



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI  
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,  
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI  
PERSOANELOR VÂRSTNICE  
AMPOSDRU



Fondul Social European  
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale  
2007-2013



MINISTERUL  
EDUCAȚIEI  
NAȚIONALE  
OIPOSDRU



UNIVERSITATEA “DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI  
ȘCOALA DOCTORALĂ A FACULTĂȚII DE ȘTIINȚE ȘI MEDIU

# TEZĂ DE DOCTORAT

## REZUMAT

### **Determinarea stării calității mediului în ecosistemele acvatice folosind parametrii biologici și fizico-chimici**

**Conducător științific:**

**Prof. univ. dr. ing. Lucian Puiu GEORGESCU**

**Doctorand:**

**Maria Cătălina ȚOPA**

**Galați  
Seria I4 Nr. 17  
2013**



29225/18.11.2013

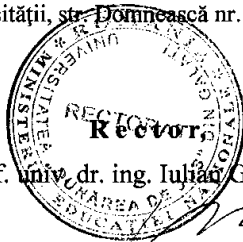
C ă t r e

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați vă face cunoscut că, în data de **14.12.2013** ora **13.00**, în sala **FORINFO** a Facultății de Științe și Mediu, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: **„DETERMINAREA STĂRII CALITĂȚII MEDIULUI ÎN ECOSISTEMELE ACVATICE FOLOSIND PARAMETRII BIOLOGICI ȘI FIZICO - CHIMICI”**, elaborată de doamna/domnul **ȚOPA MARIA - CĂTĂLINA**, în vederea conferirii titlului științific de doctor în domeniul de doctorat **Ingenierie industrială**.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

- |                                  |                                                                                               |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Președinte</b>             | <b>Conf.univ.dr. Jenică CRÂNGANU</b><br>Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați             |
| <b>2. Conducător de doctorat</b> | <b>Prof.univ.dr.ing. Lucian-Puiu GEORGESCU</b><br>Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați   |
| <b>3. Referent oficial</b>       | <b>Prof.univ.dr.ing. Lăcrămioara-Diana ROBESCU</b><br>Universitatea POLITEHNICA din București |
| <b>4. Referent oficial</b>       | <b>Prof.univ.dr.ing. Cristina COSTACHE</b><br>Universitatea POLITEHNICA din București         |
| <b>5. Referent oficial</b>       | <b>Conf.univ.dr. Cătălina ITICESCU</b><br>Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați           |

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat, și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa universității, str. Domnească nr. 47, 800008 Galați, Fax 0236 / 461353, e-mail rectorat@ugal.ro.



Prof. univ. dr. ing. Iulian Gabriel BÎRSAN

**Mulțumiri...**

*Doresc să aduc sincere mulțumiri tuturor cadrelor didactice universitare care au contribuit la formarea mea profesională și care m-au încurajat și sprijinit în decursul celor trei ani de doctorat.*

*Adresez toată mulțumirea și recunoștința mea domnului profesor universitar doctor inginer Lucian Puiu Georgescu, care, în calitatea de conducător științific, mi-a oferit un real sprijin pe întreaga perioadă de desfășurare și elaborare a prezentei teze de doctorat, pentru competența și permanenta îndrumare științifică oferită precum și pentru încrederea, răbdarea și înțelegerea de care a dat dovadă în toți acești ani.*

*Mulțumesc doamnei conf. dr. Cătălina Iticescu pentru îndrumarea de specialitate și ajutorului acordat în elaborarea tezei, pentru fructuoasa colaborare în lucrările științifice publicate dar și pentru și pentru discuțiile utile și încurajările permanente acordate pe tot parcursul elaborării tezei.*

*Alese mulțumiri adresez distinselor doamne referenți oficiali: prof. dr. ing. Diana Robescu și prof. dr. ing. Cristina Costache – Universitatea Politehnică din București, pentru analizele obiective făcute în cadrul referatelor asupra tezei de doctorat și pentru efortul de deplasare la Galați.*

*Mulțumesc doamnei cercetător dr. Andrea Sunderman din cadrul Institutului de Cercetare Senckenberg din Germania care mi-a facilitat în perioada mobilității externe accesul la informații legate de modalitățile de evaluare biologică și statistică a ecosistemelor acvatice oferindu-mi cu răbdare explicații și sugestii.*

*Țin să mulțumesc în mod special domnului prof. dr. ing. Victor Cristea care mi-a îndrumat și ghidat întreaga activitate profesională încă din timpul facultății.*

*Mulțumesc domnului conf. dr. Gabriel Murariu pentru deosebita atenție acordată dezvoltei mele științifice prin îndrumarea continuă legată de demersurile publicistice dar și pentru încrederea și încurajările oferite.*

*Sincere mulțumiri adresez domnului lect. dr. Gabriel Ionuț Plăvan din cadrul Facultății de Biologie din Iași, doamnei biolog Oana Ihnatiw, doamnei dr. Aurelia Căldăraru, doamnei conf. dr. Mirela Voiculescu, doamnei chimist Silvia Drăgan, doamnei dr. Mihaela Timofti și domnului ing. Cristian Pătrașcu pentru sfaturile utile și informațiile prețioase oferite pe parcursul celor 3 ani de cercetare, dar și pentru ajutorul oferit în timpul prelevărilor și determinării probelor.*

*Doresc pe această cale să mulțumesc în mod deosebit familiei mele și prietenilor mei pentru sprijinul, înțelegerea și răbdarea acordate pe toată perioada în care mi-am elaborat teza de doctorat. Studiile și experimentele prezentate în această teză au fost finanțate prin programul POSDRU/107/1.5/S/76822 TOPACADEMIC și cofinanțat de Guvernul României și Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați.*

## CUPRINS

	Rezumat	Teza
<i>Mulțumiri</i>	ii	i
<i>Cuprins</i>	1	ii
<i>Contribuții personale</i>	3	iv
<i>Lista notațiilor și abrevierilor</i>	5	vii
<b>Introducere</b>	6	1
<b>Capitolul I. Cercetări fizico-chimice și biologice asupra apelor Dunării. Stadiul actual al cercetării</b>	8	6
<b>1.1 Parametri fizico - chimici</b>		7
1.1.1. <i>Descrierea parametrilor fizico-chimici</i>		7
A. <i>Indicatori fizici</i>		7
B. <i>Indicatori chimici</i>		8
1.1.2. <i>Determinarea Water Quality Index (WQI)</i>	9	9
<b>1.2 Caracteristici biologice</b>		12
1.2.1. <i>Indicii de diversitate</i>	10	15
1.2.2. <i>Scorurile biotice BMWP și ASPT</i>		17
1.2.3. <i>Indicele Saprob Pantle-Buck</i>	11	18
<b>1.3 Ecologia ecosistemelor acvatice</b>		19
1.3.1. <i>Ecosisteme fluviale</i>		21
<b>Capitolul II. Materiale și metode de cercetare și prelucrare a datelor</b>	12	25
<b>2.1 Tipuri de ecosisteme acvatice: Dunăre, Siret și Prut</b>		25
<b>2.2 Instrumente și metode de determinarea a parametrilor fizico-chimici</b>	12	29
<b>2.3 Instrumente și metode de prelevare și determinare a macronevertebratelor bentonice</b>	13	37
<b>2.4 Metode de prelucrare statistică a datelor experimentale</b>		40
2.4.1. <i>Scala non-metrică multidimensională (NMS)</i>		40
2.4.2. <i>Analiza componentelor principale (PCA)</i>		41
2.4.3. <i>Regresia liniară și polinomială</i>		41
2.4.3.1. <i>Regresia polinomială</i>		41
2.4.3.2. <i>Regresia liniară</i>		44
2.4.4. <i>Descrierea softurilor folosite la analiza datelor: ASTERICS, TIN-R, PC-ORD</i>		45
<b>Capitolul III: Rezultate experimentale</b>	13	47
<b>3.1 Experimentele și rezultatele obținute în urma analizei biologice</b>	14	47
3.1.1 <i>Structura comunităților funcționale bentonice pe cursul inferior al Dunării de la km 160 până la km 80</i>	14	47
3.1.2 <i>Evaluarea calității apei Dunării cu ajutorul macronevertebratelor bentonice</i>	20	57
3.1.2.1 <i>Analiza saprobică – Indicele Saprob (după metoda Pantle-Buck)</i>	20	57
3.1.2.2 <i>Analiza scorurilor biotice: BMWP, ASPT</i>	21	58
3.1.2.3 <i>Analiza indicilor de diversitate și similaritate: Shannon W.,</i>	22	61

<i>Simpson, Margalef, Eveness</i>		
3.1.3 Variabilitatea sezonieră în compoziția faunei bentonice aferentă Dunării și râurilor din Sudul și Centrul Germaniei. Analiza comparativă a coeficienților de similaritate Bray- Curtis și Jaccard	25	67
3.1.4 Valorile ecologice de prag în contextul poluării antropice	27	72
<b>3.2 Experimentele și rezultatele obținute pe baza analizelor fizico-chimice</b>	28	78
3.2.1. Monitorizarea sezonieră a parametrilor fizico-chimici	28	78
3.2.2. Determinarea calității apei Dunării folosind indicele de calitate WQI	29	85
<b>Capitolul IV: Discuții și concluzii</b>	31	91
<b>4.1 Avantajele și dezavantajele utilizării macronevertebratelor bentice ca bioindicatori</b>	31	91
<b>4.2 Avantajele și dezavantajele utilizării WQI în determinarea calității apei Dunării</b>	31	92
<b>4.3 Corelațiile statistice între WQI și indicii biotici analizați</b>	33	95
<b>4.4 Concluzii asupra optimizării procedurilor și metodologiilor de monitorizare a calității apelor Dunării</b>	37	149
4.4.1 Eficiența metodelor biologice și a metodelor fizico-chimice de evaluarea calității apei Dunării, analiza SWOT	37	150
<b>4.5 Implicații în practicile de management acvatic al Dunării.</b>	38	151
<b>4.6 Direcții de continuare a studiilor</b>	39	152
<b>Bibliografie</b>	40	154
<b>Anexe</b>		167

### LISTA CONTRIBUȚIILOR PERSONALE

#### Articole publicate în reviste cotate ISI

1. C. Iticescu, L. P. Georgescu, **C. M. Țopa**, *Assessing the Danube Water Quality Index in the City of Galati, Romania*, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, November 2013, Vol. 8, No. 4, p. 155 – 164 (FI=1,495), <http://www.ubm.ro/CJEES/viewTopic.php?topicId=382>
2. A. Caldararu, **M. C. Țopa**, G. Murariu, F. Sangiorgio, A. Basset, L. P. Georgescu, *Ecological Research for the Future of our Water – Interactions Between Biotope and Biocoenosis*, Journal of Environmental Protection and Ecology 14, No 3, p. 856–863 (2013), <http://www.jepe-journal.info/journal-content/vol14-no3>
3. L. P. Georgescu, C. Iticescu, G. Murariu, **C. Țopa**, *Ecological revitalisation of brownfields, a challenge for Romania and Eastern Europe*, Journal of Food, Agriculture and Environment (JFAE) – Acceptat spre publicare în JFAE - Vol.12(1) Ianuarie 2014 (mesajul de acceptare se găsește în anexe).
4. C. Iticescu, L. P. Georgescu, **C. M. Țopa**, G. Murariu, *Monitoring Danube water quality near Galati City*, Journal of Environmental Protection and Ecology - în curs de publicare.
5. Gabriel Murariu, Lucian Georgescu, Cătălina Iticescu, Vlad Gogoncea, Florin Mingireanu, Ionut Mocanu, **Catalina Țopa**, 2013. *The Optimization of Urban Selective Waste Collection Activity: Galati City Case Study*. Environmental Engineering and Management Journal - în curs de publicare.

#### Articole publicate în reviste indexate în baze de date internaționale

1. **Cătălina M. Țopa**, Cătălina Iticescu, Lucian P. Georgescu, Gabriel Murariu, *Testing the influences of environmental variables on biotic indices to assess Danube water quality*, ANNALS OF “DUNAREA DE JOS” UNIVERSITY OF GALATI, MATHEMATICS, PHYSICS, theoretical mechanics, Fascicle II, Year V(XXXVI) 2013, no. 2, p. 270 – 276.
2. **Cătălina M. Țopa**, Adrian Burada, Cătălina Iticescu, Lucian P. Georgescu, *Dynamics of heavy metals in surface water from aquatic complexes Somova-Parcheș*, ANNALS OF “DUNAREA DE JOS” UNIVERSITY OF GALATI, MATHEMATICS, PHYSICS, theoretical mechanics, FASCICLE II, YEAR V(XXXVI) 2013, no. 2, p. 90 – 95.
3. **Cătălina M. Țopa**, A. Căldăraru, L. P. Georgescu, C. Trif, G. Murariu, *Human Impact on Benthic Biocenosis Structure on a Sector of the Lower Danube*, The Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, Year III (XXXIV) 2011, No. 2, p. 282-290.
4. Aurelia Caldararu, **Catalina Țopa**, Lucian Georgescu, Gabriel Murariu, *Numerical Approaching in Water Quality Assesment*, The annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Fascicle IX, Metalurgy and materials science, Year XXIX, p. 109-112, May 2011, Special Issue, ISSN 1453-083X.
5. Mingireanu Florin, Gabriel Murariu, Mocanu Ionut, Lucian P. Georgescu, **Cătălina M. Țopa**, *Preliminary Results on Atmospheric Monitoring Through High-Altitude Balloon*, Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, Year III (XXXIV) 2011, No. 2, p. 310-314.
6. Adrian Burada, **Cătălina M. Țopa**, Lucian P. Georgescu, Cătălina Iticescu, *Accumulation of heavy metals in sediments from the last part of Danube floodplain*,

ANNALS OF "DUNAREA DE JOS" UNIVERSITY OF GALATI, MATHEMATICS, PHYSICS, theoretical mechanics, Fascicle II, Year V(XXXVI) 2013, no. 2, p. 96 – 101

### Lucrari prezentate la conferințe internaționale

1. Gabriel Murariu, Cătălina Iticescu, Lucian Georgescu, Cătălina Țopa, *Seasonal thrust main physico-chemical parameters for the Danube River in Tulcea*, TIM - 13 Physics Conference, 21 – 24 November, 2013, Timișoara, România
2. Gabriel Murariu, Lucian Georgescu, **Cătălina Topa**, Mihaela Timofti, Razvan Ionut Mocanu, Popa Paula, "*Comparison between pristine lagoon water systems in Romania and Italy. Case study - Leahova and Sinoe lagoons (România) and Cesine lagoon (Italy)*" (poster presentation-published abstract) "European Biotechnology Congress", Bratislava, Slovakia, 16 - 18 May 2013.
3. Gabriel Murariu, Lucian Georgescu, **Cătălina Topa**, Michaela Dobre, Razvan Ionut Mocanu, Anca Alexandra Dobrea (Popescu), Mimi Dobrea. "*Using the physico-chemical and biological parameters in the state functions definition. Case Study - River Candelaro (Italy)*"; (poster presentation-published abstract) 'European Biotechnology Congress', Bratislava, Slovakia 16 - 18 May 2013.
4. **Cătălina M. Țopa**, Gabriel Plăvan, Aurelia Căldăraru, Cătălin Trif, Lucian P. Georgescu, "*Human impact on benthic biocenosis structure on the Lower Danube*" (poster presentation- published abstract), International Scientific Session "The Human Impact On Biodiversity In Black Sea Area" Agigea–Constanța, 21-22 October 2011.
5. **Cătălina M. Țopa**, Cătălin Trif, Lucian P. Georgescu, Gabriel Murariu, "*The influence of abiotic factors on benthic macroinvertebrates communities on a sector of Lower Danube*" (prezentare poster), International Conference "The First PhD Student Symposium" Galati, 7-8 december 2011.
6. Aurelia Căldăraru, Gabriel Murariu, **C. M. Topa**, Lucian P. Georgescu, Catalina Iticescu, "*Ecological research for the future of our water - interactions between biotope and biocoenosis*", poster presentation "Environmental Capacity Building, Bucuresti, 11-13 noiembrie, 2011.
7. Aurelia Căldăraru, Gabriel Murariu, **Cătălina Topa**, Lucian P. Georgescu, Cătălina Iticescu, "*Multivariate statistical procedure for the evaluation of water quality of Margherita di Savoia (Italy) - a case study*" oral presentation "Environmental Capacity Building", Bucuresti, 11-13 noiembrie, 2011
8. Trif C., L. Georgescu, D.E. Constantin, **C. M. Topa**, „*Comparison between two fluid models results in water flood assesment*”, prezentare poster "The First PhD Student Symposium" Galati, 7-8 decembrie 2011
9. Florin Mingireanu, Ionuț Răzvan Mocanu, Lucian Georgescu, Gabriel Murariu, **Cătălina Topa**, "*The Environmental Observation Using Reactive Devices*", The Second PhD Student Symposium, 13th-14th December 2012, Galați

### Lucrări prezentate la conferințe naționale

1. **Cătălina M. Topa**, Cătălina Iticescu, Gabriel Murariu, Adrian Burada, Lucian P. Georgescu "*Diversity indices – Suitable tools for assessing water quality*", (prezentare poster) - Conferința Științifică a Școlilor Doctorale din Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați (CSSD-UDJG) 16- 17 Mai 2013.
2. Adrian Burada, **Cătălina M. Topa**, Lucian P. Georgescu „*Gradul changes in concentration of heavy metals in aquatic complex Somova Parches*” (prezentare orală),

Conferința Științifică a Școlilor Doctorale din Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați (CSSD-UDJG) 16- 17 Mai 201

3. Adrian Burada, Lucian Georgescu, **Cătălina M. Topa** “*Dynamics of heavy metals from Somova Parches aquatic complexes*” (prezentare orală), Conferința Științifică a Școlilor Doctorale din Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați (CSSD-UDJG) 16- 17 Mai 2013.

### Lista notațiilor și abrevierilor

DCA	Directiva Cadru Apă
WFD	Water Frame Directive
RCC	Conceptul de Râu Continu
JDS	Joint Danube Survey
AQM	Dezvoltarea și testarea unui sistem de evaluare integrat pentru calitatea ecologică a râurilor și fluviilor din toată Europa, utilizând macronevertebratele bentonice
WQI	Indicele calității apei bazat pe indicatori fizico chimici
EPT	Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera
# MOPCr taxa	Numarul taxonilor din clasele Mollusca, Oligochaeta, Polychaeta și Crustacea
MOPCr taxa [%]	Procentul de taxoni din clasele Mollusca, Oligochaeta, Polychaeta și Crustacea
BMWP	Indicele Grupului de Lucru pentru Monitorizarea Biologică
ASPT	Average Scor per Taxon
PCA	Analiza Componentelor Principale
H'	Indicele Shannon W.
J'	Indicele Pielou
NMS	Scala non-metrică multidimensională
OD	Oxigen dizolvat
CCO	Consumul chimic de oxigen
CBO <sub>5</sub>	Consumul biochimic de oxigen
TITAN	Analiza valorilor de prag ale taxonilor indicatori
SD	Deviația standard
DWS	Diversitatea Shannon W.
CC	Coeficient de corelație
MAE	Eroare absolută
ANOVA	Analiza variației
R <sup>2</sup>	Coeficientul R pătrat
NTPA	Norma Tehnică Românească
UNESCO	Organizația Națiunilor Unite pentru Educație, Stiința și Cultură
Hololimnic	Organism de apă dulce care își desfășoară întreg ciclul de viață în apă
Merolimnic	Organism de apă dulce care își petrece doar a parte a ciclului de viață în apă după care părăsește habitatul



## Introducere

Teza de doctorat cu titlul *Determinarea stării calității mediului în ecosistemele acvatice folosind parametri biologici și fizico-chimici*, abordează o tema de cercetare actuală în domeniul evaluării calității ecosistemelor acvatice.

Concret, monitorizarea și evaluarea calității ecosistemelor acvatice se bazează pe stabilirea proprietăților fizice, chimice și biologice fundamentale ale apelor precum și biotopurilor asociate. Activitățile de monitorizare, evaluare, precum și optimizarea metodologiilor cuprind etape multiple și un management adaptativ, care include procese științifice, de comunicare și schimb de bune practici, în funcție de structurile implicate și de utilizatorii intermediari și finali.

Evoluția calității ecosistemelor acvatice de suprafață depinde de o multitudine de factori naturali și antropici și este cu atât mai complexă cu cât suprafețele evaluate și dimensiunile bazinelor hidrografice sunt mai importante. Cauzele antropice sunt legate de activitățile agricole, industriale, precum și de existența aglomerărilor urbane și de impactul acestora în contextul dezvoltării durabile.

Conform Directivei Cadru Apă (DCA), strategia de monitorizare și caracterizare a calității ecosistemelor acvatice de suprafață se bazează pe evaluarea componentelor biologice, hidromorfologice și fizico-chimice (calitative și cantitative). De asemenea, DCA își propune menținerea și îmbunătățirea calității vieții în mediul acvatic, precum și contribuția la reducerea progresivă a emisiilor de substanțe periculoase, calitatea ecosistemelor acvatice având impact direct asupra sănătății umane, ținând cont că acestea sunt sursa principală de apă potabilă pentru aglomerările urbane.

Nu pot fi neglijate aspectele sinergice legate de poluare, în aceste sens trebuie luați în considerare factorii poluanți ai solului care afectează direct calitatea ecosistemelor acvatice legate prin circuitul natural al apei. La nivel național apele de suprafață sunt supuse unei presiuni importante care poate determina deteriorarea ecosistemelor acvatice cu consecințe drastice asupra unor zone cum ar fi Delta Dunării.

În baza acestei strategii am inițiat acest studiu care s-a desfășurat pe perimetrul Dunării Inferioare, adiacent orașului Galați. Scopul acestui studiu este de a evalua și monitoriza calitatea apei de Dunăre în perimetrul Ostrovul Chiciului (km 160) – Reni - Ceatal Chilia (km 81) și pe două stații tributare (afluentii Siret și Prut) pe baza modificării compoziției comunităților de macronevertebrate, indusă de poluarea apei și a sedimentelor sau de alterarea fizică semnificativă a albiei râului.

În ultimii ani un interes deosebit a fost acordat studiului raportului dintre variabilele de mediu și datele taxonomice, respectiv modul în care comunitățile de macronevertebrate reacționează la presiunile mediului, cum ar fi poluarea organică și eutrofizarea, iar răspunsul la această întrebare ne poate ajuta să estimăm care este nivelul de poluare într-un curs de apă și să ne arate schimbările la nivel de diversitate, abundența și distribuția din interiorul comunităților. De aceea, posibilă utilizare a organismelor ca indicatori biologici în evaluarea calității ecosistemelor acvatice și de identificare a schimbărilor este foarte utilă în condițiile în care conexiunile funcționale ale factorilor perturbatori și modul de răspuns al speciilor sunt bine studiate și înțelese. Este pentru prima dată când se inițiază un studiu atât de complex în zona Dunării Inferioare adiacentă Municipiului Galați.

Singura acțiune științifică de monitorizare a fluviului Dunărea de până acum, “Joint Danube Survey”, s-a desfășurat în două etape în anii 2001 și 2007 pe 2375 km traversând 11 țări. Prin această acțiune s-a urmărit definirea problemelor concrete ale Dunării, mai ales în apropierea zonelor urbane și complexelor energetice cu influențe directe asupra mediului

acvatic. Din punct de vedere științific, dar și al utilității, respectiva acțiune este insuficientă, întrucât, deși a acoperit tot cursul Dunării de la Regensburg până în Delta Dunării, distanțele dintre punctele de prelevare au fost foarte mari, iar monitorizarea propriu-zisă s-a realizat doar de două ori în decurs de 7 ani.

Lipsa determinărilor sistematice biologice sub forma unor indicatori biotici și abiotici globali, conduce la lipsa posibilității clasificării corecte și unanim acceptabile pentru zonele Dunării. Mai mult de atât, lipsa acestor determinări pe perioade lungi și pe zone extinse conduce la o imagine incompletă asupra evoluției calității apelor Dunării în timp și pe zone, precum și la lipsa unor instrumente de determinare a impactului factorilor naturali și antropici asupra evoluției acestor parametri de calitate.

Monitorizarea permanentă a calității apelor de suprafață în zona Dunării de Jos la Galați este importantă atât pentru determinarea calității apei Dunării, ca sursă de apă potabilă pentru peste 600000 de oameni (aglomerația urbană Galați-Braila), cât și pentru cuantificarea efectelor antropice pentru apele de suprafață în unul din cele mai importante bazine hidrografice din Europa (Dunăre, Siret, Prut). Observațiile din teren au fost menite să cuantifice, de asemenea, efectul intrării în funcțiune a stației de epurare a apelor uzate, prima din Galați, care, deși este în această perioadă limitată la decantarea și separarea nămolului rezultat, reprezintă o investiție foarte importantă pentru limitarea impactului asupra mediului.

Monitorizarea s-a realizat pe baza parametrilor fizico-chimici și a structurii biocenozelor bentale, cu scopul ulterior de a dezvolta instrumente și metode de evaluare ce vor fi folosite în practicile de conservare și management acvatic național, determinând modul în care bogăția taxonomică variază în timp și spațiu în funcție de condițiile abiotice.

Studiul ce face obiectul prezentei teze de doctorat s-a realizat prin monitorizarea a 19 indicatori fizico-chimici prin determinări efectuate în 5 stații de prelevare, în 12 sezoane în perioada 2010-2013 și monitorizarea biologică prin determinările macronevertebratelor bente realizate în 8 stații pe parcursul a 4 anotimpuri în anii 2011-2012.

Pentru a evalua calitatea ecosistemelor acvatice pe baza indicatorilor chimici și biologici au fost parcurse următoarele secvențe de pași:

- stabilirea secțiunilor de monitorizare;
- stabilirea frecvenței de prelevare și eșantionare;
- prelevarea și conservarea probelor de apă și macronevertebrate;
- determinări ale parametrilor fizico-chimici și analiza acestora;
- identificarea grupurilor sistematice;
- analiza calitativă și cantitativă a structurii comunităților de macronevertebrate;
- calculul indicelui de calitate al apei (WQI);
- calculul indicilor ecologici și a variațiilor sezoniere;
- interpretarea datelor și încadrarea corpului de apă într-o clasă de calitate.

**Obiectivele tezei** sunt următoarele:

- abordarea integrată a unei arii hidrografice puțin evaluate;
- monitorizarea chimică și biologică pe o perioadă semnificativă și pe un areal în care parametrii de calitate sunt afectați de activități agricole, industriale și umane;
- determinarea indicelui de calitate al apei și a indicilor biotici și de diversitate;
- determinarea complexă a similitudinilor și corelațiilor dintre parametrii fizico-chimici și biologici;
- identificarea unor instrumente și metodologii cu o bază științifică solidă, dar cu posibilitatea abordării simplificate de structuri fără competențe științifice specifice.

Pentru evaluarea parametrilor fizico-chimici și biologici s-a realizat:

- calculul indicelui de calitate al apei WQI și corelarea acestuia cu indicii biotici;
- compararea și cuantificarea structurii comunităților de macronevertebrate de pe râurile de ordin 3 cu cele de talie mare, precum Dunărea.

- o cercetare mai amănunțită asupra motivelor variabilității ridicate prezente în lista taxonomică lărgind orizontul viitoarelor cercetări comparative privind structura, diversitatea, sezonalitatea și diferențele ce pot apărea la nivelul comunităților de macronevertebratelor odată cu mărirea râului dar și trendul general pe care acestea îl urmează.

Prezenta teză de doctorat consideră că determinările experimentale complexe pentru zone determinate, având caracteristici geomorfologice și de debit similare, pot conduce la caracterizarea calității apei Dunării în aceste zone și mai ales determinarea evoluției acestora, inclusiv a impactului tributurilor și a impactului antropic.

Originalitatea acestei lucrări constă în cuantificarea stării ecologice a fluviului Dunărea în perimetrul cursului său inferior prin abordarea statistică integrată a indicatorilor fizico-chimici și biologici monitorizați pe parcursul a 3 ani (2010-2013) și stabilirea interdependenței dintre aceștia prin corelații statistice. Pentru realizarea acestor corelații au fost studiați 7 indicatori biologici și de diversitate, la care se adaugă indicii de calitate al apei (WQI) calculat pe baza a 19 parametri fizico-chimici. Analiza variabilității a fost realizată prin studiul comparativ a coeficienților de similaritate între 3 râuri din sudul Germaniei și 3 râuri din România. Rezultatele obținute ne-au condus la concluzia ca există o relație de interdependență statistică a factorilor biotici față de cei abiotici. Modelele de regresie obținute pot fi folosite cu succes în implementarea planurilor de management a cursurilor de apă de dimensiuni mari (fluvii și râuri mari). Cercetările efectuate au prezentat un grad ridicat de complexitate prin corelarea și analiza indicatorilor biotici și abiotici.

Teza este structurată în 4 capitole. În capitolul 1 s-a realizat o prezentare succintă a literaturii de specialitate din domeniu, fiind prezentate aspecte teoretice referitoare la metodele de analiză a apei prin intermediul indicatorilor biologici și fizico-chimici.

În capitolul 2 sunt prezentate materialele și metodele de cercetare și prelucrare a datelor experimentale. De asemenea, sunt prezentate instrumentele de analiza a parametrilor fizico-chimici și procesul de prelevare și determinare a macronevertebratelor benthice folosite ca bioindicatori. Analizele statistice și calculul indicatorilor au fost realizate în diferite programe statistice și de evaluare folosite în România și Germania.

În capitolul 3 sunt prezentate rezultatele cercetărilor proprii prin analizele și rezultatele experimentale obținute în urma analizei biologice și fizico-chimice, structura comunităților de macronevertebrate, calculul și analiza statistică a indicatorilor de calitate precum și determinarea variabilității sezoniere din compoziția faunei bentonice.

Capitolul 4 este consacrat discuțiilor și concluziilor asupra avantajelor și dezavantajelor utilizării diferiților indici de calitate folosiți la caracterizarea ecosistemelor acvatice și stabilirea corelațiilor semnificative dintre aceștia.

## **Capitolul 1. Cercetări fizico-chimice și biologice asupra apelor Dunării**

În acest capitol sunt prezentate modalitățile generale de evaluare a calitatii apei din punct de vedere fizico-chimic și biologic și analiza descriptivă a tuturor indicilor biologici și fizico-chimici folosiți în evaluarea calitatii apei Dunării în perimetrul analizat. Din consultarea literaturii de specialitate se constată că, spre deosebire de determinările parametrilor fizico-chimici care acoperă zone și perioade importante, determinările biologice au fost realizate pe diferite componente de floră și faună (de la exemplare microscopice până la vertebrate), dar nu au fost suficient de acoperitoare în zonele similare ale Dunării. Motivul principal pentru monitorizarea calitatii apei este, în mod tradițional, acela de a verifica în ce mod calitatea apei din cursul de apă monitorizat este potrivită pentru utilizările propuse (Niharika, 2011). În prezent, scopul monitorizării s-a îmbogățit, fiind urmărite, în special, evoluția calitatii mediului acvatic și modul în care mediul este afectat de eliberarea de

contaminanți rezultați în urma activităților umane. Acest tip de monitorizare este adesea cunoscut ca monitorizarea impactului activităților antropice asupra mediului (Mohamed, 2012), studiul interacțiunilor dintre biotop și biocenoză, respectiv a relațiilor dintre variabilele de mediu și influența lor asupra comunităților acvatice fiind de o importanță primordială în procesul de evaluare a calității apei (Țopa, 2011; Căldăraru, 2013)

Problema caracterizării calitative constă și în lipsa unor limite ale indicatorilor biologici acceptate la nivelul majorității cercetătorilor interesați, limite care să conducă la clasificări calitative viabile, aceasta fiind tocmai una din cerințele importante ale DCA. Aceste limite sunt cu atât mai necesare cu cât pentru indicatorii biologici (macrozoobentos, macrofite etc) nu există limite stabilite ca fiind acceptabile mai ales la nivelul unei ape precum Dunărea.

Situația este similară în cazul parametrilor fizico-chimici: în timp ce variația temporală sau spațială a unui parametru sau a doi parametri poate conduce la concluzii eronate asupra calității apei (de exemplu variații ale pH-ului în anumite zone), este necesară determinarea unui indice de calitate global (precum WQI) care ia în considerare mai mulți parametri simultan.

Există metodologii tranzitorii care iau în considerare mai mulți parametri biologici fără a asigura extinderea valabilității indicelui rezultat. Este cazul "indicelui multimetric" valabil pentru apele de suprafață din România (Moldoveanu, 2011). Este interesant faptul că nu este posibilă utilizarea acestui indice multimetric pentru globalitatea fluviului din cauza complexității sistemului.

### 1.1.2 Determinarea Water Quality Index (WQI)

WQI oferă informații științifice complexe și sintetizează într-un singur număr dacă apă se încadrează în clasa de calitate corespunzătoare utilizării în activitățile umane. De asemenea, indică orice modificare relativă în calitatea apei.

WQI este un indicator important care poate fi relativ ușor determinat și importanța sa rezultă din rolul crucial pe care îl au resursele de apă. Acest indicator este recunoscut ca fiind unul din cei 25 de indicatori prin care se apreciază calitatea mediului înconjurător, așa numiții indici de calitate ai mediului (Environmental Performance Index – EPI).

De-a lungul timpului au fost propuse mai multe metode de determinare a WQI. În prezenta teză am folosit un algoritm de calcul în care se vor lua în considerare cei 19 parametri monitorizați, calculându-se ponderea fiecăruia ( $W_i$ ) în calculul indicatorului (Rumman, 2012). Se consideră că apele Dunării se încadrează în categoria a 2-a de calitate (considerație acceptată în majoritatea articolelor științifice și observațiilor pe Dunăre) și toate calculele au fost realizate plecând de la această condiție.

În literatura de specialitate sunt cunoscute mai multe metode de determinare a WQI (Lumb, 2011). În această teză calculul WQI se axează pe aplicarea metodei de calcul denumite în literatura de specialitate **Weighted Arithmetic Water Quality Index Method** (Brown, R.M, 1972; Tripaty, 2005; Shweta, 2013):

Pentru determinarea indicelui de calitate a apei se folosește următoarea ecuație empirică:

$$WQI = \frac{\sum W_i q_i}{\sum W_i}$$

unde:

- **WQI** reprezintă indicele de calitate al apei și este un număr cuprins între 0 și 100 (pentru grade de poluare importante valoarea poate depăși 100);
- $q_i$  reprezintă un scor relativ al calității apei pentru fiecare parametru,  $i$  reprezintă numărul de parametri luați în calcul;

- $W_i$  reprezintă un factor ce indică ponderea aceluiași parametru în calculul WQI (greutatea relativă).
- $Q_i$  se calculează utilizând următoarea expresie matematică:

$$q_i = 100 \frac{V_i - V_o}{S_i - V_o} \quad (2)$$

unde:

- $V_i$  reprezintă valoarea măsurată (determinată experimental) a parametrului  $i$ ;
- $V_o$  reprezintă valoarea ideală a aceluiași parametru (este 0 pentru toți parametrii cu excepția pH-ului unde este 7 și a OD pentru care este  $14,6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ );
- $S_i$  reprezintă valoarea standard permisă de legislația în vigoare pentru apă în categoria de calitate în care a fost încadrată.

Factorul  $W_i$  se calculează cu expresia:

$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad (3)$$

unde  $K$  este o constantă ce se calculează utilizând formula:

$$K = \frac{1}{\sum (1/S_i)}$$

WQI se va calcula folosind standardele românești pentru apele de suprafață (Abraham, 2011).

### 1.2.1. Indicii de diversitate

Începând cu dezvoltarea de metode statistice diferite din ecologie, tot mai mulți ecologiști acvatice încep să exploreze și să se concentreze pe determinarea relației principale dintre întreaga listă de taxoni și parametrii de mediu însoțitori cu ajutorul tehnicii de analiză multivariată și tipurilor de comunități estimate pe baza datelor de mediu (Verdonschot & Moog, 2006), prin urmare, un punct de plecare în evaluarea calitatii apei Dunării l-a constituit analiza indicilor biotici și a indicilor de diversitate.

#### a) Indicele de diversitate Simpson

Acest indice descrie diversitatea în cadrul comunității de macronevertebrate și a fost determinat de Simpson, în 1949 (Mandaville, 2002). Acest index pune un accent destul de scăzut asupra speciilor rare și mai multă greutate pe speciile comune (Krebs, 1994) dintr-o comunitate. Valorile sale se încadrează de la 0, valoarea ce indică un nivel scăzut al diversității, și până la maxim 1, valoare ce indică un nivel ridicat al diversității. Pentru corectarea invers proporțională, rezultatul final se scade din 1 (Turkmen, 2010):

$$D = [\sum n_i(n_i - 1)] / N(N-1)$$

$D$  : indicele de diversitate Simpson

$n_i$ : numărul de indivizi aparținând "i" specii

$N$ : numărul de indivizi ai tuturor speciilor

#### b) Indicele Shannon-Wiener

Acest indice a fost dezvoltat de către Shannon în 1948, pentru a calcula biodiversitatea în ecosistemele acvatice (Mandaville, 2002). Valorile sale sunt înregistrate între 0-5, dar rezultatele obișnuite ale acestui indice sunt între 1,5 – 3,5 și rareori depășesc valoarea de 4,5. Poluarea și degradarea structurii habitatului se explică prin valorile sale sub 1.

$$H = - \sum_{i=1}^s (p_i)(\log_2 p_i)$$

$H$ - indicele de diversitate Shannon W.

“ $p_i$ ” - proporția indivizilor în "i" taxon al comunității

“s” - numărul total de taxoni în comunitate

### c) *Indicele Margalef*

În mod normal, variațiile sale sunt în funcție de numărul de specii, nu are nici o valoare limită și este folosit pentru a compara site-uri (Turkmen, 2010).

$$d = (S-1) / \ln N$$

d- indicele de diversitate Margalef

S- numărul total de specii

N- numărul total de indivizi

### d) *Indicele Evenness*

A fost introdus de Pielou în 1969 și reprezintă expresia modului în care o specie este reprezentată în biocenoză. Ia valori între 0-1. Atunci când indivizii unei specii sunt distribuiți în mod egal în rândul speciilor, valoarea sa se apropie de 1. (Turkmen, 2010).

$$J' = H' / H_{\max}$$

J' – indicele Pielou Evenness

H' – valoarea Indicelui Shannon,  $H'_{\max} = \ln S$

S – numărul total de specii

## 1.2.3. Indicele Saprob Pantle-Buck

Pentru a stabili gradul de poluare datorat a impactului uman și a evalua calitatea apei în zona Dunării a fost calculat și analizat indicele de saprobitate (Kolkwitz și Marson 1908, 1909) care se calculează după metoda Pantle-Buck (1955). În România încadrarea în clase de calitate a apei se face conform Indicelui Saprob în cinci categorii de calitate.

Prin această metodă se realizează o clasificare a gradelor de impurificare a apei după sistemul saprobilor. Indicatorilor biologici li se atribuie câte o valoare numerică (s) corespunzătoare gradului de saprobitate:

- pentru zona oligosaprobă au  $s = 1$ ;
- pentru zona  $\beta$ -mezosaprobă au  $s = 2$ ;
- pentru zona  $\alpha$ -mezosaprobă au  $s = 3$ ;
- pentru zona polisaprobă au  $s = 4$ .

Pe baza frecvenței organismelor în probă se calculează un coeficient de frecvență (h). Indicele saprob se calculează pentru fiecare stație în parte pe baza valorilor lui h și după formula:

$$S = \frac{\sum (s_i \times h_i)}{\sum h}$$

s = valoarea numerică caracteristică aparținând zonei de saprobitate

h = absolută abundență numerică a indivizilor dintr-un taxon anumită

i = taxon

Acest indice are valori cuprinse între 1 și 4 iar clasificarea gradelor de curățenie a apei se face după scala:

S = 1.0 - 1,5 impurificare foarte slabă (zona oligosaprobă)

S = 1.6 – 2.5 impurificare medie (zona  $\beta$ -mezosaprobă)

S = 2.6 – 3.5 impurificare puternică (zona  $\alpha$ -mezosaprobă)

S = 3.6 – 4 impurificare foarte puternică (zona polisaprobă)

## Capitolul II. Materiale și metode de cercetare și prelucrare a datelor

Metodele experimentale folosite în prezenta teză de doctorat au fost realizate în Laboratorul Credențial din cadrul Centrului Regional de Cercetare și Monitorizare a Calității Mediului, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați în colaborare cu Sistemul de Gospodărirea Apelor Iasi și Senckenberg Research Institute, Germania.

Din totalul celor 15 stații de prelevare, 13 s-au situat pe Dunăre și două pe râurile tributare Siret și Prut. Probele de apă și macronevertebrate bentice au fost colectate de-a lungul cursului Dunării din amonte spre aval pe o distanță de aproximativ 79 km începând de la Km 160- Ostrovul Chiciului până la Km 81- Ceatal Chilia, zona în care Dunărea se divide în două brațe Brațul Chilia și Brațul Tulcea. O parte a perimetrului de Dunăre studiat, este inclus, începând cu stația S6 Scurta-Cotul Pisicii în Rezervația Biosferei Delta Dunării, declarată arie naturală protejată încă din 1990 când Delta Dunării și celelalte unități adiacente a fost declarată Rezervație a Biosferei, în cadrul Programului UNESCO „Omul și Biosfera”. Activitățile de management din cadrul Rezervației au ca principal scop protecția și conservarea diversității biologice specifice și a unor zone de habitat natural în ecosistemele acvatice și terestre aferente acestei zone protejate și se realizează conform unor regulamente și planuri de protecție și conservare proprii.

Perimetrul studiat, Ostrovul Chiciului- Ceatal Chilia- Ismail, se încadrează în sectorul Dunării maritime care la rândul lui se întinde de la Brăila la Sulina, lățimea și adâncimea de aproximativ 12 m permițând circulația navelor de tonaj mijlociu.

Pentru analiza statistică a datelor experimentale taxonomice și fizico-chimice au fost utilizate analize de tip:

- Ordinatia NMS (Scalarea non-metrică multidimensională) bazată pe datele taxonomice folosind două tipuri de distanțe de măsură: Sorensen și Jacard;
- Testul Wilcoxon- compararea seturilor de date neperechi;
- Analiza componentelor principale (PCA).

### 2.2 Instrumente și metode de determinarea a parametrilor fizico-chimici

În general recoltarea probelor de apă constituie o etapă importantă premergătoare analizei fizico-chimice fiindcă probele recoltate trebuie să fie reprezentative. Pentru recoltarea probelor de apă destinate analizelor fizico-chimice se folosesc recipiente din plastic (polietilenă), recipiente de sticlă sau sticlă borosilicată, în cazul determinării compușilor organici este interzisă utilizarea recipientelor cu garnituri de neopren. Pentru studiul de față probele de apă au fost colectate în sticle de plastic de 1L cu dop închis ermetic. Recoltarea probelor din cele trei râuri studiate: Dunăre, Siret și Prut s-a făcut pe firul apei în amonte de orice influență a vreunui efluent și în aval la aproximativ 15 m de mal. Probele nu au necesitat conservare deoarece au fost depuse în lada frigorifică pentru analiza imediată în laborator, temperatura de menținere în timpul transportului fiind de 2-5<sup>0</sup> C.

Parametrii masurați în laborator au fost: pH, OD, CCO, CBO5, NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-total, P-PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Cr<sup>6+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, As<sup>3+</sup>.

O parte din analizele fizico-chimice s-au efectuat in-situ: pH-ul și oxigenul dizolvat au fost măsurate cu Multiparametru portabil HANNA HI 9828 dotat cu un electrod multisenzor (pH/ORP, EC, DO).

### 2.3 Instrumente și metode de prelevare și determinare a macronevertebratelor bentonice

Prelevarea probelor de macronevertebrate s-a realizat conform standardelor în vigoare prin metode, utilaje și tehnici diferite în funcție de natura substratului, de adâncime, de utilitatea navei de cercetare și de scopul cercetării (SR EN ISO 9391:2000; SR ISO 5667-6; SR EN 28265:2001; SR EN 27828:2000; SR EN ISO 8689-2:2003).

În cazul studiului prezent a fost necesară adaptarea metodelor normale de prelevare, datorită imposibilității prelevării probelor de macronevertebrate din Dunăre cu fileul bentonic sau draga apucătoare model Van-Veen. Datorită adâncimii apei și malurilor abrupte am folosit o ambarcațiune cu motor pe care s-a instalat un sistem mecanic manual tip scripete (Figura 2.3).



**Figura 2.3.** Ambarcațiune de tip Laguna 565 dotată cu sistem mecanic tip scripete.

S-a atașat acesteia o dragă rectangulară confecționată din inox (Figura 2.4), model KC Denmark 19600 cu deschizătură de 25 x 40 cm, pe laturile de jos și sus prezintă 43 de dinți care răscolesc substratul când draga este tarâtă pe fundul bazinului antrenând organismele în sac. Materialul colectat (macronevertebratele) împreună cu sedimentul în care s-au găsit, a fost spălat in-situ, îndepărtându-se totodată și materialul grosier (pietre, lemne, sticle, etc.), după ce s-au extras organismele fixate pe acestea. Proba a fost depusă în borcane de material plastic și fixată în formaldehidă cu concentrația 4%.

### Capitolul III: Rezultate experimentale

În acest capitolul sunt prezentate rezultatele obținute în urma calculelor și analizelor indicilor biotici, indicilor de diversitate și indicilor funcționali pe baza comunităților de macronevertebrate bentice. De asemenea, sunt redate rezultatele obținute pe baza analizei indicatorilor fizico-chimici și indicatorului de calitate a apei WQI. Monitorizarea din punct de vedere biologic s-a realizat în 8 stații pe parcursul a 4 sezoane aferente anilor 2011-2012. Alte 7 stații au fost eșantionate în august 2012, fiind considerate site-uri de referință. Monitorizarea parametrilor fizico-chimici s-a realizat în 5 stații pe parcursul a 12 sezoane. Cu ajutorul soft-urilor specializate s-a stabilit care este corelația dintre parametrii fizico-chimici și cei biologici.



### 3.1 Experimentele și rezultatele obținute în urma analizei biologice

Experimentele realizate în perimetrul de Dunăre analizat și pe cele două tributare Siret și Prut, au avut ca scop identificarea și stabilirea structurii comunităților funcționale bentale, evaluarea calității ecosistemului folosind macronevertebratele bentonice ca bioindicatori, determinarea variabilității sezoniere din compoziția faunei bentonice, precum și determinarea valorilor ecologice de prag în contextul poluării antropice. Datele taxonomice folosite și prelucrate din acest studiu au fost raportate la m<sup>2</sup>.

#### 3.1.1 Structura comunităților funcționale bentale pe cursul inferior al Dunării de la km 170 până la km 100

Studii anterioare asupra faunei bentale din Dunăre, evidențiază faptul că diversitatea speciilor de macronevertebrate este în scădere (Enăceanu, 1970; Popescu 1961) odată cu trecerea anilor. În urma studiului cel mai recent efectuat asupra comunităților de macronevertebrate de-a lungul Dunării (JDS 2, 2007) s-au identificat un număr de 441 de taxoni iar punct de vedere al diversității speciilor, reiese că cele mai omogene grupuri aparțin ordinelor Diptera (174 taxoni) și Oligochaeta (53 taxoni), urmate de Ephemeroptera (42 taxoni), Trichoptera (35 taxoni), Mollusca (Bivalvia 26, Gastropoda 27 taxoni). Fauna bentală este dominată de crustacei (Amphipoda și Isopoda) din punct de vedere al abundenței iar moluștele au fost cel mai predominant grup din punct de vedere al biomasei. Insectele acvatice, în special taxonii EPT ocupă un loc minor în fauna bentală a Dunării. Din punct de vedere al poluării organice indicii saprobi calculați în siturile analizate pe Dunăre au variat între 1.83 și 3.5 (JDS 2, 2007). În studiul prezent efectuat asupra celor 3 tipuri de ecosisteme numărul taxonilor a fost următorul: 75 taxoni identificați pe Dunăre, 27 taxoni identificați pe Siret și 37 taxoni identificați pe Prut. În continuare vor fi enumerate toate speciile determinate în cele trei tipuri de râuri. Monitorizarea biologică s-a derulat pe parcursul anilor 2011 și 2012 în 4 anotimpuri: primăvara 2011, vară 2011, toamnă 2011, primăvară 2012. Identificarea macronevertebratelor bentice și lista de specii s-a realizat baza determinărilor efectuate la stereomicroscop și microscop utilizând chei de determinare taxonomică.

**Tabelul 3.3.** Speciile identificate pe Dunăre în cele 4 sezoane monitorizate între anii 2011-2012

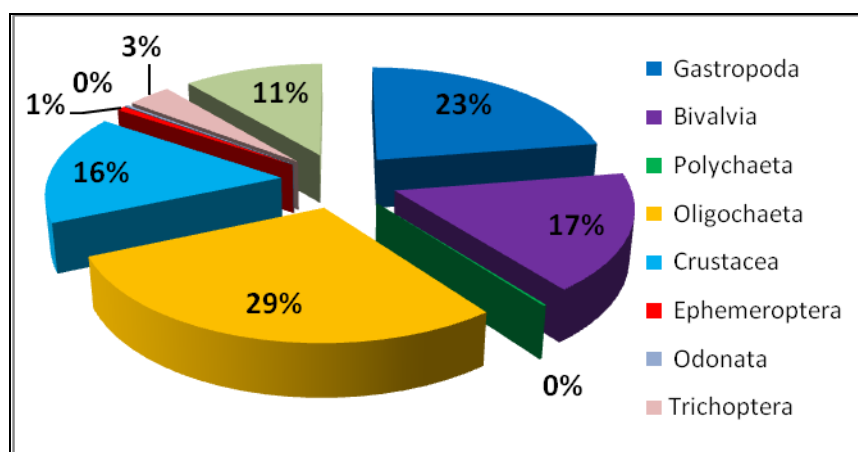
Nr. Crt.	Ordin	Specii	Primăvară 2011	Vară 2011	Toamnă 2011	Primăvară 2012
1	Diptera	<i>Ablabesmyia longistyla</i>	x	x	x	
2		<i>Aulodrilus sp.</i>	x	x	x	x
3		<i>Aulodrilus limnobius</i>		x		
4		<i>Beckidia zabolotzkyi</i>	x			
5		<i>Chernovskiiia orbicus</i>	x			
6		<i>Chironomus plumosus</i>			x	x
7		<i>Chironomus riparius</i>	x	x	x	x
8		<i>Chrysops sp.</i>	x	x		
9		<i>Cryptochironomus obreptans</i>	x			
10		<i>Lipiniella moderata</i>		x		
11		<i>Paratendipes intermedius</i>	x			
12		<i>Polypedilum convictum</i>	x			
13		<i>Polypedilum nubeculosum</i>	x	x	x	
14		<i>Psychoda alternata</i>		x	x	x

15		<i>Rheopelopia sp.</i>	x	x		
16		<i>Stratiomyidae Gen sp.</i>	x			
17	Amphipoda	<i>Corophium curvispinum</i>	x	x	x	x
18		<i>Corophium robustum</i>	x			
19		<i>Corophium sp.</i>	x			
20		<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	x	x		
21		<i>Dikerogammarus villosus</i>	x	x	x	x
22		<i>Dikerogammarus haemobaphes</i>	x	x		
23		<i>Echinogammarus placidus</i>	x		x	
24		<i>Gammarus fossarum</i>	x	x	x	
25		<i>Gammarus pulex</i>	x	x	x	
26		<i>Physa acuta</i>		x		
27		<i>Uroniphargoides spinicaudatus</i>	x	x		x
28		<i>Obesogammarus obessus</i>	x	x	x	x
29		<i>Pontogammarus robustoides</i>		x		
30		<i>Lithoglyphus naticoides</i>	x	x	x	x
31		Veneroida	<i>Corbicula fluminalis</i>	x	x	
32	<i>Corbicula fluminea</i>		x	x	x	x
33	<i>Dreissena bugensis</i>		x			
34	<i>Dreissena polymorpha</i>		x	x	x	x
35	<i>Pisidium casertanum</i>			x		
36	<i>Sphaerium rivicola</i>		x		x	
37	Haplotaxida	<i>Enchytraeus albidus</i>	x	x	x	x
38		<i>Limnodrillus udekemianus</i>	x	x	x	x
39		<i>Limnodrilus sp.</i>	x			
40		<i>Isochaetides michaelsoni</i>	x	x		
41		<i>Nais sp.</i>			x	x
42		<i>Nais variabilis</i>			x	x
43		<i>Piguetiella blanci</i>	x	x		
44		<i>Piguetiella sp.</i>			x	
45		<i>Potamothenrix sp.</i>	x			
46		<i>Potamothenrix vejnovskyi</i>	x	x		
47		<i>Tubifex ignotus</i>	x	x	x	x
48		<i>Tubifex tubifex</i>	x	x	x	x
49		<i>Tubificidae Gen sp.</i>	x	x	x	x
50	Unionoida	<i>Pseudanodonta complanata</i>	x			
51		<i>Unio crassus</i>			x	
52		<i>Unio pictorum</i>	x			x
53	Hygrophila	<i>Planorbis carinatus</i>	x	x	x	x
54		<i>Planorbis planorbis</i>			x	
55		<i>Gyraulus riparius</i>		x	x	
56		<i>Gyraulus sp.</i>		x	x	
57	Mysida	<i>Paramysis baeri</i>		x		
58		<i>Paramysis lacustris</i>	x			x
59		<i>Limnomysis benedeni</i>	x	x		
60	Cycloneritimorpha	<i>Theodoxus danubialis</i>	x	x	x	x
61		<i>Theodoxus fluviatilis</i>	x	x	x	x
62		<i>Theodoxus transversalis</i>	x			

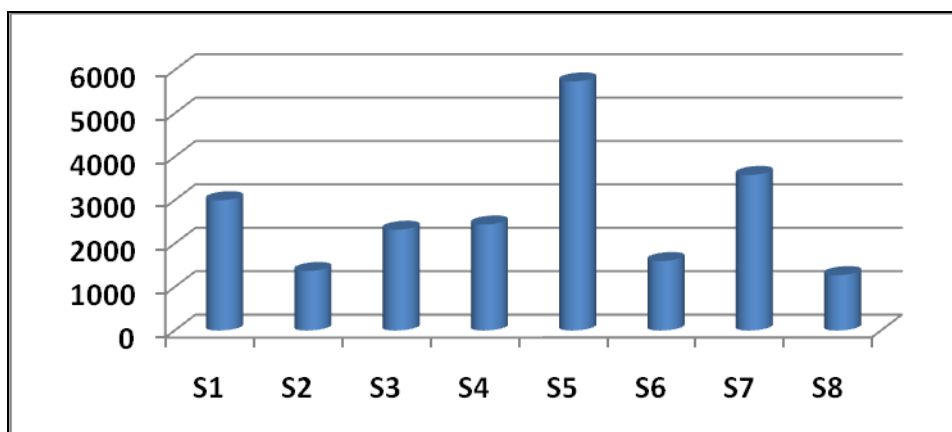
63	Allogastropoda	<i>Valvata cristata</i>	x			
64		<i>Valvata piscinalis</i>		x	x	
65	Architaenioglossa	<i>Viviparus acerosus</i>	x	x	x	x
66		<i>Viviparus viviparus</i>	x	x	x	x
67	Lumbriculida	<i>Lumbriculidae Gen sp.</i>	x	x		x
68		<i>Lumbriculus sp.</i>			x	
69	Trichoptera	<i>Hydropsyche contubernalis</i>	x	x	x	x
70		<i>Hydropsyche sp.</i>	x			
71	Canalipalpata	<i>Hypania invalida</i>	x			x
72	Odonata	<i>Gomphus vulgatissimus</i>	x	x	x	x
73	Isopoda	<i>Jaera istri</i>	x			
74	Ephemeroptera	<i>Palingenia longicauda</i>	x			x
75	Classicitellata	<i>Eiseniella tetraedra</i>	x	x	x	x

Cercetările efectuate asupra macrovertebratelor benthice pe baza analizelor probelor colectate pe perimetrul studiat, evidențiază că din punct de vedere calitativ acestea aparțin următoarelor grupe taxonomice: Oligochaeta, Gastropoda, Crustacea, Bivalvia, Diptera, Ephemeroptera, Odonata și Trichoptera, Polychaeta. Putem constata că fauna bentală este compusă în principal de viermi (Oligochaeta 29%), moluște (Gastropoda 23%, Bivalvia 17%) crustacei (Crustacea 16%) și insecte (Diptera 11%). Insectele din ordinele Ephemeroptera 1% și Trichoptera 3% au înregistrat o frecvență foarte scăzută, aceste organisme sunt indicatori de apă curată ce constituie indicele EPT, fiind considerate o măsură ce reprezintă toleranța organismelor la poluare (Figura 3.1).

Rezultatele cercetărilor cantitative arată că numărul de indivizi identificați pe parcursul celor 4 sezoane monitorizate a fost de 15994 de indivizi, numărul indivizilor înregistrat în siturile de referință a fost de 5452, în total 21446 indivizi (Figura 3.2).

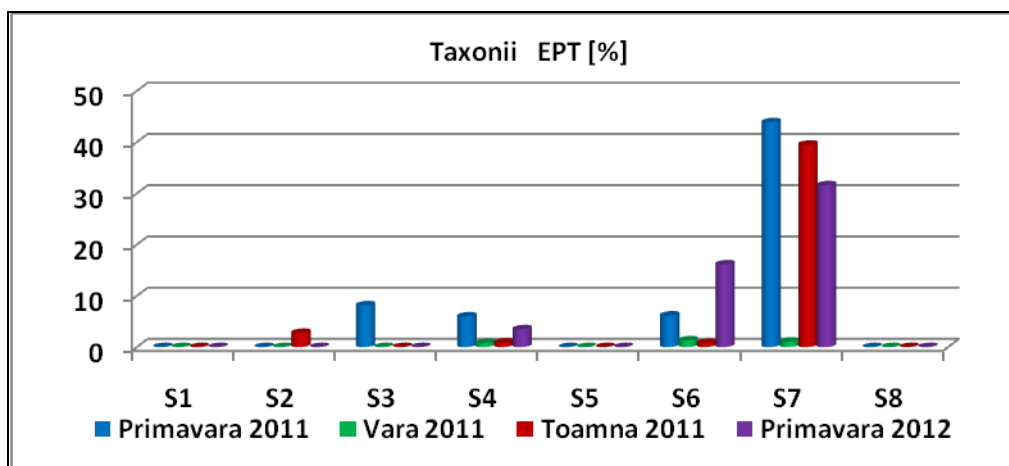


**Figura 3.1.** Abundența procentuală a speciilor dominante determinate în anii 2011-2012



**Figura 3.2.** Abundența numerică a indivizilor în cele 8 stații monitorizate în 2011-2012

În stațiile S1, S5 și S8 procentul taxonilor EPT a fost nul (Figura 3.3) în toate sezoanele analizate. Pe Siret s-a înregistrat un procent foarte scăzut de taxoni EPT de 2.75% în toamna anului 2011. În comparație cu Siretul, râul Prut (S7) înregistrează o creștere importantă în rândul taxonilor EPT în special în sezoanele de primăvară (43.86 % - primăvara lui 2011; 31.57% - primăvara lui 2012) și toamna lui 2011 (39.49%) și scăderea bruscă în sezonul de vară 2011 (1.05 %). Aceste rezultate concordă cu rezultatele altor cercetări (Ex: Palmer, 1976) care exprimă faptul că unele specii de efemeroptere domină în sezonul de primăvară, în timp ce altele domină în toamnă. Abundența taxonilor EPT pe cursul Dunării în perimetrul analizat a fost foarte scăzută, aceștia fiind prezenți constant în toate cele 4 sezoane în stațiile S4 și S6 cu ușoare creșteri înregistrate în sezoanele de primăvară 2011 și primăvară 2012. În stația S3, taxonii EPT au fost prezenți doar în sezonul de primăvară 2011.



**Figura 3.3.** Abundența procentuală a speciilor Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera în cele 4 sezoane de prelevare aferente anilor 2011-2012

Scorul de toleranță al macronevertebratelor benthice la nivel de familie și specie se încadrează între 0 și 10 și crește pe măsură ce calitatea apei scade. În felul acesta pe măsură ce într-un ecosistem abundența speciilor cu scor de toleranță cuprins între 5-10 este ridicată, indică un ecosistem degradat, iar dacă comunitatea conține un număr ridicat de specii cu scor scăzut de toleranță cuprins între 1-5 aceasta indică un ecosistem în stare bună sau foarte bună.

În literatura există mai multe accepțiuni și clasificări ale acestor nivele de toleranță, una din acestea fiind reprezentată de scorul de toleranță la nivel de specie preluat din raportul realizat după Hilsenhoff, 1988 și Mandaville, 2002.

Ținând cont de specificitatea fluviului Dunărea și de rezultatele determinărilor efectuate am realizat un tabel propriu care cuprinde exemple de nivele de toleranță ale speciilor determinate pe Dunăre (Tabelul 3.4).

**Tabelul 3.4.** Scorul de toleranță la nivel de specie al macronevertebratelor determinate în Dunăre în anii 2011-2012

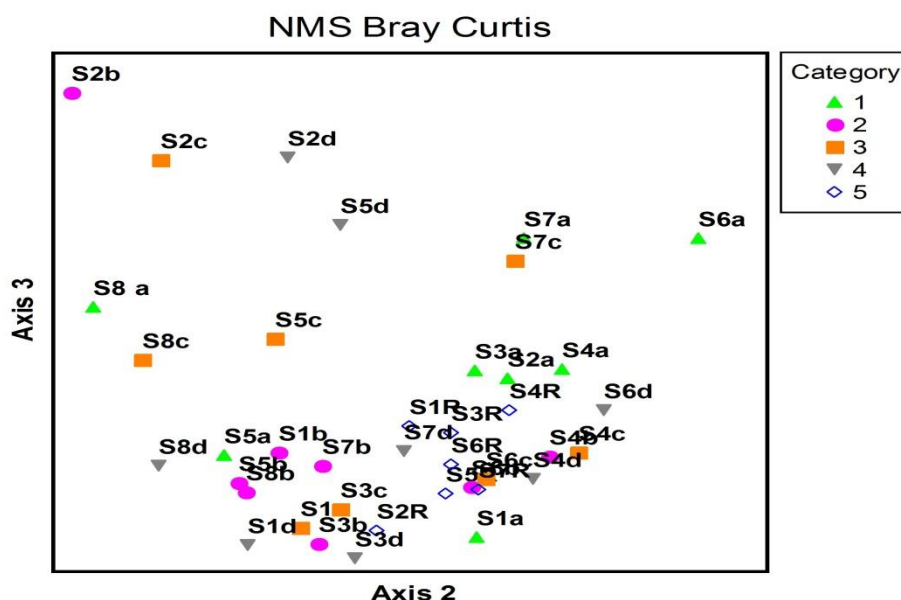
Ordin- Familie	Specii	Toleranta
C Diptera Chironomidae (subfam Chironominae)	<i>Polypedilum scalaenum</i> (3 indivizi)	6
C Diptera Chironomidae	<i>Beckidia zabolotzskyi</i>	8
C Diptera Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	8
C Diptera Chironomidae	<i>Chironomus riparius</i>	8
C Diptera Chironomidae (subfam Chironominae)	<i>Polypedilum nubeculosum</i> (50 indivizi)	6
Crustacea- Gamaridae	<i>Gammarus fossarum</i>	4
Trichoptera- Hydropsychidae	<i>Hydropsyche contubernalis</i> (peste 800 indivizi)	4
Ephemeroptera- Palingenidae	<i>Palingenia longicauda</i>	2
Trichoptera Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila dorsalis</i>	1
Mollusca Valvatidae	<i>Valvata piscinalis</i>	8
Mollusca – Viviparidae	<i>Viviparus viviparus</i>	6
Mollusca- Corbiculidae	<i>Corbicula fluminea</i> (peste 1600 indivizi)	6
Mollusca- Dreissenidae	<i>Dreissena polymorpha</i>	8
Odonata- Gomphidae	<i>Gomphus vulgatissimus</i>	5
Oligochaeta- Tubificidae	<i>Limnodrilus udekemianus</i> (peste 100 indivizi)	10
Oligochaeta- Tubificidae	<i>Potamothenix vejovskyi</i>	8
Oligochaeta - Tubificidae	<i>Tubifex tubifex</i> (peste 2000 indivizi)	10
Oligochaeta - Tubificidae	<i>Aulodrilus sp.</i> (48 indiv.)	7

Este bine cunoscut faptul că prezența poluanților într-un corp de apă reduce numărul de specii din ecosistem, creând în același timp un mediu favorabil doar câtorva specii care sunt tolerante la poluare. Astfel, într-un râu afectat de poluare putem semnala un număr mare de indivizi dar diversitatea speciilor să fie scăzută, în timp ce într-un râu “curat” putem întâlni o abundență moderată a indivizilor cu un număr ridicat de specii (ex: insectele din ordinul Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera). Unele nevertebrate pot tolera niveluri scăzute ale oxigenului în apă deoarece ele respiră oxigenul atmosferic prin tuburi de respirație sau prezintă unele adaptări speciale cum ar fi pigmentii respiratorii care le permit acumularea de oxigen, chiar dacă oxigenul este prezent în apă în concentrații foarte scăzute. Este cazul viermilor (ex: *Tubifex tubifex*) și larvelor de chironomide.

Se observă că marea majoritate a speciilor determinate în Dunăre aparțin moluștelor, oligochetelor și chironomidelor (Țopa, 2011) și sunt cotate ca specii cu grad ridicat de toleranță (vezi tabelul 3.4). Din familia Chironomidae, speciile *Beckidia zabolotzskyi*, *Chironomus plumosus* și *Chironomus riparius* au înregistrat un scor de toleranță 8. Chiar

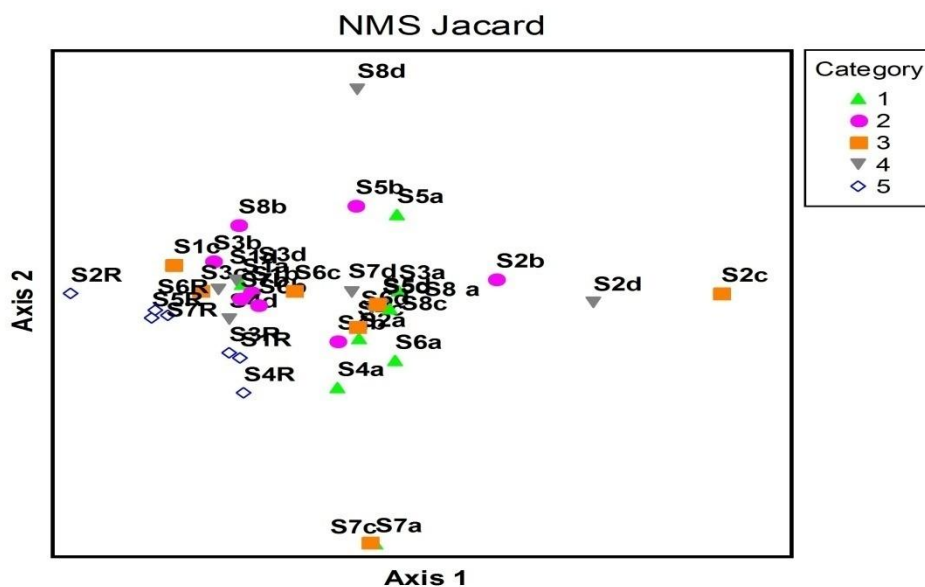
dacă aparțin aceleiași familii, taxonii *Polypedilum scalaenum* și *Polypedilum nubeculosum* prezintă un grad mai scăzut de toleranță (6), de aceea o prima interpretare asupra calității unui site trebuie făcută ținând cont ca nu toate speciile aparținând familiei Chironomidae pot fi cotate ca fiind indicatori de apă poluată. În ceea ce privește speciile din familia Oligochaeta, taxonii *Limnodrilus udekemianus* și *Tubifex tubifex* sunt cotați cu scor maxim de toleranță (10). Prezența lor a fost semnalată în general în toate sezoanele, cea mai mare abundență fiind înregistrată în stațiile situate la confluența Siretului cu Dunărea și zona deversoarelor de apă uzată (stațiile Deversor Bac și Libertatea).

Analiza NMS bazată pe distanța de măsură Bray Curtis (Figura 3.4) este una din cele mai bune metode pentru a cuantifica similaritatea dintre probe și abundența taxonilor colectați din diferite stații de prelevare și s-a constatat că abundența nu depinde în totalitate de sezonitate, abundența taxonilor diferind semnificativ de la o stație la alta în aproape toate sezoanele. Se constată o similaritate a abundenței speciilor între stații în sezonul de vară al anului 2011 și sezonul de vară al anului 2012. În cazul analizei bazată pe distanța de măsură Jaccard s-a urmărit prezența sau absența speciilor în probele analizate prin eliminarea speciilor absente din probă și calcularea similarității prezenței speciilor în toate stațiile analizate. Se constată ca unele stații sunt grupate în clustere care aparțin aceluiași sezon iar frecvența prezenței speciilor în probe este relativ egală pentru toate sezoanele, mai puțin în sezoanele de vară și toamnă a anului 2011 (Figura 3.5).



**Fig. 3.4.** Analiza non-metrică multidimensională bazată pe datele taxonomice. Stresul final = 10,18. Valorile procentuale indica valorile de variație exprimate de fiecare axă în parte: 29,4 % axa 3 și 27,1 % axa 2.

Simbolurile pentru ambele analize indică sezonul în care au fost prelevate probele:  $\Delta$ : primăvara,  $\circ$ : vară 2011,  $\square$ : toamnă 2011,  $\blacktriangledown$ : primăvara 2012,  $\diamond$ : vară 2012 (Figurile 3.4 și 3.5).



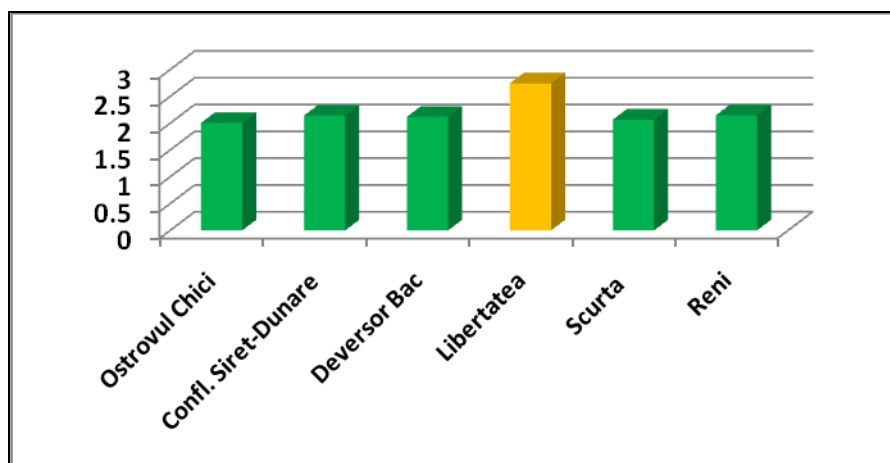
**Figura 3.5.** Analiza non-metrică multidimensională a sezonelor bazată pe datele taxonomice folosind distanța de măsură Jaccard. Valorile procentuale indica valorile de variație exprimate de fiecare axă în parte: 18,9 % axa 1 și 0,57 % axa 2.

### 3.1.2 Evaluarea calității apei Dunării cu ajutorul macronevertebratelor bentonice. Indici de diversitate și indici biotici.

Metodele de evaluarea a calității apelor curgătoare se bazează, în general, pe răspunsul diferit al tuturor speciilor de plante și animale din ecosistem la anumite tipuri de poluare. Schimbarile de ordin calitativ și cantitativ în rândul comunitatilor de macronevertebrate pot fi măsurate și exprimate prin formule matematice pentru o evaluare cat mai corectă a corpului de apă prin înglobarea gradelor diferite de răspuns ale speciilor la diferiți factori poluatori. În această lucrare determinarea calitații apei din ecosistemele studiate cu ajutorul macronevertebratelor s-a făcut prin utlizarea a trei metode biologice: a) determinarea indicelui saprob Pantle-Buck; B) calculul indicilor biotici BMWP și ASPT și c) evaluarea diversității biologice ce s-a realizat prin calculul și analiza indicilor de diversitate și similaritate: Shannon, W, Simpson, Margalef și Eveness.

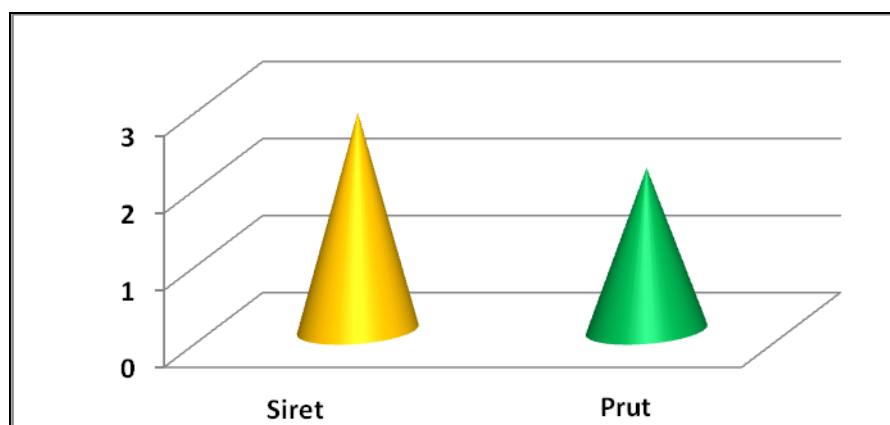
#### 3.1.2.1 Analiza saprobică – Indicele Saprob (după metoda Pantle-Buck).

S-a realizat clasificarea calității apei Dunării prin calculul și analiza Indicelui Saprob pentru fiecare din cele 6 stații monitorizate. În 5 din cele 6 stații monitorizate pe Dunăre, apa se încadrează în zona  $\beta$ -mezosaproba, fiind caracterizată de o impurificare medie. În stația S5 la Libertatea, indicele saprob înregistrează o valoare de 2,74, acest site încadrându-se în zona  $\alpha$ -mezosaproba, ceea ce indica o impurificare puternică a apei. Stațiile situate la confluența Siretului cu Dunărea și Reni au înregistrat valori similare ale indicelui saprob de 2.14 (Figura 3.6).



**Figura 3.6.** Clasificarea gradului de curățenie a apei Dunării după sistemul saprobilor pe parcursul a 4 sezoane (2011-2012) după metoda Pantle Buck

Valoarea indicelui Saprob pentru stația situată pe Siret la Șendreni a fost de 2.82 încadrând acest site în zona  $\alpha$ -mezosaproba. În stația de pe Prut la Giurgiulești apa este caracterizată de o impurificare medie, site-ul fiind încadrat în zona  $\beta$ -mezosaproba cu o valoare a indicelui saprob de 2.1. Este evident că aportul poluanților din râul Siret este mult mai ridicat comparativ cu râul Prut (Figura 3.7). În planul de management și combatere a poluării accidentale este menționat faptul că principalele surse de poluare pe râul Siret la Galați provin din industria metalurgică și industria alimentară, respectiv de la Combinatul Siderurgic Mittal Steel și SC. Zaharul S.A. Liești. În județul Galați nu au fost specificate în planul de management surse de poluare majore care să fie evacuate în Râul Prut.



**Figura 3.7.** Comparația Indicelui Saprob între râurile tributare Dunării, Siret și Prut.

### 3.1.2.2 Analiza scorurilor biotice: BMWP, ASPT.

De asemenea, s-a urmărit încadrarea calității apei în funcție de sensibilitatea/toleranța macronevertebratelor la poluarea organică care variază de la o specie la alta. Încadrarea calitatii apei după aceasta metodă este foarte eficientă pentru că, prin calculul acestui scor putem avea o imagine clară asupra schimbărilor apărute în calitatea apei în funcție de gradul de toleranță al fiecărei familii de macronevertebrate în parte, acestora fiind-le atribuite diferite scoruri de toleranță de la 1 la 10. Pentru aceasta au fost calculate scorurile BMWP și



ASPT pentru fiecare stație în parte și estimat nivelul poluării cu nutrienți de-a lungul celor 4 sezoane monitorizate.

**Tabelul 3.6.** Valorile medii sezoniere ale scorului BMWP în cele 8 stații monitorizate și încadrarea apei pe categorii de calitate

Scorul BMWP						
Stații	Primavara 2011	Vara 2011	Toamna 2011	Primavara 2012	Media	Categoria de calitate
Amonte Galati (Chici)	19	21	36	16	23	Proastă
Siret	15	3	11	17	11.5	Proastă- foarte proastă
Confl. Siret-Dunube	40	27	35	19	30.25	Proastă
Deversor Bac	44	38	44	44	42.5	Moderată
Libertatea	26	27	24	6	20.75	Proastă
Scurta	37	37	39	27	35	Proastă
Prut-Giurgiulesti Pod	52	48	55	30	46.25	Moderată
Reni	12	10	12	12	11.5	Proastă

Scorul ASPT (Scorul mediu al taxonilor) este egal cu media scorurilor de toleranță ale tuturor familiilor macronevertebratelor identificate/determinate din probă și permite de asemenea încadrarea calitatii apei în funcție de gradul de toleranță al organismelor prezente în probă. Principala diferență între scorurile ASPT și BMWP este că, ASPT nu depinde de bogăția familiilor existente în probă.

**Tabel 3.7.** Valorile scorului ASPT în cele 8 stații monitorizate

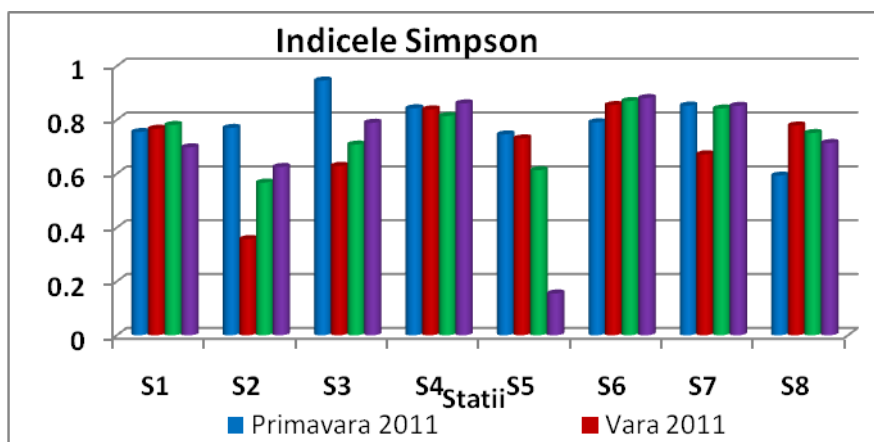
ASPT						
Stații	Primavara 2011	Vara 2011	Toamna 2011	Primavara 2012	Media	Încadrarea calitatii apei
Amonte Galati (Chici)	3.8	3.5	4.5	4	3.95	Poluare severa
Siret	3.75	1.5	3.667	4.25	3.29	Poluare severa
Confl. Siret-Dunube	4.444	4.5	4.375	3.8	4.28	Poluare moderata
Deversor Bac	4.4	4.222	4.4	4.889	4.48	Poluare moderata
Libertatea	4.333	3.857	4	2	3.55	Poluare severa
Scurta	4.625	5.286	4.875	4.5	4.82	Poluare moderata
Prut- Giurgiulesti Pod	5.778	4.8	5.5	6	5.52	Calitate inoioelnică
Reni	3	3.333	3	4	3.33	Poluare severa

### 3.1.2.3 Analiza indicilor de diversitate și similaritate: Shannon W., Simpson, Margalef, Evenness

Valorile indicilor de diversitate calculați (Shannon W., Simpson, Evenness, Margalef) pe stații și diferențele sezoniere înregistrate de aceștia în funcție de stații sunt prezentate în tabelul 3.8. Pentru o imagine de ansamblu mai bună asupra diversității organismelor determinate, în continuare vor fi prezentate variațiile sezoniere ale indicilor de diversitate din toate cele opt site-uri aferente celor 4 sezoane monitorizate.

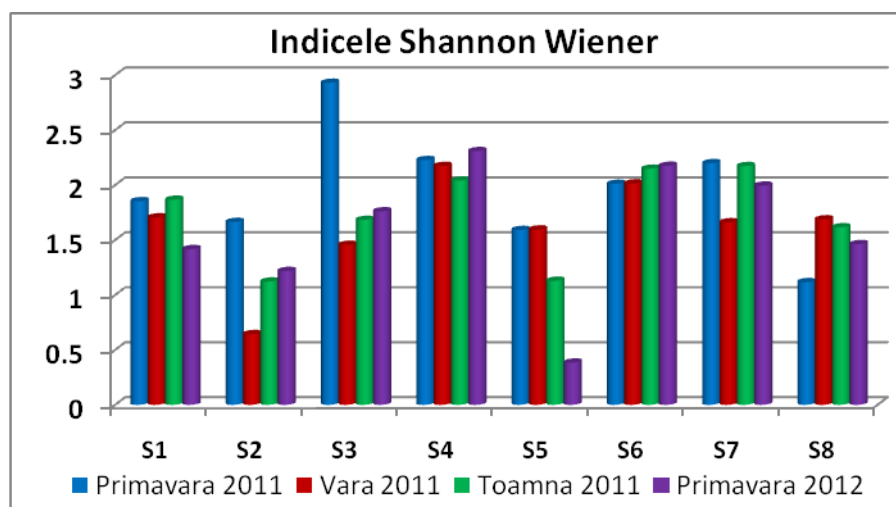
În figura 3.10 sunt prezentate variațiile sezoniere ale indicelui de diversitate Simpson. Acest indice indică dominanța unei specii într-un ecosistem iar din variațiile acestuia observăm o degradare a calității biotopului acvatic din stațiile monitorizate în special sezonul de primăvară și vară. Maximul indicelui de diversitate Simpson a fost înregistrat la confluența

Siretului cu Dunărea (0.94), pe râul Prut (0.85) și la Devorsor Bac (0.84) în primăvara anului 2011. Cele mai reduse valori ale diversității au fost semnalate la Libertatea în primăvara anului 2012 (0.15), pe râul Siret în vara anului 2011 (0.35) și la Reni în primăvara 2011 (0.59). Pe Siret și la Libertatea a fost înregistrată cea mai scăzută diversitate în toate sezoanele monitorizate.



**Figura 3.10.** Variațiile sezoniere ale indicelui de diversitate Simpson

Variațiile sezoniere ale indicelui de diversitate Shannon W. pentru perioada 2011-2012 sunt prezentate în figura de mai jos.



**Figura 3.11.** Variațiile sezoniere ale indicelui de diversitate Shannon W.

Un alt indice de diversitate analizat a fost indicele Margalef ale cărui variații sezoniere sunt prezentate în figura 3.12. Variațiile acestui indice depind strict de numărul de specii determinate într-o stație. Se poate observa, că și în cazul celorlalți indici de diversitate, că în stația 3 în sezonul de primăvara 2011 s-a înregistrat o abundență ridicată a numărului de specii exprimat prin valoarea ridicată a indicelui Margalef de 4.2. În stațiile Scurta (S6) și Devorsor Bac (S4) acesta a înregistrat valori de 3.0, respectiv 2.9, fapt ce indică, că în sezonul de primăvară crește diversitatea speciilor de macronevertebrate. Cea mai scăzută diversitate s-a înregistrat la Libertatea (0.64) în sezonul de primăvară 2012, pe râul Siret în sezonul de vară (0.65) și la Reni în sezonul de primăvară 2011.

Pentru a evalua similaritatea sezonieră s-a analizat indicele de similaritate Eveness (Figura 3.13).

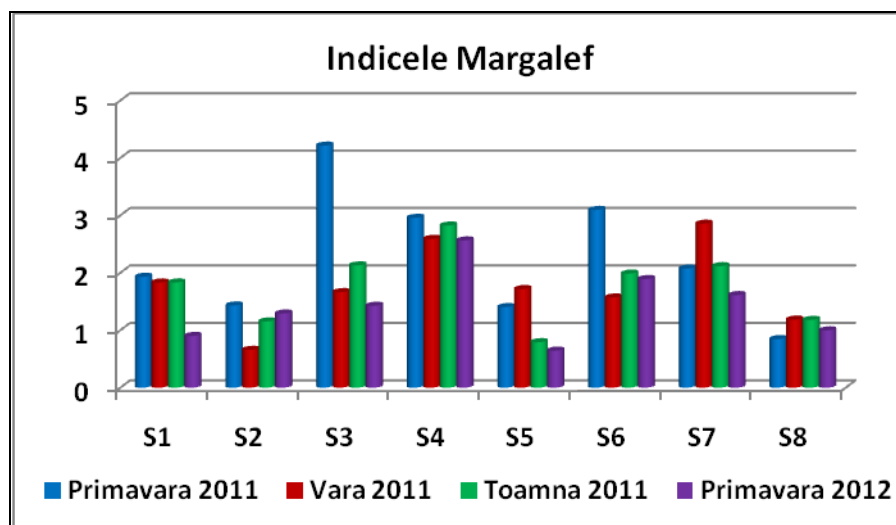


Figura 3.12. Variațiile sezoniere ale indicelui de diversitate Margalef

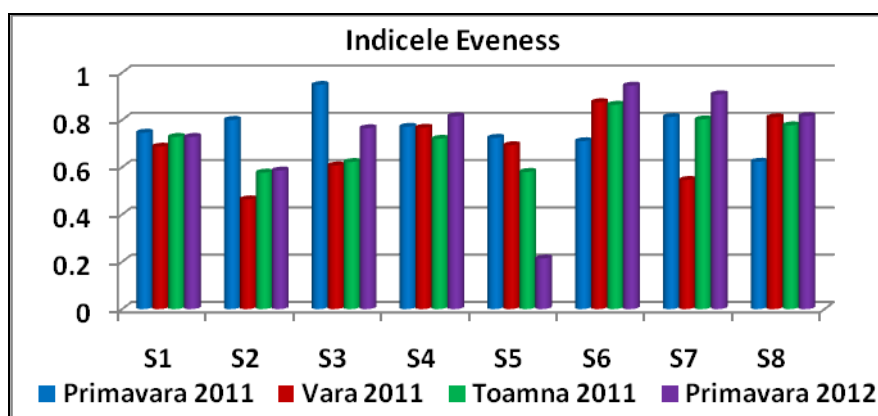


Figura 3.13. Variațiile sezoniere ale indicelui de similaritate Eveness

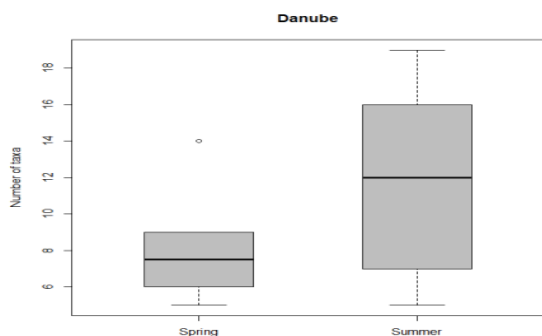
Calcularea și analiza indicilor de diversitate s-a realizat pentru a evalua starea ecologică a perimetrului studiat, diversitatea macronevertebratelor benthice fiind influențată de impactul antropic, perturbările apărute în ecosistemele lotice studiate, exprimand, în general, o reducere a diversității în cadrul ecosistemelor studiate.

În general, cele mai ridicate valori ale indicilor de diversitate s-au înregistrat în sezonul de primăvară al anului 2011, iar cele mai scăzute, în timpul verii. În urma analizelor efectuate se observă ca la confluența Siretului cu Dunărea (S3) a fost înregistrată cea mai crescută diversitate în rândul ansamblurilor de macronevertebrate acest lucru putând fi datorat compoziției substratului alcătuit din pietris și detritus în aceasta stație. Rezultatele grafice pentru cei patru indici s-ar putea să ne dea impresia că indicele Shannon W. Simpson este mult mai variabil decât rezultatele pentru indicii Margalef și Eveness, cu toate acestea, motivul este în natura indicilor de diversitate, deoarece aceștia pot lua valori care sunt scalate în mod diferit.

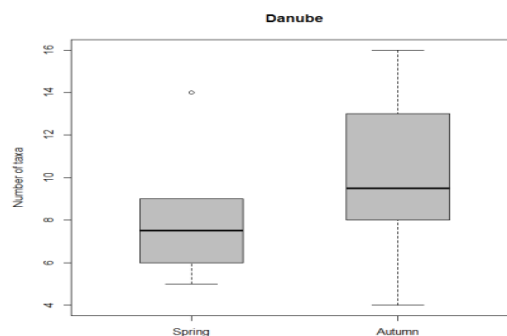
Comparațiile sezoniere ale indicilor biotici Numarul de Taxoni EPT, Numarul Total de Taxoni, Relatia Mollusca-Oligochaeta, Indicele Shannon. W, în anul 2011 au fost calculate folosind testul Wilcoxon pentru a realiza comparația diferentelor sezoniere în valorile

indicilor (corelate) dintre seturile de date taxonomice neperechi ce nu sunt distribuite normal și pentru care testele parametrice sunt nepotrivite. Pentru testul Wilcoxon ne-am raportat la nivelul de semnificație 0,05.

Din seturile de analize prezentate se observă ca la compararea sezonieră a indicilor biotici între sezoanele de primavara-vara, primavară - toamnă și vară-toamnă nu au rezultat diferențe statistice sezoniere semnificative. Un exemplu este prezentat în figurile 3.14, 3.15 și 3.16.



**Figura 3.14.** Comparația indicelui Numărul de taxoni între sezonul de primavară – vară 2011



**Figura 3.15.** Comparația indicelui Numărul de taxoni între sezonul de primavară – toamnă 2011

### 3.1.3 Variabilitatea sezonieră în compoziția faunei bentonice aferentă Dunării și râurilor din Sudul și Centrul Germaniei. Analiza comparativă a coeficienților de similaritate Bray-Curtis și Jaccard

Variabilitatea sezonieră între cele două tipuri de râuri a fost testată prin intermediul coeficienților de similaritate Bray-Curtis (abundența) și Jaccard (prezență/absență).

Studiul de față are ca scop testarea:

- dacă listele de taxoni din râurile mici indică o variabilitate mai mare decât listele de taxoni din râurile mari;
- dacă proporția ridicată a insectelor merolimnice din râurile mici este reponsabilă pentru aceste constatări;
- dacă acestea depind de sezonality.

În acest scop, am analizat 120 de probe din 40 de site-uri din râuri mici și râuri mari. Prelevările s-au realizat de trei ori pe an în toate stațiile. Rezultatele noastre arată că probele din râurile mici nu au prezentat o variabilitate mai mare decât probele din râurile mari. Acest lucru a fost exprimat prin valorile de similaritate scăzute efectuate în cursul anului pentru râurile mici, precum și pentru râurile mari. Corelarea listelor taxonomice din râurile mici au demonstrat o variabilitate mare din cauza insectelor de apă merolimnice, în special taxonii EPT. Studiul prezent a permis realizarea de comparații pe structura comunităților de macronevertebrate între sezoane cat și în cadrul celor două tipuri de apele curgătoare examinate (râuri mici și râurile mari). Rezultatele furnizează informații utile privind diferențele calitative și cantitative la nivelul comunităților de macronevertebrate care pot apărea în apele curgătoare, asociate cu dimensiunea acestor ape. Rezultatele acestui studiu sunt de interes special pentru practicile de gestionare a apei, deoarece acestea vor contribui la crearea unui program de prelevare și eșantionare eficient și echitabil, fiind util în dezvoltarea de strategii de management. Cum varianța în compoziția speciilor și structura abundenței se preconizează a fi corelată cu o variabilitate mare a condițiilor de mediu, rezultatele acestui studiu indică o dinamică ridicată a condițiilor de mediu în râurile mici, cât și în râurile mari.

Valorile scăzute ale similarității au exprimat o variabilitate ridicată în compoziția faunei bentonice dintre sezoane pentru râurile mici, dar și pentru cele mari. Valorile scăzute ale indicilor de similaritate Jaccard și Bray-Curtis indică faptul că listele taxonomice au fost

similare cu un maximum de 26% și respectiv 43% (comparând probele din vară / toamnă de pe râurile mici, Tabelul 3.9). Rezultatele sunt pentru râurile mici și cele mari. Rezultatele Testului Wilcoxon nu au fost semnificative (n.s.), din acest motiv realizându-se testele comparative din capitolul 3.1.2.

**Tabelul 3.9.** Valorile similarității Bray-Curtis și Jaccard pentru listele de taxoni din diferite sezoane.

Sezon	Jaccard			Bray-Curtis		
	Râuri mici	Râuri mari	Wilcoxon	Râuri mici	Râuri mari	Wilcoxon
Primăvară/Vară	0.17	0.13	n.s.	0.30	0.22	n.s.
Vară/Toamnă	0.26	0.22	n.s.	0.43	0.35	n.s.
Primăvară/Toamnă	0.18	0.18	n.s.	0.36	0.27	n.s.
Valorile medii între toate anotimpurile	0.20	0.18	n.s.	0.32	0.28	n.s.

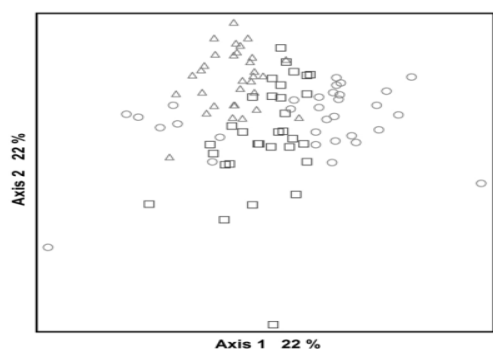
Rezultatele analizelor NMS au arătat că probele din toate cele trei sezoane au fost împrăștiate pe planul factorial fără a se grupa în clustere aferente celor trei sezoane. Acest lucru a fost valabil pentru ambele tipuri de ape curgătoare. Listele taxonomice din râurile mici s-au compus în medie dintr-un număr mai mare de taxoni decât cele de pe râurile mari.

În râurile mici, cel mai mare număr de taxoni a fost înregistrat în primăvară ( $42, 4 \pm 11, 3$ ), în timp ce, pe râurile mari, numărul maxim de taxoni a fost înregistrat în timpul verii ( $11.8 \pm 5.1$ ). Atunci când am comparat celelalte valori ale indicilor, diferențe semnificative au fost găsite, de asemenea, pe râurile mici pentru alte trei categorii de indici: Taxonii EPT [%], Taxoni # EPT, și MOPCr Taxoni [%]. Pentru taxonii EPT [%] și MOPCr [%], diferențe semnificative au fost găsite doar între două perechi (primăvară-toamnă și vară-toamnă). Pentru parametrul Taxoni # EPT, diferențe foarte semnificative au fost detectate în listele taxonomice între toate cele trei sezoane. Cu toate acestea în râurile mari nu au fost găsite diferențe sezoniere semnificative pentru oricare din indicii analizați.

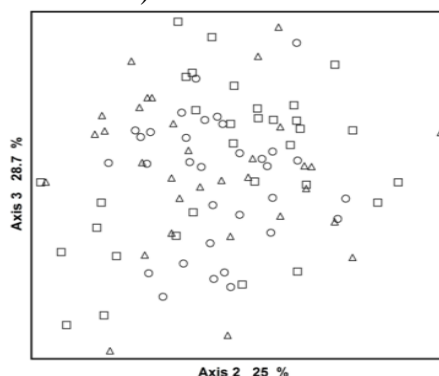
Variabilitatea sezonieră ridicată din listele de taxoni aferente râurilor mici, se datorează numărului mare de taxoni EPT. Pentru a examina această constatare în detaliu, listele taxonomice din râurile mici au fost împărțite în două categorii: (a) una incluzând exclusiv taxonii EPT și (b) cealaltă compusă din taxonii ramași.

Analiza NMS bazată pe distanța Bray-Curtis a arătat că au existat schimbări sezoniere în listele de specii care conțin exclusiv taxoni EPT (figura 3.18a), întrucât, atunci când taxonii EPT au fost excluși din listele taxonomice (figura 3.18b), nu au mai fost detectate diferențe sezoniere, dovada că probele nu s-au grupat în funcție de sezonul în care au fost colectate.

a)



b)



**Figura 3.18.** Analiza NMS a siturilor bazată pe distanța de măsură Bray-Curtis.

Figura 3.18(a) include doar taxonii EPT și figura 3.18(b) toți ceilalți taxoni rămași cu excepția taxonilor EPT. Stresul final: 18.1% (a) și 14.7% (b). Valorile procentuale indică valorile de variație exprimate de fiecare axa în parte. Simbolurile indică sezonul când au fost prelevare probele:  $\Delta$ : primăvara,  $\circ$ : vară,  $\square$ : toamnă.

Prima ipoteză s-a bazat pe presupunerea că probele și listele de taxoni corespunzătoare din râurile mari ar trebui să fie mai puțin variabile decât cele din râurile mici. Deși în studiul nostru numărul taxonilor găsiți a fost mult mai mare comparativ cu cel din râurile mari, fapt de asemenea constatat și în concordanță cu RCC (Vannote, 1980), aceasta nu a dus la variații mult mai mari așa cum s-ar preconiza. În schimb, listele taxonomice obținute din ambele tipuri de ape curgătoare au variat foarte mult între sezoane. Urmând conceptele teoretice, o variabilitate mare în compoziția faunistică și lista de taxoni rezultată se datorează condițiilor instabile de mediu.

Dacă variabilitatea ridicată a condițiilor de mediu este legată de variația din compoziția speciilor și structura abundenței comunităților de macronevertebrate, rezultatele studiului de față ar indica faptul că atât în râurile mici cât și în cele mari condițiile de mediu sunt deosebit de dinamice. Acest lucru contrazice ipotezele făcute de Mykrá și colab. (2011). Acești autori au raportat că se așteaptă ca râurile mari să ofere condiții mult mai stabile de mediu decât cele mici. Cu toate acestea, cauzele posibile și factorii care generează această variabilitate biotică nu sunt încă bine înțelese, aceste cauze fiind studiate și dezvoltate în doar câteva studii empirice (Dunning, 1992; Kozakiewicz, 1993; Palmer, 1997).

Cauzele variabilității ridicate pot fi multiple și se datorează faptului că de cele mai multe ori prelevările nu s-au realizat conform standardelor de prelevare a probelor, nu s-a ținut cont de modificările condițiilor de mediu (Malmqvist, 2000; Heino, 2009), poluare (Hering, 2004), lățimea canalului (Malmqvist, 2000), factorii fizico-chimici (Townsend, 1983), și compoziția de substratului (Grața, 2004; Udayantha, 2009). Studiile anterioare au descoperit că fauna bentonică din râurile mari este compusă în principal dintr-o gamă largă de taxoni aparținând oligochetelor, moluștelor și viermilor (Paunovic, 2005; Fesl, 2006). Această situație a fost prezentă de asemenea și în lista noastră de taxoni. Proportia taxonilor hololimnici, cum ar fi moluștele, oligochetele, polychaetele și crustaceii, a fost mai mare în râurile mari decât în cele mici.

Variabilitatea și schimbările sezoniere în bogăția de specii observată în râurile mari se pot datora următorului fenomen: nivelul scăzut al apei din timpul verii în combinație cu aluviunile depuse de râurile tributare (ex: Siret și Prut) duc la procese de dragare extensivă a albiei pentru a facilita transportul naval. Astfel, activitățile de dragare determină schimbări majore în compoziția substratului dar și în structura ansamblurilor de macronevertebrate conducând la relocarea lor. Totuși, râurile mici examinate în studiul de față nu au fost afectate de activitățile de dragare. În schimb, în aceste râuri, abundența taxonilor merolimnici a căror larve eclozează provoacă o variabilitate sezonieră crescută (Mazor, 2009). Aceste modificări au fost exprimate în studiul de față de variația sezonieră prezentă în valorile indicilor analizați, cum ar fi: Numărul de Taxoni EPT și Taxoni EPT [%]. Prin urmare, putem concluziona că aceste rezultate sprijină a doua ipoteză din acest studiu.

#### **3.1.4. Valorile ecologice de prag în contextul poluării antropice**

În acest subcapitol s-au analizat valorile ecologice de prag la care speciile de macronevertebrate încep să crească sau să descrească în abundență și frecvență în funcție de concentrațiile parametrilor fizico-chimici.

Scopul acestor analize, a fost de a determina valorile limită ale concentrațiilor a cincisprezece parametri de mediu și pentru a afla care sunt speciile de macronevertebrate "santinela" care răspund imediat la factorii antropici. În acest scop am folosit software-ul "R"

pentru analiza statistică a datelor de mediu și realizarea de grafice. Pentru identificarea pragurilor ecologice din cadrul comunitatii analizate, în cazul în care acestea sunt prezente, am fost folosit “Threshold Indicator Taxa Analysis” (TITAN), care detectează schimbările în distribuția taxonilor de-a lungul unui gradient de mediu în spațiu și timp. Scorul speciilor indicatoare este utilizat de către TITAN pentru a integra abundența, apariția și direcțiile de răspuns ale taxonilor. TITAN identifica răspunsul cumulativ de scădere [suma între (Z-)] și creștere [suma între (Z+)] al taxonilor în comunitate după ce distinge răspunsul negativ (Z-) și pozitiv (Z+) al taxonilor (Matthew, 2010). Pe baza datelor din tabelul 3.11, s-au reprezentat grafic valorile ecologice de prag pentru speciile de viermi și moluște cu scor de toleranță la poluare foarte ridicat (ex: *Tubifex tubifex*, *Enchytraeus albidus* cu scor de toleranță maxim 10, *Chironomus riparius*, *Dreissena polymorpha*, *Theodoxus danubialis* cu scorul de toleranță 8), dar și specii de insecte sensibile la poluare (ex: *Rhyacophila dorsalis*- cu scorul de toleranță 0).

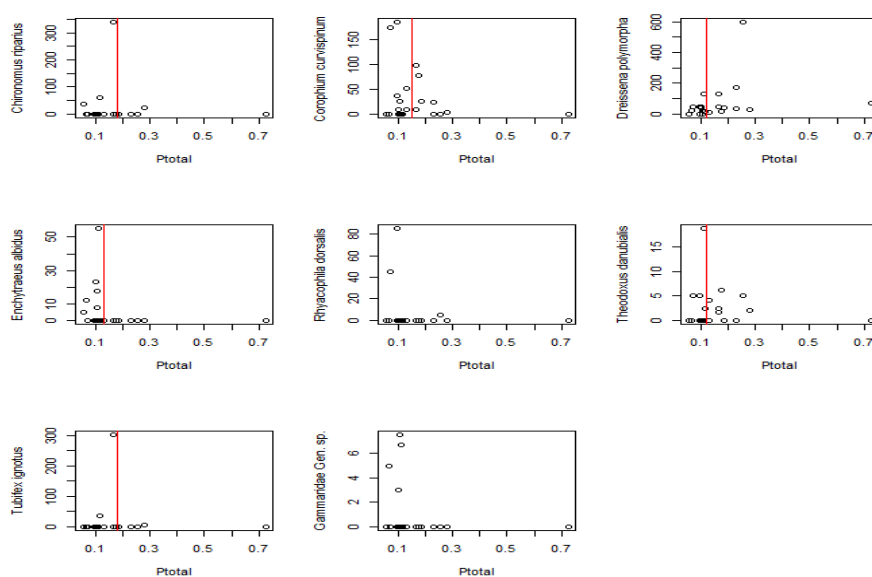


Figura 3.21. Valorile de prag pentru speciile *Chironomus riparius*, *Corophium curvispinum*, *Dreissena polymorpha*, *Enchytraeus albidus*, *Rhyacophila dorsalis*, *Theodoxus danubialis*, *Tubifex ignotus*, *Gammaridae Gen. sp.* în funcție de concentrația P-Total

## 3.2 Experimentele și rezultatele obținute în urma analizelor chimice

### 3.2.1. Monitorizarea sezonieră a parametrilor fizico-chimici

Pentru stabilirea calității apei Dunării în arealul studiat au fost măsurați și analizați un număr de 19 parametri fizico-chimici: pH, CBO<sub>5</sub>, CCO, OD, P-PO<sub>4</sub>, N-total, N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub>, N-NH<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl<sup>-</sup>, Cr, Pb, Cd, Ni, Fe, Mn, Zn, As. Probele de apă au fost colectate din 5 puncte de prelevare situate în amonte, de-a lungul și în aval de Municipiul Galați, pe perioada a 12 sezoane începând cu toamna anului 2010 până în vara anului 2013.

Analizând rezultatele obținute pentru toți parametrii monitorizați se pot trage următoarele concluzii:

- Până la intrarea în funcțiune a stației de epurare cea mai mare poluare se înregistra la stația de prelevare S3 (Deversor Bac);
- Începând cu luna ianuarie 2012 nu s-au mai înregistrat depășiri semnificative ale concentrațiilor maxime admisibile în stația S3, dar au crescut valorile în stația S2 (Confluența

Siret - Dunăre) ca urmare a deversării în Siret a apelor menajere municipale care chiar dacă sunt supuse unui proces de epurare, deoacumdată nu este funcțională decât treapta mecanică a Stației de Epurare. Se așteaptă ca începând cu anul 2015 când vor deveni funcționale și celelalte trepte ale Stației de Epurare (biologică și chimică) să nu se mai înregistreze depășiri nici în această stație);

- Cele mai mici valori măsurate au fost înregistrate în stația S5 (Cotul Pisicii) și această constatare se explică prin faptul că Dunărea are o putere mare de autoepurare, astfel încât nu de puține ori parametrii măsurați s-au încadrat chiar în categoria I de calitate.

### **3.2.2. Determinarea calității apei Dunării folosind indicele de calitate WQI**

În acest subcapitol vom evalua starea calitatii apei Dunării din punctul de vedere al parametrilor fizico-chimici, precum și monitorizarea efectului intrării în funcțiune (parțială) a stației de epurare a apelor menajere pentru municipiul Galați la începutul anului 2012. Stația de epurare de la Galați a fost concepută cu treapta primară mecanică, până în 2016 avându-se în vedere extinderea cu treapta tratarea biologică și terțiară a apelor uzate colectate din oraș, pentru producerea unui efluent corespunzător deversării în “apă sensibilă” în conformitate cu Directiva Consiliului CE 91/271/EEC privind epurarea apelor uzate și Norma Tehnică Românească NTPA 011-2002. Rezultatele obținute au făcut obiectul unui articol științific ce a fost publicat în toamna acestui an (Iticescu, 2013).

Urmărind variația calității apei în funcție de punctele de prelevare și de obiectivele industriale sau municipale aflate în zonă s-au putut emite concluzii asupra modului în care activitatea antropică afectează calitatea apei. Deoarece în perimetrul studiat au existat mai multe puncte de monitorizare, evaluarea calității apei s-a realizat având în vedere starea rezultată în urma prelucrării datelor din toate punctele de prelevare.

Considerând că apa de Dunăre se încadrează în categoria a 2-a de calitate, și ținând cont de valorile standard impuse de normativul în vigoare, s-au determinat valorile pentru  $K$  și  $W_i$  (vezi capitolul 1, subcapitolul 1.1.2); rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 3.9.

Au fost monitorizați un număr de 19 parametri fizico-chimici pentru stabilirea lui WQI ceea ce a condus la un număr foarte mare de date experimentale, iar calculele efectuate, prin aplicarea algoritmului propus, au fost laborioase. În analiza de față sunt prezentate doar 3 exemple de calcul ale valorii lui WQI (Tabel 3.10).

Analizând datele din tabelele 3.9 și 3.10 se constată că cel mai mare aport în stabilirea valorii lui WQI îl au elementele cu grad de toxicitate ridicat pentru care limitele admise au valori foarte scăzute cum ar fi: metalele grele (în special Cd, Pb, Cr și Ni) și azotul din nitriți ( $N-NO_2$ ).

Utilizând aceste valori și valorile măsurate experimental în cele 5 puncte de prelevare pe parcursul a 3 ani, am obținut pentru WQI valorile prezentate în tabelul 3.11

Se poate observa că prin introducerea unor parametri mai puțin utilizați în calcularea WQI, cum ar fi metalele grele, se extinde imaginea asupra impactului antropic la activități industriale specifice, dar se obține și o distribuție a ponderii impactului parametrilor între mai multe specii chimice, în cazul nostru nitriți și metale grele. Se elimină astfel un dezavantaj al metodei utilizate care, în cazul luării exclusive în considerare a nitriților (cu limite foarte scăzute în legislația românească de 0.03 mg/L), conduce la o pondere foarte ridicată în determinarea WQI care poate afecta calitatea informației.

Din constatările de mai sus rezultă utilitatea determinării WQI pentru analiza calității managementului apei, mai ales când este vorba de ape de suprafață cu influențe complexe, naturale și antropice. În cazul de față, o investiție foarte importantă, prima de acest fel din municipiul Galați, are deja rezultate, deși la momentul finalizării observațiilor din prezentul studiu stația are dată în folosință numai treapta de epurare mecanică (eliminarea



sedimentelor). Dezvoltarea investiției cu adăugarea unei trepte de tratare chimică și a uneia de tratare biologică va putea diminua considerabil impactul asupra calității apei Dunării și va fi obiectul observațiilor viitoare.

**Tabelul 3.9.** Valorile constantei  $k$  și greutății relative  $W_i$

Nr. crt.	Parameters	$S_i$	$1/S_i$	$k$	$W_i$
1.	pH	8.2	0.121951	$7.89 \cdot 10^{-4}$	9.62E-05
2.	OD	7	0.142857		0.000113
3.	CBO5	5	0.2		0.000158
4.	CCO	25	0.04		3.16E-05
5.	NH4	0.8	1.25		0.000986
6.	NO2	0.03	33.33333		0.0263
7.	NO3	3	0.333333		0.000263
8.	Ntotal	7	0.142857		0.000113
9.	P-PO4	0.2	5		0.003945
10.	SO4	120	0.008333		6.58E-06
11.	Cl-	50	0.02	$7.89 \cdot 10^{-4}$	1.58E-05
12.	Cr	0.05	20		0.01578
13.	Pb	0.01	100		0.0789
14.	Cd	0.001	1000		0.789
15.	Ni	0.025	40		0.03156
16.	Fe	0.5	2		0.001578
17.	Mn	0.1	10		0.00789
18.	Zn	0.2	5		0.003945
19.	As	0.02	50		0.03945

**Tabelul 3.10** Exemplu de calcul al indicelui WQI pentru trei puncte diferite de prelevare în vara anului 2012

Parameter	$W_i$	S1		S3		S5	
		$q_i$	$q_i \times W_i$	$q_i$	$q_i \times W_i$	$q_i$	$q_i \times W_i$
pH	9.62E-05	100.8333	0.009701	105	0.010102	106.6667	0.010262
OD	0.000113	128.9474	0.014534	117.8947	0.013288	112.1053	0.012636
CBO5	0.000158	74	0.011677	54	0.008521	64	0.010099
CCO	3.16E-05	50.8	0.001603	74	0.002335	67.6	0.002133
NH4	0.000986	35.75	0.035258	18.5	0.018246	67.375	0.066449
NO2	0.0263	203.3333	5.347667	196.6667	5.172333	203.3333	5.347667
NO3	0.000263	170.3333	0.044798	124.6667	0.032787	264.6667	0.069607
Ntotal	0.000113	89.14286	0.010048	87.28571	0.009838	133.5714	0.015055
P-PO4	0.003945	48	0.18936	5.3	0.020909	57.5	0.226838
SO4	6.58E-06	97.5	0.000641	115	0.000756	81.66667	0.000537
Cl-	1.58E-05	90	0.00142	114	0.001799	86	0.001357
Cr	0.01578	68	1.07304	84	1.32552	76	1.19928
Pb	0.0789	79	6.2331	88	6.9432	72	5.6808
Cd	0.789	31	24.459	48	37.872	37	29.193
Ni	0.03156	48	1.51488	64	2.01984	36	1.13616
Fe	0.001578	108	0.170424	108	0.170424	76	0.119928
Mn	0.00789	100	0.789	87	0.68643	41	0.32349
Zn	0.003945	85	0.335325	93.5	0.368858	45	0.177525
As	0.03945	21	0.82845	18	0.7101	4	0.1578
WQI		41.07		55.39		43.75	

## Capitolul IV: Discuții și concluzii

### 4.1 Avantajele și dezavantajele utilizării macronevertebratelor bentiche ca bioindicatori

În general utilizarea macronevertebratelor acvatice ca bioindicatori se bazează pe un principiu relativ simplu: atunci când sunt supuse la condiții adverse, organismele se adaptează sau mor. Prin urmare, organismele care trăiesc într-un ecosistem determinat se adaptează condițiilor de mediu caracteristice acestuia, după care vor indica nivelul de conservare al condițiilor naturale sau schimbările imediate și pe termen lung cauzate de emisiile de poluanți. Utilizarea acestor organisme ca bioindicatori prezintă o serie de avantaje și dezavantaje de care trebuie să se țină cont în dezvoltarea și implementarea oricărui sistem de evaluare a calitatii apei.

Din avantajele utilizării comunității macronevertebratelor bentonice ca bioindicatori se pot menționa:

- aceasta cuprinde organisme legate de substrat;
- este compusă din numeroase populații;
- ciclul de viață larvar relativ lung, variază între 1-3 ani, perioadă suficient de lungă pentru a observa eventualele efecte ale poluării asupra populațiilor, schimbările în compoziția calitativă și cantitativă a populațiilor în funcție de calitatea apei și sezon;
- au diferite niveluri de sensibilitate la modificările variabilelor de mediu (parametri fizico-chimici);
- au rol ecologic diferit.

În general procesul de prelevare este ușor și constituie un avantaj, însă în cazul Dunării prelevarea este dificilă datorită adâncimii (existența șenalului în zonele navigabile) și malurilor abrupte din unele secțiuni, dar și al variabilității cauzate de complexitatea ecosistemului, acest fapt putând fi considerat un dezavantaj. De asemenea, caracterul merolimnic al insectelor poate constitui un dezavantaj deoarece aceste organisme nu pot fi găsite în anumite perioade ale anului, de aceea trebuie luat în considerare aspectul prelevărilor sezoniere, fiind recomandate monitorizări cât mai dese pentru a avea o imagine cât mai clară asupra compoziției calitative a comunităților de macronevertebrate bentiche.

### 4.2 Avantajele și dezavantajele utilizării WQI în determinarea calitatii apei Dunării

Indicele de calitate al apei (WQI) se utilizează pentru determinarea calității apelor dulci. Conceptul se bazează pe normalizarea valorilor parametrilor de calitate ai apei urmată de combinarea acestora. Factorii care sunt incluși în determinarea WQI variază în funcție de utilizările apei din cursul de apă analizat.

Analiza rezultatelor studiului realizat a necesitat observații sistematice ale cursurilor de apă monitorizate.

Unul dintre avantajele utilizării WQI constă în faptul că reflectă în mod corect calitatea cursurilor de apă monitorizate, fiind necesar ca numărul parametrilor incluși în WQI să fie mai mare și să aibă specii chimice cu concentrații de același ordin pentru o repartiție statistică rezonabilă a ponderii acestor parametri în determinarea calității globale a apelor observate.

Un alt avantaj îl constituie faptul că prin intermediul acestui indice s-au realizat studii complexe care privesc nu numai calitatea apelor, cât și pe cea a sedimentelor asociate. În urma analizelor s-a observat o ameliorare a calității apelor la o distanță apreciabilă de zonele afectate antropic, poluanții din apă regăsindu-se în sedimente și vegetație, precum și în sistemele biologice specifice bentosului. Este necesară o observare în viitor a repartizării și prezenței speciilor sensibile în aceste sedimente pentru determinarea corectă a eficienței

stației de epurare a apelor menajere din Municipiul Galați. Datorită caracterului transfrontalier al zonei observate (frontiere ale Republicii Moldova și Ucrainei) observațiile sistematice trebuie făcute pe o zonă extinsă care să cuprindă suprafețe adiacente teritoriilor naționale ale țărilor riverane.

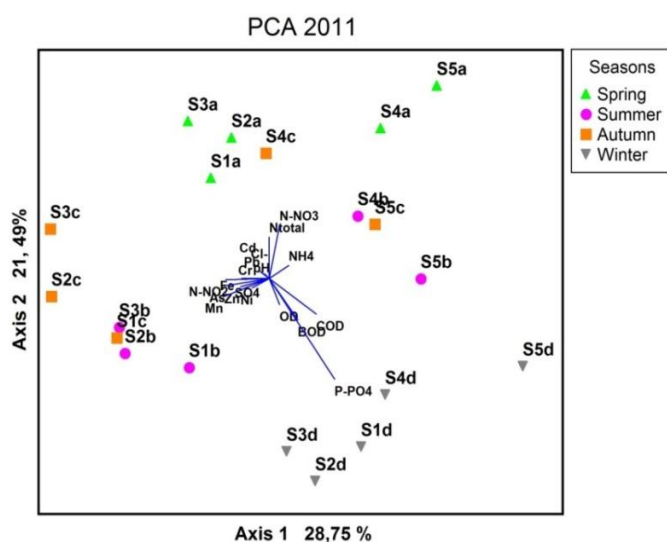
Studiul influențelor parametrilor fizico-chimici asupra valorii indicelui WQI s-a realizat utilizând și analiza componentelor principale (PCA).

Prin analiza componentelor principale s-a verificat existența unui gradient sezonier în setul de date chimice obținute în site-urile și sezoanele analizate. Prima axă explică 28.75% din varianța totală a parametrilor printre sezoane. A doua axă a explicat o suplimentare de 21, 49% din această varianță. O separare clară a fost identificată în iarna și primăvara anului 2011 (Figura 4.1).

Figurile 4.2 și 4.3 ilustrează analiza componentelor principale pentru 2012 și 2013, însă distincția nu este clară, deoarece unii dintre parametri fizico - chimici monitorizați sunt în limite normale, cel mai probabil ca urmare a funcționării stației de epurare a apelor uzate menajere a orașului. Pentru anul 2012, (Figura 4.2) prima axă a PCA explică 27.58 % din varianța totală și axa doi 22,09 %, însă analizele nu au arătat nici un gradient clar, iar această constatare poate fi explicată printr-o variabilitate mare a parametrilor chimici între sezoane și site-uri.

Pentru anul 2013 (Figura 4.3) prima axă a PCA explică 38, 93 % din varianța și axa a doua 20.83 %. Analiza Componentelor Principale a arătat că, în stația de 5 la Reni, în sezonul de primăvara și sezonul de iarnă, parametrii chimici au înregistrat aproximativ aceeași variație sezonieră. Influența antropică este în scădere în acest site, deoarece el se afla departe de sursele de poluare subliniind capacitatea de auto-epurare a apelor Dunării.

Din analiza distribuției stațiilor în planul factorial, reiese că, în sezonul de iarnă calitatea apei înregistrează o îmbunătățire semnificativă.



**Figura 4.1.** Analiza Componentelor Principale a parametrilor fizico-chimici măsurați în cele 4 sezoane în anul 2011

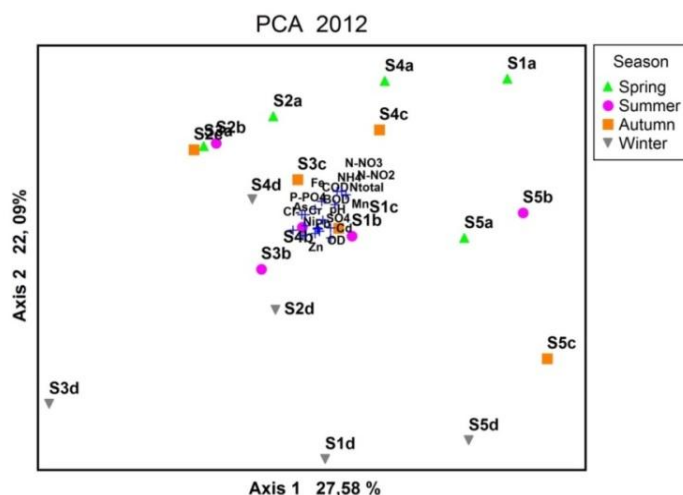


Figura 4.2. Analiza Componentelor Principale pentru parametrilor chimici monitorizați în cele 4 sezoane ale anului 2012.

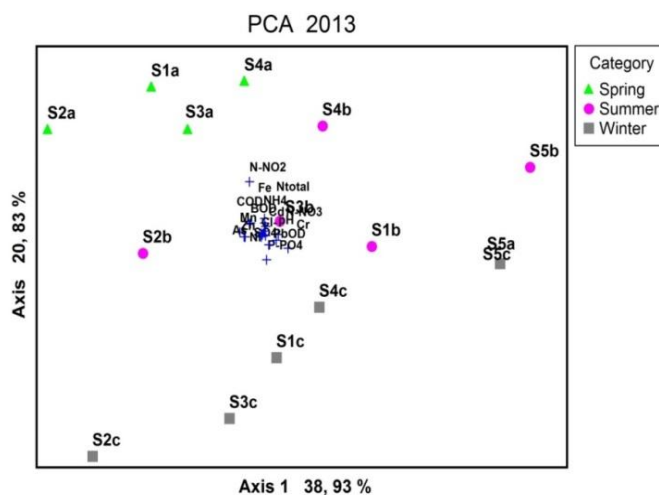


Figura 4.3 Analiza Componentelor Principale pentru parametrilor chimici monitorizați în 3 sezoane ale anului 2013

#### 4.3 Corelații statistice între WQI și indicii biotici analizați

Pentru a cuantifica influența factorilor chimici asupra indicilor biologici luând în considerare și timpul necesar de reacție, se justifică următoarele corelații dintre indicii biologici și WQI. Scopul acestor corelații este de a evalua timpul necesar sistemelor biologice pentru a reacționa la modificările fizico-chimice.

Luând în considerare faptul că reacția sistemelor biologice traspusă în valorile indicilor biotici nu este instantanee ci necesită o perioadă de timp de reacție, am procedat la determinarea corelațiilor dintre indicii biotici și WQI determinat în sezonul anterior determinărilor biologice. În acest fel s-au determinat corelații între:

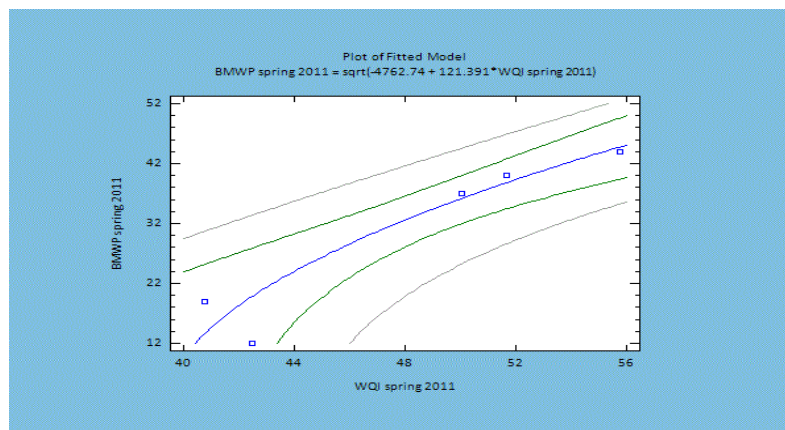
- Indicii biotici din primavara lui 2011 cu WQI determinat în toamna lui 2010;
- Indicii biotici din vara lui 2011 cu WQI determinat în toamna lui 2010 și primăvara 2011;
- Indicii biotici din toamna lui 2011 cu WQI determinat în toamna lui 2010, primăvara 2011 și vara 2011;

- Indicii biologici din primăvara lui 2012 cu WQI determinat în toamna lui 2010, primăvara 2011, vara 2011, toamna 2011 și iarna 2011.

Corelațiile sezoniere calculate în scopul cunoscării influenței factorilor chimici asupra celor biologici evidențiază faptul că s-au obținut puține valori semnificative atunci când s-a urmărit timpul de răspuns al celor 13 indici biotici la influența indicelui WQI. Se observă că nu în toate cazurile corelațiile sezoniere între indicii biologici și indicele de calitate chimic WQI sunt semnificative din punct de vedere statistic datorită valorilor de corelație  $p > 0.05$ . În schimb, în sezoanele corespondente s-a înregistrat o influență mare a indicelui WQI asupra anumitor indicatori biologici cum ar fi: BMWP (Biological Monitoring Working Party), ASPT (Scorul Mediu per Taxon), DSI (Indicele Simpson), Indicele Margalef (Margalef) și Abundența oligochetelor. Aceste corelații pot fi exprimate prin faptul că există și posibilitatea unei reacții de răspuns imediate a comunităților biologice la influențele parametrilor de mediu datorită existenței unor specii sensibile care pot dispărea în urma unei unde de poluare accidentale mari.

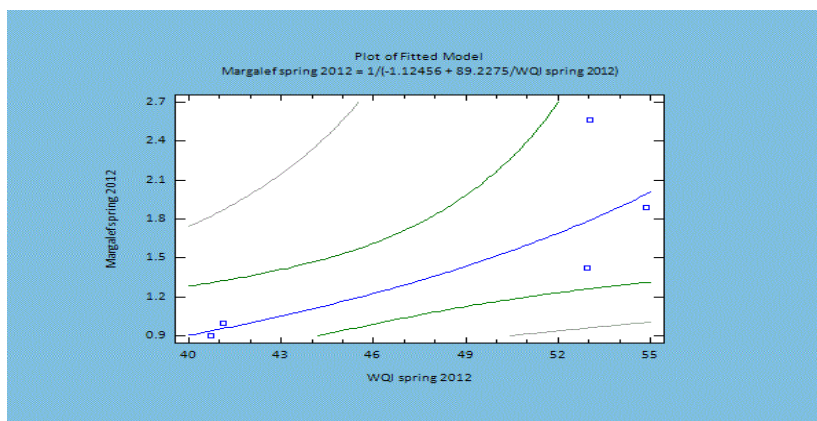
Reprezentarea grafică a acestor corelații prin modelul de regresie simplă (modelul liniar)  $f(x) = ax + b$  dar și prin celelalte modele alternative calculate în comparație cu modelul liniar în cazul sezoanelor corespondente se regăsește în figurile de mai jos (Fig. 4.4, 4.5, 4.6).

Pentru corelația indicilor biologici cu indicele de calitate WQI s-a folosit regresia simplă utilizând ca variabilă dependentă indicii biologici și ca variabilă independentă indicele WQI. În figura 4.4 este prezentată corelația dintre indicele BMWP și WQI în sezonul de primăvara 2011. Se constată că modelul de regresie optim pentru această corelație este un model liniar de tip rădăcina pătrată:  $Y = \sqrt{a + b \cdot X}$ . Ecuația modelului reciproc este:  $BMWP \text{ primăvară } 2011 = \sqrt{-4762.74 + 121.391 \cdot WQI \text{ primăvară } 2011}$ . Din moment ce valoarea P în tabelul ANOVA este mai mică de 0.05, rezultă ca există o relație statistică semnificativă la un nivel de încredere de 95% între cele două variabile.



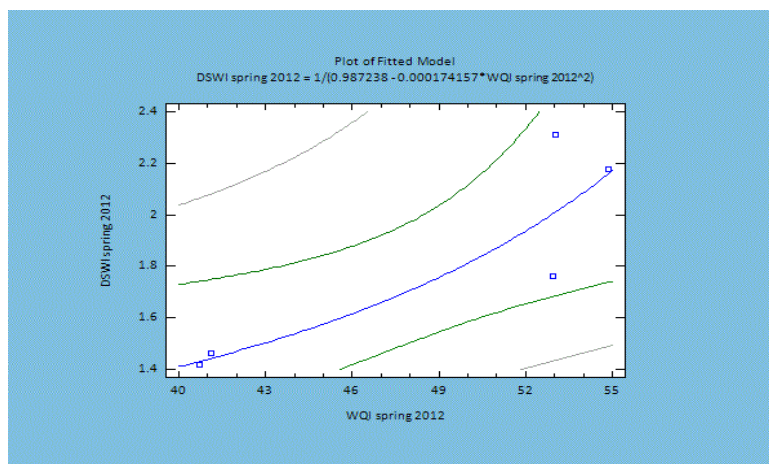
**Figura 4.4.** Corelația indicelui WQI față de scorul BMWP în sezonul de primăvara 2011

În figura 4.5 este prezentată corelația dintre indicele de diversitate Margalef (variabila dependentă) și WQI (variabila independentă) calculată pentru datele din sezonul de primăvară al anului 2012. Se constată că modelul de regresie optim pentru această corelație este un model hiperbolic (regresie reciprocă) cu dependență de inversul variabilei de forma:  $Y = 1/(a + b/X)$ . Ecuația modelului reciproc este:  $Margalef = 1/(-1.12456 + 89.2275/WQI)$ . Valoarea P în tabelul ANOVA este mai mică de 0.05, fapt ce certifică existența unei relații statistice semnificative la un nivel de încredere de 95% între indicele de diversitate Margalef și WQI în sezonul de primăvară.



**Figura 4.5.** Corelația indicelui WQI față de indicele de diversitate Margalef în sezonul de primăvara 2012

Corelația dintre indicele de diversitate Shannon W (variabila dependentă) și WQI (variabila independentă) calculată prin regresie simplă pentru datele din sezonul de primăvara al anului 2012 este reprezentată în figura 4.6. Se constată că modelul de regresie optim pentru această corelație este un model reciproc pătratic de forma:  $Y = 1/(a + b \cdot X^2)$ . Ecuația modelului reciproc este:  $DSWI \text{ primăvară } 2012 = 1/(0.987238 - 0.000174157 \cdot WQI \text{ primăvară } 2012^2)$ . Valoarea P din tabelul ANOVA  $< 0.05$ , rezultă că există o relație statistică semnificativă la un nivel de încredere de 95% între indicele de diversitate Shannon W și WQI în sezonul de primăvară aferent anului 2012.



**Figura 4.6.** Corelația indicelui WQI față indicele de diversitate Shannon. W

În continuare vor fi prezentate corelațiile semnificative prin care s-a semnalat un răspuns în timp al indicatorilor biotici la influența WQI. De asemenea, s-au calculat diferite modele de regresie pentru abordări liniare, pătratice, parabolice, logaritmice și hiperbolice (regresia reciprocă). Din încercările efectuate pe fiecare model s-a făcut selecția pe baza indicației privind modelul optim (tabelul 4.5). Funcțiile de corelație din modelele respective prezentate se obțin din 5 modele (de bază) prin compunere respectiv cu  $1/z$ , cu funcția exponentială, cu funcția pătratică ( $z^2$ ), cu funcția radical ( $\sqrt{z}$ ). Optimizarea are la bază rezultatul utilizării softului.

### Concluzii

1) În urma corelațiilor realizate prin modelul de regresie simplă între cei 13 indici biologici calculați pentru sezonul de primăvară aferent anului 2011 cu indicele de calitate WQI determinat în toamna anului 2010 se constată că singura corelație semnificativă din punct de vedere statistic s-a realizat între scorul biotic BMWP și WQI, fapt ce indică răspunsul în timp al macronevertebratelor bentice la influența parametrilor fizico-chimici. În urma comparației cu modelele alternative de regresie calculate, rezultă că modelul de regresie reciprocă de tip hiperbolic  $Y = a + b/X$  prezintă cel mai ridicat grad de încredere de 94,43%

2) La corelarea indicilor biologici din vara lui 2011 cu WQI determinat în toamna lui 2010 și primăvara 2011 nu s-au semnalat corelații semnificative între cei 13 indici biotici și WQI calculat pentru sezoanele anterioare, ceea ce nu relevă neapărat inexistența influențelor factorului antropic asupra comunităților de macronevertebrate, aceste influențe fiind greu de cuantificat datorită variabilității.

3) La corelarea indicilor biologici din toamna lui 2011 cu WQI determinat în toamna anului 2010, primăvara și vara anului 2011, s-au înregistrat influențe sezoniere ale indicelui WQI asupra numărului de specii prezente în comunitate, exprimat prin indicele Margalef, și asupra toleranței speciilor, exprimată prin indicele de poluare BMWP. Corelațiile semnificative între indicii abiotici și WQI au fost realizate prin următoarele modele de regresie: hiperbolic de tip rădăcină pătrată cu dependența de inversul variabilei:  $Y = \sqrt{a + b/X}$ ; hiperbolic cu dependență de inversul variabilei:  $Y = a + b/X$  și prin modelul de regresie liniară de tip pătratic în X:  $Y = a + b X^2$ . Este de menționat faptul că cele 3 modele au fost selectate în urma comparației cu modelele alternative calculate însă nici unul dintre aceste modele nu a depășit  $R^2 > 75\%$

4) Se constată reacția de răspuns a comunităților de macronevertebrate, exprimată prin indicii biotici calculați, la presiunile de mediu exprimate prin indicele WQI, prin corelațiile semnificative rezultate în urma corelației prin modele de regresie simplă.

Rezultatele corelațiilor dintre cei 13 indici biologici calculați în sezonul de primăvară aferent anului 2012 arată influența sezonieră a indicelui WQI determinat anterior în toamna lui 2010, primăvară 2011, vară 2011, toamnă 2011 și iarnă 2011. În felul acesta se verifică ipoteza prin care comunitățile de macronevertebrate sunt influențate de chimismul apei, efectele pe termen lung fiind demonstrate tocmai prin aceste corelații. Chiar dacă WQI nu a depășit limitele în toate sezoanele monitorizate, orice impact antropic duce la modificări în structura comunităților bentice acestea fiind sensibile, corelațiile statistice subliniind faptul că abundența, diversitatea, sensibilitatea și numărul de specii din comunitate sunt în strânsă legătură cu chimismul apei, chiar dacă ecosistemul nu a fost supus unei presiuni antropice ridicate.

Aceste influențe s-au manifestat asupra următorilor indici biotici:

- Asupra scorului BMWP (toleranței speciilor)- modelul de regresie optim fiind de tip exponențial cu argument pătratic.
- Asupra indicelui de diversitate Simpson în sezonul de vară al anului 2011 prin modelul de regresie simplă de tip reciproc cu dependență de inversul variabilei.
- Asupra indicelui Margalef (numărului de specii) calculat în 4 sezoane anterioare (toamnă 2010, primăvară 2011, toamnă 2011, iarnă 2011) cu excepția sezonului de vară 2011. Modele de regresie optime au fost de tip: reciproc pătratic (pentru sezonul de toamnă 2010 și iarnă 2011); reciproc cu dependență de inversul variabilei (pentru sezonul de primăvară 2011); exponențial cu argument pătratic (pentru sezonul de toamnă 2011).
- Asupra indicelui de diversitate Shannon W. calculat în 4 sezoane anterioare (toamnă 2010, primăvară 2011, toamnă 2011, iarnă 2011) cu excepția sezonului de vară 2011 prin 3

modele de regresie de tip: reciproc pătratic (pentru sezonul de toamnă 2010 și iarnă 2011); reciproc cu depedență de inversul variabilei (pentru primăvara 2011); exponențial cu argument pătratic (pentru sezonul de toamnă 2011).

- Asupra abundenței moluștelor și oligochetelor modelul de regresie optim fiind de tip reciproc pătratic (sezonul de vară 2011).

- Asupra abundenței și numărului de specii de oligochete (*Oligochaeta* [%], *Oligochaeta* Nr. Specii, Abundența *Oligochaeta*), modele de corelație optime fiind modele de regresie de tip: radical din expresie pătratică (pentru sezoanele de toamnă 2010, 2011 și iarnă 2011); exponențial cu argument pătratic (pentru sezoanele de toamnă 2010, 2011) precum și un model de tip rădăcina pătrată cu depedență de logaritmul variabilei pentru sezonul de primăvară 2011.

#### **4.4 Concluzii asupra optimizării procedurilor și metodologiilor de monitorizare a calității apelor Dunării**

Prezenta teză de doctorat realizează punerea în comun a informațiilor rezultate din monitorizarea concomitentă a unor parametri fizico-chimici și biologici pe un ecosistem de o complexitate majoră supus unor presiuni naturale și antropice provenite atât de la nivel regional cât și din extinderea importantă a ariilor hidrografice a unor afluenți cu contribuții importante atât în ceea ce privește debitul cât și în aportul unor substanțe de origine naturală sau antropică.

Concluziile desprinse din prezentul studiu ar putea fi prezentate într-o formă concentrată astfel:

- repartitia geografică a zonelor de prelevare trebuie să țină cont de suprafața foarte importantă precum și de diferitele proprietăți specifice ale unui fluviu de dimensiunile Dunării: areal important, diferențe semnificative de la o zona la alta, de la un mal la altul precum și variații temporale importante;

- necesitatea extinderii perioadei de observare pe o perioadă de mai mulți ani, în fiecare sezon și chiar ținând cont de perioadele atipice (debite mari sau perioade de secetă) în așa fel încât să se acopere o multitudine de situații și de macroparametri independenți de influența antropică;

- selecția unor parametri și unor abordări statistice optime care să elimine influența destabilizatoare a gradientilor importanți înregistrați chiar pe perioada de prelevare comună; distribuția prelevărilor pe perioade de timp extinse determină lărgirea bazei de informații cu un număr suficient de date pentru a creia posibilitatea eliminării extremelor fără afectarea fiabilității rezultatelor;

- necesitatea corelării unei multitudini de parametri biologici și fizico-chimici pentru a putea extinde concluziile observațiilor la perioade mai mari și mai ales pentru a putea realiza atât determinarea evoluției ecosistemelor, cât și prognoze utile atât la nivel științific cât și la nivelul creării unei baze raționale pentru diferite decizii care pot afecta arealele ecosistemelor acvatice complexe.

##### **4.4.1 Eficiența metodelor biologice și a metodelor fizico-chimice de evaluare a calității apei Dunării, analiza SWOT**

Procesul de evaluare a calității apei din punct de vedere fizico-chimic și biologic este unul complex și necesită o perioadă lungă de monitorizare, pe parcursul cărei este necesară abordarea tuturor factorilor de mediu cu influență directă sau indirectă asupra ecosistemelor. Instrumentele și modelările dezvoltate pentru evaluarea cursului de apă, precum și metodologiile abordate se fac pe baza analizei tuturor variabilelor și cuantificarea gradului de influență al fiecărei variabile ce ar putea produce dezechilibre în buna funcționare a



ecosistemelor analizate. Se remarcă o serie de pași necesari ce pot contribui semnificativ la îmbunătățirea managementului procesului de evaluare:

- Necesitatea monitorizării concomitente biologice și fizico-chimice pentru determinarea stării ecosistemelor acvatice complexe atât pe perioada determinării cât și a evoluției acestora;
- Multitudinea parametrilor chimici posibili face necesară o selecție a celor care se constituie în obiectul permanent al monitorizării: există de exemplu ioni sau elemente întâlnite doar accidental care nu se includ în monitorizarile periodice (de exemplu unele metale cum ar fi: Cu sau ioni cum ar fi ionul cianura etc);
- Necesitatea selecției speciilor biologice semnificative atât pentru arealul hidrografic cât și pentru cel climatic;
- Necesitatea includerii în observarea biologică a unor specii cu rezistența mare la poluare dar și a unora cu sensibilitate ridicată în vederea unei aprecieri corecte și fiabile;
- Evitarea unor aprecieri rezultate din campanii temporare de prelevare cum ar fi unele expediții pe Dunăre organizate la intervale din care pot rezulta concluzii ne semnificative și o abordare superficială a elementelor de calitate a ecosistemelor acvatice de suprafață mai ales la dimensiunile Dunării;
- Selecția unor metode de prelevare și a unor instrumente adecvate acestor operațiuni, în funcție de compoziția substratului, fără de care există riscul unor concluzii incorecte sau eronate (de exemplu: folosirea unei drăgi potrivite sau adaptate tipului de substrat în special în campaniile de prelevare pe Dunăre).

#### **4.5 Implicații în practicile de management acvatic al Dunării**

Gestionarea cu succes a practicilor de management aferente apelor curgătoare se realizează, conform lui Cummins (1975), combinând dezvoltarea unei teorii cu crearea unei metode rapide și sensibile de evaluare a comunității. Deși această problemă a fost pusă cu patru decenii în urmă, rămâne mai actuală ca niciodată. De exemplu DCA, cere în prezent o evaluare biologică integrată a apelor de suprafață în toate statele membre. În acest sens dezvoltarea a fost orientată către facilitarea practicilor de gestionare a apei urmărindu-se minimizarea variabilității inerente din probele de macronevertebrate bentonice pe cât posibil.

Pentru a minimiza variabilitatea în listele taxonomice obținute pentru râurile mici, se recomandă utilizarea anumitor perioade de prelevare spre a evita variabilitatea în lista de taxoni datorată factorilor sezonieri. Rezultatele studiului indică un nivel scăzut de bogăție a taxonilor prezenți în probele de vară și de toamnă (a se compara cu Kappes, 2010; Sharma, 2011).

Un lucru des întâlnit în practicile de gestionare a apei este de a colecta doar o singură probă pe an. Se recomandă și indică ca prelevarea pe râurile mici să se desfășoare în sezonul de primăvară, mult mai favorabil decât sezonul de vară sau toamnă. Abundența și diversitatea taxonilor EPT este folosită ca indice comun pentru evaluarea calității biologice în apele de suprafață (Blocksom, 2009; Pecher, 2010), iar variațiile sezoniere ale acestui parametru ar trebui să fie luate în considerare la dezvoltarea și elaborarea unor procese de evaluare mai bune a mediului. În schimb, pentru râurile mari, aspectele sezoniere s-au dovedit a avea o relevanță minoră. Operațiunile de dragare efectuate pentru întreținerea adâncimii ar putea explica variabilitatea mare observată în listele taxonomice. Pentru a rezolva această problemă, se recomandă prelevarea de probe din părți ale albiei râului, care sunt mai puțin perturbate de activitățile de dragare, prin urmare prezintă o variabilitate mai redusă. Cu toate acestea, identificarea de site-uri adecvate de prelevare pe râurile mari, cum ar fi Dunărea, este o adevărată provocare în termeni logistici.

În orice caz, o variabilitate mare reduce capacitatea de a detecta o semnificație statistică în datele obținute. Pentru a atinge semnificația statistică și pentru a detecta modele în cadrul seturilor de date taxonomice, se recomandă prelevarea de probe repetate ori de câte ori este posibil. În cadrul acestui scenariu, de asemenea, pe râurile mici, probele replicate ar trebui să fie colectate într-un interval de timp redus (în foarte puține săptămâni), pentru a evita variațiile sezoniere. În râurile mari, acest lucru este mai puțin important.

#### **4.6 Direcții de continuare a studiilor**

Prezenta lucrare cumulează metodologii de cuantificare a diferiților parametri fizico-chimici și biologici precum și o abordare statistică a corelațiilor dintre acestia. Pentru perioada următoare se pot proiecta următoarele direcții de cercetare:

- continuarea optimizării observațiilor și a corelațiilor care se pot constitui în concluzii pe termen mediu și lung;
- determinarea parametrilor fizico-chimici și biologici semnificativi pentru ecosisteme de suprafață de dimensiuni importante cum este Dunărea și cu influențe complexe atât naturale cât și antropice;
- dezvoltarea unor metodologii și algoritmi de apreciere care să includă parametrii semnificativi și să se constituie în instrumente viabile de apreciere a calității și evoluției ecosistemelor acvatice de suprafață;
- continuarea observării pe bazinul Dunăre, Prut, Siret a parametrilor semnificativi cu extinderea ariei de monitorizare la nivelul afluenților bazinelor hidrografice;
- clasificarea informațiilor și metodologiilor ca instrumente de lucru atât pentru cercetare cât și pentru factorii de decizie care să stabilească măsuri de conservare sau de diminuare a impactului asupra calității apelor de suprafață în diferite areale cu populație concentrată și cu industrie sau agricultură active.

O parte din aceste deziderate sunt deja planificate și demarate în cadrul proiectului Black Sea e-Eye la care observațiile și monitorizarea se extind la nivelul unor arii din Republica Moldova sau Ucraina. O parte din metodologiile selecționate vor fi prezente pe platforma proiectului pe care se vor completa informații privind parametrii fizico-chimici ai apelor de suprafață din bazinul Dunării de Jos precum și din bazinele Prutului inferior și Siretului inferior. Algoritmii propuși vor fi la dispoziția comunității științifice pentru aprecierea fiabilității metodelor de corelare propuse și îmbunătățirea lor la nivel european și național.

Se tinde către dezvoltarea unui instrument simplu de apreciere a evoluției calității care să poată fi conceput și dezvoltat de specialiști dar care să aibă componente relativ simple la îndemana nespecialiștilor. Ca principiu acest instrument va avea:

- o structură similară cu WQI utilizat în prezenta teză de doctorat;
- una sau mai multe componente biologice în componența WQI care să asigure fiabilitatea sa ca instrument de lucru cu posibilitatea perfecționării și rafinării performanțelor și exactității;
- se va proceda la un schimb continuu de bune practici la nivel internațional pentru extinderea analogiilor și algoritmilor la nivelul ecosistemelor acvatice de suprafață de complexitatea celor studiate în teza de doctorat;
- se va realiza o continuare pe termen lung a monitorizării parametrilor fizico-chimici și biologici cu potențială extindere a observațiilor la nivelul unor neinclusi în prezenta teza: clorofila a, fitoplancton, macrofite, pești.

**Bibliografie selectivă**

- Abraham B. G., N. Tadesse, E. Jigar, 2011. Application of water quality index to assess suitability of groundwater quality for drinking purposes in Hantebet watershed, Tigray, Northern Ethiopia, ISABB Journal of Food and Agriculture Science Vol. 1(1), pp. 22-30
- Administrația Națională "Apele Române" - Cadastrul Apelor - București
- Allan D.J., M. M., Castillo, 2007. Stream Ecology. Structure and function of running waters. Published by Springer, ISBN 978-4020-5582-9 (PB)
- AQEM European stream assessment program Version 2.3 released on April 2004
- Balaban A., 2008. Studii fizico-chimice și biologice referitoare la poluarea apelor Dunării. Univesitatea din București, Rezumat teză doctorat.
- Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Snyder, J. B. Stribling, 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Blocksom, K. A., B. R. Johnson, 2009. Development of a regional macroinvertebrate index for large river bioassessment. Ecological Indicators, 9, 313-328.
- Bray J. R., J. T. Curtis, 1957. An ordination of the upland forest communities in southern Wisconsin.
- Bruce McCune, James B. G., D. L. Urban, 2002. Analysis of Ecological Communities. MjM Software Design.
- Iticescu C., L. P. Georgescu, **C. M. Topa**, Assessing the Danube Water Quality Index in the City of Galați, Romania, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, November 2013, Vol. 8, No. 4, p. 155 – 164
- Iticescu C., L. P. Georgescu, **C. Topa**, G. Murariu, 2013. Monitoring Danube water quality near Galati City, Journal of Environmental Protection and Ecology - Acceptat spre publicare
- Ramakrishnaiah C. R., C. Sadashivai A Hand G. Ranganna, Assessment of Water Quality Index for the Groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India, E-Journal of Chemistry, 2009, 6(2), 523-530
- Căldăraru A., **M. C. Țopa**, G. Murariu, F. Sangiorgio, A. Basset, L. P. Georgescu, 2013. Ecological Research for the Future of our Water – Interactions between Biotope and Biocoenosis, Journal of Environmental Protection and Ecology 14, No 3, p. 856–863
- Callanan, M., Baars, J. R., Quinn M. K. 2008. Critical influence of seasonal sampling on the ecological quality assessment of small headwater streams. *Hydrobiologia*, 610, 245-255.
- **Cătălina M. Țopa**, A. Căldăraru, L. P. Georgescu, C. Trif, G. Murariu, 2011. Human Impact on Benthic Biocoenosis Structure on a Sector of the Lower Danube, Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, Year III (XXXIV) No. 2, pg. 282-290
- Clarke, A., Mac Nally R., Bond, N., Lake P. S. 2008. Macroinvertebrate diversity in headwater streams: a review. *Freshwater Biology*, 53, 1707-1721.
- De Pauw, N., Gabriels, W., Goethals, P.L.M. 2006. River monitoring and assessment methods based on macroinvertebrates. In: Ziglio, G., Siligardi, M. & Flaim, G. (eds.). Biological monitoring of rivers. Applications and perspectives. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK. p. 113-134.
- Enăceanu, V., Brezeanu, G., 1970. Repartiția și componența florei și faunei Dunării de la izvoare la vărsare, *Hidrobiologia*, 11, 227-264;
- European Commission (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council: establishing a framework for community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities, L 327, 1-73.
- Fesl, C., Humpesch, U. H. 2006. Spatio-temporal variability of benthic macroinvertebrate community attributes and their relationship to environmental factors in a large river (Danube, Austria). *Archiv für Hydrobiologie Supplement*, 158, 329-350.
- Hawkes H. A. 1999. Origin and development of Biological Monitoring Working Party score system. *Water Research* 32:964-968

- Hering, D., Meier, C., Rawer-Jost, C., Feld, C. K., Biss, R., Zenker, A., Sundermann, A., Lohse, S., Böhmer, J. 2004. Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: selection of candidate metrics. *Limnologica*, 34, 398-415.
- Hotelling, H., 1933. Analysis of a Complex of Statistical Variables Into Principal Components, *Journal of Educational Psychology*, volume 24, pages 417-441 and 498-520.
- ICPDR- International Commission for the Protection of the Danube River. 2009. <http://www.icpdr.org>.
- Illies J.19  
über ihre Verbreitung und Ökologie.  
Stuttgart, 532 pp.ISBN-10: 3437302469, ISBN-13:978-3437302466
- Jaccard, P. 1901. Etude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et de Jura. *Bull Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 37, 547-549.
- JDS 2 (Joint Danube Survey), 2007. Report on: Macroinvertebrates. Wolfram Graf, Bela Csanyi, Patrick Leitner, Momir Paunović, Berthold Janeček, Ferdinand Šporka, Gabriel Chiriac, Ilse Stubauer and Thomas Ofenbock. International Commission for the Protection of the Danube River.
- Jolliffe, I.T., 2002. *Principal Component Analysis*, second edition, New York: Springer-Verlag New York.
- Judith D. Toms and Mary L. Lesperance, 2003. Piecewise regression: a tool for identifying ecological thresholds. *Ecology*, 84(8), 2003, pp. 2034–2041
- Krebs, C.J. 1994. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*, 4th ed.
- Literáthy, P., Koller-Kreimel, V. Liska, I. (eds.) 2002: Joint Danube Survey.- Technical Report of the International Commission for the Protection of the Danube River, 261 pp.
- Lucian Parvulescu, Carmen Hamchievici, 2010. The relation between water quality and the distribution of *Gammarus Balcanicus* (Schäferna 1922) (Amphipoda: Gammaridae) in the Anina Mountains. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, Vol. 5, No. 2, p. 161 – 168.
- Malmqvist, B., Hoffsten, P.O. 2000. Macroinvertebrate taxonomic richness, community structure and nestedness in Swedish streams. *Archiv für Hydrobiologie*, 150, 29-54.
- Mandaville, S.M. 2002. Benthic macroinvertebrates in freshwaters - Taxa tolerance values, metrics and protocols. Project H-1. Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax.
- McCune, B., Mefford, M. J. 1999. *Multivariate analysis of ecological data*, version 4.25. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Moldoveanu M., G. Rîșnoveanu, G. Chiriac. Indici ecologici pentru monitorizarea și evaluarea stării ecologice a ecosistemelor lotice. Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor Conferința științifică anuală, 1-3 Noiembrie, 2011.
- Nicoara, M., Ureche, D., 2008. *Ecologie acvatică*. Editia a II-a, Editura PIM, Iași, ISBN 978-606-520-015-9.
- Opreanu, P. A., 2010. Schimbări în structura biocenozelor benthice pe cursul inferior al Dunării în perioada 1996 - 2004, Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare pentru Geologie și Geocologie Marină – GeoEcoMar, Constanta, pp. 33 – 39.
- Palmer, M. A., Hakenkamp C.C., Nelson-Baker, K. 1997. Ecological heterogeneity in streams: why variance matters. *Journal of the North American Benthological Society*, 16 (1), 189-202.
- Shannon, C.E., Weaver, W. 1949. *The mathematical theory of communication*. The University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Sundermann, A., Pauls, S.U., Clarke, R.T., Haase, P. 2008. Within-stream variability of benthic invertebrate samples and EU Water Framework Directive assessment results. *Fundamental and Applied Limnology* (Archiv für Hydrobiologie), 173, 21-34.
- Tachet H., Bournaud M., Richoux P., Usseglio-Polatera P. 2000. *Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie*. CNRS Editions, Paris, pp. 588.
- Vannote, R. L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J. R., Cushing, C.E. 1980. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130-137.