fragilaria construens*, *Fragilaria pinnata* (bentična, značilna za oligo-evtrofne vode) in *Navicula jaerenfeltii* (bentična, značilna za oligo-mezo-evtrofna vodna telesa) ter vrednosti TDI okrog 2,3.

V plasti N – 4 pride do spremembe v trofičnosti vode. Dominantne bentične vrste *Gomphonema angustum* (značilna za oligotrofna vodna telesa), *Mastogloia smithii* (v vodah s srednjo do povišano elektroprevodnostjo, povezana s širjenjem barja in akumulacijo šote) in *Navicula bryophila* (značilna za mezotrofne vode, izključno izven vodnih teles, veliko jo je v vlažnem mahu) ter vrednosti TDI okrog 1,2, kažejo na plitvo oligotrofno vodo z višjo elektroprevodnostjo.

Ponovno pride do spremembe v plasti N – 5, saj prevladata vrsti *Fragilaria construens* (značilna za mezo – evtrofne vode) in *Fragilaria pinnata*, ki je značilna za zmerno distrofne, kisle barjanske in brakične vode z zmerno povišano elektroprevodnostjo. Sklepamo, da je bila voda plitva, morda je imela zmerno povišano elektroprevodnost. Vrednosti TDI (2,5 – 3,3) kažejo na evtrofno vodno telo.

V najmlajših vzorcih, ki smo jih vzeli iz plasti šote, ni bilo kremenastih alg, ker je bilo barje verjetno dvignjeno nad nivo talne vode, zato niso imele pogojev za življenje.

Na podlagi kremenastih alg smo na območju vrtine »Na mahu 1« rekonstruirali nastanek barja. Najstarejši podvzorci kažejo na globljo oligotrofno vodo, ki je verjetno zaradi usedanja usedlin postajala bolj plitva. Nizko jezero ali močvirje je bilo mezo – evtrofno do evtrofno. V plasti N – 4, ko pride ponovno do oligotrofije, se je verjetno zmanjšal vnos hranil iz prispevnega območja v vodno telo. Sledila sta plitva in evtrofna voda ter prehod jezerskega ekosistema v kopnega. Nastajala sta šota in barje.

7 VIRI

- Abel P. D. 1996. *Water Pollution Biology*, 2nd. Ed., Taylor&Francis, 286 str.
- Andrič M. 2006. Ali lahko analiza pelodnega zapisa v kulturni plasti arheološkega najdišča pove, kakšna vegetacija je rasla v okolici? Primer Resnikov prekop. *Resnikov prekop*, 2006: 103-113
- Beltram G. 2005. Novi izzivi za ohranjanje mokrišč v 21. stoletju. *Ramsarska konvencija in slovenska mokrišča*. Ljubljana, Trajanus: 95 str.
- Bradshaw E. G., Rasmussen P., Nielsen H., Anderson N. J. 2005. Mid- to Late-Holocene land-use change and lake development at Dallund Sø, Denmark: trends in lake primary production as reflected by algal and macrophyte remains. *The Holocene*, 15, 8: 1130-1142
- Bradshaw E. G., Rasmussen P., Vad Odgaard B. 2005. Mid- to Late-Holocene land-use change and lake development at Dallund Sø, Denmark: synthesis of multiproxy data, linking land and lake. *The holocene*, 15, 8: 1152-1162
- Brancelj A., Gorjanc N., Jačimovič R., Jeran Z., Šiško M., Urbanc-Berčič O. 1999. Analiza sedimenta iz Lovrenškega jezera na Pohorju. *Geografski zbornik*, 1999: 28 str.
- Brezigar A., Kosi G., Vrhovšek D., Velkovrh F. 1987. Paleontološke pliokvartarne skladovnice velenjske udornine. *Geologija*, 28/29: 93-119
- Brüchmann C., Negendank J. F. W. 2004. Indication of climatically induced eutrophication during the early Holocene period, based on annually laminated sediment from Lake Holzmaar, Germany. *Quaternary International*, 123-125 (2004): 117-134
- Buser S., Drobnjak B., Klemenčič M. M., Kunaver J., Lovrenčak F., Luževič M., Pak M., Senegačnik J. 1996. *Obča geografija za 1. letnik srednjih šol*. DZS, Ljubljana, 265 str.
- Canter-Lund H. & Lund J.W.G. 1995. *Freshwater Algae. Their microscopic world explored*. Biopress Ltd., Bristol, 360 str.
- Gaister I. 1995. *Ljubljansko barje*. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 199 str.
- Hausmann S., Lotter A. F., van Leeuwen J. F. N., Ohlendorf C., Lemcke G., Grönlund, Sturm M. 2002. Interactions of climate and land use documented in the varved sediments of Seebergsee in the Swiss Alps. *The Holocene*, 12, 3: 279-289
- Hausmann S., Kienast F. 2006. A diatom-inference model for nutrients screened to reduce

the influence of back ground variables. Application to varved sediments of Greifensee and evaluation with measured data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 233 (2006): 96-112

Hemphill-Haley E., Lewis R. C. 2003. Diatom data from Bradley lake, Oregon: Downcore analyses. U. S. Geological Survey Open-File Report 03, 190: 138 str.
<http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of03-190/of03-190.pdf>
(10. dec. 2006)

Jogan N. 1999.
<http://dsb.biologija.org/vpr/3-biog-skripta.rtf>
(4.11.2006)

Jogan N. 2001. Navodila za vaje iz sistematske botanike. 3. izdaja delovne verzije.
Pancopy, Ljubljana, 108 str.

Kely M. G., Whitton B. A. 1995. The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of applied phycology*, 7, 4: 433-444

Krammer K. & Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 2/1 – 876 str., 2/2 – 596 str., 2/3 – 576 str., 2/4 – 436 str

Lücke A., Schleser G. H., Zolitschka B., Negendank J. F. W. 2003. A Lateglacial and Holocene organic carbon isotope record of lacustrine palaeoproductivity and climatic change derived from varved lake sediments of Lake Holzmaar, Germany. *Quaternary Science Reviews*, 22 (2003): 569-580

Marchetto A., Lami A., Musazzi S., Massafiero J., Langone L., Guilizzoni P. 2004. Lake Maggiore (N. Italy) trophic history: fossil diatom, plant pigments, and chironomids, and comparison with long-term limnological data. *Quaternary International*, 113 (2004): 97-110

Martinčič A. 1996. Barja. V: Narava Slovenije, stanje in perspektive. Zbornik prispevkov o naravni dediščini Slovenije. Društvo ekologov Slovenije. Gregori J., Martinčič A., Tarman K., Urbanc-Berčič O., Tome D., Zupančič M. (ur.). Ljubljana, 122-132

Martinčič A. 2003. Barje na Ljubljanskem barju – nekdanje, včeraj, danes, jutri. *Proteus*, 65, 6: 246-256

Melik A. 1927. Kolonizacija Ljubljanskega barja. Ljubljana, Tiskovna zadruga: 65 str.

Melik A. 1946. Ljubljansko mostiščarsko jezero in dediščina po njem. Ljubljana, Akademija znanosti in umetnosti v Ljubljani: 221 str.

Pavlovec R. 1963. Dve vrtini do dna Ljubljanskega barja. *Proteus*, 25, 6: 129-131

Pavlovec R. 1967. Mladinci so raziskovali na Ljubljanskem barju. Življenje in tehnika:

532-537

- Pavlovec R. 2005. Pred sto leti o Ljubljanskem barju. *Življenje in tehnika*, 56, 5: 48-49
- Pavšič J. 1989. Ljubljansko barje v geoloških obdobjih. Maribor, Obzorja: 49 str.
- Pavšič J. 2003. Geološke posebnosti Ljubljanskega barja. *Glasnik Slovenske matice*, 27/27, 1/2: 93-95
- Rasmussen P. 2005. Mid- to Late-Holocene land-use change and lake development at Dallund Sø, Denmark: vegetation and land-use history inferred from pollen data. *The holocene*, 15, 8: 1116-1129
- Rasmussen P., Bradshaw G. 2005. Mid- to Late-Holocene land-use change and lake development at Dallund Sø, Denmark: study aims, natural and cultural setting, chronology and soil erosion history. *The holocene*, 15, 8: 1105-1115
- River diatoms. Multiaccess key. Notes on habit and environmental preferences.
<http://craticula.ncl.ac.uk/EADiatomKey/html/environment.html>
(9. 12. 2006)
- Sander Johansson L., Lidal Amsinck S., Bjerring R., Jeppensen E. 2005. Mid- to Late-Holocene land-use change and lake development at Dallund Sø, Denmark: trophic structure inferred from cladoceran subfossils. *The holocene*, 15, 8: 1143-1151
- Schaumburg J., Schmedtje U., Schranz C., Köpf B., Schneider S., Meilinger P., Hofmann G., Gutowski A., Foerster J. 2005. Instruction Protocol for the Assessment of Running Waters for Implementation of the EU Water Framework Directive: Macrophytes and Phytobenthos. 89 str.
http://www.bayern.de/lfw/technik/gkd/lmn/fliessgewaesser_seen/pilot/am_e.htm
(20. dec. 2006)
- Schaumburg J., Schmedtje U., Schranz C., Köpf B., Schneider S., Stelzer D., Hofmann G., Gutowski A., 2005. Instruction Protocol for the Assessment of Lakes for Implementation of the EU Water Framework Directive: Macrophytes and Phytobenthos. 44 str.
http://www.bayern.de/lfw/technik/gkd/lmn/fliessgewaesser_seen/pilot/am_e.htm
(20. dec. 2006)
- Stoermer E.F. & Smol J.P. 1999. *The Diatoms. Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 469 str.
- Šercelj A. 1963. Razvoj würmske in holocenske gozdne vegetacije v Sloveniji. *Razprave*. (Razred 4), Razred za prirodoslovne in medicinske vede, 7: 361-418
- Šercelj A. 1965. Paleobotanične raziskave in zgodovina Ljubljanskega barja. *Geologija*, 8: 5-27

- Šercelj A. 1966. Pelodne analize pleistocenskih in holocenskih sedimentov Ljubljanskega barja. Razprave. (Razred 4), Razred za prirodoslovne in medicinske vede, 9, 9: 431-469
- Šercelj A. 1967. Razvoj tal južnega dela Ljubljane v luči pelodnih raziskav. Razprave. (Razred 4), Razred za prirodoslovne in medicinske vede, 10, 7: 277-302
- Šercelj A. 1968. Vrtanja na Kostanjevici pri Bevkah. Proteus, 31, 2: 52-53
- Šercelj A. 1974/75. Palinološke raziskave na Ljubljanskem barju. Proteus, 37, 9/10: 428-433
- Tancik R. 1965. Pedološke značilnosti Ljubljanskega barj. Geologija, 8: 58-79
- Toman M. J., Urbanič G. 2003. Varstvo celinskih voda. Študentska založba, Ljubljana, 94 str.
- Turk J. 2006. Ugotavljanje paleoekoloških sprememb na Ljubljanskem barju v holocenu na primeru sedimentov z Resnikovega prekopa. Resnikov prekop, 2006: 93-98
- van Dam H., Mertens A. & Sinkeldam, J. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands J. Aquatic ecology*, 28, 117-133.
- Wetzel, R.G. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystem. Academic Press, San Diego.
- Wolfe A. 2003. Diatom community response to late-Holocene climatic variability, Baffin Island, Canada: a comparison of numerical approaches. *The Holocene*, 13, 1: 29-37

ZAHVALA

Najlepša hvala mentorju prof. dr. Mihaelu J. Tomanu, ki me je usmerjal pri raziskovanju in izdelavi diplomske naloge.

Dr. Gorazd Kosi, hvala za strokovno pomoč in potrpežljivost pri določanju alg.

Hvala dr. Maji Andrič za strokovno pomoč, sodelovanje pri projektu in za vse izrisane diagrame.

Za elektronske posnetke alg se zahvaljujem doc. dr. Kazimirju Drašlerju.

Hvala doc. dr. Gorazdu Urbaniču za izdelavo diagramov.

Najlepša hvala družini, ki me je podpirala ves čas študija.

PRILOGE

Priloga A, Vrednosti trofičnega diatomejskega indeksa (TDI) za različne vzorce

globina vzorca (cm)	vrednost TDI
112	2,44
120	2,42
128	2,35
136	2,40
144	2,45
152	2,48
160	2,35
168	1,11
176	1,36
184	1,22
192	1,11
216	1,17
224	1,20
232	1,48
240	2,30
248	2,28
256	2,28
264	2,32
272	2,30
280	2,30
288	2,11
296	2,34
304	1,76
312	2,38
320	2,37
328	2,31
336	2,29
344	2,36
352	2,17
360	2,34
368	2,30
376	2,21
384	2,27
400	2,31
408	2,31
416	2,27
424	2,29
432	2,32
440	2,34
448	2,34
456	2,31
464	2,31
472	2,16

se nadaljuje

nadaljevanje

480	2,28
488	2,38
492	2,38
512	2,21
544	1,39
560	1,23
576	1,41
600	1,29
610	1,20
640	1,16
650	1,39

Priloga B, Opis sedimenta vrtine »Na mahu 1. Avtorica: dr. Maja Andrič

Globina	Opis sedimenta	Barva sedimenta
0-20 cm	organski sediment	črna
54-128 cm	organski sediment	črna
128-151 cm	z organskimi snovmi bogata glina	zelo temno siva
151-160 cm	z organskimi snovmi bogata glina	črna
160-194 cm	organska karbonatna jezerska kreda	temna sivo rjava
194-246 cm	meljasta organska karbonatna jezerska kreda	temna sivo rjava
246-270 cm	meljasta organska karbonatna jezerska kreda	sivo rjava
270-542 cm	karbonatna jezerska kreda	siva
542-576 cm	karbonatna jezerska kreda	sivo rjava
576-599 cm	meljasta organska karbonatna jezerska kreda	sivo rjava
599-650 cm	karbonatna jezerska kreda	siva
650-720 cm	z organskimi snovmi bogata glina	temno siva