

**Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați**  
**Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială**



# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**Impactul antropic asupra componentelor  
ecosistemelor acvatice specifice Dunării**

**Conducător științific:**  
**Prof. univ. dr. ing. GEORGESCU Puiu Lucian**

**Doctorand**  
**Ing. NICOLAE Alina-Florina**

**Seria I 4 Inginerie Industrială Nr. 54**  
**GALAȚI**  
**2018**

**Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați  
Școala doctorală de Inginerie Mecanică și Industrială**



# **TEZĂ DE DOCTORAT**

## **Impactul antropic asupra componentelor ecosistemelor acvatice specifice Dunării**

**Doctorand:** Ing. NICOLAE Alina-Florina

**Conducător științific:** Prof. univ. dr. ing. GEORGESCU Puiu Lucian

**Președinte:** Prof. univ. dr. ing. MEREUȚĂ Elena  
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați,

**Referenți științifici:** Prof. univ. dr. MATEI Ecaterina  
Universitatea „Politehnica” din București  
CSI dr. ing. DEÁK György  
Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru  
Protectia Mediului, București

Prof. univ. dr. PREDA Ciprian Ion  
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

**Seria I 4 Inginerie Industrială Nr. 54**

**GALAȚI**  
**2018**

Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

**Domeniul ȘTIINȚE INGINEREȘTI**

Seria I 1: **Biotehnologii**

Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**

Seria I 3. **Inginerie electrică**

Seria I 4: **Inginerie industrială**

Seria I 5: **Ingineria materialelor**

Seria I 6: **Inginerie mecanică**

Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**

Seria I 8: **Ingineria sistemelor**

**Domeniul ȘTIINȚE ECONOMICE**

Seria E 1: **Economie**

Seria E 2: **Management**

**Domeniul ȘTIINȚE UMANISTE**

Seria U 1: **Filologie - Engleză**

Seria U 2: **Filologie - Română**

Seria U 3: **Istorie**

## **Mulțumiri**

*Acum, la finalul studiilor de doctorat, mă simt onorată să adresez cuvinte de mulțumire tuturor persoanelor care au contribuit la formarea mea profesională și care m-au încurajat și sprijinit în decursul acestei perioade.*

*Doresc să aduc mulțumirea și recunoștința mea conducătorului științific, domnului profesor universitar doctor inginer Lucian Puiu GEORGESCU, pentru tot sprijinul și îndrumările pe care le-am primit și care m-au ajutat să finalizez acest demers științific. Prin profesionalismul său, prin tactul pedagogic, răbdarea, cât și prin cunoștințele împărtășite, domnia sa a avut o contribuție foarte importantă în elaborarea acestei lucrări.*

*Mulțumesc tuturor membrilor comisiei de doctorat, doamnei profesor doctor chimist Cătălina ITICESCU, domnului profesor doctor Gabriel MURARIU și domnului șef lucrări doctor inginer Dumitru DIMA, pentru răbdarea cu care au analizat prezenta lucrare, precum și pentru sugestiile formulate.*

*Un rol fundamental în dezvoltarea mea profesională a avut-o activitatea desfășurată în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului (INCDPM) – București. În acest sens, ţin să adresez mulțumiri domnului director general al INCDPM, CSI doctor inginer György DEÁK. Deosebită recunoștință îi datorez pentru răbdarea, generozitatea și înțelegerea, precum și pentru întreaga contribuție la formarea mea ca cercetător. Domnia sa m-a încurajat și îndrumat să urmez studiile de doctorat și m-a susținut în toate activitățile științifice.*

*Mii de mulțumiri doresc să aduc și domnului director științific INCDPM, doctor inginer George POTERAŞ pentru timpul prețios acordat, pentru sfaturile științifice valoroase cât și pentru îndrumarea competentă și permanentă pe parcursul elaborării acestei teze de doctorat.*

*Mulțumesc tuturor colegilor care m-au încurajat în acești ani de căutări științifice. Le mulțumesc colegilor care fac parte din echipa de monitorizare pentru buna colaborare. De asemenea, le mulțumesc colegilor din departamentul „Modelare Numerică și Sisteme Informaționale Geografice” pentru suportul informațional dat. Sincere recunoștințe ţin să aduc și colegelor care au avut răbdarea de a mă sprijini în domeniul modelării numerice. Această teză de doctorat nu ar fi fost completă fără ajutorul esențial al colegilor din departamentul „Laboratoare”. Totodată, îi mulțumesc colegului dr. ing. Maxim ARSENI pentru tot sprijinul acordat pe parcursul studiilor doctorale.*

*Cu dragoste, ţin să le mulțumesc lui George și familiei pentru că mi-au fost alături, m-au înconjurat cu afecțiune, răbdare și m-au sprijinit din toate punctele de vedere în această perioadă.*

## Cuprins

<i>Mulțumiri</i> .....	i
Listă lucrări publicate și prezentate.....	v
Notări și abrevieri.....	x
Listă figuri.....	xii
Lista tabele.....	xviii
INTRODUCERE .....	xx
Capitolul 1. NOȚIUNI TEORETICE INTRODUCTIVE .....	1
1.1. Noțiuni legate de evaluarea impactului asupra mediului .....	1
1.2. Noțiuni despre regimul hidrologic și hidraulic al curgerii apei.....	2
1.2.1. Noțiuni despre regimul hidrologic al curgerii apei .....	2
1.2.2. Noțiuni despre regimul hidraulic al curgerii apei .....	2
1.3. Elemente de dinamică a albiilor.....	4
1.3.1. Sistemul fluvial .....	4
1.3.2. Regimul rezistenței hidraulice al albiilor deformabile .....	6
1.3.3. Regimul curgerii fazei solide pe cursuri de apă .....	6
1.3.4. Starea evolutivă a albiilor .....	9
1.3.5. Stabilitatea și instabilitatea morfologică a albiilor .....	10
1.4. Noțiuni privind ecosistemele acvatice .....	10
Capitolul 2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR.....	14
2.1. Studii referitoare la investigațiile privind transportul de aluviuni .....	14
2.2. Studii referitoare la analiza ecosistemelor acvatice .....	15
2.3. Studii privind analiza morfologică a cursurilor de apă prin utilizarea programelor de modelare numerică .....	17
Capitolul 3. MATERIALE ȘI METODE .....	23
3.1. Ridicări topometrice .....	23
3.2. Ridicări batimetrice și măsurători debite și viteze ale curenților de apă .....	23
3.3. Programul de modelare numerică Delft3D .....	25
3.3.1. Delft3D – Model hidrodinamic.....	27
3.3.2. Delft3D – Model morfohidrodinamic.....	28
3.4. Analiza stării ecologice a corpurilor de apă .....	33
Capitolul 4. CARACTERIZAREA ZONEI DE STUDIU .....	36
4.1. Localizarea zonei de studiu .....	38
4.2. Caracteristici fizico-geografice.....	38
4.2.1. Relieful terenului .....	39

4.2.2. Relieful albiei.....	39
4.2.3. Geologie.....	42
4.2.4. Hidrodinamică .....	43
4.2.5. Morfohidrodinamică.....	46
4.2.6. Transportul de sedimente.....	48
4.2.7. Regim climatic.....	52
4.2.8. Starea ecologică a corpurilor de apă .....	54
4.3. Habitate.....	55
4.4. Flora terestră.....	56
4.5. Avifauna .....	56
4.6. Flora și fauna acvatică .....	57
4.6.1. Fitoplanton .....	57
4.6.2. Macrofite .....	61
4.6.3. Macronevertebrate .....	62
4.6.4. Ihtiofauna .....	64
4.7. Intervenții antropice pe sectorul inferior al Dunării .....	70
4.8. Descrierea construcțiilor hidrotehnice din zona de studiu .....	73
<b>Capitolul 5. MODELARE NUMERICĂ.....</b>	<b>78</b>
5.1. Realizarea rețelei de calcul .....	78
5.2. Realizarea modelului geometric .....	81
5.3. Realizarea modelului hidrodinamic test .....	83
5.3.1. Calibrarea modelului hidrodinamic .....	84
5.3.2. Validarea modelului hidrodinamic.....	93
5.4. Configurarea modelului morfohidrodinamic .....	94
5.4.1. Tronsoanele active din punct de vedere morfologic.....	94
5.4.2. Caracteristicile hidrodinamice ale modelului morfohidrodinamic .....	95
5.4.3. Rezultate obținute în urma procesului de calibrare a modelului morfohidrodinamic	96
<b>Capitolul 6. SIMULĂRI NUMERICE PRIVIND MODIFICărILE MORFOLOGICE ALE PATULUI ALBIEI.....</b>	<b>102</b>
6.1. Scenariul 1 - Scenariul de referință .....	103
6.2. Scenariul 2 – Patul albiei după 3. Simulare morfohidrodinamică .....	107
6.3. Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani. Simulare morfohidrodinamică.....	109
<b>Capitolul 7. EVALUAREA MODIFICărILOR MORFOLOGICE ALE PATULUI ALBIEI .....</b>	<b>110</b>
7.1. Secțiunea transversală 1 – Analiza comparativă a scenariilor .....	110
7.2. Secțiunea transversală 2 – Analiza comparativă a scenariilor .....	111
7.3. Secțiunea transversală 3 – Analiza comparativă a scenariilor .....	112
7.4. Secțiunea transversală 4 – Analiza comparativă a scenariilor .....	113

7.5. Secțiunea transversală 5 – Analiza comparativă a scenariilor .....	114
7.6. Secțiunea longitudinală 1 - Analiza comparativă a scenariilor .....	115
7.7. Secțiunea longitudinală 2 - Analiza comparativă a scenariilor .....	116
7.8. Analiza zonelor de control .....	116
<b>Capitolul 8. INTERACȚIUNEA DINTRE ELEMENTELE ABIOTICE ȘI COMPONENTELE ECOSISTEMULUI ACVATIC.....</b>	<b>119</b>
8.1. Natura materialului din corpul structurilor hidrotehnice .....	119
8.1.1. Interacțiunea apei cu anrocamentele.....	120
8.1.2. Modificarea concentrației metalelor grele din sedimente .....	122
8.2. Corelarea componentelor biotice cu rezultatele obținute din simulările morfohidrodinamice .....	124
8.3. Analiza parametrilor morfohidrodinamici în funcție de comportamentul migrațional al sturionilor .....	127
8.3.1. Influența modificărilor morfologice ale patului albiei asupra comportamentului sturionilor .....	128
8.3.2. Influența parametrilor hidrodinamici rezultați din simulările numerice asupra comportamentului sturionilor .....	129
<b>Capitolul 9. CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE și PERSPECTIVE .....</b>	<b>135</b>
Bibliografie .....	141
Anexa 1. Indicatori analizați în vederea evaluării calității apei.....	148
Anexa 2. Indicatori analizați în vederea evaluării calității sedimentelor .....	155
Anexa 3. Lucrări hidrotehnice – Secțiune transversală braț Bala .....	167
Anexa 4. Diferențe dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor in situ și cele rezultate în urma modelării numerice .....	168
Anexa 5. Variația concentrației de metale grele din apă și sedimente – Secțiunea 1 și Secțiunea 3.....	171

## Listă lucrări publicate și prezentate

### Articole publicate în reviste cotate ISI

1. **A.-F. Nicolae**, P-L. Georgescu, Gy. Deák, A. Badilita, M. Tudor, *Preliminary Analyzis of the Sturgeons' Swimming Capacity Above the Bottom Sill Through Numerical Simulation. Case Study - Bala Branch*, Environmental Engineering and Management Journal, ISSN: 1843 – 3707, Vol.15, No. 5, pg. 1075-1080, (FI=1,096), 2016;
2. **A-F. Nicolae**, A-St. Zamfir, P-L. Georgescu, Gy. Deák, M-C. Raischi, *Study regarding the riverbed morphological changes of the Danube River - Epurasu Branch*, Proceedings of the 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, ISBN: 978-1-5108-4819-1, Vol. 17, Issue 11, pg. 841-848, 2017;
3. **A.-F. Nicolae**, Gy. Deák, G. Tudor, C-tin. Cirstinoiu, A.-St. Zamfir, B. Uritescu, L. Georgescu, G. Ghita, M. Raischi, A. I. Daescu, F.-D. Dumitru, M.-A. Moncea, L. Laslo, R. Szep, *Comparative analysis on water velocity distribution in the context of riverbed morphology changes and discharge variation*, Journal of Environmental Protection and Ecology, ISSN 1311-5065, Vol. 18, No 4, pg. 1649–1657 (FI =0,774), 2017;
4. G. Ghiță, M. Ilie, R. Szep, F. Marinescu, A.-M. Anghel, C. Tociu, I. Popescu, E.Holban, I.Mărcuș, M. Matei, Gy. Deák, O Stroie, A.M. Moncea, **A. Nicolae**, L. Georgescu, *Numerical modelling and simulation of wastewater treatment processes in the sewage system*, Journal of Environmental Protection and Ecology, Acceptat spre publicare 2017.

### Cereri de brevet

1. A/2016/00580 – *Complex de producere a energiei regenerabile în ape curgătoare*, G.Poteraş, Gy. Deák, **A.-F. Nicolae**, I. Neacşu, N.S. Raischi;
2. A/2018/00099 - *Metoda electrochimică pentru diagnosticarea reacțiilor alcalii-aggregate în laborator*, G.Poteraş, Gy. Deák, **A.-F. Nicolae**, A.I. Dăescu, I.F. Burlacu;
3. A/2018/00179 - *Elemente prefabricate cu celule fotovoltaice înglobate pentru placări fațade și acoperișuri de tip terasă necirculabilă*, G.Poteraş, Gy. Deák, **A.-F. Nicolae**, A.G. Baraitaru, M.V. Olteanu;
4. A/2018/00180 - *Tigle glazurate cu potențial fotovoltaic pentru acoperișuri*, G.Poteraş, Gy. Deák, A.G. Baraitaru, M.V. Olteanu, **A.-F. Nicolae**.
5. A/2018/00577 - *Parapete prefabricate pentru drumuri, poduri și autostrăzi care înglobează celule fotovoltaice*, G.Poteraş, Gy. Deák, **A.-F. Nicolae**, A.G. Baraitaru, M.V. Olteanu.

### Premii obținute

- A/2016/00580 – *Complex de producere a energiei regenerabile în ape curgătoare*, G.Poteraş, Gy. Deák, **A.-F. Nicolae**, I. Neacşu, N.S. Raischi
  - Eveniment: Thailand Inventor's Day, februarie 2017, Bangkok, Thailanda
    - ✓ Diplomă și medalie de argint;
    - ✓ Premiul special al Societății de Cercetare și Inovare din Malaya;
  - Eveniment: Salonul Internațional al Cercetării, Inovării și Invenției PRO INVENT, martie 2017, Cluj-Napoca, România
    - ✓ Diplomă de excelență și medalie de aur;
    - ✓ Diplomă de excelență din partea Asociației lustin Capră;
    - ✓ Trofeu și diplomă „Cadet Inova” din partea Academiei de forțe terestre „Nicolae Bălcescu”, Sibiu, România;
  - Eveniment: International Exhibition of Inventions of Geneve, martie-aprilie 2017, Geneva, Elveția

- ✓ Diplomă și medalie de aur;
  - Eveniment: International Exhibition of Inventions of INNOVA Barcelona, mai 2017, Barcelona, Spania
    - ✓ Diplomă și medalie de argint;
  - Eveniment: EUROINVENT 2017, mai 2017, Iași, România
    - ✓ Diplomă și medalie de aur;
    - ✓ ECOMET Excellence Award for the most Eco-friendly Invention;
    - ✓ Diplomă de excelență și medalie de bronz din partea Universității Tehnice din Cluj Napoca;
  - Eveniment: Salonul Internațional de Invenții și Inovații „Traian Vuia”, iunie 2017, Timișoara, România
    - ✓ Diplomă și medalie de aur;
  - Eveniment: International Warsaw Invention Show IWIS 2017, octombrie 2017, Varșovia, Polonia
    - ✓ Diplomă și medalie de platină;
  - Eveniment: INOVA - BUDI UZOR 2017, noiembrie 2017, Osijek, Croația
    - ✓ Diplomă și medalie de aur;
  - Eveniment: Târgul Internațional de Invenții și Idei Practice INVENT-INVEST, Ungheni, Republica Moldova
    - ✓ Diplomă și medalie de argint
  - Eveniment: INFO INVENT 2017, noiembrie 2017, Chișinău, Republica Moldova
    - ✓ Diplomă și medalie de argint
- A/2018/00099 - *Metoda electrochimică pentru diagnosticarea reacțiilor alcalii-aggregate în laborator*, G.Poteraș, Gy. Deák, **A.-F. Nicolae**, A.I. Dăescu, I.F. Burlacu
  - Eveniment: Salonul Internațional al Cercetării, Inovării și Inventicii PRO INVENT, martie 2018, Cluj-Napoca, România
    - ✓ Diplomă excelență;
    - ✓ Medalie de aur din partea AGEPI Republica Moldova.
  - Eveniment: EUROINVENT, 17-19 mai 2018, Iași, România
    - ✓ Diplomă și medalie de argint;
    - ✓ Diplomă de excelență și medalie de aur din partea Universității de Medicină și Farmacie "Nicolae Testemitanu", Republica Moldova.
- A/2018/00179 - *Elemente prefabricate cu celule fotovoltaice înglobate pentru placări fațade și acoperișuri de tip terasă necirculabilă*, G.Poteraș, Gy. Deák, **A.-F. Nicolae**, A.G. Baraitaru, M.V. Olteanu
  - Eveniment: Salonul Internațional al Cercetării, Inovării și Inventicii PRO INVENT, martie 2018, Cluj-Napoca, România
    - ✓ Diplomă și medalie de aur;
  - Eveniment: International Engineering Invention Innovation Exhibition i-ENVEX, 13-17 Aprilie 2018, Universitatea Malaysia Perlis (UniMAP), Malaysia
    - ✓ Diplomă și medalie de aur;
  - Eveniment: EUROINVENT, 17-19 mai 2018, Iași, România
    - ✓ Diplomă și medalie de aur.
- A/2018/00180 - *Tigle glazurate cu potențial fotovoltaic pentru acoperișuri*, G.Poteraș, Gy. Deák, A.G. Baraitaru, M.V. Olteanu, **A.-F. Nicolae**.
  - Eveniment: Salonul Internațional al Cercetării, Inovării și Inventicii PRO INVENT, martie 2018, Cluj-Napoca, România
    - ✓ Diplomă și medalie de aur.
  - Eveniment: International Engineering Invention Innovation Exhibition i-ENVEX, 13-17 Aprilie 2018, Universitatea Malaysia Perlis (UniMAP), Malaysia
    - ✓ Diplomă și medalie de aur;

- Eveniment: EUROINVENT, 17-19 mai 2018, Iași, România  
✓ Diplomă și medalie de aur.

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

1. A.-F. Nicolae, P.L. Georgescu, M.C. Raischi, Al. Petrescu, M. G. Boboc, *The Influence of Hydrotechnical Structures on the Minor Riverbed Morphology of the Danube, In the Bala Branch - Old Danube Bifurcation Area*, TEHNOMUS JOURNAL, no. 23, pg. 13-17, 2016;
2. A.-F. Nicolae, B. Urișescu, C-tin. Cîrstinoiu, Al. Petrescu, P.L. Georgescu, *The Influence of the Hydrotechnical Constructions Geometry on the Water Velocity Distribution*, Annals of "Dunarea De Jos" University of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, Year VIII (XXXIX) 2016, No. 1, pg. 44-48, 2016;
3. M. Arseni, A. Rosu, A.-F. Nicolae, P. L. Georgescu, D.-E. Constantin, *Comparison of models and volumetric determination for Catusa Lake, Galati*, TEHNOMUS JOURNAL, no. 24, pg. 67-71, 2017;
4. G. Tudor, Gy. Deák, B. Urișescu, C-tin Cîrstinoiu, A.-F. Nicolae, A. St. Zamfir, T. M. Dănilache, M.V. Olteanu, *Comparative analysis of hydrodynamic and hydromorphological parameters variation resulting from anthropic interventions on Lower Danube – Caleia Branch*, ISB-INMA TEH Agricultural and Mechanical Engineering, ISSN 2537 - 3773, pg. 633-642, 2017;
5. A.-F. Nicolae, Gy. Deák, G. Tudor, A. St. Zamfir, P.L. Georgescu, C-tin Cîrstinoiu, B. Urișescu, M.C. Raischi, T.M. Dănilache, A.I. Dăescu, A. Badilita, Al. Cristea, *Preliminary analysis of sediment transport in the context of the hydrotechnical constructions influence. Case study Branch Bala – Old Danube bifurcation*, ISB-INMA TEH Agricultural and Mechanical Engineering, ISSN 2537 - 3773, pg. 673-680, 2017;
6. St. Zamfir, Gy. Deák, M. Raischi, A.-F. Nicolae, L. Georgescu, N. Raischi, I. Gheorghe, G. Badea, M. Olteanu, L. Lumînăroiu, C-tin Cîrstinoiu, A. Badiliță, T. Dănilache, *Solutions to ensure the lateral connectivity on the Lower Danube. Case study Epurașu Branch*, ISB-INMA TEH Agricultural and Mechanical Engineering, ISSN 2537 - 3773, pg. 681-687, 2017
7. M. C. Raischi, A.M. Badilita, T.M. Danalache, Gy. Deák, St. Zamfir, Al. Cristea, A.I. Daescu, E. Holban, I. Gheorghe, D. Fronescu, A.-F. Nicolae, G. Badea, N. Raischi, L. Laslo, *Assessment of the best techniques for sturgeon migration monitoring*, ISB-INMA TEH Agricultural and Mechanical Engineering, ISSN 2537 - 3773, pg. 713-719, 2017;
8. A.-F. Nicolae, A.-St. Zamfir, P. L. Georgescu, M.C. Raischi, G.Tudor, F.-D.Dumitru, M. Ilie, G.Ghita, *Study regarding the dispersion of water quality indicators in the Danube River*, Annals Of "Dunarea De Jos" University of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, Year IX (XL) 2017, No. 1, Proceedings of the Fifth Scientific Conference of Doctoral Schools from "Dunărea de Jos" University of Galati (CCSD-UDJG 2017), Galati, June 8-9, 2017 Section 4 - Advanced Investigation Methods in Environment and Biohealth, pg.69-75, 2017;
9. A.-St. Zamfir, A.-F. Nicolae, P. L. Georgescu, M.C. Raischi, A.I. Dăescu, M.I. Ilie, G. Ghita, *Study regarding hydraulic modeling of sediment transportation. Case study: Danube – Epurașu branch*, Annals Of "Dunarea De Jos" University of Galati Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics Fascicle II, Year IX (XL) 2017, No. 1, Proceedings of the Fifth Scientific Conference of Doctoral Schools from "Dunărea de Jos" University of Galati (CCSD-UDJG 2017), Galati, June 8-9, 2017 Section 4 - Advanced Investigation Methods in Environment and Biohealth, pg.102-108, 2017;
10. C-tin Cîrstinoiu, Gy. Deák, B. Urișescu, G. Tudor, A.-F. Nicolae, A.-St. Zamfir, T.M. Danalache, M. Olteanu, M. C. Raischi, *Assessment of hydromorphological and hydrodynamic alterations caused by anthropogenic interventions on the riverbed. Case study Danube Bala branch new bottom*, Proceedings of the International Symposium GEOMAT – 2017, „1 Decembrie 1918” University of Alba Iulia, RevCad23/2017;

11. **A.-F. Nicolae**, P. L. Georgescu, Gy. Deák, A.-St. Zamfir, G. Tudor, C-tin Cirstinoiu, B. Uritescu, M. C. Raischi, M. Olteanu, *Development of a bathymetric model for Danube Bala Branch-Old Danube bifurcation*, Proceedings of the International Symposium GEOMAT – 2017, „1 Decembrie 1918” University of Alba Iulia, RevCad23/2017.

### **Lucrări prezentate la conferințe internaționale**

1. **A.-F. Nicolae**, M.C Raischi, F.-D. Dumitru, A.-M. Panait, P. L. Georgescu, *Numerical simulation of the Danube minor riverbed change in the Bala Branch – Old Danube bifurcation area* – Prezentare poster, 1<sup>st</sup> International Conference on Ecology and Protection of Marine and Freshwater Environments – Viterbo, Italia, octombrie 2015;
2. G. Poteraș, Gy. Deák, **A.-F. Nicolae**, M. Raischi, N.S. Raischi, *Complex system for electricity production based on the cumulative effect of different sources of renewable energy* – Prezentare, The Energy and Materials Research Conference - EMR2017, Lisabona, Portugalia, aprilie 2017;
3. **A.-F. Nicolae**, Gy. Deák, G. Tudor, C-tin Cirstinoiu, A.-St. Zamfir, B. Urițescu, L.-P. Georgescu, M. Raischi, F.-D. Dumitru, M.-A. Moncea, L. A. Laslo, *Comparative analysis on water velocity distribution in the context of riverbed morphology changes and discharge variation* – Prezentare poster, International U.A.B.-B.E.N.A. Conference Environmental Engineering and Sustainable Development Alba Iulia, Romania, mai 2017;
4. A.-M. Anghel, F. Marinescu, M. Ilie, G. Ghiță, P. Ionescu, I. Mărcuș, C. Tociu, A. Moncea, M. Mătiu, I. Boaja, L. Laslo, D. Dumitru, **A.-F. Nicolae**, *Advanced processing of environmental data for establishing the ecological status of the Lower Danube water in terms of nutrients* - Prezentare orală, International U.A.B.-B.E.N.A. Conference Environmental Engineering and Sustainable Development Alba Iulia, Romania, mai 2017;
5. G. Poteraș, **A.-F. Nicolae**, D.-F. Dumitru, A. M. Moncea, M. V. Olteanu, M. S. Matei, *Research regarding the diagnosis of alkali-aggregate reaction (AAR) in hydraulic structures through advanced investigation* – Prezentare poster, Euroinvent - European Exhibition Of Creativity And Innovation, mai 2017;
6. **A.-F. Nicolae**, A-St. Zamfir, L. Georgescu. Gy. Deak, M. Raischi, *Study regarding the riverbed morphological changes of the Danube River - Epurasu Branch* – Prezentare poster, 17<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, Albena, Bulgaria, iunie – iulie 2017;
7. C-tin Cirstinoiu, Gy. Deák, B. Uritescu, G. Tudor, **A.-F. Nicolae**, A.-St. Zamfir, T.M. Danalache, M. Olteanu, M. C. Raischi, *Assessment of hydromorphological and hydrodynamic alterations caused by anthropogenic interventions on the riverbed. Case study Danube Bala branch new bottom sill* – Prezentare poster, International Symposium GEOMAT - 2017, Iasi, Romania, noiembrie 2017;
8. **A.-F. Nicolae**, P. L. Georgescu, Gy. Deák, A.-St. Zamfir, G. Tudor, C-tin Cirstinoiu, B. Uritescu, M. C. Raischi, M. Olteanu; *Development of a bathymetric model for Danube Bala Branch-Old Danube bifurcation* – Prezentare orală; International Symposium GEOMAT - 2017, Iasi, Romania, noiembrie 2017.
9. G. Poteras, Gy. Deak, A. Daescu, **A-F Nicolae**, I. Burlacu, M. Raischi, M. Olteanu, Innovative Devices of Eco-Electricity Production from Multiple Sources of Energy – Prezentare orală și poster, ELSEDIMA International Conference, Cluj-Napoca, Romania, mai 2018.

### Lucrări prezentate la conferințe naționale

1. **A.-F. Nicolae**, P. L. Georgescu, M. Olteanu, Gy Deák, M. G. Boboc, *Comparative analysis regarding the influence of hydraulic structures on the Lower Danube riverbed, through numerical simulation* – Prezentare poster, Scientific Conference of Doctoral Schools from "Dunărea de Jos" University of Galati – Galați, România, iunie 2015;
2. **A.-F. Nicolae**, B. Urișescu, C. Cîrstinoiu, Al. Petrescu, P.-L. Georgescu, *The influence of the hydrotechnical constructions geometry on the water velocity distribution* – Prezentare poster, Scientific Conference of Doctoral Schools from "Dunărea de Jos" University of Galati – Galați, România, iunie 2016;
3. **A.-F. Nicolae**, A.-St. Zamfir, L. Georgescu, G. Tudor, D.-F. Dumitru, M. Ilie, G. Ghiță, M. Raischi, *Study regarding the dispersion of water quality indicators in the Danube River* – Prezentare poster, Scientific Conference of Doctoral Schools from "Dunărea de Jos" University of Galati – Galați, România, iunie 2017;
4. A-St. Zamfir, **A.-F. Nicolae**, L. Georgescu, M. Rasichi, A. Daescu, M. Ilie, G. Ghita, *Study regarding hydraulic modeling of sediment transportation. Case study: Danube - Epurasu Branch* – Prezentare poster, Scientific Conference of Doctoral Schools from "Dunărea de Jos" University of Galati – Galați, România, iunie 2017;
5. G. Tudor, Gy. Deák, B. Urișescu, C-tin Cîrstinoiu, **A.-F. Nicolae**, A. St. Zamfir, T. M. Dănilache, M.V. Olteanu, *Comparative analysis of hydrodynamic and hydromorphological parameters variation resulting from anthropic interventions on Lower Danube – Caleia Branch* – Prezentare poster, ISB-INMA TEH Agricultural and Mechanical Engineering, București, România, octombrie 2017;
6. **A.-F. Nicolae**, Gy. Deák, G. Tudor, A. St. Zamfir, P.L. Georgescu, C-tin Cîrstinoiu, B. Urișescu, M.C. Raischi, T.M. Dănilache, A.I. Dăescu, A. Badilita, Al. Cristea, *Preliminary analysis of sediment transport in the context of the hydrotechnical constructions influence. Case study Branch Bala – Old Danube bifurcation* – Prezentare orală, ISB-INMA TEH Agricultural and Mechanical Engineering, Bucuresti, Romania, octombrie 2017.

## Notății și abrevieri

ADCP	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>
ANPM	Agenția Națională de Protecția Mediului
CANDU	<i>Canadian Deuterium Uranium</i>
CE	Comisia Europeană
CDMN	Canalul Dunăre – Marea Neagră
CITES	Convenția privind Comerțul Internațional cu Specii Pericolită de Faună și Flora sălbatică
CNE	Centrală Nuclearoelectrică
DCA	Directiva Cadru Apă
EIM	Evaluarea impactului asupra mediului
ENR	Etaj navigabil și de regularizare
GPS	Sistem de poziționare globală (engleză: <i>Global Positioning System</i> )
GSM	Sistem Global pentru Comunicații Mobile (engleză: <i>Global System for Mobile Communications</i> ),
ICPDR	Comisia Internațională de Protecție a Fluviului Dunărea (engleză: <i>International Commission for the Protection of the Danube River</i> )
INCDPM	Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului
IUCN	Uniunea Internațională pentru Conservarea Naturii
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MDF	<i>Master Definition Flow</i>
MNS	Marea Neagră Sulina
MorFac	Factor de accelerare morfologică
RTK	<i>Real Time Kinematics</i>
RWAVE	Factorul de ajustare a rugozității valurilor
UE	Uniunea Europeană
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VBA	<i>Visual Basic</i>

## Listă figuri

<b>Număr figură</b>	<b>Denumire figură</b>	<b>Pagină</b>
1.1.	Divizarea sistemului fluvial - prelucrare după Schumm, 1977	5
1.2.	Curba lui Hjulström pentru prezicerea fenomenelor de eroziune și depunere - prelucrare după C. Keylock, 2004	7
1.3.	Modalitatea de deplasare a sedimentelor în mediul fluid - prelucrare după R. Orban, 2014	8
1.4.	Reprezentarea grafică a ecosistemului acvatic – prelucrare după Pineda A.P. și Segura D., 2014	11
2.1.	Nava Rostock eşuată în anul 1991	14
2.2.	Concentrații zilnice de aluviuni în suspensie la Călărași-Chiciu (Dunăre amonte Borcea) și Izvoarele (Dunărea Veche, amonte Bala) în anul 2000	15
2.3.	Zona de amplasare a digului de apărare cu conectivitate laterală la Dunăre	17
2.4.	Localizarea brațului Epurașu	20
2.5.	Evoluția concentrației sedimentelor în suspensie pe brațul Epurașu – scenariu cuneta închisă – Delft3D	20
3.1.	Vizualizarea transectelor	24
3.2.	Sistemul ADCP	25
3.3.	Sistemul multibatimetric	25
3.4.	Fereastra de prezentare - <i>Delft3D</i>	26
3.5.	Vizualizarea rezultatelor - <i>Delft3D-QUICKPLOT</i>	28
3.6.	Selectarea stratului <i>kmx</i> – prelucrare după <i>Deltares</i> , 2014	32
3.7.	Schemă privind condițiile la limită ale fluxului - prelucrare după <i>Deltares</i> , 2014	32
3.8.	Prelevarea probelor de apă și de sedimente	33
3.9.	Concasarea rocilor	34
3.10.	Testul de solubilizare	34
3.11.	Etapele parcuse în vederea elaborării studiului de cercetare	35
4.1.	Bazinul hidrografic al Dunării	36
4.2.	Sectorul Dunării, cuprins între Călărași și Brăila. Localizarea zonei de studiu – bifurcația braț Bala – Dunărea Veche	37
4.3.	Detaliu privind intervențiile antropice în zona de bifurcație braț Bala – Dunărea Veche – prelucrare după <i>BOKU IWHW</i> , 2015	38
4.4.	Zona de bifurcație brațul Bala – Dunărea Veche	38
4.5.	Perioada de monitorizare	39
4.6.	Relieful zonei de studiu	39
4.7.	Rezultate obținute în urma prelucrării măsurătorilor batimetrice <i>multibeam</i>	40
4.8.	Detaliu ridicări batimetrice în dreptul pragului de fund, braț Bala	40
4.9.	Reprezentarea secțiunii longitudinale de analiză	41
4.10.	Secțiune longitudinală reprezentând patul albiei înainte de începerea construcțiilor și după finalizarea construcțiilor hidrotehnice – braț Bala	41
4.11.	Secțiune geologică în depozite cuaternare între Ciocchina și S. Canalia. Secțiune geologică între Ciocchina și S. Lipnița – prelucrare după Harta geologică 1:200.000. Călărași	42

<b>Număr figura</b>	<b>Denumire figură</b>	<b>Pagină</b>
4.12.	Distribuția procentuală a debitului scurs pe brațul Bala în diferite intervale de timp	43
4.13.	Reprezentarea secțiunilor transversale de din zona de studiu	44
4.14.	Valori ale debitelor înregistrate în secțiunile transversale analizate	44
4.15.	Valori ale nivelurilor înregistrate în perioada de calcul – secțiunea transversală 1	45
4.16.	Valori ale vitezelor currentului de apă înregistrate în secțiunea transversală 1	45
4.17.	Valori ale vitezelor currentului de apă înregistrate în secțiunea transversală 2	45
4.18.	Valori ale vitezelor currentului de apă înregistrate în secțiunea transversală 3	46
4.19.	Maluri pe brațul Bala	46
4.20.	Mal Dunărea Veche	47
4.21.	Bancul de nisip Caragheorghe	47
4.22.	Evoluția morfologiei malurilor pe o perioadă de 16 ani	47
4.23.	Zonă depunerii sedimentelor pe malul stâng al brațului Bala	48
4.24.	Zonă eroziune pe malul drept al brațului Bala	48
4.25.	Localizarea punctelor de prelevare a probelor de sedimente din patul albiei	49
4.26.	Dimensiunea medie D50 a sedimentelor – Secțiunea 1, anul V de analiză	50
4.27.	Dimensiunea medie D50 a sedimentelor – Secțiunea 2, anul V de analiză	50
4.28.	Dimensiunea medie D50 a sedimentelor – Secțiunea 3, anul V de analiză	51
4.29.	Variația anuală a temperaturii în Călărași	52
4.30.	Variația anuală a temperaturii în Brăila	53
4.31.	Variația anuală a precipitațiilor în Călărași	53
4.32.	Variația anuală a precipitațiilor în Brăila	53
4.33.	Variația anuală a vitezei vântului, în Călărași	53
4.34.	Variația anuală a vitezei vântului, în Brăila	54
4.35.	Habitate în maluri pentru avifaună în zona brațului Bala	57
4.36.	Salicet cu plop negru	58
4.37.	Speciile <i>Echinochloa crus-galli</i> , <i>Portulaca oleracea</i> , <i>Polygonum lapathifolium</i> , <i>Portulaca oleracea</i> – bancul de nisip Caragheorghe	58
4.38.	Specii de păsări observate în zona de bifurcație braț Bala–Dunărea Veche	59
4.39.	Avifaună identificată în zona bancului de nisip Caragheorghe	59
4.40.	Prezenta macrofitelor în secțiunea 3 – mal drept	63
4.41.	Punctele de prelevare a probelor în vederea investigării macronevertebratelor	64
4.42.	Specii de sturioni identificate în Dunărea Inferioară	68
4.43.	Stația DKTB de monitorizare a ihtiofaunei și în special a sturionilor, prin teledetectie cu marcă ultrasonică, în diferite condiții hidrologice	68
4.44.	Stația mobilă de tipul DKMR-01T de monitorizare prin teledetectie a ihtiofaunei și în special a sturionilor în condiții hidrologice dificile	69
4.45.	Lucrări hidrotehnice potențial semnificative	71
4.46.	Sistemul Hidroenergetic și de Navigație Portile de Fier I	73
4.47.	Sistemul Hidroenergetic și de Navigație Portile de Fier II	73
4.48.	CNE Cernavodă	74
4.49.	Localizarea construcțiilor hidrotehnice	76
4.50.	Construcția structurilor hidrotehnice în vederea îmbunătățirii condițiilor de	75

Număr figura	Denumire figură	Pagină
	navigație pe Dunăre	
4.51.	Realizarea pragului de fund	75
4.52.	Anrocamente utilizate pentru construcția structurilor hidrotehnice	75
4.53.	Schematizarea cercetării	76
5.1.	Delimitarea rețelei de calcul	78
5.2.	Rețeaua de calcul	79
5.3.	Detaliu privind rețea de celule	79
5.4.	Vizualizarea proprietăților rețelei de calcul	80
5.5a.	Valori ale ortogonalității pentru rețeaua de calcul	80
5.5b.	Valori ale rezoluției pentru rețeaua de calcul	80
5.5c.	Valori ale netezimii pe direcția M pentru rețeaua de calcul	81
5.5d.	Valori ale netezimii pe direcția N pentru rețeaua de calcul	81
5.5e.	Valori ale raportului de aspect pentru rețeaua de calcul	81
5.6.	Rețeaua de calcul în zona de studiu cu date batimetrice	82
5.7.	Modelul geometric exportat din programul <i>Delft3D</i> . Detaliu - structurile hidrotehnice din zona brațului Bala	82
5.8.	Interfața modulului <i>FLOW</i> – realizarea modelului hidrodinamic	83
5.9.	Procedura de calibrare	84
5.10.	Etapa de calibrare - Comparația valorilor de debit rezultate din modelarea numerică cu valoarea debitului din măsurători, braț Bala	86
5.11.	Etapa de calibrare - Comparația valorilor de debit rezultate din modelarea numerică cu valoarea debitului din măsurători, Dunărea Veche	86
5.12.	Valori ale rugozității atribuite sectorului analizat	87
5.13.	Convergența modelului hidrodinamic A. Debit; B. Nivel	87
5.14.	Secțiunile longitudinale analizate pentru realizarea comparației vitezelor curentului de apă rezultate în urma simulării numerice cu cele obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i>	88
5.15.	Distribuția vitezelor în secțiunile longitudinale – măsurători <i>in situ</i> vs. modelare numerică	88
5.16.	Secțiunile transversale analizate pentru realizarea comparației vitezelor rezultate în urma simulării numerice cu cele obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i>	89
5.17.	Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice – Secțiunea transversală 1	89
5.18.	Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice – Secțiunea transversală 2	90
5.19.	Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice – Secțiunea transversală 3	90
5.20.	Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice – Secțiunea transversală 4	90
5.21.	Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice – Secțiunea transversală 5	91

<b>Număr figura</b>	<b>Denumire figură</b>	<b>Pagină</b>
5.22.	Grosimea stratului de sedimente disponibil pentru realizarea modelului morfohidrodinamic	95
5.23.	Relieful patului albiei rezultat în urma măsurătorilor batimetrice <i>multibeam</i> efectuate în anul VII de analiză. Detaliu zona de bifurcație	97
5.24.	Relieful patului albiei rezultat din modelul morfohidrodinamic – etapa calibrare. Detaliu zona de bifurcație	97
5.25.	Calibrarea modelului morfohidrodinamic - Secțiuni de analiză transversale (A) și longitudinale (B)	98
5.26.	Secțiunea transversală 1 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice	98
5.27.	Secțiunea transversală 2 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice	99
5.28.	Secțiunea transversală 3 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice	99
5.29.	Secțiunea transversală 4 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice	99
5.30.	Secțiunea transversală 5 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice	100
5.31.	Secțiunea longitudinală 1 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice	100
5.32.	Secțiunea longitudinală 2 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice	100
6.1.	Hidrograful debitelor utilizat în cadrul scenariilor ce au avut la bază modelul morfohidrodinamic	102
6.2.	Scenariul 1 – Relieful patului albiei în sectorul analizat. Detalii privind interacțiunea dintre relieful batimetric și curentul de apă în cazul valorilor de debit (A) $Q_{\min}=3000 \text{ m}^3/\text{s}$ , (B) $Q_{\text{med}}=7200 \text{ m}^3/\text{s}$ , (C) $Q_{\max}=11400 \text{ m}^3/\text{s}$	104
6.3.	Scenariul 1 – Distribuția valorilor mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă	105
6.4.	Scenariul 2 – Relieful patului albiei în sectorul analizat. Detalii privind interacțiunea dintre relieful batimetric și curentul de apă în cazul valorilor de debit (A) $Q_{\min}=3000 \text{ m}^3/\text{s}$ , (B) $Q_{\text{med}}=7200 \text{ m}^3/\text{s}$ , (C) $Q_{\max}=11400 \text{ m}^3/\text{s}$	106
6.5.	Scenariul 2 – Distribuția valorilor mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă	107
6.6.	Scenariul 3 – Relieful patului albiei în sectorul analizat. Detalii privind interacțiunea dintre relieful batimetric și curentul de apă în cazul valorilor de debit (A) $Q_{\min}=3000 \text{ m}^3/\text{s}$ , (B) $Q_{\text{med}}=7200 \text{ m}^3/\text{s}$ , (C) $Q_{\max}=11400 \text{ m}^3/\text{s}$	108
6.7.	Scenariul 3 – Distribuția valorilor mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă	109
7.1.	Secțiunea transversală 1 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice	110
7.2.	Secțiunea transversală 1 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință	111
7.3.	Secțiunea transversală 1 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 5 ani și situația de referință	111
7.4.	Secțiunea transversală 2 reprezentând patul albiei în perioada de referință,	111

Număr figura	Denumire figură	Pagină
	după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice	
7.5.	Secțiunea transversală 2 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință	112
7.6.	Secțiunea transversală de control 2 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 5 ani și situația de referință	112
7.7.	Secțiunea transversală 3 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice	112
7.8.	Secțiunea transversală 3 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință	113
7.9.	Secțiunea transversală 3 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 5 ani și situația de referință	113
7.10.	Secțiunea transversală 4 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice	113
7.11.	Secțiunea transversală 4 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință	114
7.12.	Secțiunea transversală de control 4 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 5 ani și situația de referință	114
7.13.	Secțiunea transversală 5 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice	114
7.14.	Secțiunea transversală 5 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință	115
7.15.	Secțiunea transversală 5 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 5 ani și situația de referință	115
7.16.	Secțiunea longitudinală 1 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice	115
7.17.	Secțiunea longitudinală 2 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice	116
7.18.	Localizarea zonelor de control	116
7.19.	Analiza comparativă a zonei 1 de control: (A) Scenariul 1 - Referință; (B) Scenariul 2 – Patul albiei după 3 ani de simulare; (C) Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani de simulare	117
7.20.	Analiza comparativă a zonei 2 de control: (A) Scenariul 1 - Referință; (B) Scenariul 2 – Patul albiei după 3 ani de simulare; (C) Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani de simulare	117
7.21.	Analiza comparativă a zonei 3 de control: (A) Scenariul 1 - Referință; (B) Scenariul 2 – Patul albiei după 3 ani de simulare; (C) Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani de simulare	118
7.22.	Analiza comparativă a zonei 4 de control: (A) Scenariul 1 - Referință; (B) Scenariul 2 – Patul albiei după 3 ani de simulare; (C) Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani de simulare	118
8.1.	Mostre de piatră	119

<b>Număr figura</b>	<b>Denumire figură</b>	<b>Pagină</b>
8.2.	Variația concentrației de cupru în apă	121
8.3.	Variația concentrației de plumb în apă	121
8.4.	Variația concentrației de nichel în apă	121
8.5.	Variația concentrației de cadmiu în sedimente	122
8.6.	Variația concentrației de cupru în sedimente	123
8.7.	Variația concentrației de plumb în sedimente	123
8.8.	Variația concentrației de zinc în sedimente	123
8.9.	Variația concentrației de nichel în sedimente	123
8.10.	Variabilitatea indicelui multimetric al fitoplanctonului față de viteza curentului de apă în zona construcțiilor hidrotehnice, braț Bala	125
8.11.	Valorile vitezelor mediate ale curentului de apă în perioada de monitorizare și cele rezultate din simulări – în zona construcțiilor hidrotehnice, braț Bala	126
8.12.	Analiza comparativă a zonei corespunzătoare pragurilor de fund: (A) Scenariul 1 – Scenariul de referință; (B) Scenariul 2 – Patul albiei după 3 ani de simulare; (C) Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani de simulare	128
8.13.	Localizarea secțiunilor transversale analizate	130
8.14.	Distribuția vitezelor mediate pe verticală ale curentului de apă, în secțiunea localizată în amonte de pragul de fund	130
8.15.	Distribuția vitezelor mediate pe verticală ale curentului de apă, în secțiunea localizată în zona pragului de fund	131
8.16.	Distribuția vitezelor mediate pe verticală ale curentului de apă, în secțiunea localizată în aval de pragul de fund	131
8.17.	Distribuția vitezelor mediate pe verticală ale curentului de apă, în secțiunea localizată în zona pragului de fund construit în anii '90	131
8.18.	Distribuția vitezelor mediate pe verticală a curentului de apă, în secțiunea localizată pe brațul Bala, în aval de structurile hidrotehnice	132
8.19.	Histograme de viteză – în amonte de pragul de fund	132
8.20.	Histograme de viteză – deasupra pragului de fund	133
8.21.	Histograme de viteză – în aval de pragul de fund	133
8.22.	Histograme de viteză – deasupra pragului de fund construit în anii '90	134
8.23.	Histograme de viteză – în aval de pragul de fund construit în anii '90	134
A2.1.	Variația indicatorului Arsen ( $As^{3+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1	156
A2.2.	Variația indicatorului Cadmio ( $Cd^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1	156
A2.3.	Variația indicatorului Crom total ( $Cr^{3+}+Cr^{5+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1	157
A2.4.	Variația indicatorului Cupru ( $Cu^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1	157
A2.5.	Variația indicatorului Plumb ( $Pb^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1	158
A2.6.	Variația indicatorului Mercur (Hg) în perioada analizată – Secțiunea 1	158
A2.7.	Variația indicatorului Zinc ( $Zn^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1	159
A2.8.	Variația indicatorului Nichel ( $Ni^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1	159
A2.9.	Variația indicatorului Arsen ( $As^{3+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2	160
A2.10.	Variația indicatorului Cadmio ( $Cd^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2	160
A2.11.	Variația indicatorului Crom total ( $Cr^{3+}+Cr^{5+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2	161
A2.12.	Variația indicatorului Cupru ( $Cu^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2	161
A2.13.	Variația indicatorului Plumb ( $Pb^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2	162
A2.14.	Variația indicatorului Mercur (Hg) în perioada analizată – Secțiunea 2	162

Număr figura	Denumire figură	Pagină
A2.15	Variația indicatorului Zinc ( $Zn^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2	163
A2.16.	Variația indicatorului Nichel ( $Ni^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2	163
A2.17.	Variația indicatorului Arsen ( $As^{3+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3	164
A2.18.	Variația indicatorului Cadmu ( $Cd^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3	164
A2.19.	Variația indicatorului Crom total ( $Cr^{3+}+Cr^{5+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3	165
A2.20.	Variația indicatorului Cupru ( $Cu^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3	165
A2.21.	Variația indicatorului Plumb ( $Pb^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3	166
A2.22.	Variația indicatorului Mercur ( $Hg$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3	166
A2.23.	Variația indicatorului Zinc ( $Zn^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3	167
A2.24.	Variația indicatorului Nichel ( $Ni^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3	167
A3.1.	Elemente constructive ale construcțiilor hidrotehnice din zona de studiu – dig de dirijare, prag de fund și apărare de măslini	168
A4.1.	Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice, în secțiunile transversale analizate – Secțiunea transversală 1	169
A4.2.	Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice, în secțiunile transversale analizate – Secțiunea transversală 2	170
A4.3.	Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice, în secțiunile transversale analizate – Secțiunea transversală 3	170
A4.4.	Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice, în secțiunile transversale analizate – Secțiunea transversală 4	171
A4.5.	Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor <i>in situ</i> și cele rezultate în urma modelării numerice, în secțiunile transversale analizate – Secțiunea transversală 5	171
A5.1.	Variația concentrației de cupru în apă – Secțiunea 1	172
A5.2.	Variația concentrației de plumb în apă – Secțiunea 1	172
A5.3.	Variația concentrației de nichel în apă – Secțiunea 1	172
A5.4.	Variația concentrației de cupru în apă – Secțiunea 3	172
A5.5.	Variația concentrației de plumb în apă – Secțiunea 3	173
A5.6.	Variația concentrației de nichel în apă – Secțiunea 3	173
A5.7.	Variația concentrației de cadmu în sedimente – Secțiunea 1	173
A5.8.	Variația concentrației de cupru în sedimente – Secțiunea 1	173
A5.9.	Variația concentrației de plumb în sedimente – Secțiunea 1	174
A5.10.	Variația concentrației de zinc în sedimente – Secțiunea 1	174
A5.11.	Variația concentrației de nichel în sedimente – Secțiunea 1	174
A5.12.	Variația concentrației de cadmu în sedimente – Secțiunea 3	174
A5.13.	Variația concentrației de cupru în sedimente – Secțiunea 3	175
A5.14.	Variația concentrației de plumb în sedimente – Secțiunea 3	175
A5.15.	Variația concentrației de zinc în sedimente – Secțiunea 3	175
A5.16.	Variația concentrației de nichel în sedimente – Secțiunea 3	175

## Lista table

<b>Număr tabel</b>	<b>Denumire tabel</b>	<b>Pagină</b>
2.1.	Factori de presiune importanți determinați de variația debitelor și efectele acestora	16
2.2.	Analiza comparativă între debitul de aluviuni târâte, măsurat și calculat, în zona de control, pentru diferite debite – Fluvial Dunărea, zona de est a Vienei	19
2.3.	Matrice comparativă privind viteza apei rezultată în urma măsurătorilor de teren și viteza obținută în urma simulării numerice în situația existenței construcțiilor hidrotehnice, fluviul Dunărea, zona bifurcație braț Bala – Dunărea Veche	21
3.1.	Relații de calcul utilizate pentru transportul de sedimente de către programul Delft3D	29
3.2.	Lista parametrilor fizico – chimici ai apei - Tehnicile analitice utilizate	33
4.1.	Caracterizarea litologică a sedimentelor prelevate din patul albiei	49
4.2.	Concentrația sedimentelor în suspensie din zona de studiu – anul V de analiză	51
4.3.	Structura calitativă a fitoplanctonului (compoziția taxonomică)	58
4.4.	Evaluarea stării ecologice pe baza valorilor indicelui multimetric (IM)	59
4.5.	Indicatori calitativi și cantitativi – fitoplancton	60
4.6.	Structura cantitativă a fitoplanctonului	61
4.7.	Rezultatele taxonomice ale analizei macronevertebratelor [ind./probă] – probe prelevate în sectorul Dunării studiat, în luna mai a anului I de analiză	63
4.8.	Abundența relativă (%) a speciilor de pește capturat pe brațul Bala	65
4.9.	Criterii abiotice pentru definirea presiunilor hidromorfologice potențial semnificative	70
5.1.	Condiții la limită utilizate în realizarea modelului hidrodinamic	83
5.2.	Date utilizate în etapa de calibrare a modelului hidrodinamic	85
5.3.	Valori ale rugozității utilizate în fișierele *.rgf	85
5.4.	Centralizarea rezultatelor obținute în vederea calibrării modelului hidrodinamic	85
5.5.	Date hidrologice utilizate în etapa de validare	93
5.6.	Centralizarea rezultatelor simulărilor numerice, obținute în etapa de validare	94
5.7.	Parametri hidrodinamici utilizați ca date de intrare pentru realizarea modelului hidromorfologic	96
6.1.	Date de intrare utilizate în simulările numerice	103
6.2.	Date utilizate la limita amonte a sectorului pentru a evalua interacțiunea dintre geometria albiei și curentul de apă	105
8.1.	Compoziția mineralologică a rocii utilizate în construcția structurilor hidrotehnice	120
8.2.	Compoziția chimică a rocilor din structurile hidrotehnice	120
8.3.	Măsurători analitice - metale grele din levigat	120
8.4.	Analiză reprezentând diferențele procentuale între valorile indicilor de calitate în etapele din timpul și după finalizarea construcțiilor, în comparație cu cele din perioada anterioară lucrărilor	125
8.5.	Clasificarea macrofitelor în funcție de adâncimea apei	126
8.6.	Numărul exemplarelor de sturioni capturați într-o perioadă de 6 ani	128

Număr tabel	Denumire tabel	Pagină
A1.1.	Indicatori ai regimului de oxigen pentru evaluarea calității apei	149
A1.2.	Indicatori ai nutrientilor pentru evaluarea calității apei	150
A1.3.	Indicatori ai salinității pentru evaluarea calității apei	152
A1.4.	Indicatori ai poluanților toxici specifici de origine naturală, regimul termic și acidificarea în vederea evaluării calității apei	154

## INTRODUCERE

Teza de doctorat, intitulată „*Impactul antropic asupra componentelor ecosistemelor acvatice specifice Dunării*”, abordează un important subiect de cercetare referitor la influența pe care o au, pe termen scurt și mediu, intervențiile antropice asupra evoluției reliefului albiei unui curs de apă și indirect asupra elementelor biotice ale ecosistemului acvatic.

Unul dintre obiectivele principale ale Directivei Cadru Apă (DCA) este de a preveni deteriorarea ecosistemelor acvatice. Conform Comisiei Internaționale de Protecție a Fluvialui Dunărea (ICPDR), modificările morfohidrodinamice reprezintă una din problemele majore care afectează ecosistemele acvatice. Astfel, este de un real interes să se cunoască tendințele de evoluție ale albiei unui curs de apă asupra căruia s-a intervenit prin lucrări hidrotehnice. Acest lucru este necesar deoarece orice modificare a reliefului subacvatic poate avea numeroase efecte asupra mediului și societății.

În consecință, pornind de la cercetările efectuate pentru elaborarea proiectului „*Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 - km 175*” dezvoltat în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului (INCDPM), a fost realizată prezenta cercetare. Aceasta are ca **obiectiv principal** elaborarea unui model numeric prin intermediul căruia să fie analizate la scară mică și medie de timp, procesele morfohidrodinamice ale albiei minore și corelarea acestor date cu elementele biotice ale ecosistemului acvatic.

Subiectul referitor la evoluția morfologică a albiilor cursurilor de apă beneficiează de o mare atenție, fiind tratat încă din secolul al XVI-lea. Totuși, datele insuficiente referitoare la relieful subacvatic al sectorului inferior al Dunării, nu au permis elaborarea unor studii detaliate.

**Originalitatea** acestei lucrări constă în abordarea punctuală, detaliată, a tendinței de evoluție morfohidrodinamică a unui sector al Dunării Inferioare, prin intermediul modelării numerice, și corelarea rezultatelor cu elementele biotice ale ecosistemului acvatic. Noutatea derivă din volumul imens de date obținute în urma campaniilor de teren, care a stat la baza configurației unui model morfohidrodinamic și, totodată, la baza investigației caracteristicilor componentelor biotice.

**Obiectivele specifice** ale tezei de doctorat „*Impactul antropic asupra componentelor ecosistemelor acvatice specifice Dunării*” sunt următoarele:

- *Evaluarea zonei de interes.* Arealul studiat, localizat în zona de bifurcație braț Bala – Dunărea Veche, prezintă o importanță deosebită din punct de vedere al proceselor hidromorfologice complexe ale albiei. Dat fiind faptul că acest sector face parte din corridorul Pan-European nr. VII, asupra acestei zone s-a intervenit prin realizarea unor lucrări hidrotehnice care să asigure condițiile optime de navigație, pe tot parcursul anului. Totodată, acest sector face parte din ariile Natura 2000 - situl ROSCI0022 Canaralele Dunării și situl ROSPA0039 Dunăre Ostroave și reprezintă un sector important în traseul de migrație al sturionilor;
- *Prelucrarea și interpretarea datelor obținute în urma campaniilor de teren* (morfologie, hidrodinamică, calitatea apei și a sedimentelor, flora și faună terestră și acvatică, intervenții antropice). În cadrul acestei cercetări au fost utilizate date obținute în urma campaniilor de teren ce au fost corelate cu fazele de construcție ale lucrărilor hidrotehnice. Alături de datele istorice, aceste informații au reprezentat datele de intrare necesare realizării modelării numerice.
- *Configurarea unui model morfohidrodinamic.* Având la bază datele obținute în urma campaniilor de teren, prin intermediului programului de modelare numerică Delft3D, a fost configurat un model morfohidrodinamic ce poate furniza date cu un înalt grad de încredere.
- *Evaluarea proceselor morfohidrodinamice pe termen scurt și mediu, prin intermediul programului de simulare numerică Delft3D.* Utilizând modelul morfohidrodinamic, au fost

realizate scenarii numerice care au permis analiza tendinței de evoluție morfologică și hidrodinamică a sectorului studiat, la intervale de 3 ani și 5 ani.

- *Interacțiunea biotic-abiotic.* Cu scopul de a evalua influența pe care intervențiile antropice o au asupra componentelor ecosistemelor acvatice ce caracterizează sectorul de Dunăre studiat, a fost necesar să se analizeze interacțiunea dintre elementele abiotice și componentelete ecosistemelor acvatice, pe baza rezultatelor obținute în urma simulărilor numerice și a celor rezultate din campaniile de teren.

**Metodologia** utilizată în elaborarea acestei lucrări s-a bazat pe o documentare riguroasă efectuată de-a lungul anilor de studii. Pentru caracterizarea și obținerea datelor de referință necesare realizării modelului numeric și realizării conexiunii cu ecosistemul acvatic, au fost utilizate ca surse de documentare: proiecte de cercetare, monografii, teze de doctorat, articole, comunicări științifice. În ceea ce privește dezvoltarea modelului numeric au fost efectuate cursuri și au fost consultate forumuri de specialitate, site-uri, bloguri, tutoriale și liste de discuții. Baza de date necesară dezvoltării modelului numeric a fost asigurată de colaborarea cu echipa de monitorizare a sectorului de interes și de informațiile și infrastructura Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului (INCDPM).

Pentru atingerea obiectivului tezei de doctorat au fost parcurse următoarele **etape**:

- Delimitarea și caracterizarea arealului de interes;
- Prelucrarea și interpretarea datelor obținute în urma campaniilor de teren (morfologie, hidrodinamică, calitatea apei și a sedimentelor, floră și faună terestră și acvatică, intervenții antropice);
- Efectuarea analizelor comparative ale datelor, ținând cont de fazele de execuție ale lucrărilor hidrotehnice;
- Elaborarea modelului numeric;
- Realizarea scenariilor pe baza simulărilor numerice pe termen scurt și mediu;
- Evaluarea rezultatelor obținute din simulările numerice;
- Corelarea parametrilor hidrodinamici și morfologici rezultați din simulările numerice cu elementele biotice ale ecosistemului acvatic.

Aceste etape au fost descrise în cele 9 capituloare în care este structurată teza de doctorat.

În capitolul 1, cu scop introductiv, au fost prezentate o serie de noțiuni teoretice generale. În acest sens, au fost redate elementele fundamentale privind evaluarea impactului asupra mediului. Fiind necesară fixarea noțiunilor teoretice privind analiza morfologiei albiilor cursurilor de apă, în cadrul acestui capitol au fost tratate atât aspectele regimului hidrologic și hidraulic al curgerii apei, cât și elementele de dinamică a albiilor. Aceste noțiuni au fost asociate cu elementele de ecosisteme acvatice.

Stadiul actual al cercetărilor a fost abordat în capitolul 2. În acest capitol au fost prezentate o serie de studii referitoare la investigațiile privind transportul de aluviuni, la analiza ecosistemelor acvatice și la analiza morfologică a cursurilor de apă prin utilizarea programelor de modelare numerică.

În capitolul 3 au fost descrise elementele fundamentale ce caracterizează o parte din tehniciile, echipamentele și programele utilizate pentru elaborarea cercetării. Infrastructura pusă la dispoziție de INCDPM, utilizată în cadrul tezei de doctorat, întrunește premisele necesare pentru a asigura obținerea și prelucrarea unor serii de date utile în evaluarea impactului antropic al componentelor ecosistemelor acvatice, prin intermediul simulărilor numerice. La aceasta se adaugă și colaborarea cu echipa de monitorizare a tronsonului studiat.

În vederea evaluării impactului antropic asupra componentelor ecosistemelor acvatice, a fost necesar să fie caracterizate condițiile de referință. În acest sens, în capitolul 4 au fost prezentate caracteristicile sectorului Dunării studiat în prezenta lucrare. În prima parte au fost descrise date generale privind fluviul Dunărea și importanța asigurării condițiilor de navigație, pe tot parcursul anului, pe tronsonul Călărași – Brăila. După localizarea zonei de studiu, și anume bifurcația braț Bala-Dunărea Veche, cercetarea a continuat cu descrierea caracteristicilor fizico-geografice. Pentru analiza factorilor fizico-geografici au fost utilizate atât date istorice preluate din literatura de specialitate, cât și date înregistrate pe parcursul perioadei de monitorizare. Acest capitol a cuprins și date referitoare la starea ecologică a corpurilor de apă, habitate, flora

terestră, avifaună, flora și fauna acvatică. Totodată, în cadrul capitolului 4 au fost prezentate intervențiile antropice pe sectorul inferior al Dunării, accentuându-se descrierea construcțiilor hidrotehnice din zona de studiu. Informațiile prezentate în acest capitol reprezintă datele de intrare necesare realizării și validării modelului numeric ce stă la baza acestei cercetări.

Etapele parcuse pentru dezvoltarea modelului numeric prin intermediul căruia să fie analizate procesele morfohidrodinamice au fost descrise în capitolul 5. În general, modelarea numerică se realizează prin substituirea obiectului real al cercetării, proiectând proprietățile principale ale fenomenului sau obiectului studiat, într-o formă simplificată. În cadrul prezentei cercetării a fost utilizat programul *Delft3D*, întrucât permite analiza și predicția dinamicii curgerii apei, atât bidimensional cât și quasi-tridimensional, în funcție de problematica studiată. *Delft3D* este un program performant utilizat în domeniul modelării tridimensionale aplicate în vederea investigării hidrodinamicii, transportului de sedimente, morfologiei și calității apei pentru cursuri de apă. Realizarea modelului numeric a presupus construcția rețelei de calcul, aferente zonei de interes, crearea modelului geometric al albiei, pe baza măsurătorilor din teren, stabilirea parametrilor necesari rulării modelului, în funcție de obiectivele cercetării, calibrarea și validarea hidrodinamică a modelului și configurarea modelului morfohidrodinamic prin atribuirea caracteristicilor de transport de sedimente.

În vederea analizei pe termen scurt și mediu a modificărilor morfologice ale patului albiei și ale variațiilor vitezei curentului de apă, pe baza modelului numeric calibrat și validat, utilizând programul *Delft3D*, au fost realizate o serie de scenarii. În capitolul 6 au fost descrise rezultatele obținute în urma simulărilor numerice a proceselor morfohidrodinamice pentru 3 ani și 5 ani, acestea fiind raportate la situația de referință, și anume, modelul morfohidrodinamic calibrat.

În capitolul 7 au fost evaluate modificările reliefului patului albiei rezultate în urma simulărilor numerice efectuate pe termen scurt și mediu. Acest lucru a fost realizat prin analiza geometriei albiei rezultate din simulările numerice, în zone și secțiuni transversale/longitudinale.

Rezultatele obținute în urma evaluării modificărilor morfologice ale patului albiei reprezintă baza pentru analiza influenței pe care procesele morfohidrodinamice le pot avea, în timp, asupra componentelor ecosistemului acvatic. În acest sens, capitolul 8 a început cu analiza, în laborator, a interacțiunii dintre apă și anrocamentele utilizate în construcțiile hidrotehnice, dat fiind gradul de solubilizare ai unor compuși chimici care intră în alcătuirea rocilor. Totodată, a fost investigată și modificarea concentrației metalelor grele din sedimente, ca urmare a prezenței rocilor în zona de interes. Referitor la corelarea componentelor biotice cu rezultatele obținute din simulările morfohidrodinamice, în cadrul acestui capitol au fost prezentate date privind fitoplanctonul, macrofitele și macronevertebratele. De asemenea, pe baza datelor existente în literatura de specialitate și a rezultatelor obținute în urma monitorizării, au fost analizați parametrii morfohidrodinamici în funcție de comportamentul migrațional al sturionilor.

În concluzii au fost prezentate elementele de necesitate pentru elaborarea tezei de doctorat, tendințele de evoluție morfologică a patului albiei prin utilizarea modelării numerice, rezultatele impactului adus de modificările morfohidrodinamice asupra ecosistemului acvatic și elementele originale și contribuțiile autorului. Totodată, în cadrul concluziilor au fost descrise argumentele privind utilizarea rezultatelor în cadrul strategiilor investiționale și perspectivele dezvoltării subiectului.

## Capitolul 1. NOȚIUNI TEORETICE INTRODUCTIVE

Având în vedere tema prezentei lucrări, și anume influența pe care modificările reliefului patului albiei, cauzate de intervențiile antropice, le pot avea asupra componentelor ecosistemelor acvatice, au fost prezentate o serie de noțiuni teoretice generale. Acestea au scop introductiv și reprezintă elementele fundamentale de la care s-au pornit studiile de cercetare în teza de doctorat *"Impactul antropic asupra componentelor ecosistemelor acvatice specifice Dunării"*

### 1.1. Noțiuni legate de evaluarea impactului asupra mediului

La nivel național, procesul de evaluare a impactului asupra mediului (EIM) este legat de reglementarea activităților cu impact semnificativ asupra mediului, acesta realizându-se în baza legislației naționale de mediu care transpune prevederile legislației comunitare în domeniul [1].

Conform „*Hotărârii nr. 445 din 8 aprilie 2009 privind evaluarea impactului anumitor proiecte publice și private asupra mediului*”, EIM identifică, descrie și evaluatează, în mod corespunzător și pentru fiecare caz, în conformitate cu prevederile legale, efectele directe și indirekte ale unui proiect asupra populației, faunei, florei, solului, apei, aerului, factorilor climatici, bunurilor materiale, inclusiv patrimoniul arhitectural și arheologic, peisajului și interconexiunilor dintre toți acești factori [2].

Procesul de EIM se realizează ținând cont de prevederile existente, actele legislative naționale din domeniul mediului, precum și din alte domenii conexe.

În conformitate cu „*Hotărârea nr. 445 din 8 aprilie 2009 privind evaluarea impactului anumitor proiecte publice și private asupra mediului*”, EIM trebuie să includă [2]:

- descrierea atât a caracteristicilor fizice ale întregului proiect și a cerințelor de amenajare și utilizare a terenului în timpul fazelor de construcție și funcționare, cât și a naturii și a cantității materialelor utilizate;
- estimarea tipului și a cantității deșeurilor și a emisiilor rezultate din funcționarea proiectului propus;
- indicarea principalelor argumente pentru alegerea proiectului și descrierea principalelor alternative la proiect;
- descrierea aspectelor de mediu posibil a fi afectate în mod semnificativ de proiectul propus și prezentarea efectelor directe și indirekte, secundare, cumulative, pe termen scurt, mediu și lung, permanente și temporare, pozitive și negative ale proiectului asupra mediului;
- expunerea măsurilor preconizate pentru prevenirea, reducerea și, unde este posibil, compensarea oricăror efecte semnificative adverse asupra mediului.

Pentru a asigura obiectivitatea etapei de încadrare, transparenta asupra deciziei luate și controlul procesului de evaluare a impactului asupra mediului, în România, Ministerul Mediului publică proiectele de EIM, de interes național [3]. În acest sens, pe pagina web a instituției sunt prezentate proiecte precum „*Proiect minier Roșia Montană*”, „*Exploatarea minereurilor auro – argentifere din perimetru Certej*”, comuna Certeju de Sus, județul Hunedoara, „*Construcția unei unități noi B3 la Centrala termoelectrică Kostolac B*”, „*Centralele nucleare de la Zaporizhzhya și South-Ukrainian*”, „*Modernizarea ecluzei de la Porțile de Fier I, Hidrocentrala Djerdap I*”, Republica Serbia [3].

## 1.2. Noțiuni despre regimul hidrologic și hidraulic al curgerii apei

În vederea analizei morfologiei albiilor cursurilor de apă, este necesară fixarea noțiunilor teoretice privind acest subiect. Astfel, trebuie tratate aspectele regimului hidrologic și hidraulic al curgerii apei.

### 1.2.1. Noțiuni despre regimul hidrologic al curgerii apei

În ceea ce privește definirea regimului hidrologic al curgerii lichide și solide pe râuri este necesar să se analizeze totalitatea elementelor ce caracterizează [4]:

- variația debitelor fazelor lichide și a nivelurilor corespunzătoare;
- variația debitelor fazelor solide;
- variația în mărime, timp și spațiu a parametrilor hidraulici (vitezele de curgere, pantele suprafeței libere, razele hidraulice), a parametrilor geometrici (secțiunile și perimetrele udate, adâncimile de curgere) sau de altă natură cum ar fi calitățile materialelor solide din contururile udate;
- variația morfologică în timp și spațiu a albiilor de curgere.

Totodată, acțiunea factorilor climatici, fizico-geografici și antropici determină regimul hidrologic al curgerii lichide și solide pe râuri. În funcție de intervențiile ce au loc asupra bazinului sau a rețelei hidrografice, regimul hidrologic al unui curs de apă poate fi natural, amenajat - neamenajat sau fictiv/de calcul.

### 1.2.2. Noțiuni despre regimul hidraulic al curgerii apei

Mediul natural acvatic are proprietățile unui fluid caracterizat printr-o, mare mobilitate. Mișcarea fluidelor în mediul natural este determinată direct, de forțele care acționează asupra lor, în special de forța gravitațională. Viteza de deplasare a unui curent de apă este determinată de corelația care se stabilește între forța gravitațională (paralelă cu linia pantei) și forțele de rezistență care se nasc prin frecarea apei cu alt curent, cu peretii canalului de scurgere sau cu patul suprafeței peste care el se deplasează. Cu cât forța de rezistență ce apare la contactul curentului cu substratul său este mai mică decât forța gravitațională, cu atât viteza curentului este mai mare. În funcție de viteza de deplasare a curentului și caracterul mișcării apelor curgerea poate fi laminară sau turbulentă [5].

**Curgerea laminară** se caracterizează prin mișcarea liniară, pe trasee paralele, a particulelor de lichid în interiorul curentului și este specifică volumelor de apă care se deplasează cu viteze foarte mici ( $\text{mm/s}$ ) pe un substrat neted. În natură, curgerea laminară este rară și caracterizează zone foarte înguste - se poate întâlni la curgerea apelor subterane ce se deplasează cu viteze mici peste un substrat argilos sau în patul albiilor, la vărsarea fluviilor în mare [5].

La creșterea debitului curentului de apă și prin depășirea vitezei critice, curgerea laminară se transformă în **curgere turbulentă**. În acest caz, vectorul vitezei are o direcție variabilă în fiecare punct al curentului, dar tinde sub unghiuri diferite spre direcția sa principală; temporar și local, mase de apă mai mari sau mai mici se mișcă independent de direcția generală a curentului. Aceste modificări de direcție și viteză dau naștere la vârtejuri, ce apar frecvent în jurul obstacolelor sau deasupra substratelor neregulate.

Modificările de viteză care marchează trecerea de la curgerea laminară la cea turbulentă pot fi ușor apreciate prin coeficienți, cum ar fi *numărul lui Reynolds (Re)* (1.1) și *numărul lui Froude (Fr)* (1.2) [5].

Reynolds a stabilit că regimurile hidrodinamice sunt delimitate de următoarele valori ale lui Re, astfel, pentru  $\text{Re} \leq 2300$ , regimul este laminar, pentru  $2300 < \text{Re} < 10.000$ , regimul este intermedian, iar pentru  $\text{Re} \geq 10.000$ , regimul este turbulent [4].

$$Re = V \frac{R}{\theta} \quad (1.1)$$

În care,

- V – viteza medie a apei [m/s];
- R – raza hidraulică [m];
- $\theta$  - vâscozitatea cinematică a fluidului [ $m^2/s$ ].

Când *numărul lui Froude* este subunitar, curgerea este laminară, iar când devine supraunitar, curgerea este turbulentă [4].

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (1.2)$$

În care,

- V – viteza apei [m/s];
- g – accelerarea gravitațională [ $m/s^2$ ];
- h – adâncimea apei [m].

În funcție de variația în timp și spațiu a parametrilor specifici curgerii unidimensionale apei, și anume: debitul Q, viteza medie V și adâncimea h, regimul hidraulic al curgerii fazei lichide în albiile cu nivel liber ale râurilor poate avea un caracter uniform sau neuniform, permanent sau nepermanent.

**Mișcarea uniformă** este caracterizată prin constanta parametrilor debit, viteza și adâncime ai apei, în toate punctele corespunzătoare curentului de apă (1.3). În acest caz, suprafața liberă a apei este paralelă cu patul albiei și cu linia energetică.

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \quad \frac{dV}{dx} = 0 \quad \frac{dh}{dx} = 0 \quad (1.3)$$

**Mișcarea permanentă** este caracterizată prin constanta în timp a parametrilor debit, viteza și adâncime ai apei, considerați într-un anumit punct al curgerii (1.4). Aceștia pot varia în spațiu.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (1.4)$$

În cazul relației (1.5), mișcarea permanentă este gradual variată, caracterizându-se astfel, tipul de mișcare a fazei lichide specific albiilor râurilor.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (Q = \text{constant}) \quad \frac{\partial V}{\partial x} \neq 0 \quad \frac{\partial h}{\partial x} \neq 0 \quad (1.5)$$

Prin aplicarea ecuației lui Bernoulli, rezultă ecuația mișcării permanente, gradual variate (1.6).

$$\frac{dZ}{dx} + \frac{V dV}{g dx} + i_f = 0 \quad (1.6)$$

În care,

- Z - cota suprafeței libere a apei [m]
- x – axa în lungul curgerii;
- g – accelerarea gravitațională [ $m/s^2$ ];
- V – viteza medie a curentului [m/s];
- $i_f \approx dh_{long}/dx$  - panta hidraulică definită ca pierdere de sarcină distribuită pe unitatea de lungime în sensul lui Ox

Ecuatia lui Bernoulli se poate aplica numai unui fluid ideal cu vâscozitatea zero. Într-un curent, energia potențială inițială este convertită în energie cinetică, care este disipată în procesul de învingere a rezistenței de frecare reprezentată de vâscozitatea apei, energia disponibilă diminuându-se în direcția de curgere.

**Mișcarea nepermanentă** este caracterizată prin variația parametrilor debit, viteza și adâncime, atât în timp, cât și în spațiu (1.7). Acest tip de mișcare este caracteristic albiilor râurilor.

$$\begin{array}{lll} \partial Q / \partial t \neq 0 & \partial V / \partial t \neq 0 & \partial h / \partial t \neq 0 \\ \partial Q / \partial x \neq 0 & \partial V / \partial x \neq 0 & \partial h / \partial x \neq 0 \end{array} \quad (1.7)$$

Ecuatia mișcării nepermanente, gradual variante, rezultă tot prin aplicarea legii lui Bernoulli (1.9). Această ecuație cuprinde termeni referitori la variația longitudinală a suprafetei libere a apei ( $\frac{\partial Z}{\partial x}$ ), la inerție ( $\frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x}$ ), la cinetică ( $\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$ ) și rezistivitate ( $i_f$ ).

$$\frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + i_f = 0 \quad (1.8)$$

Ecuatia dinamică de mișcare (1.8) se asociază cu ecuația de continuitate a fazei lichide, scrisă în condițiile nepermanentei în timp și spațiu (1.9).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \quad (1.9)$$

În care,

$\omega$  - aria secțiunii transversale udate, rezultând astfel clasicul sistem de ecuații cunoscut sub numele de „sistemul Saint-Venant”, stabilit încă din anul 1871.

### 1.3. Elemente de dinamică a albiilor

**Dinamica albiilor** este definită ca fiind acea parte a hidraulicii curgerilor cu nivel liber, dezvoltate în albiile cursurilor de apă, care se ocupă cu studiul teoretic, experimental și de calcul al modificărilor morfologice generale și locale pe care le suferă albiile în sens transversal, longitudinal și pe înălțime, sub acțiunea perturbatoare a unui complex de factori naturali/artificiali [4].

#### 1.3.1. Sistemul fluvial

Începând cu a doua jumătate a secolului XX s-a utilizat la scară largă noțiunea de sistem fluvial, ce este definit ca fiind un „sistem complex de tip proces – răspuns, cu două componente fizice majore: sistemul morfologic (albi, lunci, versanți, delte etc.) și sistemul cascadă al surgerii lichide și solide, a cărui limite corespund cu cele ale bazinului hidrografic [6].

În lucrarea „Reconstituirea evoluției geomorfologice a văii Someșul Mic în Holocen”, I. Feier [6] descrie divizia acestuia, după Schumm, 1977, în trei zone (figura 1.1) și anume:

- a) zona de producție: bazinul de recepție și zona sursă a sedimentelor;
- b) zona de transfer, unde pentru o albie stabilă, cantitatea de sedimente depusă este egală cu cea transportată;
- c) zona de depunere: presupune predominarea sedimentării (deltă, con de dejecție).

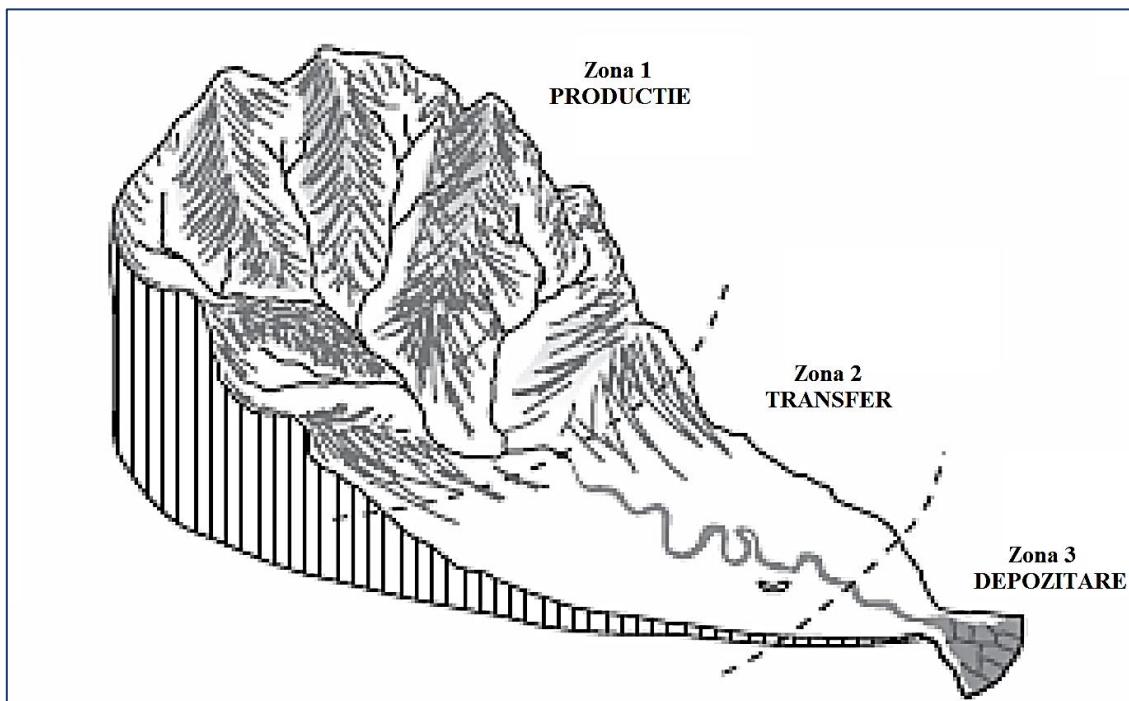


Figura 1.1. Divizarea sistemului fluvial - prelucrare după Schumm, 1977 [6]

Sistemul fluvial este alcătuit din cursul de apă și luncă, componente între care există permanente schimburi materiale și energetice, diferențiate din punct de vedere timp-spațiu [6].

*Cursul de apă* - sistem complex a căruia morfologie depinde de procesele de eroziune, transport și depunere a sedimentelor putând fi caracterizat din două perspective: morfologia sa la un moment dat și dinamica în timp. I. Feier [6] analizează noțiunile existente în literatura de specialitate cu referire la morfologia cursurilor de apă, susținând faptul că în funcție de pantă și regimul de scurgere, albiile pot fi clasificate în sinuoasă, meandrată și împletită.

Totodată, în funcție de tipul de transport, este specificat faptul că în 1963, Schumm clasifica albiile aluviale astfel: cu transport în suspensie, mixt și tărât [7], iar în 1994, pe baza naturii materialului din patul albiei și maluri, a gradului de incizie, a pantei, a raportului lățime/adâncime și a sinuozității, Rosgen identifică 41 de tipuri de albie cu pat de rocă, pe care le grupează în 7 categorii [8].

Pentru bazinile hidrografice din zonele montane, în 1997, Montgomery & Buffington clasifică albiile, în profil longitudinal, astfel: coluvială (organizare incipientă a surgerii), săpată în rocă și aluvială [9].

Pentru tipul de albie aluvială sunt enumerate cinci subtipuri: albie cu scurgere în cascadă, albie cu scurgere de tip prag – adânc, albie cu pat de pietriș, albie cu scurgere de tip vad – adânc și albie în echilibru. În anul 2005, luând în considerare tendințele de evoluție, Schumm reia problema clasificării albiilor, indicând două tipuri: albi în echilibru dinamic (engleză: in *regim/graded*) și albiile non-regim sau în dezechilibru (engleză: *non regim channel*) [10].

Tendința de evoluție a albiilor statice sau în echilibru dinamic este caracterizată din punct de vedere al menținerii unei morfologii standard, iar în cazul albiilor în dezechilibru tendința de evoluție nu este în acord cu legile geometriei hidraulice, depinzând de materialul patului albiei. În funcție de gradul de participare a rocii din patul albiei, sunt identificate două subtipuri: albi complet controlate de rocă și albi semicontrolate de rocă, iar în funcție de procesul deviant predominant există patru tipuri de albi: cu tendință de degradare (incizie), agradare, avulsie sau transformare (exemplu: trecere de la curs împletit la curs meandrăt).

### 1.3.2. Regimul rezistenței hidraulice al albiilor deformabile

Regimul rezistiv al albiilor deformabile morfologic reprezintă totalitatea rezistențelor hidraulice pe care trebuie să le învingă curentul apei în curgerea sa în cadrul albiilor cursurilor de apă.

Pentru determinarea regimului rezistiv al unei albiei de curgere cu nivel liber, este necesar să se stabilească coeficientul pierderilor de sarcină  $\lambda$  din ecuația generală propusă de A. Darcy în 1865 (1.10). Această ecuație este aplicată indiferent dacă patul albiei este fix sau mobil, neted sau rugos, iar curgerea este laminară sau turbulentă.

$$J = \frac{\lambda}{4R} \frac{V^2}{2g} \quad (1.10)$$

În care,

J - panta hidraulică;  
 $\lambda$  - coeficientul pierderilor de sarcină  
R – raza hidraulică [m];  
g – acceleratia gravitațională [m/s<sup>2</sup>];  
V – viteza medie a curentului de apă [m/s].

*Coefficientul pierderilor de sarcină  $\lambda$  depinde de numărul lui Reynolds* caracteristic curgerii și de rugozitatea secțiunii de curgere.

În cazul albiei unui curs de apă ce are contururile fixe, pentru determinarea *coefficientului pierderilor de sarcină  $\lambda$*  se pot aplica o serie de ecuații, în schimb, pentru albiile deformabile morfologic, datorită apariției suplimentare a unor factori capabili să modifice radical rezistența hidraulică a acestor albии, stabilirea coeficientului pierderilor de sarcină este mai complicată. Cei mai importanți factori ce influențează aceste calcule sunt reprezentări de forma, mărimea și irregularitățile albiilor de curgere; de caracteristicile fizice ale materialului solid din perimetru udat; de regimul de transport al fazei solide; de regimul de dezvoltare pe suprafața patului deformabil a diverselor tipuri de formațiuni aluvionare, precum și de existența în albii a diferitelor tipuri de structuri hidrotehnice sau de altă natură etc. [4].

În situația unei albии deformabile care are tipuri de formațiuni aluvionare dezvoltate pe suprafața patului, rezistența hidraulică generală se poate considera ca fiind constituită datorită frecărilor de suprafață rugoasă a patului (determinată de dimensiunile materialului solid) sau datorită ondulațiilor suprafeței patului (rezultate ca efect al dezvoltării formațiunilor aluvionare) [4].

Pentru evaluarea rezistenței hidraulice generale a albiilor deformabile, pot fi adoptate unele ecuații cu structura Chezy – Manning sau Chezy – Manning – Strickler și modificarea exponentilor razei, pantei hidraulice și a constantei numerice de multiplicare care include aportul coeficientului de rugozitate. Aceste modificări reflectă întocmai efectele suplimentare ale neregularităților albiei, dezvoltării formațiunilor aluvionare ale patului, transportului solid etc. Relațiile de rezistență hidraulică a albiilor deformabile bazate pe aceste ecuații pot fi exprimate în funcție de viteza dinamică de frecare sau de coeficientul general al pierderilor de sarcină [4].

### 1.3.3. Regimul curgerii fazei solide pe cursuri de apă

Transportul fazei solide dezvoltat în albiile cursurilor de apă are o mare importanță atât pentru hidraulică cât și pentru dinamica albiilor. Aspectele legate de inițierea antrenării, dezvoltarea și stingerea transportului solid sunt în strânsă dependență cu curgerea fazei lichide, constituind împreună cu aceasta un complex de curgere bifazică [4].

Mecanismul fizic al transportului fazei solide în albiile râurilor reprezintă în principal rezultatul interacțiunii dintre forțele de antrenare hidrodinamică care solicită particulele solide și forțele de rezistență care se opun acestei antrenări, depinzând și de proprietățile fizice a celor două faze lichidă și solidă.

Totodată, trebuie să se ia în considerare și efectele forțelor fizico-chimice (neglijabile în cazul aluviunilor necoezive, dar importante în cazul aluviunilor coeziv – argiloase), regimul

hidrologic (precipitațiile, variația în timp și spațiu a debitelor și nivelurilor, regimul termic și regimul infiltrațiilor), dar și efectele factorului antropic.

Inițierea mișcării sedimentelor din patul și malurile albiilor de curgere, sub acțiunea hidrodinamică a apei, constă în analiza relației (1.11) ce definește fenomenul fizic în modul cel mai general.

$$\phi(\tau_0, V, R, d, \gamma_s, \gamma, \theta) \quad (1.11)$$

În care ,

$\tau_0$  - efortul tangențial de antrenare [ $N/m^2$ ];

$V$  – viteza curentului [m/s],

$R$  – raza hidraulică [m],

$d$  – diametrul particulei [m]

$\gamma_s, \gamma$  – greutățile specifice ale celor două faze [ $N/m^3$ ].

Viteza critică (de fund sau medie) definește momentul declanșării mișcării particulelor. Aceasta rezultă din acțiunea forței hidrodinamice de antrenare, a forței de portanță și a greutății submersate. Legătura funcțională dintre efortul tangențial și viteza de fund a curentului este  $\tau_0 \sim V_f^2$ .

În lucrarea „Reviewing the Hjulström curve”, 2004, C. Keylock [11] analizează fenomenele de eroziune, depunere și transport în funcție de viteza curentului de apă, natura și dimensiunea particulelor (figura 1.2). În 1935 F. Hjulström a stabilit pe cale empirică, curba dragării critice, separând regiunile curgerii, unde apar eroziunea, transportul și sedimentarea [12]. Conform acestuia, cel mai ușor material deplasabil are un diametru de 0,25 mm și este pus în mișcare de apa care curge cu o viteza de 0,2 m/s [12]. C. Keylock contrazice teoria lui Hjulström, precizând faptul că pentru punerea în mișcare a sedimentelor nu este nevoie de viteza curentului de apă ci de forța de forfecare a patului albei [ $N/m^2$ ] (engl.: bed shear stress) [11].

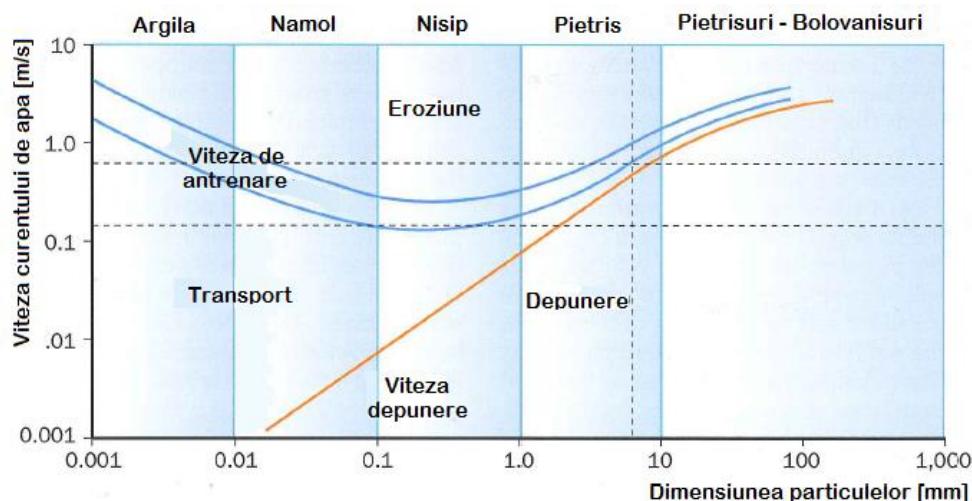


Figura 1.2. Curba lui Hjulström pentru precizarea fenomenelor de eroziune și depunere - prelucrare după C. Keylock, 2004 [11]

Pe lângă analiza vitezei critice și a efortului tangențial, pentru o definire cât mai precisă a stării critice de antrenare a sedimentelor, este necesară și determinarea forței ascensionale rezultată din diferențele de presiune între diferitele puncte ale sedimentelor, în plan orizontal și vertical.

După ce au fost depășite condițiile critice de antrenare, sedimentele trec de la starea inițială de echilibru la starea de mișcare individuală și generală, în funcție de intensificarea forțelor de antrenare hidrodinamică [13].

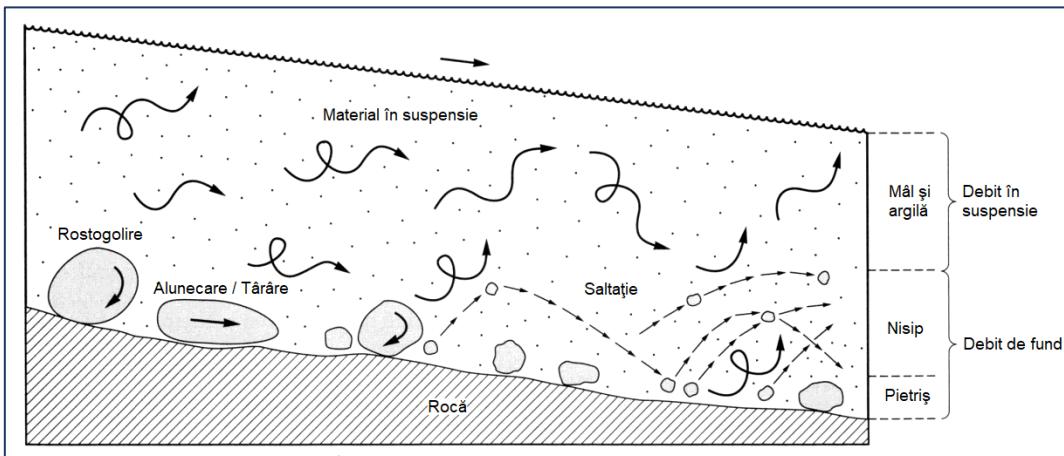


Figura 1.3. Modalitatea de deplasare a sedimentelor în mediul fluid - prelucrare după R. Orban, 2014 [13]

În primă fază, în imediata vecinătate a patului albiei, transportul fazei solide se manifestă prin mișcarea sedimentelor prin tărare, alunecare, rostogolire sau saltăje, acest tip de transport numindu-se transportul solid de fund (figura 1.3).

Lungimea și amplitudinea salturilor efectuate de sedimente crește progresiv (odată cu reducerea duratei de repaus), în funcție de creșterea valorică a forțelor de antrenare în raport cu forțele rezistive, dar și a creșterii intensității turbulentei currentului apei [4].

În situația în care faza solidă difuzează din ce în ce mai mult în masa fazei lichide, sub formă suspendațională, ajungând să se generalizeze pe întreaga adâncime de curgere, datorită pulsărilor verticale ale vitezei, mișcarea fazei solide este denumită transportul solid în suspensie [4] (figura 1.3).

**Transportul de fund** este cel mai important în ceea ce privește analiza eroziunii albiilor cursurilor de apă, fiind realizat prin tărare (tractiune), rostogolire și saltare (saltăje). Sedimentele aflate în procesul de transport sunt modelate, calibrul lor diminuându-se spre aval [14].

Pentru analiza cantitativă a transportului solid de fund sunt utilizate o serie de teorii printre care teoria antrenării a lui P. Du Boys (1979) [12] (1.12):

$$p = \Psi \times (\tau - \tau_{cr}) \times \tau \quad (1.12)$$

În care,

$p$  – debitul specific de aluviuni (pe unitatea de lățime a albiei) [kgf/s]

$\tau$  – efortul unitar de antrenare [ $N/m^2$ ]

$\tau_{cr}$  – efortul critic de antrenare [ $N/m^2$ ]

$\Psi$  – coeficient ale cărui valori depind de diametrul aluviunilor și pentru care s-au propus diferite valori din partea diversilor cercetători.

Conform acestei ecuații mișcarea sedimentelor din patul albiei are loc în straturi paralele, între care există forțe de frecare proporționale cu greutatea submersată a straturilor superioare, iar rezistența la frecare dintre particule este proporțională cu efortul tangențial – fază lichidă – solidă. Din această categorie de ecuații se menționează ecuațiile propuse de E. Hansen [1966-1967] (1.13).

$$q_{sf} = c J^k (q - q_{cr}) \quad (1.13)$$

În care,

$c$  – constantă numerică;

$k$  – exponent supraunitar (1,20 – 1,60)

Relații ce au avut ca subiect mișcarea sedimentelor din patul albiei au fost propuse și de: E. Meyer Peter, H. Favre și H. A. Einstein în anul 1934 (ecuația E.T.H.), E. Meyer Peter și R. Muller în 1948 [4].

**Transportul solid în suspensie** se poate exprima cantitativ pe baza teoriei difuziei fazei solide în apă, precum și pe baza teoriei turbulentei curenților cu nivel liber. Debitul solid în stare suspensională specific pe unitatea de lățime a albiei de curgere se exprimă prin relația (1.14).

$$q_{ss} = \int_{y_0}^h CV dy \quad (1.14)$$

În care,

C – concentrația fazei solide într-un punct oarecare de la adâncimea  $y$  față de patul albiei [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];

V – viteza curentului fazei lichide în același punct [ $\text{m}/\text{s}$ ];

h – adâncimea totală a curentului [m];

$y_0$  – limita inferioară de integrare, reprezentând adâncimea care delimită transportul fazei solide de fund și în suspensie [m].

Trecerea în suspensie a particulelor se realizează atunci când componenta verticală a mișcării este mai mare decât viteza de depunere a particulelor, fapt ce conduce la apariția sarcinii (debitului) în suspensie [5].

Factorul principal în acest proces este reprezentat de forța ascensională provocată de curenții turbionari ascendenți. Cantitatea de suspensie care definește gradul de turbulentă a curentului depinde de densitatea, volumul și forma particulelor, densitatea și vâscozitatea lichidului și neregularitățile patului albiei. Dimensiunea maximă a particulelor care pot fi menținute în suspensie este, de obicei, mai mică de 0,1 mm, fiind dependentă de energia de turbulentă mediului de transport [5].

Repartiția sedimentelor în suspensie, în secțiunea unui curent nu este uniformă, densitatea lor crescând de la suprafață spre patul albiei și de la margini spre centru [5].

**Transportul solid total** rezultă din însumarea transportului solid de fund cu cel în suspensie, fiind un element determinant în evoluția morfologică a albiilor râurilor.

#### 1.3.4. Starea evolutivă a albiilor

În funcție de impactul pe care îl au asupra albiei cursului de apă, modificările morfologice sau procesele de albie pot fi microforme, mezoforme, și macroforme [4] [6].

Modificările microforme au proporții reduse și implică formațiunile aluvionare ale patului în starea lor inițială de dezvoltare și evoluție, având impact numai asupra zonei din apropierea patului albiei. Când ating proporții semnificative, modificările mezoforme afectează întreaga secțiune transversală, implicând formațiunile aluvionare ale patului care au dimensiuni mici. În cazul proceselor complexe și complicate, modificările macroforme afectează patul și malurile albiei cursului de apă atât pe plan transversal, cât și longitudinal [4] [6].

Atunci când deformațiile au un caracter alternant și local care se compensează în timp, modificările morfologice sunt de tipul temporal (reversibil). În schimb, în contextul în care deformațiile se manifestă constant în același sens și de regulă generalizat pe anumite sectoare întregi de albie, modificările morfologice sunt de tipul permanent (ireversibil) [4] [6].

Starea evolutivă în timp și spațiu a albiei este determinată de modificările morfologice corelate cu regimul hidrologic și hidraulic al curgerii fazei lichide și solide. Astfel, albia se formează și își stabilește forma și dimensiunea sub acțiunea hidrodinamică a curentului apei și a transportului de sedimente. Fenomenul fizic de interacțiune curent – albie se desfășoară până la atingerea *echilibrului morfologic*, corespunzător principiului disipației minime a energiei curentului [4].

Regimul curgerii debitelor lichide, al transportului aluvionar, al curgerii debitelor lichide și solide în zonele de bifurcații și confluence și al curgerii debitelor lichide și solide din zona gurilor de vărsare și a deltelor precum și factorii perturbatori de natură antropică (lucrări hidrotehnice) reprezintă factorii prin a căror acțiune sunt declanșate, dezvoltate și stinse procesele de albi.

În prezent, evoluția sistemului fluvial și a modalității de reacție în timp a acestuia este analizată după două teorii divergente: uniformitarism vs. neocatastrofism. Potrivit *teoriei uniformitaristă (gradualism)*, modificările la scară mică de timp evidențiază tendința permanentă a cursului de apă de a menține o stare de echilibru dinamic între procese și forme, în schimb, la scară mare de timp, în condiții de mediu specifice, există o tendință de producere a unui set de forme caracteristice [15]. În *teoria neocatastrofismă* este accentuat rolul evenimentelor violente în modificarea din punct de vedere morfologic a peisajului fluvial. Punctul de pornire în neocatastrofism este reprezentat de faptul că este imposibil ca, pe termen lung, factorii de control să fie menținuți constanti, astfel încât modificările din sistemul fluvial să fie de mică amploare, conform uniformitarismului. Prin această teorie este evidențiată capacitatea de modificare permanentă a sistemului fluvial, ca urmare a reacției la factorii perturbatori externi sau la atingerea unui prag intern [6].

### 1.3.5. Stabilitatea și instabilitatea morfologică a albiilor

Regimul de stabilitate a albiilor râurilor poate fi static, dinamic sau morfologic. Regimul de stabilitate este static atunci când patul și malurile nu sunt afectate prin perturbare sau antrenare de materialul solid constituent. Din această categorie fac parte albiile canalizate antropic, albiile râurilor din zonele muntoase având patul constituit din bolovani, fragmente de rocă sau alte materiale necoezive neantrenabile hidrodinamic, precum și alte albi dezvoltate în materiale coeziive, care oferă o mare rezistență eroziunile [4] [16].

În situația în care curgerea fazei lichide și solide nu determină importante modificări morfologice ale albiei (sesizabile pe durata unui ciclu hidrologic complet), regimul de stabilitate este dinamic. Aceste albi trebuie să prezinte o singură secțiune de curgere, fără bifurcații, confluence sau macroformațiuni aluvionare în lungul curgerii.

Regimul de stabilitate este morfologic, atunci când elementele geometriei transversale și longitudinale ale albiei depind direct de regimul curgerii lichide și solide precum și de proprietățile fizice ale fazei lichide și fazei solide [4].

Din punct de vedere al spațiului în care se dezvoltă, stabilitatea albiilor poate avea caracter general, atunci când se dezvoltă pe sectoare longitudinale mari sau caracter local, atunci când se dezvoltă numai în sensul transversal al secțiunii de curgere.

Regimul de instabilitate al albiilor cursurilor de apă se caracterizează prin:

- Modificări în plan vertical ale patului albiei cursului de apă datorate degradării sau agravării aluvionare;
- Dezvoltarea, în sens transversal, a eroziunilor și depunerilor aluvionare;
- Modificarea configurației în plan a traseului de curgere – formarea de noi brațe și închiderea celor vechi, străpungerea coturilor și tăierea meandrelor, accentuarea gradului de sinuositate a albiei, dezvoltarea unor macroformațiuni aluvionare.

## 1.4. Noțiuni privind ecosistemele acvatice

Apa este un vector esențial pentru existența și evoluția materiei vii sub toate formele sale, având o contribuție importantă în dezvoltarea societății. Rolul apei și necesitatea acesteia sunt primordiale atât vieții oamenilor, plantelor și animalelor, cât și activităților industriale, comerciale și agricole din cadrul așezărilor urbane și rurale [17].

Pe măsura dezvoltării societății umane, mediul este supus unei presiuni crescânde, impactul activităților umane producându-se pe căi diferite - poluare, supraexploatarea resurselor biologice naturale, transformarea și simplificarea sistemelor ecologice etc. [18].

Conform Directivei Cadru a Apei (2000/60/EC) [19] transpusă prin Legea 310/2004, care modifică și completează Legea Apelor 107/1996, apa reprezintă cea mai importantă, limitată și vulnerabilă resursă naturală disponibilă în prezent. Potrivit ultimelor studii, o treime din populația lumii trăiește fără acces la apă de calitate. Apa nu este un bun comercial oarecare, ci un patrimoniu care trebuie protejat, apărat și tratat ca atare [20].

În anul 1989 *World Wide Fund for Nature* a definit diversitatea biologică prin abundența de entități vii pe Pământ reprezentată de milioane de plante, animale și microorganisme, genele pe care acestea le conțin, complexitatea ecosistemelor în care speciile formează comunități unice, interacționând între ele, și totodată cu aerul, apa și solul [21].

O altă definiție a biodiversității a fost dată în cadrul Convenției privind diversitatea biologică, semnată la Rio de Janeiro în 5 iunie 1992, la care România a aderat prin Legea nr. 58/1994: „Prin biodiversitate se înțelege varietatea de expresie a lumii vii, variabilitatea organismelor vii din toate sursele, inclusiv, a ecosistemelor terestre, marine și a altor ecosisteme acvatice, precum și a complexelor ecologice din care acestea fac parte” [22].

**Ecosistemele acvatice** sunt unități ecologice care prezintă o fizionomie și caracter bine conturate ce fac posibilă diferența clară a acestora față de alte tipuri de ecosisteme ale biosferei [23]. Indiferent de tipul sau dimensiunea ecosistemelor acvatice acestea cuprind două mari domenii de viață (biotopi): masa de apă sau pelagicul și substratul sau benthosul [24] (figura 1.4).

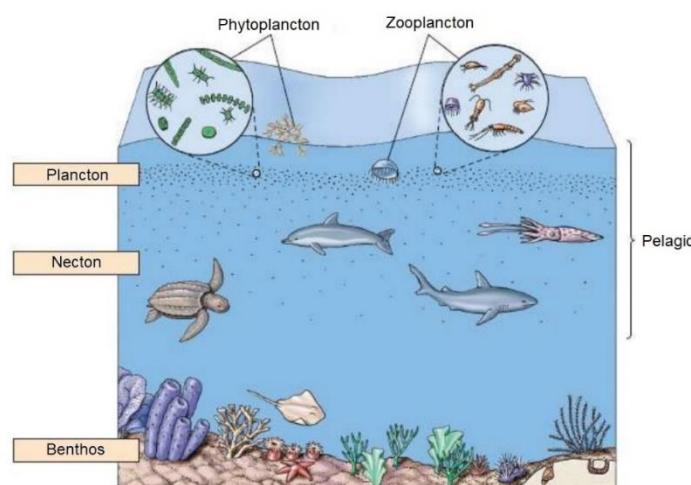


Figura 1.4. Reprezentarea grafică a ecosistemului acvatic – prelucrare după Pineda A.P. și Segura D., 2014 [25]

Din punct de vedere legislativ, pe plan european, la nivelul anilor '70, au început preocupările pentru protecția resurselor de apă. Pe 1 iulie 1975, a intrat în vigoare CITES - Convenția privind Comerțul Internațional cu Specii Pericolante de Faună și Flora sălbatică, cunoscută și sub denumirea de Convenția de la Washington, convenție referitoare la comerțul internațional cu specii pericolante, ce acoperă peste 34000 de specii de animale și plante.

În cadrul Conferinței Națiunilor Unite asupra Mediului Înconjurător de la Rio de Janeiro a fost adoptată, la 22 decembrie 1992, hotărârea prin care 22 martie devinea Ziua Mondială a Apei. S-a dovedit a fi o ocazie bună pentru a reaminti tuturor cât de importante sunt eforturile concrete de a oferi spre consum apă pură, precum și de a identifica problemele și de a găsi soluțiile corespunzătoare [20].

Mai târziu, în anul 2000 a fost adoptată Directiva Cadru Apă (DCA), care a abordat protejarea resurselor de apă și asigurarea calității ecologice a acestora într-o manieră integrată, bazată pe concepția ecosistemnică [21]. Principalele obiective ale Directivei Cadru sunt [26]:

- de a preveni deteriorarea, de a proteja și de a îmbunătăți starea ecosistemelor acvatice și pe cea a ecosistemelor terestre dependente direct de ecosistemele acvatice;

- de a încuraja folosirea durabilă a resurselor disponibile de apă pe baza protecției pe termen lung;
- de a contribui la atenuarea efectelor inundațiilor și a secerelor;

Prin îndeplinirea acestor obiective se urmărește protecția apelor și asigurarea apei de calitate și în cantitatea necesară pentru folosință durabilă, echilibrată și echitabilă a resurselor [26]. Conform DCA elementele biologice devin prioritare pentru evaluarea stării ecologice sau potențialului ecologic ale corpurilor de apă naturale sau puternic modificate, elementele fizico-chimice și elementele hidromorfologice reprezentând suportul pentru elementele biologice [26].

Directiva Consiliului European 92/43 EEC referitoare la conservarea habitatelor naturale și a florei și faunei sălbaticе adoptată la 21 mai 1992 și Directiva 2009/147/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 30 noiembrie 2009 privind conservarea păsărilor sălbaticе reprezintă documentele ce stau la stau la baza protecției și managementului biodiversității la nivelul Uniunii Europene și au ca obiectiv principal conservarea biodiversității [21]. În acest sens, Uniunea Europeană promovează ca instrument principal dezvoltarea unei Rețele de arii de conservare a naturii care să acopere tarile membre ale UE, dar să aibă în vedere și țările candidate la UE [27].

Perioada 2005-2015 a fost declarată de către Adunarea Generală a Națiunilor Unite drept Deceniul Internațional „Apă pentru Viață” cu scopul de a ridica nivelul de cunoștințe și de a informa populația globală asupra importanței economisirii și utilizării raționale a apei [28].

În anul 2007, CE a publicat Directiva 2007/60/CE privind evaluarea și gestionarea riscului la inundații (Directiva Inundații) cu scopul de a reduce și gestiona riscurile pe care inundațiile le prezintă pentru mediul înconjurător. Cu cinci ani mai târziu, CE a publicat „Planul de salvagardare a resurselor de apă ale Europei” care se concentrează pe acțiuni de politică ce pot ajuta la optimizarea punerii în aplicare a legislației actuale privind apa, precum și pe integrarea obiectivelor politicii privind apa în alte politici [21].

În România a existat, dintotdeauna, un interes socio-economic pentru conservarea biodiversității. În anul 1928 a avut loc primul Congres Național al Naturaliștilor din România, ce a avut ca obiectiv ocrotirea naturii la nivel național, instituirea unei legi pentru crearea rezervațiilor naturale și pentru ocrotirea monumentelor naturii și constituirea primului Parc Național<sup>1</sup> [22]. Totodată, România a participat continuu la politica internațională de mediu, semnând și ratificând cele mai importante convenții, rezoluții, declaratii și acorduri de mediu (1972 - Conferința Națiunilor Unite pentru Protecția Mediului Înconjurător, Stockholm; 1992 - Conferința Națiunilor Unite de la Rio de Janeiro; 2002 - Conferința Națiunilor Unite de la Johannesburg). De asemenea, România a ratificat Convenția privind Importanta Internațională a Zonelor Umede (Ramsar, 1991), Convenția de la Berna privind Conservarea speciilor sălbatică și habitatelor naturale (1993), Convenția privind comerțul internațional cu specii ale faunei și florei sălbatică pe cale de dispariție (CITES, 1994), Convenția de la Bonn privind Conservarea Speciilor Migratoare (1998), Convenția Carpathică (2003) [22].

În ceea ce privește procesele morfohidrodinamice studiate în prezenta lucrare, trebuie precizat faptul că activitatea biotică a imprimat trăsături specifice mediilor de sedimentare și a constituit, pentru procesul de sedimentare, o sursă constantă și variată de material. Adaptate la condiții foarte diferite de mediu, organismele au înregistrat în lanțul lor filogenetic trăsături și mecanisme fiziologice capabile să permită plasarea lor în contextul în care au evoluat [5].

În raport cu substratul pe care trăiesc și consecințele pe care acest aspect îl are în sedimentogeneză, organismele vegetale și animale pot fi *sessile* (sedentare sau fixate de substrat) și *vagile* (libere). Ele își concentrează activitatea fie la suprafața unui sediment (organismele *epifaunale*), fie în interiorul acestuia (organismele *infaunale*). Viețuitoarele libere formează, la rândul lor, *populații bentonice* adaptate la viața de fund și *populații planctonice* (pelagice) adaptate la viața de larg [5].

<sup>1</sup> În anul 1935 a fost înființat Parcul Național Retezat, cu o suprafață de 100 km<sup>2</sup>.

Activitatea biotică a contribuit, direct sau indirect, la formarea unor depozite sedimentare prin [5]:

- 1) procese construcționale, generatoare de produse sedimentare;
- 2) procese distructive, generatoare de detritus organogen, prin distrugerea scheletelor și modificarea unor structuri sedimentare preexistente.

Necesitatea trecerii în revistă a noțiunilor teoretice s-a datorat complexității subiectului abordat în această lucrare.

În acest sens, au fost expuse ideile principale privind evaluarea impactului asupra mediului la nivel național.

În vederea caracterizării proceselor ce au loc într-un corp de apă, au fost prezentate atât elementele generale referitoare la regimul hidrologic și hidraulic al curgerii apei, cât și noțiunile de dinamică a albiilor, precum sistemul fluvial, regimul rezistenței hidraulice al albiilor deformabile, regimul curgerii fazelor solide pe cursuri de apă, starea evolutivă a albiilor, stabilitatea și instabilitatea morfologică a albiilor.

Noțiunile privind ecosistemele acvatice au fost abordate din punct de vedere al importanței expuse în legislația națională și internațională. Totodată, în ceea ce privește corelarea proceselor morfohidrodinamice cu elementele biotice ale ecosistemelor acvatice, a fost precizat faptul că activitatea biotică a imprimat trăsături specifice mediilor de sedimentare și a constituit, pentru procesul de sedimentare, o sursă constantă și variată de material. Activitatea biotică a contribuit, direct sau indirect, la formarea unor depozite sedimentare prin procese construcționale, generatoare de produse sedimentare, dar și prin procese distructive, generatoare de detritus organogen, prin distrugerea scheletelor și modificarea unor structuri sedimentare preexistente.

## Capitolul 2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIOR

În cadrul prezentei cercetări este studiat un sector din tronsonul Călărași – Brăila al fluviului Dunărea. Activitățile celor peste 80 de milioane de locuitori din cele 19 țări pe care se desfășoară bazinul hidrografic al Dunării au impact asupra mediului, conducând la apariția problemelor legate de calitatea și cantitatea apei și de reducerea semnificativă a biodiversității [29]. În prezent, conform Comisiei Internaționale de Protecție a Fluviului Dunărea – ICPDR, problemele majore care afectează ecosistemele acvatice din bazinul fluviului Dunărea sunt legate de încărcările excesive de nutrienti (în special azot și fosfor), cantitățile mari de substanțe organice provenite din ape reziduale netratate sau tratate necorespunzător, **modificările hidromorfologice și efectul acestora asupra transportului sedimentelor**, contaminarea cu substanțe periculoase; poluarea accidentală din navegație, zone contaminate sau eliminarea deșeurilor și degradarea și pierderea zonelor umede [29].

### 2.1. Studii referitoare la investigațiile privind transportul de aluviuni

Conform Obreja F.Gh. [30], problematica procesului de transport al sedimentelor trebuie investigată în contextul unitar al succesiunii: sursă - transport - rezidență - efluvență - exploatare (utilizare). Aceasta a analizat transportul de aluviuni în bazinul râului Siret, abordând interdisciplinar fenomenul. Pentru îndeplinirea obiectivelor cercetării, a creat o bază de date care cuprinde atât informații hidrologice, litologice, tectonice, climatice, cât și date referitoare la activitatea antropică din bazinul hidrografic Siret. Analiza a fost realizată pe baza înregistrărilor de la 12 stații meteorologice și 52 stații pluviometrice, 66 de stații hidrometrice, care sunt prevăzute și cu echipament de măsurare a debitelor de aluviuni în suspensie, pentru perioada cuprinsă între 1950 -2010. Alte date folosite la evaluarea transportului de sedimente au fost cele care au vizat cutremurile produse în perioada 1900-2010 în bazinul Siretelui, studiile realizate în domeniul colmatării lacurilor de acumulare, îndeosebi curbele volumetrice [30].



Figura 2.1. Nava Rostock eșuată în anul 1991 [31]

În cadrul INCDPM, în anul 2004 a fost elaborat „*Raportul tehnic de analiză privind aspecte legate de modul de depunere și consistența aluviunilor depuse într-o epavă scufundată într-o zonă a șenalului navigabil al Dunării*”, studiu în care s-a luat în considerare epava navei Rostock. Aceasta a fost o navă sub pavilion ucrainean care a eșuat și s-a scufundat în brațul Sulina al Dunării în dreptul localității Partizani la 2 septembrie 1991, blocând navația maritimă (figura 2.1). În vederea ranfluării epavei, a fost necesară realizarea acestei cercetări în care au fost analizate aspectele legate de modul de sedimentare și consistența aluviunilor depuse [31].

În urma analizei variației spațiale a concentrațiilor aluviunilor în suspensie efectuate în cadrul studiului, în perioada 1990-2003, a fost evidențiat că în secțiunea Călărași-brațul Borcea, limitele de variație sunt cuprinse între 0,01 - 0,23 g/l, iar pe tronsonul Vadul Oii-Brăila limitele de variație sunt cuprinse între 0,02 - 0,13 g/l. Analiza variației temporale a concentrației aluviunilor în suspensie a evidențiat o tendință generală de scădere în zonele de pe cursul inferior al Dunării, în perioada studiată 1992-2003 (figura 2.2) [31]. Aceste date sunt utile și în prezentă cercetare, întrucât în cadrul raportului au fost prezentate și investigații efectuate în zona de interes – secțiunea Izvoarele.

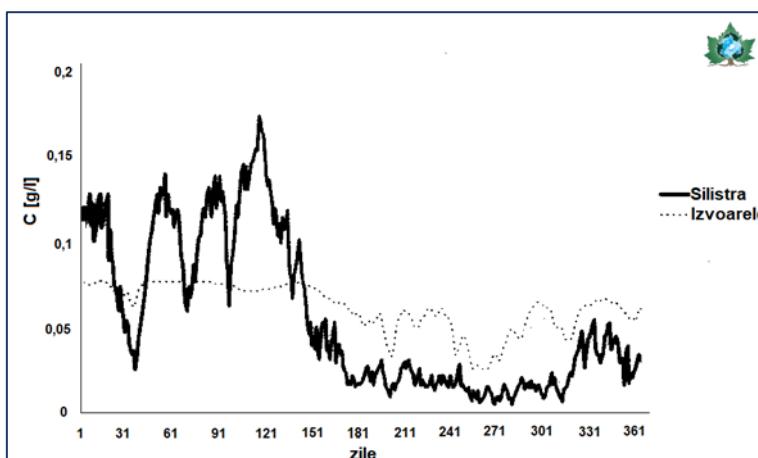


Figura 2.2. Concentrații zilnice de aluviuni în suspensie la Călărași-Chiciu (Dunăre amonte Borcea) și Izvoarele (Dunărea Veche, amonte Bala) în anul 2000 [31]

În cadrul studiului au fost efectuate seturi de analize fizice pe probe prelevate din corpul epavei navei Rostock, din care a rezultat următoarea compoziție granulometrică: nisip (0,05 – 2 mm) - 11÷15%, nămol (0,05 – 0,005 mm) – 72%, argilă (sub 0,005) - 13÷17%. Evaluarea globală a compoziției patului albiei Dunării în diferite secțiuni, situate în amonte de Canalul Sulina, a relevat că nisipul se regăsește în proporție 92-99 % și praf și argilă în proporție de 1-8 %, în schimb, distribuția granulometrică a unor mostre prelevate din epava Rostock este următoarea: nisip 11-15 % și praf și argilă 85-89 % [31].

Analizele efectuate indică faptul că în interiorul navei Rostock s-au depus fractiunile foarte fine din aluviunile în suspensie, ca urmare a faptului că epava navei s-a comportat ca un baraj, viteza curentului apei s-a micșorat, ceea ce a determinat sedimentarea unei părți din fractiunile mai grosiere în vecinătatea din amonte a epavei. Prin urmare, prezența corpului epavei transversal pe direcția de curgere a apei a determinat o sedimentare selectivă a aluviunilor.

## 2.2. Studii referitoare la analiza ecosistemelor acvatice

Studiul biodiversității s-a realizat de-a lungul anilor în mai multe etape. La sfârșitul anilor '60 erau elaborate studii numai la nivel local, fiind analizate numai speciile periclitante, endemice sau rare. La nivelul anilor '80, studiul referitor la biodiversitate s-a extins pe plan regional, iar odată cu înființarea Fondului Global de Mediu, în cadrul Națiunilor Unite și prin Summit-ul de la Rio de Janeiro, din 1992 perspectivele asupra biodiversității s-au dezvoltat la nivel global [22].

În lucrarea din 1909, „*Fauna Ihtiologică a României*” G. Antipa a studiat elemente din ecosistemul Dunării, fiind primul care a atras atenția asupra consecințelor incalculabile ale desecării bălților Dunării. O contribuție importantă în cercetarea ecosistemelor acvatice o au și G. M. Murgoci (1907), E. Racoviță (1929), S. Mehedinti (1931), G. Vâlsan (1931), A. Popovici-Bâznoșanu (1937), V. Mihăilescu (1968), N. Botnariuc (1967, 1979), P. Gâștescu (1971), V. Tufescu și M. Tufescu (1981), V. Zinevici și L. Teodorescu (1990), P. M. Bănărescu (1995), Armaș (1999) etc.

La nivel național, O. Ionuș [32] menționează faptul că sursele de aluvioni au fost studiate de diversi cercetători printre care V. Surdeanu și I. Mac, 1997, în lucrările cărora nu a fost însă abordată problematica influențelor acestor surse asupra calității habitatelor pentru diferite biote sau frecvența perturbărilor acestor surse în cadrul albiei.

Factorii de mediu și anume condițiile fizico-chimice și hidrologice ale biotopului au un rol important în procesul de reglare a numărului de specii și de indivizi ai ecosistemelor acvatice. Din punct de vedere hidrologic și hidraulic ecosistemele acvatice pot fi analizate în funcție de variația debitului, ce reprezintă un punct de presiune asupra organismelor acvatice și ripariene controlând totodată dinamica și procesele habitatelor (tabel 2.1) [32].

Tabel 2.1. Factori de presiune importanți determinați de variația debitelor și efectele acestora [32]

Cauză	Efect
<b>Inundațiile anuale – primăvara și toamna</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Erodarea patului albiei;</li><li>▪ Distrugerea vegetației din albia minoră;</li><li>▪ Distribuția sedimentelor și materiilor organice în cadrul ecosistemelor acvatice;</li><li>▪ Creșterea mortalității peștilor;</li><li>▪ Popularea cu diferite specii ale ecosistemului.</li></ul>
<b>Inundațiile, ca fenomene extreme</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Crearea de noi habitate prin eroziune și depozitare;</li><li>▪ Reînnoirea proceselor dinamice și menținerea unei diversități de habitate și specii în diferite stagiile de evoluție de la perturbarea precedentă (ecosistemele acvatice și ripariene din zonele montane)</li></ul>
<b>Inundațiile ocazionale - vara</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Controlul germinării plantelor ripariene;</li><li>▪ Expansiunea unor habitate (în special cele ripariene) și limitarea habitatelor acvatice.</li></ul>
<b>Debite mari</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Accesul peștilor către amonte – influența duratei și a timpului necesar depunerii icrelor.</li></ul>

Pe lângă factorii naturali, intervențiile antropice de pe cursurile de apă au un impact asupra ecosistemelor acvatice.

În cadrul proiectului „*Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 - km 175*” desfășurat în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului (INCDPM), au fost desfășurate activități de monitorizare hidromorfologică, a calității aerului, a zgomotului, a solului, a calității apei, a ihtiofaunei, a florei și faunei acvatică, a florei și faunei terestre, a avifaunei, a activităților de șantier și de urmărire a respectării planului de prevenire a poluărilor [33].

În cadrul proiectului sunt realizate și activități de monitorizare a sturionilor pe fluviul Dunărea, în vederea evaluării posibilului impact al construcțiilor hidrotehnice (pragurile de fund de pe brațele Bala și Caleia) asupra traseelor de migrație a acestora. Astfel, au fost realizate campanii de pescuit pentru capturarea și marcarea sturionilor pe sectorul de Dunăre între Călărași și Brăila, au fost montate stații receptoare pentru obținerea informațiilor privind traseele de migrație a sturionilor. În urma analizei rezultatelor obținute din activitatea de monitorizare s-a concluzionat faptul că traseul de migrație al acestora nu a fost influențat de activitățile de șantier [34] [35].

Un alt proiect în care este studiată influența construcțiilor hidrotehnice asupra ecosistemelor acvatice este „*Studii privind apărarea de mal în zona umedă Divici-Pojejena*”, realizat de către INCDPM. Acest proiect are ca obiectiv principal elaborarea studiilor privind realizarea apărării de mal în zona de interes prin selectarea celor mai adecvate soluții tehnice în concordanță cu principiile dezvoltării durabile și stabilirea impactului acestora asupra mediului [28].



Figura 2.3. Zona de amplasare a digului de apărare cu conectivitate laterală la Dunăre [28]

În urma analizei soluției tehnice optime (dig de apărare cu conectivitate laterală la Dunăre) (figura 2.3) s-a menționat faptul că prin atenuarea efectelor fenomenelor extreme cauzate de schimbările climatice și de alți factori (regim de funcționare al Sistemului Hidroenergetic și de Navigație Portile de Fier I, trafic naval etc.), lucrările propuse au un efect benefic asupra factorilor de mediu, contribuind la conservarea biodiversității zonei umede Divici-Pojejena [28]. Soluția tehnică optimă implică execuția unui dig din anrocamente carosabil în Dunăre, cu tronsoane de viaduct prevăzute cu stăvile amplasate în zona umedă [28].

### 2.3. Studii privind analiza morfologică a cursurilor de apă prin utilizarea programelor de modelare numerică

În timp, odată cu dezvoltarea tehnologiei, acumularea progresivă de noi cunoștințe a permis redefinirea conceptelor și a viziunii de ansamblu referitoare la morfologia văilor și la acțiunile complexe exercitate de cursurile de apă în cadrul acestora [36].

În cele ce urmează sunt prezentate o serie de lucrări în care sunt analizate sistemele fluviale din punct de vedere al naturii morfodinamice a acestora.

#### A. La nivel internațional

În teza sa de doctorat denumită, M. Tritthart [37] realizează o comparație între programele 3D utilizate în ingineria hidraulică. Informațiile referitoare la programele examineate au fost colectate din literatura de specialitate și din cercetarea extinsă pe Internet. Caracteristicile comune ale pachetelor de softuri analizate sunt reprezentate de sistemul de operare pentru care a fost realizat software-ul, metoda utilizată pentru discretizarea spațială a ecuațiilor cu derivate parțiale (diferențe finite, elemente finite sau volume finite), tipurile

(structurate și nestructurate) și formele rețelei (tetraedre sau hexaedre), schema numerică utilizată pentru discretizarea termenilor convectivi, metodele numerice utilizate pentru timpul de discretizare, metodele care fac conexiunea între presiune și viteză și implementarea modelelor referitoare la turbulentă și a suprafeței libere a apei [37].

Pe lângă comparațiile dintre programe, în această lucrare au fost realizate simulări numerice pentru a determina diferența între rețeaua hexagonală și cea poliedrică. Folosind trei programe de modelare numerică (*RSim-3D*, *SSIIM* și *Fluent*), a fost studiat un sector al fluviului **Dunărea**, din Austria, în contextul inundațiilor din 2002. Pentru modelul *RSim-3D* a fost utilizată o rețea nestructurală poliedrică bazată pe niște regiuni hexagonale. În cazul celorlalte două modele, *SSIIM* și *Fluent*, s-a folosit tipul de rețea structural hexagonală. Chiar dacă rețelele structurale prezintă mai multe avantaje în ceea ce privește timpul de rulare și convergența modelului, acestea impun restricții referitoare la forma limitată a rețelei în domeniul proiectului [37]. În cazul utilizării rețelelor poliedrice s-a constatat că datele obținute în urma simulărilor numerice sunt apropiate de cele rezultate în urma măsurătorilor de teren, spre deosebire de cazul în care sunt utilizate rețelele hexagonale, situație în care sunt înregistrate diferențe semnificative față de rezultatele obținute în urma măsurătorilor. Totodată s-a observat că, în contextul în care celulele poliedrice sunt aranjate în domeniul curgerii și rețeaua rezultată este destul de grosieră, apar difuzii numerice datorită neortogonalității. Mai mult, conform autorului, există un semnificativ avantaj în utilizarea rețelelor de tip poliedric - formele celulelor nu se distorsionează ușor, nici chiar atunci când limitează poligoane de forme foarte complicate [37].

În lucrarea „*Caracteristicile morfologice ale râului Rin între Iffezheim și Bingen*” [38] autorii au analizat evoluția morfologică a fluviului **Rin**<sup>2</sup> între Iffezheim și Bingen (Rin km 335-530), pe un interval de timp cuprins între anii 1990 și 2008. Acest studiu evidențiază interacțiunea dintre construcțiile hidrotehnice existente în zona de interes și intervențiile necesare asigurării condițiilor de navigație (dragare, depunere material aluvionar). Necesitatea elaborării acestei lucrări este dată de problema asigurării condițiilor optime de navigație, intensitatea traficului naval ajungând, în anul 2008, la valori de 207,5 milioane de tone de mărfuri transportate [38].

Conform acestei lucrări, în ultimele două secole, pe fluviul Rin, între Basel (Rin - km 150) și Iffezheim (Rin - km 334), la granița dintre Franța și Germania, au fost executate lucrări hidrotehnice ample, cu impact mare asupra stării morfologice a albiei fluviului, ele blocând complet aluviunile transportate din amonte. Astfel, au fost analizate transportul de sedimente, granulometria sedimentelor, batimetria, nivelul apei, intervențiile de dragare și depunere de sedimente și datele tehnice privind structurile hidrotehnice [38].

Pe baza măsurătorilor de batimetrie efectuate în perioada 1990 – 2006, au fost analizate la scară mare și la scară mică caracteristicile morfologice ale zonei de interes. Astfel, la scară mare, a rezultat faptul că anual, patul albiei se degradează global cu o rată de cca 0,5 cm. În urma analizei la scară mică au fost determinate zonele afectate de eroziune și de sedimentare, această analiză contribuind astfel la optimizarea strategiei de întreținere a căilor navigabile de transport. Totodată, din analiza la scară mică a reieșit faptul că în zonele în care nu există structuri hidrotehnice, nu sunt înregistrate tendințe de degradare ale patului albiei [38].

Totodată, evoluția morfologiei albiei cursurilor de apă prin intermediul programelor de modelare numerică a fost analizată și de N. Zimmermann și colab. [2012] în lucrarea „*Transportul și sedimentarea în canalul de navigație la Blankenberge (Belgia)*”. Aceștia au studiat zona din preajma portului Blankenberge din Belgia, zonă ce necesită frecvent lucrări de dragare [39].

Cu scopul de a analiza principalele caracteristici ale cursurilor de apă și de a oferi datele necesare pentru calibrarea și verificarea modelelor 3D de curgere a apei și de transport de sedimente, în anul 2008, S. Baranya și colab. au elaborat studiul „*Monitorizarea hidro și morfohidrodinamică a două puncte critice, în zona maghiară a Dunării*”. În această lucrare au fost monitorizate două sectoare diferite ale Dunării, acordându-se o atenție deosebită

<sup>2</sup> Rinul este unul dintre cele mai importante fluviuri din Europa, având o lungime de aproximativ 1230 km (din care cca. 883 km sunt navigabili), un bazin hidrografic de cca. 198.735 km<sup>2</sup> și un debit mediu de aproximativ 2300 m<sup>3</sup>/s înregistrat la granița dintre Germania și Olanda.

modalităților de măsurare. Astfel, pentru estimarea valorilor parametrilor de curgere a apei s-au realizat măsurători utilizând o ambarcațiune în staționare și una în mișcare [40].

Procesul de transport de sedimente a fost analizat și de M. Tritthart și colab. [2010] în lucrarea „*Modelarea numerică a transportului sedimentelor în Dunăre: formularea uniformă vs. non-uniformă*” [41]. În acest studiu, este prezentată aplicarea modelului morfologic și de transport de sedimente, pe un sector al fluviului Dunărea, în zona de est a Vienei. Sectorul Dunării analizat în această lucrare este de o importanță deosebită, fiind necesară asigurarea condițiilor ecologice (fluviul face parte dintr-un parc natural), a condițiilor de navigație (cale de navigație internațională) și asigurarea împotriva inundațiilor. Astfel, în vederea asigurării acestor condiții a fost inițiat „*Proiectul de inginerie integrată a fluviului, desfășurat pe Dunăre, la est de Viena*” (engleză: “*Integrated River Engineering Project on the Danube East of Vienna*”) prin care sunt propuse unele măsuri precum: eliminarea structurilor de protecție a malurilor, reconectarea brațurilor alăturate și modificarea formei și a elevației digurilor de colmatare [41].

*Tabel 2.2. Analiza comparativă între debitul de aluvioni tărâte, măsurat și calculat, în zona de control, pentru diferite debite – Fluviul Dunărea, zona de est a Vienei [41]*

Debit			
Q [m <sup>3</sup> /s]	915	1930	5060
Q <sub>bmin</sub> [kg/s]	2,4	2,4	28,8
Q <sub>bmax</sub> [kg/s]	6,3	9,5	95,4
Q <sub>bmed</sub> [kg/s]	4,4	6,0	65,8
Q <sub>bnonuniform</sub> [kg/s]	4,7	6,0	22,5
Q <sub>buniform</sub> [kg/s]	0,0	0,0	258,2

Q – debitul; Q<sub>bmin</sub> – debitul minim de sedimente din secțiunea transversală măsurat; Q<sub>bmax</sub> – debitul maxim de sedimente din secțiunea transversală măsurat; Q<sub>bmed</sub> - debitul mediu de sedimente din secțiunea transversală; Q<sub>bnonuniform</sub> - debitul rezultat în urma simulării în secțiunea transversală, formulă neuniformă; Q<sub>buniform</sub> - debitul rezultat în urma simulării în secțiunea transversală, formulă uniformă

În vederea implementării acestui proiect, prin intermediul programului *RSim* a fost realizat un model numeric pentru a analiza tendința morfodinamică și a transportului de sedimente pe sectorul Dunării, în zona de est a Vienei. Utilizând modelul de transport calibrat și validat, capacitatea de transport a sedimentelor a fost calculată la diferite valori ale debitelor. În tabelul 2.2 este reprezentată comparația dintre valorile rezultate în urma simulărilor numerice și cele rezultate în urma măsurătorilor, într-o zonă de control. Autorii au constatat că în cazul debitelor mici sau medii, rezultatele obținute în urma utilizării ecuației uniforme estimează o încărcare târzie a debitului de sedimente tărâte, în timp ce aplicarea ecuației neuniforme a condus la obținerea unor rezultate ce corespund cu măsurătorile. Pentru debitele mari, prin ecuația neuniformă s-au obținut rezultate puțin mai mici față de rata de transport, iar în urma aplicării ecuației uniforme, s-a constatat o supraestimare a debitului de sedimente tărâte în patul albiei. Autorii susțin că acest aspect ar putea, totuși, fi atenuat dacă formula de transport ar fi special calibrată pentru debitele mari și la schimbările morfologice corespunzătoare [41].

## B. La nivel național

Pe plan național, în lucrarea „*Dunărea între Baziaș și Ceatal Izmail*” [42] este prezentat un scurt istoric asupra cercetărilor efectuate pe Dunăre în care este descris un bogat volum informațional referitor la observațiile asupra nivelurilor, la măsurătorile de debite de apă și de aluvioni, la lucrările batimetrice și hidrotopografice, la observațiile asupra temperaturii apei etc.

În cadrul proiectului „*Studiul privind modelarea hidraulică a transportului de sedimente pe afluenții Dunării, în zona Baziaș-Moldova Nouă - Efectuarea studiilor de teren în vederea obținerii volumului informațional necesar rulării softului de modelare hidraulică*” au fost descrise măsurătorile de teren efectuate fluviul Dunărea, în zona pilot – brațul Epurașu (figura 2.4) și rezultatele obținute în urma rulării programelor de modelare hidraulică *Delft3D* și *HEC-RAS* cu privire la tendința fenomenelor de transport-eroziune-depunere de sedimente [43].

Zona analizată – brațul Epurașu se află într-un proces avansat de colmatare, proces ce poate fi influențat și de construcțiile hidrotehnice (dig) începute în anii '80. Debitele scăzute de

pe acest braț favorizează creșterea potențialului de eutrofizare, prin dezvoltarea excesivă a algelor filamentoase și a macrofitelor [43].



Figura 2.4. Localizarea brațului Epuraș [43]

Pentru a estima tendința de colmatare a brațului Epuraș, în cadrul acestui proiect au fost realizate modelări numerice, fiind analizate două scenarii. Înțând cont de faptul că brațul Epuraș este închis amonte de un dig prevăzut cu o cunetă de formă trapezoidală cu deschiderea de 40 m la oglinda apei și 30 m la bază, scenariile au constat în rularea unui model ce a prevăzut cuneta deschisă, iar celălalt, cuneta închisă [43].

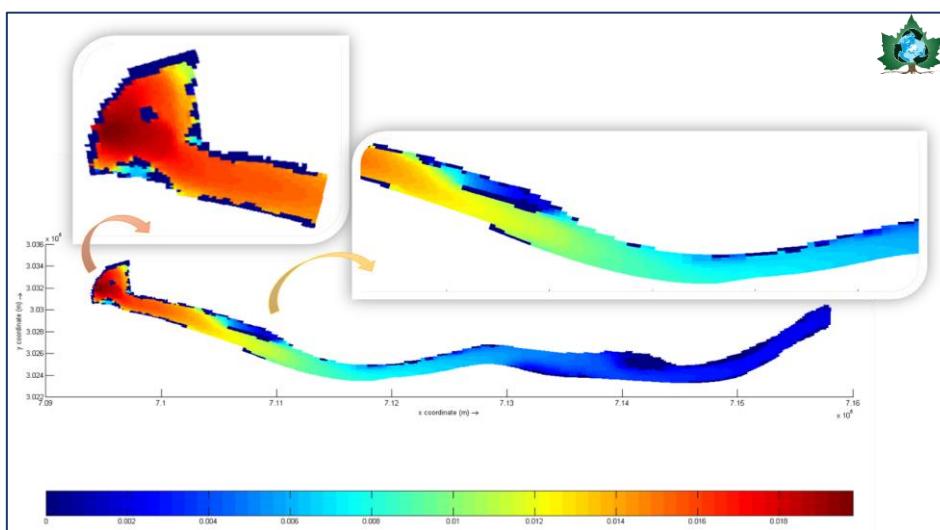


Figura 2.5. Evoluția concentrației sedimentelor în suspensie pe brațul Epuraș – scenariu cuneta închisă – Delft3D [43]

În urma modelării numerice cu *Delft3D*, pe o perioadă de trei luni, a celor două scenarii a rezultat faptul că procesul de depunere este accentuat în primul sector al domeniului (datorită vitezelor scăzute care favorizează depunerea unui procent ridicat de sedimente aflate în suspensie) și redus în al doilea sector (datorită reducerii concentrației de sedimente). În cazul scenariului în care este prevăzută cuneta închisă, se formează un strat depus de maxim 5 mm

(în dreptul cunetei), iar în contextul celuilalt scenariu se formează un strat de maxim 8 mm (figura 2.5) [43].

În cazul modelării numerice cu programul HEC-RAS, pentru scenariul în care este prevăzută cuneta închisă nu s-au observat modificări semnificative din punct de vedere al transportului de sedimente – eroziune – depunere. În situația cunetei deschise a fost localizată o depunere 0.15 m în secțiunea aflată în aval de groapa de eroziune și un deficit de 0.08 m în secțiunea aflată la 1 km înainte de vârsare [43].

În lucrarea „*Analiza preliminară privind capacitatea de înot a sturionilor deasupra pragului de fund, utilizând simulările numerice*” [44] a fost analizat un tronson al Dunării Inferioare. În vederea asigurării condițiilor de navigație recomandate de Comisia Dunării, în zona brațului Bala s-au executat următoarele construcții hidrotehnice: prag de fund, dig de dirijare și apărare de mal [44].

Necesitatea execuției lucrărilor hidrotehnice menționate anterior a ridicat problema influenței acestora asupra traseului de migrație al sturionilor [44]. În acest studiu este menționat faptul că deși viteza apei are un impact direct asupra posibilității de înaintare a sturionilor, până în prezent, nu există date clare care să confirme valoarea maximă a unei viteze a cursului de apă ce nu poate fi depășită prin înot, contra curentului, de speciile migratoare de sturioni prezente în Dunăre [44].

*Tabel 2.3. Matrice comparativă privind viteza apei rezultată în urma măsurătorilor de teren și viteza obținută în urma simulării numerice în situația existenței construcțiilor hidrotehnice, fluviul Dunărea, zona bifurcație braț Bala – Dunărea Veche [44]*

Măsurători efectuate în zona pragului de fund construit în anii '90			Simulări numerice realizate pe coronamentul pragului de fund proiectat							
Debit Bala [m <sup>3</sup> /s]	Secțiune coronament		Debit Bala [m <sup>3</sup> /s]	Secțiunea amonte		Secțiune coronament		Secțiune aval		
	Viteza medie a apei [m/s]	Viteza maximă a apei [m/s]		Viteza medie a apei [m/s]	Viteza maximă a apei [m/s]	Viteza medie a apei [m/s]	Viteza maximă a apei [m/s]	Viteza medie a apei [m/s]	Viteza maximă a apei [m/s]	
1650	1,00	1,80	2900	1,20	1,80	2,40	3,50	1,90	2,60	
1700	0,90	1,80								
2900	1,10	2,50	3700	1,40	2,00	2,20	3,50	1,50	2,40	

În cadrul studiului s-au utilizat tehnici de monitorizare a speciilor migratoare de sturioni, s-au efectuat măsurători de batimetrie, de debite, viteze și de turbiditate ale cursului de apă în zona de studiu și, pe baza volumului informațional astfel obținut, prin simulare numerică, s-a realizat o analiză preliminară privind capacitatea de înot a sturionilor peste pragul de fund, pe brațul Bala.

Măsurătorile efectuate în zona studiată, au fost corelate cele realizate în perioadele în care exemplarele de sturioni monitorizați au traversat pragul de fund construit în anii '90 pe brațul Bala, în situația în care, în secțiunea amonte a zonei de interes a fost înregistrat un debit de 2900 m<sup>3</sup>/s (tabel 2.3) [44]. În urma simulărilor numerice realizate în cadrul lucrării, în cazul în care pe brațul Bala se va construi un prag de fund, amonte de cel realizat în anii '90, pentru un debit de 2900 m<sup>3</sup>/s, a rezultat o viteză maximă în secțiunea transversală la coronament de 3,5 m/s. Această valoare este mai mică decât cele măsurate în zona structurii hidrotehnice construite în anii '90, viteze ce se presupune că au fost depășite de sturioni.

Autorii recomandă realizarea unor investigații prin intermediul căror capacitatea de înot a speciilor migratoare de sturioni să fie corelată cu efectul turbionar al cursului de apă, dar și cu indicii privind calitatea apei/turbiditatea [44].

Subiectul referitor la evoluția morfologică a albiilor cursurilor de apă beneficiează de o mare atenție, fiind tratat încă din secolul al XVI-lea. Primul care a emis un principiu conform

cărui văile sunt creația cursurilor de apă care le străbat, între debitul cursului de apă și dimensiunea albiei sale existând un anumit raport, a fost Leonardo da Vinci.

Și în prezent, ca urmare a faptului că modificările hidromorfologice și efectul acestora asupra transportului sedimentelor reprezintă una dintre problemele majore care afectează ecosistemele acvatice din bazinul fluviului Dunărea, este de un real interes să se cunoască tendințele evoluției morfologice ale albiei unui curs de apă. Pe baza acestor considerente se pot elabora planuri de management ale spațiilor hidrografice.

În cadrul prezentei lucrări au fost expuse o serie de studii de cercetare ce au avut ca subiect principal investigațiile privind transportul de aluviuni, analiza ecosistemelor acvatice și analiza morfologică a cursurilor de apă utilizând programe de modelare numerică. Prezentarea acestor lucrări a avut drept scop pe de o parte evidențierea importanței subiectului tezei de doctorat, iar pe de altă parte expunerea metodologilor de lucru abordate în vederea realizării investigațiilor.

Documentarea realizată în vederea analizei stadiului actual al cercetărilor a reprezentat un punct important în concretizarea obiectivelor specifice ale tezei de doctorat „*Impactul antropic asupra componentelor ecosistemelor acvatice specifice Dunării*”.

## Capitolul 3. MATERIALE ȘI METODE

Un rol important în desfășurarea investigațiilor referitoare la schimbările morfologice ale patului albiei a avut-o infrastructura de cercetare. Prin utilizarea tehnicii adecvate și a echipamentelor puse la dispoziție de către Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului (INCDPM), în colaborare cu echipa de cercetători implicați în activitățile de monitorizare *in situ* a zonei de interes, au fost obținute informațiile necesare delimitării și caracterizării zonei de studiu. De asemenea, după prelucrarea datelor primare, prin intermediul programelor specializate a rezultat volumul informațional utilizat în analizele tendinței de evoluție morfologică a albiei fluviului Dunărea, pe sectorul analizat.

### 3.1. Ridicări topometrice

În vederea obținerii informațiilor privind suprafața terestră din sectorul studiat, au fost utilizate echipamente puse la dispoziție de către INCDPM, și anume: *GPS Leica Viva GS08 Plus* și *nivela electronică Leica Sprinter 250M*.

Echipamentul *GPS Leica Viva GS08 Plus* este alcătuit din antena GS08plus, jalon, radio cap CGR10, mâner al jalonului, suport GHT62, acumulatori GEB211/GEB212, card SD, card *CompactFlash* și *Controller CS10* [45]. Prin crearea rețelelor GPS pentru măsurători statice și RTK, rezultă o precizie mult mai mare de determinare a coordonatelor. Aceste echipamente oferă posibilitatea de a efectua lucrări de măsurare și verificare chiar dacă în zona respectivă nu există semnal GSM, aparatele comunicând între ele prin transmisie și receptie de date, prin unde Radio. Astfel operatorul are flexibilitate fiind independent de semnalul GSM și viteza de transfer de date prin internet în zona de lucru [45].

De asemenea, în cadrul cercetării a fost utilizat și nivela electronică *Sprinter 250M* de la *Leica*. Aceasta permite efectuarea măsurătorilor exacte și cât mai precise, fără erori de citire. Funcțiile de eliminare a erorilor nu permit efectuarea măsurătorilor dacă utilizatorul se află în afara razei de lucru a compensatorului. Pe ecranul LCD al nivelei sunt afișate valorile distanței și ale înăltimii sau ale diferenței de nivel, în funcție de măsurătoarea de bază, prin apăsarea butonului de focusare al nivelei. Această operație se realizează cu ajutorul stadiei de 5 m cu cod de bare până la distanță de 100 m [46]. Pentru distanțe mai mari de 100 m citirea se face ca la nivelele optice clasice. Nivela *Sprinter 250M* poate stoca până la 1.000 de măsurători. Descărcarea datelor se realizează prin interfața USB [46].

Datele rezultate în urma măsurătorilor topografice au fost utilizate, în special, pentru stabilirea cotelor terenului necesare modelării numerice.

### 3.2. Ridicări batimetrice și măsurători debite și viteze ale curenților de apă

În vederea asigurării siguranței navigației, a apărut necesitatea întocmirii unor hărți batimetrice, pe care să fie indicată linia șenalului navigabil. La nivel național, pe baza lucrărilor batimetrice efectuate sub conducerea inginerului I. Ionescu, astfel de hărți au fost realizate începând cu perioada 1905 – 1910, pe Dunăre, adâncimile indicate fiind raportate față de altitudinea planurilor „0“ ale mirelor din zonă [42].

În prezent, cu scopul de a determina morfologia albiei sunt utilizate sisteme ce cuprind echipamente de ecosondare de tip monofasicul (*single beam*) și multifasicul (*multibeam*).

Măsurarea batimetrică de tip *single beam* are la bază principiul prin care adâncimea apei este determinată prin măsurarea timpului înregistrat de la emisia semnalului până la recepționarea sa, după reflectarea de la fundul albiei [47] [48]. Sistemul de tip *single beam* este echipat cu un singur transductor prin care se realizează atât emisia, cât și receptia. Prin

utilizarea acestui sistem, nu se pot obține imagini ale unei suprafețe mari de pe patul albiei. În schimb, sistemele de tip *single beam* sunt utile și puțin costisitoare în cazul realizării măsurătorilor batimetriche pe un profil transversal al unui curs de apă [47].

Tehnologia de măsurare batimetrică cu echipamente de tip *multibeam* s-a dezvoltat încă de la începutul anilor '90. Prin intermediul acestor măsurători se poate obține o imagine a patului albiei unui curs de apă în care sunt reprezentate detalii care, de cele mai multe ori, nu sunt preluate prin măsurătorile convenționale cu sonarele de tip *single beam* [47].

Cu scopul de a obține datele referitoare la batimetria albiei minore a sectorului analizat, prin colaborarea cu echipa de monitorizare, au fost realizate măsurători utilizând echipamente ce au la bază tehnica *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). Prin intermediul acestora pot fi efectuate atât măsurători de batimetrie *single beam* cât și măsurători de viteze ale apei, pe diferite secțiuni. Pe baza acestor măsurători pot fi determinate, estimativ, debitele pe secțiunile respective [49].

În general, sistemul ADCP este format dintr-un circuit *Bottom Track* (sistem de determinare a poziției mai precis decât GPS-ul [47]), card de memorie, acumulatori, cabluri, modul de profilare de mare rezoluție, modul GPS și un program specializat, instalat pe un computer de teren. ADCP-ul folosit prezintă în componență sa opt senzori cu orientare diferită, pentru generarea unui fascicul sonor, în vederea determinării vitezei de curgere a apei.

Sistemul ADCP transmite semnale sonar și calculează viteza de curgere a apei prin modul Doppler, în frecvențe ale semnalelor returnate de la diferite adâncimi, de sub dispozitiv [50]. Viteza apei este calculată utilizând sistemul de coordonate cartezian (XYZ) față de poziția și orientarea instrumentului, lucru datorat orientării geometrice a fiecărui dintre cei 3 senzori ai ADCP-ului. Totodată, vitezele apei pot fi calculate în coordonate ENU (East-North-Up), independent de orientarea instrumentului, datorită busolei și senzorului de înclinare, încorporate în aparat [47].

Totuși, măsurătorile ADCP sunt limitate în ceea ce privește acoperirea secțiunii transversale, și anume [51]:

- Nu se pot măsura zonele din apropierea malurilor;
- Nu se poate măsura zona patului albiei, deoarece ecoul acustic este perturbat de către reflexiile fundului pe o distanță de aproximativ 6% din adâncimea totală.

Însă, prin utilizarea programului de achiziție, aceste zone nemăsurate sunt automat estimate, prin extrapolarea datelor măsurate, din proximitate [51].

În cadrul acestei lucrări, au fost utilizate două tipuri de sisteme ADCP. Primul este un sistem robust și extrem de precis, special creat pentru a măsura, cu ajutorul tehnologiei *Doppler*, adâncimile apei, vitezele și direcțiile curentilor de apă [52]. Acest sistem asociază tehnologia *Doppler* cu un pachet software bazat pe *Windows*, facilitând atât achiziția, cât și prelucrarea primară a datelor. Sistemul de monitorizare adoptat este prevăzut cu opt senzori cu orientare diferită care generează un fascicul de sunet, în scopul de a determina rata vitezei apei [52].

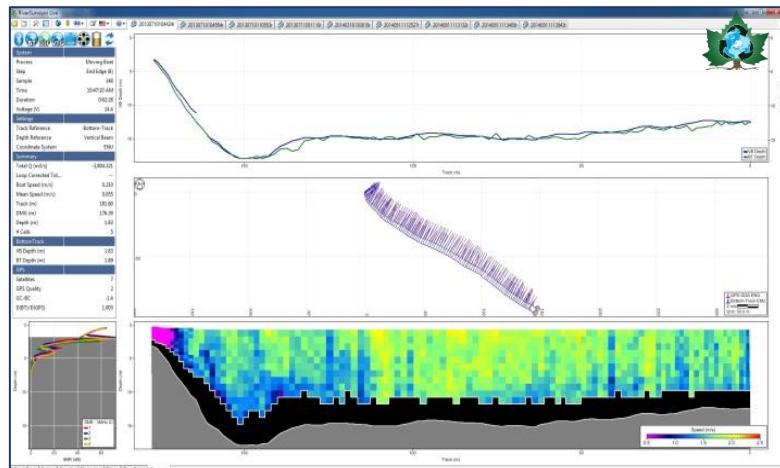


Figura 3.1. Vizualizarea transectelor [53]

În prezența cercetare măsurătorile au fost efectuate cu ajutorul unei ambarcațiuni care se deplasează cu viteză scăzută, perpendicular pe mal, astfel încât să se obțină o secțiune transversală. În figura 3.1 este reprezentată geometria albiei, direcția și viteză de curgere a apei și distribuția vitezelor pe o secțiune transversală din sectorul studiat. Cu scopul de a verifica acuratețea înregistrărilor, pentru fiecare profil se efectuează de la 2 până la 4 traversări.

Al doilea sistem (figura 3.2) este conceput pentru a măsura în timp real debitele de apă, profile batimetrice și viteză de curgere a curenților apei, în râuri cu diferite regimuri hidrologice. Aceasta are în componență un traductor de 600 kHz pe care este instalat un senzor pentru măsurarea temperaturii apei. Sistemul este instalat pe flotor, iar conectarea la calculatorul de teren se realizează prin intermediul programului *WinRiver II* [54].

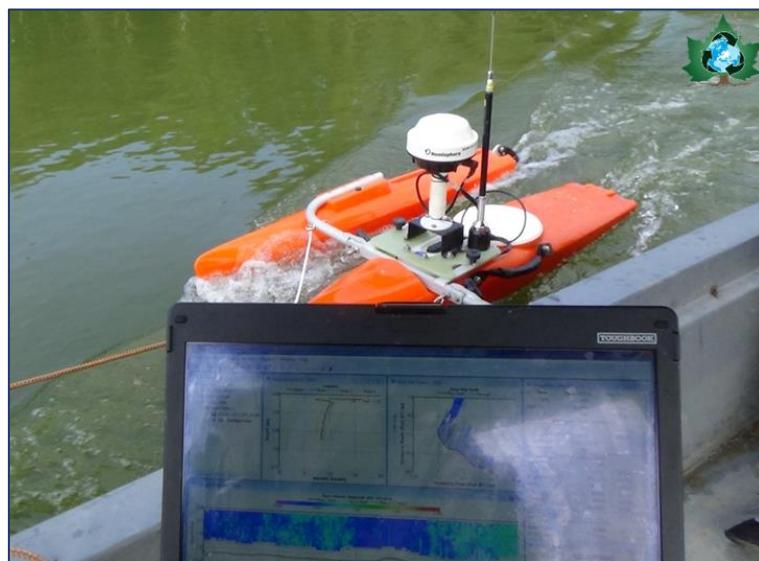


Figura 3.2. Sistemul ADCP [34]

Tinând cont de faptul că sistemele de ecosondare *multibeam* sunt cele mai eficiente echipamente pentru măsurarea batimetriei unei albiei [47], în cadrul cercetării au fost utilizate și date obținute în urma măsurătorilor efectuate prin utilizarea unui sistem *multibeam* (figura 3.3). Batimetria obținută este de mare acuratețe, în urma prelucrării datelor, obținându-se un model numeric 3D al albiei râului.

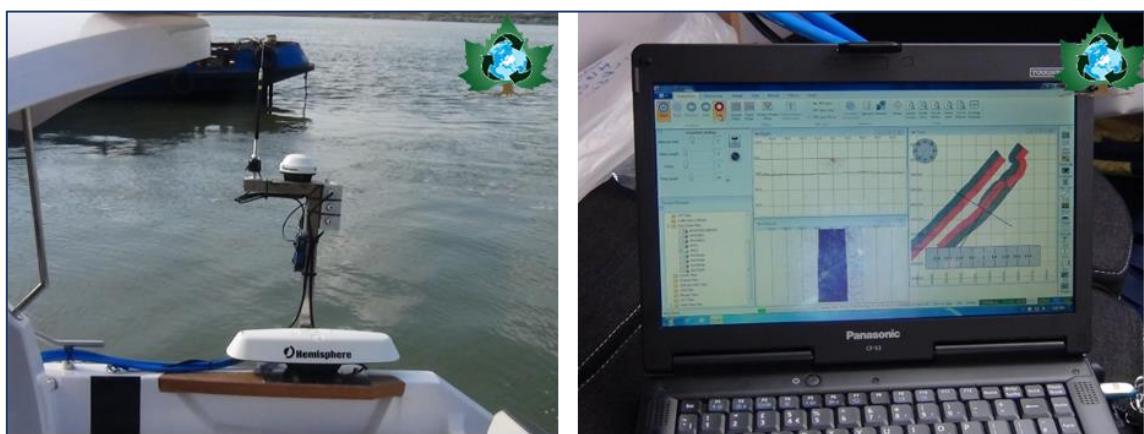


Figura 3.3. Sistemul batimetric *multi-beam* [55]

Prin intermediul acestui sistem sunt achiziționate date batimetrice, cu o acoperire a profilului de până la 12 ori mai mare decât adâncimea apei [56].

### 3.3. Programul de modelare numerică Delft3D

O dată cu evoluția tehnologiei au fost dezvoltate o serie de programe referitoare la modelarea hidraulică a curgerii apei în râuri [57]. Astfel, având în vedere faptul că modelarea ia în considerare toate elementele care pot influența dinamica apei (debit, batimetrie, rugozitatea albiei etc.), prin modelare tridimensională se pot calcula variabilele hidrodinamice (viteze de curgere, cote ale suprafeței apei etc.) și de transport al sedimentelor, se pot determina parametrii de calitate ai apei, se pot urmări tendințele de modificare a morfologiei albiei etc. [28].

Pentru modelarea numerică a unui curs de apă, în general este descrisă geometria albiei, a intervențiilor antropice din cursul de apă și este simulată curgerea apei prin rezolvarea ecuațiilor caracteristice [28] [57], ecuațiile generale de bilanț reprezentând instrumentele de bază ale mecanicii fluidelor pentru descrierea mișcării [58].

În domeniul apelor, după Sharp, modelarea hidraulică este fundamentată de modele fizice și numerice, principala diferență între acestea constând în faptul că un model numeric impune formularea ecuațiilor ce descriu fenomenul fizic, iar modelul fizic necesită identificarea forțelor care acționează și formularea parametrilor de similitudine [59]. Conform Bartha I. și col. [59], în prezent, tendința este de a utiliza ambele modele, calibrarea modelului numeric efectuându-se pe baza datelor obținute din modelul fizic.

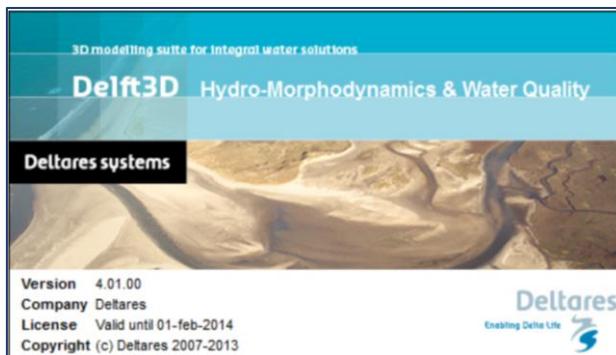


Figura 3.4. Fereastra de prezentare - *Delft3D*

*Delft3D* (figura 3.4) este un program performant utilizat în domeniul modelării quasi-tridimensionale aplicate în vederea investigării hidrodinamicii, transportului de sedimente, morfologiei și calității apei pentru cursuri de apă. Acest program a fost utilizat în peste 140 de țări pentru o mare varietate de proiecte comerciale și studii de cercetare [60].

Utilizarea programului *Delft3D* permite analiza și predicția dinamicii curgerii apei, atât bidimensional cât și quasi-tridimensional, în funcție de condițiile de intrare stabilite pe baza parametrilor determinanți ai albiei și ai curgerii apei. *Delft3D* oferă posibilitatea de a stabili variabilele hidrodinamice (viteze de curgere și cote ale apei, proprietăți de turbulentă, forță cu care apa acționează asupra albiei etc.), de a determina caracteristicile de transport al sedimentelor (concentrații de sedimente în suspensie, transportul de aluvioni, determinarea zonelor cu eroziuni sau depunerii etc.), de a analiza din punct de vedere hidromorfologic cursul de apă, de a modela parametri de calitate a apei etc. [61].

Suia de programe *Delft3D* este compusă dintr-un set de module (componente) care acoperă, fiecare, o serie de aspecte ale unei probleme de cercetare sau de inginerie. Fiecare modul poate fi executat independent sau în combinație cu unul sau mai multe alte module. Schimbul de informații între module este furnizat automat prin intermediul unui aşa-numit fișier de comunicare. În cadrul acestei cercetări au fost aplicate modulele *RGFGRID*, *QUICKIN*, *FLOW* și *QUICKPLOT*.

După efectuarea măsurătorilor din teren, prelevarea probelor și prelucrarea informațiilor în vederea obținerii datelor de intrare în program, pentru realizarea modelului numeric a fost necesar să se parcurgă următoarele etape:

- Construcția rețelei de calcul, aferente zonei de interes;
- Crearea modelului geometric al albiei, pe baza măsurătorilor din teren;

- Stabilirea parametrilor necesari rulării modelului, în funcție de obiectivele scenariului și de datele obținute în urma măsurătorilor/prelevărilor din teren;
- Calibrarea și validarea modelului numeric;
- Configurarea modelului morfohidrodinamic prin adăugarea constituentului - transport de sedimente;
- Crearea scenariilor propuse.

În vederea construcției rețelei de calcul a fost accesat modulul *Delft3D-RGFGRID*. În funcție de limitele ariei de interes, acest modul permite crearea, modificarea și vizualizarea gridurilor/rețelelor ce vor fi utilizate la dezvoltarea modelului geometric (utilizând modulul *Delft3D-QUICKIN*) și la simularea curgerii apei (folosind modulul *Delft3D-FLOW*) [62].

Programul oferă posibilitatea de a selecta rețeaua în care sunt rezolvate ecuațiile hidrodinamice: coordonate rectangulare, coordonate curbilinii ortogonale (limită selectată) sau coordonate sferice. În ceea ce privește simulările tridimensionale, pentru realizarea rețelei verticale au fost selectate  $\sigma$ -coordonate [63].

Ecuațiile curgerii apei în regim nepermanent, bidimensional sau quasi-tridimensional sunt rezolvate în cadrul modulului *FLOW*. Sistemul de ecuații este format din ecuațiile momentului orizontal, de continuitate, de transport, precum și de un model de închidere a turbulentei. Ecuația momentului pe verticală se reduce la relația de presiune hidrostatică, modulul *FLOW* având ca scop modelarea fenomenelor de curgere a căror lungime și scări de timp pe orizontală sunt semnificativ mai mari decât scăriile pe verticală [63].

Domeniul de curgere al unui model tridimensional este alcătuit dintr-un număr de straturi constant în zona orizontală de calcul [63].

Totodată, modulul *FLOW* permite modelarea transportului de sedimente pe baza ecuațiilor de advecție-difuzie.

### 3.3.1. Delft3D – Model hidrodinamic

Modelarea numerică a procesului de curgere și transport se realizează cu metoda diferențelor finite (MDF) care se bazează pe discretizarea ecuațiilor cu derivate parțiale ce se regăsesc în modelul matematic [64].

Pentru realizarea modelului hidrodinamic în cadrul modulului *FLOW* al programului *Delft3D*, au fost rezolvate ecuațiile *Navier Stokes* pentru un fluid incompresibil [65]. Ecuațiile *Navier-Stokes* (3.1) sunt de fapt ecuațiile generale de mișcare a fluidelor reale, compresibile, în mișcare laminară nepermanentă [66].

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + v \Delta u + \frac{\nu}{3} \frac{\partial \theta}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + v \Delta u + \frac{\nu}{3} \frac{\partial \theta}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + v \Delta u + \frac{\nu}{3} \frac{\partial \theta}{\partial z} \end{cases} \quad (3.1)$$

În care,

$$\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

$\eta$  viscozitate dinamică [ $m^2/s$ ];

$\rho$  densitatea [ $kg/m^3$ ].

În ecuațiile lui *Navier-Stokes* pentru mișcarea fluidelor reale, termenii negativi sunt componentele forței unitare de presiune, penultimii termeni ai ecuațiilor sunt componentele forței unitare de viscozitate, iar ultimii termeni sunt componentele forței unitare de compresibilitate [66].

Cu scopul de a obține un model numeric care să furnizeze rezultate cu înalt grad de încredere, este necesar ca modelul hidrodinamic creat să fie calibrat și validat în funcție de o serie de parametri hidraulici.

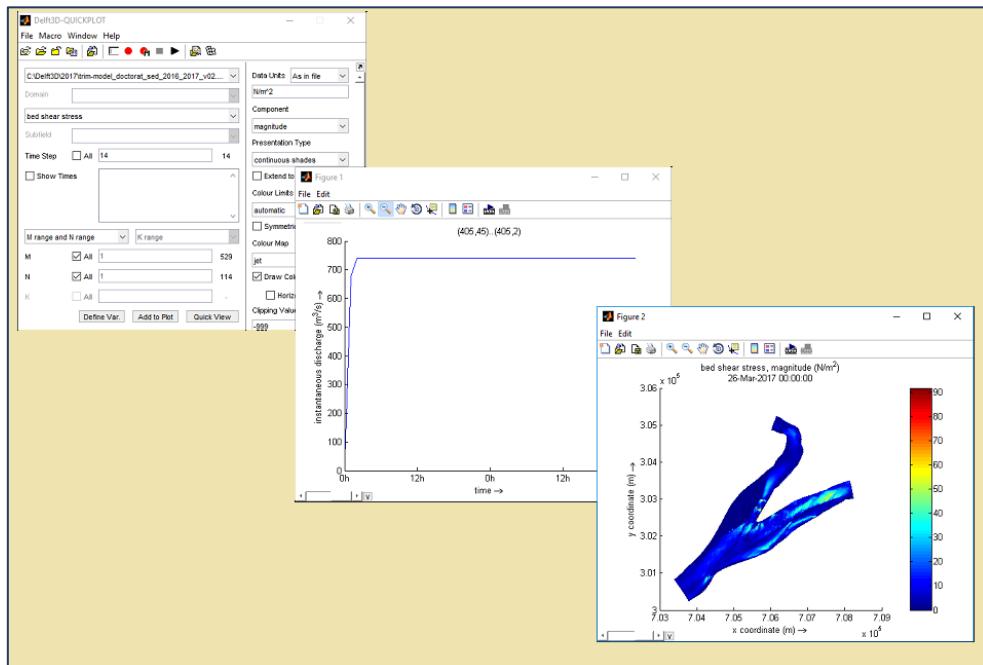


Figura 3.5. Vizualizarea rezultatelor - *Delft3D-QUICKPLOT*

Rezultatele obținute în urma rulărilor pot fi vizualizate cu ajutorul modulului *Delft3D-QUICKPLOT* (figura 3.5). Acesta permite accesarea unor seturi de date și rezultate, stabilirea straturilor și secțiunilor plotării, dar și exportul datelor obținute în diferite formate [67].

### 3.3.2. Delft3D – Model morfohidrodinamic

Modelarea numerică 2D/3D aplicată în hidraulică conduce la obținerea unei imagini a dinamicii curgerii apei, furnizând informații importante privind nivelurile, debitele și vitezele de curgere ale apei. Dacă sunt utilizate și date de sedimentologie, prin modelare numerică pot rezulta date calitative referitoare la procesele de eroziune/acumulare, forță prin care apa acționează asupra patului albiei, etc. Modelarea hidromorfologică ține cont de toți parametrii care pot influența dinamica de curgere și dinamica morfologică a albiei (debit, nivel, tipuri de sediminte, rugozitate a albiei etc.) [65].

În vederea configurării modelului morfohidrodinamic este necesar să se stabilească următoarele caracteristici:

- dimensiunea diametrului sedimentelor;
- formula de transport a sedimentelor;
- tronsoanele active din punct de vedere morfologic, din sectorul studiat;
- condițiile hidrodinamice utilizate în modelarea numerică;
- alte date privind datele de intrare necesare rulării modelului morfohidrodinamic.

Programul *Delft3D* permite efectuarea analizelor privind transportul de sediminte atât pentru sediminte în suspensie, cât și pentru cele tărâte, pentru cele coeze, dar și pentru cele necoeze.

Transportul tridimensional al sedimentelor în suspensie se calculează prin rezolvarea ecuației tridimensionale de advecție-difuzie [65]:

$$\frac{\partial c^{(l)}}{\partial t} + \frac{\partial u c^{(l)}}{\partial x} + \frac{\partial v c^{(l)}}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s^{(l)}) c^{(l)}}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \varepsilon_{s,x}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \varepsilon_{s,y}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \varepsilon_{s,z}^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial z} \right) = 0 \quad (3.2)$$

În care,

$c^{(l)}$	concentrația masică a fracției de sediment (l) [kg/m <sup>3</sup> ]
$u, v, w$	componentele vitezei currentului de apă [m/s]
$\varepsilon_{s,x}^{(l)}, \varepsilon_{s,y}^{(l)}, \varepsilon_{s,z}^{(l)}$	difuzivitatea fracției de sediment (l) [m <sup>2</sup> /s]
$w_s^{(l)}$	viteza de depunere a fracției de sediment l [m/s]

Vitezele currentului de apă și difuzivitatea se bazează pe rezultatele obținute din calculele hidrodinamice.

În calculul transportului tridimensional de sedimente se iau în considerare și procese precum efectul pe care sedimentele le au asupra densității fluidului și viteza de depunere a sedimentelor. Totodată, în aceste analize, există posibilitatea ca sedimentele transportate să influențeze modificarea geometriei modelului analizat, fapt ce conduce la modificarea calculelor hidrodinamice. Mai mult, prezența simultană a mai multor fracții de sedimente în suspensie influențează calculul vitezei de sedimentare [65].

În mod implicit, modulul programului *Delft3D-FLOW* folosește relația empirică formulată de UNESCO pentru a determina efectul sedimentelor asupra densității fluidului. Relația se obține prin adăugarea (pe unitatea de volum) a masei tuturor fracțiilor de sedimente și scăderea masei apei deplasate. Ca o afirmație matematică, aceasta se traduce astfel [65]:

$$\rho_{mix}(S, c^{(l)}) = \rho_w(S) + \sum_{l=1}^{lsed} c^{(l)} \left( 1 - \frac{\rho_w(S)}{\rho_s^{(l)}} \right) \quad (3.3)$$

În care,

$\rho_w(S)$	densitatea specifică a apei cu concentrația salinității S [kg/m <sup>3</sup> ]
S	concentrația salinității [ppt]
$\rho_s^{(l)}$	densitatea specifică a fracției de sediment (l) [kg/m <sup>3</sup> ]
$lsed$	numărul fracțiilor de sedimente

În ceea ce privește calculul vitezei de depunere a sedimentelor, programul utilizează formula Richardson și Zaki (1954), prin care este determinată viteza de sedimentare într-un amestec fluid-sediment ca o funcție a concentrației sedimentelor și a vitezei de cădere [65].

$$w_s^{(l)} = \left( 1 - \frac{c_s^{tot}}{c_{soil}} \right)^5 w_{s,0}^{(l)} \quad (3.4)$$

În care,

$c_{soil}$	densitatea de referință [kg/m <sup>3</sup> ]
$w_{s,0}^{(l)}$	fracția de sedimente specifică vitezei de depunere

Referitor la sedimentele coeziive, acest program utilizează o serie de formule de transport, prezentate în tabelul 3.1.

Tabel 3.1. Relații de calcul utilizate pentru transportul de sedimente de către programul *Delft3D*

Nr. crt.	Formula	Aluviuni	Valuri
1	Van Rijn (1993)	Sedimente tărâte + Sedimente în suspensie	DA
2	Engelund-Hansen (1967)	Transport total	NU
3	Meyer-Peter-Muller (1948)	Transport total	NU
4	Formula generală	Transport total	NU
5	Bijker (1971)	Sedimente tărâte + Sedimente în suspensie	DA
6	Van Rijn (1984)	Sedimente tărâte + Sedimente în suspensie	NU

Nr. crt.	Formula	Aluviuni	Valuri
7	Soulsby/Van Rijn	Sedimente tărâte + Sedimente în suspensie	DA
8	Soulsby	Sedimente tărâte + Sedimente în suspensie	DA
9	Ashida Michiue (1974)	Transport total	NU

În cazul prezentei cercetări a fost utilizată, în mod implicit, formula Van Rijn (1993) [65]. Prin aplicarea relației implicate, concentrația de referință este calculată conform Van Rijn (2000), astfel [65]:

$$c_a^{(l)} = 0,015 \rho_s^{(l)} \frac{D_{50}^{(l)} (T_a^{(l)})^{1,5}}{a(D_*^{(l)})^{0,3}} \quad (3.5)$$

În care,

$c_a^{(l)}$  concentrația masică la înălțimea de referință Van Rijn „a” (figura 3.6) [kg/m<sup>3</sup>]

$D_*^{(l)}$  diametrul non-dimensional al unei particule [-]

$D_{50}^{(l)}$  diametrul median al sedimentelor [m]

$$D_*^{(l)} = D_{50}^{(l)} \left[ \frac{(s^{(l)} - 1)g}{v^2} \right]^{1/3} \quad (3.6)$$

$T_a^{(l)}$  efortul de forfecare a patului albiei, non-dimensională [-]

$$T_a^{(l)} = \frac{(\mu_c^{(l)} \tau_{b,cw} + \mu_w^{(l)} \tau_{b,w}) - \tau_{cr}^{(l)}}{\tau_{cr}^{(l)}} \quad (3.7)$$

În care,

$\mu_c^{(l)}$  eficiența factorului curent [-]

$$\mu_c^{(l)} = \frac{f'_c^{(l)}}{f_c} \quad (3.8)$$

$f'_c^{(l)}$  factor de frecare [-]

$$f'_c^{(l)} = 0,24 \left[ \lg \left( \frac{12h}{3D_{90}^{(l)}} \right) \right]^{-2} \quad (3.9)$$

$f_c$  factorul total de frecare asociat curentului [-]

$$f_c = 0,24 \left[ \lg \left( \frac{12h}{k_s} \right) \right]^{-2} \quad (3.10)$$

$\tau_{b,cw}$  efortul de forfecare al patului albiei datorită prezenței curentului de apă [N/m<sup>2</sup>]

$$\tau_{b,cw} = u_*^2 \rho_w \quad (3.11)$$

$\mu_w^{(l)}$  factorul de eficiență a valurilor [-]

$$\mu_w^{(l)} = \max(0,063, \frac{1}{8} (1,5 - \frac{H_s}{h})^2) \quad (3.12)$$

$\tau_{b,w}$  efortul de forfecare datorită prezenței valurilor [N/m<sup>2</sup>]

$$\tau_{b,w} = \frac{1}{4} \rho_w f_w (\hat{U}_\delta)^2 \quad (3.13)$$

$f_w$  factorul total de frecare asociat valurilor [-]

$$f_w = \exp \left[ -6 + 5,2 \left( \frac{\hat{U}_\delta}{k_{s,w}} \right)^{-0,19} \right] \quad (3.14)$$

$k_{s,w}$  rugozitatea relativă a valurilor [m]

$$k_{s,w} = RWAVE \Delta_r, \text{ în care } \Delta_r = 0,025 \text{ și } 0,01 \leq k_{s,w} \leq 0,1 \text{ m} \quad (3.15)$$

RWAVE factorul de ajustare a rugozității valurilor. Se recomandă să aparțină intervalului 1-3

$$\tau_{cr}^{(l)} \text{ efortul critic la forfecare a patului albiei [N/m\textsup2]} \\ \tau_{cr}^{(l)} = (\rho_s^{(l)} - \rho_w) g D_{50}^{(l)} \theta_{cr}^{(l)} \quad (3.16)$$

$$\theta_{cr}^{(l)} \text{ parametru de prag, calculat în funcție de dimensiunea particulelor} \\ \theta_{cr}^{(l)} = \begin{cases} 0,24D_*^{-1}, & 1 < D_* \\ 0,14D_*^{-64}, & 4 < D_* \leq 10 \\ 0,04D_*^{-0,1}, & 10 < D_* \leq 20 \\ 0,013D_*^{-0,29}, & 20 < D_* \leq 150 \\ 0,055, & 150 < D_* \end{cases} \quad (3.17)$$

$$\hat{A}_\delta \text{ abaterea orbitală maximă a patului albiei [m]} \\ \hat{A}_\delta = \frac{T_p \hat{U}_\delta}{2\pi} \quad (3.18)$$

$$D_{90}^{(l)} \text{ 90% din dimensiunea sedimentelor [m]} \\ D_{90}^{(l)} = 1,5D_{50}^{(l)} \quad (3.19)$$

$h$  adâncimea apei [m]  
 $\hat{U}_\delta$  abaterea maximă a vitezei apei la patul albiei [m/s]

În ceea ce privește ajustarea diametrului sedimentelor în suspensie, se utilizează relația:

$$D_s^{(l)} = \begin{cases} 0,64D_{50}^{(l)} & \text{pentru } T_A^{(l)} \leq 1 \\ D_{50}^{(l)} [1 + 0,015(T_A^{(l)} - 25)] & \text{pentru } 1 < T_A^{(l)} \leq 25 \\ D_{50}^{(l)} & \text{pentru } 25 < T_A^{(l)} \end{cases} \quad (3.20)$$

În care,

$T_A^{(l)}$  efortul forfecare a patului albiei, non-dimensională

Pentru determinarea debitului de aluvioni tărâte se aplică metoda Van Rijn (2003), prin care magnitudinea transportului încărcătorii patului albiei se calculează astfel:

$$|S_b| = 0,006\rho_s w_s D_{50}^{(l)} M^{0,5} M_e^{0,7} \quad (3.21)$$

În care,

$S_b$  transportul de fund [kg/m/s]  
 $M$  numărul mobilității sedimentelor datorită valurilor și curentului  
 $M_i$  numărul mobilității sedimentelor în exces

În cazul în care materialul albiei nu este uniform, pe baza măsurătorilor, Van Rijn (1993) a concluzionat că  $D_s^{(l)}$  ar trebui să reprezinte între 60% și 100% din  $D_{50}$  al materialului albiei. Dacă materialul patului albiei este bine sortat, trebuie luată în considerare utilizarea mai multor fracții de sedimente pe sectorul analizat, pentru a crește acuratețea modelului [65].

În ceea ce privește calculul coeficientului referitor la dispersia sedimentelor necoezive, programul *Delft3D* utilizează două expresii: modelul algebric sau turbulentă k-L, în care se pot lua sau nu în considerare valurile și modelul de turbulentă k-ε [65].

Referitor la analiza proceselor de eroziune și depunere a sedimentelor necoezive, transferul sedimentelor între patul albiei și curentul de apă este modelat utilizând sursa ce acționează asupra stratului inferior care este în întregime deasupra cotei de referință *Van Rijn „a”*. Stratul este identificat ca strat de referință și este notat cu  $k_{mx}$  (figurile 3.6 și 3.7). Concentrația sedimentelor din stratul/straturile care se află sub  $k_{mx}$  se presupune că se ajustează rapid la aceeași concentrație cu cea a stratului de referință [65].

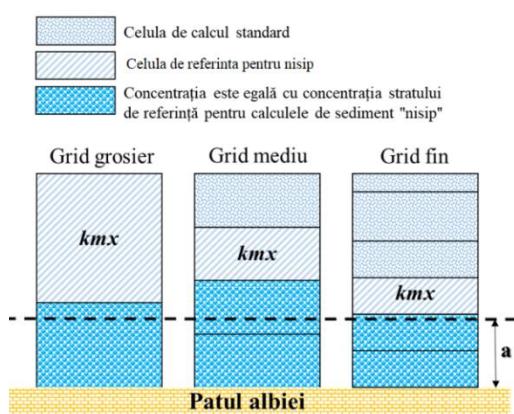


Figura 3.6. Selectarea stratului  $k_{mx}$  – prelucrare după Deltares, 2014 [65]

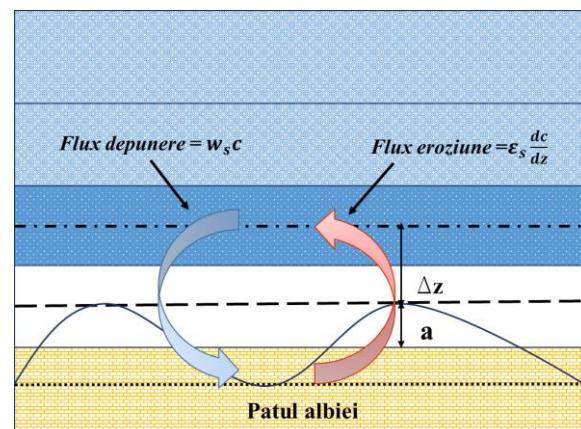


Figura 3.7. Schemă privind condițiile la limită ale curentului de apă - prelucrare după Deltares, 2014 [65]

Prin utilizarea formulei Van Rijn (2000), concentrația fracției de sediment se calculează după formula:

$$c^{(l)} = c_a^{(l)} \left[ \frac{a(h-z)}{z(h-a)} \right]^{A^{(l)}} \quad (3.22)$$

În care:

- $c^{(l)}$  concentrația fracției de sedimente ( $l$ ) [ $\text{kg/m}^3$ ];
- $c_a^{(l)}$  concentrația de referință a fracției de sedimente ( $l$ ) [ $\text{kg/m}^3$ ];
- $a$  înălțimea de referință Van Rijn [m];
- $h$  adâncimea apei [m];
- $z$  elevația deasupra albiei [m];
- $A^{(l)}$  numărul Rouse.

În ceea ce privește fluxul de eroziune datorat difuziei ascendentă, difuzia ascendentă a sedimentelor prin patul stratului  $k_{mx}$  este dată de expresia:

$$E^{(l)} = \varepsilon_s^{(l)} \frac{\partial c^{(l)}}{\partial z} \quad (3.23)$$

În care  $\varepsilon_s^{(l)}$  și  $\frac{\partial c^{(l)}}{\partial z}$  sunt evaluate la nivelul stratului  $k_{mx}$ . Această expresie este aproximată prin:

$$E^{(l)} \approx \alpha_2^{(l)} \varepsilon_s^{(l)} \left( \frac{c_a^{(l)} - c_{k_{mx}}^{(l)}}{\Delta z} \right) \quad (3.24)$$

În care:

- $\alpha_2^{(l)}$  factorul de corecție al concentrației sedimentelor [-];
- $\varepsilon_s^{(l)}$  coeficientul de difuzie evaluat la patul celulei  $k_{mx}$  a fracției de sedimente ( $l$ ) [ $\text{m}^2/\text{s}$ ];
- $c_a^{(l)}$  concentrația de referință a fracției de sedimente ( $l$ ) [ $\text{kg/m}^3$ ];
- $c_{k_{mx}}^{(l)}$  media concentrației fracției de sedimente ( $l$ ) din celula  $k_{mx}$  [ $\text{kg/m}^3$ ];
- $\Delta z$  diferența în evaluarea dintre centrul celulei  $k_{mx}$  și cota de referință Van Rijn [m]

$$\Delta z = z_{k_{mx}} - a$$

Depunerea sedimentelor prin patul stratului  $k_{mx}$  este dată de expresia:

$$D^{(l)} = w_s^{(l)} c_{k_{mx}(bot)}^{(l)} \quad (3.25)$$

În care  $w_s^{(l)}$  și  $c_{k_{mx}(bot)}^{(l)}$  sunt evaluate la patul stratului  $k_{mx}$ .

Se stabilește că:

$$c_{k_{mx}(bot)}^{(l)} = \alpha_1^{(l)} c_{k_{mx}}^{(l)} \quad (3.26)$$

Fluxul de depunere este aproimat de expresia:

$$D^{(l)} \approx \alpha_1^{(l)} c_{k_{mx}}^{(l)} w_s^{(l)} \quad (3.27)$$

### 3.4. Analiza stării ecologice a corpurilor de apă

Evaluarea calității apelor de suprafață s-a efectuat prin monitorizarea indicatorilor menționați în Anexa Ordinului 161/2006 pentru aprobarea „Normativul privind clasificarea calității apelor de suprafață în vederea stabilirii stării ecologie a corpurilor de apă”.

Probele de apă și de sedimente au fost prelevate conform standardelor în vigoare și fiecare probă a fost împărțită în mai multe eșantioane din care s-au analizat indicatorii fizico-chimici specifici (figura 3.8).



Prelevarea probelor de apă



Prelevarea probelor de sedimente



Probe de apă



Probe de sedimente

Figura 3.8. Prelevarea probelor de apă și de sedimente [68]

Probele de sediment au fost recoltate de pe malul stâng și malul drept al secțiunilor transversale de analiză, utilizându-se un prelevator special. Pentru asigurarea unui nivel ridicat de încredere al monitorizării, probele de apă au fost prelevate din 3 puncte localizate pe secțiunile transversale de analiză – mal stâng, mal drept și firul apei.

Tehnicile analitice utilizate în analiza parametrilor de calitate a apei sunt prezentate în tabelul 3.2.

Tabel 3.2. Lista parametrilor fizico – chimici ai apei - Tehnicile analitice utilizate [69]

Parametru	Unitate de măsură	Tehnicile analitice utilizate
Temperatură	°C	Termometru
pH	unitate pH	pH-metru
Debit al apei	m <sup>3</sup> /s	River Surveyor M9
Oxigen dizolvat	mg O <sub>2</sub> /l	Metoda Winkler
Saturație oxigen	%	Calculată pe baza OD și T
Consumul biochimic de oxigen	mg O <sub>2</sub> /l	Incubație, Metoda Winkler
Consumul chimic de oxigen	mg O <sub>2</sub> /l	Titrimetric după oxidare acidă în prezență de

Parametru	Unitate de măsură	Tehnicile analitice utilizate
Indice de permanganat	mg O <sub>2</sub> /l	dicromat Titrimetric după oxidare acidă în prezență de permanganat
Azot amoniacal	mg/l	Nitroprusiat de sodiu, spectrometrie
Nitriți	mg/l	4-amino benzen sulfonamidă, spectrometrie
Nitrați	mg/l	Acid sulfosalicilic, spectrometrie
Azot total	mg/l	Titrimetrică după mineralizare și distilare
Ortofosfați	mg/l	Molibdat de amoniu, spectrometrie
Fosfor total	mg/l	Oxidare cu peroxodisulfat, molibdat de amoniu, spectrometrie
Indice fenolic	mg/l	4-amino antipirină, extractie în cloroform, spectrometrie
Substanțele active din albastru de metilen	mg/l	Albastru de metilen, extractie în cloroform, spectrometrie
Clorofila „a”	mg/l	Extractie în etanol, spectrometrie
Metale grele	mg/l, µg/L	Spectrometrie de absorbție atomică

În vederea analizei influenței pe care anrocamentele din corpul construcțiilor hidrotehnice o pot avea asupra apei și sedimentelor, probele de rocă au fost concasate (figura 3.9) și supuse unui test de solubilizare, în dispozitivul de centrifugare din figura 3.10. Raportul rocă/apă distilată a fost de 1/2.



Figura 3.9. Concasaarea rocilor



Figura 3.10. Testul de solubilizare

În vederea realizării investigațiilor privind morfologia și tendințele de modificare ale patului albiei a fost necesar să fie prezентate elementele fundamentale ce caracterizează o parte din tehniciile, echipamentele și programele utilizate pentru elaborarea cercetării. Respectarea tehniciilor și metodelor de realizare a măsurătorilor, calitatea echipamentelor utilizate, precum și gradul de performanță al programelor utilizate pentru simulările numerice, au o importanță deosebită în ceea ce privește calitatea și veridicitatea rezultatelor obținute în cadrul studiului. Rezultatele obținute în urma colaborării cu echipa de monitorizare și infrastructura pusă la dispoziție de INCDPM întrunesc premisele necesare pentru a asigura obținerea și prelucrarea unor serii de date utile în evaluarea impactului antropic al componentelor ecosistemelor acvatice, prin intermediul simulărilor numerice.

În figura 3.11 sunt descrise etapele parcurse în vederea realizării cercetărilor privind tendințele de evoluție ale patului albiei, pe un sector al Dunării Inferioare.

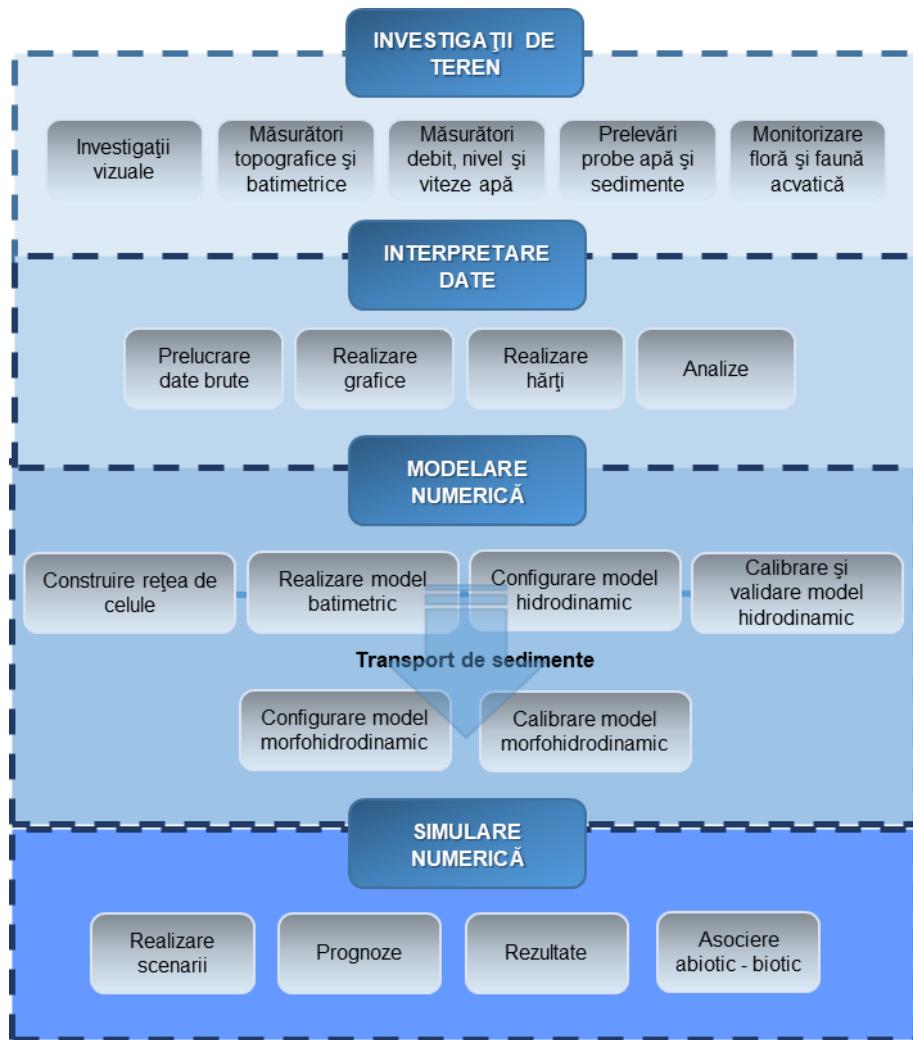


Figura 3.11. Etapele parcuse în vederea elaborării studiului de cercetare

## Capitolul 4. CARACTERIZAREA ZONEI DE STUDIU

În vederea evaluării impactului antropic asupra componentelor ecosistemelor acvatice, este necesar să fie caracterizate condițiile de referință. În acest sens, în cele ce urmează sunt prezentate caracteristicile sectorului cursului de apă studiat în prezenta lucrare.

Fluiul Dunărea este al doilea, ca mărime din Europa, după Volga. Dunărea are o importanță deosebită pentru România, țara aflându-se aproape în întregime în bazinul Dunării, acoperind circa o treime din suprafața bazinului și din lungimea totală a cursului de apă [70].

Pe tot parcursul dintre sursă (Munții Pădurea Neagră, Germania) și delta din Marea Neagră (România), fluviul are o deschidere predominantă către direcția sud-estică având o lungime totală de 2857 km. Ca urmare a suprafeței vaste și a reliefului divers acoperit de către bazinul său hidrografic ( $817000 \text{ km}^2$ ), Dunărea se caracterizează prin prezența a numeroase sectoare cu habitate excepționale (Natura 2000) și cu o biodiversitate recunoscută la nivel mondial [51]. Bogăția habitatelor, a florei și a faunei califică fluviul Dunărea drept un punct central pentru conservarea biodiversității în Europa Centrală și de Sud-Est [71].

În funcție de caracteristicile geomorfologice, construcțiile hidrotehnice și impactul acțiunilor antropice, conform lui Kresser și Lászlóffy (1964) [72], bazinul Dunării este împărțit astfel (figura 4.1):

- *Dunărea superioară* de la izvoare până la Bratislava, are o lungime de cca. 1021 km. Pe acest sector, rețeaua hidrografică este densă, debitele fluviului fiind influențate de aportul affluentelor;
- *Dunărea mijlocie* se desfășoară între Bratislava și barajul Portile de Fier I și are o lungime de cca. 764 km. Pe acest sector, bazinul său hidrografic se mărește de cca. 3 ori, debitul său crescând de la  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  (Bratislava) la cca.  $4500 \text{ m}^3/\text{s}$  (Baziaș);
- *Dunărea inferioară* între Baziaș și Marea Neagră, are lungime de 1075 km;
- *Delta Dunării* de la finalul zonei de câmpie a bazinului acoperă o zonă de aproximativ  $3446 \text{ km}^2$ .



Figura 4.1. Bazinul hidrografic al Dunării [73]

Sectorul Dunării, cuprins între Călărași și Brăila (km 375 – km 175) (figura 4.2) face parte din corridorul Pan-European nr. VII, asigurând legătura între Dunărea fluvială și canalul navigabil Dunăre – Marea Neagră. Având în vedere poziția strategică a Dunării ca și corridor de transport din porturile fluviale până în portul Constanța, este necesar să fie asigurate condițiile de navigație [34] [51].

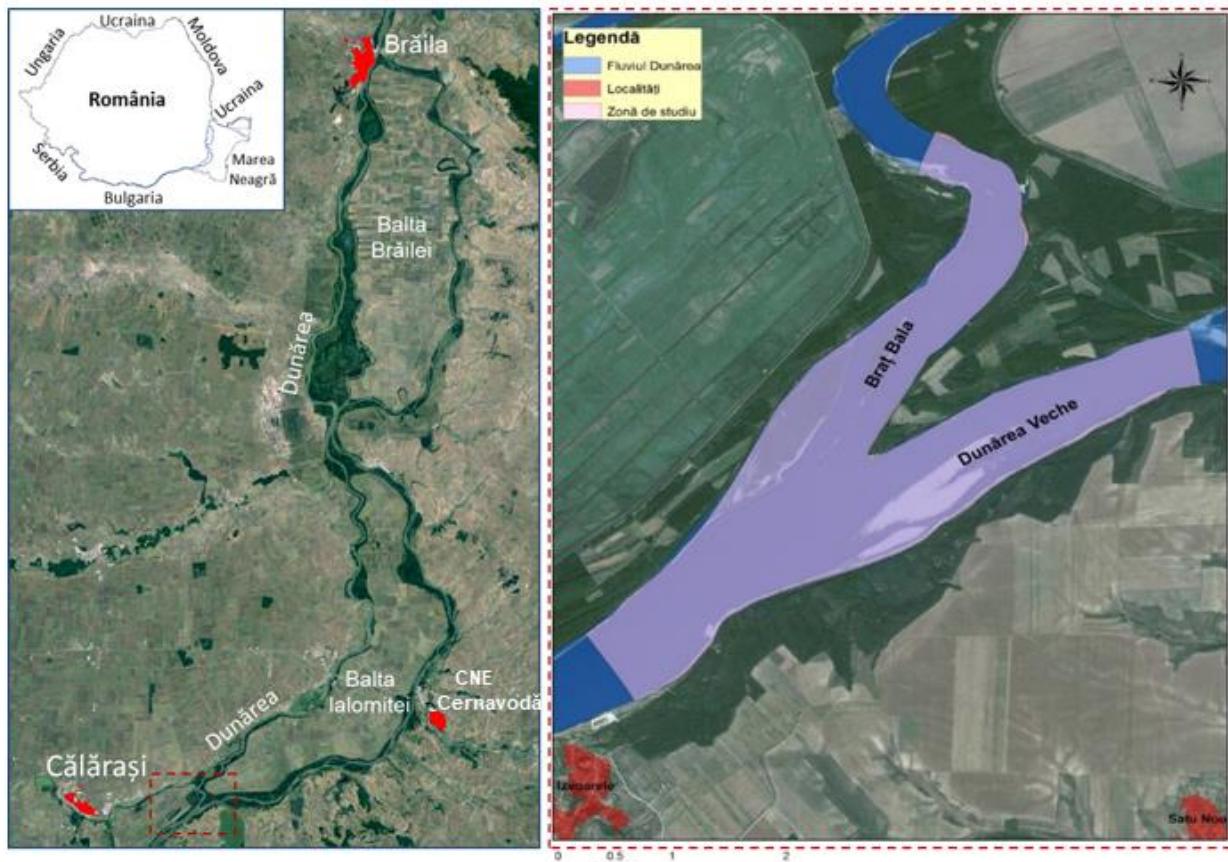


Figura 4.2. Sectorul Dunării, cuprins între Călărași și Brăila. Localizarea zonei de studiu – bifurcația braț Bala – Dunărea Veche

Având în vedere faptul că în timpul perioadei de vară-toamnă, debitele de apă se reduc considerabil pe acest sector al fluviului, pe principalul braț al Dunării - Dunărea Veche între km 346 și km 300, nu mai este asigurată adâncimea minimă pentru o perioadă medie de 160 zile în fiecare an, adâncimea șenalului fiind redusă în unele zone până la 1,5 – 2,0 m [47] [74]. Acest lucru conduce la devierea navegației pe ruta secundară Bala-Borcea, care preia un debit mai mare de apă și are adâncimi mai mari față de Dunărea Veche, dar care, pe de altă parte, prezintă inconveniente legate de lățimea șenalului și de curbura acestuia [74].

Totodată, debitele de pe brațul principal al Dunării, condiționează preluarea volumului de apă necesar pentru răcirea celor 4 unități ale Centralei Nuclearoelectrice Cernavodă (figura 4.2). Astfel, pe lângă problemele apărute în navigație, debitele scăzute pe Dunărea Veche influențează funcționalitatea centralei, reducând disponibilitatea de asigurare a apei de răcire pentru CNE Cernavodă [75].

Astfel, au fost propuse o serie de lucrări hidrotehnice prin care să se asigure condițiile optime de navigație pe Dunărea Veche. În zona studiată în prezentă cercetare, aceste construcții sunt reprezentate de: un prag de fund, dig de dirijare și protecție de mal, toate realizate pe brațul Bala (figura 4.3) [76] [51].

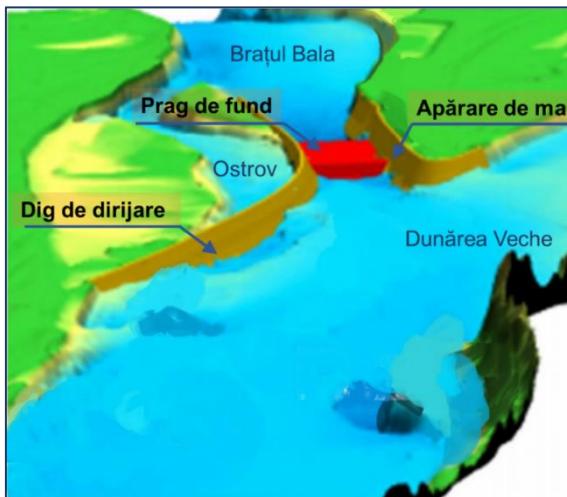


Figura 4.3. Detaliu privind intervențiile antropice în zona de bifurcație braț Bala – Dunărea Veche – prelucrare după BOKU IWHW, 2015 [77]

#### 4.1. Localizarea zonei de studiu

Arealul studiat în prezenta cercetare este reprezentat de bifurcația braț Bala – Dunărea Veche, ce face parte din sectorul Dunării. Acesta se desfășoară pe o lungime de cca. 5 km pe Dunărea Veche și de cca. 2,5 km pe brațul Bala (figura 4.4).



Figura 4.4. Zona de bifurcație brațul Bala – Dunărea Veche [34]

Sectorul investigat aparține tronsonului dunărean denumit Călărași - Vadu Oii, care este situat în Podișul Oltinei. La limita amonte a zonei de studiu, pe malul drept al fluviului Dunărea se regăsește localitatea Izvoarele, ce aparține comunei Lipnița, localizată în sud-vestul județului Constanța [78].

#### 4.2. Caracteristici fizico-geografice

Pentru analiza factorilor fizico-geografici au fost utilizate date istorice preluate din literatura de specialitate și date înregistrate pe parcursul perioadei de monitorizare, fiind investigată atât zona de bifurcație braț Bala – Dunărea Veche, cât și arealul adiacent acestiei – tronsonul Dunării cuprins între Călărași și Brăila. Perioada de monitorizare s-a desfășurat pe o perioadă de 7 ani, fiind segmentată în funcție de următoarele etape: anterioară construcțiilor, construcția structurilor hidrotehnice și după finalizarea lucrărilor, conform figurii 4.5.

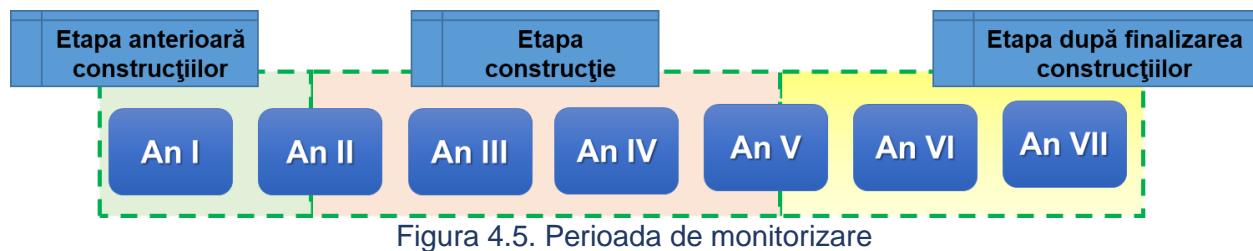


Figura 4.5. Perioada de monitorizare

#### 4.2.1. Relieful terenului

Sectorul Călărași – Vadu Oii este situat între Podișul Dobrogei la est și câmpia înaltă a Hagienilor la vest [74].

Sectorul de luncă se desfășoară ca un arc de cerc, pe o lungime de 100 km, cu o lățime de 5-6 km în partea de sud ce crește până la 15 km între Fetești și Cernavodă îngustându-se din nou spre Vadu Oii. Sectorul Vadu Oii – Brăila este situat între Podișul Dobrogei la est și Câmpia joasă a Brăilei la vest, având o desfășurare alungită de la sud spre nord, pe o lungime de 60 km, cu o lățime maximă de 20 km [74].

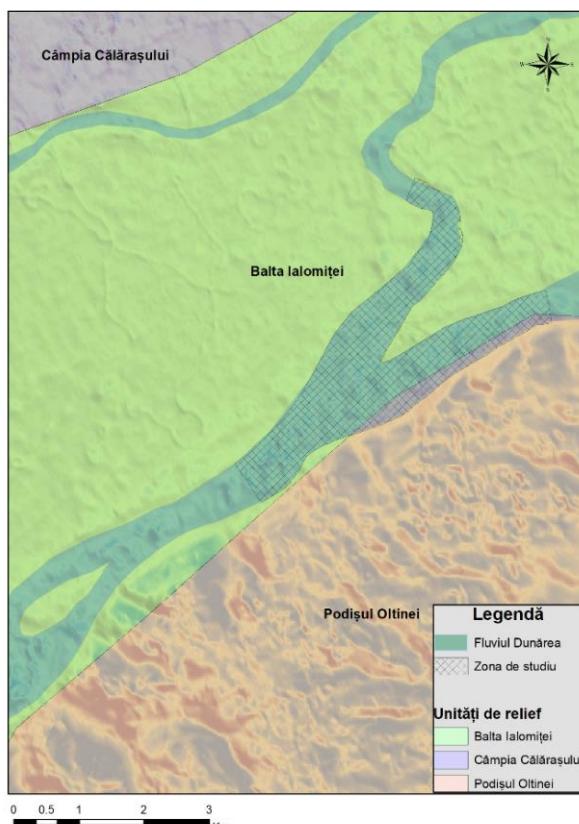


Figura 4.6. Relieful zonei de studiu

Sectorul studiat în prezența lucrare este localizat între Podișul Oltinei (subunitate a Podișului Dobrogei) și balta Ialomiței (figura 4.6).

#### 4.2.2. Relieful albiei

În cadrul cercetării, au fost realizate ridicări batimetriche în zona de bifurcație brațul Bala – Dunărea Veche. Aceste activități au fost efectuate pe o perioadă de 7 ani.

Măsurările *multibeam* au constat în realizarea mai multor profile transversale proiectate pe toată lățimea albiei, cu scopul de a avea un grad cât mai mare de acoperire al acesteia (figura 4.7).



Figura 4.7. Rezultate obținute în urma prelucrării măsurătorilor batimetrice *multibeam*

După cum se poate observa în figura 4.8, rezultatele obținute în urma prelucrărilor batimetrice de tip *multibeam* oferă o imagine tridimensională clară a patului albiei, rezoluția spațială a punctelor de 1x1 m asigurând reprezentarea detaliilor privind construcțiile hidrotehnice.

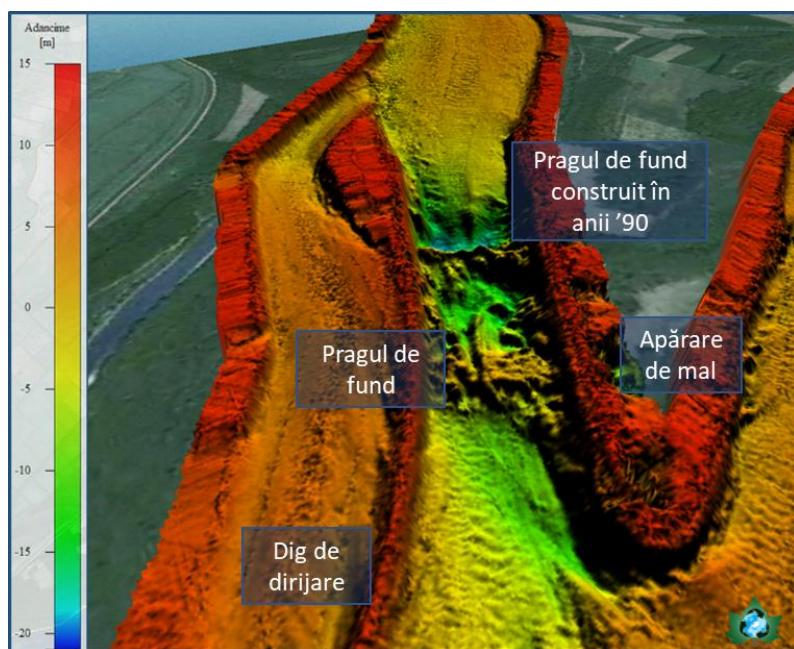


Figura 4.8. Detaliu ridicări batimetrice în dreptul pragului de fund, braț Bala

Calitatea datelor rezultate din astfel de măsurători este esențială în ceea ce privește monitorizarea intervențiilor antropice, determinarea habitatelor acvatice și realizarea investigațiilor privind interdependența dintre factorii biotici și abiotici.

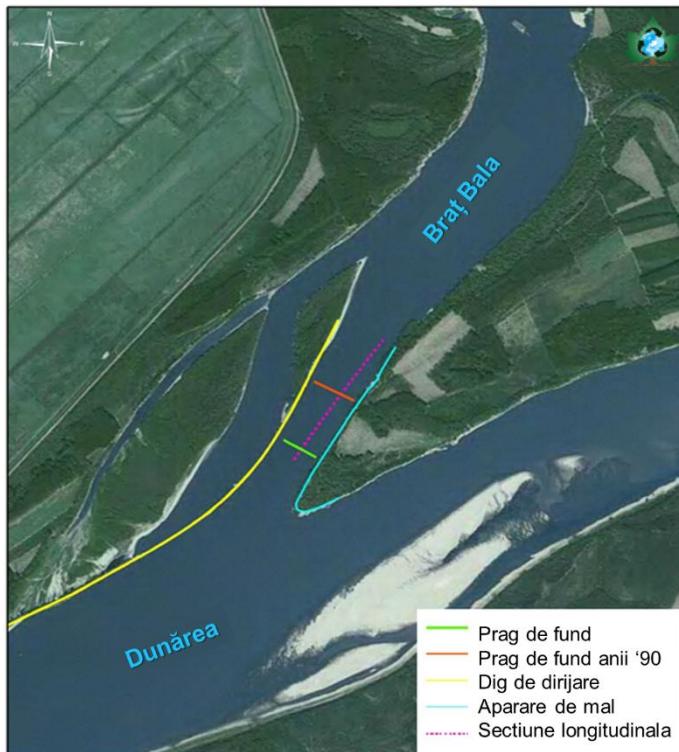


Figura 4.9. Reprezentarea secțiunii longitudinale de analiză [79]

Pe parcursul anilor de studiu, având la bază datele prelucrate din măsurătorile batimetriche, a fost investigat patul albiei înainte și după execuția lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație. Un exemplu în care a fost analizată o secțiune transversală (figura 4.9) localizată pe brațul Bala este prezentat în figura 4.10

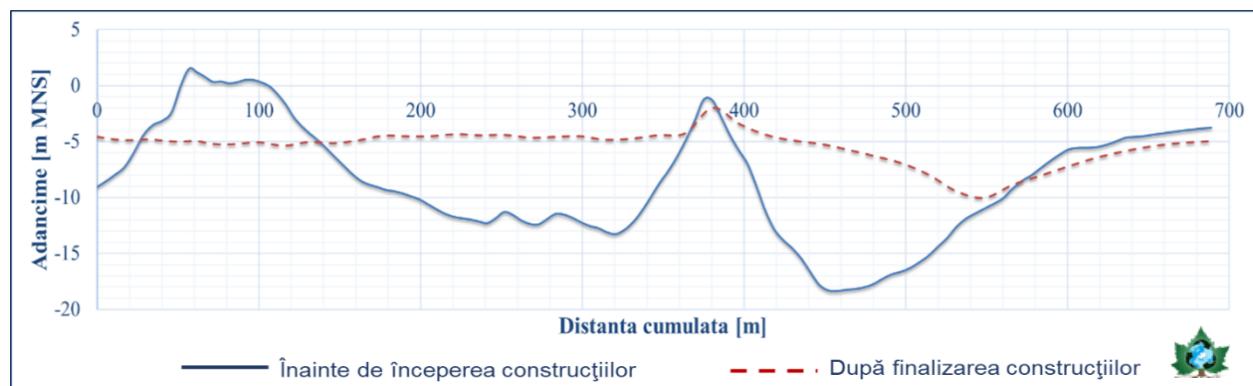


Figura 4.10. Secțiune longitudinală reprezentând patul albiei înainte de începerea construcțiilor și după finalizarea construcțiilor hidrotehnice – braț Bala [79]

Se poate observa că în urma execuției pragului de fund, aval de acesta s-a format o groapă de eroziune. Totodată, în urma proceselor de erodare-depunere a albiei, a fost schimbată geometria construcției realizate la începutul anilor '90. Imediat aval de acesta s-a format o nouă groapă de eroziune, după care, în urma depunerilor, este vizibilă o supraînălțare a patului albiei de cca. 1 m (figura 4.10) [79].

#### 4.2.3. Geologie

Zona studiată în prezența lucrare face parte din arealul Călărași, ce aparține, din punct de vedere geologic Platformei moesică. Această unitate structurală corespunde, la nord de Dunăre, cu unitatea morfologică denumită Câmpia Română, iar spre est cu teritoriul Dobrogei meridionale. Cuvertura acestei unități cuprinde depozite paleozoice. La sud-est de Dunăre, pe teritoriul Dobrogei meridionale, sunt caracteristice depozitele cretacice și neogene, iar în partea nordică a fluviului sunt prezente depozitele cuaternare [80].

Din punct de vedere geologic, malul stâng al brațului Bala constă în mare parte din depozite de terasă joasă (nisipuri, nisipuri argiloase de luncă, nisipuri de dune), iar malul drept din depozite de platou înalt (loess argile, nisip, pietriș) [51].

În figura 4.11 este reprezentată o secțiune geologică în depozite cuaternare între Ciocchina și S.Canală și o secțiune geologică între Ciocchina și S. Lipnița. Aceste secțiuni includ zona de studiu.

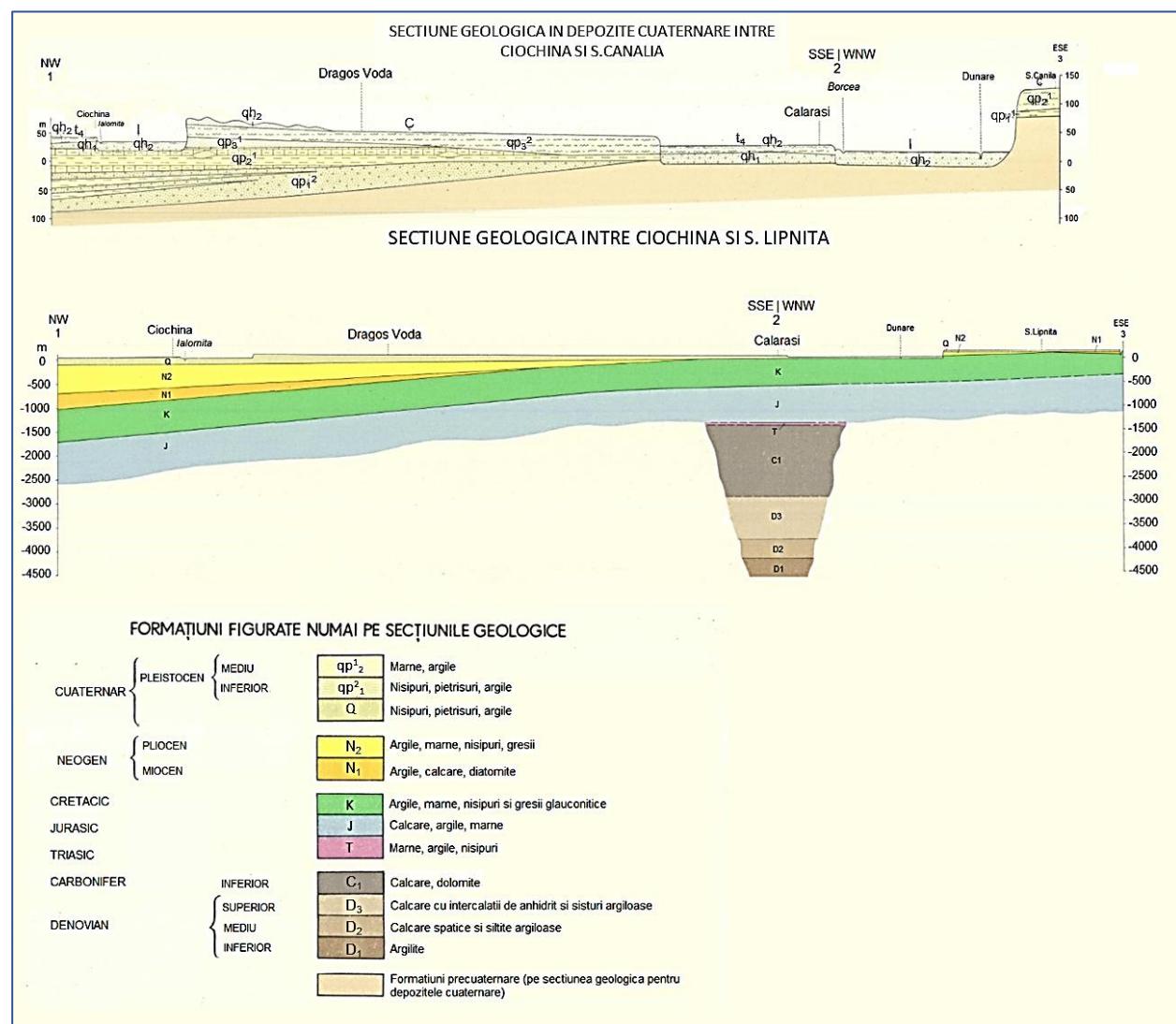


Figura 4.11. Secțiune geologică în depozite cuaternare între Ciocchina și S.Canală.  
 Secțiune geologică între Ciocchina și S. Lipnița – prelucrare după Harta geologică 1:200.000.  
 Călărași [80]

În zona corespunzătoare malului drept al Dunării/Dunării Vechi sunt prezente următoarele formațiuni geologice: dacian (dc), levantin (lv), pleistocen inferior (qp<sub>1</sub><sup>1</sup>) și mediu superior (qp<sub>2-3</sub><sup>2</sup>). Zona malului stâng Dunării și al brațului Bala este caracterizată prin holocen

superior ( $qh_2$ ). Aceeași formațiune geologică (holocen superior) este regăsită și în zona dintre brațul Bala și Dunărea Veche [80].

**Dacianul (dc)** este alcătuit din nisipuri micacee, de culoare cenușie în bază și gălbui feruginoase spre partea superioară. Uneori se întâlnesc în nisipuri intercalații subțiri grezoase și marnoase. Grosimea depozitelor nisipoase este de 20-25 m [80].

**Levantinul (lv)** cuprinde în bază un orizont de calcare lacustre, albicioase, cu o grosime de 3-5 m. Calcarele lacustre suportă o succesiune de nisipuri cuarțoase, mărunte sau grozioare, albe, uneori roșcate, cu intercalații grezoase. Către partea superioară nisipurile trec în pietrișuri, constituie în cea mai mare parte din elemente de calcare cretacice și sarmatiene [80].

**Pleistocen inferior (qp<sub>1</sub>)** este reprezentat de argile roșii, cu concrețiuni calcaroase și manganoase, cu o grosime de 4-5 m. Argila roșie s-a format în anumite condiții climatice, în urma unui proces de alterare a calcarelor barremiene, sarmatiene și a altor depozite [80].

**Holocen superior (qh<sub>2</sub>)** este caracterizat de către depozitele loessoide și aluvioanele grozioare și fine ale luncilor. Depozitele loessoide sunt predominant nisipoase, slab prăfoase, cu grosimi de cca. 4-8 m [80].

#### 4.2.4. Hidrodinamică

În ceea ce privește analiza debitelor, în momentul în care a apărut necesitatea realizării lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație, distribuția debitelor între Dunăre și brațul Bala era: de 40% pe Dunărea Veche și 60% pe brațul Bala (pe durata anotimpurilor cu nivele mari ale apelor), respectiv de 20% pe Dunărea Veche și 80% pe brațul Bala (pe durata anotimpurilor cu nivele mici ale apelor). În acest sens au fost propuse lucrări, astfel încât pe Dunărea Veche aval de bifurcația cu brațul Bala să se recupereze aproximativ să se recupereze aproximativ 30% din debitul total amonte de această zonă [34].

Având la dispoziție rapoartele de activitate [[www.afdj.ro/ro/content/romomed](http://www.afdj.ro/ro/content/romomed)] ale proiectului „Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 și km 175” [34], elaborate de către expertii INCDPM, pentru sectorul analizat în această lucrare, au fost utilizate serii de date privind debitele de la stația hidrometrică Călărași-Chiciu și nivelele de la stația hidrometrică Brăila.

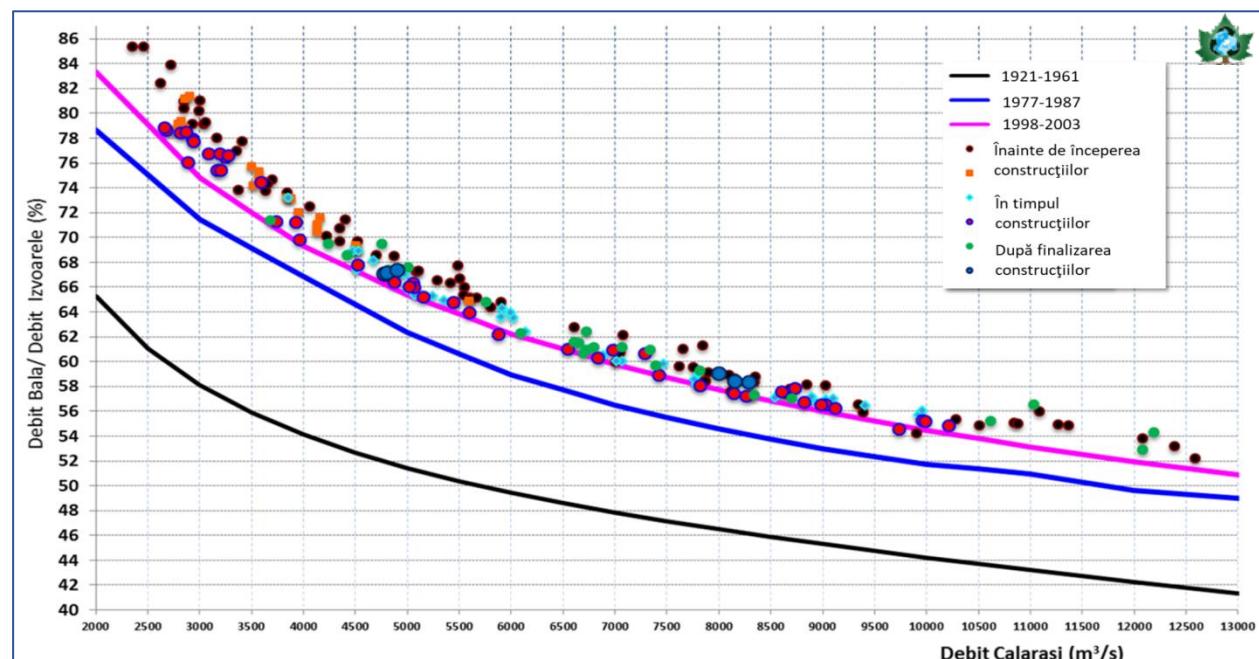


Figura 4.12. Distribuția procentuală a debitului scurs pe brațul Bala în diferite intervale de timp [34]

În urma prelucrării datelor obținute în urma măsurătorilor, expertii INCDPM au realizat o analiză comparativă privind repartitia debitelor între brațul Bala și Dunărea Veche, la stația hidrometrică Călărași-Silistra pentru o perioadă de 5 ani. Totodată, aceste valori au fost comparate și cu distribuțiile procentuale istorice pentru perioadele 1920-1961 și respectiv 1998-2003, valori obținute din literatura de specialitate [34] (figura 4.12).



Figura 4.13. Reprezentarea secțiunilor transversale de din zona de studiu

În cele ce urmează sunt prezentate o serie de valori ale parametrilor hidrodinamici din sectorul analizat, în perioada a 6 ani de monitorizare, în trei secțiuni de analiză, conform figurii 4.13.

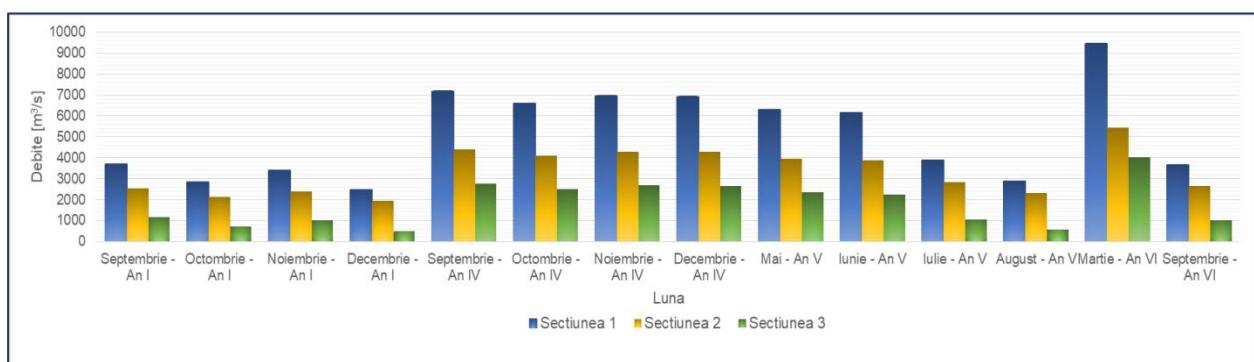


Figura 4.14. Valori ale debitelor înregistrate în secțiunile transversale analizate [81] [82] [83] [84] [85]

În ceea ce privește distribuția debitelor pe cele două brațe se poate observa faptul că în cazul în care în secțiunea localizată în amonte de zona de bifurcație sunt înregistrate valori ale

debitelor mai mici de  $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ , debitul este distribuit pe cele două brațe astfel: cca. 70-75% pe brațul Bala și cca. 25-30% pe Dunărea Veche. Procentul se schimbă în situația în care în secțiunea 1 sunt înregistrate valori cuprinse în intervalul  $4000 - 8000 \text{ m}^3/\text{s}$ , și anume cca. 62% pe brațul Bala și 38% pe Dunărea Veche. În cazul unor debite de cca  $9500 \text{ m}^3/\text{s}$ , (martie 2016), distribuția debitelor este de 57% pe brațul Bala și de 43% pe Dunărea Veche (figura 4.14).

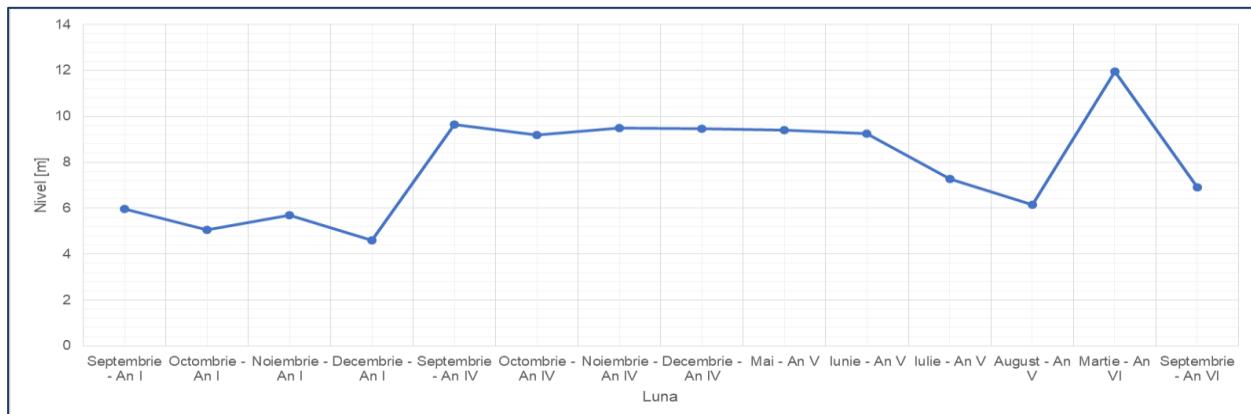


Figura 4.15. Valori ale nivelurilor înregistrate în perioada de calcul – S1 [81] [82] [83] [84] [85]

Valorile nivelurilor înregistrate depind de debitele înregistrate în secțiunile de control. Datorită pantei hidraulice mici, variația nivelurilor de la secțiunea localizată amonte (figura 4.15) față de cele localizate în aval este de ordinul a  $0,12 - 0,28 \text{ m}$ .

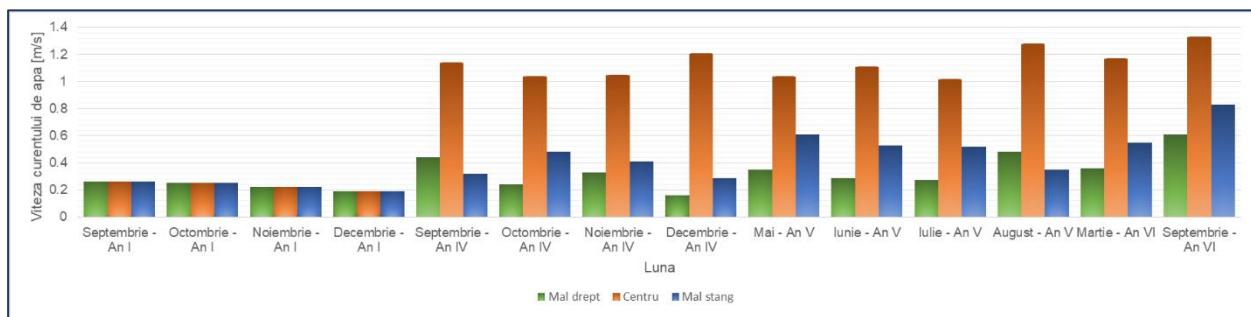


Figura 4.16. Valori ale vitezelor curentului de apă înregistrate - S1 [81] [82] [83] [84] [85]

În ceea ce privește viteza curentului de apă, au fost înregistrate valori la adâncimea de  $0,5 \text{ m}$  în zona malului drept, stâng și centru, pentru fiecare secțiune, pe parcursul perioadei analizate.

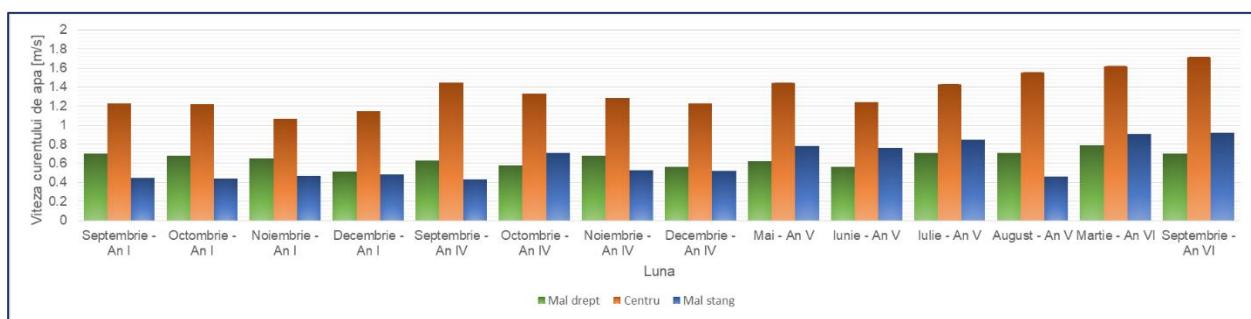


Figura 4.17. Valori ale vitezelor curentului de apă înregistrate - S2 [81] [82] [83] [84] [85]

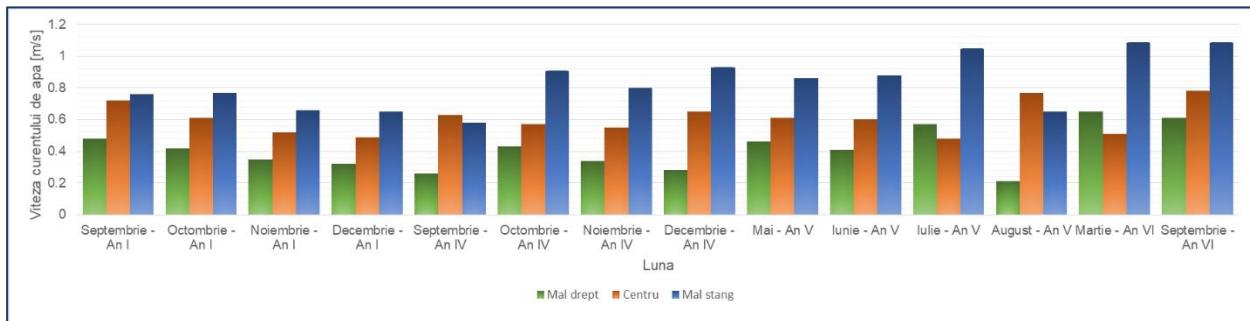


Figura 4.18. Valori ale vitezelor curentului de apă înregistrate - S3 [81] [82] [83] [84] [85]

Viteza curentului de apă este dependentă de valorile debitului, ale nivelului și de forma secțiunii de curgere. Astfel, din reprezentările grafice (figurile 4.16, 4.17 și 4.18) se poate observa că în secțiunea 2 localizată pe brațul Bala sunt înregistrate cele mai mari valori ale vitezelor, în centrul albiei, în comparație cu celelalte două secțiuni.

#### 4.2.5. Morfohidrodinamică

Sectorul Dunării aflat între Călărași și Brăila, reprezintă o zonă cu o mare diversitate morfohidrografică. Acest tronson este o luncă, cu o lățime care poate ajunge și la 20 km, localizat între platoul Dobrogei la est, care o domină cu înălțimi de 50 – 100 m și Câmpia Română la vest situată cu 20 – 30 m mai sus de nivelul albiei fluviului. În acest sector, valea Dunării are un aspect asimetric, cu altitudini care descresc de la est la vest [74].

În regim natural, ca urmare a acțiunii sedimentelor și a eroziunii îndelungate a fluviului a rezultat o rețea de praguri naturale, mlaștini și canale, care, în cele mai multe cazuri, închid zone cu bazine ce sunt invadate de vegetație și acoperite temporar sau permanent de apă [74]. Intervențiile antropice precum îndiguirile din zona luncilor și activitățile agricole au accelerat procesul de acumulare, manifestând tendința de a se forma lunci, fiind astfel reduse bazinele de apă [74].

Aria de interes are o importanță deosebită din punct de vedere al proceselor morfodinamice complexe ale albiei.

**Brațul Bala** se desprinde din Dunărea Veche în apropiere de km 345 și se varsă în brațul Borcea la km 68. Acest braț este caracterizat printr-o alternanță a zonelor cu dinamică hidromorfologică intensă cu zone cu energie relativ redusă. Zona pragurilor de fund (km 4 și 9) este caracterizată și prin prezența unor curenti turbionari și prin fenomene de eroziune ale malurilor [51].



Figura 4.19. Maluri pe brațul Bala [49]

Datorită proceselor dinamice specifice sinuoziilor și confluențelor, forma albiei este asimetrică. Malurile brațului Bala (figura 4.19) sunt abrupte, cu frecvente urme de prăbușiri cauzate de eroziuni accentuate, produse în mai multe cazuri de prezenta unor curenti inversi în apropierea malurilor [86]. Zonele mai puțin dinamice sunt caracterizate prin forma albiei aplatizată, adâncimi și viteze mai reduse în comparație cu restul brațului [51].

**Brațul Dunărea Veche** se desfășoară între km 373 și km 241, în prezența cercetare fiind studiat un sector de 4 km lungime. Datorită faptului că brațul Bala preia un mare volum de apă dinspre amonte, pe brațul Dunărea Veche se diminuează energia fluvială (figura 4.20), în aval de bifurcație, fiind astfel predominante procesele de depunere a sedimentelor, lucru evidențiat prin prezența numeroaselor ostroave și bancuri de nisip care formează praguri cu implicații negative asupra navegației [43] [51].



Figura 4.20. Mal Dunărea Veche [34]



Figura 4.21. Bancul de nisip Caragheorghe [34]

După bifurcația cu brațul Bala, Dunărea Veche manifestă o tendință evidentă de atrofie - reduceri ale ariei transversale, reduceri ale adâncimilor și vitezelor de curgere. Un exemplu evident este reprezentat de bancul de nisip Caragheorghe (figura 4.21), care la debite scăzute ocupă mai mult de 50% din lățimea albiei și are o lungime de circa 1,5 km. Acesta este situat în zona de bifurcație cu brațul Bala (în zona km 345) [51].

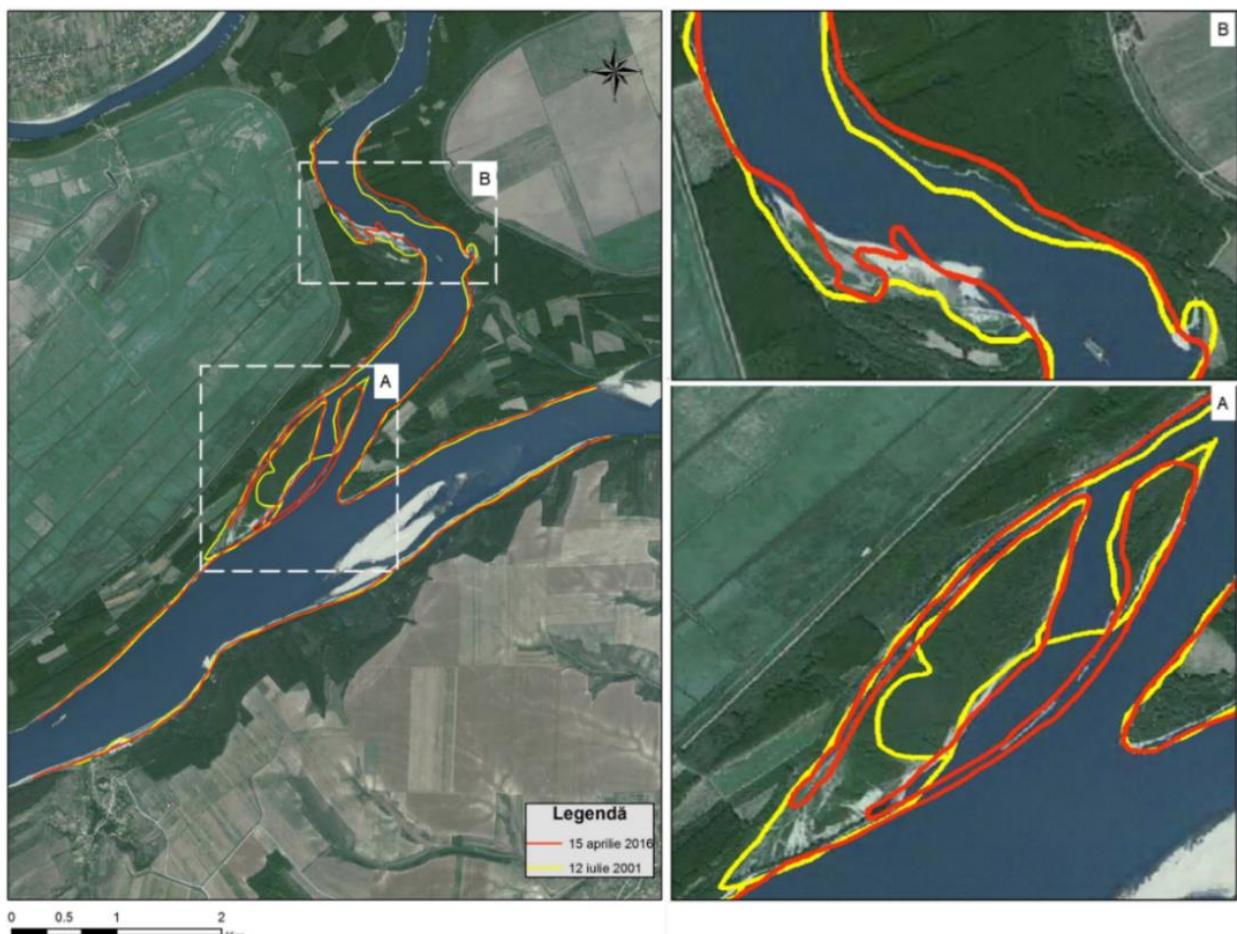


Figura 4.22. Evoluția morfologiei malurilor pe o perioadă de 16 ani

În vederea analizei morfologice a zonei de studiu au fost comparate imagini satelitare *Landsat* (figura 4.22). Pentru realizarea acestei investigații s-au luat în considerare datele existente din intervale de timp diferite (16 ani), în contextul unui debit asemănător. În acest sens, au fost utilizate imagini satelitare *Landsat 7* cu rezoluția spectrală de 30 m, asupra cărora s-a aplicat *pan-sharpening* folosindu-se banda 8 pancromatică, fiind aduse la rezoluția de 15 m. *Pan-sharpening* este un proces de îmbunătățire a rezoluției spectrale cu ajutorul bandei 8 pancromatic. Procesarea a fost făcută cu ajutorul programului *ENVI*. Imaginile satelitare au fost descărcate gratuit de pe geo portalul: <https://earthexplorer.usgs.gov/> [87].

Din analiza realizată rezultă că cele mai mari schimbări din punct de vedere morfologic au avut loc pe brațul Bala. Realizarea digului de dirijare a condus la modificarea ostrovului localizat pe malul stâng al brațului Bala (figura 4.22 – detaliul A), suprafața de uscat mărindu-se.

În urma proceselor hidromorfologice, tendința cursului de apă pe brațul Bala este de a se dezvolta spre est, în perioada de 16 ani, pe malul drept fiind eroată o suprafață de peste 8 ha pe o lățime maximă de cca. 130 m, iar pe malul stâng înregistrându-se depunerile de o suprafață de peste 8,3 ha, pe o lățime maximă de cca. 150 m (figura 4.22 – detaliul B).



Figura 4.23. Zonă depuneri sedimente pe malul stâng al brațului Bala [34]



Figura 4.24. Zonă eroziune pe malul drept al brațului Bala [34]

În figurile 4.23 și 4.24 sunt reprezentate aceste zone de eroziune și depunere, imaginile fiind preluate din aria corespunzătoare detaliului B, după 16 ani de analiză.

#### 4.2.6. Transportul de sedimente

În dinamica albiilor, transportul aluviunilor are un rol la fel de important ca eroziunea și acumularea. Ca urmare a dependenței de diferenți factori precum forma, densitatea și dimensiunea geometrică a particulelor, formele și rugozitatea patului albiei, forța curentului apei, mișcarea particulelor solide are caracter complex, putând fi clasificată în trei categorii: eroziune, transport și depunere. Textura sedimentelor neconsolidate presupune caracterizarea acestora pe baza dimensiunii și formei granulelor constitutive, a gradului de cristalinitate a mineralelor și a raporturilor existente între acești parametri. De asemenea, mărimea particulelor reprezintă unul dintre cei mai importanți factori care influențează transportul și sedimentarea materialului clastic [88].

Dimensiunea medie sau mediana (D50) este definită ca valoarea care împarte distribuția granulometrică în două părți egale și reprezintă distribuția granulometrică a sedimentelor [88], exprimând cel mai bine caracteristicile unui sediment (textură, energie hidrodinamică) și competența agentului de transport.

Sortarea granulometrică exprimă împrăștierarea valorilor unei distribuții în jurul unei valori centrale, redând gradul de sortare a dimensiunilor particulelor [89]. Gradul de sortare reflectă capacitatea agentului de transport de a separa și depune granulele în funcție de dimensiunea, forma și greutatea lor specifică.

În vederea obținerii datelor de intrare necesare realizării modelării numerice, au fost realizate campanii de teren care au presupus prelevarea probelor de sedimente din secțiuni de control (figura 4.25). Rezultatele obținute în urma analizei acestora au fost corelate cu viteza curentului de apă, măsurată în secțiunea respectivă.

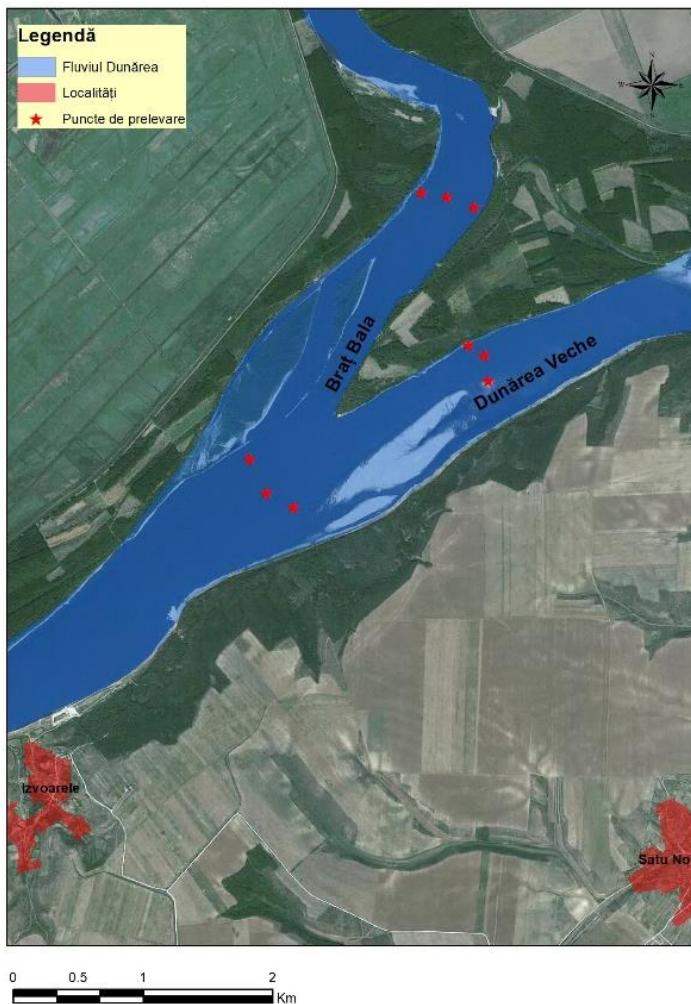


Figura 4.25. Localizarea punctelor de prelevare a probelor de sedimente din patul albiei

În tabelul 4.1. sunt reprezentate caracteristicile litologice ale sedimentelor prelevate din secțiunile de control.

*Tabel 4.1. Caracterizarea litologică a sedimentelor prelevate din patul albiei [51]*

Nr. punct	Localizare	Descriere litologică
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Km. 346 Amonte bifurcație</li> <li>▪ Distanță mal drept – 334 m</li> <li>▪ Adâncime apă: 5,90 m</li> </ul>	Nisip mediu - grosier, cafeniu-gălbui, micaceu, sortare bună, cu rare resturi mici de cochilii și foarte rare elemente de pietriș mărunt, polimictic.
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Km. 346 Amonte bifurcație</li> <li>▪ Distanță mal stâng – 110 m</li> <li>▪ Adâncime apă: 7,60 m</li> </ul>	Nisip mediu - grosier, cenușiu - cafeniu, micaceu, sortare bună, cu resturi mărunte de cochilii, rare elemente de pietriș mărunt, preponderent cuarțos. Rare cochilii întregi de <i>Corbicula</i> .
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Km. 346 Amonte bifurcație</li> <li>▪ Distanță mal drept – 521 m</li> <li>▪ Distanță mal stâng – 454m</li> <li>▪ Adâncime apă: 8,40 m</li> </ul>	Nisip mediu - fin, cafeniu-gălbui, micaceu, sortare bună, cu resturi mici de cochilii, elemente de pietriș mărunt, polimictic, rare elemente de pietriș mare. Cochilii întregi de <i>Corbicula</i> , <i>Dreissena</i> , <i>Viviparus</i> .
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Km. 344+500 Aval bifurcație</li> <li>▪ Distanță mal drept – 355 m</li> <li>▪ Adâncime apă: 3,90 m</li> </ul>	Nisip mediu - fin, cafeniu-gălbui, micaceu, bine sortat, cu resturi mici de cochilii, rare cochilii întregi de <i>Dreissena</i>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Km. 344+500 Aval bifurcație</li> <li>▪ Distanță mal stâng – 32 m</li> <li>▪ Adâncime apă: 5,00 m</li> </ul>	Nisip fin, cenușiu - cafeniu, micaceu, sortare bună, cu resturi mici de cochilii și resturi vegetale mărunte.

Nr. punct	Localizare	Descriere litologică
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Km. 344+500 Aval bifurcație</li> <li>▪ Distanță mal drept – 537 m</li> <li>▪ Distanță mal stâng – 143 m</li> <li>▪ Adâncime apă: 8,40 m</li> </ul>	Nisip fin - mediu, cafeniu - gălbui, micaceu, bine sortat, cu resturi mici de cochilii, rare elemente de pietriș mărunt, polimictic.
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Km. 9 Braț Bala</li> <li>▪ Distanță mal drept – 65 m</li> <li>▪ Adâncime apă: 5,00 m</li> </ul>	Nisip mediu - grosier, cafeniu-cenușiu, micaceu, bine sortat, cu elemente de pietriș mărunt, polimictic, resturi mici de cochilii și rare cochilii întregi de <i>Corbicula</i> , <i>Dreissena</i> , <i>Viviparus</i> .
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Km. 9 Braț Bala</li> <li>▪ Distanță mal stâng – 63 m</li> <li>▪ Adâncime apă: 9,20 m</li> </ul>	Nisip mediu-fin, cenușiu-cafeniu, micaceu, bine sortat, cu elemente de pietriș mărunt, polimictic, cu resturi mici de cochilii și rare cochilii întregi de <i>Dreissena</i> , <i>Corbicula</i> .
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Km. 9 Braț Bala</li> <li>▪ Distanță mal drept – 287 m</li> <li>▪ Distanță mal stâng – 238 m</li> <li>▪ Adâncime apă: 6,50 m</li> </ul>	Nisip mediu-fin, cenușiu-cafeniu, micaceu, bine sortat, cu rare elemente de pietriș mărunt, polimictic, rare resturi mici de cochilii și rare cochilii întregi de <i>Dreissena</i> , <i>Corbicula</i> .

În ceea ce privește dimensiunea medie D50 a probelor prelevate din cele trei secțiuni de control (figura 4.13), în zona malurilor, pe durata a 7 luni ale anului V de analiză (figurile 4.26 – 4.28), se poate observa, că valorile maxime D50 sunt obținute în luna a șaptea, acestea încadrându-se în intervalul 1,33 - 2,00 mm. În luna a doua au fost obținute valorile minime D50 (0,10 – 0,24 mm). Pentru majoritatea sedimentelor prelevate, parametrul D50 depășește valoarea de 0,20 mm, ceea ce arată că particulele sunt ușor erodate de curenții acvatici [90].

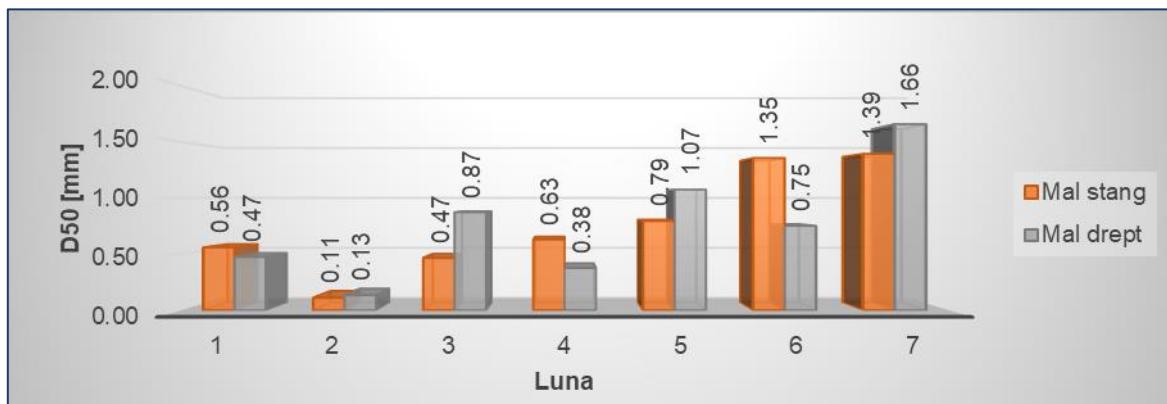


Figura 4.26. Dimensiunea medie D50 a sedimentelor – Secțiunea 1, anul V de analiză [34]

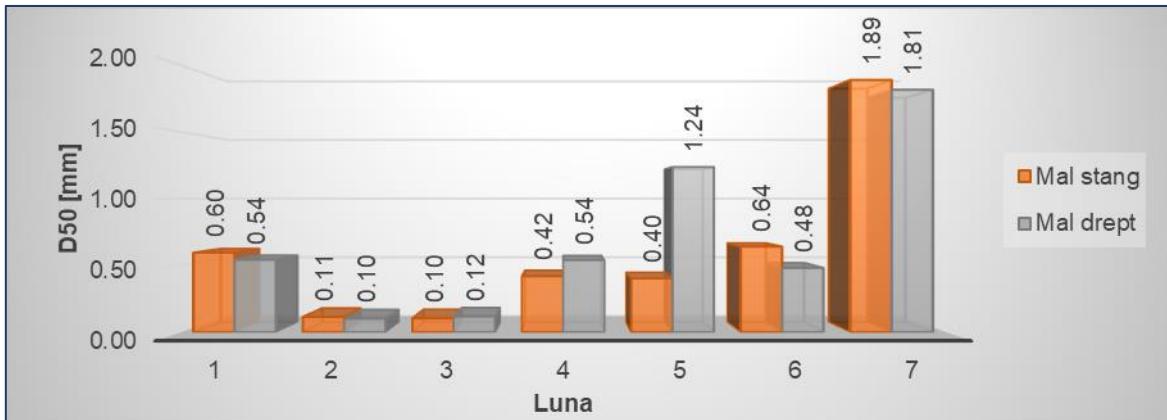


Figura 4.27. Dimensiunea medie D50 a sedimentelor – Secțiunea 2, anul V de analiză [34]

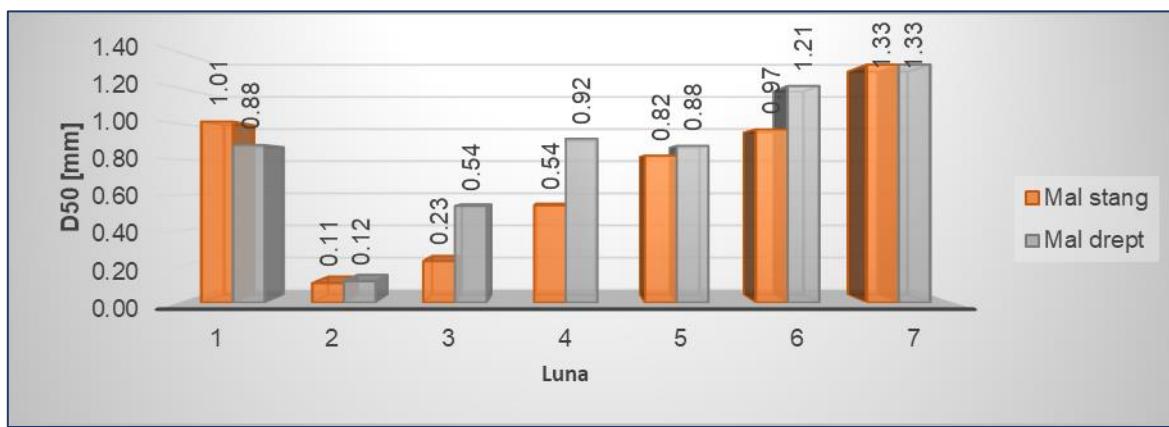


Figura 4.28. Dimensiunea medie D50 a sedimentelor – Secțiunea 3, anul V de analiză [34]

De asemenea, în anul V de investigații, din secțiunile de analiză (figura 4.13) au fost prelevate, de la diferite adâncimi, probe de sedimente în suspensie. Valorile concentrației de sedimente în suspensie sunt prezentate în tabelul 4.2.

Tabel 4.2. Concentrația sedimentelor în suspensie din zona de studiu – anul V de analiză [34]

Luna	Mal stâng [mg/l]	Secțiunea 1			Mal drept [mg/l]
	Adâncimea de prelevare: 0,5 m	Adâncimea de prelevare: 0,5 m	Adâncimea de prelevare: 1,5 m	Adâncimea de prelevare: 3,0 m	Adâncimea de prelevare: 0,5 m
<b>Secțiunea 1</b>					
1	33,0	35,1	26,7	20,3	31,1
2	15,9	15,2	22,1	21,1	12,6
3	24,7	42,2	17,7	18,8	11,6
4	13,9	22,5	8,4	46,5	37,0
5	22,0	34,1	17,3	34,3	20,6
6	16,9	10,2	36,8	14,1	6,8
7	13,7	9,3	9,9	9,1	12,3
8	15,7	15,7	15,4	9,1	15,4
9	15,6	30,5	10,9	14,7	40,0
10	22,4	15,2	12,6	15,9	13,6
11	21,1	18,3	17,8	19,1	18,2
<b>Secțiunea 2</b>					
1	39,7	42,6	10,6	53,7	47,6
2	12,9	16,5	17,3	4,8	16,9
3	7,9	31,5	28,5	23,9	17,3
4	28,1	15,5	7,9	10,4	20,9
5	16,3	30,7	33,0	15,1	17,7
6	21,5	6,9	11,8	8,2	11,0
7	13,8	6,3	8,3	14,9	6,3
8	9,9	14,3	16,7	17,3	16,5
9	14,4	41,6	32,5	18,3	21,6
10	18,7	14,3	14,6	13,7	16,0
11	17,5	19,2	18,5	17,8	16,6
<b>Secțiunea 3</b>					
1	17,9	18,7	8,6	7,8	20,9
2	4,8	28,3	8,4	20,3	13,7
3	26,1	24,3	9,3	31,9	28,5

Luna	Mal stâng [mg/l]	Adâncimea de prelevare: 0,5 m	Adâncimea de prelevare: 0,5 m	Şenal navigabil [mg/l]	Adâncimea de prelevare: 1,5 m	Adâncimea de prelevare: 3,0 m	Mal drept [mg/l]	Adâncimea de prelevare: 0,5 m
	4	34,0	7,0	16,6	10,6	28,9	5	24,6
5	24,6	32,8	14,2	17,3	34,0	6	11,2	29,2
7	9,2	13,0	21,3	11,0	5,7	8	12,4	12,4
9	24,8	23,7	21,0	13,6	23,3	10	6,3	14,2
11	17,9	18,0	19,8	18,5	23,8			

Concentrațiile de sedimente în suspensie măsurate pe diferite trepte de adâncime din secțiunile investigate au valori situate între 4,8 și 56,9 mg/l. Mediile pe profil sunt însă destul de diferite ca valori, pe brațul Bala fiind localizate cele mai mari concentrații.

#### 4.2.7. Regim climatic

Regimul climatic al zonei este de tip continental – marin și se datorează circulației vestice a aerului peste care se suprapune influența Mării Negre. Regimul climatic se caracterizează prin veri călduroase, uneori toride și secetoase precum și ierni puțin friguroase, marcate adeseori de viscole puternice în arealul continental [78].

Zona de studiu se află între Călărași – amonte și Brăila - aval, astfel în cele ce urmează vor fi prezentate caracteristicile climatice pentru ambele orașe.

Datele necesare întocmirii diagramelor meteorologice au fost preluate de pe platforma „meteoblue” [91] [92]. Aceste date se bazează pe 30 de ani de simulări orare ale modelelor meteo, indicând informații cu privire la tendințele meteorologice tipice și la condițiile previzionate (temperatură, precipitații, radiații solare și vânt) [91] [92].

În ceea ce privește temperatura, după cum se poate observa în reprezentările grafice (figura 4.29 și figura 4.30), cea mai mare valoare ale mediei maxime zilnice este de 31°C (înregistrată în lunile iulie și august în Călărași și iulie în Brăila), iar cea mai mică valoare a mediei minime zilnice este de -2°C (înregistrată în lunile ianuarie și februarie în Călărași și ianuarie în Brăila).

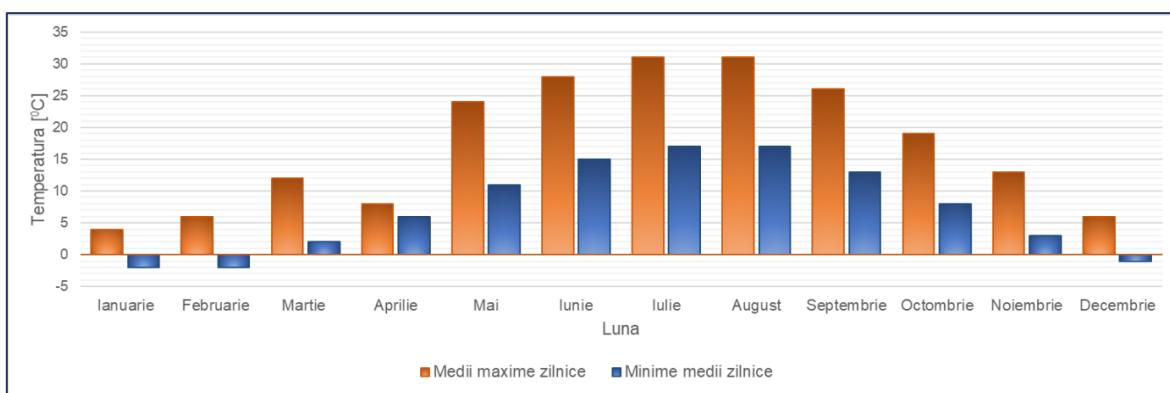


Figura 4.29. Variația anuală a temperaturii în Călărași [91]

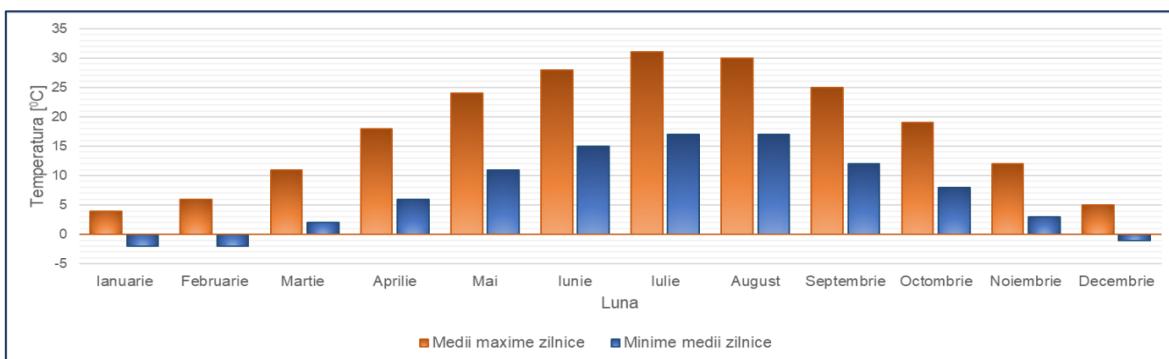


Figura 4.30. Variația anuală a temperaturii în Brăila [92]

Conform reprezentărilor grafice din figurile 4.31 și 4.32, cantitatea cea mai mare de precipitații este înregistrată în luna decembrie, aceasta având valoarea de 48 mm la Călărași și de 42 mm la Brăila. Valorile minime sunt înregisterate în luna august, acestea fiind de 21 mm la Călărași și de 23 mm la Brăila.

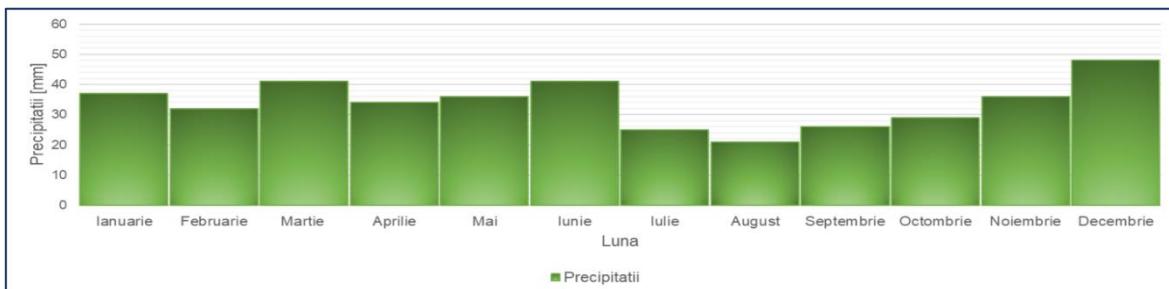


Figura 4.31. Variația anuală a precipitațiilor în Călărași [91]

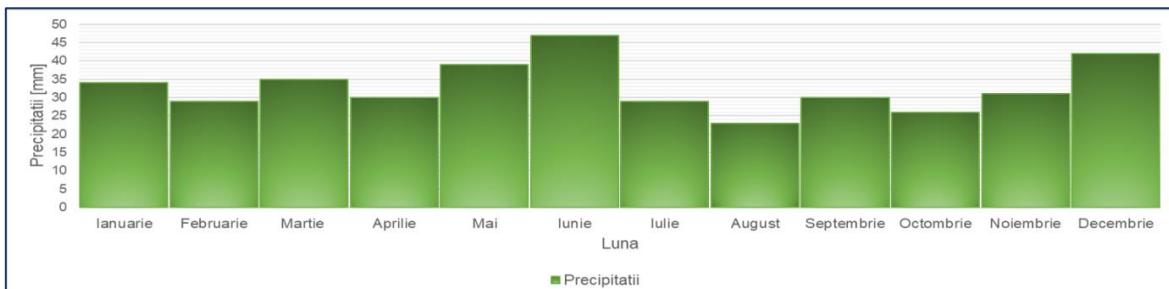


Figura 4.32. Variația anuală a precipitațiilor în Brăila [92]

Conform datelor preluate, pe parcursul unui an, viteza vântului variază de la un minim de 4 km/h (luna august) la un maxim de 30 km/h (luna februarie) în Călărași, și de la un minim de 5 km/h (perioada mai-septembrie) la un maxim de 30 km/h (luna februarie) Brăila (figurile 4.33 și 4.34).

În cazul ambelor orașe, direcția predominantă a vântului este de la nord la sud.

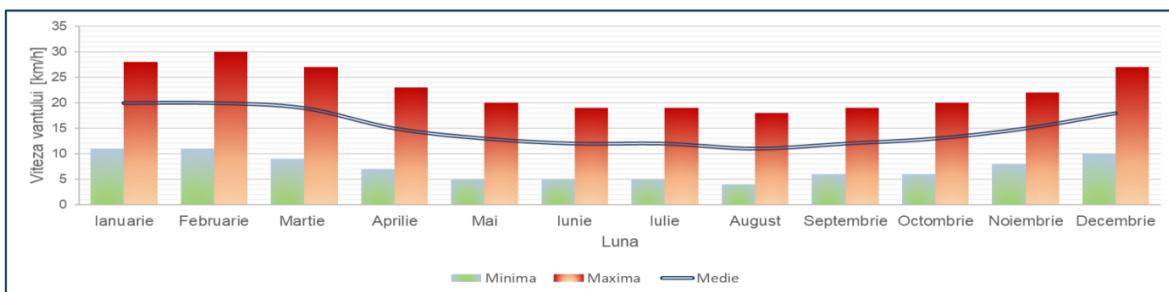


Figura 4.33. Variația anuală a vitezei vântului, în Călărași [91]

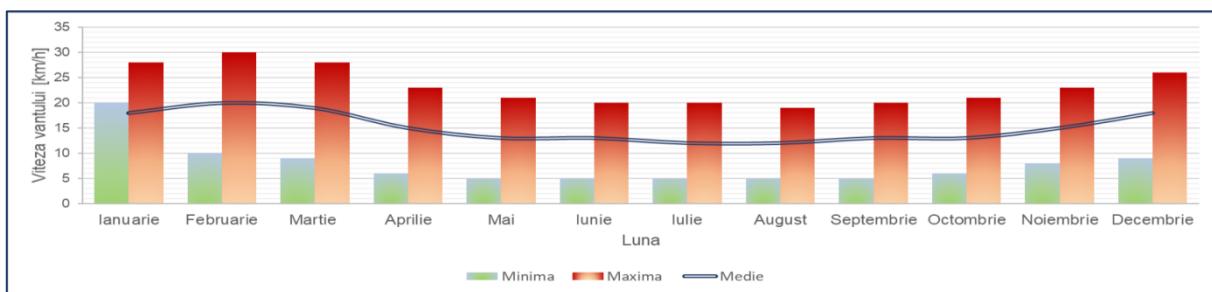


Figura 4.34. Variația anuală a vitezei vântului, în Brăila [92]

#### 4.2.8. Starea ecologică a corpurilor de apă

Pentru evaluarea, din punct de vedere chimic a calității globale a corpurilor de apă, în fiecare secțiune de analiză (figura 4.13), au fost prelevate serii de probe de apă și de sedimente și au fost determinate valorile medii pentru fiecare indicator de calitate în parte, rezultatele fiind comparate cu valorile limită ale claselor de calitate prevăzute de „Normativul privind clasificarea calității apelor de suprafață în vederea stabilirii stării ecologie a corpurilor de apă” [93].

În vederea stabilirii influenței pe care intervențiile antropice le pot avea asupra stării ecologice a zonei de studiu, probele au fost prelevate în diferite serii dintr-un interval de timp de 6 ani. Această perioadă se desfășoară pe parcursul etapelor de construcție: intervalul de referință – înainte de începerea lucrărilor; perioada de construcție a structurilor hidrotehnice și etapa de după finalizarea construcțiilor.

Valorile obținute în urma analizelor probelor de apă și sedimente prelevate din punctele stabilite în secțiunile de control sunt prezentate în tabelele A1.1 - A1.4 din Anexa 1. Indicatori analizați în vederea evaluării calității apei și în graficele reprezentate de figurile A2.1 – A2.24 din Anexa 2. Indicatori analizați în vederea evaluării calității sedimentelor.

În analiza calității apei, indicatorii regimului de oxigen au o importanță deosebită întrucât oxigenul este cel mai reprezentativ parametru în evaluarea funcționalității și comportamentului ecosistemelor. Concentrațiile oxigenului dizolvat precum și factorii care influențează fluctuațiile acestora au o importanță majoră în evaluarea severității eutrofizării și a poluării ecosistemelor acvatice. Variabilitatea regimului de oxigen depinde de mai mulți factori care acționează antagonice asupra acestuia. Factorii care contribuie la îmbogățirea în oxigen dizolvat a apei sunt: regimul curenților și vânturilor, și procesele fotosintetice ale vegetației acvatice. În schimb, o parte din factorii care contribuie la reducerea concentrațiilor de oxigen dizolvat sunt reprezentați de: respirația organismelor vegetale și animale din apă, dar și de diverse procese biologice și chimice care implică reacții de oxidare [94].

Valorile CBO5, CCO-Mn, CCO-Cr încadrează apa din sectorul analizat în clasele de calitate I și II. De asemenea, conform tabelului A1.1 – Anexa 1, pe tot parcursul perioadei analizate, în funcție de limitele specificate în „Anexa la ordinul ministrului mediului și gospodăririi apelor nr. 161/2006 privind aprobarea Normativului privind clasificarea calității apelor de suprafață în vederea stabilirii stării ecologie a corpurilor de apă” [93], valorile indicatorilor oxigen dizolvat și saturația oxigenului dizolvat aparțin intervalului specific claselor de calitate I și II.

Nutrienții sunt elementele sau speciile chimice implicate în producția fitoplanctonica a materiei organice [94]. Valorile indicatorilor de amoniu, azotați și azot total se încadrează în limitele impuse de normativul specificat anterior, cu privire la încadrarea apei în clasele de calitate I și II, iar cele pentru ortofosfați solubili, fosfor total și clorofila „a” aparțin limitelor corespunzătoare clasei de calitate I (tabel A1.2 – Anexa 1). În ceea privește azotii, această depășesc pe unele perioade scurte limitele clasei de calitate II (tabel A1.2 – Anexa 1).

Referitor la valorile indicatorilor de salinitate (conductivitate, reziduu filtrabil uscat la 105°C, cloruri, sulfatați, calciu, magneziu, sodiu), pe tot intervalul de timp analizat, aceștia aparțin intervalului corespunzător limitelor claselor de calitate I și II (tabel A1.3 – Anexa 1).

De asemenea, indicatorii poluanților toxic specifici de origine naturală (crom total, cupru, zinc, arsen, bariu, seleniu, cobalt, plumb, cadmiu, fier total, mercur, mangan total, nichel), regimul termic și acidificarea (tabel A1.4 – Anexa 1) au valori ce încadrează apa, în general, în

clasa de calitate I. În cazul cobaltului, în primul an de analiză valorile s-au încadrat în clasa a II-a de calitate, iar pentru fier total, pe perioade scurte din anii IV și V au fost înregistrate valori ce au aparținut clasei de calitate III (tabel A1.4 – Anexa 1).

În ceea ce privește evaluarea sedimentelor din zona studiată, au fost investigați indicatori ai metalelor grele, și anume: arsen, cadmu, crom total, cupru, plumb, mercur, zinc și nichel, în diferite puncte ale secțiunilor de control. Valorile rezultate în urma analizei probelor de sedimente sunt reprezentate grafic în figurile A2.1 – A2.24 din Anexa 2. Indicatori analizați în vederea evaluării calității sedimentelor. Se poate observa faptul că sunt înregistrate valori ce depășesc limitele impuse de standardul de calitate a sedimentelor [94] în cazul cuprului, nichelului și mercurului.

Cele mai mari valori ale concentrației, atât în cazul cuprului, cât și al nichelului, au fost înregistrate în secțiunea 3. Concentrația de cupru a depășit 70 mg/kg în dreptul malului drept (limita conform standard 40 mg/kg), iar concentrația de nichel a fost de aproape 99 mg/kg în dreptul malului stâng (limita conform standard 35 mg/kg).

#### 4.3. Habitate

Arealul studiat în prezența cercetare face parte din ariile Natura 2000 - situl ROSCI0022 Canaralele Dunării și situl ROSPA0039 Dunăre Ostroave [35].

Habitatele întâlnite în situl Canaralele Dunării din zona brațului Bala sunt reprezentate de plantații de plop canadian (*Populus x canadensis*), comunități antropice cu *Polygonum aviculare*, *Lolium perenne*, *Schlerochloa dura* și *Plantago major*, suprafață nisipoasă temporar nudată, păduri danubiene de salcie albă (*Salix alba*), cu mur (*Rubus caesius*) (92A0 *Salix alba* and *Populus alba* galleries) [34].

ROSPA0039 Dunăre Ostroave include și sectorul studiat în prezența lucrare, fiind important pentru populațiile cuibăritoare ale următoarelor specii: dumbrăveanca (*Coracias garrulus*), vânturel de seară (*Falco vespertinus*); rața roșie (*Aytha nyroca*), lopătar (*Platalea leucorodia*), egreta mică (*Egretta garzetta*), stârc de noapte (*Nycticorax nycticorax*), țigănuș (*Plegadis falcinellus*), cormoran mic (*Phalacrocorax pygmaeus*), stârc roșu (*Ardea purpurea*), codalb (*Haliaetus albicilla*), stârc galben (*Ardeola ralloides*), sfrâncioc cu frunte neagră (*Lanius minor*), caprimulg (*Caprimulgus europaeus*) și gaia neagră (*Milvus migrans*) [34]. În figura 4.35 sunt prezentat un exemplu de habitat format în malul brațului Bala, pentru avifaună



Figura 4.35. Habitate în maluri pentru avifaună în zona brațului Bala [34]  
În zona ostrovului Turcescu (arealul localizat între Dunărea Veche și brațul Bala) au fost

observate următoarele habitate: plantație de plop canadian (*Populus x canadensis*), păduri danubiene de salcie albă (*Salix alba*) cu mur (*Rubus caesius*) (92A0 *Salix alba* and *Populus alba* galleries), comunități antropice cu *Agropyron repens*, *Arctium lappa*, *Artemisia annua* și *Ballota nigra* [34].



Figura 4.36. Salcet cu plop negru [34]



Figura 4.37. Speciile *Echinochloa crus-galli*,  
*Portulaca oleracea*, *Polygonum*  
*lapathifolium*, *Portulaca oleracea* – bancul  
de nisip Caragheorghe [34]

#### 4.4. Flora terestră

În sectorul Călărași – Brăila predomină plantațiile de plop canadian și habitatele seminaturale (păduri de luncă predominate de salcie albă și plop). Acestea se limitează la fâșii înguste în zonele ripariene, temporar inundate, fiind stare de degradare avansată, cu multe specii alohtone invazive. În figurile 4.36 și 4.37 sunt reprezentate salcet cu plop negru și specii de plante localizate pe bancul de nisip Caragheorghe.

#### 4.5. Avifauna

Din punct de vedere avifaunistic experții INCDPM au identificat în sectorul dunărean cuprins între Călărași – Brăila, specii de păsări protejate de Directiva Consiliului 79/409/CEE [95], precum: pescăruș albastru (*Alcedo atthis*), acvila țipătoare mică (*Aquila pomarina*), stârcul roșu (*Ardea purpurea*), stârcul galben (*Ardeola ralloides*), chirighița cu obraz alb (*Chlidonias hybrida*), barza albă (*Ciconia ciconia*), barza neagră (*Ciconia nigra*), erete de stuf (*Circus aeruginosus*), egreta mică (*Egretta garzetta*), vânturel de seară (*Falco vespertinus*), codalb (*Haliaeetus albicilla*), gaie brună (*Milvus migrans*), stârc de noapte (*Nycticorax nycticorax*), Lopătar (*Platalea leucorodia*), tîgănuș (*Plegadis falcinellus*), chira de baltă (*Sterna hirundo*), uliu cu picioare scurte (*Accipiter brevipes*), chirighița neagră (*Chlidonias niger*), pescăruș mic (*Larus minutus*), cormoran mic (*Phalacrocorax pygmeus*), ghionoaie sură (*Picus canus*) [34].

Arealul studiat, reprezentat de zona de bifurcație braț Bala – Dunărea Veche face parte din zona de migrație și cuibărit pentru păsările acvatice [34]. În acest areal au fost identificate 4 specii protejate: silvie porumbacă (*Sylvia nisoria*), chiră de baltă (*Sterna hirundo*), călifar roșu (*Tadorna ferruginea*), sfrâncioc cu frunte neagră (*Lanius minor*) (figura 4.38). Pe lângă acestea au fost observate și rața mare, chirighița, pelicanul comun, dar și specii de Passeriforme: cînteză, sticlete, privighetoare, pițigoi mare, graur, mierlă, rândunică și colonii de lăstun de mal (*Riparia riparia*) [34].



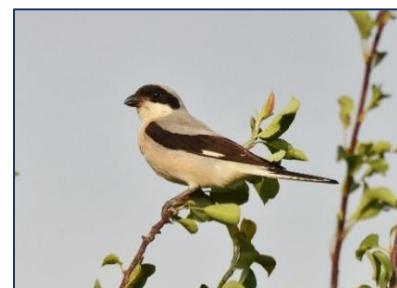
Silvie porumbaca (*Sylvia nisoria*) [96]



Chira de baltă (*Sterna hirundo*) [97]



Călifar roșu (*Tadorna ferruginea*) [98]



Sfrâncioc cu frunte neagră (*Lanius minor*) [99]

Figura 4.38. Specii de păsări observate în zona de bifurcație braț Bala–Dunărea Veche

Totodată, zona de bifurcație braț Bala – Dunărea Veche face parte din arealul de iernare a păsărilor acvatice, efective importante de specii de corvide (*Corvus sp*), cormoran mare (*Phalacrocorax carbo*), rața mare (*Anas platyrhynchos*) și pescăruș cu picioare galbene (*Larus sp.*) fiind identificate în această zonă [34].



Figura 4.39. Avifaună identificată în zona bancului de nisip Caragheorghe [34]

## 4.6. Flora și fauna acvatică

Componentele ecosistemului – populații vegetale, animale, microorganismele și structura biotopului – sunt subsisteme între care se stabilesc relații multiple și complexe ce asigură desfășurarea fluxului de energie, a circuitului de materie și eficiența mecanismelor de autocontrol [170].

### 4.6.1. Fitoplancton

Date referitoare la fitoplancton au fost obținute în urma activităților de monitorizare efectuate în perioadele de pre-construcție, construcție și post-construcție.

Compoziția taxonomică a fitoplanctonului din sectorul Dunării studiat în această cercetare și valența saprobă corespunzătoare fiecărui taxon identificat sunt prezentate în tabelul 4.3. Probele care au stat la baza acestor date au fost prelevate în aceeași perioadă (luna iulie), din aceleasi puncte de control localizate pe secțiunile 2 și 3 (figura 4.13) corespunzătoare brațului Bala, respectiv Dunării Vechi.

Tabelul 4.3. Structura calitativă a fitoplanctonului (compoziția taxonomică) [35] [83] [100]

Grupa sistematică/Taxoni	Valența saproba	Secțiunea 2			Secțiunea 3		
		Pre-construcție	Construcție	Post-construcție	Pre-construcție	Construcție	Post-construcție
<b>Cyanobacteria</b>							
<i>Lyngbya</i> sp.	-		■	■		■	■
<b>Bacillariophyta</b>							
<i>Achnanthes minutissima</i>	o - β					■	
<i>Asterionella gracillima</i>	o	■			■		
<i>Aulacoseira granulata</i>	β	■	■	■	■	■	■
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	-	■	■	■	■	■	■
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	α - β	■	■	■	■	■	■
<i>Cymatopleura solea</i>	β-α	■		■			■
<i>Cymbella ventricosa</i>	o-β		■			■	
<i>Diatoma vulgare</i>	β - α		■	■		■	■
<i>Fragillaria capucina</i>	β - o		■	■		■	
<i>Fragillaria construens</i>	o-β						■
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	β		■	■		■	■
<i>Navicula cryptocephala</i>	α	■	■			■	
<i>Neidium productum</i>					■		
<i>Nitzschia navicularis</i>					■		
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	β	■		■			
<i>Nitzschia acicularis</i>	α	■	■		■		■
<i>Nitzschia palea</i>	α		■	■		■	
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	α	■			■		
<i>Surirella</i> sp.	-		■	■		■	■
<i>Synedra acus</i>	β	■	■			■	
<i>Synedra ulna</i>	β	■	■	■	■	■	■
<b>Euglenophyta</b>							
<i>Euglena acus</i>	β - α					■	
<b>Chlorophyta</b>							
<i>Actinastrum curvata</i>		■					
<i>Actinastrum hantzschii</i>	β		■	■		■	■
<i>Monoraphidium griffithi</i>		■					
<i>Pediastrum simplex</i>		■					
<i>Pediastrum duplex</i>	β	■			■		
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	β				■		
<i>Scenedesmus ovalternus</i>		■					
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	β	■	■	■	■	■	■
<i>Tetraedron caudatum</i>	β	■					
<i>Ulothrix zonata</i>	α	■					

■ Taxon prezent

Conform datelor referitoare la compoziția taxonomică a fitoplanctonului, nu au fost evidențiate modificări majore pe parcursul desfășurării lucrărilor și după finalizarea construcțiilor, în comparație cu etapa de dinainte de începerea lucrărilor hidrotehnice.

Pe parcursul perioadei de monitorizare, în vederea evaluării stării ecologice a ecosistemului acvatic au fost utilizati următorii indici de calitate: indice saprob, indice de diversitate Simpson, indice număr de taxoni și indice de abundență numerică relativă [35] [83] [101]. Necesitatea utilizării acestor indici este dată de faptul că poluarea organică este indicată de indicele saprob, iar degradarea generală (presiunile nespecifice) este reflectată de ceilalți indici [35].

Pe baza prezenței speciilor de organisme bioindicatoare, a valorii numerice a taxonilor bioindicatori și a frecvenței lor absolute (*metoda Pantle – Buck*), s-a putut aprecia zona saprobă în care se încadrează, în ansamblu, secțiunea analizată. Acest indicator reflectă gradul de încărcare cu materii organice biodegradabile al apei [35]. Valoarea indicelui saprob (S) a fost calculată utilizând valoarea taxonilor bioindicatori (s) și frecvența absolută, respectiv numărul de indivizi aparținând fiecărui taxon din probă (h), conform formulei (4.1) [35] [102].

$$S = \frac{\sum(s \times h)}{\sum h} \quad (4.1)$$

Indicele de diversitate Simpson a fost utilizat în vederea determinării diversității fitoplanctonice, utilizând formula (4.2) [102].

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s (p_i)^2 \quad (4.2)$$

În care,

- D indicele de diversitate Simpson
- $p_i$  proporția speciei „i” în comunitate
- s numărul total de specii

Indicele număr taxoni reflectă numărul taxonilor regăsit în fiecare probă, iar indicele abundență numerică relativă este definit ca proporția reprezentată de numărul indivizilor unei specii sau unui grup față de numărul total de indivizi aparținând tuturor speciilor din probă respectivă [102].

Întrucât este foarte dificil să se precizeze acuratețea cu care fiecare dintre acești indici reprezintă una dintre presiunile majore, conform HG 80/2011 [102], a fost determinat indicele multimetric, având la bază valorile tuturor indicilor menționați. Pentru calculul indicelui multimetric, se realizează o ponderare a importanței indicilor selecționați/utilizați pentru evaluarea comunităților de alge și pentru evaluarea stării ecologice, astfel: indicele saprob (IS): 25%; indicele de diversitate Simpson (ID): 40%; indice număr taxoni (INT): 20%; indice abundență numerică (IAND): 15% [35].

Evaluarea stării ecologice pe baza valorilor indicelui multimetric (IM) s-a efectuat în funcție de domeniul valorilor obținute, conform tabelului 4.4.

Tabel 4.4. Evaluarea stării ecologice pe baza valorilor indicelui multimetric (IM) [35] [102]

Indice multimetric [IM]	$\geq 0,8$	$0,8 - 0,6$	$0,6 - 0,4$	$0,4 - 0,2$	$<0,2$
Stare ecologică	Foarte bună	Bună	Moderată	Slabă	Proastă

Conform Anexei 6.1. Sistemul de clasificare și evaluare al corpurilor de apă de suprafață în conformitate cu Directiva Cadru Apă, pentru încadrarea în **starea ecologică foarte bună**, indicatorii pentru corpul de apă RO14 (din care face parte sectorul de Dunăre analizat) trebuie să aibă următoarele valori:

- Valori propuse pentru indicele saprob: max. 2,35;
- Valori propuse pentru indicele de diversitate Simpson: min. 0,85;
- Valori propuse pentru indicele număr taxoni: min. 10;
- Valori propuse pentru indicele bazat pe abundență numerică relativă (proprietate reprezentată de *Bacillariophyceae*): max. 95%

În tabelul 4.5 sunt reprezentate, sintetizat, valorile principalilor indicatori calitativi și cantitativi pentru zona studiată, în perioada de monitorizare care cuprinde toate etapele construcțiilor.

Conform HG 80/2011 [102], din analiza valorilor indicelui multimetric pentru fitoplancton a rezultat că pe întreaga perioadă de monitorizare (pre-construcție, construcție și post-construcție), starea ecologică a apei Dunării se încadrează între bună și foarte bună, în arealul studiat. Indicatorii de calitate ai fitoplanctonului monitorizați au înregistrat o variabilitate dependentă în principal de momentul prelevării, urmând dinamica sezonieră a dezvoltării principalelor grupe de alge (tabel 4.3) [35] [83] [101] [100].

Tabel 4.5. Indicatori calitativi și cantitativi – fitoplancton [35] [83] [100]

An	Secțiune	Indice saprob	Indice de diversitate Simpson	Număr taxoni	Indice de abundență numerică (Bacillariophyta)	Indice multimetric (HG 80/2011)	Starea ecologică (HG 80/2011)
<b>Înainte de începerea lucrărilor</b>							
I	S2	1,7	0,676	20	99,2	0,825	Foarte bună
	S3	1,6	0,674	12	100	0,811	Foarte bună
<b>Pe parcursul desfășurării lucrărilor</b>							
II	S2	1,3	0,712	17	89,66	0,807	Foarte bună
	S3	1,37	0,687	12	84,73	0,767	Bună
III	S2	1,23	0,65	11	97,11	0,74	Bună
	S3	1,53	0,656	10	94,6	0,76	Bună
IV	S2	1,84	0,63	15	97,14	0,844	Foarte bună
	S3	1,65	0,681	17	100	0,846	Foarte bună
V	S2	1,68	0,678	16	100	0,848	Foarte bună
	S3	1,77	0,675	16	100	0,858	Foarte bună
Medie	S2	1,513	0,6675	17	95,978	0,81	Foarte bună
	S3	1,58	0,675	17	94,833	0,808	Foarte bună
<b>După finalizarea lucrărilor</b>							
VI	S2	1,57	0,704	15	100	0,848	Foarte bună
	S3	1,30	0,705	14	95	0,810	Foarte bună
VII	S2	1,5	0,734	16	100	0,852	Foarte bună
	S3	1,53	0,728	16	88,89	0,85	Foarte bună
Medie	S2	1,535	0,719	16	100	0,841	Foarte bună
	S3	1,415	0,717	16	91,945	0,826	Foarte bună

S2 – Secțiunea 2; S3 – Secțiunea 3

Din punct de vedere cantitativ, valorile densităților numerice totale realizate de algele fitoplanctonice în perioada de dinainte de începerea lucrărilor s-au încadrat în intervalul 2440000 – 2840000 ex/l, în perioada de construcție, valorile medii au fost cuprinse între 790000 – 885000 ex/l, iar după finalizarea lucrărilor fost de 280.000 ex/l în secțiunea de control de pe brațul Bala și de 400.000 ex/l în secțiunea corespunzătoare Dunării Vechi (tabel 4.6) [35] [83] [100].

Valorile biomasei fitoplanctonului au fost cuprinse între 3,894 mg/l și 3,964 mg/l în perioada de pre-construcție și de 0,884 - 1,075 mg/l în perioada de după finalizarea lucrărilor hidrotehnice. Pe parcursul realizării lucrărilor, valorile medii s-au încadrat între 1,495 mg/l și 1,612 mg/l [35] [83] [100].

Tabel 4.6. Structura cantitativă a fitoplanctonului [35] [83] [100]

An	Secțiunea	Densitatea totală [ex/l]	Abundența numerică pe grupe sistematice [%]		Biomasa totală [mg/l]	Indice saprob	Clasa de calitate (Ord. 161/2006)
			Bacillariophyta	Chlorophyta			
<b>Înainte de începerea lucrărilor</b>							
I	S 2	2840000	98,59	1,41	3,894	1,7	I
	S 3	2440000	99,20	0,8	3,964	1,6	I
<b>Pe parcursul desfășurării lucrărilor</b>							
II	S 2	1740000	89,66	10,43	2,710	1,3	I
	S 3	1440000	84,73	15,27	3,821	1,37	I
III	S 2	880000	97,44	2,56	1,223	1,23	I
	S 3	740000	94,60	6,40	1,006	1,53	I
IV	S 2	700000	97,14	2,86	1,355	1,84	I
	S 3	720000	100	-	1,250	1,65	I
V	S 2	220000	100	100	0,690	1,68	I
	S 3	260000	100	100	0,372	1,77	I
Medie	<b>S 2</b>	<b>885000</b>	<b>96,06</b>	<b>3,94</b>	<b>1,495</b>	<b>1,513</b>	I
	<b>S 3</b>	<b>790000</b>	<b>94,83</b>	<b>5,17</b>	<b>1,612</b>	<b>1,58</b>	I
<b>După finalizarea lucrărilor</b>							
VI	S 2	280.000	100	-	0,884	1,57	I
	S 3	400.000	95	5	1,075	1,30	I

S2 – Secțiunea 2; S3 – Secțiunea 3

Abundența numerică (%) a grupelor sistematice se caracterizează prin dominanță netă a diatomeelor (*Bacillariophyta*). Analizând datele calitative obținute rezultă că starea ecologică este foarte bună [35] [83] [100].

#### 4.6.2. Macrofite

Spre deosebire de fitoplancton, reprezentat de organisme de dimensiuni mici și microscopice ce se găsesc în masa apei, macrofitele sunt definite prin plante superioare de talie mare [35]. Macrovegetația litoralului se șezalonează în spațiu în funcție de adâncimea apei, existând trei cenoze vegetale cu caracteristici diferite, anume: flora dură, flora emersă, flora submersă [35]. În zona de interes, prezența speciilor de macrofite este redusă, în zona malului drept fiind identificată specia *Butomus umbellatus L.* (figura 4.40).



Figura 4.40. Prezența macrofitelor în secțiunea 3 – mal drept [83]

Structura biocenozelor Dunării și funcționalitatea acestora este determinată, în principal, de caracterul fluviatil al ecosistemului. Datorită vitezei curentului apei, dar și a variațiilor mari ale nivelului apei în fluviu pe parcursul unui an, s-a observat o slabă dezvoltare atât din punct de vedere calitativ, cât și cantitativ a populațiilor de macrofite. Totodată, absența macrofitelor poate

fi o consecință a prezenței substratului de tip nisipos – argilos al malurilor Dunării, dar și pantei abrupte a acestora [83].

Prezența puținelor macrofite este mai frecventă pe malul drept, aceasta datorându-se unui profil cu o pantă lentă unde macrofitele se fixează mult mai ușor, comparativ cu malul stâng cu un profil foarte abrupt [35].

#### 4.6.3. Macronevertebrate

Disponibilitatea și tipurile de habitate influentează în principal structura comunității și bogăția speciilor. În general, în zona litorală a fluviului există mai multe comunități de macronevertebrate mult mai abundente decât în albia adâncă. Numărul indivizilor sunt, de obicei, foarte scăzute în zona de apă adâncă [103].

Proprietățile diferitelor habitate fizice ale corpurilor de apă sunt determinate de condițiile hidrologice și hidraulice. Astfel, pe lângă variația debitului și a nivelului apei, în mod obișnuit, forța de forfecare dinamică a curentului de apă are, în principal, o importanță deosebită pentru determinarea distribuției granulometrice a sedimentelor și în paralel, pentru textura habitatului de-a lungul cursului de apă. Textura materialului albie poate varia, oferind posibilități variate de colonizare a diferitelor grupuri taxonomice de nevertebrate [103].

Conform Csányi B. [103], între km 347 – km 341 malul drept al Dunării este format din sedimente bogate în fosile, sub formă de substrat solid în habitatele zonei litorale. Astfel, în lucrarea „Metodologii privind cercetarea macronevertebratelor în râurile mari: Studiu de caz Dunărea Inferioară, România” [103] pentru a analiza distribuția taxonilor, au fost prelevate o serie de probe din sectorul Dunării ce cuprinde și zona de studiu analizată în prezenta lucrare, în luna mai a primului an de analiză. Din analizele efectuate a rezultat că în zona malurilor există o comunitate mai bogată de macronevertebrate decât în albia adâncă a fluviului.

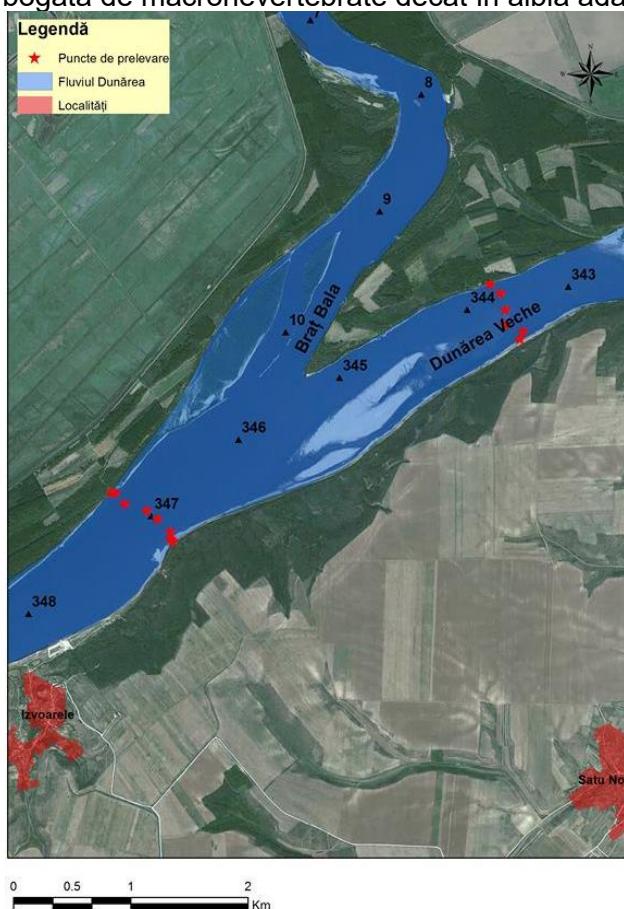


Figura 4.41. Punctele de prelevare a probelor în vederea investigării macronevertebratelor [103]

În secțiunea localizată în amonte de bifurcația braț Bala-Dunărea Veche, numărul de membri ai grupului de insecte (*Chironomidae*) este remarcabil și dominant în sedimentul fin de-a lungul malului stâng (400 ind./probă), iar numărul indivizilor sunt, de obicei, foarte scăzute în zona de adâncime datorită nisipului continuu.

În secțiunea transversală localizată pe Dunărea Veche a fost observat un număr individual extrem de mare de crustacee (1547 ind./probă) format mai ales de *Chelicorophium curvispinum* (1100 ind./probă) care trăiau pe substratul solid al albiei [103].

În figura 4.41 sunt reprezentate punctele de prelevare a probelor din arealul studiat, iar rezultatele obținute în urma analizei distribuției macronevertebratelor sunt prezentate în tabelul 4.7.

*Tabel 4.7. Rezultatele taxonomice ale analizei macronevertebratelor [ind./probă] – probe prelevate în sectorul Dunării studiat, în luna mai a anului I de analiză [103]*

	Amonte de bifurcația braț Bala-Dunărea Veche								Dunărea Veche							
	MS	MD	P I	P II	P III	P IV	P V	P VI	MD	P I	P II	P III	P IV	P V	P VI	
<b>POLYCHAETA</b>																
<i>Hypmania invalida</i> (GRUBE, 1860)					1											
<b>OLIGOCHAETA</b>																
<i>Oligochaeta</i>	10	1	2	5	1	1	1	25	2				10	2		
<b>HIRUDINEA</b>																
<i>Batracobdelloides moogi</i> (NESEMANN & CSANYI 1995)									1							
<b>GASTROPODA</b>																
<i>Holandriana holandrii</i> (C. PFEIFFER, 1828)										3						
<i>Bithynia tentaculata</i> (LINNAEUS, 1758)										3						
<i>Esperiana acicularis</i> (FÉRUSSAC, 1823)		3	6							79	43					
<i>Esperiana esperi</i> (FÉRUSSAC, 1823)										61						
<i>Lithoglyphus naticoides</i> (C. PFEIFFER, 1828)	111	143	11						8	4	3					
<i>Theodoxus danubialis</i> <i>danubialis</i> (C. PFEIFFER, 1828)										18	3					
<i>Theodoxus fluviatilis</i> <i>fluviatilis</i> (LINNAEUS, 1758)		73	3									1				
<i>Theodoxus transversalis</i> (C. PFEIFFER, 1828)																
<i>Viviparus viviparus</i> (LINNAEUS, 1758)										16	6					
<b>BIVALVIA</b>																
<i>Anodonta anatina</i> (LINNAEUS, 1758)	5															
<i>Corbicula fluminea</i> (O.F. MÜLLER, 1774)				5	6			1	7	19	3	1		3	1	2
<i>Dreissena bugensis</i> (ANDRUSOV, 1897)	2		2							3	7					
<i>Dreissena polymorpha</i> (PALLAS, 1771)	4	1	13							5	4					
<i>Pseudanodonta complanata</i> ssp.	2															
<i>Sinanodonta woodiana</i> (LEA, 1834)	1															
<i>Unio pictorum</i> ssp.	2															
<i>Unio tumidus</i> ssp.	13															

	Amonte de bifurcația braț Bala-Dunărea Veche								Dunărea Veche							
	MS	MD	P I	P II	P III	P IV	P V	P VI	MD	P I	P II	P III	P IV	P V	P VI	
<b>CRUSTACEA</b>																
<i>Astacus astacus</i> (LINNAEUS, 1758)									1							
<i>Chelicorophium robustum</i> (G. O. SARS, 1895)	1								12	165	2			1		
<i>Chelicorophium curvispinum</i> (G. O. SARS, 1895)	57	1	11	8					1	1100	2	2				
<i>Dikerogammarus haemobaphes</i> (EICHWALD, 1841)		1	1	2					16	79						
<i>Dikerogammarus villosus</i> (SOWINSKY, 1894)	2	39			1				42	59						
<i>Echinogammarus ischnus</i> (STEBBING, 1899)		12	1						14	24	1					
<i>Echinogammarus trichiatus</i> (MARTYNOV, 1932)			1						3							
<i>Hemimysis anomala</i> (G. O. SARS, 1907)		2		1												
<i>Jaera sarsi</i> (VALKANOV, 1936)			1						4	82						
<i>Katamysis warpachowskyi</i> (G.O. SARS, 1893)				1												
<i>Limnomysis benedeni</i> (CZERNIAWSKI, 1882)		3		1												
<i>Obesogammarus obesus</i> (G. O. SARS, 1894)	2	6	5	1			2		14	38	2					
<i>Pontogammarus robustoides</i> (G. O. SARS, 1894)				1												
<i>Pontogammarus sarsi</i> (SOWINSKY, 1898)					2	1		13	2	1		2	3	17	2	
<b>EPHEMEROPTERA</b>																
<i>Baetis</i> sp.									3							
<i>Caenis</i> sp.				1												
<i>Heptageniidae</i>									3							
<b>ODONATA</b>																
<i>Gomphus flavipes</i> (CHARPENTIER, 1825)			1						3							
<b>HETEROPTERA</b>																
<i>Sigara striata</i> (LINNAEUS, 1758)		3														
<b>TRICHOPTERA</b>																
<i>Hydropsyche bulgaromanorum</i> (MALICKY, 1977)				6					1	24						
<i>Hydropsyche</i> sp. juv.			1						146	3						
<b>COLEOPTERA</b>																
<i>Hyphydrus ovatus</i> Ad. (LINNAEUS, 1761)			1													
<i>Noterus clavicornis</i> Ad. (DE GEER, 1774)									1							
<b>DIPTERA</b>																
<i>Ceratopogonidae</i>				8	3	3								4	2	
<i>Chironomidae</i>	400	14	59	20	3	1	2	6	3	3						20

Similar cu acest sector, și în zona Sistemelor Hidroenergetice și de Navigație Portile de Fier I și II, componentele dominante ale comunității de macronevertebrate s-au dovedit a fi *Insecta*, *Oligochaeta* și *Mollusca*, iar în ceea ce privește procentul de participare/abundență relativă, *Mollusca* și *Crustacea* s-au dovedit a fi principalele componente [104].

#### 4.6.4. Ichtiofauna

În ceea ce privește ihtiofauna, întrucât construcțiile hidrotehnice realizate pentru îmbunătățirea condițiilor de navigație pot afecta speciile de pești bentonici reofili, la nivelul primului an de analiză (înainte de începerea lucrărilor), a fost investigat brațul Bala. În acest sens au fost analizate attributele abiotice ale habitatelor de pești (adâncimea și temperatura apei, caracteristicile meteorologice, materialul patului albiei). Totodată, capturile de pește au fost identificate, numărate pe specii și măsurate la lungimile standard (L) [105].

Tabel 4.8. Abundența relativă (%) a speciilor de pește capturat pe brațul Bala [105] [106]

TAXON	Abundența relativă	Partial protejată	Strict protejată	CDII*	CD IV**	CD V***	Specii indicate Natura 2000
<i>Acipenser nudiventris</i>	0,15					✓	
<i>Alosa tanaica</i>	0,15			✓		✓	✓
<i>Benthophilus stellatus</i>	0,30						
<i>Gymnocephalus baloni</i>	0,30			✓	✓		✓
<i>Ponticola kessleri</i>	0,30						
<i>Syngnathus abaster</i>	0,30						
<i>Cobitis taenia</i>	0,61			✓			✓
<i>Vimba vimba</i>	0,61						
<i>Eudonthomyzon mariae</i>	0,91			✓			
<i>Zingel zingel</i>	0,91	✓		✓		✓	✓
<i>Babka gymnotrachelus</i>	1,22						
<i>Gymnocephalus schraetser</i>	1,52	✓		✓		✓	✓
<i>Sander lucioperca</i>	1,52						
<i>Neogobius fluviatilis</i>	1,83						
<i>Aramis brama</i>	2,89						
<i>Neogobius melanostomus</i>	3,04						
<i>Barbus barbus</i>	3,65					✓	
<i>Aramis bjoerkna</i>	4,26						
<i>Ballerus sapa</i>	6,24						
<i>Sabanejewia balcanica</i>	12,33			✓			
<i>Romanogobio albipinnatus</i>	13,55			✓			
<i>Zingel streber</i>	43,38	✓		✓			✓
<b>Numărul de indivizi</b>	<b>657</b>	<b>518</b>	<b>0</b>	<b>964</b>	<b>76</b>	<b>120</b>	<b>788</b>
<b>Numărul de specii</b>	<b>22</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

\*Aparțin anexei II a Directivei 92/43/CEE a Consiliului - Specii de animale și plante de importanță comunitară a căror conservare necesită desemnarea unor arii speciale de conservare

\*\* Aparțin anexei IV a Directivei 92/43/CEE a Consiliului - Specii de animale și plante de importanță comunitară care au nevoie de protecție strictă

\*\*\* Aparțin anexei V a Directivei 92/43/CEE a Consiliului - Specii de animale și plante de importanță comunitară a căror prelevare și exploatare pot face obiectul unor măsuri administrative

Pe parcursul campaniei desfășurate în vara primului an de analiză, pe brațul Bala, ce face obiectul prezentei lucrări, au fost capturate 22 specii și 657 exemplare de pești. Cele mai abundente specii au fost reprezentate de *Z. streber* - 43% și *R. albipinnatus* - 14% (tabel 4.8).

Totodată, în Dunărea Inferioară se regăsesc 4 specii de sturioni și anume morun (*Huso huso*), păstrugă (*Acipenser stellatus*), cega (*Acipenser ruthenus*) și nisetru (*Acipenser gueldenstaedtii*) (figura 4.42) [35].

Importanța științifică și economică a acestor specii este dată atât de valoarea unică pe care o reprezintă pentru biodiversitate, cât și din punct de vedere al creșterii cererii de caviar pe piață [107]. Supraexploatarea, intervențiile antropice, pierderea habitatelor și poluarea au afectat grav toate speciile de sturioni, fiind necesar să se asigure conservarea pe termen lung a acestora [108] [107]. Începând cu anul 1998, toate speciile de sturioni sunt protejate de „Convenția privind comerțul internațional cu specii sălbaticice de faună și floră pe cale de dispariție (CITES)” [109].

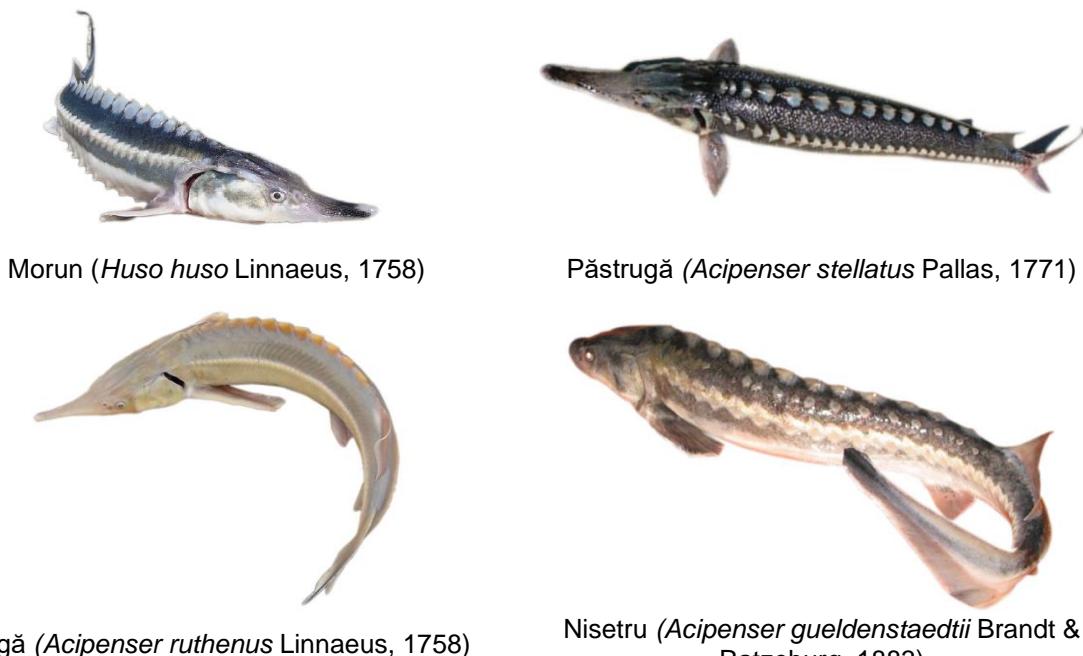


Figura 4.42. Specii de sturioni identificați în Dunărea Inferioară [34] [107]

În acest sens, experții INCDPM au desfășurat activități de monitorizare a speciilor de sturioni în vederea determinării eventualului impact pe care construcția lucrărilor hidrotehnice ar putea să o aibă asupra acestora [34]. Acest lucru a putut fi realizat prin dezvoltarea unor sisteme de monitorizare care furnizează date referitoare la traseul de migrație al sturionilor marcați ultrasonic.

Monitorizarea sturionilor a început în anul I de analiză, odată cu realizarea primelor sisteme de supraveghere dezvoltate de către INCDPM [110] [111].

Pentru a crea porți de monitorizare, în zonele de pe sectorul Călărași – Brăila, în care au fost executate lucrări hidrotehnice, au fost montate stații fixe [112] și mobile [113] de monitorizare a iștiofaunei și în special a sturionilor, prin teledetectie cu marcă ultrasonică. Aceste stații sunt utilizate în vederea determinării parametrilor de calitate a apei și a traseului de migrație al sturionilor, marcați ultrasonic.

Stația DKTB de monitorizare a iștiofaunei și în special a sturionilor marcați ultrasonic, în diferite condiții hidrologice [112] (figura 4.43) oferă posibilitatea înregistrării datelor referitoare la nivelul apei.

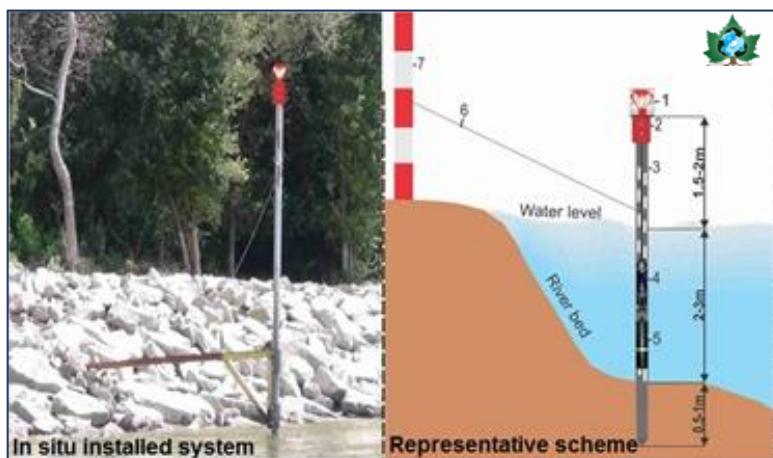


Figura 4.43. Stația DKTB de monitorizare a iștiofaunei și în special a sturionilor, prin teledetectie cu marcă ultrasonică, în diferite condiții hidrologice [112]

Stația este compusă din (1) sistem de avertizare luminoasă de culoare roșie; (2) capac de protecție metalic cu sistem de închidere special; (3) țeavă de protecție prevăzută cu fante; (4) multiparametru utilizat pentru monitorizarea nivelului și a parametrilor de calitate a apei; (5) receptor al semnalelor ultrasonice; (6) cablu de ancorare; (7) stâlp de ancorare, care reduce riscul de pierdere a stațiilor de recepție, utilizate pentru sesizarea semnalelor ultrasonice emise de mărcele implantate peștilor capturați în scopul monitorizării și implicit creșterii volumului informațional aferent migrării acestor specii de pești (figura 4.43) [112].

Stația DKMR-01T de monitorizare prin teledetectie a ihtiofaunei și în special a sturionilor în condiții hidrologice dificile [113] (figura 4.44) funcționează pe baza principiului presiunii de flotație care îi oferă mobilitate atât în plan vertical cât și orizontal și posibilitatea utilizării în orice condiții: hidromorfologice, hidrodinamice și meteorologice, cu eliminarea riscului de pierdere a stațiilor de recepție și implicit a volumului informațional înregistrat [113].



Figura 4.44. Stația mobilă de tipul DKMR-01T de monitorizare prin teledetectie a ihtiofaunei și în special a sturionilor în condiții hidrologice dificile [113].

Sistemul este compus din (1) sistem de avertizare luminoasă de culoare roșie; (2) rezervor plutitor din tablă; (3) sistem de legătură dintre rezervor și țeavă de protecție; (4) capac de protecție metalic; (5) țeavă de protecție prevăzută cu fante pentru trecerea apei; (6) sondă multiparametru utilizată pentru determinarea calității apei; (7) stație de recepție pentru monitorizarea ihtiofaunei (figura 4.44) [113].

Utilizarea celor două stații a condus la obținerea unor rezultate unice privind starea de conservare a speciilor de sturioni din Dunărea Inferioară. Dată fiind importanța economică excepțională a acestor specii, datele furnizate sunt importante pentru găsirea celor mai bune măsuri pentru conservarea stocurilor de sturioni. Sistemele sunt utilizate pentru cercetarea din domeniul biodiversității și a dinamicii ecosistemelor acvatice, în vederea determinării variațiilor de nivel al apei, parametrilor de calitate a apei și a migrării speciilor acvatice. Unul dintre avantajele celor două sisteme este reprezentat de posibilitatea de includere în interiorul echipamentului a unui multiparametru pentru determinarea elementelor de calitate a apei, protejând în același timp dispozitivele și oferind cu ușurință accesul la descărcarea datelor [114].

Rezultatele au permis realizarea unei baze de date unice privind impactul antropic (hidroconstrucții, braconaj) asupra stării de conservare a sturionilor din Dunărea Inferioară. Aceste informații reprezintă baza necesară adoptării măsurilor pentru regenerarea stocurilor de sturioni și asigurarea exploatarii acestei resurse și de către generațiile viitoare [114].

În urma activităților de monitorizare desfășurate pe parcursul celor 6 ani de analiză, au fost capturate, marcate și monitorizate 349 exemplare de sturioni din cele 4 specii [115]. Datele furnizate de cele două stații de monitorizare au indicat că zona de studiu a prezentei cercetări reprezintă un areal important în traseul de migrație al sturionilor, brațul Bala fiind traversat în toate etapele de construcție ale structurilor hidrotehnice [34].

Pentru a evalua influența efectelor lucrărilor hidrotehnice executate pe brațul Bala asupra speciilor de sturioni, este necesar să se expună caracteristicile comune ale comportamentului speciilor de sturioni [116]:

- Nisetrul, păstruga și morunul sunt specii pe cale de dispariție fiind încadrați în „*Lista roșie a speciilor amenințate*”, în conformitate cu Uniunea Internațională pentru Conservarea Naturii, iar cega este considerată specie vulnerabilă [117].
- Toate speciile de sturioni se reproduc în apă dulce sau apă cu salinitate scăzută deși adulții pot migra în apă sărată pentru hrănire. În timpul ontogenezei, unii sturioni se adaptează chiar la niveluri ridicate de salinitate, după ce ajung la o anumită dimensiune. Cega este adaptată numai la apă dulce.
- Ciclul de viață al sturionilor este, în general, destul de lung. Indivizii se înmulțesc în mod repetat, dar majoritatea femelelor nu depun icre anual.
- Speciile de sturioni specifici Dunării Inferioare hibernează pe parcursul iernii, preferând gropile și zonele adânci ale fluviului.
- Perioada depunerii icrelor variază. Majoritatea speciilor de sturioni depun icre din primăvară, până la începutul verii, în condiții de temperatură ce variază între 6 și 25° C. De asemenea, migrația sturionilor pentru reproducere depinde și de regimul de curgere a fluviului.
- Studiile indică, de asemenea, că disponibilitatea unui habitat adecvat pentru reproducere este vitală pentru succesul reproductiv al sturionilor. Zonele de reproducere se caracterizează prin substraturi dure, a căror granulometrie variază de la pietriș la anrocamente, prevăzute cu rețele de fisuri în care viteza apei este de obicei scăzută. Aceste arii sunt în mod obișnuit în zona principală a râului sau pe maluri, pe fundul substraturilor dure. Adâncimea apei în ariile de reproducere variază de la câțiva metri până la 26 m, iar viteza mediată pe verticală a curentului de apă se încadrează în intervalul 0,5 - 2,2 m/s, permitând dispersia icrelor fertilizate.
- Icrele sunt adezive și pot fi găsite imediat în aval de zona de reproducere. În timpul embriogenezei au fost raportate viteză de apă între 0,5-1,5 m/s. Eclozarea are loc după 200-250 ore, în funcție de specie și de temperatura apei. Dimensiunea larvelor variază între 6 și 15 mm. Larvele sunt pelagice timp de 2-3 zile – păstrugă sau de 7-8 zile – morun. Apoi sunt transportate în aval de curentii de apă, la o viteză mai mare de 0,45 m/s. Larvele se depun, de obicei pe substrat gros, la o viteză a apei mult mai mică (1 până la 5 cm/s) și încep să se hrănească atât cu organismele planctonice cât și cu cele bentonice. Cerințele de viteză a apei și de substrat pentru icre și larve sunt diferite pentru fertilizare, embriogenă, resorbție, prima hrana și hrana exogenă activă. Cerințele privind habitatele necesare pentru dezvoltarea puietului se modifică odată cu anotimpurile.
- Reproducerea speciilor de sturioni depinde de condițiile hidrodinamice. Debitele mari pot conduce la creșterea vitezelor curentului de apă la nivelul patului albiei, fapt ce împiedică sau reduce în mod semnificativ succesul reproducării. Debitele mici sunt de asemenea importante pentru perioada de dezvoltare a icrelor, de eclozare și de migrație în aval a larvelor.
- Perioadele de debit mare reprezintă punctul de început al migrației pentru reproducere. Scăderea valorii debitului apei conduce la reducerea numărului de reproducători care intră în regiunile pre estuare.
- De obicei, zonele de reproducere sunt frecventate de speciile de sturioni în fiecare an.
- Toti sturionii prezintă o tendință puternică spre hibridizare cu alte specii de sturioni, în special dacă se pierd habitatele de reproducere adecvate.

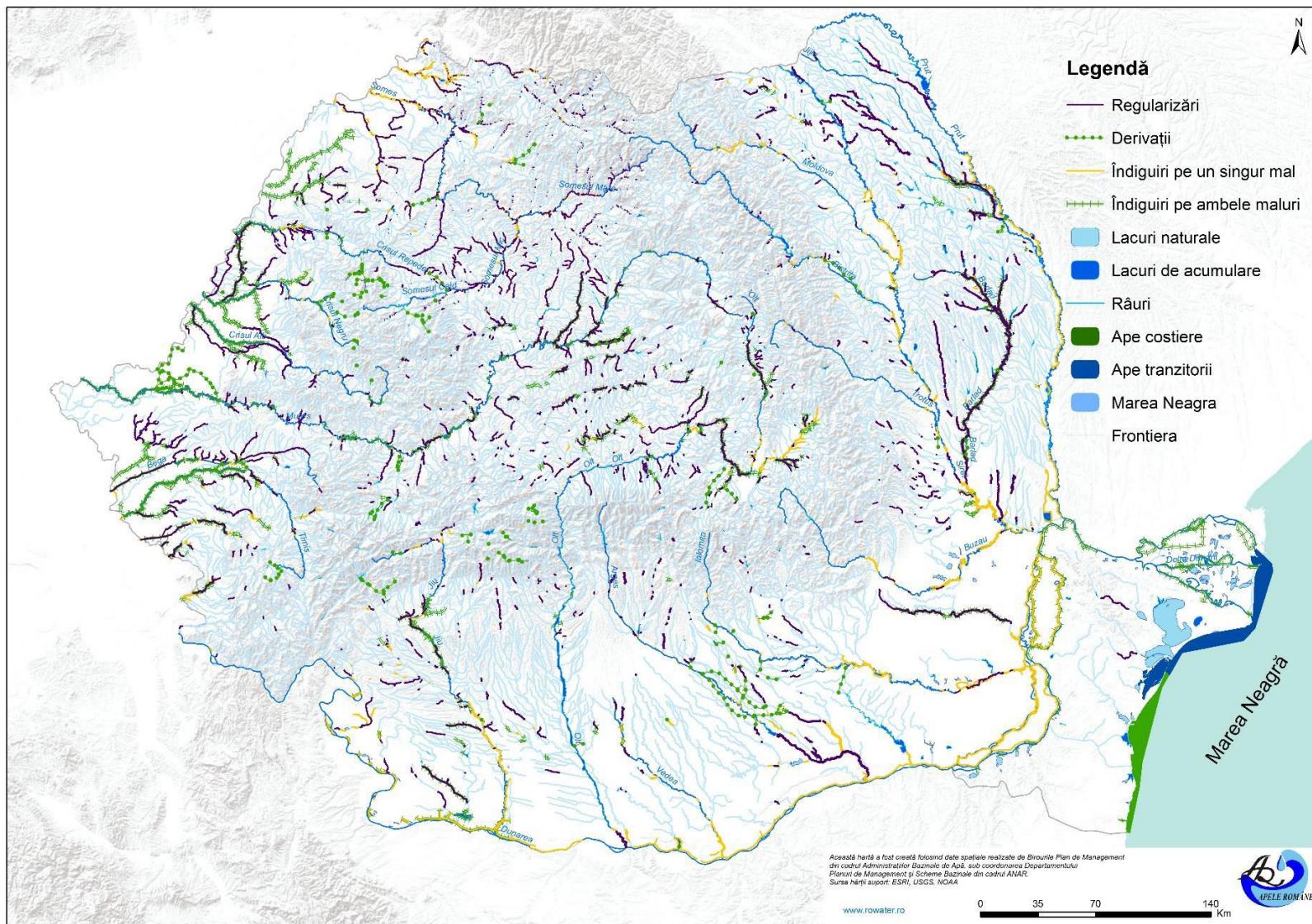


Figura 4.45. Lucrări hidrotehnice potențial semnificative [118]

#### 4.7. Intervenții antropice pe sectorul inferior al Dunării

Corespunzător potențialului disponibil, fluviul Dunărea reprezintă un sector de mare interes din punct de vedere politic, economic și social. Pentru optimizarea deservirii folosințelor referitoare la navigație, energetică hidro și nucleară, alimentări cu apă, agricultură, piscicultură, silvicultură și turism, este necesară execuția de lucrări hidrotehnice în albie [119].

Primele amenajări hidrotehnice în bazinul Dunării au început în secolul al XVI-lea, în Ungaria, urmând ca apoi, în anul 1930 să fie realizată prima construcție hidrotehnică în Austria și primul dig în 1927, în sudul Bavariei [88] [120]. Primele lucrări de îmbunătățire a condițiilor de navigație au fost demarate în sectorul Dunării superioare, în secolul al IXX-lea. În prezent, atât Dunărea cât și câțiva dintre afluenții săi principali sunt navigabili.

În bazinul hidrografic corespunzător sectorului românesc al Dunării, au fost realizate o serie de lucrări, conform figurii 4.45. Acestea pot avea un impact semnificativ asupra patului albiei cursului de apă. În „*Planul național de management aferent portiunii din bazinul hidrografic internațional al fluviului Dunărea care este cuprinsă pe teritoriul României*” [118], în funcție de tipul construcțiilor hidrotehnice, sunt descrise criteriile abiotice pentru definirea presiunilor hidromorfologice potențial semnificative (tabel 4.9).

Tabel 4.9. Criterii abiotice pentru definirea presiunilor hidromorfologice potențial semnificative [118]

Construcții hidrotehnice (alterări hidromorfologice)	Efecte	Parametrii ce reflectă presiunea
<b>LUCRĂRI DE BARARE</b>		
Transversale – baraje, praguri de fund	Asupra regimului hidrologic, transportului sedimentelor și migrării biotei	Densitatea pragurilor (nr/km) Înălțimea obstacolului (cm)
Lacuri de acumulare - evacuare unde pulsatorii	Asupra curgerii minime și biotei Asupra regimului hidrologic, stabilității albiei și florei	Debitul minim în albie/Q (%) Gradientul (des) creșterii nivelului apei (cm)/oră
<b>LUCRĂRI ÎN LUNGUL RÂULUI</b>		
Diguri, amenajări agricole, piscicole, etc.	Asupra conectivității laterale, vegetației din lunca inundabilă și zonelor de reproducere	Lungime diguri/Lungime corp de apă (%) Suprafața afectată/suprafața luncii inundabile (%)
Lucrări de regularizare și consolidare maluri, tăieri de meandre	Asupra profilului longitudinal al râului, structurii substratului și biotei	Lungime lucrare de regularizare/Lungime corp de apă (%)
<b>ȘENALE NAVIGABILE</b>		
Șenale navigabile	Asupra stabilității albiei și biotei	Lățimea șenalului (dragat)/Lățimea albiei (%)
<b>PRIZE DE APĂ</b>		
Prize de apă, restituții folosințe (evacuări), derivații	Asupra curgerii minime, stabilității albiei și biotei	Debitul prelevat sau restituit/Debitul mediu multianual (%) Debitul minim în albie/Q (%)

În România, primele lucrări inginerești au fost inițiate între anii 1834 și 1837. Acestea au constat în lucrări de regularizare a albiei fluviului în vederea îmbunătățirii condițiilor de navigație la ieșirea Dunării din defileu [51].

O dată cu anii 1856 execuția acestor tipuri de lucrări a luat amploare, prima mare construcție hidrotehnică de regularizare a Dunării pentru navigație fiind realizată la gura de vărsare a brațului Sulina. În această zonă s-a intervenit prin realizarea unor diguri (ceea ce a condus la creșterea adâncimii) și prin schimbarea traseului brațului Sulina. Prin implementarea acestor lucrări a fost scurtat traseul navigabil cu 21,2 km, dar, pentru că debitele lichide și solide

preluate de braț s-au dublat, au apărut dificultăți de întreținere/asigurare a adâncimilor la gura de vărsare [47].

Încă din primele decenii ale secolului al XX-lea, utilizarea potențialului hidroenergetic al Dunării Inferioare a intrat în preocupările specialiștilor. În prezent, în vederea producerii energiei electrice și pentru îmbunătățirea condițiilor de navigație, pe sectorul românesc al Dunării funcționează Sistemele Hidroenergetice și de Navigație Portile de Fier I și II. Acestea au fost proiectate și construite în colaborare cu partenerii sărbi [121].

Sistemul Hidroenergetic și de Navigație Portile de Fier I (figura 4.46) este amplasat pe Dunăre la km 943, construcția sa începând în septembrie 1964, iar inaugurarea oficială având loc în mai 1972. Obiectivul este compus din două centrale hidroelectrice cu câte șase hidroaggregate cu turbine *Kaplan* de mare capacitate, două ecluze și un baraj deversor cu 14 câmpuri deversoare [121].

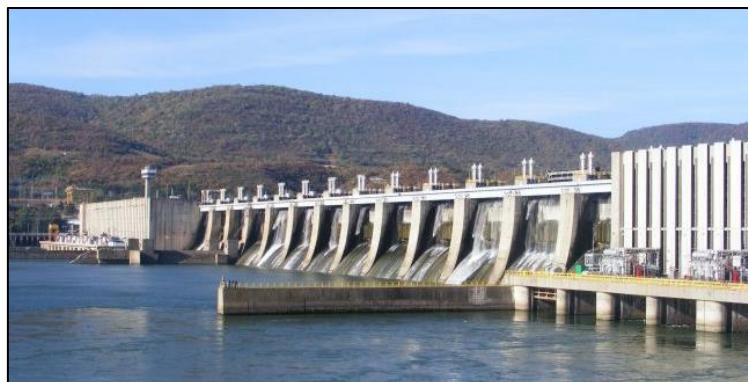


Figura 4.46. Sistemul Hidroenergetic și de Navigație Portile de Fier I [121]

Sistemul Hidroenergetic și de Navigație Portile de Fier II (figura 4.47) este amplasat pe Dunăre la km 853, în zona insulei Ostrovul Mare. Construcția sistemului a început în anul 1977. Obiectivul are o configurație nesimetrică, fiind compus dintr-o centrală de bază cu 16 agregate de tip bulb (puse în funcțiune în perioada 1984 – 1986), două centrale suplimentare (cea românească funcțională din 1994, iar cea sărbească din 2000), trei ecluze și două baraje deversoare [121].

Cele două sisteme hidroenergetice și de navigație eliberează doar 20-30% din aportul sedimentar transportat de fluviu înainte de construcția lor, o mare parte din sedimente fiind reținute în lacurile de acumulare. Astfel, deficitul de sedimente în aval de baraje, a condus la eroziunea albiei Dunării, având un impact major asupra ecosistemelor acvatice, perturbând în special traseul de migrație sturionilor [121].



Figura 4.47. Sistemul Hidroenergetic și de Navigație Portile de Fier II [121]

Un alt exemplu important este reprezentat de Centrala Nuclearoelectrică Cernavodă (figura 4.48). Aceasta asigură funcționarea în siguranță a Unităților nucleare 1 și 2, fiecare cu o putere instalată de producție de 700 MW [75]. CNE Cernavodă utilizează tehnologia canadiană CANDU 6 (*Canadian Deuterium Uranium*) folosind uraniul natural ca și combustibil și apa grea ca moderator și agent de răcire [120].



Figura 4.48. CNE Cernavodă [122]

Proiectul centralei nucleare Cernavodă cuprinde 5 unități nucleare de 700 MW. Lucrările de construcție au început în anul 1980 la toate cele 5 unități. Până în prezent, în prima fază, au fost finalizate și puse în funcțiune primele 2 unități [75]. Unitatea 1 a CNE Cernavodă a fost pusă în operare comercială în anul 1996, iar Unitatea 2 în 2007. Cele două reactoare de la Cernavodă asigură aproximativ 20% din necesarul de energie al României [122]. Există în plan punerea în funcțiune și a Unităților 3 și 4 [75]. Amplasamentul centralei nucleare (Dunăre km 280) a fost selectat pe baza studiilor care au luat în considerare ca sursă de apă de răcire fluviul Dunărea prin Canalul Dunăre – Marea Neagră (CDMN) și necesarul de apă de răcire pentru 5 unități, cca. 270 m<sup>3</sup>/s [54 m<sup>3</sup>/s/unitate].

Referitor la lucrările de îmbunătățire a condițiilor de navigație, cea mai importantă astfel de intervenție este reprezentată de canalul Dunăre-Marea Neagră, care se întinde de la Cernavodă până la Agigea. În ciuda faptului că încă de la mijlocul anilor 1800 existau planuri pentru construirea acestui canal, lucrările au fost demarate în 1949 și finalizate în 1984, respectiv 1987 pentru brațele sudice și nordice.

Execuția acestor lucrări a avut un puternic impact asupra ecosistemelor acvatice și a celor din luncile inundabile în primul rând prin deconectarea anexelor fluviale de la sistemul principal. Totodată, digurile și schimbarea traseului cursului de apă, prin tăierea meandrelor, au condus la reducerea capacitatei de reținere a inundărilor și la modificarea schimburilor dintre apele de suprafață și apele subterane (pânza freatică), cât și la dispariția sau transformarea ecosistemelor prezente în lunci inundabile [51].

În vederea întreținerii șenalului navigabil și pentru exploatarea nisipului și pietrișului din patul albiei, au fost efectuate lucrări de dragaj. Din albia Dunării Inferioare, este dragat anual un volum de sedimente ale cărui valori sunt cuprinse în medie între 1,5 și 3,5 Mm<sup>3</sup>/an [51].

Efectuarea acestor lucrări are impact asupra zonei dragate prin degradarea hidromorfologică, incizii ale patului albiei urmate de niveluri scăzute ale apelor, eroziunea malurilor și frecvența redusă de inundație ale luncilor inundabile. Efectele dragajelor locale se extind pe o distanță importantă în amonte și în aval de zona dragată. În situația în care cursul Dunării va continua să fie exploatat în același ritm ca până în prezent, se estimează o generalizare a fenomenului de degradare a patului aluvial al Dunării inferioare, ceea ce va conduce la modificarea habitatelor faunei acvatice, schimbarea regimului apelor subterane și a ecologiei luncilor inundabile [51].

Datorită efectelor morfologice speciale din zona de bifurcație dintre brațul Bala și Dunărea Veche, sectorul de Dunăre cuprins între km 375 – km 175 ridică cele mai mari probleme în ceea ce privește asigurarea condițiilor de navigație [51].

De asemenea, în urma analizei datelor din literatura de specialitate, s-a observat o creștere de până la 30-35% a debitului preluat de brațul Bala, în perioada 1940 – 1950. În schimb, în perioada 2010 - 2013 ponderea a ajuns la circa 80%, ceea ce arată o creștere medie de 0,8% pe an [51]. Acest fenomen provoacă în timp atrofierea și îmbătrânirea vechiului curs al Dunării, având efecte negative atât asupra mediului din zonele protejate, cât și asupra alimentării cu apă de-a lungul Dunării, în aval de brațul Bala.

#### 4.8. Descrierea construcțiilor hidrotehnice din zona de studiu

Pe sectorul dunărean cuprins între Călărași și Brăila, normele stabilite de Comisia Dunării recomandă ca șenalul navigabil să aibă o adâncime de 2,5 m sub etajul navigabil și de regularizare (ENR) și o lățime de 180 m, pentru secțiunile cu praguri de nisip aceasta reducându-se la 150 m [34].

Pe acest sector nu sunt asigurate pe tot parcursul anului condițiile de navigație, dat fiind contextul existent în zona bifurcației braț Bala-Dunărea Veche: în situații de ape mici, distribuția debitului de apă între Bala și Dunărea Veche a devenit defavorabilă brațului principal al Dunării, proporția acestei distribuții fiind de cca. 80% debit preluat de brațul Bala și de cca. 20%, debit preluat de Dunărea Veche [34] [51] [47] [123]. Prin urmare, scăderea debitelor și nivelelor apei pe Dunărea Veche afectează toate folosințele fluviului din aval. Totodată, această situație conduce la prelungirea perioadei de secetă pentru zonele umede situate în zona brațului principal al Dunării, la creșterea sedimentărilor pe Dunărea Veche și a fenomenelor de eroziune pe brațul Bala, la reducerea disponibilității de asigurare a apei de răcire pentru Centrala Nuclearoelectrică Cernavodă și la continua creștere a necesarului anual de dragaje pentru întreținerea șenalului navigabil [123].

Problema redistribuirii debitelor din zona de bifurcație braț Bala – Dunărea Veche, s-a aflat în atenția specialiștilor încă din deceniul VI al secolului trecut, cu prilejul începerii lucrărilor la canalul Dunăre - Marea Neagră, etapa 1949 - 1953. Pe baza măsurătorilor topohidrografice și hidrologice disponibile, precum și a studiilor pe model, efectuate la Sankt Petersburg, în această etapă au fost propuse pentru zona de bifurcație braț Bala - Dunărea Veche trei soluții, și anume [119]:

- mutarea gurii brațului Bala în amonte de stâncă de submersie de la Pârjoaia;
- realizarea unui dig de dirijare pe malul stâng al brațului Bala pentru anihilarea efectului de epiu submers al stâncii de la Pârjoaia și dirijarea curentului principal pe brațul Dunărea Veche;
- bararea brațului Bala printr-un dig și mutarea gurii acestuia spre aval, în zona brațului Turcescu.

Separat de acestea, pentru sporirea adâncimilor navigabile la niveluri scăzute se preconizau lucrări de calibrare a albiei pe Dunăre între km 345 – 238 [119]. Abandonarea lucrărilor la canalul Dunăre - Marea Neagră, în 1953 a condus implicit și la renunțarea realizării amenajărilor menționate anterior [119].

Ca urmare a reluării lucrărilor de proiectare și execuție a canalului și de asigurare a transportului pe apă al materiilor prime spre amonte, la combinatele siderurgice ce urmău să se construi la Călărași și Galați, problema amenajărilor în acest sector este din nou abordată între anii 1973 - 1979. În baza studiilor pe model efectuate la Institutul de Cercetări Hidrotehnice (actualul INCDPM) s-au întocmit în perioada 1979 - 1986 documentații de proiectare aferente investiției pentru combinatul siderurgic de la Călărași, care prevedea, printre altele și amenajări în zona amonte a brațului Bala, constând într-un dig de închidere și dirijare pe malul stâng, protecția malului drept și realizarea a două praguri de fund submersibile în vederea reducerii debitelor lichide [119].

După 1990 proiectul s-a reactualizat, propunându-se execuția unui singur prag pe brațul Bala la km 9,5 cu cota la -1,85 m față de etajul local Călărași, pentru sporirea debitelor pe

Dunărea Veche [119]. Pe lângă acesta, a fost realizat un dig de dirijare, pe malul stâng al Dunării, pe brațul Bala, astfel încât lățimea albiei la intrarea pe braț să se reducă [119].

Sisteme din nou, la sfârșitul anului 1995, lucrările nefinalizate din zona amonte a brațului Bala au condus la accelerarea absorbției debitelor mici pe acest braț, ca urmare a îngustării secțiunii. Totodată lucrările nefinalizate au condus la modificarea formei albiei la intrarea pe brațul Bala ca urmare a eroziunilor cauzate de creșterea vitezelor de curgere [123]. Acest fapt a generat reducerea drastică a adâncimilor necesare navegației și neasigurarea debitelor necesare de captat pentru unitățile CNE Cernavodă. Aceasta situație a fost favorizată și de neexecutarea unor lucrări de dragaje de întreținere în zonele vulnerabile [119].

În acest context, a fost necesar să se propună o nouă serie de lucrări hidrotehnice prin care să se asigure condițiile optime de navegație, pe tot parcursul anului, prin stabilizarea șenalului navigabil al Dunării și a parametrilor săi, precum și prin creșterea adâncimii de navegație în punctele critice. Aceste construcții sunt reprezentate de: un prag de fund, un dig de dirijare și o apărare de mal, toate realizate pe brațul Bala (figura 4.49) [34] [51] [79].

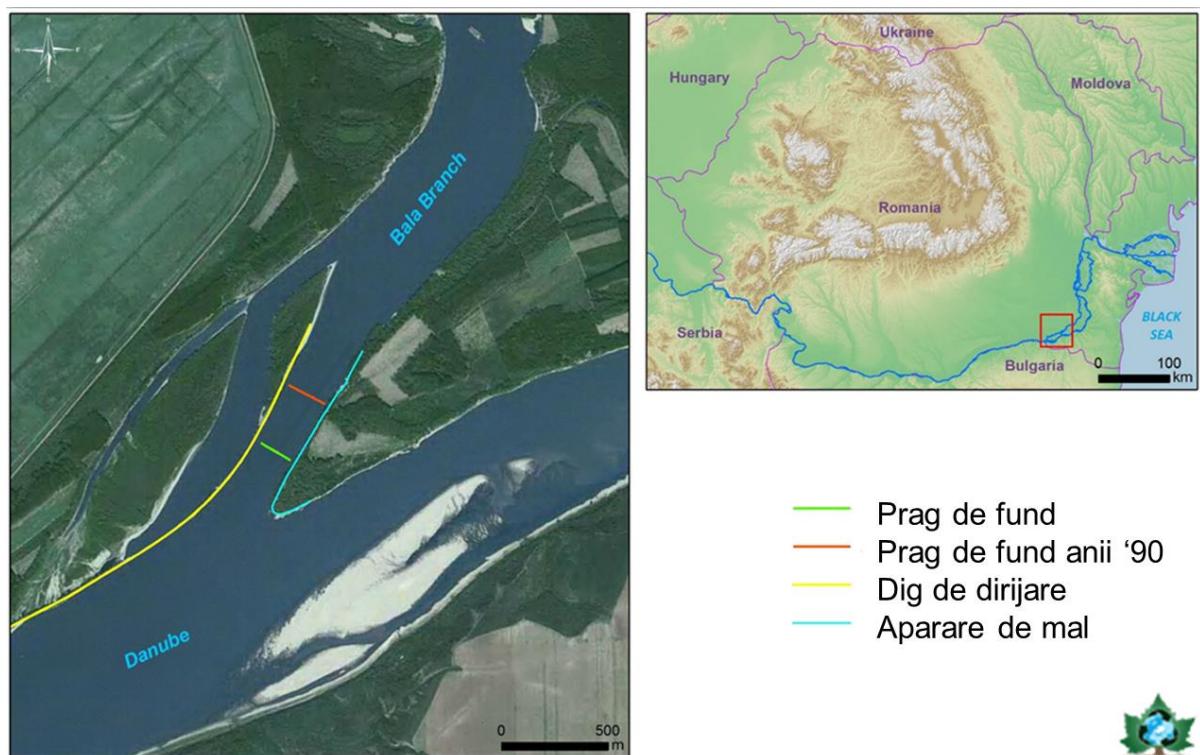


Figura 4.49. Localizarea construcțiilor hidrotehnice [79]

Prin realizarea acestor construcții hidrotehnice se urmărește modificarea distribuției debitelor între brațele Dunărea Veche și Bala, contribuind prin aceasta esențial la îmbunătățirea condițiilor de navegație pe Dunărea Veche Inferioară.

Pragul de fund este prevăzut pe toată lățimea brațului Bala. Acesta se încastrează în digul de dirijare (malul stâng) și în apărarea de mal (malul drept). Conform proiectului tehnic, pragul de fund, a fost conceput astfel [123]:

- strat suport de saci de geotextil umpluți cu nisip;
- corpul pragului de fund este alcătuit dintr-un din miez din saci de geotextil umpluți cu nisip și piatră brută sortată de 200-600 kg/buc, protejat la exterior cu o îmbrăcăminte de 1,60 m din blocuri de piatră de 0,50-2,0 t/buc;

Pragul de fund este localizat la aproximativ 300 m amonte de amplasamentul structurii submersibile a cărui construcție a demarat la începutul anilor '90, dar nu a fost finalizată. Pragul de fund a fost proiectat astfel încât să aibă o lungime de 195,30 m, între taluzele celor două construcții hidrotehnice (digul de dirijare și apărarea de mal). Conform proiectului, structura este construită în trepte, în zona centrală fiind prevăzută o cunetă la cota -3,48 m față de ENR. De o

parte și de alta a cunetei, pe o lungime de 27,65 m, cota pragului de fund are valoarea de -1,85 față de ENR, după care urcă, pe o distanță de 50 m, până la ENR. Lățimea coronamentului variază de la 10 m, în zona cunetei, până la 40 m, în sectorul în care cota este de -1,85 m față de ENR [123].



Figura 4.50. Construcția structurilor hidrotehnice în vederea îmbunătățirii condițiilor de navigație pe Dunăre [81]



Figura 4.51. Realizarea pragului de fund [34]

Soluția constructivă a digului de dirijare constă în realizarea unui dig de piatră. Digul de dirijare are următoarele elemente constructive [123]:

- cota coronament 11,28 MNS (cotă Marea Neagră Sulina);
- lățime coronament 5 m, cu taluzuri cu pante de 1:2,5 - 1:3 spre brațul Bala și 1:1,5 - 1:2,5 spre uscat;
- lungime dig 2164 m.

Apărarea de mal are ca soluție constructivă realizarea unei protecții din straturi de piatră brută. Aceasta are cota de 10,78 MNS (cotă Marea Neagră Sulina).



Figura 4.52. Anrocamente utilizate pentru construcția structurilor hidrotehnice [34]

Piatra utilizată la construcția lucrărilor hidrotehnice este un diabaz de tip *pillow-lava* (figura 4.52), adus din cariera „Revărsarea” (Tulcea). *Pillow-lava* este o structură caracteristică curgerilor subacvatice, care apare sub forma unor elipsoizi formați din material bazaltic, brăzdați de crăpături radiare umplute cu calcit. Diabazele sunt roci masive, de culoare verzui-negricioasă, uneori violacee și prezintă un aspect compact sau amigdaloid. La exterior, diabazul are un aspect sticlos datorat unei răciri bruște, explicată prin consolidarea rapidă a lavei în apa mării, în timp ce în interior răcirea mai lentă conferă rocii un aspect microcristalin [124].

Alegerea zonei de studiu a reprezentat unul dintre obiectivele specifice ale tezei de doctorat. Arealul studiat, reprezentat de bifurcația braț Bala – Dunărea Veche prezintă o importanță deosebită din punct de vedere al proceselor hidromorfologice complexe ale albiei. Dat fiind faptul că acest sector face parte din corridorul Pan-European nr. VII, asupra lui s-a intervenit prin realizarea unor lucrări hidrotehnice care să asigure condițiile optime de navigație, pe tot parcursul anului. Totodată, acest sector face parte din ariile Natura 2000 - situl

ROSCI0022 Canaralele Dunării și situl ROSPA0039 Dunăre Ostroave și reprezintă un sector important în traseul de migrație al sturionilor.

Având în vedere faptul că în timpul perioadei de vară-toamnă, debitele de apă se reduc considerabil pe brațul principal al Dunării – pe Dunărea Veche nu mai este asigurată adâncimea minimă pentru o perioadă medie de 160 zile în fiecare an, adâncimea șenalului fiind redusă în unele zone până la 1,5 – 2,0 m. Acest lucru conduce la devierea navegației pe ruta secundară Bala-Borcea, care preia un debit mai mare de apă și are adâncimi mai mari față de Dunărea Veche, dar care, pe de altă parte, prezintă inconveniente legate de lățimea șenalului și de curbura acestuia. În consecință, în zona studiată au fost propuse o serie de lucrări hidrotehnice prin care să se asigure condițiile optime de navegație pe Dunărea Veche.

În vederea caracterizării zonei de studiu au fost utilizate atât date provenite din literatura de specialitate, cât și informații bazate pe prelucrarea rezultatelor obținute în urma activităților de monitorizare a sectorului de interes, pe parcursul fazelor de construcție a lucrărilor hidrotehnice.

În acest sens, după prezentarea aspectelor legate de localizare și relieful terestru, o mare importanță a fost acordată morfologiei albiei sectorului de interes. Astfel, a fost prezentată situația de dinainte de începerea și după finalizarea lucrărilor hidrotehnice. Din investigațiile efectuate s-a evidențiat că în urma execuției structurilor hidrotehnice, a fost schimbată geometria patului albiei.

Din punct de vedere al proceselor hidrodinamice, în urma analizelor efectuate s-a observat că, în urma intervențiilor antropice, viteza curentului de apă a crescut pe brațul Bala. În ceea ce privește distribuția debitelor, în perioadele analizate s-a remarcat că pe brațul Bala a fost distribuit un debit mai mare de apă, comparativ cu Dunărea Veche.

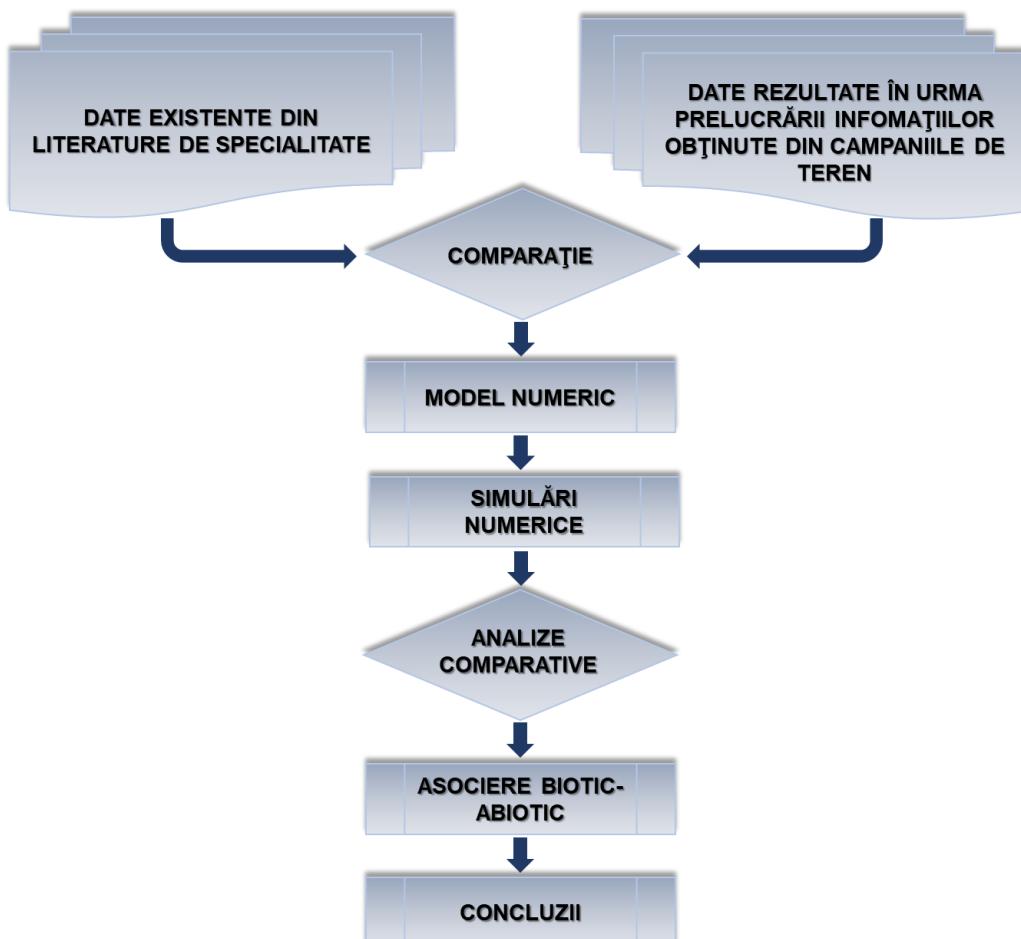


Figura 4.53. Schematizarea cercetării

Aria de interes are o importanță deosebită din punct de vedere al proceselor morfodinamice complexe ale albiei. În urma analizei morfologice a zonei de studiu, în care au fost comparate imagini satelitare *Landsat* pe un interval de 16 ani, a rezultat că cele mai mari schimbări din punct de vedere morfologic au avut loc pe brațul Bala - tendința cursului de apă este de a se dezvoltă spre est.

Pentru a asocia tendința de evoluție a reliefului patului albiei cu elementele biotice ale ecosistemului acvatic, au fost caracterizate și componentele privind starea ecologică a corpurilor de apă, habitatele, flora terestră, avifauna, flora și fauna acvatică. Totodată au fost prezentate elementele tehnice ale structurilor hidrotehnice, conform proiectului tehnic.

Aceste date au o importanță deosebită în ceea ce privește realizarea analizelor privind tendința de modificare a reliefului patului albiei și corelarea rezultatelor cu elementele biotice ale ecosistemului acvatic ce caracterizează zona de studiu ([figura 4.53](#)).

## Capitolul 5. MODELARE NUMERICĂ

În vederea efectuării investigațiilor privind modificările morfologice ale patului albiei din sectorul studiat, în cadrul cercetării s-a aplicat ca metodă de studiu modelarea numerică, fiind utilizat programul *Delft3D*.

### 5.1. Realizarea rețelei de calcul

Modelul la scară medie a fost realizat pentru zona care acoperă cursul Dunării pe o lungime de 5 km pe Dunărea Veche și de 2,5 km pe brațul Bala. Construcția rețelei de celule s-a realizat cu ajutorul limitelor de frontieră (figura 5.1) generate prin intermediul altor programe de prelucrare a datelor geografice și analiză a hărților (de exemplu: *G/S-ArcMap*, *Global Mapper* etc). Limitele impuse de maluri au fost realizate având la bază atât informațiile obținute în urma măsurătorilor topografice efectuate de către experți INCDPM, cât și datele satelitare din perioadele cu debite mari.

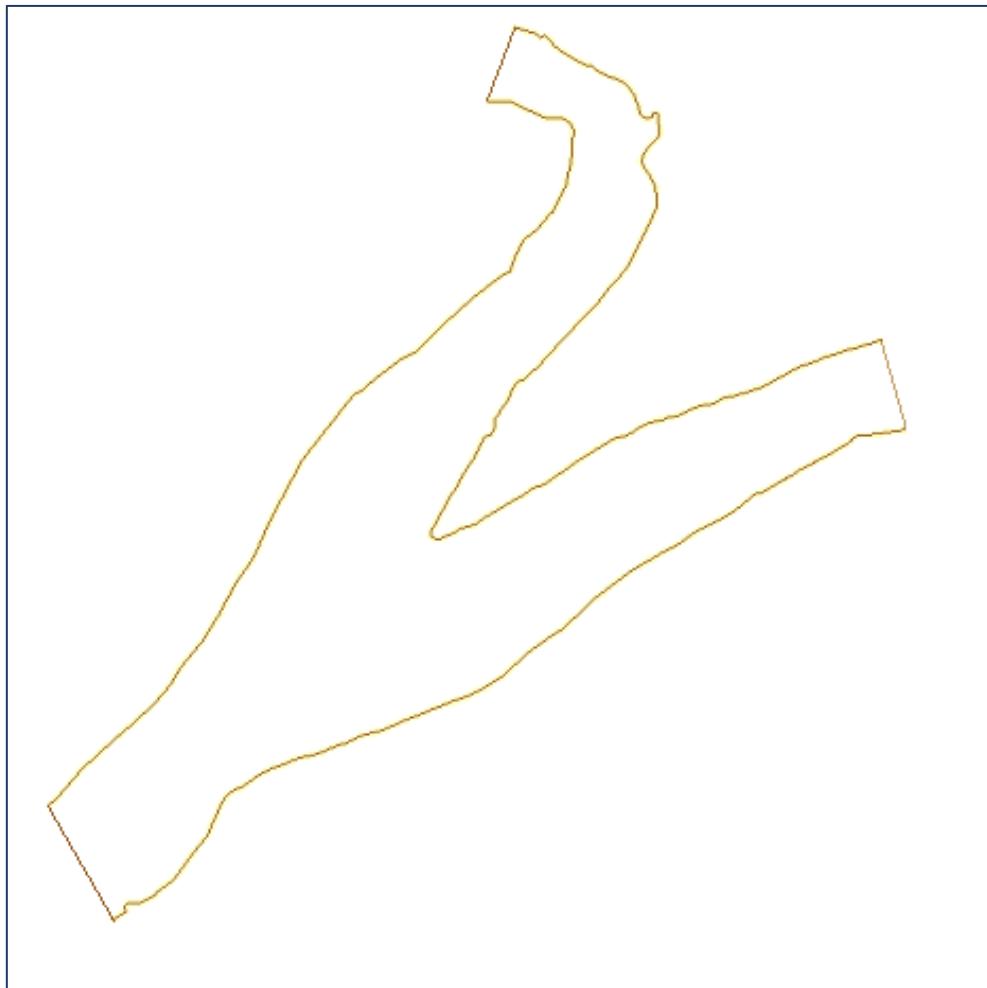


Figura 5.1. Delimitarea rețelei de calcul

În funcție de acestea, inițial, rețeaua de celule a fost schematizată manual, prin intermediul canalelor (*spline-uri*), ulterior fiind generată automat (figura 5.2).

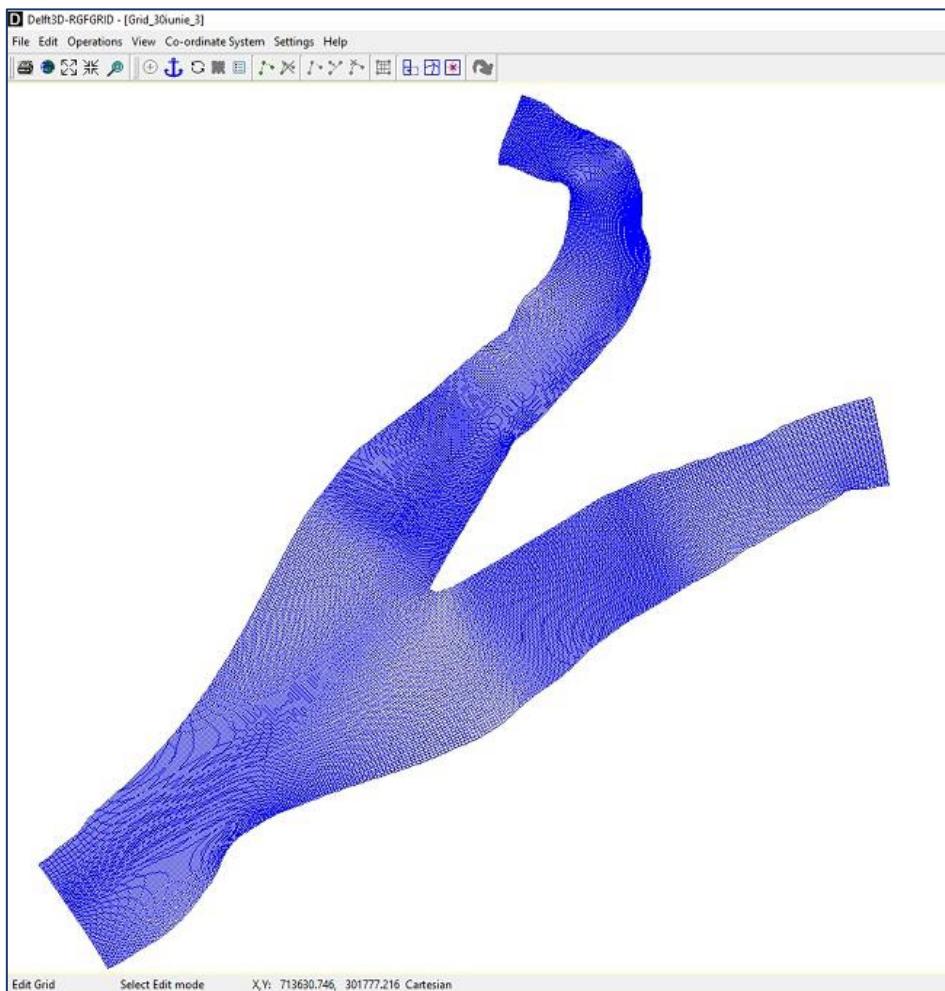


Figura 5.2. Rețeaua de calcul

În vederea integrării geometriei structurilor hidrotehnice în modelul terenului și pentru a permite o mai bună interpretare a rezultatelor, rețeaua de celule a fost rafinată la intrarea pe brațul Bala și în zona de bifurcație braț Bala – Dunărea Veche (figura 5.3).

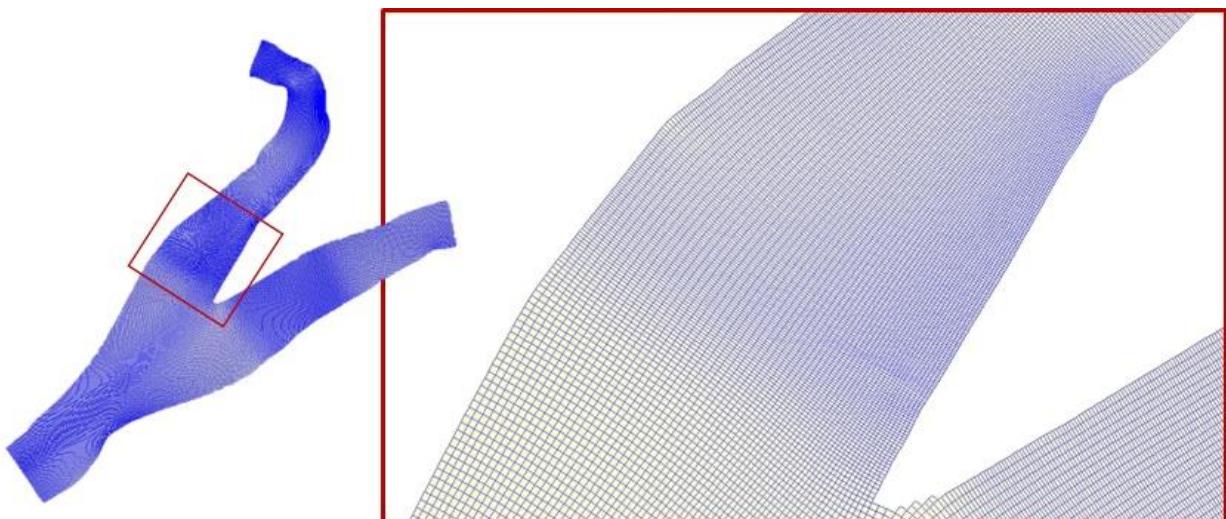


Figura 5.3. Detaliu privind rețea de celule

Rețeaua astfel construită are un număr de 59024 de celule, dintre care 528 dezvoltate longitudinal și 113 transversal. Aceasta a fost realizată utilizând celule de discretizare de tip poliedric cu fețe patrulatere cu dimensiuni ce variază între 3,88 – 27,32 m pe direcția longitudinală și 2,90 – 21,99 m pe direcția transversală. Aceste caracteristici asigură proporția optimă între gradul de discretizare a rețelei, timpul de rulare și rezultatele furnizate.

În vederea realizării unor calcule hidrodinamice corecte, au fost analizate proprietățile rețelei de celule astfel generate (figura 5.4).

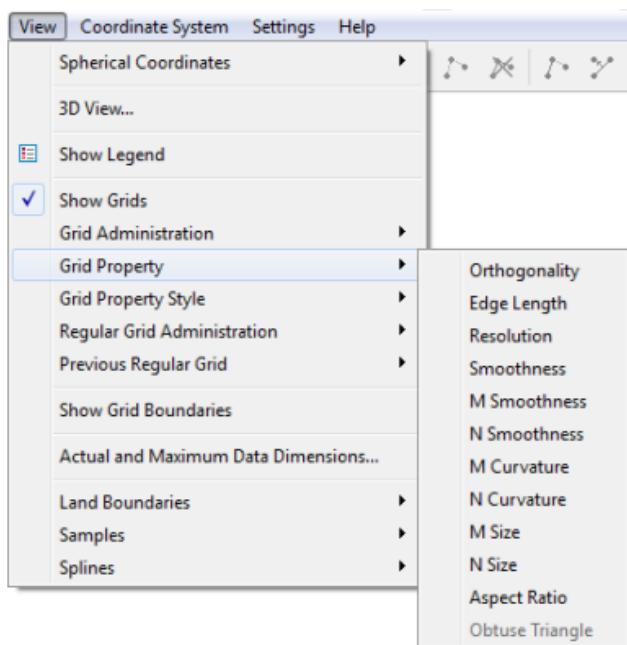


Figura 5.4. Vizualizarea proprietăților rețelei de calcul

După operații succesive necesare pentru îmbunătățirea proprietăților rețelei de calcul, s-au obținut următoarele valori: 0,03 ortogonalitate, 20,67 rezoluție, 1,61 netezime pe direcția transversală (M), 1,50 netezime pe direcția longitudinală (N), 4,38 raportul de aspect (figurile 5.5a – 5.5e). Aceste valori indică faptul că rețeaua de celule astfel realizată îndeplinește cele mai bune caracteristici pentru a reprezenta baza pe care să fie integrate datele referitoare la modelul geometric corespunzător zonei studiate.

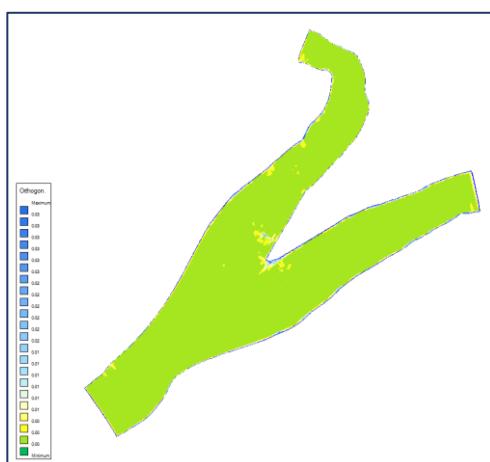


Figura 5.5a. Valori ale ortogonalității pentru rețeaua de calcul

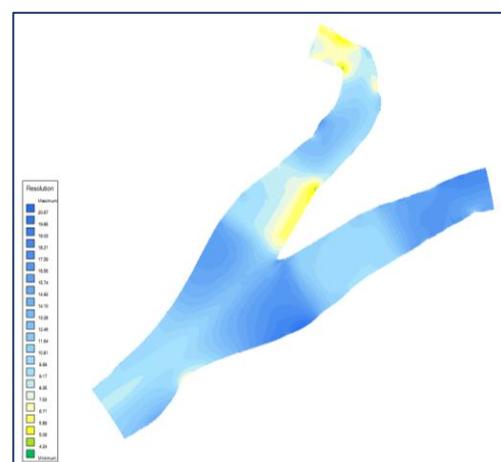


Figura 5.5b. Valori ale rezoluției pentru rețeaua de calcul



Figura 5.5c. Valori ale netezimii pe direcția M pentru rețeaua de calcul

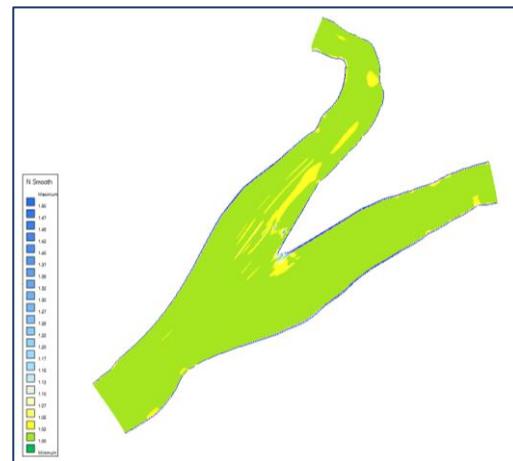


Figura 5.5d. Valori ale netezimii pe direcția N pentru rețeaua de calcul

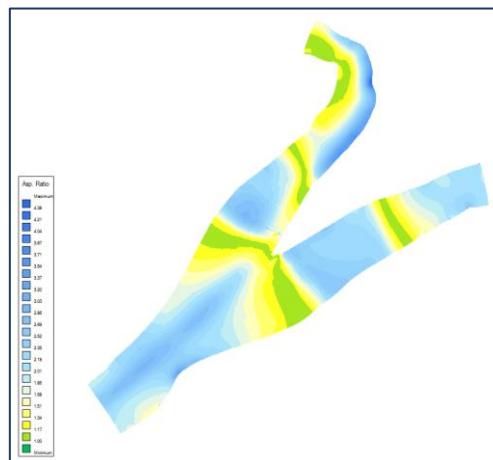


Figura 5.5e. Valori ale raportului de aspect pentru rețeaua de calcul

În vederea modelării quasi-tridimensionale, în cadrul modulului *FLOW* se permite extinderea în plan vertical a rețelei astfel formate, prin stabilirea numărului de straturi și a grosimii acestora. Straturile pot fi uniforme, sau pot avea grosimi diferite.

## 5.2. Realizarea modelului geometric

Având la bază rețeaua de celule optimizată și datele obținute în urma măsurătorilor din teren efectuate în luna martie a anului VI de analiză, când la stația hidrometrică Călărași, se înregistrase un debit mediu de 12.300 m<sup>3</sup>/s, a fost creat modelul geometric pentru aria de studiu.

Modelul geometric s-a realizat analitic, prin corelarea automată dintre coordonatele centrelor celulelor ce formează rețeaua de calcul și informația georeferențială în același sistem de coordonate.

Suprapunerea datelor batimetrice peste celulele rețelei s-a efectuat prin utilizarea modulului *QUICKIN* al programului *Deflt3D*, și a fost o operație care a necesitat un mare volum de analiză.

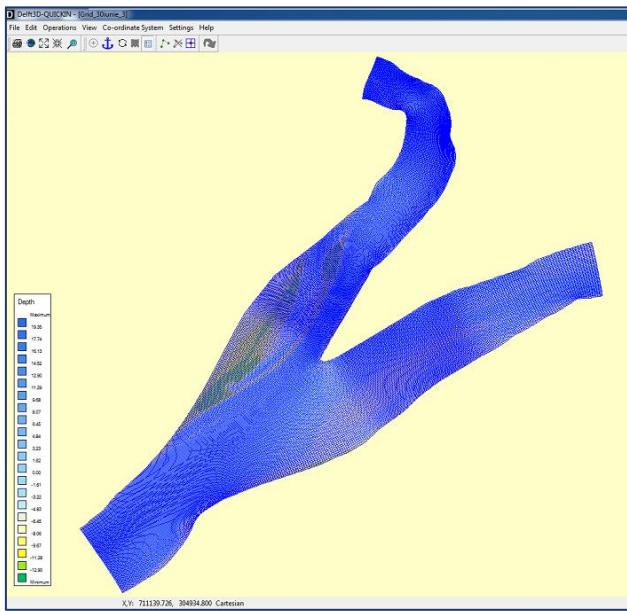


Figura 5.6. Rețeaua de calcul în zona de studiu cu date batimetrice

Datele de batimetrie *multibeam* au fost prelucrate astfel încât fiecărei celule a rețelei i s-a atribuit valoarea cotei absolute – în sistem Stereo 70 MNS – a patului albiei Dunării.

Variabila „depth” din legenda figurii 5.6 nu are semnificația de adâncime, ci de cotă absolută (raportată la cota MNS – Marea Neagră Sulina) a fundului albiei Dunării – valori batimetrice obținute prin interpolare la nivelul celulelor respective.



Figura 5.7. Modelul geometric exportat din programul *Delft3D*. Detaliu - structurile hidrotehnice din zona brațului Bala

Crearea modelului geometric a presupus un mare volum de analiză și calcule laborioase. În figura 5.7 este reprezentat un detaliu 3D cu lucrările hidrotehnice din zona brațului Bala (exportat *Delft3D*, vizualizat în *GlobalMapper*).

### 5.3. Realizarea modelului hidrodinamic test

Cu scopul de a obține un model numeric care să furnizeze rezultate cu mare grad de încredere, inițial, în modulul *FLOW* a fost realizat un model hidrodinamic test de tip σ model (figura 5.8), ce a presupus utilizarea datelor obținute în urma monitorizării parametrilor hidraulici.

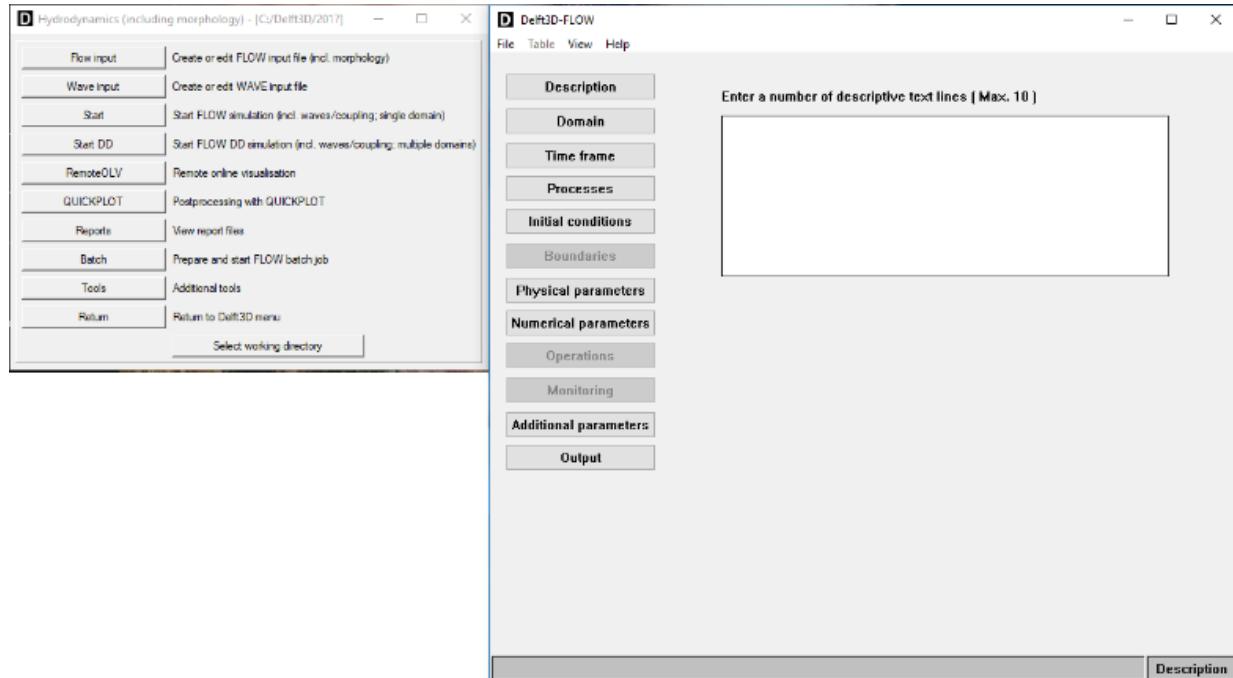


Figura 5.8. Interfața modulului *FLOW* – realizarea modelului hidrodinamic

În prima etapă a fost creat domeniul modelului, prin încărcarea rețelei de celule și a modelului geometric. Totodată, au fost selectate straturile verticale de calcul, prin această procedură atribuindu-se modelului caracteristica quasi-tridimensională, ceea ce permite parametrizarea secțiunilor verticale de viteză [125]. În cadrul modelului test au fost selectate 10 straturi active, de grosimi diferite ce variază procentual, conform sugestiilor descrise în manualul de utilizare a programului: 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 20 %.

În cazul modelului de tip σ, numărul straturilor pe întreaga suprafață orizontală de calcul este constant, indiferent de adâncimea locală a apei. Distribuția grosimii relative a stratului este de obicei neuniformă. Acest lucru permite o mai mare rezoluție în zonele de interes, cum ar fi zona din proximitatea patului albiei (transportul sedimentelor) [65].

Referitor la intervalul de timp, a fost selectată o perioadă de analiză de două zile, în care pasul de timp a fost de 15 secunde.

Condițiile la limită impuse au fost reprezentate de debit în secțiunea amonte de pe Dunăre și nivelul apei la limita din aval a modelului, atât pe brațul Bala cât și pe Dunărea Veche. Aceste limite (tabel 5.1) reprezintă valorile obținute în urma măsurătorilor din teren, din data realizării batimetriei *multibeam*.

Tabel 5.1. Condiții la limită utilizate în realizarea modelului hidrodinamic

		Debit [m <sup>3</sup> /s]	H [m]*
<b>Amonte</b>	Dunăre	10800	12,9
<b>Aval</b>	Braț Bala	5781	12,5
	Dunărea Veche	5019	12,6

\* raportată la cota MNS – Marea Neagră Sulina

După selectarea parametrilor fizici și numerici, au fost desemnate punctele și secțiunile de control și analiză, pe sectorul studiat. Acest lucru permite monitorizarea și vizualizarea tuturor rezultatelor, în ariile desemnate. Totodată, programul permite specificarea tipului de rezultate ce vor fi furnizate și pasul la care acestea vor putea fi vizualizate [65].

Rezultatele obținute în urma rulărilor s-au vizualizat cu ajutorul modulului *Delft3D-QUICKPLOT*. Aceasta permite accesarea unor seturi de date și rezultate, stabilirea straturilor și secțiunilor plotării, dar și exportul datelor obținute în diferite formate [67].

În vederea obținerii unor rezultate cu mare grad de încredere, cu valorile măsurate, modelul test a fost calibrat și validat, aceste etape fiind prezentate în cele ce urmează.

### 5.3.1. Calibrarea modelului hidrodinamic

Modelul hidrodinamic test a fost calibrat în funcție de nivel, debit și vitezele de curgere a apei.

Procesul de calibrare s-a realizat treptat, prin schimbarea valorii parametrilor de rugozitate și viscozitate. În funcție de rezultatul primului model creat au fost modificate valorile parametrilor de calibrare pentru cel de-al doilea model, urmărindu-se ca la final, valorile parametrilor hidrodinamici (debit, nivel al apei, viteze de curgere) să fie similare cu cele rezultate în urma măsurătorilor. Așadar, s-a impus ca modelele create să se verifice cu datele măsurate. Comparațiile au fost efectuate atât la limitele amonte și aval, cât și în secțiunile de control.

O procedură tipică de calibrare este formată din trei etape (figura 5.9), care sunt repetate până când rezultatele furnizate de modele sunt considerate suficient de precise [43].

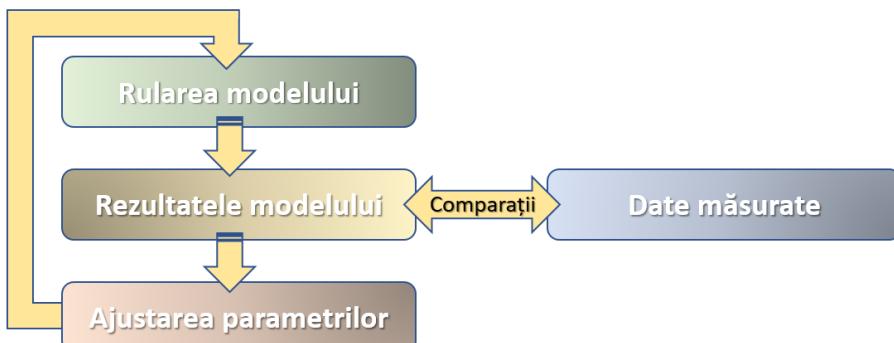


Figura 5.9. Procedura de calibrare

Luându-se în considerare aceste aspecte au fost realizate modele în care s-au variat formulele de calcul și valorile rugozității.

În cazul rugozității s-a folosit formula elaborată de Manning (5.1), unde se recomandă ca valoarea coeficientului să se încadreze între 0 – 0,04.

$$V = \frac{k}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (5.1)$$

În care,

- V viteza medie transversală [m/s];
- k factorul de conversie [ $m^{1/3}/s$ ];
- n coeficientul Manning;
- $R_h$  raza hidraulică [m];
- S pantă hidraulică.

Viscozitatea reprezintă o măsură a rezistenței fluidului față de deformare prin forțe exterioare. În plus, energia fluidului se pierde din cauza vârtejurilor turbulente de mici dimensiuni. Pentru a include această pierdere de energie în modele, se introduce un termen suplimentar privind viscozitatea, și anume viscozitatea aparentă. Pe lângă pierderile de energie,

turbulența induce și amestecarea fluidului. Amestecarea fluidului poate avea loc atât pentru scări spațiale mari, cât și pentru scări spațiale mici. Pentru a putea lua în considerare această amestecare a fluidului pentru scări mai mici, se introduce difuzivitatea aparentă [43].

Tabel 5.2. Date utilizate în etapa de calibrare a modelului hidrodinamic

Model	Pas temp [min]	Rugozitate [s/m <sup>1/3</sup> ]		Viscozitate [m <sup>2</sup> /s]	
		Formulă	Valoare*	Orizontală	Verticală
V_01	0,5	Manning	Fișier01*.rgh	1	0,0001
V_02	0,25	Manning	0,02	1	0,0001
V_03	0,25	Manning	0,021	1	0,0001
V_04	0,25	Manning	0,019	1	0,0001
V_05	0,25	Manning	0,028	1	0,0001
V_06	0,25	Manning	0,03	1	0,0001
V_07	0,25	Manning	Fișier02*.rgh	1	0,0001

Calculele numerice ale modelelor quasi-3D au fost de tip sigma și au avut un număr de straturi egal cu zece.

În vederea calibrării modelului, au fost realizate mai multe teste în care au fost utilizate datele reprezentate în tabelul 5.2.

Tabel 5.3. Valori ale rugozității utilizate în fișierele \*.rgh

Sector	Dunărea Veche Amonte 3 km	Braț Bala Aval 2 km	Dunărea Veche Aval 2 km
Fișier01*.rgh	0,019	0,018	0,020
Fișier02*.rgh	0,025	0,030	0,025

Pentru a obține rezultate conforme cu realitatea, au fost construite fișiere de tipul \*.rgh în care au fost selectate valori variabile ale rugozității pe sectorul analizat (tabelul 5.3).

Tabel 5.4. Centralizarea rezultatelor obținute în vederea calibrării modelului hidrodinamic

Id model	LIMITA AMONTE			LIMITA AVAL							
	Dunărea			Braț Bala				Braț Dunărea Veche			
	Q <sub>r</sub> , [m <sup>3</sup> /s]	H <sub>r</sub> , [m]*	H <sub>s</sub> , [m]*	Q <sub>r</sub> , [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>s</sub> , [m <sup>3</sup> /s]	H <sub>r</sub> , [m]*	H <sub>s</sub> , [m]*	Q <sub>r</sub> , [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>s</sub> , [m <sup>3</sup> /s]	H <sub>r</sub> , [m]*	H <sub>s</sub> , [m]*
V_01	10800	12,9	12,9	5781	6428	12,5	12,5	5019	4372	12,6	12,6
V_02			12,9		6162		12,5		4638		12,6
V_03			12,9		6141		12,5		4659		12,6
V_04			12,9		6187		12,5		4613		12,6
V_05			12,9		6060		12,5		4740		12,6
V_06			12,9		6050		12,5		4750		12,6
V_07			12,9		5815		12,5		4985		12,6

\* raportată la cota MNS – Marea Neagră Sulina

Rezultatele obținute în urma procesului de rulare (Q<sub>s</sub>, H<sub>s</sub>) a acestor modele, sunt reprezentate în tabelul 5.4. Acestea sunt poziionate alăturat de valorile obținute în urma măsurătorilor din teren (Q<sub>r</sub>, H<sub>r</sub>). În urma acestor comparații se poate observa că în toate variantele, valorile nivelului apei furnizate de model au fost egale cu cele obținute din măsurători. În schimb, în cazul debitelor, nu se menține aceeași echivalență.

Pentru valorile de debit rezultate din simulări – Q<sub>s</sub>, H<sub>s</sub> la limita aval a zonei studiate, a fost calculată eroarea relativă procentuală (A):

$$A = \frac{P - P_s}{P} \times 100, [\%] \quad (5.1)$$

În care,

A - eroarea relativă procentuală

P – parametru rezultat din măsurători – Qr, Hr;

Ps - parametru rezultat din simulări numerice – Qs, Hs.

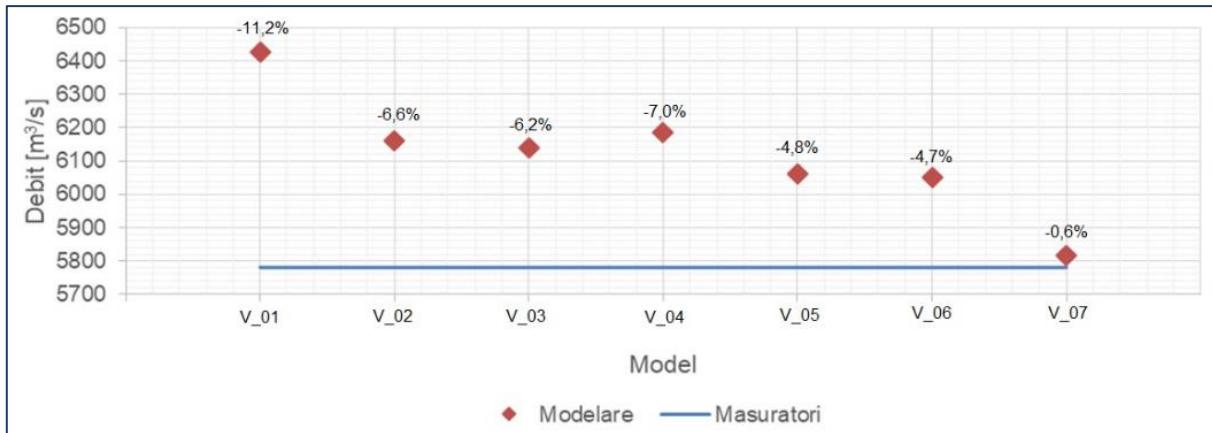


Figura 5.10. Etapa de calibrare - Comparația valorilor de debit rezultate din modelarea numerică cu valoarea debitului din măsurători, braț Bala

Diferențele între modele și măsurători sunt reprezentate prin eroarea relativă procentuală, în figurile 5.10 și 5.11.

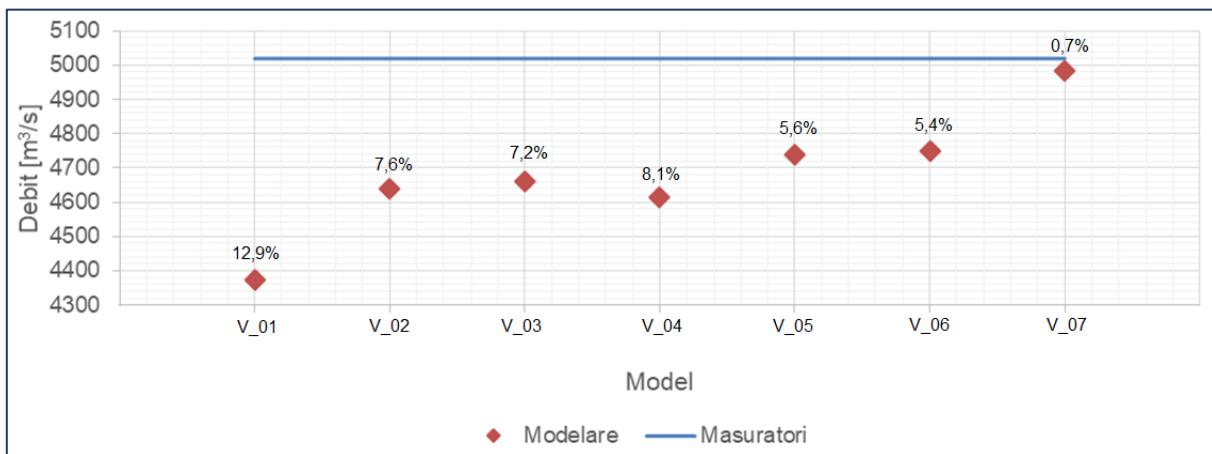


Figura 5.11. Etapa de calibrare - Comparația valorilor de debit rezultate din modelarea numerică cu valoarea debitului din măsurători, Dunărea Veche

În contextul în care pentru modelele realizate a fost utilizată o valoare mai mică a coeficientului de rugozitate (de exemplu de la  $0,019 \text{ s/m}^{1/3}$  la  $0,021 \text{ s/m}^{1/3}$ ), s-a observat că distribuția debitelor pe cele două brațe se modifică, fiind diferită de situația din măsurători. Astfel, pe brațul Bala sunt înregistrate valori mai mari ale debitului, spre deosebire de Dunărea Veche. În acest sens, a fost utilizat fișierul \*.rgh în care s-a permis atribuirea unor valori ale rugozității diferite pe sectorul de fluviu analizat (figura 5.12). Prin utilizarea acestui fișier în cadrul modelului V\_07, au fost obținute rezultate similare cu cele rezultate în urma măsurătorilor din teren.

Referitor la nivelul apei, rezultatele furnizate de **modelul V\_07** sunt egale cu cele obținute din măsurătorile din teren. În ceea ce privește debitul, la limita aval, au fost înregistrate

abateri de cca. 0,6% pe brațul Bala și de cca. 0,7% pe Dunărea Veche. Aceste diferențe pot fi considerate neglijabile.

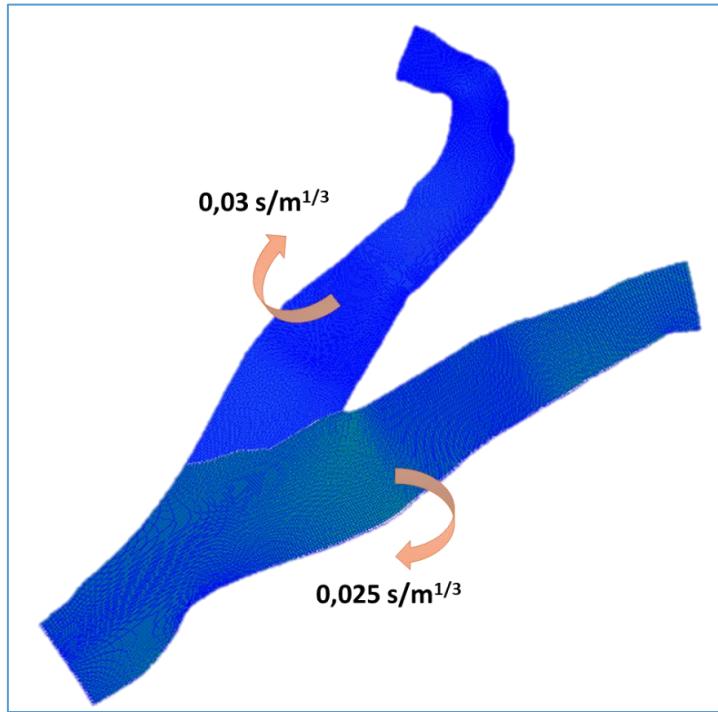


Figura 5.12. Valori ale rugozității atribuite sectorului analizat

**Modelul V\_07** este caracterizat printr-o valoare a viscozității aparente pe verticală de  $0,0001 \text{ m}^2/\text{s}$ .

În ceea ce privește valoarea pasului de timp, s-a ținut cont de faptul că un pas de timp mare permite ca rezultatele să fie obținute rapid, dar și că acest lucru poate conduce la probleme legate de convergența modelului (figura 5.13). Astfel, pentru a asigura convergența modelului, a fost folosit un pas de timp de 15 secunde.

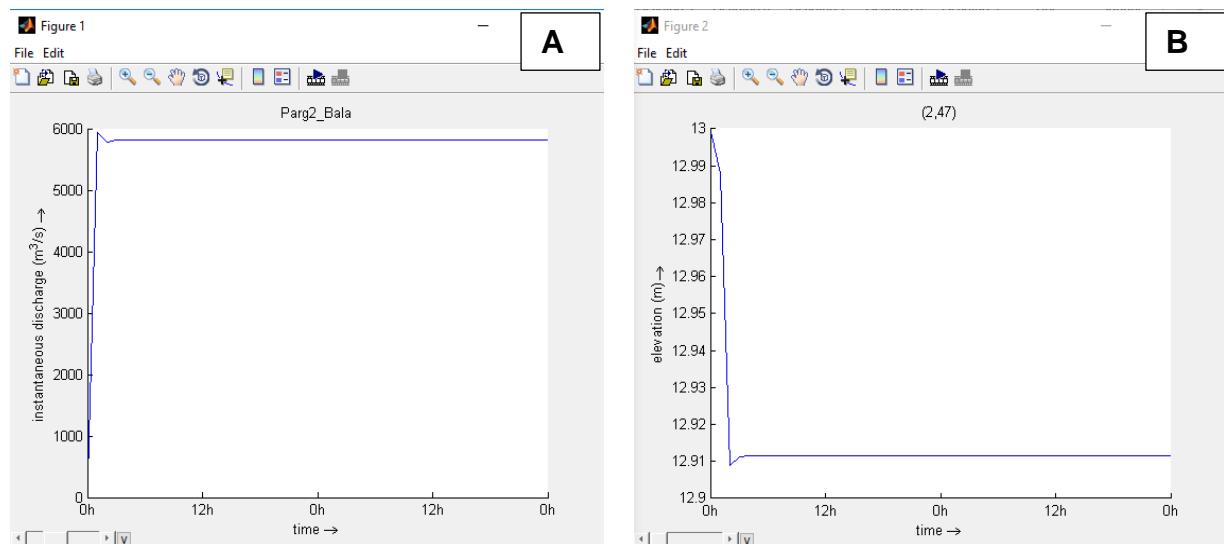


Figura 5.13. Convergența modelului hidrodinamic A. Debit; B. Nivel

De asemenea, pentru **modelul V\_07**, în etapa de calibrare, s-au comparat vitezele currentului de apă furnizate în urma modelării numerice cu vitezele apei măsurate prin ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*), în secțiunile analizate din teren.



Figura 5.14. Secțiunile longitudinale analizate pentru realizarea comparației vitezelor curentului de apă rezultate în urma simulării numerice cu cele obținute în urma măsurătorilor *in situ*

Având în vedere specificul geometriei patului albiei, în primă fază au fost selectate trei secțiuni longitudinale pe brațul Bala (figura 5.14) după care au fost comparate distribuțiile vitezelor curentului de apă.

În analiza comparativă efectuată, s-a ținut cont de faptul că dimensiunea celulelor rețelei de calcul este diferită de cea a celulelor din seriile de măsurători (cca. 100 x 40 cm).

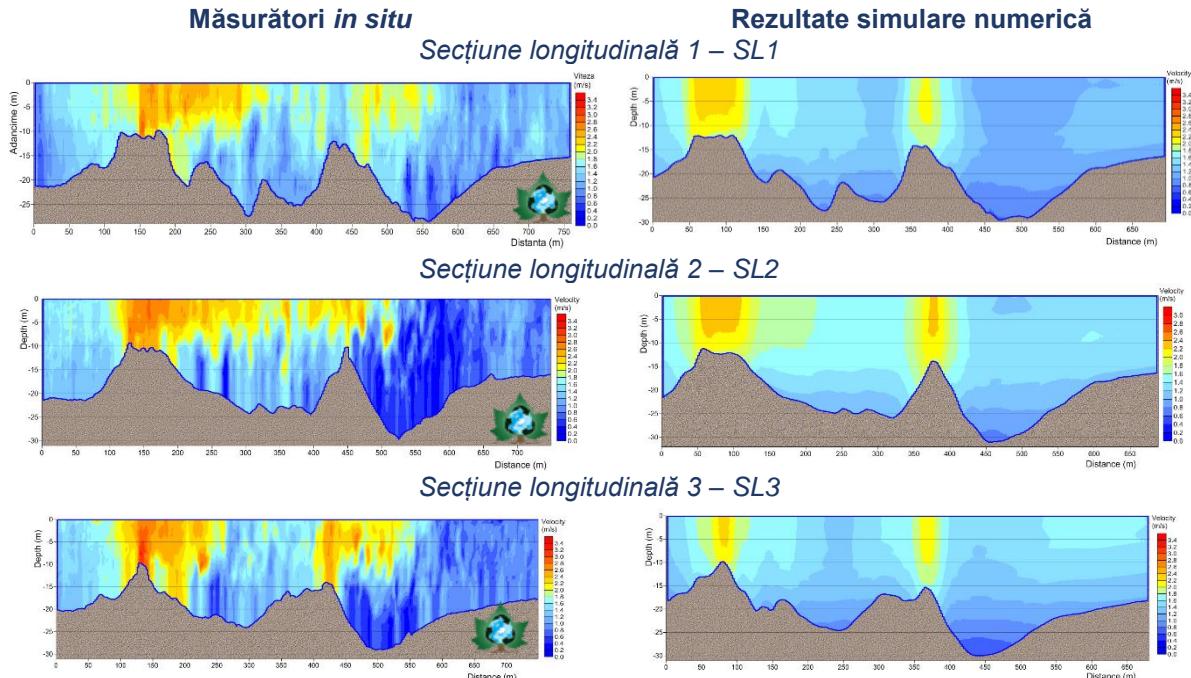


Figura 5.15. Distribuția vitezelor în secțiunile longitudinale – măsurători *in situ* vs. modelare numerică [79]

După cum se poate observa în figura 5.15 nu sunt diferențe notabile între valorile distribuțiilor vitezelor obținute în urma măsurătorilor din teren și cele rezultate din simularea numerică.

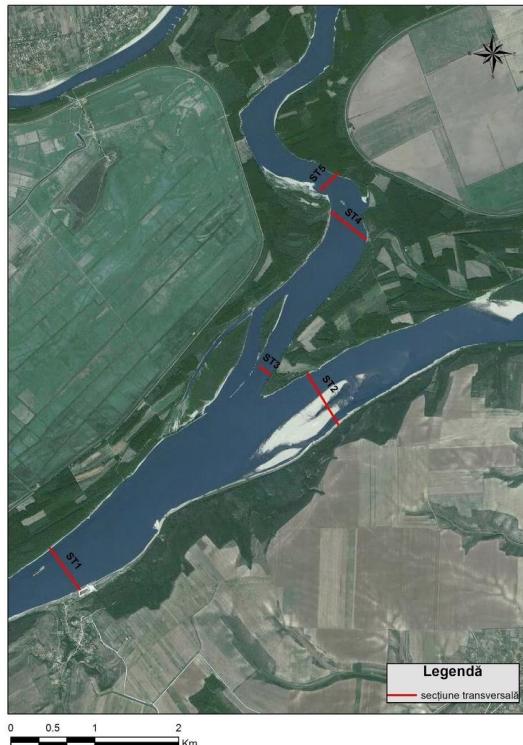


Figura 5.16. Secțiunile transversale analizate pentru realizarea comparației vitezelor rezultate în urma simulării numerice cu cele obținute în urma măsurătorilor *in situ*

În cadrul etapei de calibrare a modelului numeric, au fost realizate investigații privind distribuția vitezei curentului de apă și pe secțiuni transversale. În acest sens, au fost utilizate 5 secțiuni localizate în sectorul studiat astfel: pe Dunăre, 1 secțiune – ST1, pe Dunărea Veche 1 secțiune – ST2 și pe brațul Bala 3 secțiuni – ST3, ST4 și ST5 (figura 5.16).

Comparația între rezultatele furnizate de modelul numeric și valorile obținute din măsurători a fost realizată luând în considerare valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă, pe secțiunile transversale (figurile 5.17 – 5.21).

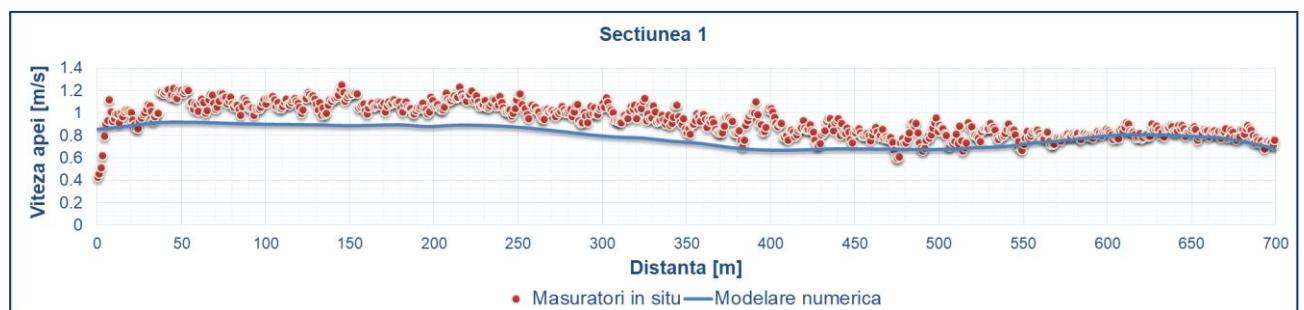


Figura 5.17. Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice – ST1

În ceea ce privește secțiunea transversală ST1 (figura 5.17), localizată amonte de zona de bifurcație braț Bala-Dunărea Veche, se remarcă faptul că există aceeași tendință între graficul ce reprezintă rezultatele din modelarea numerică și graficul ce corespunde măsurătorilor din teren, în general diferențele încadrându-se în valori de ordinul 0,05 – 0,1 m/s.

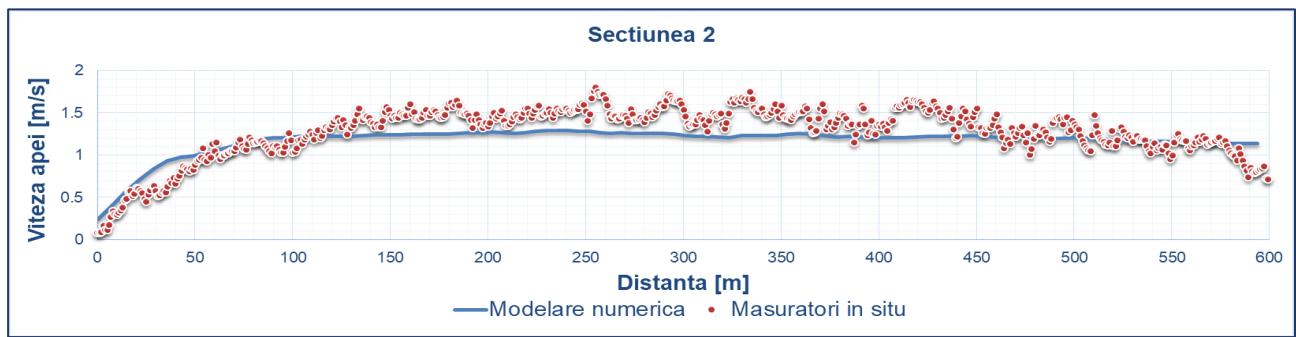


Figura 5.18. Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice – ST2

Secțiunea ST2, localizată pe Dunărea Veche, prezintă o tendință asemănătoare între valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor din teren și cele rezultate în urma modelării numerice (figura 5.18). Local, este înregistrată o diferență maximă de cca. 0,43 m/s.

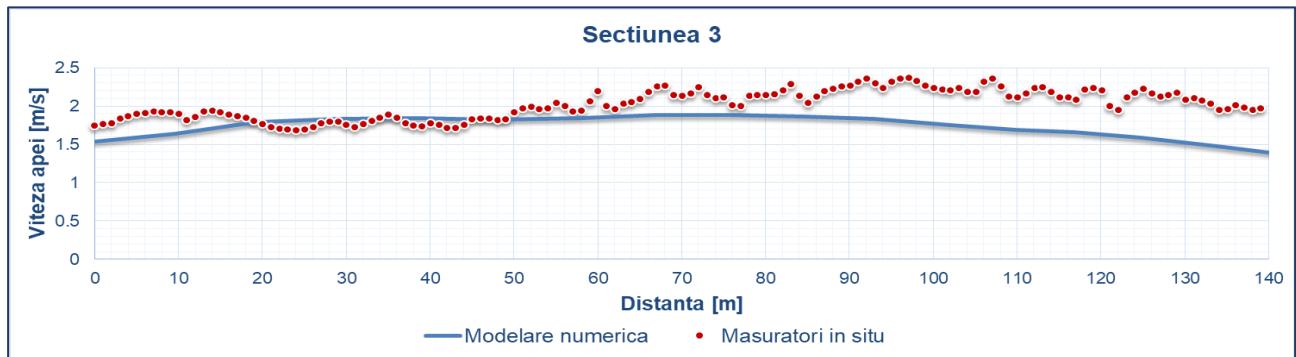


Figura 5.19. Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice – ST3

În secțiunea ST3, localizată în dreptul pragului de fund, pe brațul Bala, diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice sunt aproape nule în jumătatea dinspre malul stâng. În schimb, în proximitatea malului drept au rezultat diferențe de cca. 0,5 m/s (figura 5.19).

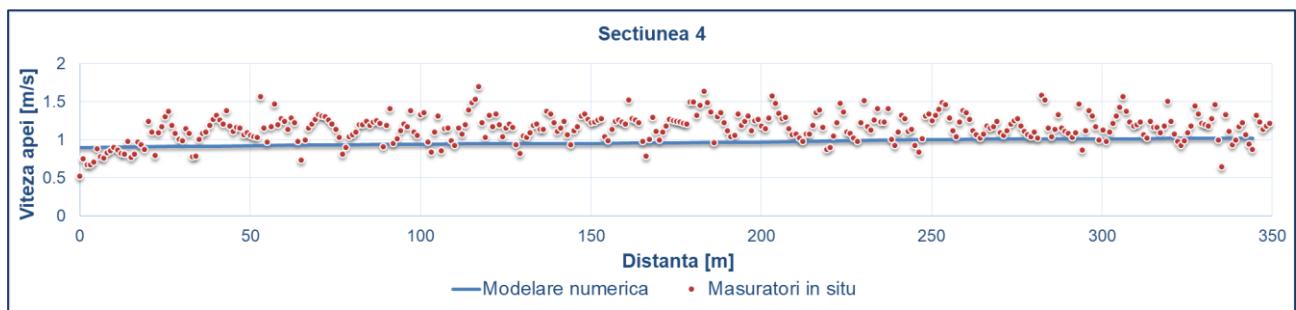


Figura 5.20. Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice – ST4

În cazul secțiunilor ST4 și ST5, localizate pe brațul Bala, diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice prezintă, local, un maximum de cca. 0,3 m/s (figurile 5.20 și 5.21).

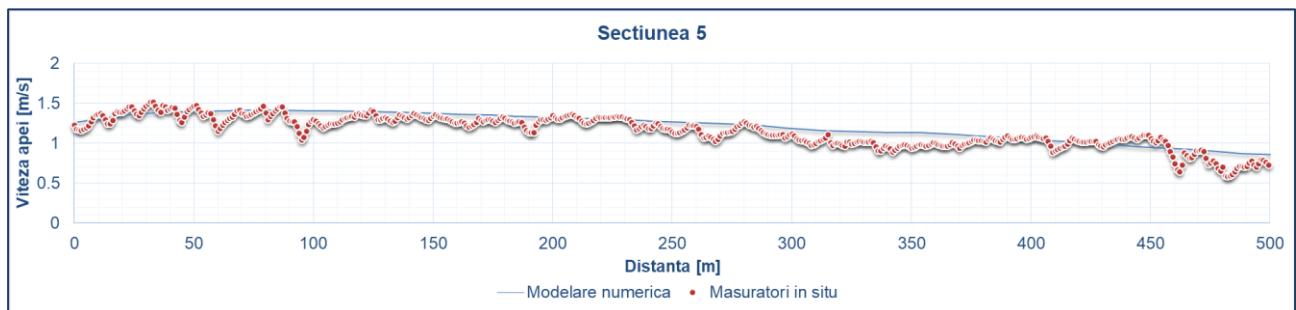


Figura 5.21. Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice - ST5

În general, în secțiunile analizate se menține o tendință asemănătoare între valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor și cele rezultate în urma modelării numerice, confirmând astfel faptul că modelul poate furniza rezultate asemănătoare cu situația din teren.

În vederea reducerii timpului de procesare s-a realizat un model prin care calculele privind medierea vitezelor curentului de apă pe verticală s-au automatizat.

Automatizarea s-a realizat cu ajutorul modulului de dezvoltare din aplicația *Microsoft Excel* prin intermediul limbajului de programare *Visual Basic (VBA)*. Rezultatul final a constat în scrierea unei sub-rutine care să facă automat toate procedurile (determinarea distanțelor și a distanțelor cumulate, crearea unui pivot și medierea vitezelor, reprezentarea valorilor vitezelor mediate în funcție de distanțele cumulate, crearea graficului vitezelor mediate în funcție de distanțele cumulate). Aceasta subrutină este atribuită unui buton.

Mai jos este prezentat codul VBA:

```

Sub calculViteze()

Dim lastrow As Long
Dim LastrowDist As Long

lastrow = Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row
LastrowDist = Range("C" & Rows.Count).End(xlUp).Row
LastrowDistCum = Range("D" & Rows.Count).End(xlUp).Row

Range("A2:D" & lastrow).Sort key1:=Range("A2:A" & lastrow), _
    order1:=xlAscending, Header:=xlNo
Columns("C:D").Insert Shift:=xlToRight
Range("C1").Value = "distanța"
Range("D1").Value = "distanțaCumulata"
Range("D1").Columns.AutoFit
Range("A1:F1").Font.Bold = True
Range("C2").Value = 0
Range("D2").Value = 0

Range("C3:C" & LastrowDist).Formula = "=SQRT((RC[-2]-R[-1]C[-2])^2+(RC[-1]-R[-1]C[-1])^2)"

Range("D3:D" & LastrowDistCum).Formula = "=R[-1]C+RC[-1]"

Cells.Select
ActiveWorkbook.PivotCaches.Create(SourceType:=xlDatabase, SourceData:=_
    "Sheet1!R1C1:R1048576C6", Version:=xlPivotTableVersion15).CreatePivotTable _
    TableDestination:="Sheet1!R3C10", TableName:="TabelPivot", DefaultVersion _:=xlPivotTableVersion15
Sheets("Sheet1").Select
Cells(3, 10).Select
With ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").PivotFields("X_stereo")
    .Orientation = xlRowField
    .Position = 1
End With
With ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").PivotFields("distanțaCumulata")
```

```

.Orientation = xlRowField
.Position = 2
End With
With ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").PivotFields("VR")
    .Orientation = xlRowField
    .Position = 3
End With
ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").AddDataField ActiveSheet.PivotTables(_
    "TabelPivot").PivotFields("distantaCumulata"), "Count of distantaCumulata", _
    xlCount
ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").AddDataField ActiveSheet.PivotTables(_
    "TabelPivot").PivotFields("VR"), "Count of VR", xlCount
With ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").PivotFields(_
    "Count of distantaCumulata")
    .Caption = "Average of distantaCumulata"
    .Function = xlAverage
End With
With ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").PivotFields("Count of VR")
    .Caption = "Average of VR"
    .Function = xlAverage
End With

Columns("K:L").Select
Selection.Copy
Range("O1").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Columns("O:P").Select
ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatter).Select
ActiveChart.SetSourceData Source:=Range("Sheet1!$O:$P")
MsgBox ("Calcul efectuat cu succes !")

End Sub

Sub calculViteze()

Dim lastrow As Long
Dim LastrowDist As Long

lastrow = Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row
LastrowDist = Range("C" & Rows.Count).End(xlUp).Row
LastrowDistCum = Range("D" & Rows.Count).End(xlUp).Row

Range("A2:D" & lastrow).Sort key1:=Range("A2:A" & lastrow), _
    order1:=xlAscending, Header:=xlNo
Columns("C:D").Insert Shift:=xlToRight
Range("C1").Value = "distanta"
Range("D1").Value = "distantaCumulata"
Range("D1").Columns.AutoFit
Range("A1:F1").Font.Bold = True
Range("C2").Value = 0
Range("D2").Value = 0

Range("C3:C" & LastrowDist).Formula = "=SQRT((RC[-2]-R[-1]C[-2])^2+(RC[-1]-R[-1]C[-1])^2)"

Range("D3:D" & LastrowDistCum).Formula = "=R[-1]C+RC[-1]"

Cells.Select
ActiveWorkbook.PivotCaches.Create(SourceType:=xlDatabase, SourceData:=_
    "Sheet1!R1C1:R1048576C6", Version:=xlPivotTableVersion15).CreatePivotTable _ 
    TableDestination:="Sheet1!R3C10", TableName:="TabelPivot", DefaultVersion _ 
    :=xlPivotTableVersion15
Sheets("Sheet1").Select
Cells(3, 10).Select
With ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").PivotFields("X_stereo")
    .Orientation = xlRowField
    .Position = 1
End With
With ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").PivotFields("distantaCumulata")
    .Orientation = xlRowField
    .Position = 2

```

```

End With
With ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").PivotFields("VR")
    .Orientation = xlRowField
    .Position = 3
End With
ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").AddDataField ActiveSheet.PivotTables(_
    "TabelPivot").PivotFields("distantaCumulata"), "Count of distantaCumulata", _
    xlCount
ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").AddDataField ActiveSheet.PivotTables(_
    "TabelPivot").PivotFields("VR"), "Count of VR", xlCount
With ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").PivotFields(_
    "Count of distantaCumulata")
    .Caption = "Average of distantaCumulata"
    .Function = xlAverage
End With
With ActiveSheet.PivotTables("TabelPivot").PivotFields("Count of VR")
    .Caption = "Average of VR"
    .Function = xlAverage
End With

Columns("K:L").Select
Selection.Copy
Range("O1").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Columns("O:P").Select
ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatter).Select
ActiveChart.SetSourceData Source:=Range("Sheet1!$O:$P")
MsgBox ("Calcul efectuat cu succes !")

End Sub

```

### 5.3.2. Validarea modelului hidrodinamic

În vederea verificării acurateței și preciziei calculelor matematice a fost necesară parcurgerea etapei de validare. Aceasta presupune utilizarea în modelarea numerică a unor seturi de date hidrologice diferite față de cele utilizate în etapa de calibrare [61].

Validarea modelului s-a realizat în funcție de valorile debitului și nivelului de apă. În acest sens, au fost aplicate, ca limite amonte, două valori ale debitului diferite față de cel utilizat în etapa de calibrare, un debit mai mic, de 3000 m<sup>3</sup>/s și respectiv un debit mare, de 11200 m<sup>3</sup>/s. Ambele valori ale debitului de apă au fost înregistrate la Izvoarele, localitate ce corespunde limitei amonte a modelului, în luna octombrie a anului V de analiză (debitul de 3000 m<sup>3</sup>/s) și iunie – anul IV de analiză (debitul de 11200 m<sup>3</sup>/s).

În tabelul 5.5 sunt reprezentate datele de intrare utilizate în modelarea numerică realizată pentru validarea modelului hidrodinamic. La finalul calculelor s-au verificat parametrii referitori la distribuția debitelor pe brațul Bala și Dunărea Veche și la nivelurile apei la capătul aval al sectorului studiat.

Tabel 5.5. Date hidrologice utilizate în etapa de validare

LIMITA AMONTE		LIMITA AVAL			
Dunăre		Braț Bala		Dunărea Veche	
Q, [m <sup>3</sup> /s]	H, [m]*	Q, [m <sup>3</sup> /s]	H, [m]*	Q, [m <sup>3</sup> /s]	H, [m]*
3000	6,5	2315	5,94	685	6,03
11200	13,1	5943	12,70	5225	12,79

\* raportată la cota MNS – Marea Neagră Sulina

În tabelul 5.6 sunt prezentate comparativ valorile debitelor și ale nivelurilor de apă corespunzătoare acestora, rezultate în cadrul etapei de validare. Rezultatele obținute în urma modelării numerice ( $Q_s$ ,  $H_s$ ) sunt poziționate alăturate de valorile obținute în urma măsurătorilor din teren ( $Q_r$ ,  $H_r$ ).

*Tabelul 5.6. Centralizarea rezultatelor simulărilor numerice, obținute în etapa de validare*

LIMITA AMONTE		LIMITA AVAL											
Dunăre		Brăț Bala						Dunărea Veche km					
Q, [m <sup>3</sup> /s]	H, [m] <sup>*</sup>	Q <sub>r</sub> , [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>s</sub> , [m <sup>3</sup> /s]	Abatere [%]	H <sub>r</sub> , [m] <sup>*</sup>	H <sub>s</sub> , [m] <sup>*</sup>	Abatere [%]	Q <sub>r</sub> , [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>s</sub> , [m <sup>3</sup> /s]	Abatere [%]	H <sub>r</sub> , [m] <sup>*</sup>	H <sub>s</sub> , [m] <sup>*</sup>	Abatere [%]
<b>3000</b>	6,5	2315	2303	0,5%	5,94	5,94	0%	685	697	-1,7%	6,03	6,03	0%
<b>11200</b>	13,1	5943	5998	-0,9%	12,7	12,7	0%	5225	5180	0,8%	12,79	12,79	0%

\* raportată la cota MNS – Marea Neagră Sulina

Pentru debitul de 3000 m<sup>3</sup>/s înregistrat la limita amonte, distribuția debitelor pe cele două brațe, obținută din simulări, este în concordanță cu cea determinată prin măsurători, diferența dintre acestea fiind reprezentată de o abatere de 0,5% la limita aval de pe brațul Bala și de 1,7% la limita aval de pe Dunărea Veche. În cazul debitului de 11200 m<sup>3</sup>/s, diferența între valorile simulate și cele determinate prin măsurători este de 0,9% pe brațul Bala și de 0,8% pe Dunărea Veche. În ceea ce privește nivelul apei, valorile obținute în urma modelării numerice sunt echivalente cu cele rezultate din măsurători.

Rezultatele obținute în etapele de calibrare și de validare confirmă faptul că modelul numeric construit poate furniza date cu un înalt grad de încredere.

#### 5.4. Configurarea modelului morfohidrodinamic

În vederea configurării modelului morfohidrodinamic este necesar să se stabilească următoarele caracteristici:

- dimensiunea diametrului sedimentelor;
- formula de transport a sedimentelor;
- tronsoanele active din punct de vedere morfologic, din sectorul studiat;
- condițiile hidrodinamice utilizate în modelarea numerică;
- alte informații privind datele de intrare necesare rulării modelului morfohidrodinamic.

Având la bază datele obținute în urma prelucrării măsurătorilor și modelul hidrodinamic quasi-3D prezentat anterior, utilizând modulul *FLOW* al programului *Delft3D*, a fost accesat constituentul „Sediments” de la rubrica „Process”, astfel fiind permisă analiza parametrilor ce definesc procesul de transport de sedimente.

Raportat la analizele efectuate privind dimensiunea diametrului median al sedimentelor, în program s-a utilizat o valoare constantă D50 egală cu 0,25 mm, pe tot sectorul analizat.

Având în vedere datele din literatura de specialitate și rezultatele obținute în urma analizelor, a fost aplicată valoarea de 0,07 kg/m<sup>3</sup> concentrației de sedimente.

Programul *Delft3D* permite efectuarea analizelor privind transportul de sedimente atât pentru sedimente în suspensie, cât și pentru cele tărâte, pentru cele coeze, dar și pentru cele necoeze [65]. În cazul acestei cercetări a fost utilizată formula de advecție-difuzie.

##### 5.4.1. Tronsoanele active din punct de vedere morfologic

În general, numai canalul principal este considerat activ din punct de vedere morfologic. În zonele inundabile, la începutul unei simulări, masa disponibilă de sedimentele este setată la zero. Ulterior, programul permite ca procesele de eroziune/depunere să poată avea loc și în albia majoră. [126].

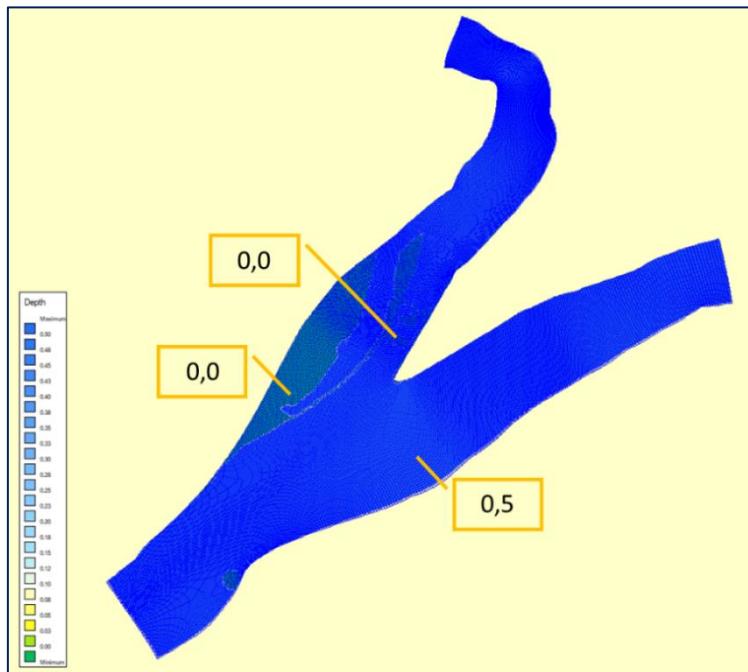


Figura 5.22. Grosimea stratului de sedimente disponibil pentru realizarea modelului morfohidrodinamic

Ținând cont de aceste considerente, la începutul modelării, a fost stabilită valoarea 0 pentru masa disponibilă de sedimente din albia majoră a cursului de apă.

Pe sectorul studiat, grosimea stratului de sedimente disponibilă pentru realizarea acestui model a fost limitată. În acest sens, pentru simularea efectuată pentru 1 an a fost creat un fișier \*.sdb în care au fost specificate, pentru zona de studiu, aceste grosimi (figura 5.22).

Astfel, a fost stabilit ca piatra Pârjoaia, cele două praguri de fund, digul de dirijare și apărarea de mal să nu poată fi erodate, pe tot parcursul modelării, grosimea stratului de sedimente fiind egală cu 0 în aceste zone.

#### 5.4.2. Caracteristicile hidrodinamice ale modelului morfohidrodinamic

În vederea realizării unui model care să furnizeze informații clare, cu un înalt grad de încredere, a fost necesar ca modelul morfohidrodinamic să fie calibrat. În acest sens s-a urmărit ca rezultatele obținute prin modelarea numerică să fie asemănătoare cu cele rezultate din măsurătorile din teren.

Modelul morfohidrodinamic a fost realizat cu scopul de a urmări modificările morfologice ce au loc în sectorul analizat, pe o perioadă de un an. Astfel, rezultatele ce urmau să fie obținute în urma rulării modelului creat pe baza măsurătorilor din anul VI de analiză, trebuiau să furnizeze o imagine a reliefului albiei asemănătoare cu cea rezultată în urma măsurătorilor multibeam din primăvara anului VII de analiză.

În consecință, pe baza rezultatelor obținute în urma campaniilor de teren desfășurate pe parcursul a 16 luni, s-a realizat un hidrograf ce a fost utilizat ca limită amonte a modelului. În secțiunile din aval, pentru condițiile la limită, au fost atribuite valorile de nivel a apei corespunzătoare hidrografului menționat (tabel 5.7).

*Tabel 5.7. Parametri hidrodinamici utilizati ca date de intrare pentru realizarea modelului morfohidrodinamic*

Luna	LIMITA AMONTE		LIMITA AVAL	
	Dunăre		Brať Bala	Dunărea Veche
	Debit [m <sup>3</sup> /s]	Nivel [m]*	Nivel [m]*	Nivel [m]*
Ianuarie – anul VI	4286	7,61	7,17	6,76
Februarie – anul VI	6288	9,22	8,78	8,37
Martie – anul VI	9456	11,31	10,87	10,46
Aprilie – anul VI	6404	9,31	8,87	8,46
Mai – anul VI	6674	9,50	9,06	8,65
Iunie – anul VI	6553	9,41	8,97	8,56
Iulie – anul VI	5734	8,81	8,37	7,96
August – anul VI	4791	8,05	7,61	7,20
Septembrie – anul VI	3669	7,05	6,61	6,20
Octombrie – anul VI	3463	6,85	6,41	6,00
Noiembrie – anul VI	5424	8,57	8,13	7,72
Decembrie – anul VI	4446	7,76	7,32	6,91
Februarie – anul VII	5033	8,25	7,81	7,40
Martie – anul VII	6804	9,59	9,15	8,74
Aprilie – anul VII	5007	8,23	7,79	7,38
Mai – anul VII	6227	9,18	8,74	8,33

\* raportată la cota MNS – Marea Neagră Sulina

Unul din avantajele utilizării programului de modelare numerică *Delft3D* este acela că relieful patului albiei este actualizat la fiecare pas de calcul. Totodată, în cadrul modulului *QUICKPLOT*, este permisă vizualizarea rezultatelor, la intervalul de timp stabilit de către utilizator [65] [67].

#### 5.4.3. Rezultate obținute în urma procesului de calibrare a modelului morfohidrodinamic

În general, calibrarea unui model morfohidrodinamic se realizează în două etape. Prima etapă are scopul de a reproduce, la scară mare și pe termen lung, caracteristicile morfodinamice ale cursului de apă. A doua etapă cuprinde analiza detaliată a unui sector al cursului de apă, pe o perioadă scurtă de timp [125].

În prezent, informațiile privind relieful patului albiei în sectorul analizat nu sunt suficiente pentru a efectua o comparație, la scară mare și pe termen lung, a rezultatelor obținute din modelarea numerică cu cele rezultate din măsurători.

Utilizând ca date de intrare parametrii ce definesc procesele hidrodinamice și de transport de sedimente ale căror valori au fost obținute în urma monitorizării efectuate pe parcursul intervalului ianuarie (anul VI) – mai (anul VII), s-a urmărit ca modelul rezultat să furnizeze o imagine a reliefului albiei asemănătoare cu cea obținută din măsurările *multibeam* efectuate în primăvara anului VII de analiză.

În figurile 5.23 și 5.24 sunt reprezentate imaginile privind relieful patului albiei rezultat în urma măsurătorilor în comparație cu cel obținut în urma modelării numerice, fiind conturate detaliile tridimensionale din zona de bifurcație. Din aceste imagini se pot observa asemănările între modelul batimetric al terenului și relieful patului albiei rezultat din modelarea numerică.



Figura 5.23. Relieful patului albiei rezultat în urma măsurătorilor batimetrice *multibeam* efectuate în anul VII de analiză. Detaliu zona de bifurcație

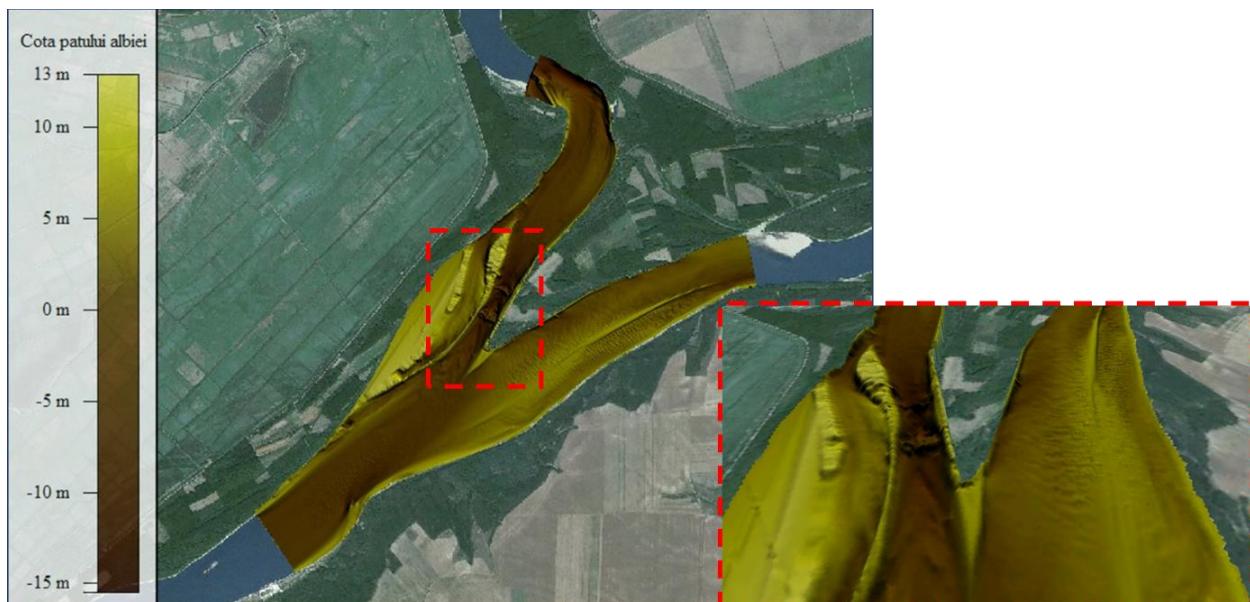


Figura 5.24. Relieful patului albiei rezultat din modelul morfohidrodinamic – etapa calibrare. Detaliu zona de bifurcație

Pe lângă acestea, în vederea calibrării modelului morfohidrodinamic, au fost selectate, atât pe direcție transversală, cât și longitudinală, secțiuni de analiză (figura 5.25), în care au fost comparate profilele batimetrice ale albiei rezultate din modelarea numerică cu cele obținute din măsurările *multibeam* realizate după 16 luni (figurile 5.26 – 5.32).

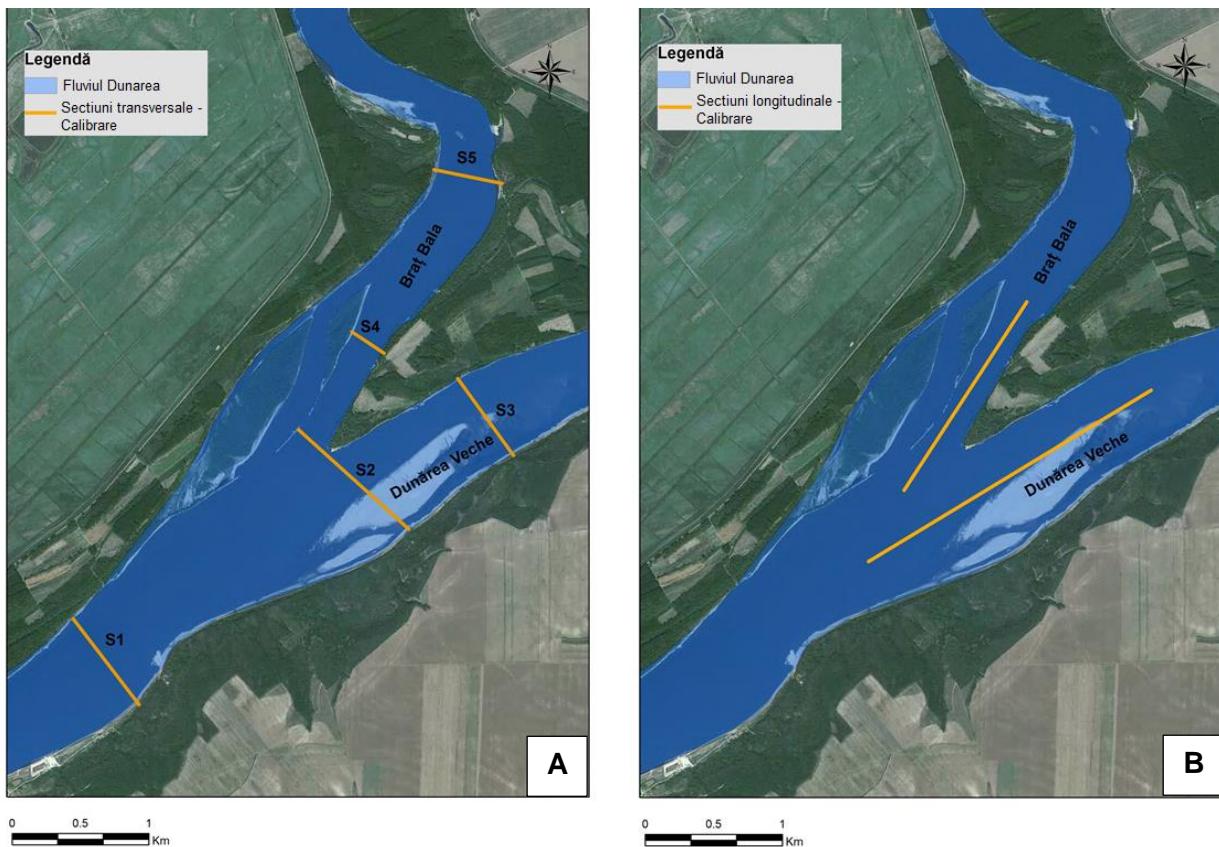


Figura 5.25. Calibrarea modelului morfohidrodynamic - Secțiuni de analiză transversale (A) și longitudinale (B)

Secțiunea transversală 1 este localizată în amonte de zona de bifurcație braț Bala – Dunărea Veche. Din suprapunerea datelor rezultate din modelarea numerică peste cele obținute din măsurările din teren, se remarcă fapul că numai în zona din proximitatea malurilor sunt înregistrate diferențe (figura 5.26).

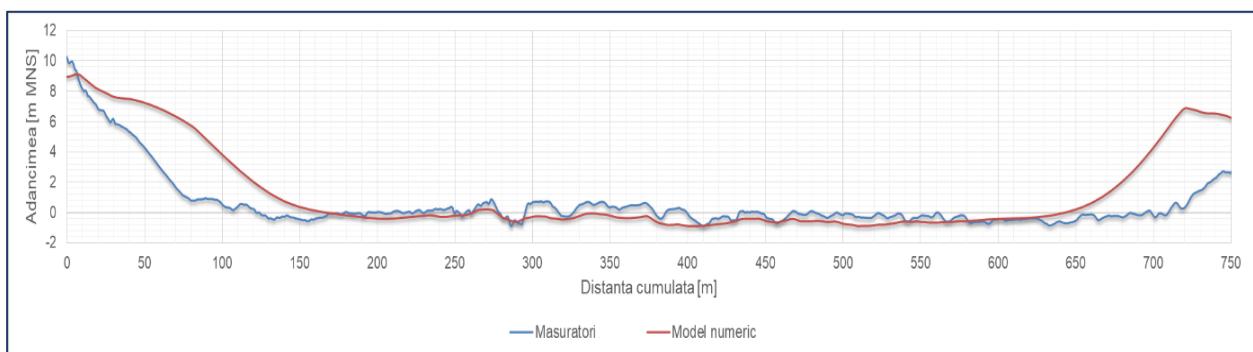


Figura 5.26. Secțiunea transversală 1 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice

În cazul secțiunii transversale 2, se menține aceeași tendință, între rezultatele obținute în urma modelării numerice și datele rezultate din măsurările din teren. Modelul numeric se diferențiază de modelul terenului printr-un areal de sedimentare, în zona de bifurcație braț Bala – Dunărea Veche (figura 5.27).

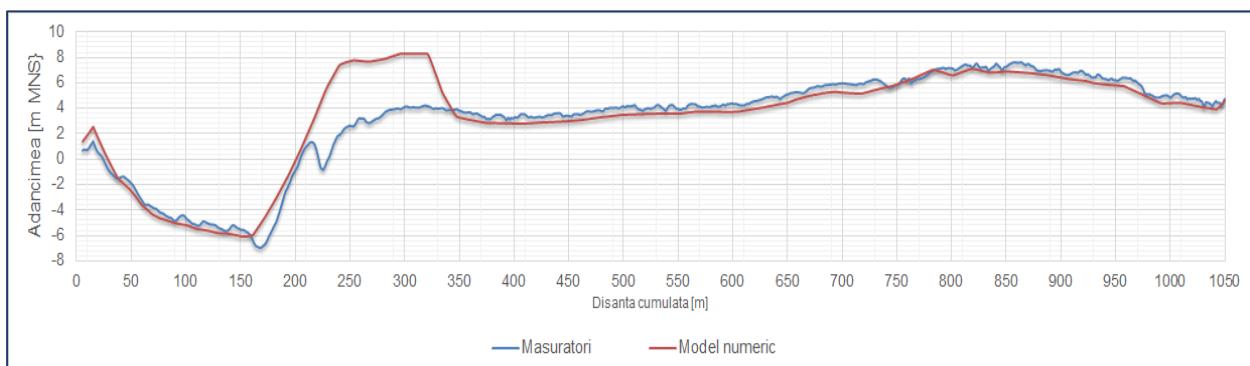


Figura 5.27. Secțiunea transversală 2 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice

În figura 5.28 se pot observa asemănările/deosebirile între patul albiei rezultat din modelul numeric și din modelul terenului. Se remarcă faptul că, în general, modelul numeric prezintă cote reduse în comparație cu situația din teren. Local, în dreptul bancului de nisip Caragheorghe, apare un areal cu depunerile în cazul modelului numeric.

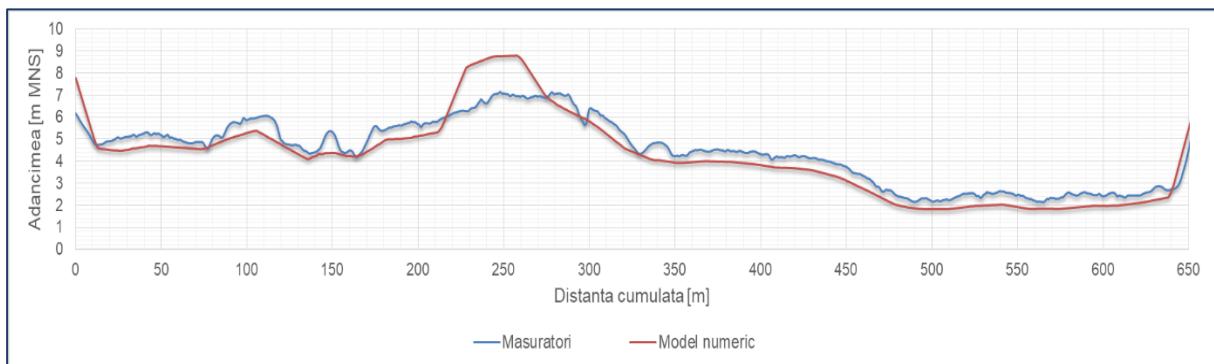


Figura 5.28. Secțiunea transversală 3 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice

Secțiunea transversală 4 este localizată în aval de pragul de fund construit în anii '90, pe brațul Bala. Din suprapunerea datelor rezultate din modelarea numerică peste cele obținute din măsurătorile din teren, se remarcă fapul că numai în zona din proximitatea malurilor sunt înregistrate diferențe (figura 5.29).

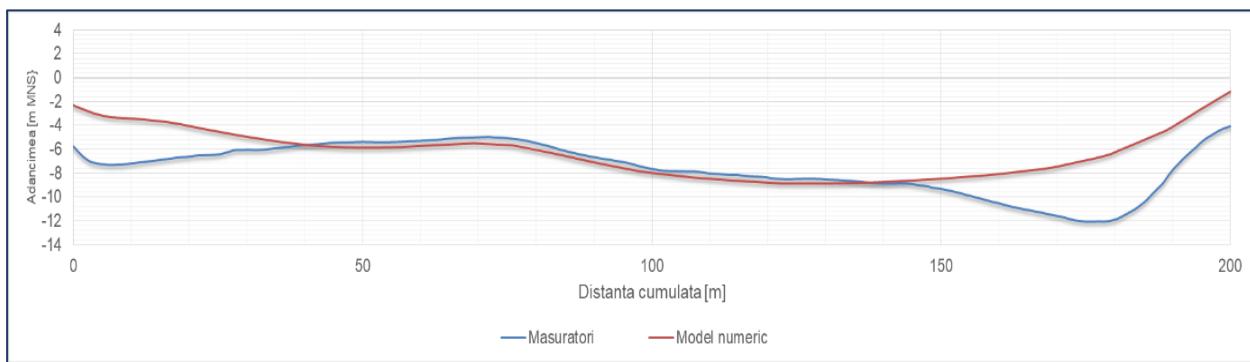


Figura 5.29. Secțiunea transversală 4 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice

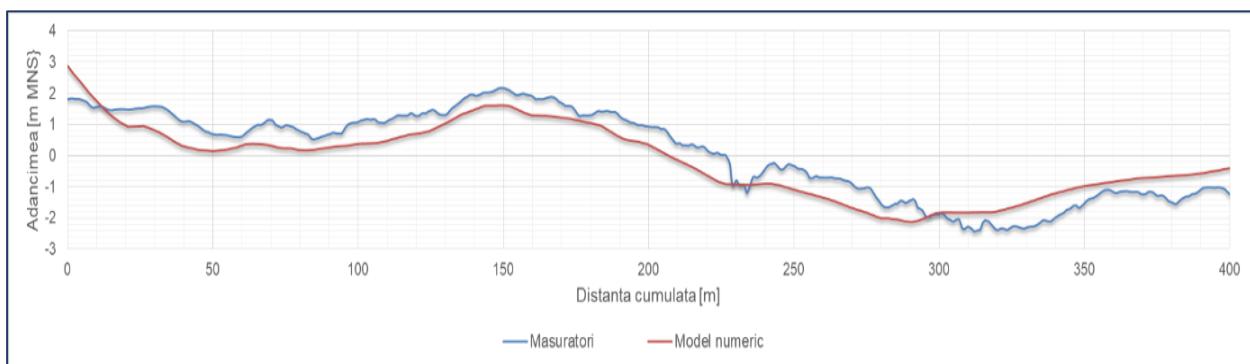


Figura 5.30. Secțiunea transversală 5 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice

În cazul secțiunii transversale 5, situată în aval, pe brațul Bala, se menține aceeași tendință, între rezultatele obținute în urma modelării numerice și datele rezultate din măsurătorile din teren (figura 5.30).

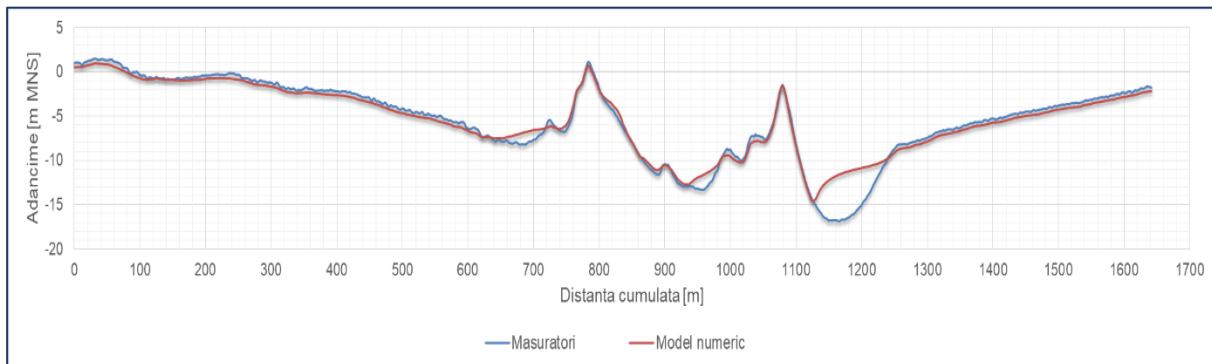


Figura 5.31. Secțiunea longitudinală 1 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice

În figurile 5.31 și 5.32 este reprezentat patul albiei în secțiunile longitudinale de control 1 și 2. În cazul ambelor secțiuni nu sunt înregistrate diferențe semnificative între modelul numeric și situația din teren.

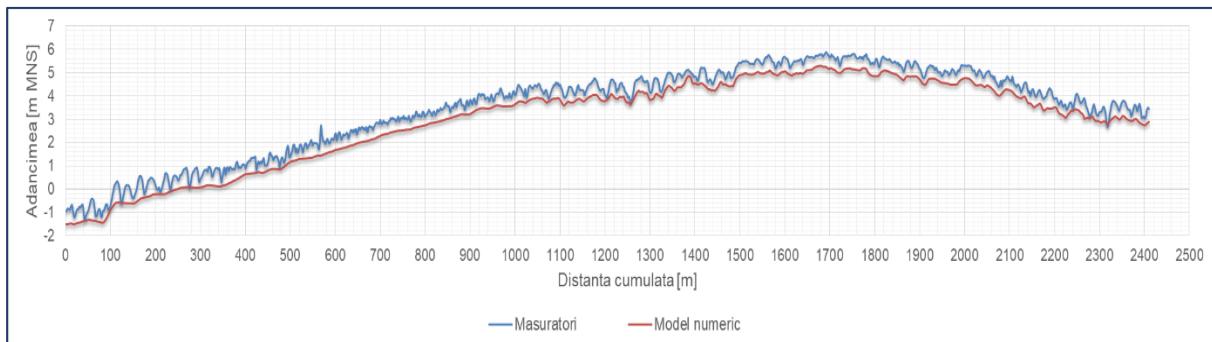


Figura 5.32. Secțiunea longitudinală 2 reprezentând albia Dunării – rezultate obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice

Din aceste reprezentări se poate observa că geometria patului albiei rezultată în urma modelării numerice este asemănătoare cu cea obținută în urma prelucrării măsurătorilor batimetrice.

Diferențele ce apar în cazul secțiunilor transversale de control se datorează în primul rând dimensiunilor celulelor de calcul. În evaluarea scenariilor trebuie să se țină cont de rezultatele obținute în etapa de calibrare, în sensul că aceste abateri se pot propaga și în contextul analizei pe termen mediu și lung.

Configurarea unui model numeric prin intermediul căruia să fie analizate la scară mică și medie de timp procesele morfohidrodinamice ale albiei minore și corelarea acestor date cu elementele biotice ale ecosistemelor acvatice, reprezintă obiectivul principal al prezentei teze de doctorat.

Elementul de noutate al acestei lucrări rezultă din tehnica abordată în vederea realizării unui model numeric tridimensional care să furnizeze rezultate clare, cu un înalt grad de încredere. Utilizând programul de modelare numerică *Delft3D*, pe baza volumului imens de date obținute în urma campaniilor de teren, a fost posibilă realizarea unui model numeric care să permită abordarea detaliată, a tendinței de evoluție morfohidrodinamică a sectorului analizat.

## Capitolul 6. SIMULĂRI NUMERICE PRIVIND MODIFICĂRILE MORFOLOGICE ALE PATULUI ALBIEI

Cu scopul de a analiza pe termen scurt și mediu tendințele de modificare morfologică a albiei sectorului de fluviu analizat, au fost propuse o serie de scenarii care au fost realizate prin intermediul simulării numerice. Simularea este o metodologie experimentală și aplicativă [127], care s-a concretizat prin realizarea unor teste ce au avut la bază modelul morfohidrodinamic creat.

Un element esențial în evaluarea comportamentului morfodinamic al unui curs de apă este reprezentat de includerea în analiză a unor variații sezoniere suficiente. Modificările morfologice se datorează în principal variațiilor de debit [125]. Înțând cont de aceste mențiuni și, totodată, de efectele schimbărilor climatice, investigațiile morfohidrodinamice au fost realizate utilizând scenarii pentru perioade scurte și medii de timp. Acest lucru s-a datorat faptului că, într-un cadru general, pentru șiruri lungi de date, simularea numerică este limitată în ceea ce privește utilizarea datelor referitoare la fenomenele meteorologice extreme, precum: inundațiile și seceta, un scenariu pe termen lung de timp fiind, în acest caz, neplauzibil.

Pentru realizarea scenariilor pe termen scurt și mediu, s-a utilizat un hidrograf variabil la limita din amonte, construit astfel încât să reprezinte variația integrală a debitului într-o manieră schematică. Hidrograful schematic este alcătuit din mai multe perioade, fiecare având un debit constant, ordonat corect pentru a reprezenta un an tipic. Anul tipic a fost dedus din analiza înregistrărilor istorice ale debitului. Astfel, s-a utilizat un hidrograf treptat, care se bazează pe măsurători și este reprezentativ pentru ciclul hidrologic complet. Această metodă a fost dezvoltată și aplicată cu succes și pe brațele Rinului, în Olanda de către Deltares [125].

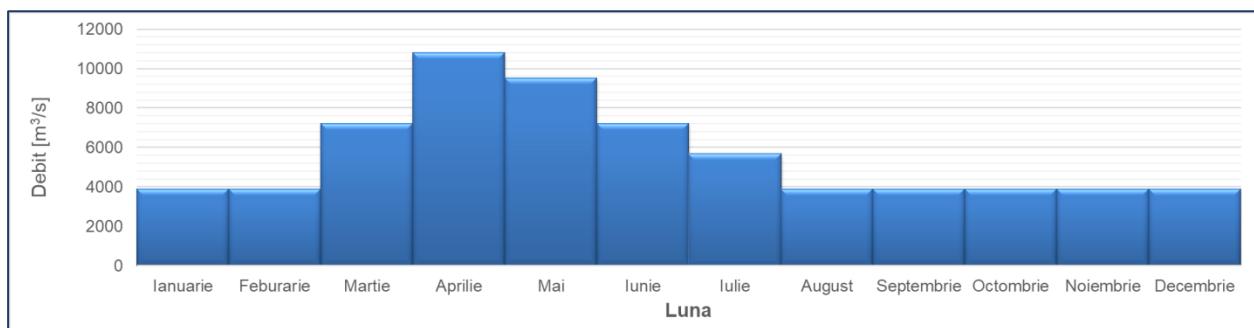


Figura 6.1. Hidrograful debitelor utilizat în cadrul scenariilor ce au avut la bază modelul morfohidrodinamic

În figura 6.1 este reprezentată schema privind hidrograful debitelor utilizat în cadrul scenariilor ce au avut la bază modelul morfohidrodinamic.

Datele de intrare utilizate pentru stabilirea condițiilor la limită, necesare pentru efectuarea simulărilor numerice, sunt reprezentate de valoarea debitului în secțiunea amonte și valoarea nivelului apei în secțiunile din aval (tabel 6.1)

Pornind de la modelul actualizat cu parametrii hidrodinamici menționați anterior, au fost realizate scenarii în care a fost analizat caracterul morfodinamic al sectorului de interes la interval de 3 ani și 5 ani. Rezultatele obținute au fost raportate la situația de referință, și anume, modelul morfohidrodinamic calibrat.

*Tabel 6.1. Date de intrare utilizate în simulările numerice*

Luna	LIMITĂ AMONTE		LIMITĂ AVAL	
	Dunăre	Braț Bala	Dunărea Veche	
	Q [m <sup>3</sup> /s]	H [m]*	H [m]*	
Ianuarie	3908	6,98		7,01
Februarie	3908	6,98		7,01
Martie	7234	10,03		10,06
Aprilie	10800	12,5		12,51
Mai	9523	11,82		11,85
Iunie	7234	10,03		10,06
Iulie	5649	8,63		8,66
August	3908	6,98		7,01
Septembrie	3908	6,98		7,01
Octombrie	3908	6,98		7,01
Noiembrie	3908	6,98		7,01
Decembrie	3908	6,98		7,01

\* raportată la cota MNS – Marea Neagră Sulina

Investigațiile pe termen scurt și mediu privind transportul sedimentelor și morfologia unui curs de apă sunt foarte importante. Una dintre problemele-cheie în realizarea modelării pe termen mediu este constituită de depășirea decalajului dintre hidrodinamica pe termen scurt, care variază de la ore la zile, și modificările morfologice care au loc pe perioade mai lungi [128].

În acest sens, a fost utilizat factorul de accelerare morfologică (*MorFac*), la rubrica „*Morphology*” fiind selectată o valoare variabilă, în funcție de intervalul de timp analizat. Factorul morfologic este util în evaluarea morfologiei albiei pe o perioadă de timp mai îndelungată, el făcând posibilă calcularea unor modificări morfologice accelerate la nivelul albiei [65].

Având în vedere faptul că există posibilitatea ca în intervalul lung de timp necesar stabilizării modelului hidrodinamic, după trecerea de la condițiile initiale la condițiile impuse, modelele de eroziune și acumulare care au loc să nu reflecte cu acuratețe adeverăata evoluție morfologică [125], nu au fost expuse și investigațiile pe termen lung.

## 6.1. Scenariul 1 - Scenariul de referință

Scenariul 1 este reprezentat de modelul morfohidrodinamic calibrat. Rezultatele furnizate de acest model sunt utilizate ca referințe în analiza morfologică a patului albiei sectorului de fluviu analizat după 3 ani și 5 ani.

În această situație, patul albiei prezintă aceeași tendință cu cea a reliefului batimetric conturat pe baza măsurătorilor *multibeam* (figurile 5.26 – 5.32).

În primă fază, au fost exportate rezultatele obținute în urma rulării modelului și transpuse în programul *Fledermaus*. Acest program reprezintă un instrument interactiv de prelucrare și analiză geospatială [129], oferind posibilitatea unei vizualizări tridimensionale a reliefului batimetric la o calitate superioară (figura 6.2).

Pentru a evalua interacțiunea dintre geometria albiei și curentul de apă, au fost analizate trei situații, în care s-a variat valoarea debitului. În acest sens, a fost analizat sectorul de interes în contextul în care la limita amonte a modelului a fost aplicat un debit minim, mediu și mare, valori expuse în tabelul 6.2.

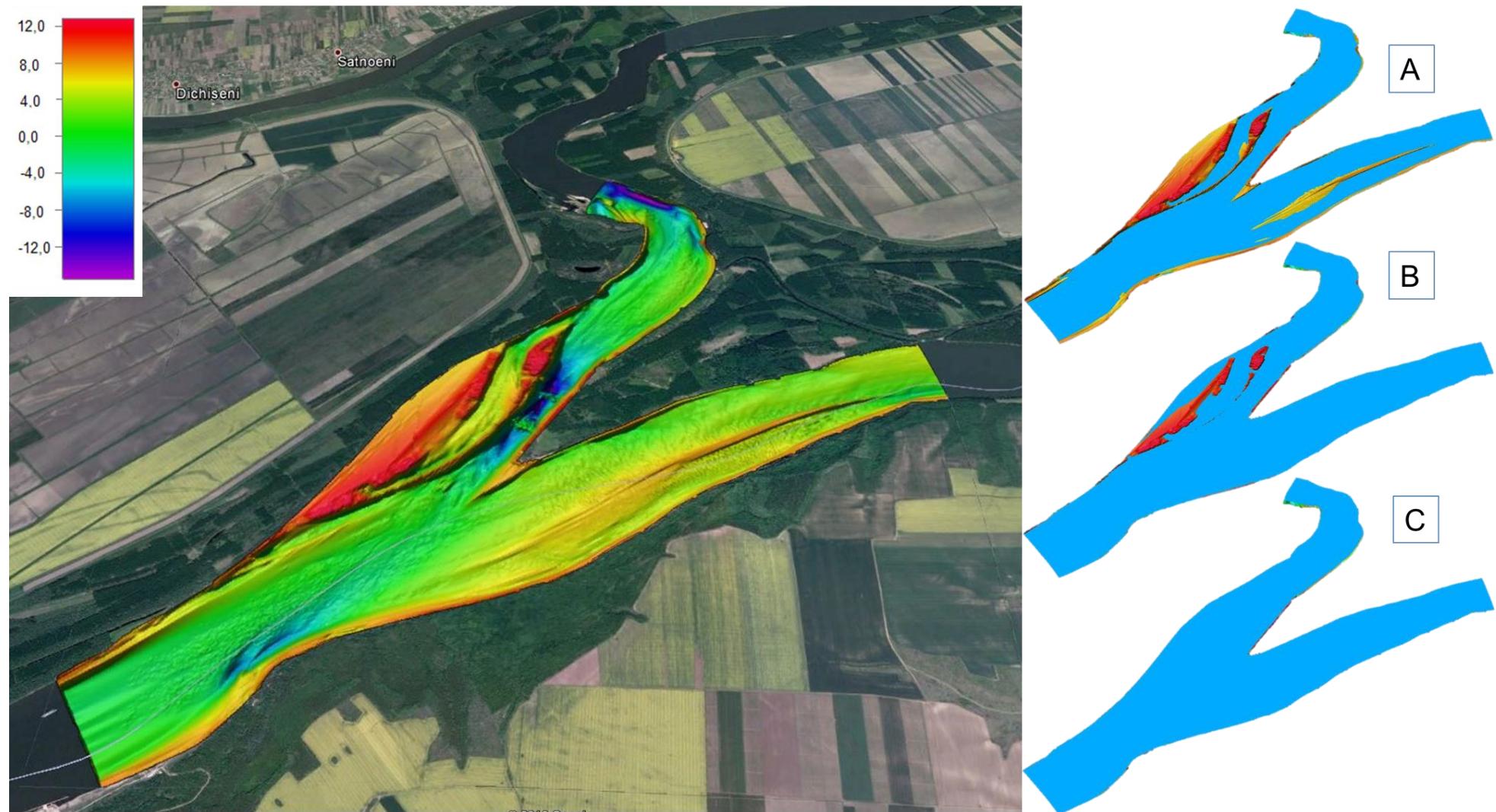


Figura 6.2. Scenariu 1 – Relieful patului albiei în sectorul analizat. Detalii privind interacțiunea dintre relieful batimetric și curentul de apă în cazul valorilor de debit (A)  $Q_{\min}=3000 \text{ m}^3/\text{s}$ , (B)  $Q_{\text{med}}=7200 \text{ m}^3/\text{s}$ , (C)  $Q_{\max}=11400 \text{ m}^3/\text{s}$

*Tabel 6.2. Date utilizate la limita amonte a sectorului pentru a evalua interacțiunea dintre geometria albiei și curentul de apă*

Situării	Debit [m <sup>3</sup> /s]	Nivel [m]*
<b>Situatie debit minim</b>	3000	6,5
<b>Situatie debit mediu</b>	7200	9,9
<b>Situatie debit maxim</b>	11400	13,1

\* raportată la cota MNS – Marea Neagră Sulina

Alături de relieful batimetric caracteristic scenariului 1, în figura 6.2 sunt reprezentate și detaliile privind sectorul analizat în situația în care, la limita amonte este aplicat un debit minim, mediu și maxim.

În contextul unui debit minim, sunt evidențiate suprafețele de uscat prin zonele conturate de digul de dirijare, apărarea de mal, depunerile înregistrate la bifurcația braț Bala - Dunărea Veche, o parte din bancul de nisip Caragheorghe și suprafețe în ostrovul localizat la vest de brațul Bala. În cazul debitului mediu este evidențiată suprafața de uscat din ostrov și apărarea de mal ce corespunde brațului Bala, iar în cazul debitului maxim întregul sector este acoperit cu apă.

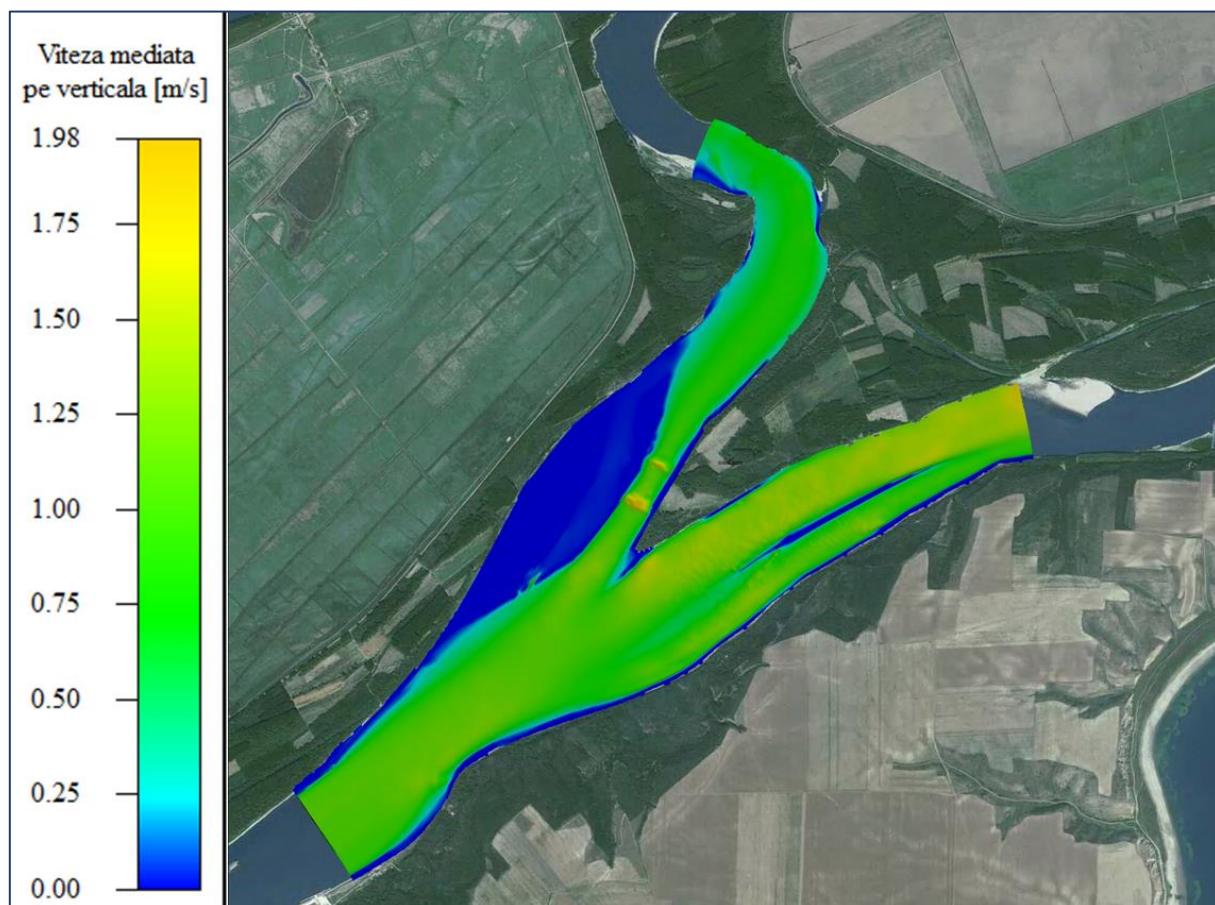


Figura 6.3. Scenariul 1 – Distribuția valorilor mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă

Întrucât viteza curentului de apă reprezintă un parametru important în ceea ce privește evaluarea componentelor ecosistemelor acvatice, în principal în analiza traseului de migrație a sturionilor, în figura 6.3 au fost reprezentate grafic valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă, în cazul unui debit de 3908 m<sup>3</sup>/s. Valorile maxime ale acestui parametru au rezultat în zona celor două praguri de fund, acestea fiind mai mici de 2,0 m/s. Acest debit reprezintă valoarea minimă utilizată în simulările numerice pentru a reprezenta un an tipic. Anul tipic a fost dedus din analiza înregistrărilor istorice ale debitului.

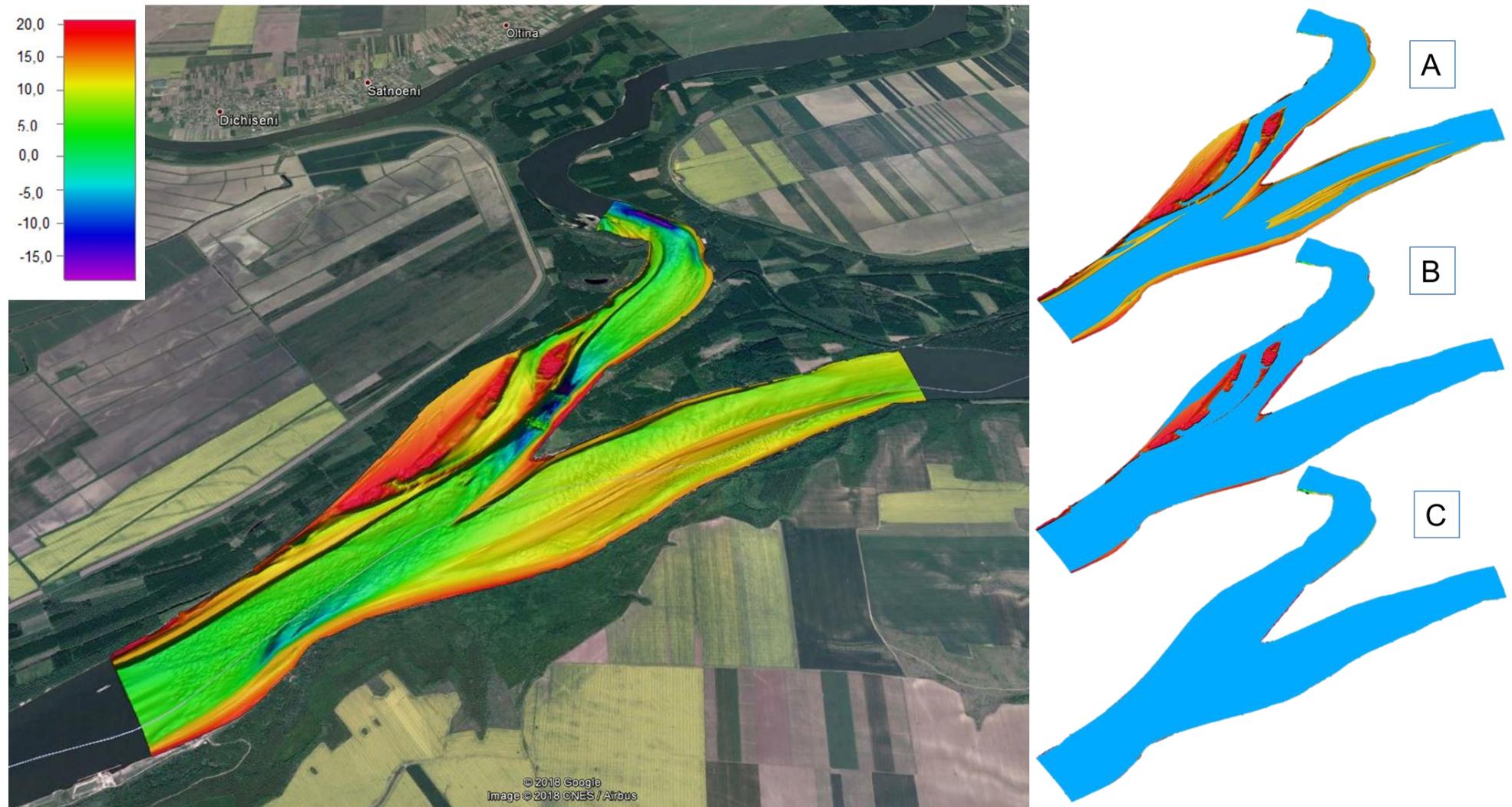


Figura 6.4. Scenariul 2 – Relieful patului albiei în sectorul analizat. Detalii privind interacțiunea dintre relieful batimetric și curentul de apă în cazul valorilor de debit (A)  $Q_{\min}=3000 \text{ m}^3/\text{s}$ , (B)  $Q_{\text{med}}=7200 \text{ m}^3/\text{s}$ , (C)  $Q_{\max}=11400 \text{ m}^3/\text{s}$

## 6.2. Scenariul 2 – Patul albiei după 3. Simulare morfohidrodinamică

Scenariul 2 este reprezentat de modelul rezultat după simularea proceselor morfohidrodinamice pe o perioadă de 3 ani.

Din punct de vedere morfologic, modelul a furnizat informații care au evidențiat tendința de eroziune în zona pragurilor de fund și de acreție laterală, în zona malurilor (figura 6.4).

În vederea investigării arealului de interes din punct de vedere hidrodinamic, au fost analizate trei situații, în care s-a variat valoarea debitului, prin aplicarea la limita amonte a modelului a unui debit minim, mediu și mare (tabelul 6.2).

În situația unui debit minim, nivelul apei, care este de 6,5 m MNS, acoperă sectorul analizat, mai puțin o parte din digul de dirijare, apărarea de mal, zona cu depunerile de la bifurcația braț Bala - Dunărea Veche, o parte din bancul de nisip Caragheorghe și arii însemnate ale ostrovului localizat la vest de brațul Bala. Totodată, spre deosebire de scenariul de referință, în cazul unui debit redus este evidențiată acreția laterală de pe malul drept al Dunării Vechi. În contextul unui debit mediu este conturată suprafața de uscat din ostrovul localizat la vest de brațul Bala, o arie redusă cu depuneri din zona de bifurcație și apărarea de mal corespunzătoare brațului Bala. În cazul debitului maxim întregul sector este acoperit cu apă.

În ceea ce privește analiza distribuției vitezelor curentului de apă, în figura 6.5 sunt evidențiate valorile mediate pe verticală, pe toată suprafața sectorului de interes. În cazul acestui scenariu, pentru un debit de  $3908 \text{ m}^3/\text{s}$ , valorile maxime depășesc valoarea de  $2,5 \text{ m/s}$  în zona pragurilor de fund.

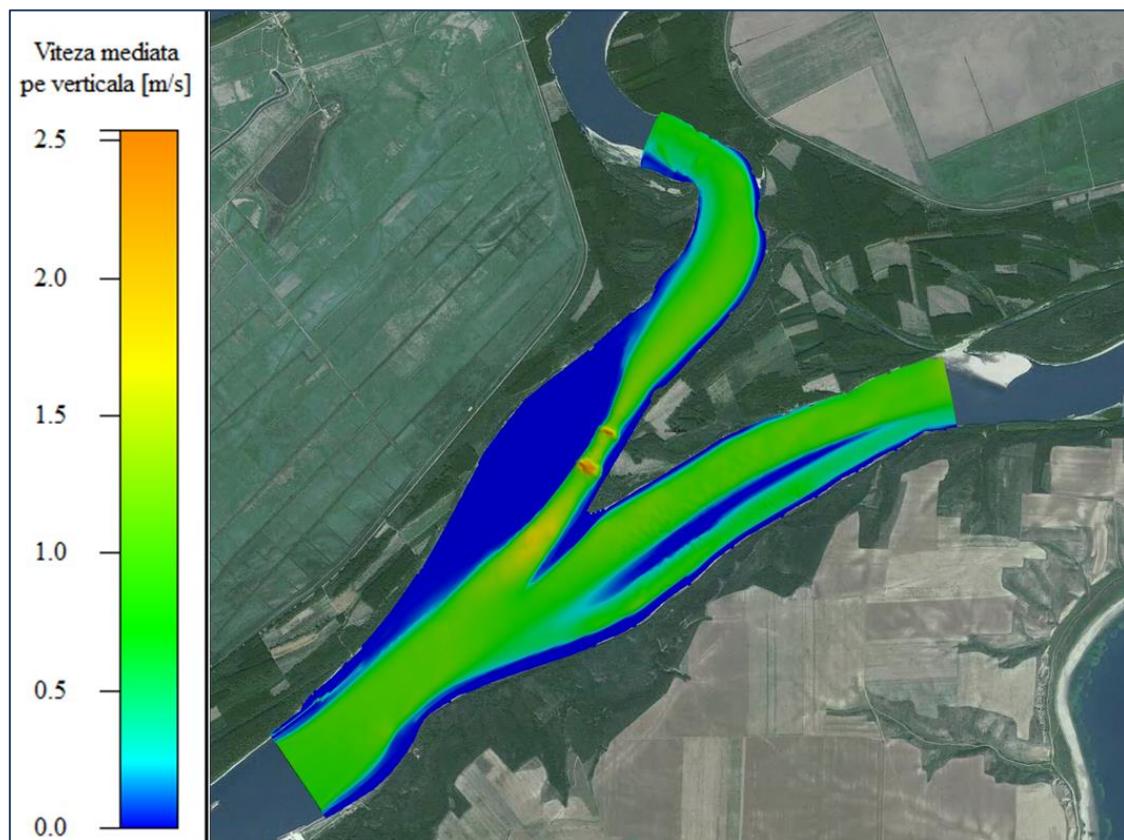


Figura 6.5. Scenariul 2 – Distribuția valorilor mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă

În comparație cu scenariul de referință, ca urmare a depunerilor de pe Dunărea Veche, în zona bancului de nisip Caragheorghe, valorile mediate pe verticală ale vitezei curentului de apă sunt aproape nule.

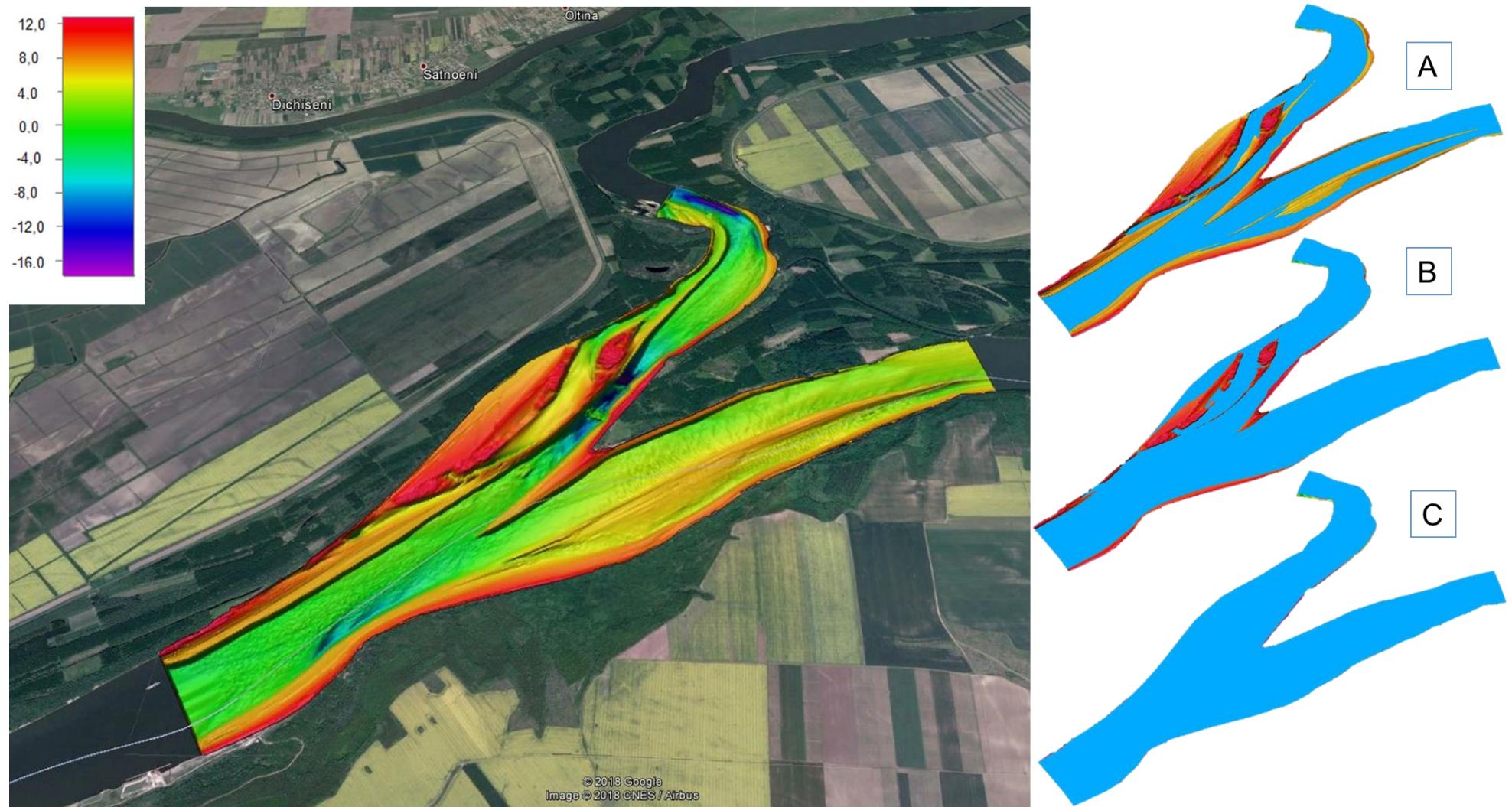


Figura 6.6. Scenariul 3 – Relieful patului albiei în sectorul analizat. Detalii privind interacțiunea dintre relieful batimetric și curentul de apă în cazul valorilor de debit (A)  $Q_{\min}=3000 \text{ m}^3/\text{s}$ , (B)  $Q_{\text{med}}=7200 \text{ m}^3/\text{s}$ , (C)  $Q_{\max}=11400 \text{ m}^3/\text{s}$

### 6.3. Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani. Simulare morfohidrodinamică

Scenariul 3 se referă la modelul rezultat în urma simulării proceselor morfohidrodinamice pe o perioadă de 5 ani (figura 6.6). În această situație au fost obținute informații privind procesele de eroziune ce au avut loc în special în zona pragurilor de fund și pe aria dintre bancul de nisip Caragheorghe și malul drept al Dunării Vechi. Totodată, în urma analizei datelor furnizate de model, s-a observat tendința de acreție laterală, atât pe malul drept, cât și pe cel stâng, în special pe tronsonul amonte de bifurcația braț Bala – Dunărea Veche.

În situația în care la limita amonte a modelului aferent scenariului 3 se aplică debitul minim de  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  (tabel 6.2) se poate observa că zonele de uscat ocupă suprafețe mult mai mari în comparație cu scenariile prezentate anterior. Aceste arii sunt conturate de digul de dirijare, apărarea de mal, acumularea de sedimente din zona de bifurcație, o zonă longitudinală a bancului de nisip Caragheorghe și depunerile din zona malurilor. În cazul unui debit mediu de  $7200 \text{ m}^3/\text{s}$ , situație în care nivelul apei la limita amonte este de  $9,9 \text{ m MNS}$ , este evidențiată în special zona de acreție laterală aferentă malului drept al Dunării/Dunării Vechi. Similar scenariilor anterioare, în cazul unui debit de peste  $11400 \text{ m}^3/\text{s}$ , întregul sector este acoperit cu apă.

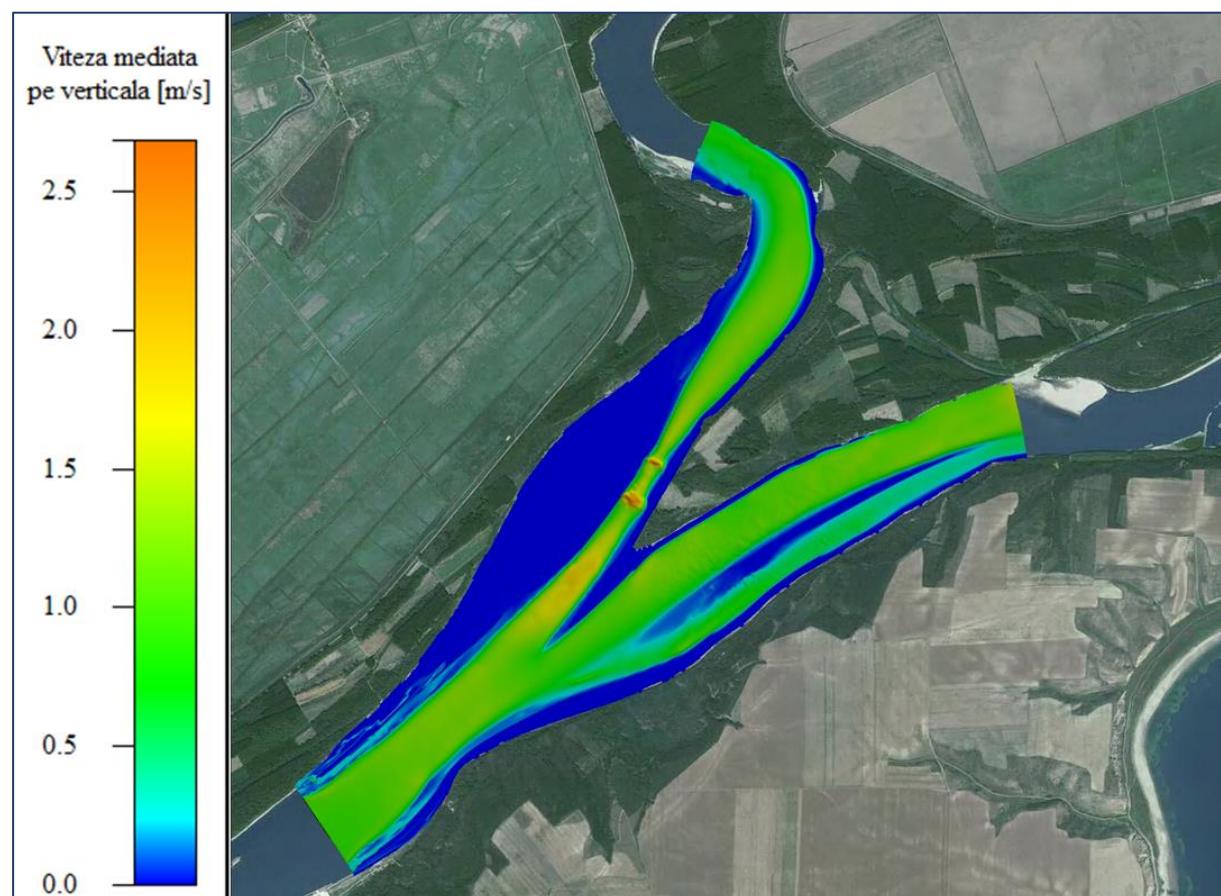


Figura 6.7. Scenariul 3 – Distribuția valorilor mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă

Din punct de vedere al distribuției vitezelor curentului de apă pe sectorul studiat, în cazul unui debit de  $3908 \text{ m}^3/\text{s}$ , au rezultat valori maxime de cca.  $2,7 \text{ m/s}$  în zona pragurilor de fund (figura 6.7). Creșterea valorilor mediate ale vitezei curentului de apă se poate datora îngustării secțiunii de curgere, ca urmare a acreție laterală.

## Capitolul 7. EVALUAREA MODIFICĂRILOR MORFOLOGICE ALE PATULUI ALBIEI

În vederea evaluării impactului produs de intervențiile antropice asupra componentelor ecosistemelor acvatice, au fost efectuate analize comparative privind modificările morfologice ce au avut loc la nivelul patului albiei, pe intervalele de timp analizate (3 și 5 ani) prin intermediul simulărilor numerice. Rezultatele simulărilor numerice au fost raportate la situația de referință – scenariul 1.

Cu scopul de a realiza analiza modificărilor morfologice, au fost luate în considerare o serie de secțiuni transversale și longitudinale de analiză (figura 5.25), care au evidențiat profilul batimetric în perioadele investigate.

De asemenea, pe baza rezultatelor furnizate de către modelele de simulare, au fost conturate 4 tronsoane în care au fost analizate suprafetele zonelor cu eroziuni/depuneri.

Având în vedere faptul că simulările numerice furnizează rezultate aproximative privind identificarea modificărilor morfologice ale patului albiei, la scară mică și medie de timp, această analiză comparativă are caracter calitativ.

### 7.1. Secțiunea transversală 1 – Analiza comparativă a scenariilor

Secțiunea transversală 1 este localizată pe Dunărea principală, în amonte de zona de bifurcație braț Bala-Dunărea Veche.

Ca urmare a simulării proceselor morfohidrodinamice, la scară mică și medie de timp, în secțiunea transversală 1 sunt evidențiate, în principal, depuneri de sedimente în zona laterală a canalului de curgere (acreție laterală) (figura 7.1).

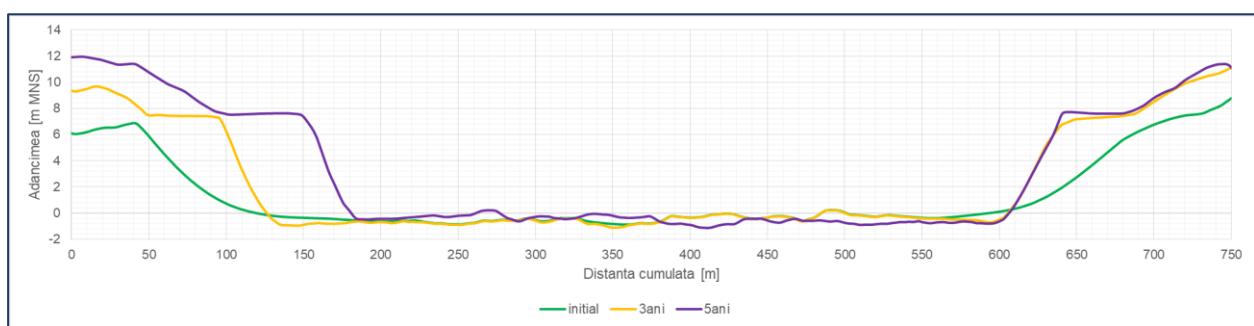


Figura 7.1. Secțiunea transversală 1 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice

În cazul scenariului în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pentru o perioadă de 3 ani, rezultă depuneri pe malul stâng (pe o lungime de cca. 140 m), urmate imediat de porțiuni de eroziune (pe o lungime de cca. 120 m) (figura 7.2). Pe canalul principal de curgere nu sunt modificări între perioada de referință și cea simulată. Procesele de eroziune/depunere se dezvoltă simetric și în zona malului drept, în acest context eroziunea fiind mai accentuată decât depunerea.

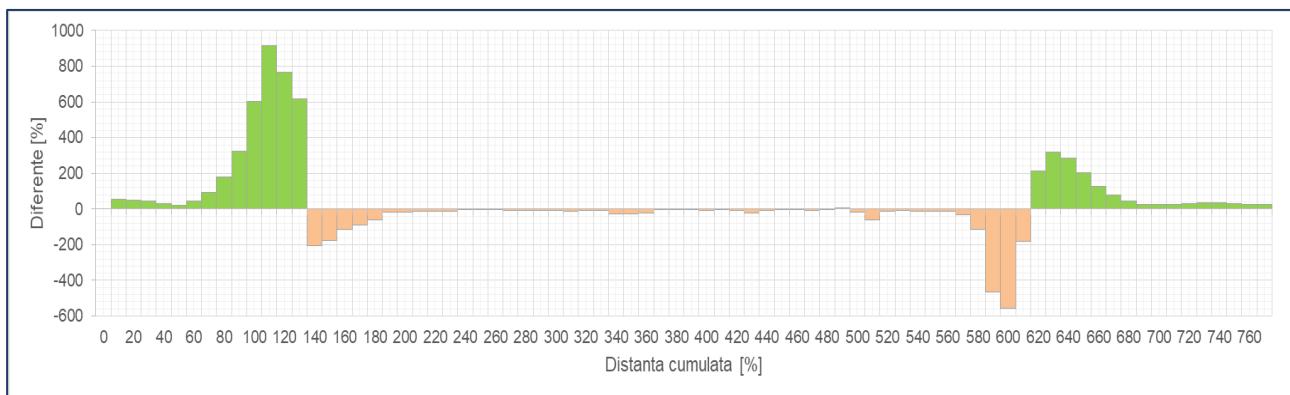


Figura 7.2. Secțiunea transversală 1 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință

După simularea proceselor morfohidrodinamice pentru o perioadă de 5 ani rezultă o depunere înregistrată la cca. 80 m de malul stâng (figura 7.3). Procesele de eroziune sunt evidențiate la cca. 140 m față de malul drept, pe o lungime de aproximativ 220 m.

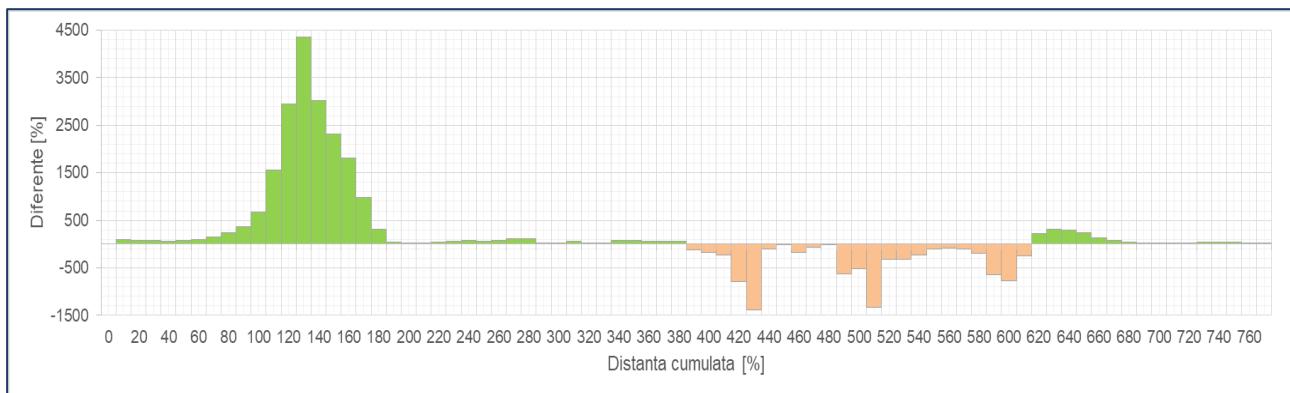


Figura 7.3. Secțiunea transversală 1 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 5 ani și situația de referință

## 7.2. Secțiunea transversală 2 – Analiza comparativă a scenariilor

Secțiunea transversală 2 este localizată în dreptul bifurcației braț Bala - Dunărea Veche.

În urma simulării proceselor morfohidrodinamice, în secțiunea transversală 2 sunt evidențiate depunerile de sedimente pe malul drept. De asemenea, în figura 7.4. se poate observa tendința de dezvoltare laterală a bancului de nisip.

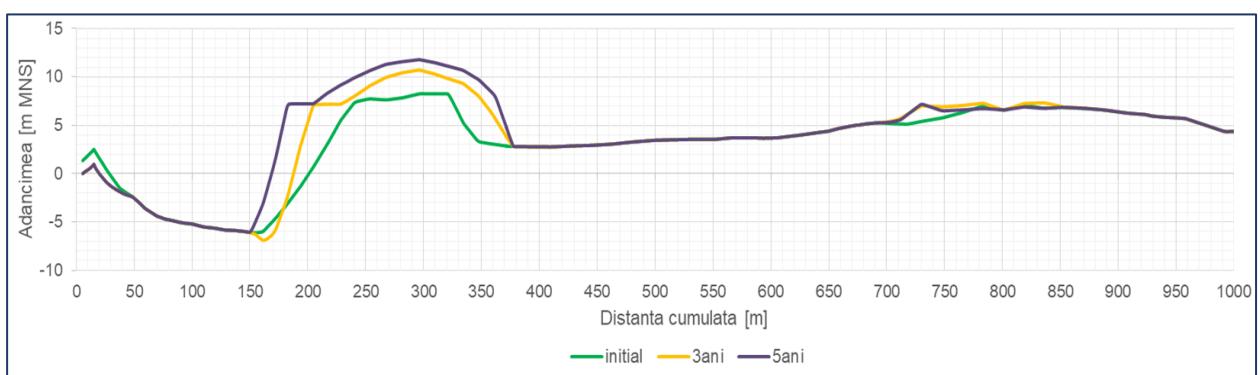


Figura 7.4. Secțiunea transversală 2 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice

După simularea proceselor morfohidrodinamice pentru o perioadă de 3 ani a fost evidențiată o zonă de eroziune în dreptul malului stâng (figura 7.5). Se observă că în zona de bifurcație, aproape de apărarea de mal, la o distanță de cca. 160 m față de malul stâng, s-a dezvoltat un areal cu depuneri.



Figura 7.5. Secțiunea transversală 2 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință

Aceeași tendință este păstrată și în cazul scenariului în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pentru o perioadă de 5 ani (figura 7.6). În plus, în acest caz, în apropierea malului drept este observată o zonă redusă cu depuneri.

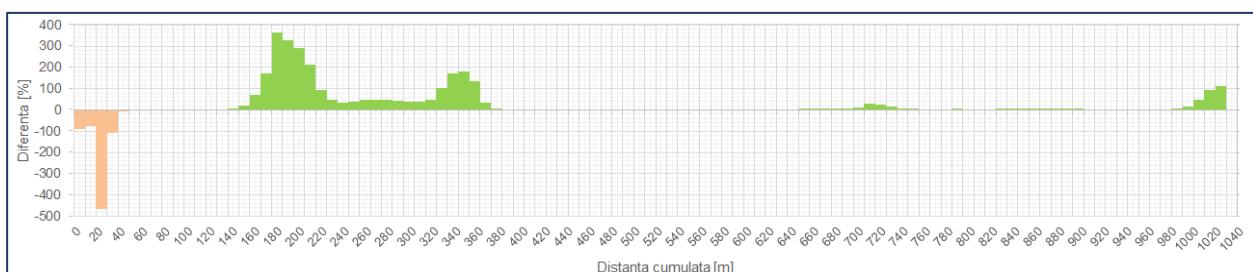


Figura 7.6. Secțiunea transversală de control 2 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 5 ani și situația de referință

### 7.3. Secțiunea transversală 3 – Analiza comparativă a scenariilor

Secțiunea transversală 3 este localizată pe Dunărea Veche, în aval de bifurcație.

Rezultatele obținute în urma simulării proceselor morfohidrodinamice, la scară mică și medie de timp, au evidențiat tendință de acumulare a sedimentelor înspre malul stâng și de modificare a geometriei bancului de nisip, prin eroziune (figura 7.7).

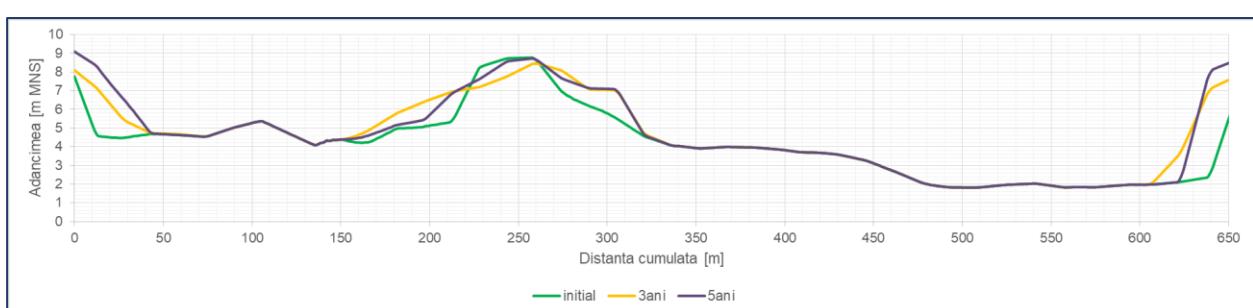


Figura 7.7. Secțiunea transversală 3 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice

Rezultatele furnizate de către modelul construit pentru simularea morfohidrodinamică pentru 3 ani, indică, în principal, tendință de sedimentare în dreptul celor două maluri (figura

7.8). Totodată, la cca. 150 m față de malul stâng se dezvoltă o zonă în care depunerea alternează cu eroziunea.

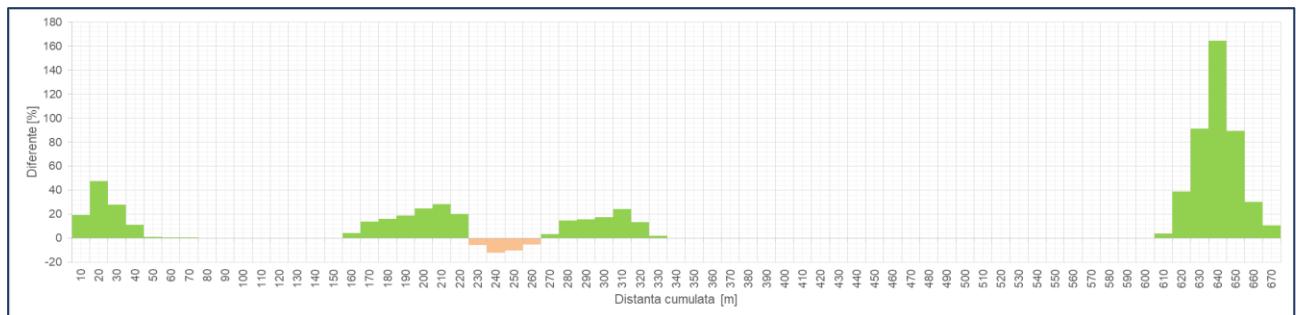


Figura 7.8. Secțiunea transversală 3 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință

Această tendință este menținută și în cazul scenariului efectuat pentru analiza pe 5 ani (figura 7.9). În consecință, sunt remarcate zone cu depuneri în apropierea malurilor, și, un areal cu eroziuni localizat la cca. 230 m față de limita malului stâng.

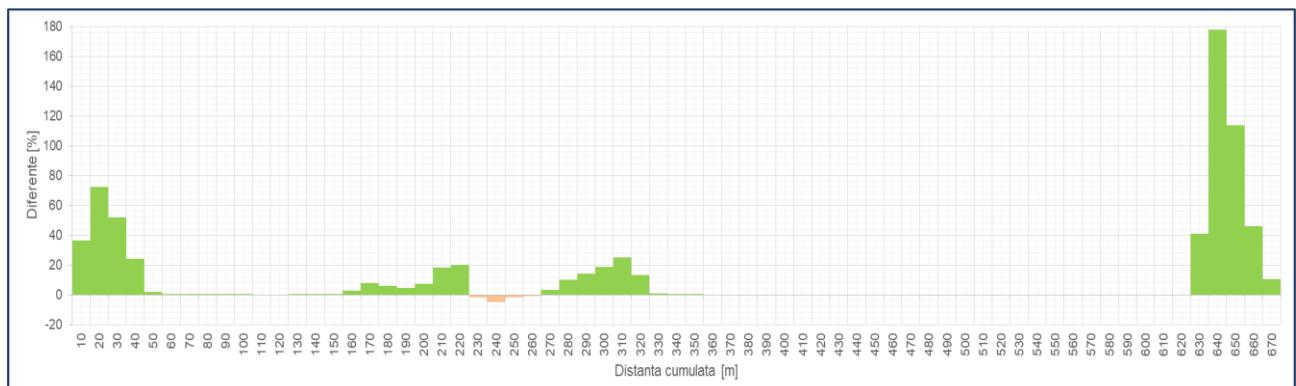


Figura 7.9. Secțiunea transversală 3 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 5 ani și situația de referință

#### 7.4. Secțiunea transversală 4 – Analiza comparativă a scenariilor

În cazul secțiunii transversale 4, situată în zona construcțiilor hidrotehnice, este evidențiat procesul de acreție laterală (figura 7.10).

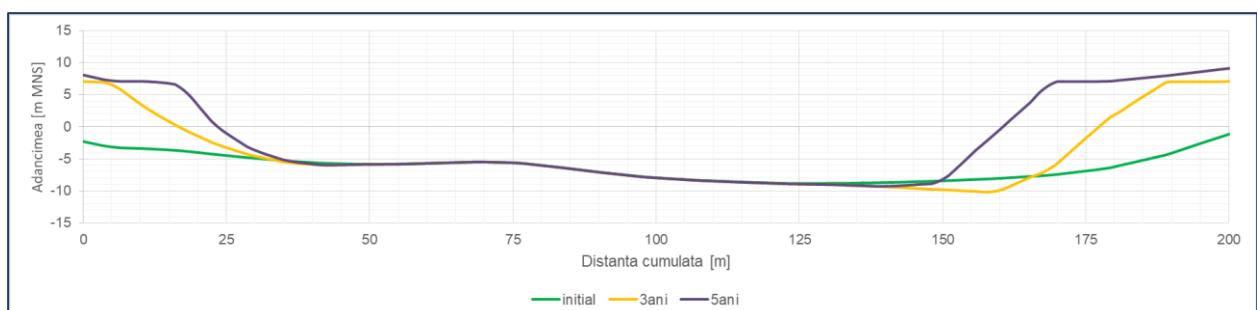


Figura 7.10. Secțiunea transversală 4 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice

Din diferențele procentuale între relieful patului albiei obținut în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință (figura 7.11), rezultă depuneri laterale, în dreptul malurilor și o arie de eroziune în apropierea zonei de sedimentare dinspre malul drept.

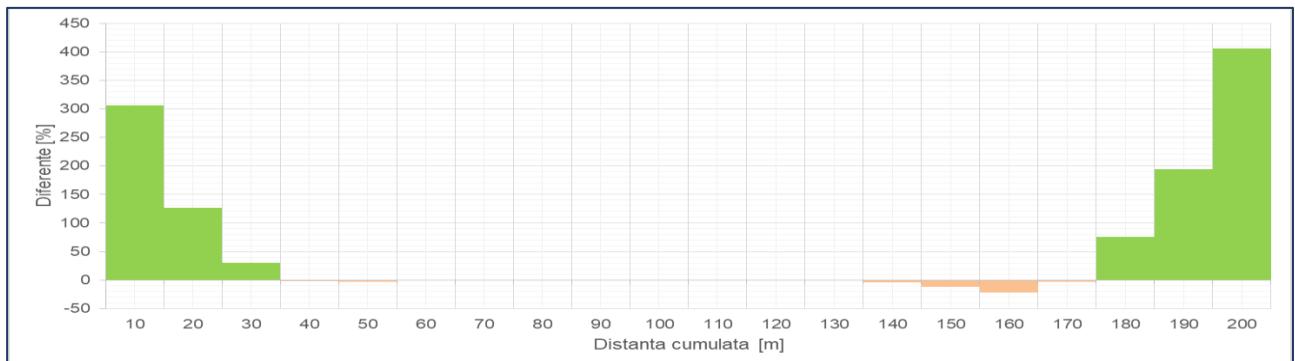


Figura 7.11. Secțiunea transversală 4 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință

În continuare, rezultatele furnizate de către modelul construit pentru simularea morfohidrodinamică pentru 5 ani, indică, în principal, tendința de sedimentare în dreptul celor două maluri (figura 7.12) și de eroziune la limita zonei de sedimentare din proximitatea malului drept.

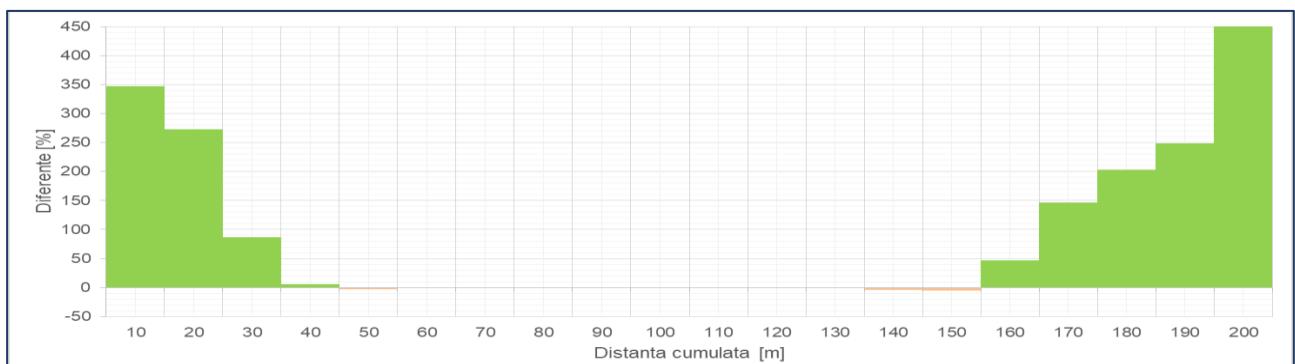


Figura 7.12. Secțiunea transversală de control 4 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 5 ani și situația de referință

## 7.5. Secțiunea transversală 5 – Analiza comparativă a scenariilor

Secțiunea transversală 5 este localizată pe brațul Bala, aval de lucrările hidrotehnice.

Rezultatele obținute în urma simulărilor numerice indică tendința de acumulare a sedimentelor pe malul stâng și în apropierea malului drept (figura 7.13).

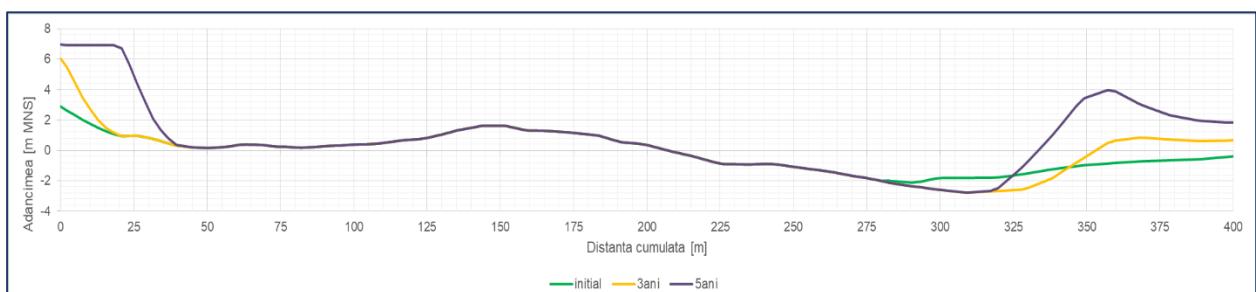


Figura 7.13. Secțiunea transversală 5 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice

În analiza diferențelor procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință (figura 7.14) sunt remarcate arii de sedimentare în dreptul malurilor și zone de eroziune pe canalul principal.

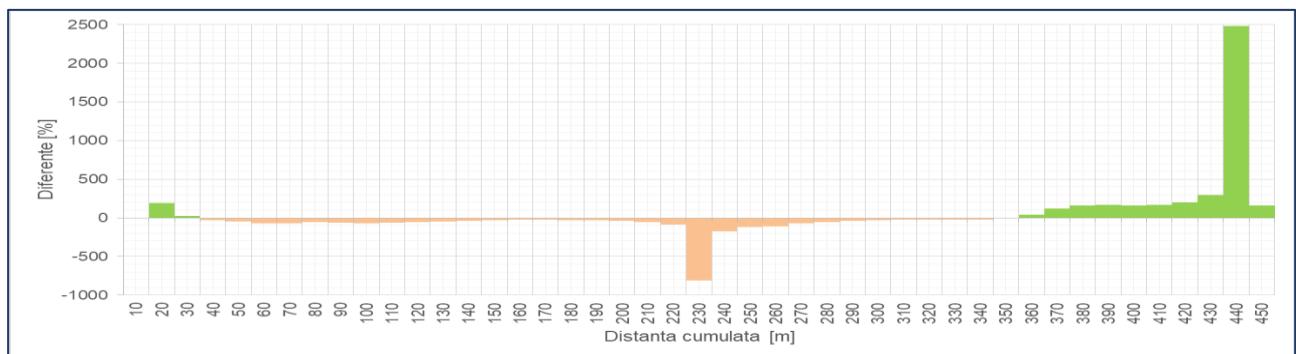


Figura 7.14. Secțiunea transversală 5 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 3 ani și situația de referință

În cazul diferențelor dintre relieful patului albiei obținut în urma simulării morfohidrodinamice pentru 5 ani și situația de referință (figura 7.15), zona de sedimentare din apropierea malului drept s-a extins înspre canalul principal.

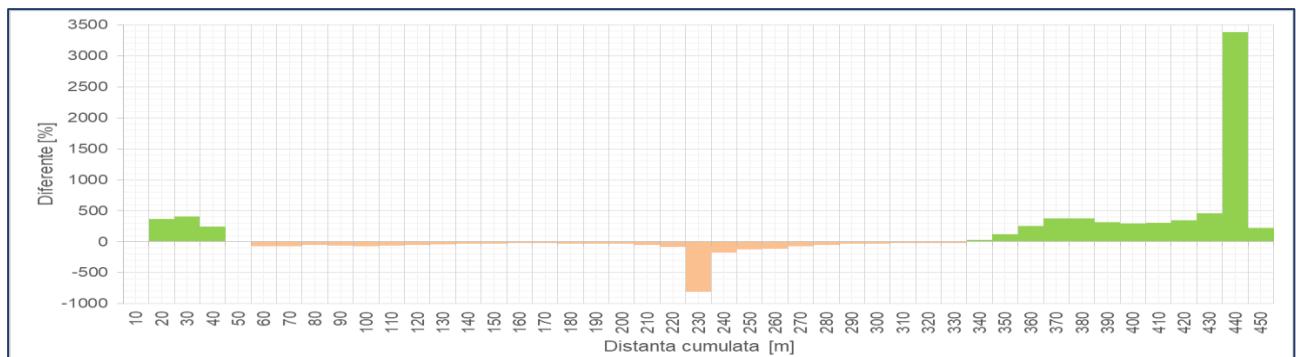


Figura 7.15. Secțiunea transversală 5 – Diferențe procentuale între relieful patului albiei rezultat în urma simulării morfohidrodinamice pentru 5 ani și situația de referință

## 7.6. Secțiunea longitudinală 1 - Analiza comparativă a scenariilor

Ca urmare a simulării proceselor morfohidrodinamice, la scară mică și medie de timp, se poate observa, în figura 7.16, că principalele modificări ale geometriei patului albiei au avut loc în zona celor două praguri de fund.

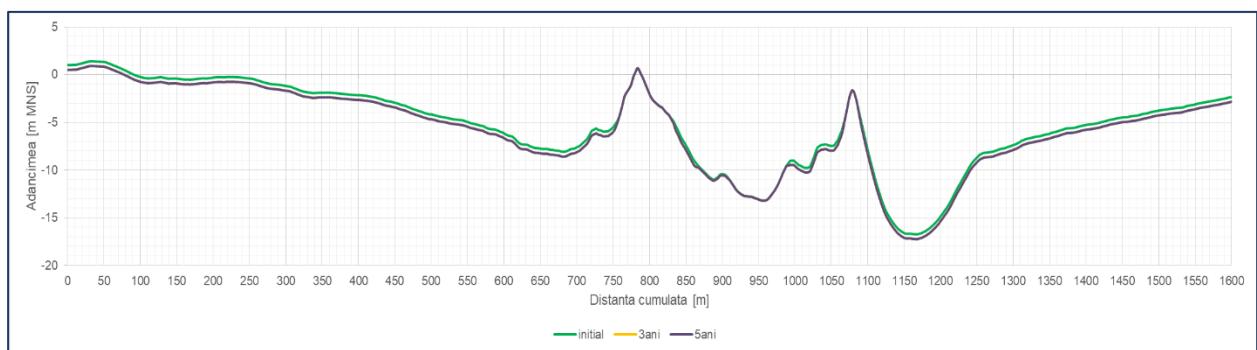


Figura 7.16. Secțiunea longitudinală 1 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice

Rezultatele obținute în urma simulării morfohidrodinamice pentru o perioadă de 5 ani, evidențiază tendință de eroziune imediat în aval cele două praguri de fund.

## 7.7. Secțiunea longitudinală 2 - Analiza comparativă a scenariilor

În cazul secțiunii longitudinale 2, situate pe Dunărea Veche, în urma simulărilor morfohidrodinamice a rezultat o imagine uniformă a patului albiei (figura 7.17).

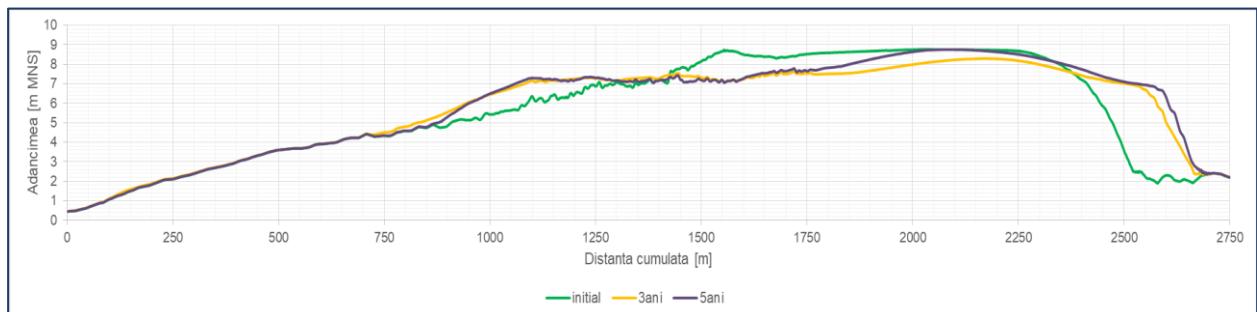


Figura 7.17. Secțiunea longitudinală 2 reprezentând patul albiei în perioada de referință, după 3 și 5 ani de simulare a proceselor morfohidrodinamice

Profilele batimetriche obținute din simulările realizate pentru 3 și 5 ani indică tendință de uniformizare a geometriei patului albiei, prin depunere în zonele joase și de erodare în zonele înalte.

## 7.8. Analiza zonelor de control

Pentru analiza detaliată a rezultatelor obținute, au fost conturate 4 zone de control (figura 7.18), în care au fost investigate modificările batimetriche ale patului albiei prin evaluarea ariilor de eroziune/sedimentare. Această analiză a fost efectuată prin comparația datelor de referință, rezultate din modelul calibrat cu cele obținute în urma simulărilor morfohidrodinamice pe intervalele de timp de 3 și 5 ani.



Figura 7.18. Localizarea zonelor de control

În figurile 7.19 – 7.22 sunt prezentate, în detaliu comparativ, geometriile patului albiei rezultate în urma simulărilor numerice, în cele 4 zone de control. În aceste detalii sunt conturate izobatele, astfel încât să fie posibilă evaluarea suprafețelor de eroziune/depunere formate după efectuarea simulărilor numerice, la scară de timp mică și medie.

În zona de control 1 (figura 7.19), situată pe brațul Bala, în aval de lucrările hidrotehnice, a fost evidențiat un areal de eroziune în proximitatea malului drept. Comparând cele trei scenarii, se poate remarcă faptul că, în timp, acest areal de eroziune are tendința de a se dezvolta spre baza malului drept, fapt ce coincide cu observațiile din teren. Zona din apropierea malului stâng este caracterizată de procese de sedimentare.

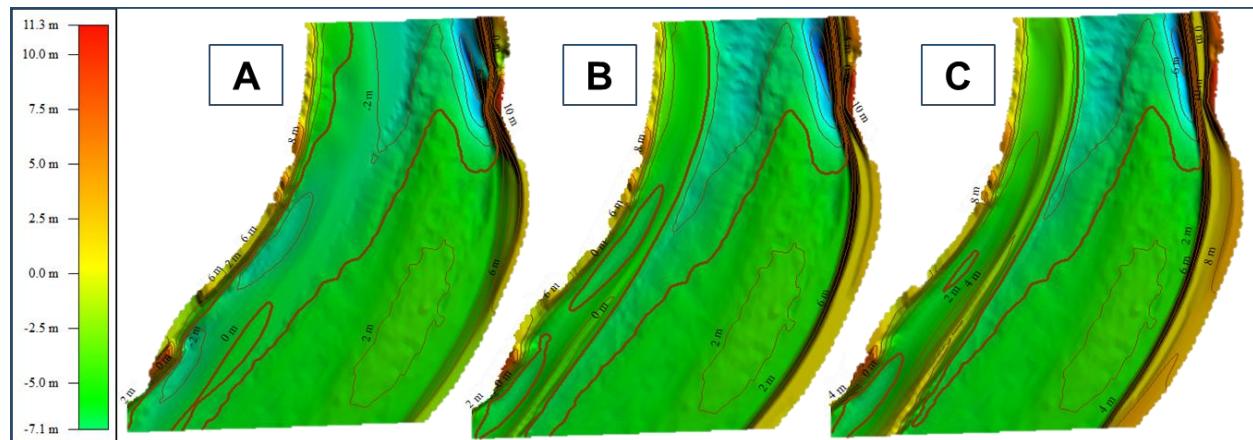


Figura 7.19. Analiza comparativă a zonei 1 de control: (A) Scenariul 1 - Referință; (B) Scenariul 2 – Patul albiei după 3 ani de simulare; (C) Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani de simulare

Zona de control 2 (figura 7.20) este localizată în sectorul în care au fost efectuate lucrările hidrotehnice. În ceea ce privește procesul de sedimentare, s-a remarcat tendința de acreție laterală dezvoltată încă din scenariul în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pentru 3 ani. Imediat în amonte de pragul de fund, în scenariile 2 și 3 este evidențiată tendința de eroziune a patului albiei. Groapa de eroziune formată în aval de pragul de fund și-a schimbat geometria, dezvoltându-se spre baza pragului de fund construit în anii '90. Depunerile laterale au adus modificări asupra formei pragului de fund construit în anii '90 și asupra gropii de eroziune formate în aval de acesta. În timp, această groapă de eroziune s-a îngustat, având tendința de a se dezvolta spre aval.

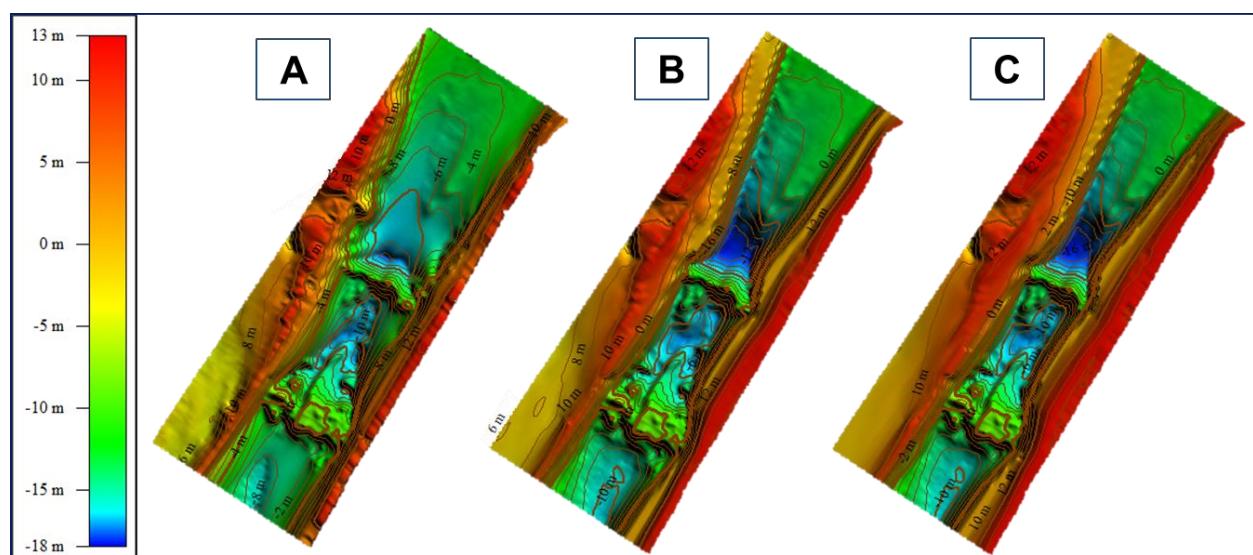


Figura 7.20. Analiza comparativă a zonei 2 de control: (A) Scenariul 1 - Referință; (B) Scenariul 2 – Patul albiei după 3 ani de simulare; (C) Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani de simulare

În cazul zonei de control 3 (figura 7.21), localizată la bifurcația braț Bala-Dunărea Veche, a fost evidențiat fenomenul de sedimentare, în dreptul apărării de mal. Arealul cu depunerile de material sedimentar s-a dezvoltat în timp, înspre amonte. Lângă zona de sedimentare, la gura de intrare pe brațul Bala, s-a dezvoltat o groapă de eroziune, a cărei geometrie nu a suferit modificări în perioada de analiză.

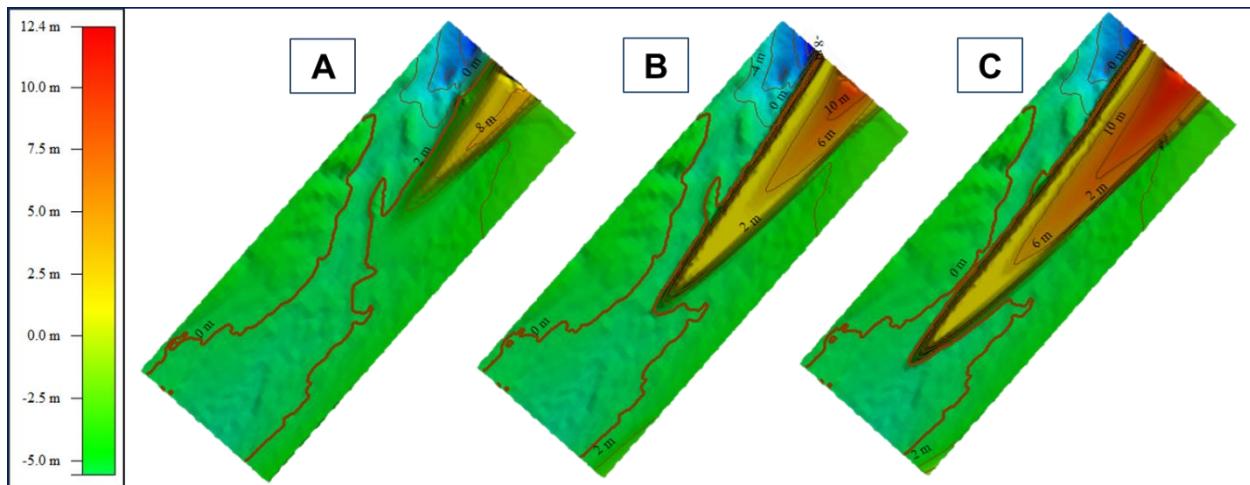


Figura 7.21. Analiza comparativă a zonei 3 de control: (A) Scenariu 1 - Referință; (B) Scenariul 2 – Patul albiei după 3 ani de simulare; (C) Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani de simulare

În cazul zonei de control 4 (figura 7.22) este analizată evoluția bancului de nisip Caragheorghe. În timp, tendința acestuia este de a se dezvolta înspre aval, sub forma unei fâșii paralele cu malul drept.

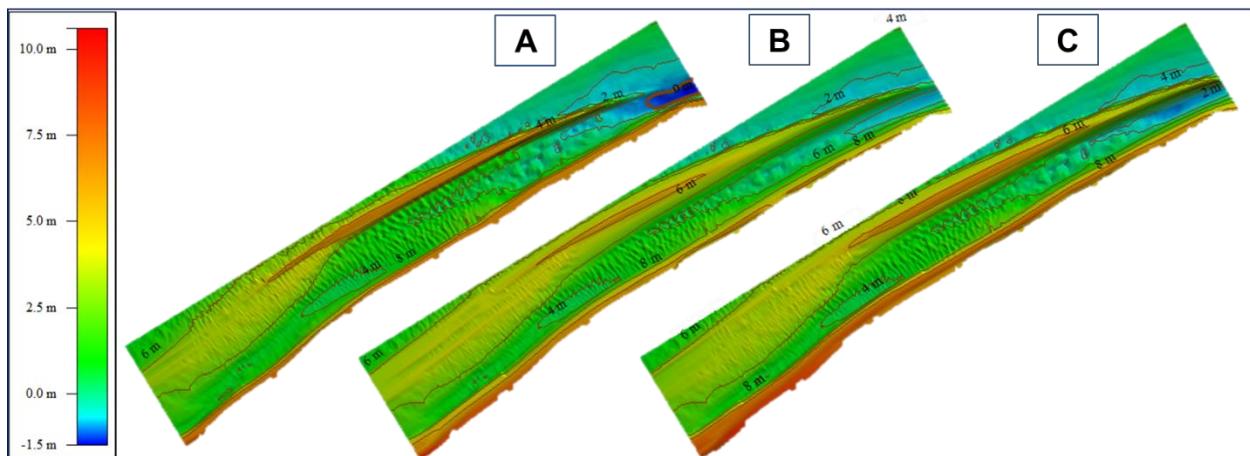


Figura 7.22. Analiza comparativă a zonei 4 de control: (A) Scenariu 1 - Referință; (B) Scenariul 2 – Patul albiei după 3 ani de simulare; (C) Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani de simulare

Rezultatele obținute în urma evaluării modificărilor morfologice ale patului albiei, reprezentă punctul de început în analiza influenței pe care aceste procese le pot avea, în timp, asupra componentelor ecosistemului acvatic.

Investigațiile efectuate au evidențiat, în general, procese de eroziune pe brațul Bala și de sedimentare pe Dunărea Veche. Particular, au fost analizate secțiuni și zone de analiză în care au fost realizate comparații, prin intermediul cărora s-au estimat modificările patului albiei ce au avut loc pe termen scurt și mediu.

Aceste rezultate, permit cercetarea influenței pe care intervențiile antropice o pot avea asupra morfologiei patului albiei, și indirect, asupra componentelor acvatice.

## Capitolul 8. INTERACȚIUNEA DINTRE ELEMENTELE ABIOTICE ȘI COMPONENTELE ECOSISTEMULUI ACVATIC

În general, lucrările execute pentru îmbunătățirea condițiilor de navigație, pot avea impact asupra ecosistemelor acvatice atât în perioada de construcție, cât și în perioada ulterioară. Amploarea impactului depinde de activitățile desfășurate, de specificul amplasamentului și de compoziția populațiilor de plante și animale. Trebuie ținut cont de faptul că activitățile de operare și efectele construcțiilor hidrotehnice se adaugă altor tipuri de impact antropic care afectează comunitățile biotice acvatice: poluare, navigație, agricultură etc. [32].

Teoretic, flora și fauna acvatice pot fi afectate local și temporar ca urmare a activităților de construcție a structurilor hidrotehnice. Astfel, prin perturbarea și modificarea substratului patului albiei și a malurilor pot fi afectate algele, macrofitele, macronevertebratele și peștii. Temporar și local ar putea să dispară toate plantele și animalele acvatice, prin reducerea biodiversității și prin îndepărțarea fizică a indivizilor fiind afectate toate comunitățile biotice.

Activitățile de construcție pot implica apariția proceselor de eroziune/sedimentare, ceea ce afectează organismele din amplasament și din aval de acesta. Indirect, aceste procese pot conduce la distrugerea microhabitatelor necesare pentru hrana, adăpost, migrație, reproducere, putând fi astfel afectate comunitățile de nevertebrate și pești.

În general, pe termen lung, construcțiile hidrotehnice pot afecta în anumite condiții flora și fauna acvatice prin schimbarea parametrilor cantitativi și calitativi ai tuturor comunităților de organisme acvatice, în unele situații comunitățile originale putând fi înlocuite complet de alte comunități.

### 8.1. Natura materialului din corpul structurilor hidrotehnice

Pornind de la caracterizarea geologică a zonei, este necesar să se investigheze, din punct de vedere chimic, interacțiunea apei cu rocile, utilizate ca materie primă în structurile hidrotehnice.

După cum a fost precizat, arealului de interes îi corespund atât depozitele de terasă joasă - nisipuri, nisipuri argiloase de luncă, nisipuri de dune, cât și depozite de platou înalt – loess, argile, pietriș, caracteristice malului drept.

Astfel, diabazurile de tip *pillow-lava* din corpul construcțiilor nu fac parte din substratul geologic al zonei de studiu.



Figura 8.1. Mostre de piatră

Pe lângă modificarea peisagistică a sectorului de fluviu, anrocamentele fiind vizibile în structurile ce reprezintă apărarea de mal și digul de dirijare, a existat un semn de întrebare în ceea ce privește gradul de solubilizare ai unor compuși chimici care intră în alcătuirea rocilor. În consecință, au fost prelevate mai multe mostre de piatră (figura 8.1) care urmau să se folosească pentru construcția structurilor și au fost supuse unor încercări fizice și chimice de laborator.

Din analiza compoziției mineralogice a rocii (tabelul 8.1), rezultă că feldspați și piroxenii ocupă cel mai mare procentaj.

*Tabel 8.1. Compoziția mineralologică a rocii utilizate în construcția structurilor hidrotehnice [124]*

	Feldspați	Piroxeni	Clorit	Minerale argiloase	Sericit	Calcit	Sfen	Leucoxen	Ilmenit
[%]	30 - 50	12 - 18	15 - 17	0 - 2	0 - 1	3 - 5	1 - 2	1 - 2	0 - 1

Din punct de vedere chimic, analizele au evidențiat că  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  și  $\text{CaO}$  se regăsesc în procentaj ridicat în compoziția rocilor (tabel 8.2).

*Tabel 8.2. Compoziția chimică a rocilor din structurile hidrotehnice*

	$\text{SiO}_2$	$\text{FeO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MnO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{TiO}_2$	S	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{CO}_2$	$\text{CaO}$
[%]	42,8	4,24	3,10	15,95	0,17	1,65	3,39	6,59	1,92	0,063	0,35	2,71	4,06	12,15

Totodată, procedeele prin care sunt puse în operă anrocamentele, precum și condițiile de mediu din timpul exploatarii au fost modelate în laborator. Astfel, probele au fost concasate și supuse unui test de solubilizare. Raportul rocă/apă distilată a fost de 1/2. Levigatul rezultat în urma acestor teste a fost analizat din punct de vedere al conținutului în metale grele, rezultatele fiind prezentate în tabelul 8.3.

*Tabel 8.3. Măsurători analitice - metale grele din levigat*

Nr. crt.	Indicator de calitate	UM	Metal total*	Metal dizolvat**
1	Plumb	$\mu\text{g}/\text{L}$	8,300	2,700
2	Cadmiu	$\mu\text{g}/\text{L}$	0,400	0,200
3	Cobalt	$\mu\text{g}/\text{L}$	5,002	0,495
4	Nichel	$\mu\text{g}/\text{L}$	16,300	8,900
5	Zinc	$\mu\text{g}/\text{L}$	18,600	0,600
6	Cupru	$\mu\text{g}/\text{L}$	5,300	4,200
7	Mercur	$\mu\text{g}/\text{L}$	-	-

\*Concentrația totală de metal existentă în probă, adică metalul din apă și din suspensia solidă.

\*\*Concentrația de metal existentă doar în apă (forma ionică).

### 8.1.1. Interacțiunea apei cu anrocamentele

Anrocamentele din lucrările executate în albia Dunării sunt spălate permanent de apele fluviului. Totodată, apele moi din precipitații (ploi și zăpezi) au o capacitate mare de dizolvare a unor compuși chimici din roci. Având în vedere cele două aspecte și rezultatele obținute în urma analizelor, în secțiunile localizate în aval de structurile hidrotehnice, există posibilitatea ca elementele care sunt solubilizate din roci să poată modifica chimismul apei Dunării.

În consecință, se poate ca valorile concentrației de metal dizolvat din roci în levigat (tabel 8.3), să conducă la contaminarea apei. Pe baza acestor considerente, a fost analizată variația concentrației de metale grele din apă, în perioada de construcție și după finalizarea lucrărilor hidrotehnice, raportată la valorile mediate analizate în intervalul de monitorizare de dinainte de începerea construcției (referință). În această investigație au fost utilizate rezultatele analizelor prezentate în *Anexa 1. Indicatori analizați în vederea evaluării calității apei*, luându-se în considerare *secțiunea 2*, ce este localizată în aval de lucrările hidrotehnice, de pe brațul Bala.

Din indicatorii analizați, s-a observat că pentru cupru, plumb și nichel, sunt depășite valorile mediate ale concentrației inițiale, în comparație cu valorile din perioada de execuție a lucrărilor hidrotehnice. Pentru ceilalți indicatori (zinc, cobalt, cadmu), valorile rezultate în urma analizei probelor de apă prelevate în timpul și după finalizarea construcțiilor au fost cu mult mai mici decât cele din perioada de referință.

Pentru a evidenția diferențele înregistrate, au fost reprezentate grafic rezultatele obținute în urma analizelor probelor de apă prelevate din centru și din apropierea malului stâng și malului drept pentru cupru, plumb și nichel (figurile 8.2, 8.3 și 8.4). Intervalul de timp expus în grafice reprezintă o parte din perioada de construcție (septembrie – decembrie anul IV de analiză) și după finalizarea construcțiilor (mai anul V – septembrie anul VI de analiză). Valorile ce corespund perioadei de referință reprezintă medierea concentrațiilor rezultate în urma monitorizării din perioada septembrie - decembrie anul I de analiză.

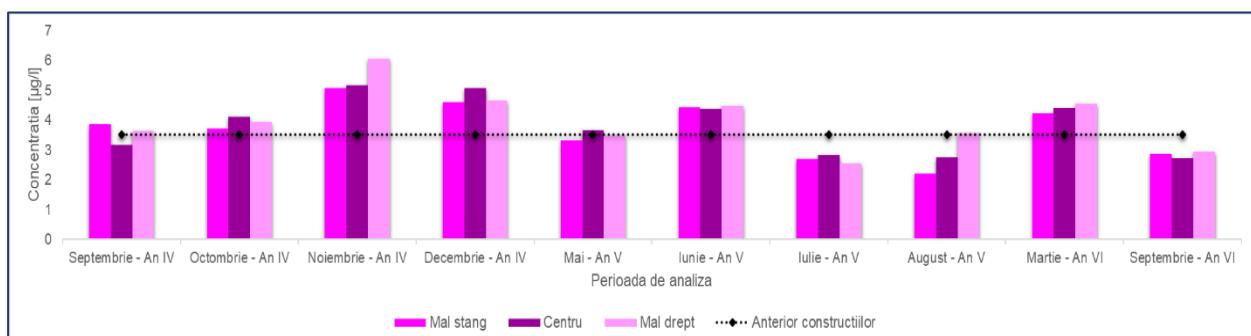


Figura 8.2. Variația concentrației de cupru în apă

În urma analizelor probelor de apă prelevate în perioada de monitorizare, a rezultat faptul că valorile concentrației de cupru au depășit concentrația medie inițială, din perioada de referință, exceptie făcând luniile iulie - anul V și septembrie anul – anul VI de analiză (figura 8.2).

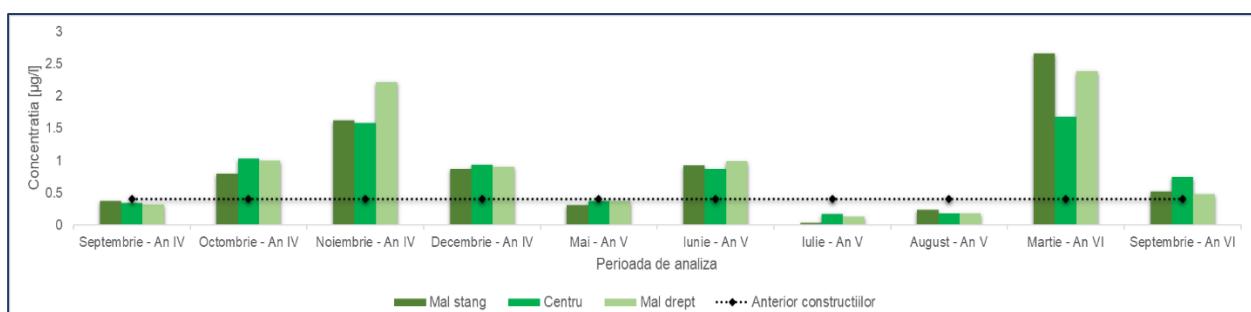


Figura 8.3. Variația concentrației de plumb în apă

În comparație cu valoarea medie de referință, concentrațiile de plumb (figura 8.3) din apă au prezentat în general valori mai mari, în intervalul de timp analizat, mai puțin în luniile mai, iulie și august din anul V de analiză, din perioada de după finalizarea construcțiilor.

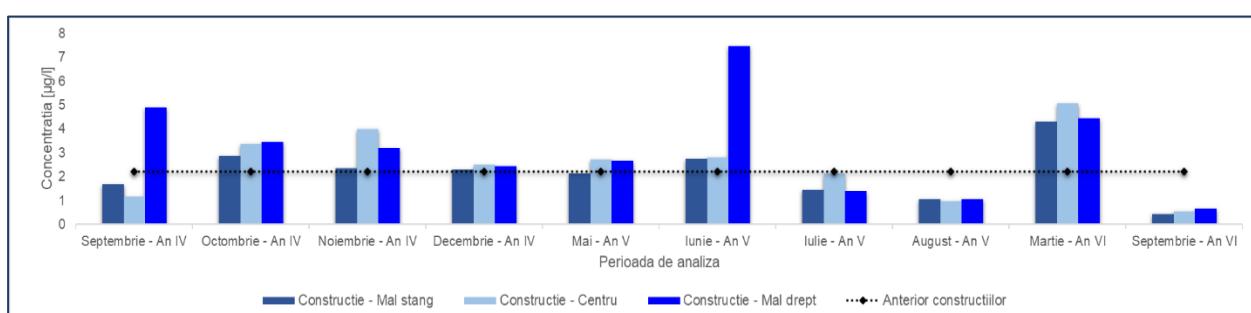


Figura 8.4. Variația concentrației de nichel în apă

De asemenea, din analizele probelor de apă prelevate în timpul și după finalizarea construcțiilor, au rezultat valori mai mari ale concentrației de nichel, în comparație cu intervalul de referință, exceptie făcând luniile iulie, august din anul V și septembrie din anul VI de analiză (figura 8.4).

Această variație a concentrației de cupru, plumb și nichel se poate datora interacțiunii dintre apă și anrocamentele din corpul structurilor. Ca urmare a procesului de construcție, ce presupune, printre altele, poziționarea rocilor pe maluri și în patul albiei, conform proiectului tehnic, sedimentele în suspensie și materialul de pe fundul albiei sunt antrenate, valorile vitezei curentului de apă cresc (ca urmare a micșorării secțiunii de curgere), pot apărea curenți turbionari etc. Toate aceste procese favorizează capacitatea apei de a dizolva metalele grele din compoziția rocilor.

De asemenea, în perioada de după finalizarea construcțiilor, în care au fost înregistrate debite mari, apa Dunării a spălat o suprafață mai mare de anrocamente, ceea ce poate reprezenta unul din factorii care au condus la creșterea valorii concentrației de metale grele din apă.

### 8.1.2. Modificarea concentrației metalelor grele din sedimente

În urma procesului de construcție a structurilor hidrotehnice pe brațul Bala, materialul patului albiei s-a modificat cu aport însemnat de componente fine rezultate din anrocamente.

Ca urmare a compoziției chimice a rocilor utilizate pentru construcția lucrărilor hidrotehnice, a fost necesară efectuarea unor investigații a sedimentelor pentru a observa variația concentrației în perioada din timpul și după finalizarea construcțiilor. Această cercetare a fost realizată raportat la valoarea medie a concentrațiilor rezultate în urma analizei probelor de sedimente prelevate dinainte de începerea construcției structurilor hidrotehnice.

Pe baza rezultatelor obținute din perioada de monitorizare, au fost realizate reprezentări grafice în care au fost comparate valorile concentrațiilor de metale grele (cadmu, cupru, plumb, zinc, nichel) din sedimente în secțiunea de control corespunzătoare brațului Bala (figurile 8.5 – 8.9). În această investigație, perioada de construcție este reprezentată de intervalul septembrie – decembrie, anul IV, iar cea de după finalizarea construcțiilor, mai, anul V – septembrie, anul VI (lucrările au fost finalizate în luna martie a anului V de analiză).

În general, pe parcursul perioadei analizate, variația concentrației de cadmu în sedimente depășește valoarea medie rezultată din perioada de referință, exceptie făcând intervalul mai-august, anul V de analiză (figura 8.5).

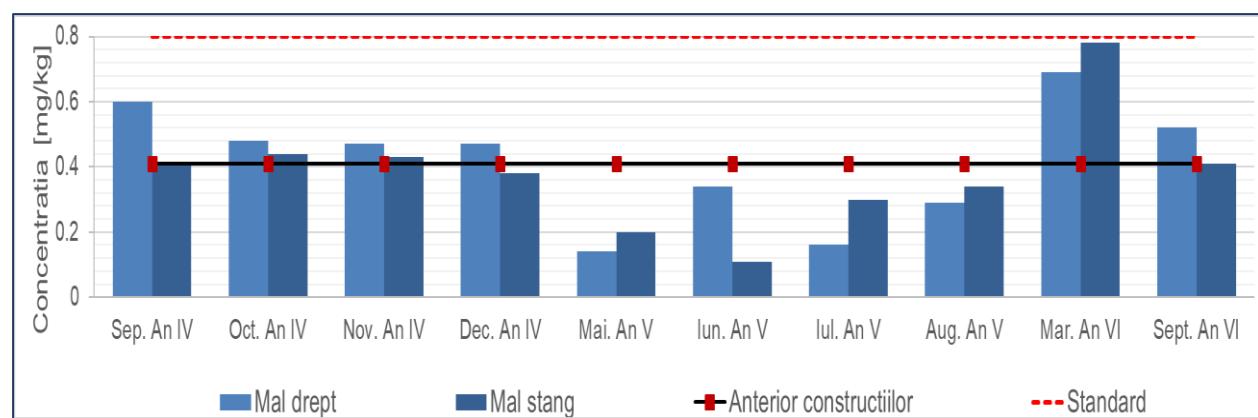


Figura 8.5. Variația concentrației de cadmu în sedimente

După cum poate fi observat în figura 8.6, variația concentrației de cupru din probele de sedimente analizate în perioada din timpul și după finalizarea construcțiilor, depășește valoarea medie rezultată din analizele efectuate în perioada de referință, mai puțin în luna mai a anului V de analiză.

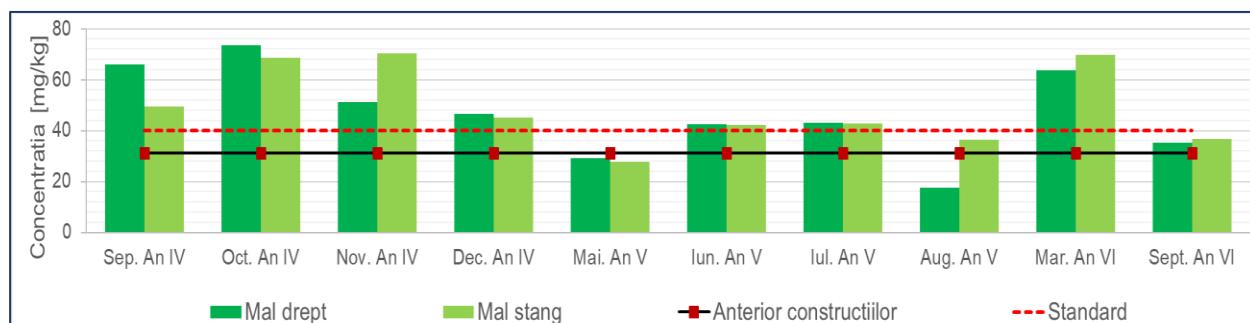


Figura 8.6. Variația concentrației de cupru în sedimente

Pe intervalul analizat, concentrația de plumb din probele de sedimente prelevate a depășit valoarea de referință (figura 8.7).

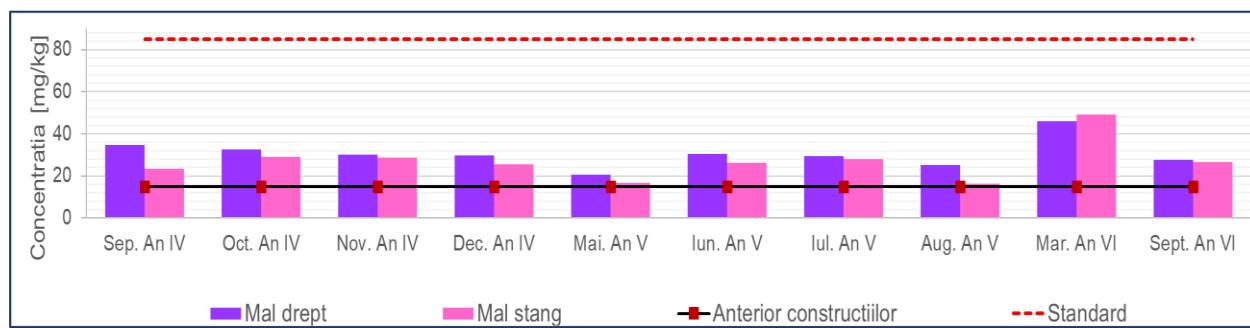


Figura 8.7. Variația concentrației de plumb în sedimente

În ceea ce privește zincul (figura 8.8) din probele de sedimente, este depășită valoarea mediată rezultată din perioada de referință, exceptie făcând luna august a anului V de analiză.

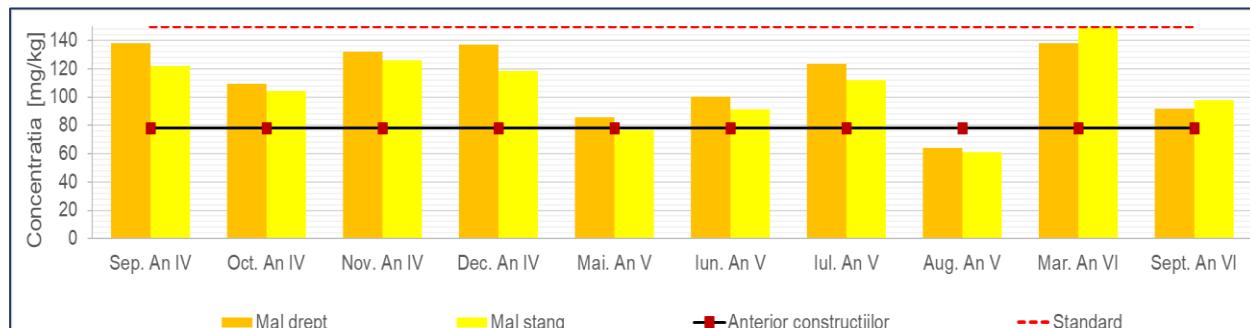


Figura 8.8. Variația concentrației de zinc în sedimente

Similar cu analiza zincului din probele de sedimente, și nichelul prezintă aceeași tendință (figura 8.9).

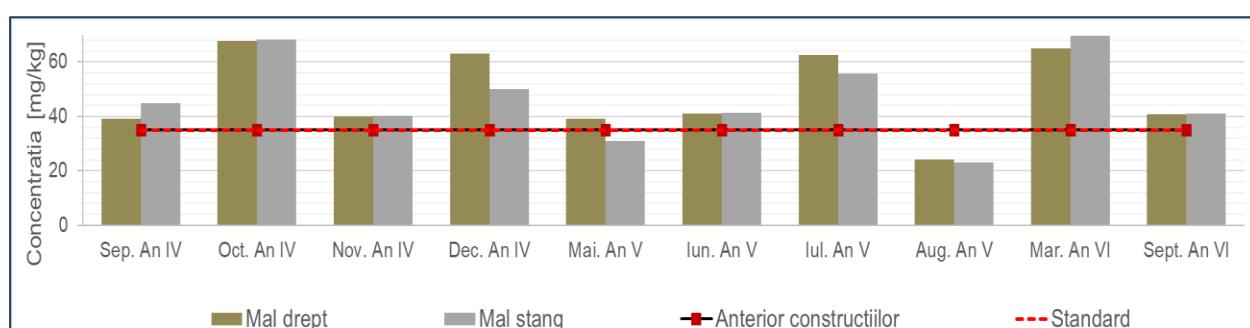


Figura 8.9. Variația concentrației de nichel în sedimente

La o primă observație, este evident faptul că, atât în cazul apei, cât și al sedimentelor, valorile concentrațiilor de metale grele au crescut în timpul și după execuția lucrărilor hidrotehnice și că o posibilă cauză este reprezentată de compoziția rocilor utilizate în construcția structurilor hidrotehnice.

Cert este că, după investigarea concentrațiilor de metale grele din probele apă și de sedimente prelevate din secțiunile 1 și 3 (*Anexa 5. Variația concentrației de metale grele din apă și sedimente – Secțiunea 1 și Secțiunea 3*) s-a observat că și în acest caz, este menținută tendința de creștere a valorii concentrației de metale grele, în comparație cu perioada de dinainte de construcție. Ca urmare a localizării acestor secțiuni, în amonte de bifurcație, respectiv pe Dunărea Veche, nu mai este valabilă ipoteza referitoare la faptul că în zona structurilor hidrotehnice și în secțiunile învecinate din aval, chimismul sedimentelor se poate modifica din cauza compoziției chimice a rocilor. Solubilizarea metalelor grele din rocile utilizate pentru construcția structurilor hidrotehnice crește proporțional cu temperatura și debitul apei. Totuși, este dificil de găsit o relație între acești parametrii, întrucât în analiză este necesar să se țină cont și de intervențiile antropice din amonte, de transportul naval etc.

În consecință, este greu de cuantificat teoria referitoare la faptul că aportul de metale grele în compoziția apei și a sedimentelor se datorează anrocamentelelor, întrucât în același timp cu solubilizarea metalelor grele din anrocamente are loc și diluția dată de debitul fluviului și levigarea acestora. Efectuarea unor analize punctiforme nu este îndeajuns pentru stabilirea influenței anrocamentelelor asupra parametrilor de calitate a apei.

## 8.2. Corelarea componentelor biotice cu rezultatele obținute din simulările morfohidrodinamice

În vederea evaluării influenței pe care efectele construcțiilor hidrotehnice le pot avea asupra florei și faunei acvatice, s-au corelat rezultatele obținute din perioada de monitorizare cu cele furnizate în urma simulării proceselor morfohidrodinamice pe termen scurt și mediu.

Substratul reprezintă un biotop important al cursului de apă, caracteristicile acestuia influențând proprietățile apei, sedimentele constituindu-se ca un rezervor și furnizor de elemente nutritive pentru apă. Totodată, substratul constituie baza pentru dezvoltarea florei și faunei bentonică, structura fizică și chimică a substratului determinând tipul biocenozelor bentonice [130].

În ceea ce privește flora și fauna acvatică, acestea sunt componente ce pot deveni de interes în măsura în care constituie surse de hrana pentru speciile de pești care aparțin uneia din categoriile rare, vulnerabile, periclitante, endemice [26]. În consecință, este necesar să se investigheze aceste componente, întrucât în Dunărea Inferioară, inclusiv în sectorul studiat, se regăsesc 4 specii de sturioni [35], dintre care nisetrul, morunul și păstruga aparțin „*Listei roșie a speciilor amenințate*”, în conformitate cu Uniunea Internațională pentru Conservarea Naturii (IUCN), iar cega este considerată specie vulnerabilă [117].

În general, după cum s-a putut observa în capitolul referitor la caracterizarea zonei de studiu, atât în perioada de construcție, cât și după finalizarea lucrărilor, nu au fost evidențiate modificări majore în compoziția fitoplanctonului, în comparație cu perioada de dinainte de începerea construcțiilor. Conform analizelor efectuate de către expertii INCDFM, în cadrul departamentului „Laboratoare”, pe tot parcursul monitorizării, starea ecologică a apei Dunării, în zona de studiu, a fost bună și foarte bună.

Modificarea geometriei albiei prin execuția pragului de fund, intervențiile asupra malurilor prin construcția apărării de mal și a digului de dirijare nu au influențat semnificativ fitoplanctonul, în zona studiată.

În tabelul 8.4 sunt reprezentate diferențele procentuale care au rezultat în urma comparației valorilor indicilor de calitate din perioadele din timpul și după execuția construcțiilor, cu cele din etapa anterioară lucrărilor hidrotehnice.

*Tabel 8.4. Analiză reprezentând diferențele procentuale între valorile indicilor de calitate în etapele din timpul și după finalizarea construcțiilor, în comparație cu cele din perioada anterioară lucrărilor*

Secțiune	Indice Saprobi [%]	Indice de diversitate Simpson [%]	Număr taxoni [%]	Indice multimetric (HG 80/2011) [%]
<b>Pe parcursul desfășurării lucrărilor</b>				
S2	▼ 11,00	▼ 1,26	▼ 15,00	▲ 1,94
S3	▼ 1,25	▲ 0,15	▲ 41,67	▼ 0,37
<b>După finalizarea lucrărilor</b>				
S2	▼ 9,71	▲ 6,36	▲ 33,33	▲ 1,94
S3	▼ 11,56	▲ 6,38	▲ 33,33	▲ 1,85

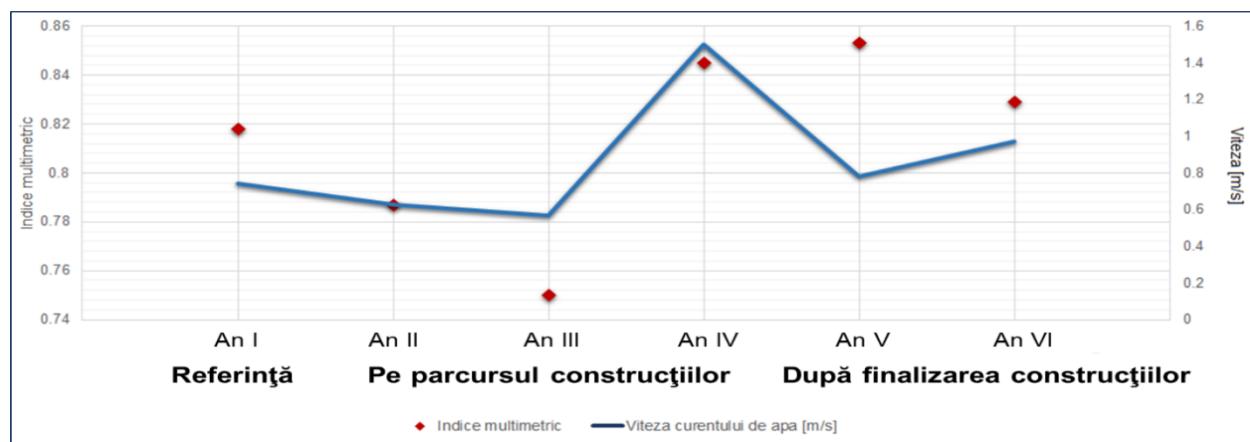
▲ – creștere; ▼ - descreștere

Cele mai mari diferențe au fost remarcate în cazul numărului de taxoni: în etapa de construcție, pe secțiunea corespunzătoare Dunării Vechi, numărul de taxoni a crescut cu cca. 41,67% față de etapa anterioară execuției lucrărilor hidrotehnice. În perioada de după finalizarea construcțiilor, în ceea ce privește indicele saprob, au fost observate scăderi de 9,71% pe brațul Bala, respectiv de 11,56% pe Dunărea Veche. În aceeași perioadă, valorile celorlalți indici analizați au crescut.

În vederea investigării pe termen scurt și mediu a modificării indicilor de calitate, rezultatele obținute în urma simulării morfohidrodinamice au fost corelate cu datele obținute în urma monitorizării fitoplanctonului.

Informațiile rezultate din simulările efectuate au evidențiat atât zonele de eroziune și depunere a sedimentelor, cât și variația vitezei mediate pe verticală a curentului de apă. Variația locală a vitezei de curgere a apei și a procesului de spălare a malurilor sau a substratului, poate influența dezvoltarea fitoplanctonului. În consecință, valorile medii ale vitezelor curentului de apă măsurate în momentul și în amplasamentul din care au fost prelevate probele, au fost comparate cu cele rezultate în urma simulărilor. Trebuie menționat faptul că aceste comparații au fost realizate în același punct de control de pe brațul Bala, în situația în care în secțiunea amonte a fost înregistrat un debit asemănător.

În această analiză a fost utilizat indicele multimetric, deoarece acesta reprezintă o ponderare a importanței indiciilor utilizati pentru evaluarea comunităților de alge și pentru evaluarea stării ecologice.



*Figura 8.10. Variabilitatea indicei multimetrici al fitoplanctonului față de viteza curentului de apă în zona construcțiilor hidrotehnice, braț Bala*

În figura 8.10 este reprezentată variația indicelui multimetric al fitoplanctonului față de valorile medii ale vitezei curentului de apă, în secțiunea 2, în perioadele analizate.

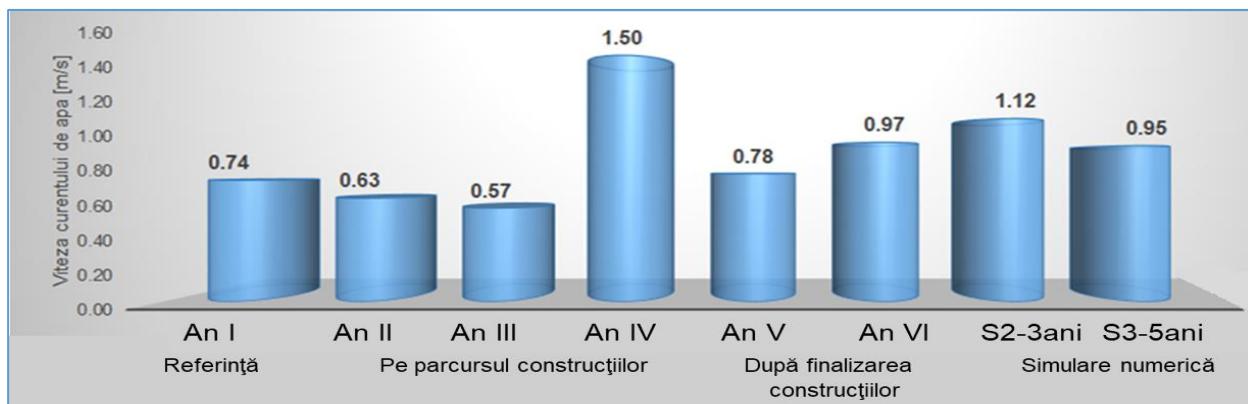


Figura 8.11. Valorile vitezelor mediate ale curentului de apă în perioada de monitorizare și cele rezultate din simulări – în zona construcțiilor hidrotehnice, braț Bala

Referitor la rezultatele obținute în urma simulărilor numerice, în cazul aceleiași secțiuni, au rezultat valori medii ale vitezei curentului de apă mai mari în situația scenariilor 2 și 3, în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pentru o perioadă de 3, respectiv 5 ani (figura 8.11). Chiar și așa, valorile vitezelor nu le depășesc pe cele înregistrate în momentul prelevării probelor, din anul IV de analiză.

*Tabel 8.5. Clasificarea macrofitelor în funcție de adâncimea apei [74].*

Flora dură sau flora palustră (de mal):	Flora emersă	Flora submersă sau flora moale
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Majoritatea au rădăcinile în solul acoperit cu apă;</li> <li>✓ Adesea chiar și porțiunea inferioară a tulpinii se află în apă</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Rădăcinile sau rizomii sunt înfiptă în substrat, tulpinile și o parte din frunze sunt acvatice, iar inflorescențele și o parte din tulpină și frunze sunt aeriene;</li> <li>✓ În funcție de prezență sau absență tulpinii aeriene există floră emersă cu frunze aeriene și floră submersă cu frunze plutitoare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Au toate părțile corpului în apă</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se dezvoltă pe solul permanent umed din apropierea malului sub formă unei fâșii vegetale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se dezvoltă în zonele de mică adâncime</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se instalează în porțiunile mai adânci, dezvoltând pe fundurile mai măloase sau nisipoase adevărate pajîști subacvatice</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Au rol de protecție a malurilor față de acțiunea vânturilor și valurilor.</li> <li>✓ Creează în porțiunile în care se dezvoltă un microclimat favorabil (adăpost)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Au un aport pozitiv în circuitul materiei și energiei prin faptul că frunzele emerse îmbogățesc apă în oxigen, iar după perioada vegetativă materia vegetală moartă se descompune redând fluviului substanțele minerale asimilate;</li> <li>✓ Frunzele și tulpinile acvatice constituie locuri favorabile pentru dezvoltarea perifitonului;</li> <li>✓ Areal favorabil pentru reproducerea, hrănirea și adăpostul puieturilor de pește;</li> <li>✓ Biomasa vegetală este utilizată în mică parte ca hrana pentru organismele erbivore.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se descompune în totalitate mult mai repede, față de restul macrofitelor acvatice, ceea ce determină restituirea substanțelor nutritive substratului și apei - continuarea ciclurilor bio-geo-chimice.</li> <li>✓ Reprezintă sursă de oxigen pentru apă (otosinteză).</li> <li>✓ Constituie pentru alți hidrobionți un cadru de viață viu (biotop biotic) unde se instalează o faună bogată și variată ce constituie o cenoza specifică fluviului - faună din vegetație.</li> <li>✓ Reprezintă un areal în care fauna găsește condiții optime pentru satisfacerea necesităților privind adăpostirea, hrănirea, reproducerea.</li> </ul>

Ca urmare a modificărilor reliefului albiei, valorile relativ mici ale vitezei curentului de apă rezultate din simulările morfohidrodinamice în zonele analizate, indică aspecte pozitive în ceea ce privește corelarea acestui parametru abiotic (viteza) cu indicatorii ce definesc fitoplanctonul.

Macrofitobentosul reprezintă o componentă permanentă, dar nu exclusivă a zonei de mal a apelor, fixată pe substrat prin rădăcini sau rizomi puternici care străbat, în majoritatea cazurilor, coloana de apă venind în contact cu atmosfera [35]. Acestea se eșalonează în spațiu în funcție de adâncimea apei, existând trei cenoze vegetale cu caracteristici diferite conform tabelului 8.5 [35].

Pe parcursul perioadei de monitorizare, în zona de interes, prezența speciilor de macrofite a fost redusă. Absența generală se poate datora atât vitezelor mari ale curentului apei, fapt ce conduce la o fixare anevoieasă a macrofitelor, cât și variațiilor mari ale nivelului apei pe parcursul unui an. O altă explicație a prezenței reduse/absenței macrofitelor este datorată malurilor abrupte ale fluviului și ale naturii argiloase ale faciesului, pe anumite sectoare [35].

Analizând informațiile obținute în urma simulărilor morfohidrodinamice, se poate remarcă faptul că în zonele din proximitatea malurilor au rezultat depuneri de sedimente. În aceste zone vitezele curentului de apă sunt reduse. Totodată, în urma analizei scenariilor în care a fost variat debitul în secțiunea amonte s-a observat că, în cazul unor debite mici și medii pe suprafețe importante din vecinătatea malurilor sunt înregistrate valori reduse ale nivelului apei. Teoretic, aceste rezultate ar putea favoriza dezvoltarea macrofitelor.

### 8.3. Analiza parametrilor morfohidrodinamici în funcție de comportamentul migrațional al storionilor

Storionii, originari din Jurasic, sunt un patrimoniu natural al fluviului Dunărea, reprezentând indicatori valoroși pentru starea ecosistemelor [131]. În ultimele decenii, populațiile de storioni au scăzut din cauza mai multor factori, printre care pescuitul irațional și excesiv și braconajul [132]. Având în vedere faptul că speciile de storioni nistru, morun și păstrugă aparțin „Listei roșie a speciilor amenințate”, conform IUCN, iar ceea ce este considerată specie vulnerabilă, interesul față de comportamentul acestora a crescut datorită necesității înalte de elaborare a planurilor de acțiune pentru conservarea lor [117].

Rezultatele obținute în urma simulării proceselor morfohidrodinamice, pot reprezenta punctul inițial în analiza pe termen scurt și mediu a influenței efectelor lucrărilor hidrotehnice asupra speciilor de storioni. Totuși, dat fiind faptul că în prezent, informațiile disponibile privind comportamentul storionilor și rutele lor de migrație și de iernat pe Dunărea Inferioară nu sunt pe deplin cunoscute [132], este dificil de evaluat impactul lucrărilor hidrotehnice asupra traseului de migrație al storionilor.

Studiile recente au arătat că, la apariția presiunilor mari asupra Dunării, speciile de storioni au o capacitate ridicată de adaptare. Chiar și așa, la modificarea condițiilor de habitat, aceștia devin sensibili. Valoarea scăzută a concentrației de oxigen, variația calității apei și a sedimentelor, schimbările hidromorfologice ale fluviului sunt doar câțiva dintre factorii mulți care pot afecta respectivul habitat, influențând astfel comportamentul storionilor [117].

Experții INCDPM au investigat aspectele legate de comportamentul storionilor, în urma analizelor rezultând o bază de date unică la nivel european. Au fost efectuate cercetări ce au avut ca obiectiv principal asocierea componentelor abiotice ale ecosistemului cu traseul de migrație al exemplarelor de storioni marcați ultrasonic (tabel 8.6).

Conform rezultatelor obținute în urma monitorizării, brațul Bala a fost tranzitat de storioni atât în perioada de dinainte de începerea lucrărilor hidrotehnice, cât și în perioadele din timpul și după finalizarea lucrărilor [115].

Totodată, datorită geometriei patului albiei, brațul Bala reprezintă un amplasament favorabil pentru iernarea speciilor de storioni, pe parcursul perioadei de monitorizare, în această zonă, fiind înregistrate, în mai multe zile succesive, exemplare de storioni [34].

Tabel 8.6. Numărul exemplarelor de sturioni capturați într-o perioadă de 6 ani [115]

An	Specii			
	Morun	Nisetru	Păstrugă	Cegă
An I	25	1	17	52
An II	13	0	36	7
An III	13	1	30	6
An IV	4	1	44	3
An VI	13	1	4	0
Total	98	5	178	68

### 8.3.1. Influența modificărilor morfologice ale patului albiei asupra comportamentului sturionilor

Informațiile existente în literatura de specialitate indică faptul că morfologia albiei cursului de apă constituie un factor important în ceea ce privește comportamentul sturionilor.

Speciile de sturioni specifici Dunării Inferioare preferă gropile și zonele adânci ale fluviului pentru hibernare [133], fapt confirmat și de rezultatele obținute de către experții INCDFPM în urma monitorizării exemplarelor de sturoni sălbatici, marcați ultrasonic.

Totodată, studiile indică, că zonele de reproducere a sturionilor se caracterizează prin substraturi dure aflate la adâncimi mari (de până la 26 m), a căror granulometrie variază de la piatră la anrocamente, prevăzute cu rețele de fisuri în care viteza apei este de obicei scăzută [133]. Importanța reliefului patului albiei este dată și de faptul că zonele de reproducere sunt frecventate de speciile de sturioni în fiecare an [133].

Modificarea reliefului albiei poate avea un impact imediat asupra obiceiurilor legate de reproducere, iernare, hrănire și, în ultimă instanță, pot duce la dispariția habitatelor [132].

Asocierea rezultatelor obținute din simulările proceselor morfohidrodinamice cu informațiile rezultante din monitorizarea sturionilor, a avut drept scop analiza influenței pe care modificările pe termen scurt și mediu ale reliefului albiei le pot avea asupra habitatelor sturionilor.

După cum a fost menționat anterior, pe parcursul activităților de monitorizare s-a observat că brațul Bala reprezintă un amplasament favorabil pentru iernarea speciilor de sturioni, datorită prezenței gropilor de eroziune în aval de cele două praguri de fund [34].

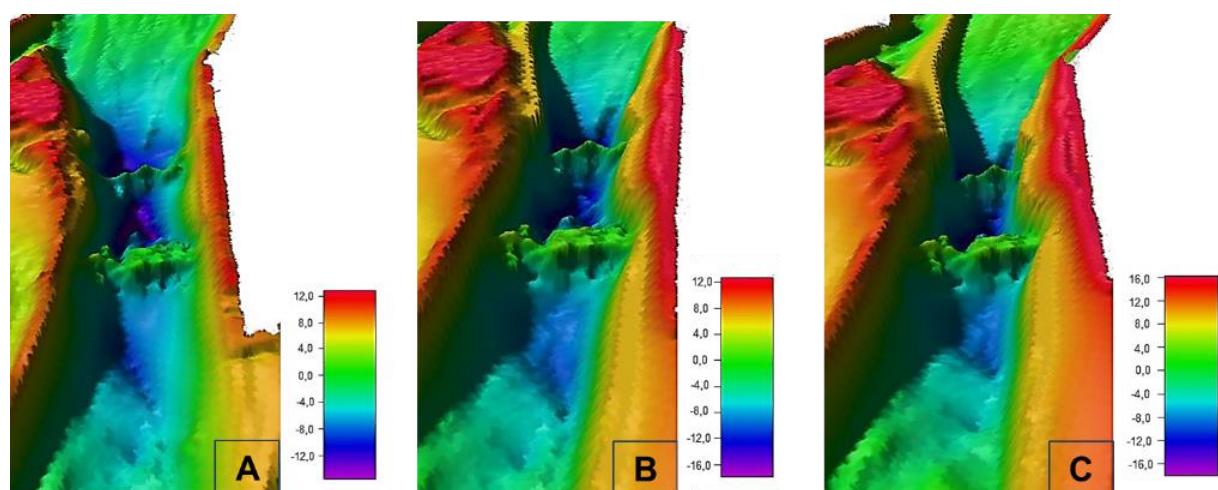


Figura 8.12. Analiza comparativă a zonei corespunzătoare pragurilor de fund: (A) Scenariul 1 – Scenariul de referință; (B) Scenariul 2 – Patul albiei după 3 ani de simulare; (C) Scenariul 3 – Patul albiei după 5 ani de simulare

În acest sens, a fost investigată zona corespunzătoare celor două praguri de fund, în vederea analizei reliefului patului albiei rezultat în urma simulărilor proceselor morfohidrodinamice (figura 8.12). Rezultatele obținute indică tendința de modificare a reliefului patului albiei.

S-a putut observa faptul că în cazul simulărilor efectuate pentru o perioadă de 3 și 5 ani au rezultat adâncimi mai mari ale gropilor de eroziune.

În comparație cu datele obținute în urma activităților de monitorizare, din punct de vedere al reliefului patului albiei, nu sunt aduse modificări semnificative astfel încât să afecteze habitatele de iernat și reproducere a sturionilor.

### 8.3.2. Influența parametrilor hidrodinamici rezultați din simulările numerice asupra comportamentului sturionilor

Comportamentul migrațional al sturionilor este influențat de variația parametrilor hidrodinamici. Reproducerea speciilor de sturioni depinde de condițiile hidrodinamice, debitele mari conducând la creșterea vitezelor curentului de apă la nivelul patului albiei, fapt ce reduce în mod semnificativ succesul reproducerii. Conform literaturii de specialitate, în ariile de reproducere, viteză mediată pe verticală a curentului de apă se încadrează în intervalul 0,5 - 2,2 m/s, permitând dispersia icrelor fertilizate. Debitele mici ale apei conduc la reducerea numărului de reproducători care intră în regiunile pre-estuare [115].

Referitor la capacitatea de înnot a sturionilor, în literatura de specialitate există o serie de informații cu privire la acest aspect, însă niciuna nu se referă la condițiile *in situ*. În urma cercetărilor, în condiții de laborator, păstruga poate înnota cca. 58 minute contra unui curent de apă a cărui viteză atinge 1,1 m/s și 145 minute împotriva unui curent a cărui viteză este de 0,95 m/s [133] [134]. În schimb, în alte studii este susținut faptul că, pentru aceeași specie de sturioni, valorile sunt ceva mai mici: păstruga poate înnota împotriva unui curent de 1,1 m/s timp de 10 minute și împotriva unui curent de 0,95 m/s timp de 30 minute, iar nisetrul și cega, pot traversa un curent de apă a cărui viteză este de 0,95 m/s timp de 40, respectiv 30 minute [116].

Pe parcursul perioadei de monitorizare, în urma corelării datelor furnizate de stațiile de monitorizare DKTB și DKMR-01T cu măsurătorile de viteză a curentului de apă, a rezultat faptul că au existat exemplare de sturioni marcați ultrasonic ce au tranzitat înspre amonte pragul de fund, în situația unor viteze medii cuprinse între 0,83 – 2,64 m/s [115].

Cu scopul de a investiga influența pe care distribuțiile vitezelor curentului de apă le pot avea asupra comportamentului migrațional al sturionilor, au fost asociate rezultatele obținute din simulările proceselor morfohidrodinamice cu informațiile rezultate din monitorizarea sturionilor. Debitul la care au fost realizate aceste analize a fost de  $3908 \text{ m}^3/\text{s}$ , în secțiunea amonte a sectorului analizat. Acest debit reprezintă valoarea minimă utilizată în simulările numerice pentru a reprezenta un an tipic.

În acest sens, în primă fază au fost selectate 5 secțiuni transversale, în care să fie reprezentate distribuțiile valorilor medii ale vitezelor curentului de apă rezultate din simulările numerice. Acestea au fost localizate după cum urmează (figura 8.13):

- amonte de pragul de fund;
- în zona pragului de fund;
- aval de pragul de fund;
- în zona pragului de fund construit în anii '90;
- aval de pragul de fund construit în anii '90.



Figura 8.13. Localizarea secțiunilor transversale analizate

În cazul secțiunii localizate în amonte de pragul nou de fund (figura 8.14), nu sunt diferențe semnificative în cazul scenariilor pentru 3 și 5 ani, comparativ cu situația de referință. În aceste situații, valorile maxime se încadrează între 1,05 – 1,4 m/s.

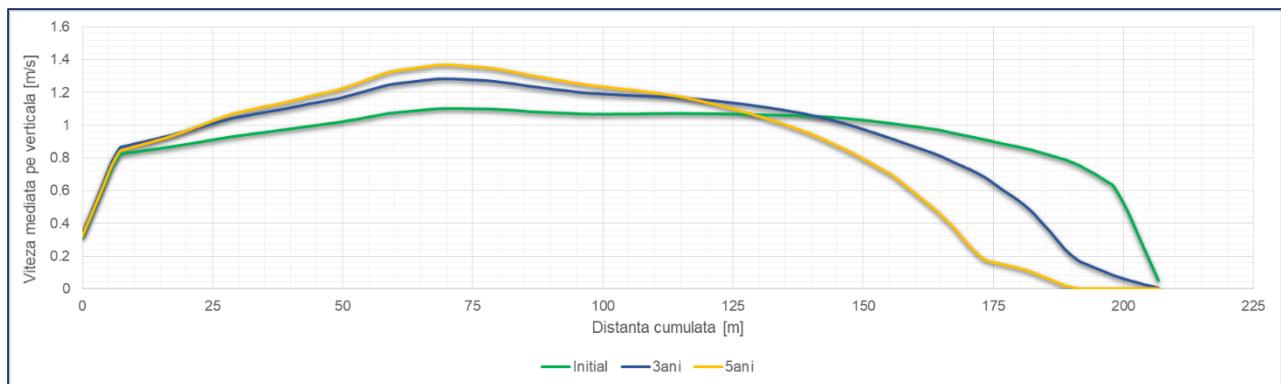


Figura 8.14. Distribuția vitezelor mediate pe verticală ale curentului de apă, în secțiunea localizată în amonte de pragul de fund

Deasupra pragului de fund (figura 8.15), valorile medii ale vitezelor curentului de apă sunt mai mari, comparativ cu situația de referință. Astfel, în cazul scenariilor în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pentru o perioadă de 3 și 5 ani au rezultat valori maxime ale vitezei apei de cca. 2,5 m/s, respectiv 2,7 m/s.

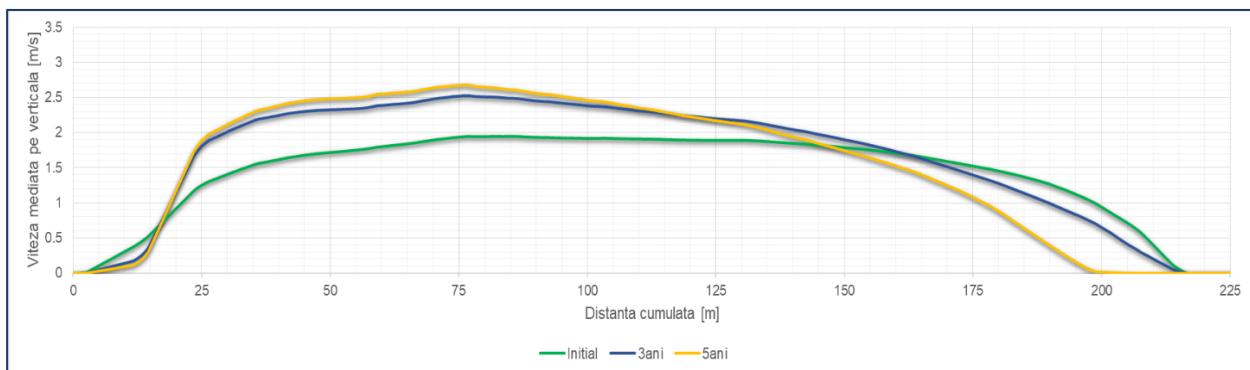


Figura 8.15. Distribuția vitezelor mediate pe verticală ale curentului de apă, în secțiunea localizată în zona pragului de fund

În zona din aval de pragul de fund, (figura 8.16), distribuția vitezelor medii ale curentului de apă prezintă o tendință asemănătoare în cazul scenariilor în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pentru o perioadă de 3 și 5 ani, valorile maxime fiind de cca. 1,5 m/s.

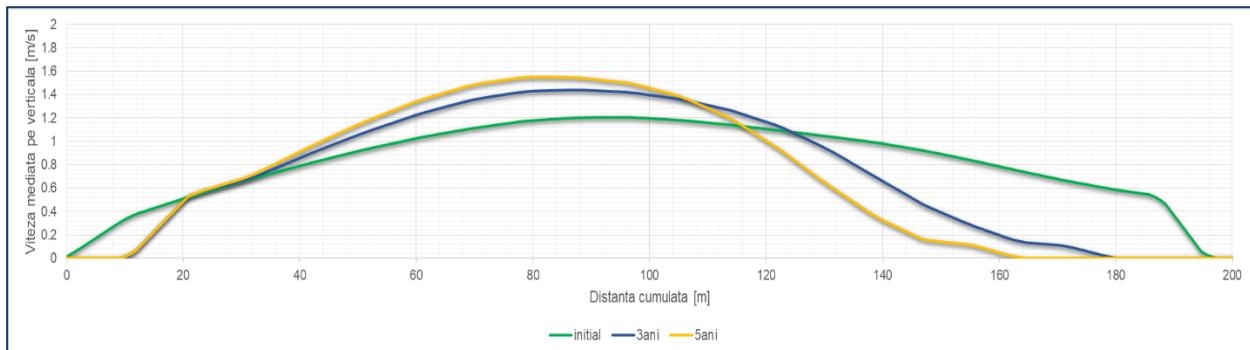


Figura 8.16. Distribuția vitezelor mediate pe verticală ale curentului de apă, în secțiunea localizată în aval de pragul de fund

În cazul secțiunii localizate deasupra pragului de fund construit în anii '90 (figura 8.17), valorile medii ale vitezelor curentului de apă sunt mai mari, comparativ cu situația de referință. Astfel, în cazul scenariilor în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pentru o perioadă de 3 și 5 ani au rezultat valori maxime ale vitezei apei de cca. 2,2 m/s, respectiv 2,4 m/s.

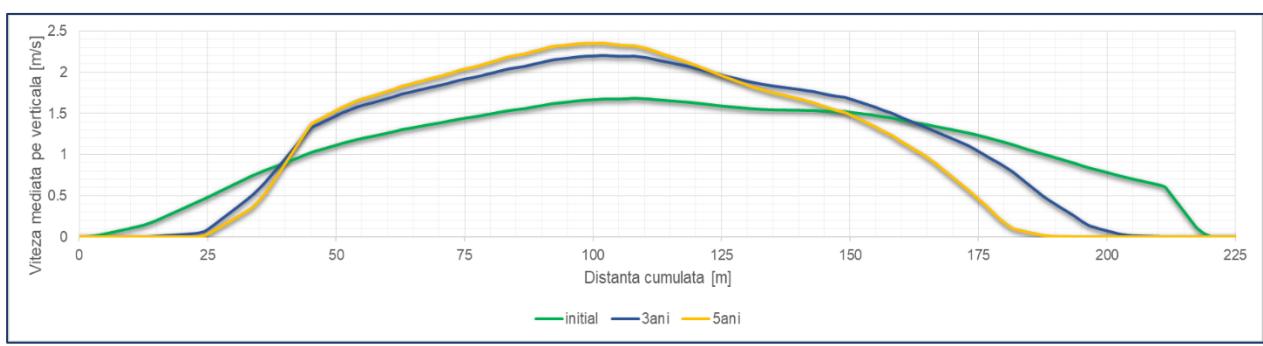


Figura 8.17. Distribuția vitezelor mediate pe verticală ale curentului de apă, în secțiunea localizată în zona pragului de fund construit în anii '90

În zona din aval de structurile hidrotehnice, (figura 8.18), distribuția vitezelor medii ale curentului de apă au o tendință asemănătoare, în cazul scenariilor în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pentru o perioadă de 3 și 5 ani, valorile maxime fiind de cca. 1,3 m/s.

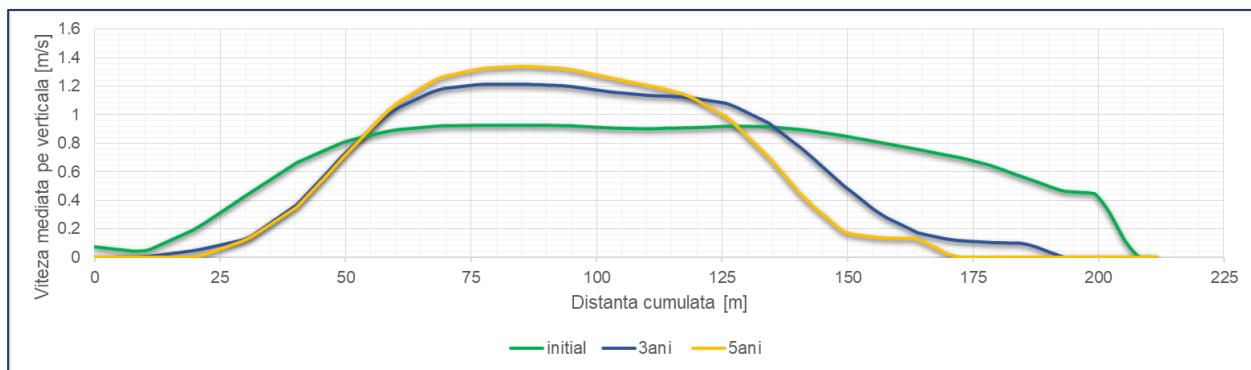


Figura 8.18. Distribuția vitezelor mediate pe verticală a curentului de apă, în secțiunea localizată pe brațul Bala, în aval de structurile hidrotehnice

Se poate observa că, raportat la situația de referință, în cazul tuturor secțiunilor analizate, din simulările morfohidrodinamice efectuate pentru perioadele de 3 și 5 ani au rezultat valori mai mici ale vitezelor curentului de apă, în zonele din apropierea malurilor și mai mari în zona centrală a canalului.

Pentru o cercetare mai detaliată a vitezelor rezultate în urma simulărilor numerice efectuate pe termen scurt și mediu, pe brațul Bala au fost desemnate zone de analiză în care s-a calculat frecvența vitezelor. Aceste zone au fost localizate în amonte, deasupra și în aval de pragul de fund și deasupra și în aval de pragul de fund construit la începutul anilor '90.

În figura 8.19 sunt reprezentate histogramele de viteză pentru zona amonte a pragului de fund. În cazul scenariului în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pe o perioadă de 3 ani a fost observat faptul că vitezele ale căror valori se încadrează între 1,1 și 1,2 m/s sunt cele mai frecvente. Pentru scenariul în care au fost luate în considerare rezultatele pentru perioada de 5 ani, cele mai frecvente sunt vitezele ale căror valori se încadrează între 1,1 și 1,5 m/s.

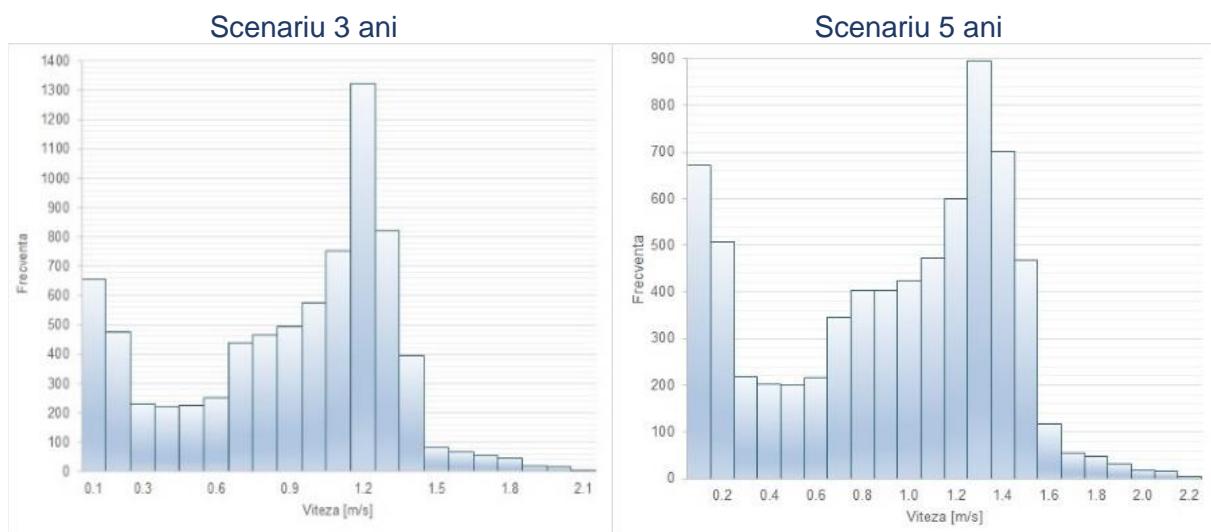


Figura 8.19. Histograme de viteză – în amonte de pragul de fund

În cazul zonei de deasupra pragului de fund (figura 8.20), din histogramele de viteză a rezultat că pentru scenariul în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pe o perioadă de 3 ani, cele mai frecvente viteze ale curentului de apă au valorile medii cuprinse între 1,3 - 2,4 m/s. Totodată, valori mari ale frecvenței le au și vitezele mai mici de 0,1 m/s. Pentru scenariul în care au fost luate în considerare rezultatele pentru perioada de 5 ani, cele mai frecvente sunt vitezele ale căror valori sunt mai mici de 0,1 m/s și cele ale căror valori se încadrează în intervalul 1,5 și 2,4 m/s.

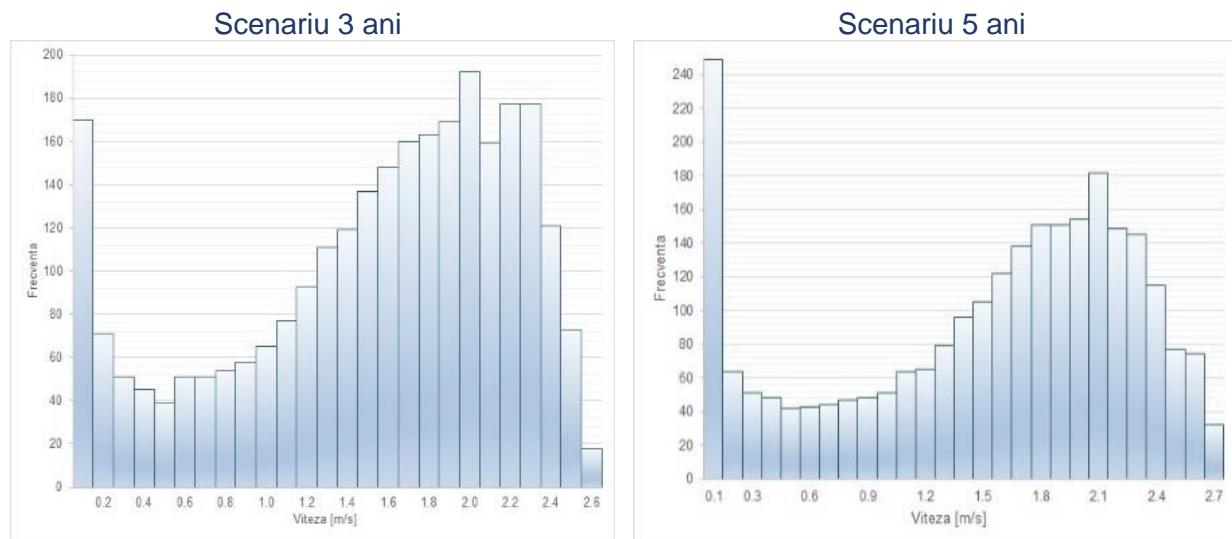


Figura 8.20. Histograme de viteză – deasupra pragului de fund

În zona localizată în aval de pragul de fund (figura 8.21), rezultatele obținute din scenariul în care a fost luată în considerare simularea efectuată pentru 3 ani, indică faptul că cele mai frecvente viteze ale curentului de apă se încadrează între 1,3 – 1,5 m/s. În cazul simulării numerice efectuate pentru analiza proceselor morfohidrotehnice pentru 5 ani, cele mai frecvente viteze ale curentului de apă se încadrează între 1,4 – 1,6 m/s.

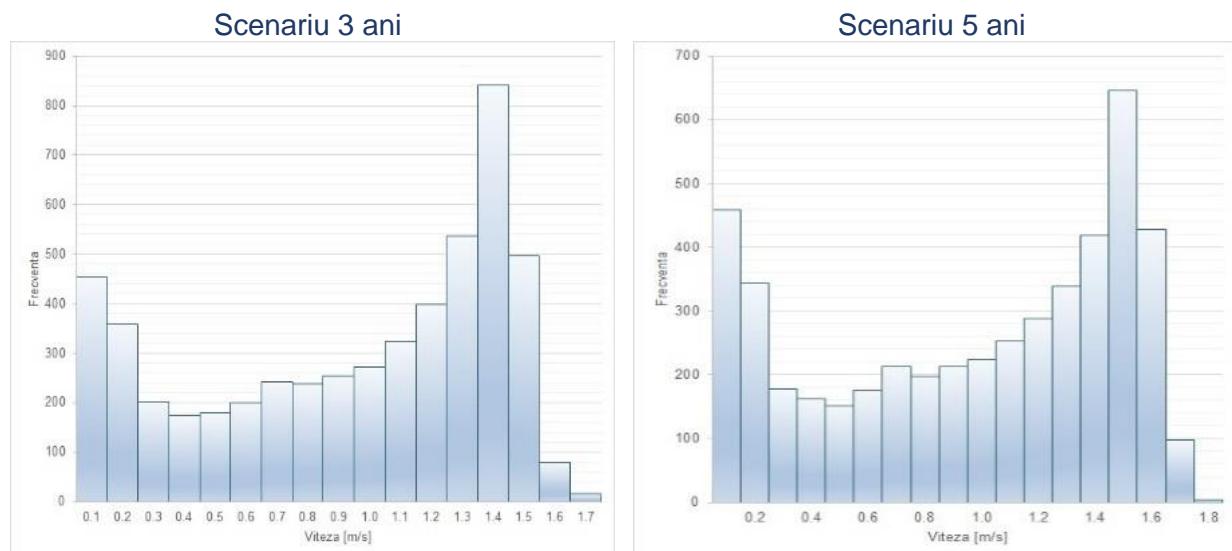


Figura 8.21. Histograme de viteză – în aval de pragul de fund

În figura 8.22 sunt reprezentate histogramele de viteză pentru zona de deasupra pragului de fund construit în anii '90. În cazul scenariilor în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pe o perioadă de 3 și 5 ani, a fost observat faptul că vitezele ale căror valori se încadrează între 1,2 și 2,0 m/s sunt cele mai frecvente. Totodată, în cazul ambelor scenarii se pot observa frecvențe mari pentru valori ale vitezelor mai mici de 0,1 m/s.

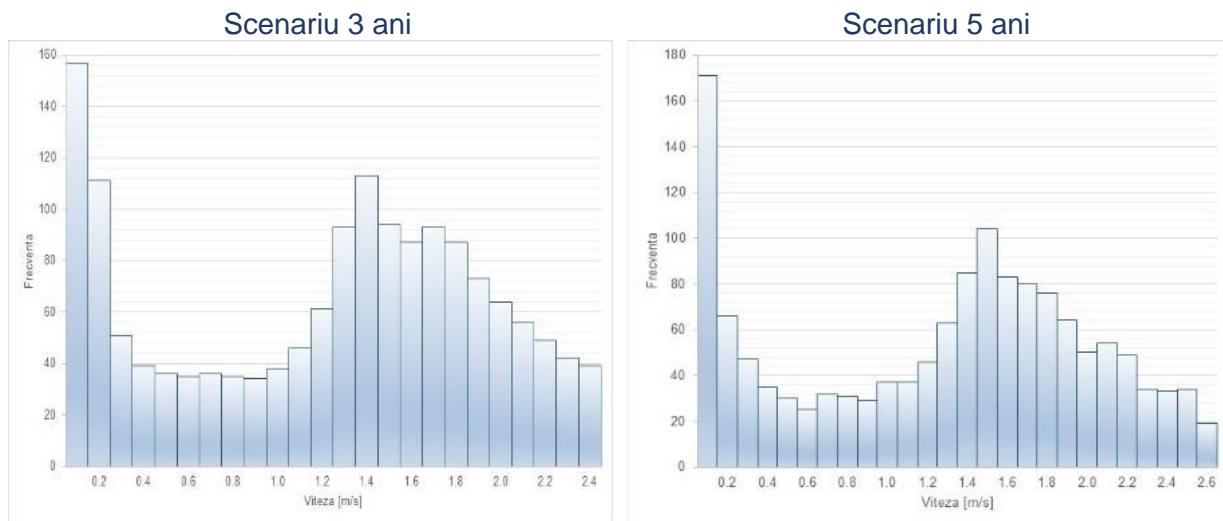


Figura 8.22. Histograme de viteză – deasupra pragului de fund construit în anii '90

În situația zonei localizată în aval de structura submersă construită în anii '90 (figura 8.23), histogramele de viteză au o formă asemănătoare. În cazul scenariilor analizate, pentru această zonă, frecvențele maxime se regăsesc atât în cazul valorilor reduse ale curentului de apă (0,1 – 0,3 m/s), cât și în cazul vitezelor mari (1,2-1,4 m/s – scenariul 3 ani; 1,4 – 1,5 m/s – scenariul 5 ani).

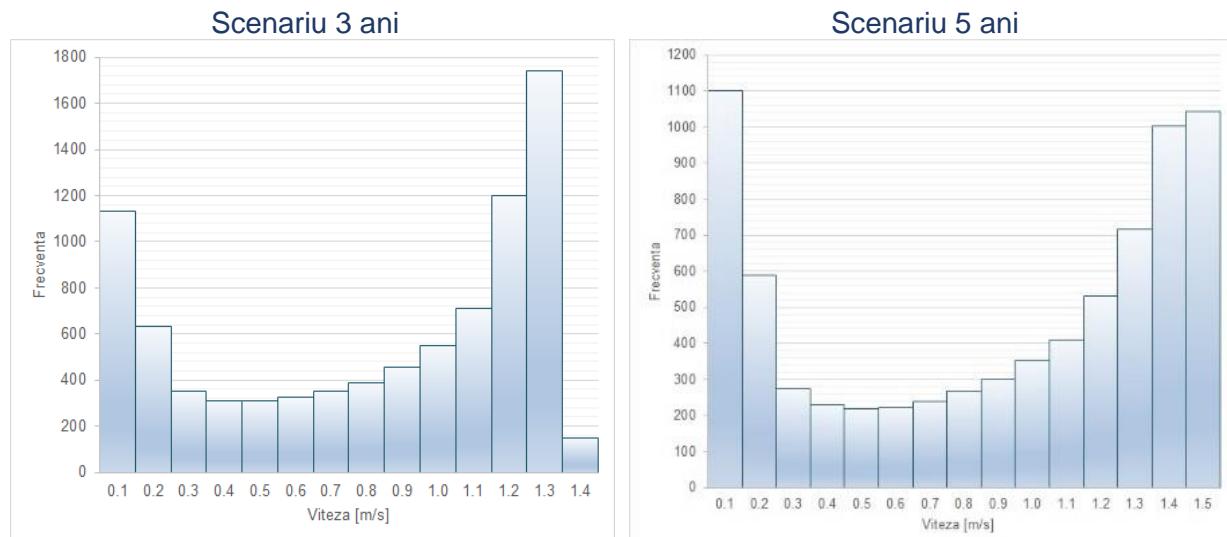


Figura 8.23. Histograme de viteză – în aval de pragul de fund construit în anii '90

În consecință, din corelarea rezultatelor obținute în urma simulărilor numerice cu cele rezultate din campaniile de monitorizare, derivă faptul că, din punct de vedere morfohidrodinamic, realizarea structurilor hidrotehnice nu influențează negativ, pe termen scurt și mediu, comportamentul migrațional al sturionilor.

## Capitolul 9. CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE și PERSPECTIVE

### Necesitatea elaborării tezei de doctorat

Zona studiată, reprezentată de bifurcația braț Bala – Dunărea Veche, prezintă o importanță deosebită din punct de vedere al infrastructurii transportului de navigație. Acest sector face parte din corridorul Pan-European nr. VII, asigurând legătura între Dunărea fluvială și canalul navigabil Dunăre – Marea Neagră. Având în vedere poziția strategică a Dunării ca și corridor de transport din porturile fluviale până în portul Constanța, cu scopul de a asigura condițiile optime de navigație, pe tot parcursul anului, asupra acestei zone s-a intervenit prin realizarea unor lucrări hidrotehnice.

Totodată, această zonă face parte din ariile Natura 2000 - situl ROSCI0022 Canaralele Dunării și situl ROSPA0039 Dunăre Ostroave și reprezintă un sector important în traseul de migrație al sturionilor.

La aceste considerente se adaugă și faptul că acest tronson reprezintă o zonă cu o mare diversitate morfohidrodinamică ca urmare a influenței construcțiilor hidrotehnice realizate în ultimii ani și a geometriei albiei, întrucât brațul Bala prezintă cote mai joase ale albiei în comparație cu Dunărea Veche.

În acest context, a existat un semn de întrebare cu privire la impactul pe care intervențiile antropice necesare îmbunătățirii condițiilor de navigație le pot avea, în timp, asupra ecosistemelor acvatice, din punct de vedere al modificărilor morfologice ale patului albiei.

Astfel, a fost dezvoltat un model numeric morfohidrodinamic care cuprinde sectorul Dunării în zona de bifurcație braț Bala – Dunărea Veche (un tronson de 5 km pe Dunărea Veche și 2,5 km pe brațul Bala).

Prin intermediul acestui model au fost realizate scenarii numerice care au permis analiza la scară redusă și medie de timp a tendințelor de evoluție morfohidrodinamică a Dunării.

Rezultatele acestor investigații au fost corelate cu elementele biotice, fiind astfel obținută o imagine de ansamblu a impactului pe care structurile hidrotehnice le pot avea asupra componentelor ecosistemelor acvatice specifice zonei de interes, din punct de vedere morfohidrodinamic.

### Analiza tendinței de evoluție morfologică a patului albiei prin utilizarea modelării numerice

În vederea efectuării investigațiilor privind modificările morfologice ale patului albiei ca urmare a intervențiilor antropice din sectorul studiat, în cadrul tezei de doctorat „*Impactul antropic asupra componentelor ecosistemelor acvatice specifice Dunării*” s-a aplicat ca metodă de studiu modelarea numerică.

Utilizând programul *Delft3D*, în cadrul cercetării a fost dezvoltat un model numeric quasi-tridimensional la scară medie, ce a permis abordarea detaliată, a tendinței de evoluție morfohidrodinamică a sectorului analizat.

Unul din elementele de noutate ale acestei lucrări rezultă din metodologia originală abordată în vederea realizării modelului numeric. Cu scopul de a observa în detaliu tendințele morfohidrodinamice, pe baza informațiilor rezultate din batimetria tridimensională, modelul a fost construit astfel încât să cuprindă toate elementele constructive ale lucrărilor hidrotehnice de îmbunătățire a condițiilor de navigație. La aceasta se adaugă noutatea ce derivă din volumul imens de date obținute în urma campaniilor de teren. Seriile de date obținute în urma prelucrării măsurătorilor hidrodinamice și morfologice desfășurate pe o perioadă de 7 ani, au făcut posibilă calibrarea și validarea modelului.

Premergător acestor procese au fost efectuate analize privind dinamica albiei, în sectorul studiat. Astfel, pe baza comparației imaginilor satelitare *Landsat*, pe un interval de timp

de 16 ani, a rezultat că cele mai mari schimbări din punct de vedere morfologic au avut loc pe brațul Bala, tendința cursului de apă fiind de a se dezvoltă spre est. La această investigație se adaugă și studiul privind modificarea geometriei patului albiei ca urmare a intervențiilor antropice, prin care au fost evidențiate gropile de eroziune ce s-au dezvoltat în aval de cele două praguri de fund.

Din punct de vedere al proceselor hidrodinamice, conform analizelor efectuate s-a observat că, în urma intervențiilor antropice, viteza curentului de apă a crescut pe brațul Bala, față de situația de referință. În ceea ce privește distribuția debitelor, în perioadele analizate s-a remarcat că pe brațul Bala a fost distribuit un debit mai mare de apă, comparativ cu Dunărea Veche.

Asocierea acestor informații cu rezultatele obținute în urma proceselor de calibrare și validare, au reprezentat premisele dezvoltării unui model morfohidrodinamic care să poată furniza rezultate cu un înalt grad de încredere. Acest model a fost utilizat în vederea analizei pe termen scurt și mediu a evoluției patului albiei, fiind propuse o serie de scenarii realizate prin intermediul simulării numerice.

Înțând cont de faptul că modificările morfologice se datorează în principal variațiilor de debit, în cadrul cercetărilor a fost utilizat un hidrograf variabil la limita din amonte, construit astfel încât să reprezinte variația integrală a debitului într-o manieră schematizată. Astfel, au fost realizate scenarii în care a fost analizat caracterul morfohidrodinamic al sectorului de interes la interval de 3 ani și 5 ani. Rezultatele obținute au fost raportate la situația de referință, și anume, la modelul morfohidrodinamic calibrat.

Investigațiile efectuate au evidențiat, în general, procese de eroziune pe brațul Bala și de sedimentare pe Dunărea Veche. Particular, au fost analizate secțiuni și zone de control în care au fost efectuate comparații, prin intermediul căror s-au estimat modificările patului albiei ce au avut loc pe termen scurt și mediu. Din punct de vedere al distribuției vitezelor curentului de apă, au fost evidențiate valorile mediate pe verticală, pe toată suprafața sectorului de interes, în cazul unui debit de  $3908 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Totodată, pentru a evalua interacțiunea dintre geometria albiei și curentul de apă, au fost studiate trei situații, în care s-a variat valoarea debitului. Astfel, a fost analizat sectorul de interes în contextul în care la limita amonte a modelului a fost aplicat un debit minim ( $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ ), mediu ( $7200 \text{ m}^3/\text{s}$ ) și mare ( $11400 \text{ m}^3/\text{s}$ ). În urma acestor analize au fost conturate și comparate suprafețele modificate în urma depunerilor de sedimente.

În vederea evaluării tendințelor de modificare a morfolgiei patului albiei au fost selectate zone și secțiuni transversale și longitudinale de control. Această metodologie de analiză a permis compararea reliefului subacvatic rezultat în urma simulării proceselor morfohidrodinamice pe termen scurt și mediu, cu situația de referință.

Rezultatele obținute în urma evaluării tendințelor de modificare a morfolgiei patului albiei (eroziuni cu efect de pâlnie la intrarea pe brațul Bala, gropi de eroziune în aval de pragurile de fund, zone cu sedimentari pe Dunărea Veche) au fost asociate cu elementele biotice ale ecosistemelor acvatice. La baza acestei analize au stat datele rezultate din cercetarea interacțiunii biotic-abiotic din etapele referință, din timpul și după execuția structurilor hidrotehnice.

## Evaluarea impactului asupra ecosistemului acvatic

În general, lucrările hidrotehnice pot influența ecosistemele acvatice atât în perioada de construcție, cât și în perioada ulterioară. Amploarea impactului depinde de activitățile desfășurate, de specificul amplasamentului și de compozitia acesteia. Pe termen lung, construcțiile hidrotehnice pot afecta flora și fauna acvatică prin schimbarea parametrilor cantitativi și calitativi.

Înțial, cu scopul de a cerceta dacă există riscul de contaminare locală a apei, a fost investigată, din punct de vedere chimic, interacțiunea apei cu rocile utilizate ca materie primă în structurile hidrotehnice. În acest context a fost analizat gradul de solubilizare al unor compuși

chimici care intră în alcătuirea acestor roci. În consecință, probele de rocă au fost analizate în laborator, rezultând astfel concentrația de metale grele solubilizate în apa Dunării. Dintre metalele grele analizate, în cazul cuprului și nichelului au fost obținute valori maxime. Astfel, din 5,3 µg/L ce a reprezentat concentrația totală de cupru existentă în probă, 4,2 µg/L a fost valoarea concentrației de metal existentă doar în apă, iar pentru nichel, din concentrația de 16,3 µg/L metal total, 8,9 µg/L a reprezentat concentrația de metal dizolvat.

Având în vedere valorile rezultate din analizele efectuate și faptul că anrocamentele din lucrările executate în albia Dunării sunt spălate permanent de apele fluviului, a fost efectuată și o cercetare suplimentară bazată pe analiza comparativă. Această investigație a fost efectuată prin comparația concentrațiilor probelor de apă prelevate din perioadele de construcție și după finalizarea construcțiilor, cu valorile de referință (concentrațiile probelor de apă prelevate anterior începerii lucrărilor). Probele de apă au fost prelevate din secțiunea localizată în aval de lucrările hidrotehnice.

În urma acestei analize a rezultat că valorile concentrației de cupru, plumb și nichel, din probele de apă au variat în perioada de monitorizare din timpul și după finalizarea construcțiilor, prezintând în general o tendință de creștere comparativ cu perioada de referință (excepție făcând lunile iulie-an V și septembrie-an VI pentru cupru; mai, iulie și august-an V pentru plumb; lunile iulie, august-an V și septembrie-an VI pentru nichel). Valorile maxime ale concentrațiilor de cupru (9,12 µg/L) și plumb (4,48 µg/L) au fost înregistrate în luna noiembrie-an IV, iar pentru nichel, maximul concentrației (9,32 µg/L) a rezultat în luna iunie-an V. În general, concentrațiile rezultate nu au depășit valorile limită impuse prin încadrarea sectorului de Dunăre investigat în clasa de calitate I.

În ceea ce privește concentrația sedimentelor, s-a ținut cont de faptul că, în urma procesului de construcție a lucrărilor hidrotehnice pe brațul Bala, materialul patului albiei a fost modificat cu aport însemnat de componente fine rezultate din anrocamente. În acest sens, au fost comparate valorile medii ale concentrațiilor rezultate în urma analizei probelor de sedimente prelevate în aval de structuri, în etapele de construcție și după finalizarea acestora, cu valorile de referință. În general, valorile concentrațiilor de metale grele din sedimente, din perioada de construcție și după finalizarea lucrărilor au indicat valori mai mari în comparație cu perioada anterioară construcțiilor, fiind depășite limitele impuse de standardul de calitate a sedimentelor în cazul cuprului și nichelului.

După investigarea concentrațiilor de metale grele din probele apă și de sedimente prelevate din celealte secțiuni de control, s-a observat că și în acest caz, este menținută tendința de creștere a valorii concentrației de metale grele, în comparație cu perioada de dinainte de construcție. Ca urmare a localizării acestor secțiuni de control, în amonte de bifurcație, respectiv pe Dunărea Veche, nu mai este valabilă ipoteza referitoare la faptul că în zona structurilor hidrotehnice și în secțiunile învecinate din aval, chimismul sedimentelor se poate modifica din cauza compozиției chimice a rocilor. Solubilizarea metalelor grele din rocile utilizate pentru construcția structurilor hidrotehnice crește proporțional cu temperatura și debitul apei dar, nu pot ajunge la valori care să influențeze semnificativ parametrii de calitate a apei.

În vederea evaluării influenței pe care efectele construcțiilor hidrotehnice le pot avea asupra florei și faunei acvatice, s-au corelat rezultatele obținute din perioada de monitorizare cu cele furnizate în urma simulării proceselor morfohidrodinamice pe termen scurt și mediu.

În general, atât în perioada de construcție, cât și după finalizarea lucrărilor, nu au fost evidențiate modificări majore în compoziția fitoplanctonului, în comparație cu perioada de dinainte de începerea construcțiilor. Conform analizelor efectuate de către expertii INCDPM, în cadrul departamentului „Laboratoare”, pe tot parcursul monitorizării, starea ecologică a apei Dunării, în zona de studiu, a fost bună și foarte bună.

Modificarea geometriei albiei prin execuția pragului de fund, intervențiile asupra malurilor prin construcția apărării de mal și a digului de dirijare nu au influențat semnificativ fitoplanctonul, în zona studiată. Cele mai mari diferențe au fost remarcate în cazul numărului de taxoni: în etapa de construcție, pe secțiunea corespunzătoare Dunării Vechi, numărul de taxoni a crescut cu cca. 41,67% față de perioada anterioară începerii lucrărilor. În perioada de după finalizarea construcțiilor, în ceea ce privește indicele saprob, au fost observate scăderi de 9,71% pe brațul

Bala, respectiv de 11,56% pe Dunărea Veche. În aceeași perioadă, valorile indicelui de diversitate Simpson, numărul de taxoni și valorile indicelui multimetric au crescut.

Având în vedere faptul că variația locală a vitezei de curgere a apei și că procesul de spălare a malurilor sau a substratului, pot influența dezvoltarea fitoplanctonului, a fost asociată valoarea indicelui multimetric cu valorile vitezei mediate pe verticală rezultate din perioada de monitorizare. Indicele multimetric reprezintă o ponderare a importanței indicilor utilizati pentru evaluarea comunităților de alge și pentru evaluarea stării ecologice. Valorile vitezelor măsurate au fost comparate cu cele rezultate în urma simulărilor numerice, în aceleași puncte de control și în aceleași condiții de debit. Ca urmare a modificărilor reliefului albiei, valorile relativ mici ale vitezei curentului de apă rezultate din simulările morfohidrodinamice în zonele analizate, au indicat aspecte pozitive în ceea ce privește corelarea acestui parametru abiotic (viteza) cu indicele multimetric ce caracterizează fitoplanctonul.

În ceea ce privește macrofitele, în urma simulărilor morfohidrodinamice, s-a remarcat faptul că în zonele din proximitatea malurilor au rezultat depuneri de sedimente, pe aceste suprafete vitezele curentului de apă fiind reduse. Totodată, în urma analizei scenariilor în care a fost variat debitul în secțiunea amonte s-a observat că, în cazul unor debite mici și medii pe suprafete importante din vecinătatea malurilor sunt înregistrate valori reduse ale nivelului apei. Teoretic, aceste rezultate ar putea favoriza dezvoltarea macrofitelor.

Rezultatele obținute în urma simulării proceselor morfohidrodinamice, pot reprezenta punctul inițial în analiza pe termen mediu a influenței efectelor lucrărilor hidrotehnice asupra speciilor de sturioni. Totuși, dat fiind faptul că în prezent, informațiile disponibile privind comportamentul sturionilor și rutele lor de migrație și de iernat pe Dunărea Inferioară nu sunt pe deplin cunoscute, a fost dificil de evaluat impactul lucrărilor hidrotehnice asupra traseului de migrație al sturionilor.

La baza acestei analize a stat volumul de date rezultat în urma colaborării unui număr mare de experți INCDPM ce au investigat comportamentul sturionilor marcați ultrasonic. În conformitate cu rezultatele obținute în urma monitorizării, brațul Bala a fost traversat de sturioni atât în perioada de dinainte de începerea lucrărilor hidrotehnice, cât și în perioadele din timpul și după finalizarea construcțiilor, în perioada lor de migrație.

Datorită geometriei și compozitiei patului albiei, brațul Bala reprezintă un amplasament favorabil pentru iernarea speciilor de sturioni. În această zonă au fost înregistrate de stațiile de monitorizare, în mai multe zile successive de pe parcursul perioadei de monitorizare, exemplare de sturioni marcați ultrasonic. În acest sens, zona corespunzătoare celor două praguri de fund a fost investigată în detaliu, în vederea analizei reliefului patului albiei rezultat în urma simulărilor proceselor morfohidrodinamice la scară mică și medie de timp.

Rezultatele obținute indică tendința de modificare a reliefului patului albiei. S-a putut observa faptul că în cazul simulărilor efectuate pentru o perioadă de 3 și 5 ani au rezultat adâncimi mai mari ale gropilor de eroziune. În comparație cu datele obținute în urma activităților de monitorizare, din punct de vedere al reliefului patului albiei, nu au fost aduse modificări astfel încât să afecteze habitatele de iernat și reproducere ale sturionilor.

Pe parcursul perioadei de investigare, în urma corelării datelor furnizate de stațiile de monitorizare DKTB și DKMR-01T cu măsurătorile de viteză a curentului de apă, a rezultat faptul că exemplarele de sturioni marcați ultrasonic au tranzitat înspre amonte pragul de fund, în situația unor viteze medii cuprinse între 0,83 – 2,64 m/s.

Cu scopul de a cerceta influența pe care distribuțiile vitezelor curentului de apă le pot avea asupra comportamentului migrațional al sturionilor, au fost asociate rezultatele obținute din simulările proceselor morfohidrodinamice cu informațiile rezultate din monitorizarea sturionilor. Debitul la care au fost realizate aceste analize a fost de  $3908 \text{ m}^3/\text{s}$ , înregistrat în secțiunea amonte a sectorului analizat, acesta reprezentând valoarea minimă utilizată în simulările numerice pentru a reprezenta un an tipic. Anul tipic a fost dedus din analiza înregistrărilor istorice ale debitului.

În acest sens, în primă fază au fost selectate 5 secțiuni transversale de control, în care au fost reprezentate distribuțiile valorilor medii ale vitezelor curentului de apă rezultate din simulările numerice. Cele mai mari valori ale vitezelor curentului de apă au rezultat în cazul

scenariului în care au fost simulate procesele morfohidrodinamice pentru o perioadă de 5 ani, deasupra noului prag de fund. În această situație, valorile curentului de apă au atins un maximum 2,7 m/s.

Pentru o cercetare mai detaliată a vitezelor rezultate în urma simulărilor numerice efectuate pe termen scurt și mediu, pe brațul Bala au fost desemnate zone de analiză în care s-a calculat frecvența vitezelor. Aceste zone au fost localizate în amonte, deasupra și în aval de pragul de fund și deasupra și în aval de pragul de fund construit în anii '90. Din histogramele realizate a rezultat faptul că, în general, cele mai frecvente valori ale vitezelor curentului de apă se încadrează în interval 1,5 – 2,0 m/s.

Din corelarea rezultatelor obținute în urma simulărilor numerice cu cele rezultate din campaniile de monitorizare, derivă faptul că, din punct de vedere morfohidrodinamic, realizarea structurilor hidrotehnice nu influențează negativ, pe termen scurt și mediu, comportamentul migrațional al sturionilor.

### Elemente originale și contribuțiiile autorului

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor întreprinse pentru realizarea tezei de doctorat, se poate sintetiza contribuția originală a autorului, după cum urmează:

- Realizarea unui studiu bibliografic cuprinzător privind stadiul actual al cercetărilor privind transportul de aluviuni, analiza ecosistemelor acvatice și analiza morfologică a cursurilor de apă prin utilizarea programelor de modelare numerică;
- Prelucrarea și interpretarea datelor referitoare la caracterizarea zonei de studiu;
- Realizarea unor analize comparative privind:
  - variația parametrilor de calitate a apei și a sedimentelor în perioadele de monitorizare;
  - relieful subacvatic în perioadele de dinaintea și după finalizarea execuției lucrărilor hidrotehnice;
  - variația nivelurilor și a vitezelor curentului de apă în diferite perioade de analiză;
  - analiza evoluției morfologice a zonei de studiu pe o perioadă de 15 ani, pe baza imaginilor satelitare *Landsat*.
- Dezvoltarea unui model numeric la scară medie, care să poată furniza rezultate cu grad înalt de încredere:
  - realizarea rețelei de calcul;
  - dezvoltarea modelului batimetric;
  - analiza mai multor variante de modele hidrodinamice;
  - optimizarea modelului hidrodinamic;
  - calibrarea și validarea modelului hidrodinamic astfel încât să poată furniza rezultate cu un înalt grad de încredere;
  - automatizarea procesului de calcul privind medierea vitezelor curentului de apă pe verticală, în etapa de calibrare, cu scopul de a reduce timpul de procesare;
  - configurarea modelului morfohidrodinamic prin accesarea constituentului privind transportul de sedimente;
  - calibrarea modelului morfohidrodinamic;
- Realizarea unor scenarii numerice în vederea analizei proceselor morfohidrodinamice, pe termen scurt și mediu de timp;
- Evaluarea modificărilor morfologice ale patului albiei:
  - Selectarea unor secțiuni și zone de control;
  - Analiza calitativă a modificărilor morfologice ce au loc în zonele selectate;
- Corelarea rezultatelor obținute în urma simulărilor morfohidrodinamice cu o parte din elementele ecosistemului acvatic:
  - Analiza interacțiunii apei cu anrocamentele utilizate pentru construcția structurilor hidrotehnice;
  - Corelarea componentelor biotice cu rezultatele obținute din simulările morfohidrodinamice, prin analiza fitoplanctonului, macrofitelor și macronevertebratelor;

- Analiza influenței modificărilor morfologice ale patului albiei asupra comportamentului sturionilor marcați ultrasonic;
- Investigații privind influența parametrilor hidrodinamici rezultați din simulările numerice asupra comportamentului sturionilor marcați ultrasonic, din punct de vedere al capacitații de a traversa zona investigată.

### Utilizarea rezultatelor în cadrul strategiilor investiționale

Unul din subiectele abordate în cadrul tezei de doctorat „*Impactul antropic asupra componentelor ecosistemelor acvatice specifice Dunării*” se referă la comportamentul migrațional al speciilor de sturioni marcați ultrasonic.

Importanța științifică și economică a acestor specii este dată atât de valoarea unică pe care o reprezintă pentru biodiversitate, cât și din punct de vedere al creșterii cererii de caviar pe piață.

În ultimele decenii, populațiile de sturioni au scăzut din cauza mai multor factori, printre care pescuitul irațional și braconajul sau a unor factori neidentificați până în prezent. În Dunărea Inferioară se regăsesc 4 specii de sturioni și anume morun (*Huso huso*), păstrugă (*Acipenserstellatus*) și nisetru (*Acipenser gueldenstaedtii*) aparțin „*Listei roșie a speciilor amenințate*”, conform IUCN, iar cega (*Acipenser ruthenus*) este considerată specie vulnerabilă.

Dată fiind importanța economică excepțională a acestor specii, datele furnizate în urma corelării rezultatelor obținute din simulările numerice cu cele rezultate din campaniile de monitorizare, pot reprezenta premisele necesare găsirii celor mai bune măsuri pentru conservarea stocurilor de sturioni și a identificării cauzelor ce au condus la declinul acestora.

Rezultatele furnizate în urma simulărilor proceselor morfohidrodinamice, pe termen scurt și mediu, indică tendințele de modificare prin eroziune/sedimentare a albiei. Astfel, ținând cont de faptul că tronsonul studiat prezintă o importanță deosebită din punct de vedere al infrastructurii transportului de navigație, aceste date pot fi utilizate în realizarea planurilor de intervenție pentru întreținerea canalului navigabil pe Dunărea Veche.

De asemenea, rezultatele obținute în urma cercetării pot reprezenta baza de date utilă pentru elaborarea altor soluții hidrotehnice în vederea asigurării debitului necesar navegației pe Dunărea Veche.

La aceste considerente se adaugă și faptul că prin utilizarea programului *Delft3D*, se poate actualiza modelul numeric realizat în cadrul acestei cercetări, putându-se astfel elabora și studii privind analiza morfohidrodinamică pe termen lung și evaluarea parametrilor de calitate a apei.

### Perspectiva dezvoltării subiectului

În prezența lucrare sunt corelate datele obținute din campaniile de monitorizare cu rezultatele furnizate în urma simulărilor numerice. Pentru perioada următoare se pot proiecta următoarele direcții de cercetare:

- continuarea efectuării măsurătorilor de teren în vederea obținerii unei baze de date care să permită calibrarea modelului morfohidrodinamic, la scară mare de timp;
- efectuarea unor scenarii numerice prin intermediul cărora să se analizeze tendințele de evoluție morfologică a albiei, în condițiile schimbărilor climatice;
- continuarea activităților de monitorizare a speciilor de sturioni întrucât informațiile disponibile privind comportamentul sturionilor și rutele lor de migrație și de iernat pe Dunărea Inferioară nu sunt pe deplin cunoscute;
- actualizarea modelului numeric, astfel încât să fie posibilă efectuarea unor scenarii prin care să fie analizati parametrii de calitate a apei, în cazul unor poluări accidentale. Acest deziderat urmează să fie dezvoltat în cadrul Proiectului Nucleu PN 18 26 02 01/2018: „*Cercetări privind evaluarea parametrilor de calitate a apei prin utilizarea modelelor numerice în vederea simulării undei de dispersie a poluanților pe Dunăre*”.

## Bibliografie

- [1] ANPM, Manual EIA, Bucureşti, România, 2014.
- [2] HOTĂRÂRE Nr. 445 din 8 aprilie 2009 privind evaluarea impactului anumitor proiecte publice și private asupra mediului, România, 2009.
- [3] "Ministerul Mediului," [Online]. Available: <http://www.mmediu.ro/categorie/evaluare-impact-asupra-mediului-pentru-proiecte/62>. [Accessed 06 01 2018].
- [4] Bătucă D., Contribuții la rezolvarea unor probleme de morfologia albiilor râurilor și canalelor, Institutul Agronomic „Nicolae Bălcescu - Teză de doctorat, Bucureşti, România: Facultatea de Îmbunătățiri Funciare, 1981.
- [5] Anastasiu N., Sedimentologie și sisteme depozitionale, Bucureşti, România: Universitatea din Bucureşti, 2014.
- [6] Feier I., Reconstituirea evoluției geomorfologice a văii Someșul Mic în Holocen - Teză de doctorat, Iași, România: Universitatea Al. I. Cuza Iași, Facultatea de Geografie – Geologie, 2010.
- [7] Schumm S.A., "Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains", Geol. Soc. Am. Bull., vol. 74, pp. 1089-1100, 1963.
- [8] Rosgen D., A classification of natural rivers, Catena, 1994, pp. 169-199 .
- [9] Montgomerry, D.R.; Buffington, J.M., "Channel-reach morphology in mountain drainage basins", GSA Bulletin, vol. 109, no. 5, pp. 596-611, 1997.
- [10] Schumm, S.A., River variability and complexity, Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [11] Keylock C., "Reviewing the Hjulström curve", Geography Review, pp. 16-21, 2004.
- [12] Mac I., Elemente de geomorfologie dinamică, Bucureşti: Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1986.
- [13] Roban R., Procese mecanice. Formarea, dinamica și acumularea clastelor. Proprietățile mecanice ale curgerilor, Bucureşti, România: Universitatea din Bucureşti, 2014.
- [14] Loghin V., Elemente de Geomorfologie Fluvială, Târgoviște, România: Valahia University Press, 2009.
- [15] Knighton. D, Fluvial Forms & Processes – a new perspective, Oxford: Oxford University Press Inc., 1998.
- [16] Mitoiu, C; Marin, G., Ingineria râurilor. Regularizarea albiilor râurilor și îndiguiri, Bucureşti, România: Bern, 1999.
- [17] Perju S., Monitorizarea și optimizarea hidraulică a rețelelor de distribuție a apei în vederea reabilitării - Teză de doctorat, Bucureşti, România: Universitatea Tehnică de Construcții, 2006.
- [18] R. Noori, A. Karbassi, A. Khakpour, M. Shahbazbegian, H. Badam and M. Vesali-Naseh, "Chemometric Analysis of Surface Water Quality Data: Case Study of the Gorganrud River Basin, Iran", Environmental Modeling & Assessment, vol. 17, pp. 411-420, 2011.
- [19] DIRECTIVA 2000/60/CE A Parlamentului European și a Consiliului de stabilire a unui cadru de politică comunitară în domeniul apei, 2000.
- [20] INCDPM, Utilizarea modelării numerice în testarea diferitelor scenarii cu aplicabilitate reală în zona de confluență Bala – Dunărea Veche, Bucureşti, România, 2014.
- [21] EME NATURA 2000, Ghid de planificare strategică pentru managementul durabil al resurselor de apă - Manageri eficienți pentru o rețea NATURA 2000 eficientă, EME

- NATURA 2000, 2014.
- [22] ANPM, Conservarea naturii și a biodiversității, biosecuritatea, București, România, 2009.
- [23] Tufescu V.; Tufescu M., Ecologia și activitatea umană,, București: Editura Albatros, 1981.
- [24] Mălăcea I., Biologia apelor impurificate, București, România: Editura Academiei, 1969.
- [25] Pineda A.P. and Segura D., "Plancton, Necton y Bentos", Ecología de Costas e Insular, Mexic, 2014.
- [26] Chiriac G., Studiu privind elaborarea obiectivelor de mediu și a sistemului de clasificare a stării apelor de suprafață, în conformitate cu prevederile Directivei Cadru pentru Apă, București, România, INCDPM, 2010.
- [27] Programul Phare, "Rețeaua Ecologică Europeană Natura 2000 – Contribuția României la îmbogățirea patrimoniului natural european", Federația Română de Speologie, Societatea Ornitológică Română, UNESCO Pro Natura, București, România, 2004.
- [28] INCDPM, "Contractul Europe Aid/134910/4/SER/RO, Cod 1344: Studii privind apărarea de mal în zona umedă Divici-Pojejena," finanțat prin Programul IPA de Cooperare Transfrontalieră România – Republica Serbia, București, 2014-2015.
- [29] "ICPDR," [Online]. Available: <https://www.icpdr.org/main/issues/human-impacts>. [Accessed 06 01 2018].
- [30] Obreja F. Gh., Studiul transportului de aluviuni în bazinul hidrografic Siret - Teză de doctorat, Suceava, România: Universitatea "Ştefan cel Mare" Suceava, Facultatea de Istorie și Geografie, 2013.
- [31] INCDPM, "Raportul tehnic de analiză privind aspecte legate de modul de depunere și consistența aluviunilor depuse într-o epavă scufundată într-o zonă a șenalului navigabil al Dunării", INCDPM, București, România, 2004.
- [32] Ionuș. O, Potențialul Geoecologic al Apelor de Suprafață în Bazinul Hidrografic Motru - Teză de doctorat, București, România: Universitatea din București, Facultatea de Geografie, Școala Doctorală „Simion Mehedinți – Natura și Dezvoltarea Durabilă”, 2012.
- [33] "AFDJ," [Online]. Available: <http://www.afdj.ro/ro/content/romomed>. [Accessed 07 10 2015].
- [34] INCDPM, Contract 53/2011, ROMOMED - Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 și km 175, finanțat în cadrul Programului Operațional Sectorial "Transport" (POS-T) 2007-2013, România, 2011-prezent.
- [35] INCDPM, "Contract 53/2011, ROMOMED - Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 și km 175 - Raport de sinteză", finanțat în cadrul Programului Operațional Sectorial "Transport" (POS-T) 2007-2013, București, România, 2011.
- [36] Petrea V., Morfodinamica albiilor majore de ordin inferior din bazinul Crasnei în contextul evenimentelor hidrologice extreme Studiu de geomorfologie experimentală - Teză doctorat, Cluj-Napoca, România, Universitatea Babeș-Bolyai, 2012.
- [37] Tritthart M., Three-Dimensional Numerical Modelling of Turbulent River Flow using Polyhedral Finite Volumes - Dissertationsschrift, Viena: Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie Abt. Ingenieurhydrologie u. Wassermengenwirtschaft Technische Universität Wien, 2005.
- [38] Weichert R. B., Wahrheit-Lensing A., Frings R. M, "Morphological characteristics of the river Rhine between Iffezheim and Bingen", in River Flow 2010-Dittrich, Koll, Aberle & Geisenhainer (eds) - © 2010 Bundesanstalt für Wassebrau ISBN 978-3-938230-00-7, Braunschweig, Germany, 2010.
- [39] Zimmermann N., Trouw K., Wang L. and Mathys M., Delgado R., Verwaest T., "Longshore transport and sedimentation in a navigation channel at Blankenberge (Belgium)", in Coastal Engineering Proceedings 12/2012; 1(33). DOI: 10.9753/icce.v33.sediment.111, Belgia, 2012.

- [40] Baranya S., Goda L., Józsa J. and Rákóczi L., Szieber J., Zellei L., "Complex Hydro- and Sediment Dynamics Survey of Two Critical Reaches on the Hungarian Part of River Danube", XXIVth Conference of the Danubian Countries, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 4 (2008) 012038, doi:10.1088/1755-1307/4/1/012038, pp. 1-13, 2008.
- [41] Tritthart M., Schober B., Liedermann M. and Habersack H., "Numerical modeling of sediment transport in the Danube River: uniform vs. non-uniform formulation", River Flow 2010 - Dittrich, Koll, Aberle & Geisenhainer (eds) - © 2010 Bundesanstalt für Wasserbau ISBN 978-3-939230-00-7, pp. 977-984, 2010.
- [42] Stănescu V. Al.; Stănculescu S., Dunărea între Baziaș și Ceatal Izmail. Monografie hidrologică, București: Comitetul de Stat al Apelor. Institutul de studii și cercetări hidrotehnice, 1967.
- [43] INCDPM, Contract 6N/200, PN 09 06 03 65: Studiu privind modelarea hidraulică a transportului de sedimente pe afluenții Dunării, în zona Baziaș-Moldova Nouă, vol. PN 09 06 03 65.1. Efectuarea studiilor de teren în vederea obținerii volumului informațional necesar rulării softului de modelare hidraulică, București, România, 2015.
- [44] Nicolae A-F; Georgescu P-L.; Deák Gy.; Badilita A. and Tudor M., "Preliminary Analysis of the Sturgeons' Swimming Capacity Above the Bottom Sill Through Numerical Simulation. Case Study - Bala Branch", Environmental Engineering and Management Journal, vol. 15, no. 5, pp. 1075-1080, 2016.
- [45] Leica Geosystems, Leica Viva GNSS GS08plus receiver Datasheet, Heerbrugg, Elveția: Leica Geosystems AG, 2012.
- [46] Leica Geosystems, Leica Sprinter 50 / 150 / 150M / 250M User Manual, Heerbrugg, Elveția: Leica Geosystems AG, 2008.
- [47] Egis, "Studiu de fezabilitate - Îmbunătățirea condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 – km 175", Egis, România, 2015.
- [48] Manea R., "Ridicarea Batimetrică - Curs FIFIM", USAMVB, București, România, 2003.
- [49] Nicolae A.-F., Deak Gy., Tudor G., Zamfir St., Georgescu P.L., Cîrstinoiu C-tin, Urișescu B., Raischi M., Dănilache T., Dăescu A., Bădiliță A. and Cristea Al., "Preliminary analysis of sediment transport in the context of the hydrotechnical constructions influence. Case study Bala branch – Old Danube bifurcation", ISB-INMA-TEH'2017, pp. 673-681, 2017.
- [50] Randal L. Dinehart, "Spatial analysis of ADCP data in streams," U.S. Geological Survey, Sacramento, CA, 2003.
- [51] Egis, "Studiu de fezabilitate - Solutii tehnice alternative/complementare privind lucrările ce se vor executa în Punctul Critic 01 Bala din cadrul proiectului", Egis, România, 2015.
- [52] SonTek/YSI, RiverSurveyor S5/M9 System Manual Firmware Version 1.0, 2010, San Diego, USA: SonTek/YSI, 2010.
- [53] Nicolae A.-F., Georgescu P.L., Olteanu M. and Deak Gy., "Comparative analysis regarding the influence of hydraulic structures on the Lower Danube riverbed, through numerical simulation", in Scientific Conference of Doctoral Schools from "Dunărea de Jos" University of Galati, Galați, România, 2015.
- [54] Teledyne RD Instruments, RIVERRAY ADCP GUIDE, Teledyne RD Instruments, 2015.
- [55] Nicolae A.-F., Georgescu L.-P., Dăescu A.I., Deak Gy., Zamfir St., Tudor G., Cîrstinoiu C-tin., Urișescu B., Raischi M. and Olteanu M., "Development of a bathymetric model for Danube Bala branch-Old Danube bifurcation", in International Symposium Geomat 2017, Iași, România, 2017.
- [56] Kongsberg, "The hydrographic product family - Sound in water reveals the secrets of the deep blue," Kongsberg Maritime AS, 2013
- [57] Sârbu, D, "Strategii de minimizare a impactului antropic asupra albiilor cursurilor de apă - Teză de doctorat", Universitatea Tehnică de Construcții București - Facultatea de

- Hidrotehnica, Bucureşti, 2015.
- [58] Ministerul apelor, pădurilor și protecției mediului-ICIM, "Modelarea matematică și prin calcul a curgerii fluidelor și transportului poluanților", București, România, 1998.
- [59] Bartha I., Javgureanu V. and Marcoie N., Hidraulică, Iași, România: Performantica, 2004.
- [60] "Delft3D Open Source Community," [Online]. Available: <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/about;jsessionid=F26C652A442BF24239785C1B204D0ED1>. [Accessed 05 04 2016].
- [61] INCDPM, "Contract 6N/200, PN 09 06 01 25.1: Utilizarea simulațiilor numerice pentru analiza variației parametrilor hidraulici în contextul intervențiilor antropice. Studiu de caz Brațul Bala", București, România, 2015.
- [62] Deltares, Delft3D - RGFGRID User Manual, Netherlands: Deltares, 2011.
- [63] L.C. van Rijn and D.J.R. Walstra, "Modelling of Sand Transport in DELFT3D," DG Rijkswaterstaat, Rijks-Instituut voor Kust en Zee/RIKZ, 2003.
- [64] Holban (Dobre) G.R., Modelarea cuplată a curgerii și transportului în mediul saturat și nesaturat - Teză de doctorat, București, România: UTCB, 2014.
- [65] Deltares, Delft3D - FLOW User Manual, Netherlands: Delft, 2011.
- [66] Florescu I., Mecanica fluidelor. Note de curs pentru uzul studenților, Bacău, România: Editura ALMA MATER, 2007.
- [67] Deltares, Delft3D - QUICKPLOT UserManual, Netherlands: Delft, 2011.
- [68] Popescu I., Ivanov Al., Zaharia I.; Radu M.; Ionescu P.; Deák Gy.; Monitoring the environmental impact of the works regarding the improvement of the navigation conditions on the Danube river between Calarasi and Braila, km 375 and km 175 - Results of sediments and water monitoring, 2013
- [69] Radu V. M., Ionescu P., Deák Gy., Ivanov Al., Diacu E., Multivariate Statistical Analysis for Quality Assesment of Aquatic Ecosystem on the Lower Danube, Journal of Environmental Protection and Ecology, 15, 2, pag 412–424, 2014
- [70] "ICPDR," [Online]. Available: <https://www.icpdr.org/main/danube-basin/romania>. [Accessed 17 05 2016].
- [71] "ICPDR," [Online]. Available: <https://www.icpdr.org/main/publications/danube-river-europe-backbone-biodiversity>. [Accessed 12 12 2017].
- [72] Kresser, W.; Lászlóffy, W., "Hydrologie du Danube," *La Houille Blanche*, vol. 2, pp. 133-178, 1964.
- [73] "ICPDR," [Online]. Available: <https://www.icpdr.org/main/danube-basin/river-basin>. [Accessed 10 05 2016].
- [74] INCDPM-ICIM, "Asistență tehnică pentru îmbunătățirea condițiilor de navigație pe Dunăre", ICIM, București, România, 2005.
- [75] EnergoNuclear, Studiu privind asigurarea apei de răcire pentru Unitatile 3 si 4 ale CNE Cernavoda - Caiet de sarcini, 2011.
- [76] Nicolae, A.F., Georgescu, P.L., Raischi, C.M. and Petrescu Al., "The Influence of Hydrotechnical Structures on the Minor Riverbed Morphology of the Danube, in the Area of Bifurcation of the Bala Branch with the Old Danube" Tehnomus Journal, vol. 23, pp. 13-17, 2016.
- [77] BOKU IWHW and IM FLUSS, Scientific Report for Contract no 81/31.05.2011 3D numerical modelling Romanian Danube between Calarasi and Braila (River-km 375-175), Austria, 2015.
- [78] "Primăria Lipnița," [Online]. Available: <http://www.primaria-lipnita.ro/home.htm>. [Accessed 17 10 2017].
- [79] Nicolae A.-F., Deák Gy., Tudor G., Cîrstinoiu C-tin., Zamfir A.-St., Urișescu B., Georgescu L., Ghiță G., Raischi M., Dăescu A.I., Dumitru F.-D., Moncea M.-A., Laslo L. and Szep R.,

- "Comparative analysis on water velocity distribution in the context of riverbed morphology changes and discharge variation", Journal of Environmental Protection and Ecology, vol. 18, no. 4, p. 1649–1657, 2017.
- [80] Institutul Geologic, Harta Geologică Scara 1:200 000. 45. Călărași, București, România, 1967.
- [81] Muste, M.; Yu, K.; Pratt, T.; Abraham, D., "Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics part II: Fixed vessel measurements" Journal of Flow Measurement and Instrumentation, pp. 17-28, 2004.
- [82] INCDDPM, Contract 53/2011, ROMOMED - Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 și km 175 - Raport Intermediar 10, București, România: finanțat în cadrul Programului Operațional Sectorial "Transport" (POS-T) 2007-2013, 2015.
- [83] INCDDPM, Contract 53/2011, ROMOMED - Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 și km 175 - Raport Intermediar 1, București, România: finanțat în cadrul Programului Operațional Sectorial "Transport" (POS-T) 2007-2013, 2013.
- [84] INCDDPM, Contract 53/2011, ROMOMED - Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 și km 175 - Raport Intermediar 12, București, România: finanțat în cadrul Programului Operațional Sectorial "Transport" (POS-T) 2007-2013, 2015.
- [85] INCDDPM, Contract 53/2011, ROMOMED - Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 și km 175 - Raport Intermediar 14, București, România: finanțat în cadrul Programului Operațional Sectorial "Transport" (POS-T) 2007-2013, 2017.
- [86] INCDDPM, Contract 53/2011, ROMOMED - Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 și km 175 - Raport Intermediar 16, București, România: finanțat în cadrul Programului Operațional Sectorial "Transport" (POS-T) 2007-2013, 2017.
- [87] INCDD, "Danube River's Morphology and Revitalization - Danubeparks - Danube River Network of Protected Areas - Development and Implement The Transnational Strategies For Conservation of Danube Natural Heritage", INCDD, Tulcea, România, 2004.
- [88] "USGS," [Online]. Available: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. [Accessed 02 05 2016].
- [89] Jipa, D., Analiza granulometrică a sedimentelor: semnificații genetice, Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1987.
- [90] Anastasiu N., Jipa D., Texturi și structuri sedimentare, București, România: Editura Tehnică, 1983.
- [91] Inman DL, "Sorting of sediments in the light of fluid mechanics", Journal of Sedimentary Petrology 19, pp. 51-70, 1949.
- [92] "Meteoblue," [Online]. Available: [https://www.meteoblue.com/ro/vreme/prognoza/s%C4%83pt%C4%83m%C3%A2na/c%C4%83l%C4%83ra%C5%9Fi\\_rom%C3%A2nia\\_673150](https://www.meteoblue.com/ro/vreme/prognoza/s%C4%83pt%C4%83m%C3%A2na/c%C4%83l%C4%83ra%C5%9Fi_rom%C3%A2nia_673150). [Accessed 03 01 2018].
- [93] "Meteoblue," [Online]. Available: [https://www.meteoblue.com/ro/vreme/prognoza/s%C4%83pt%C4%83m%C3%A2na/br%C4%83ila\\_rom%C3%A2nia\\_683902](https://www.meteoblue.com/ro/vreme/prognoza/s%C4%83pt%C4%83m%C3%A2na/br%C4%83ila_rom%C3%A2nia_683902). [Accessed 03 01 2018].
- [94] Monitorul oficial al României, Anexa la ordinul ministrului mediului și gospodăririi apelor nr. 161/2006 privind aprobatia Normativului privind clasificarea calitatii apelor de suprafață în vederea stabilirii stării ecologiei a coruprilor de apa, România, 2006.
- [95] Institutul Național de Cercetare Dezvoltare Marină, Evaluarea inițială a mediului marin, 2012.
- [96] "Directiva 2009/147/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 30 noiembrie 2009

- privind conservarea păsărilor sălbaticice", 2009.
- [97] "Societatea Ornitologică Română," [Online]. Available: <https://www.sor.ro/ro/pasari/Sylvia-nisoria.html>. [Accessed 10 10 2017].
- [98] "SOR-Societatea Ornitologică România," [Online]. Available: <https://www.sor.ro/ro/pasari/Sterna-hirundo.html>. [Accessed 10 10 2017].
- [99] "Păsări din România," [Online]. Available: <http://pasaridinromania.sor.ro/Califar-rosu>. [Accessed 10 10 2017].
- [100] "Păsări din România," [Online]. Available: <http://pasaridinromania.sor.ro/Sfrancioc-cu-frunte-neagra>. [Accessed 10 10 2017].
- [101] INCDPM, Contract 53/2011, ROMOMED - Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 și km 175 - Raport Intermediar 15, București, România: finanțat în cadrul Programului Operațional Sectorial "Transport" (POS-T) 2007-2013, 2016.
- [102] INCDPM, Contract 53/2011, ROMOMED - Monitorizarea impactului asupra mediului a lucrărilor de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 și km 175 - Raport Ad hoc, București, România, 2014.
- [103] Hotărârea nr. 80/2011 pentru aprobarea Planului național de management aferent portiunii din bazinul hidrografic internațional al fluviului Dunărea care este cuprinsă în teritoriul României.
- [104] Csányi B., Szekeres J., György A.I., Szalóky Z. and Falka I., "Methodology of Macroinvertebrate Survey on Large Rivers: A Case Study on the Romanian Lower Danube", Water Research and Management, vol. 2, no. 2, pp. 25-40, 2012.
- [105] Marković V., Atanacković A., Tubić B., Vasiljević B., Kračun M., Tomović J., Nikolić V. and Paunović M., "Indicative status assessment of the Danube River (Iron Gate sector 849 - 1,077 rkm) based on the aquatic macroinvertebrates", Water Research and Management, vol. 2, no. 2, pp. 41-46, 2012.
- [106] Szalóky Z., György A. I., Szekeres J., Falka I. and Csányi B., "Studies on the Structure of Benthic Fish Assemblages With an Electrified Benthic Trawl in the River Danube Between Calarasi and Braila, Romania", Water Research and Management, vol. 2, no. 2, pp. 47-59, 2012.
- [107] "Directiva 92/43/CEE a Consiliului din 21 mai 1992 privind conservarea habitatelor naturale și a speciilor de faună și floră sălbatică," Jurnalul Oficial al Comunităților Europene, 1992.
- [108] INCDPM, "Research Tools and Techniques for sturgeons' Spawning Migration Monitoring. Case study: Danube River, km 375-175," INCDPM, Bucuresti, Romania, 2016.
- [109] Djikanovic V., Skoric S., Lenhardt M., Smederevac-Lalic M., Visnjic-Jeftic Z., Spasic S. and Mickovic B., "Review of sterlet (Acipenser ruthenus L. 1758) (Actinopterygii: Acipenseridae) feeding habits in the River Danube, 1694–852 river km", Journal of Natural History, vol. 49, no. 5, pp. 411-417, 2015.
- [110] "Convenție privind comerțul internațional cu specii sălbaticice de faună și floră pe cale de dispariție", Washington, SUA, 1973.
- [111] Raischi M.C., Oprea L., Deak Gy., Badilita A. and Tudor M., "Comparative study on the use of new sturgeon migration monitoring systems on the Lower Danube", Environmental Engineering and Management Journal, vol. 15, no. 5, pp. 1081-1085 , 2016.
- [112] INCDPM, Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului - Broșura, București, România, 2016.
- [113] Deak Gy., Badilita A., Raischi M., Tănase B., Tănase G., "Stație DKTB de monitorizare a ihtiofaunei și în special a storionilor, prin teledetectie cu marcă ultrasonică, în diferite condiții hidrologice", București, România Patent A/0073/2012, 2012.
- [114] Deak Gy., Raischi N., Badilita A., Raischi C., Silion M., Tudor M., "Stație mobilă de tipul DKMR-01T de monitorizare prin teledetectie a ihtiofaunei și în special a storionilor în

- condiții hidrologice dificile". București, România Patent RO 129803/2014, 2014.
- [115] InfoInvent, Catalog Oficial, Chișinău, Republica Moldova, 2017.
- [116] INCDPM, "Methods, Techniques and Monitoring Results Regarding the Sturgeon Migration on Lower Danube (2011-2016)", București, România, 2017.
- [117] Reinartz R., Sturgeons in the Danube River. Biology, Status, Conservation, 2002.
- [118] Dănilache T., Bădiliță A.M., Deak Gy., Holban E., Popescu I., Dăescu A.I., Raischi M., Ghiță G., Nicolae C. and Diaconescu St., "Assessment of Bastroe Channel possible impact on Lower Danube sturgeon migration", AACL Bioflux, vol. 10, no. 5, pp. 1011-1018, 2017.
- [119] Buzuloiu Gh. și Chirila C., "Dunărea Inferioară oportunități și necesități de amenajare", *Univers Ingineresc*, vol. 22, no. 309, 2003.
- [120] Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor and Administrația Națională "Apele Române", Sinteza planurilor de management la nivel de bazin/spații hidrografice, București, România, 2015.
- [121] "ICPDR," [Online]. Available: <https://www.icpdr.org/main/issues/dams-structures>. [Accessed 17 05 2016].
- [122] "Hidroelectrica," [Online]. Available: <http://www.hidroelectrica.ro/Details.aspx?page=40>. [Accessed 10 12 2017].
- [123] "Nuclearelectrica," [Online]. Available: <http://www.nuclearelectrica.ro/>. [Accessed 25 3 2018].
- [124] Tractebel Development Engineering, Lucrări de îmbunătățire a condițiilor de navigație pe Dunăre între Călărași și Brăila, km 375 - km 175 - Etapa 1, 2012.
- [125] S.C. Telarmed S.R.L., Raport la bilanțul de mediu pentru cariera de diabaze din perimetru Revărsarea, jud. Tulcea, Tulcea, România: ANPM, 2011.
- [126] Yossef M. și Becker A., "Calibration of the morphodynamic model and analysis of the effect of sill (phase III,without cover)", Deltares, Netherlands, 2015.
- [127] Mohamed Yossef și Anke Becker, "Calibration of the morphodynamic model and analysis of the effect of sill (phase III,without cover)", Deltares, Netherlands, 2015.
- [128] [Online]. Available: [http://andrei.clubcisco.ro/cursuri/f/f-sym/5master/md/MS\\_01\\_Simularea\\_sistemelor.pdf](http://andrei.clubcisco.ro/cursuri/f/f-sym/5master/md/MS_01_Simularea_sistemelor.pdf). [Accessed 05 01 2018].
- [129] Li L., A Fundamental Study of the Morphological Acceleration Factor - Teză de doctorat, Olanda: Delft University of Technology , 2010.
- [130] "Fledermaus," [Online]. Available: <http://www.qps.nl/display/fledermaus/main;jsessionid=964C48E2C42ED20599CD9A5CDA7678B9>. [Accessed 20 01 2018].
- [131] "UGAL," [Online]. Available: <http://www.epm.ugal.ro/Hidrobiologie-Curs.pdf>. [Accessed 02 02 2018].
- [132] Deak Gy., Bădiliță A.M., Dănilache T. and Tudor M., "Use of Acoustic Telemetry for Providing an Insight into Sturgeons Behaviour and Migration Routes on Lower Danube", Journal of Environmental Protection and Ecology, vol. 15, no. 3, p. 954–964, 2014.
- [133] Deak Gy., Bădiliță A.M., Popescu I. and Tudor M., "Marine ecology Research on Sturgeon Migration Behaviour Using a new Monitoring, Control and Alarming System", Journal of Environmental Protection and Ecology, vol. 15, no. 3, p. 944–953, 2014.
- [134] Pavlov D.S., Biological base of conducting of fish behaviour in water flow, Moscova, Rusia: Nauka Press, 1979.
- [135] Khodorevskaya R.P., Ruban G.I., Pavlov D.S., "Behaviour, migrations, distribution, and stocks of sturgeons in the Volga-Caspian basin", World Sturgeon Conservation Society, vol. 3, no. 233.

**Anexa 1. Indicatori analizați în vederea evaluării calității apei**

*Tabel A1.1. Indicatori ai regimului de oxigen pentru evaluarea calității apei*

	CBO <sub>5</sub>	CCO-Mn	CCO-Cr	Oxigen dizolvat	Saturația oxigenului dizolvat
	mgO <sub>2</sub> /l	mgO <sub>2</sub> /l	mgO <sub>2</sub> /l	mgO <sub>2</sub> /l	%
<b>CLASA DE CALITATE I</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>90</b>
<b>CLASA DE CALITATE II</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>7</b>	<b>70</b>
<b>CLASA DE CALITATE III</b>	<b>7</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>5</b>	<b>50</b>
<b>SECȚIUNEA 1</b>					
Septembrie – An I	2.29	2.79	14.06	8.29	92.73
Octombrie – An I	2.12	2.59	13.05	8.96	96.51
Noiembrie – An I	2.73	3.33	16.78	8.89	94.67
Decembrie – An I	1.94	2.36	11.9	11.06	93.21
Septembrie – An IV	0.68	2.19	8.42	8.04	84.63
Octombrie – An IV	0.83	3.35	12.63	8.84	78.57
Noiembrie – An IV	0.88	2.04	8.36	11.11	85.86
Decembrie – An IV	0.93	2.58	16.69	10.91	83.03
Mai – An V	0.58	1.78	9.58	8.21	83.18
Iunie – An V	0.65	2.55	13.58	7.63	83.85
Iulie – An V	0.98	1.86	11.51	7.34	82.29
August – An V	0.72	1.47	9.46	7.58	86.33
Martie – An VI	0.69	1.7	11.36	9.92	81.65
Septembrie – An VI	0.68	1.47	4.75	7.83	82.42
<b>SECȚIUNEA 2</b>					
Septembrie – An I	2.14	2.61	13.15	8.2	92.86
Octombrie – An I	2.09	2.55	12.85	8.88	95.38
Noiembrie – An I	2.62	3.2	16.13	9.1	97.85
Decembrie – An I	2.13	2.59	13.07	10.95	95.38
Septembrie – An IV	0.74	2.11	9.12	7.96	83.97
Octombrie – An IV	0.99	3.2	11.57	8.92	81.21
Noiembrie – An IV	0.92	2.35	9.61	10.27	79.31
Decembrie – An IV	1.31	2.35	9.12	10.83	83.05
Mai – An V	0.68	1.78	8.32	8.17	82.78
Iunie – An V	0.77	2.71	12.82	7.68	84.21
Iulie – An V	0.94	1.86	11.21	7.41	82.79
August – An V	0.77	1.47	9.31	7.53	85.96
Martie – An VI	1.25	1.7	12.12	9.96	82.38
Septembrie – An VI	1.47	1.7	8.16	7.75	81.58
<b>SECȚIUNEA 3</b>					
Septembrie – An I	1.99	2.43	12.25	8.27	90.68
Octombrie – An I	2.12	2.59	13.05	8.89	94.49
Noiembrie – An I	2.59	3.16	15.93	9.1	97.85

	CBO <sub>5</sub>	CCO-Mn	CCO-Cr	Oxigen dizolvat	Saturația oxigenului dizolvat
	mgO <sub>2</sub> /l	mgO <sub>2</sub> /l	mgO <sub>2</sub> /l	mgO <sub>2</sub> /l	%
<b>CLASA DE CALITATE I</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>90</b>
<b>CLASA DE CALITATE II</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>7</b>	<b>70</b>
<b>CLASA DE CALITATE III</b>	<b>7</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>5</b>	<b>50</b>
Decembrie – An I	2.02	2.47	12.45	11.12	87.45
Septembrie – An IV	0.94	2.35	8.54	7.92	83.72
Octombrie – An IV	0.89	2.73	9.58	8.93	79.36
Noiembrie – An IV	0.72	2.07	9.05	10.55	81.72
Decembrie – An IV	0.97	2.27	8.76	10.91	83.03
Mai – An V	0.83	1.78	8.16	8.14	82.47
Iunie – An V	0.69	2.32	9.27	7.54	82.49
Iulie – An V	1.15	1.63	14.33	7.37	82.81
August – An V	0.86	1.39	9.37	7.67	87.36
Martie – An VI	1.18	1.78	11.83	10.14	83.46
Septembrie 2016	1.54	1.63	8.76	7.72	81.26

Tabel A1.2. Indicatori ai nutrientilor pentru evaluarea calității apei

	Amoniu (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Azotiți (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	Azotați (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Azot total (N)	Ortofosfați solubili (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Fosfor total (P)	R=Nt/Pt	I.E.P.	Clorofila "a"
	mgN/l	mgN/l	mgN/l	mgN/l	mgP/l	mgP/l	-	-	µg/l
<b>CLASA DE CALITATE I</b>	<b>0,4</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,15</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>25</b>
<b>CLASA DE CALITATE II</b>	<b>0,8</b>	<b>0,03</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>50</b>
<b>CLASA DE CALITATE III</b>	<b>1.2</b>	<b>0.06</b>	<b>5.6</b>	<b>12</b>	<b>0.4</b>	<b>0.75</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>100</b>
<b>SECȚIUNEA 1</b>									
Septembrie – An I	0.44	0.04	0.16	0.79	0.03	0.09	9.24	2.07	1.22
Octombrie – An I	0.62	0.039	0.18	1.03	0.04	0.09	11.6	2.1	1.11
Noiembrie – An I	0.36	0.04	0.18	0.72	0.04	0.09	8.19	2.09	0.69
Decembrie – An I	0.16	0.033	0.14	0.42	0.02	0.05	8.55	1.66	0.85
Septembrie – An IV	0.03	0.01	0.52	1.52	0.06	0.11	13.82	2.47	2.57
Octombrie – An IV	0.04	0.01	0.95	1.63	0.07	0.11	14.82	2.58	3.02
Noiembrie – An IV	0.03	0.03	0.92	1.46	0.08	0.09	16.22	2.68	4.15
Decembrie – An IV	0.04	0.015	0.79	1.87	0.05	0.15	12.47	2.34	1.78
Mai – An V	0.04	0.011	1.02	1.98	0.05	0.09	22	2.34	6.63
Iunie – An V	0.05	0.011	1.43	1.75	0.08	0.13	13.46	2.68	0.5
Iulie – An V	0.06	0.032	0.59	2.16	0.04	0.07	30.86	2.18	3.2
August – An V	0.04	0.033	0.58	1.63	0.04	0.11	14.82	2.18	2.37
Martie – An VI	0.05	0.016	1.05	1.8	0.05	0.13	13.85	2.34	3.91
Septembrie – An VI	0.08	0.011	0.54	1.35	0.05	0.09	15	2.34	2.37
<b>SECȚIUNEA 2</b>									

	<b>Amoniu</b> (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	<b>Azotiți</b> (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	<b>Azotați</b> (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<b>Azot total</b> (N)	<b>Ortofosfați solubili</b> (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	<b>Fosfor total</b> (P)	<b>R=Nt/Pt</b>	<b>I.E.P.</b>	<b>Clorofila "a"</b>
	mgN/l	mgN/l	mgN/l	mgN/l	mgP/l	mgP/l	-	-	µg/l
<b>CLASA DE CALITATE I</b>	<b>0,4</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,15</b>	-	-	<b>25</b>
<b>CLASA DE CALITATE II</b>	<b>0,8</b>	<b>0,03</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	-	-	<b>50</b>
<b>CLASA DE CALITATE III</b>	<b>1.2</b>	<b>0.06</b>	<b>5.6</b>	<b>12</b>	<b>0.4</b>	<b>0.75</b>	-	-	<b>100</b>
Septembrie – An I	0.25	0.034	0.14	0.53	0.03	0.08	6.4	2.04	0.59
Octombrie – An I	0.2	0.031	0.15	0.47	0.03	0.08	6.22	1.98	0.69
Noiembrie – An I	0.24	0.034	0.14	0.52	0.03	0.08	6.91	1.97	0.64
Decembrie – An I	0.26	0.031	0.15	0.54	0.02	0.05	10.6	1.69	1.77
Septembrie – An IV	0.03	0.009	0.59	1.63	0.07	0.09	18.11	2.58	1.68
Octombrie – An IV	0.04	0.012	0.96	1.75	0.07	0.1	17.5	2.58	1.6
Noiembrie – An IV	0.03	0.03	0.86	1.69	0.08	0.1	16.9	2.68	2.96
Decembrie – An IV	0.03	0.016	0.97	1.69	0.07	0.13	13	2.58	2.01
Mai – An V	0.03	0.012	1.05	1.92	0.05	0.09	21.33	2.34	7.58
Iunie – An V	0.05	0.013	1.35	1.75	0.08	0.13	13.46	2.68	0.5
Iulie – An V	0.04	0.042	0.58	1.92	0.05	0.07	27.43	2.34	2.72
August – An V	0.03	0.04	0.65	1.75	0.04	0.1	17.5	2.18	3.02
Martie – An VI	0.05	0.016	0.99	2.06	0.05	0.13	15.85	2.34	4.74
Septembrie – An VI	0.08	0.011	0.56	1.41	0.05	0.08	17.63	2.34	1.36
<b>SECȚIUNEA 3</b>									
Septembrie – An I	0.24	0.05	0.16	0.58	0.04	0.09	6.37	2.11	1.11
Octombrie – An I	0.24	0.044	0.18	0.59	0.03	0.08	7.01	2.05	1.18
Noiembrie – An I	0.4	0.044	0.2	0.81	0.03	0.08	10.34	2	1.64
Decembrie – An I	0.23	0.031	0.15	0.5	0.02	0.05	9.58	1.71	0.59
Septembrie – An IV	0.04	0.01	0.63	1.52	0.06	0.09	16.89	2.47	3.65
Octombrie – An IV	0.03	0.011	0.96	1.98	0.07	0.11	18	2.58	0.59
Noiembrie – An IV	0.04	0.04	0.88	1.81	0.08	0.11	16.45	2.68	1.78
Decembrie – An IV	0.04	0.012	0.87	1.87	0.07	0.11	17	2.58	1.54
Mai – An V	0.03	0.013	0.95	1.75	0.06	0.08	21.88	2.47	8.29
Iunie – An V	0.05	0.013	1.38	1.87	0.08	0.13	14.38	2.68	0.5
Iulie – An V	0.04	0.03	0.68	1.87	0.05	0.07	26.71	2.34	2.72
August – An V	0.03	0.04	0.64	1.4	0.04	0.1	14	2.18	1.36
Martie – An VI	0.05	0.016	0.86	1.97	0.05	0.13	15.15	2.34	2.37
Septembrie – An VI	0.11	0.011	0.57	1.27	0.06	0.08	15.88	2.47	2.31

*Tabel A1.3. Indicatori ai salinității pentru evaluarea calității apei*

	Conductivitate	Reziduu filtrabil uscat la 105°C	Cloruri (Cl <sup>-</sup> )	Sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Calciu (Ca <sup>2+</sup> )	Magneziu (Mg <sup>2+</sup> )	Sodiu (Na <sup>+</sup> )
	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>CLASA DE CALITATE I</b>	-	<b>500</b>	<b>25</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>12</b>	<b>25</b>
<b>CLASA DE CALITATE II</b>	-	<b>750</b>	<b>50</b>	<b>120</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>CLASA DE CALITATE III</b>	-	<b>1000</b>	<b>250</b>	<b>250</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>SECȚIUNEA 1</b>							
Septembrie – An I	342	256.5	22.54	32.19	47.56	14.06	16.35
Octombrie – An I	352	264	22.42	33.81	47.92	13.35	17.4
Noiembrie – An I	387	290.25	21.98	31.87	45.23	13.54	15.05
Decembrie – An I	370	277.5	25.53	27.12	57.35	23.36	18.84
Septembrie – An IV	280	221	11.89	24.57	49.7	9.73	9.75
Octombrie – An IV	342	252	11.54	34.76	58.52	13.13	13.3
Noiembrie – An IV	329	252	13.44	33.02	56.91	17.02	12.99
Decembrie – An IV	336	260	11.89	30.86	58.52	14.11	13.42
Mai – An V	337	256	15.44	31.02	49.38	11.87	12.44
Iunie – An V	332	240	16.53	27.21	47.78	11.87	13.43
Iulie – An V	335	258	14.67	32.8	37.4	11.93	13.34
August – An V	345	272	13.27	57.91	34.74	13.26	15.18
Martie – An VI	357	275	13.67	49.57	44.75	12.29	11.96
Septembrie – An VI	296	235	13.35	37.65	26.47	12.85	13.6
<b>SECȚIUNEA 2</b>							
Septembrie – An I	337	252.75	22.18	32	44.35	12.46	15.34
Octombrie – An I	335	251.25	22.58	31.05	44.78	14.3	16.14
Noiembrie – An I	375	281.25	23.15	30.78	41.56	12.34	15.34
Decembrie – An I	379	284.25	25.19	27.81	55.78	14.3	18.73
Septembrie – An IV	281	222	12.59	24.29	49.7	10.7	9.89
Octombrie – An IV	328	240	12.06	34.74	58.52	14.11	13.27
Noiembrie – An IV	334	255	13.09	33.12	56.91	17.02	12.35
Decembrie – An IV	337	260	11.89	31.37	58.52	13.13	12.84
Mai – An V	339	258	15.79	31.13	49.38	11.87	12.91
Iunie – An V	335	243	16.88	27.64	47.78	11.87	15.05
Iulie – An V	335	258	14.5	32.82	38.15	11.01	13.42
August – An V	346	274	12.92	58.26	33.07	12.8	14.74
Martie – An VI	362	279	14.2	46.7	43.2	12.95	12.39
Septembrie – An VI	298	238	12.99	41.13	29.25	12.33	13.56
<b>SECȚIUNEA 3</b>							
Septembrie – An I	335	251.25	22.74	32.89	44.16	14.35	16.58
Octombrie – An I	334	350.5	22.41	32.77	45.56	14.3	17.36
Noiembrie – An I	324	243	22.17	32.56	44.23	14.35	16.23
Decembrie – An I	381	285.75	25.19	30.49	55.78	14.25	19.61
Septembrie – An IV	280	221	12.24	22.67	49.7	11.67	10.25

	<b>Conductivitate</b>	<b>Reziduu filtrabil uscat la 105°C</b>	<b>Cloruri (Cl<sup>-</sup>)</b>	<b>Sulfati (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	<b>Calciu (Ca<sup>2+</sup>)</b>	<b>Magneziu (Mg<sup>2+</sup>)</b>	<b>Sodiu (Na<sup>+</sup>)</b>
	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<b>CLASA DE CALITATE I</b>	-	<b>500</b>	<b>25</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>12</b>	<b>25</b>
<b>CLASA DE CALITATE II</b>	-	<b>750</b>	<b>50</b>	<b>120</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>CLASA DE CALITATE III</b>	-	<b>1000</b>	<b>250</b>	<b>250</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Octombrie – An IV	334	246	11.89	34.67	58.52	14.11	13.58
Noiembrie – An IV	341	262	13.62	33.53	56.91	18.97	12.91
Decembrie – An IV	336	260	11.89	29.48	58.52	14.11	13.01
Mai – An V	334	254	15.08	31.67	49.38	11.87	12.98
Iunie – An V	322	236	16.53	27.81	47.78	11.87	13.65
Iulie – An V	339	262	14.67	34.41	39.1	11.93	13.77
August – An V	349	276	13.27	55.65	33.15	13.1	14.78
Martie – An VI	358	275	14.03	18.43	41.66	12.35	12.16
Septembrie – An VI	299	238	13.35	37.13	28.73	12.49	13.53

Tabel A1.4. Indicatori ai poluanților toxici specifici de origine naturală, regimul termic și acidificarea în vederea evaluării calității apei

	Crom total (Cr <sup>3+</sup> + Cr <sup>6+</sup> )	Cupru (Cu <sup>2+</sup> )	Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	Arsen (As <sup>3+</sup> )	Bariu (Ba <sup>2+</sup> )	Seleniu (Se <sup>4+</sup> )	Cobalt (Co <sup>3+</sup> )	Plumb (Pb <sup>2+</sup> )	Cadmiu (Cd <sup>2+</sup> )	Fier total (Fe <sup>2+</sup> + Fe <sup>3+</sup> )	Mercur (Hg)	Mangan total (Mn <sup>2+</sup> + Mn <sup>7+</sup> )	Nichel (Ni <sup>2+</sup> )	Temperatura	pH
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	°C	unit. pH
<b>CLASA DE CALITATE I</b>	25	20	100	10	0,05	1	10	5	0,5	0,3	0,1	0,05	10	-	
<b>CLASA DE CALITATE II</b>	50	30	200	20	0,1	2	20	10	1	0,5	0,3	0,1	25	-	6.5-8.5
<b>CLASA DE CALITATE III</b>	100	50	500	50	0,5	5	50	25	2	1	0,5	0,3	50	-	
<b>SECȚIUNEA 1</b>															
Septembrie – An I	0.36	2.53	70	0.69	0.04	0.053	17.85	0.4	0.12	0.32	0.01	0.036	1.64	19.4	7.7
Octombrie – An I	0.28	2.51	70	0.59	0.041	0.052	15.33	0.32	0.12	0.331	0.014	0.021	1.53	17.5	7.61
Noiembrie – An I	0.55	2.97	60	0.34	0.039	0.059	17.56	0.7	0.12	0.32	0.011	0.02	1.89	17.1	7.65
Decembrie – An I	0.28	3.48	70	0.59	0.05	0.074	16.98	0.46	0.12	0.26	0.01	0.034	2.14	9.3	7.68
Septembrie – An IV	0.86	4.31	5.9	0.53	0.03	0.04	0.44	0.68	0.02	0.28	0.01	0.02	2.24	18.3	8.21
Octombrie – An IV	1.26	4.34	13.2	0.48	0.02	0.07	0.36	0.75	0.04	0.83	0.01	0.04	2.47	11.4	8.34
Noiembrie – An IV	0.94	4.11	8.1	0.38	0.01	0.04	0.14	2.02	0.04	0.52	0.01	0.04	3.61	4.5	8.39
Decembrie – An IV	1.83	4.91	9.2	0.38	0.03	0.05	0.15	1.01	0.02	0.56	0.01	0.05	2.43	4	8.32
Mai – An V	0.95	3.14	6.7	0.31	0.02	0.04	0.2	0.29	0.03	0.28	0.01	0.02	2.1	16.5	8.17
Iunie – An V	1.25	4.29	3.5	0.65	0.03	0.08	0.47	0.81	0.04	0.82	0.01	0.05	2.74	20.5	8.33
Iulie – An V	0.43	2.75	3.5	0.21	0.01	0.06	0.19	0.14	0.01	0.23	0.01	0.02	1.47	21.6	7.91
August – An V	0.51	3.6	5.1	0.17	0.02	0.04	0.11	0.12	0.01	0.16	0.01	0.02	1.15	22.4	7.94
Martie – An VI	2.26	4.08	11.2	0.62	0.02	0.08	0.31	1.91	0.05	0.65	0.01	0.04	3.41	7.1	8.19
Septembrie – An VI	0.34	2.49	3	0.34	0.01	0.04	0.38	0.83	0.14	0.11	0.01	0.01	0.69	18.3	8.18
<b>SECȚIUNEA 2</b>															
Septembrie – An I	0.33	3.01	70	0.46	0.041	0.054	14.98	0.31	0.12	0.22	0.1	0.03	2.07	20.1	8.30
Octombrie – An I	0.4	3.71	70	0.49	0.04	0.051	15.34	0.31	0.12	0.235	0.1	0.02	1.7	17.3	7.62
Noiembrie – An I	0.49	2.41	70	0.33	0.035	0.056	17.55	0.55	0.12	0.26	0.1	0.03	1.54	17.3	7.44
Decembrie – An I	0.28	3.74	60	0.65	0.046	0.059	17.35	0.74	0.12	0.33	0.1	0.027	3.26	8.8	7.79
Septembrie – An IV	0.53	3.18	6.5	0.55	0.01	0.04	0.11	0.34	0.02	0.14	0.01	0.02	1.16	18.4	8.3
Octombrie – An IV	1.33	4.12	11.5	0.48	0.01	0.08	0.26	1.03	0.05	0.88	0.01	0.05	3.38	11.5	8.33
Noiembrie – An IV	0.93	5.17	10.2	0.35	0.02	0.05	0.42	1.58	0.02	0.53	0.01	0.04	3.98	4.6	8.32

	Crom total (Cr <sup>3+</sup> + Cr <sup>6+</sup> )	Cupru (Cu <sup>2+</sup> )	Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	Arsen (As <sup>3+</sup> )	Bariu (Ba <sup>2+</sup> )	Seleniu (Se <sup>4+</sup> )	Cobalt (Co <sup>3+</sup> )	Plumb (Pb <sup>2+</sup> )	Cadmiu (Cd <sup>2+</sup> )	Fier total (Fe <sup>2+</sup> + Fe <sup>3+</sup> )	Mercur (Hg)	Mangan total (Mn <sup>2+</sup> + Mn <sup>7+</sup> )	Nichel (Ni <sup>2+</sup> )	Temperatura	pH
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	°C	unit. pH
Decembrie – An IV	1.76	5.07	8.1	0.32	0.02	0.05	0.33	0.94	0.02	0.52	0.01	0.04	2.5	4.3	8.31
Mai – An V	0.93	3.67	6.3	0.35	0.02	0.03	0.18	0.37	0.04	0.3	0.01	0.02	2.72	16.5	8.15
Iunie – An V	1.32	4.37	5	0.75	0.03	0.11	0.35	0.87	0.04	0.85	0.01	0.05	2.79	20.4	8.37
Iulie – An V	0.53	2.82	0.2	0.24	0.02	0.05	0.23	0.17	0.01	0.24	0.01	0.02	2.12	21.4	7.99
August – An V	0.53	2.75	2.4	0.17	0.02	0.04	0.06	0.18	0.02	0.17	0.01	0.02	0.98	22.5	8.19
Martie – An VI	1.8	4.41	9.5	0.62	0.03	0.08	0.51	1.68	0.05	0.93	0.01	0.05	5.07	7.3	8.26
Septembrie – An VI	0.64	2.72	4	0.37	0.02	0.04	0.35	0.75	0.03	0.11	0.01	0.01	0.54	18.3	8.19

### SECȚIUNEA 3

Septembrie – An I	0.37	3.25	60	0.64	0.041	0.074	16.57	0.38	0.12	0.26	0.01	0.026	1.97	18.4	7.96
Octombrie – An I	0.35	3.03	60	0.59	0.036	0.07	17.34	0.31	0.12	0.331	0.012	0.025	1.86	16.4	7.55
Noiembrie – An I	0.52	2.63	60	0.36	0.036	0.055	17.65	0.56	0.12	0.25	0.01	0.03	1.56	17.3	7.59
Decembrie – An I	0.28	4.02	70	0.46	0.033	0.073	17.33	0.33	0.12	0.22	0.01	0.035	2.29	8.1	8.34
Septembrie – An IV	0.68	3.34	3.7	0.51	0.02	0.04	0.35	0.39	0.02	0.18	0.01	0.01	1.43	18.5	8.29
Octombrie – An IV	0.76	3.15	8.4	0.51	0.03	0.07	0.2	0.61	0.03	0.73	0.01	0.04	2.04	11.4	8.32
Noiembrie – An IV	1.02	5.5	7.9	0.37	0.02	0.05	0.23	1.65	0.02	0.54	0.01	0.04	2.42	4.7	8.29
Decembrie – An IV	1.17	4.25	8.7	0.42	0.02	0.05	0.19	0.86	0.02	0.04	0.01	0.04	1.9	4	8.31
Mai – An V	0.83	3.11	5	0.33	0.02	0.05	0.16	0.26	0.03	0.27	0.01	0.02	2.28	16.5	8.16
Iunie – An V	1.16	4.61	24.5	0.81	0.02	0.12	0.42	0.92	0.04	0.88	0.01	0.05	9.32	20.3	8.34
Iulie – An V	0.75	2.7	2	0.24	0.02	0.07	0.15	0.19	0.01	0.3	0.01	0.03	1.5	21.7	8.11
August – An V	0.44	3.49	3.4	0.19	0.01	0.05	0.08	0.18	0.03	0.16	0.01	0.02	0.94	22.4	8.06
Martie – An VI	2.24	4.26	15.6	0.55	0.02	0.07	0.32	1.54	0.04	0.86	0.01	0.05	5.26	7.1	8.2
Septembrie – An VI	0.64	2.75	0.5	0.34	0.02	0.06	0.31	0.75	0.03	0.11	0.01	0.01	0.75	18.3	8.21

**Anexa 2. Indicatori analizați în vederea evaluării calității sedimentelor**

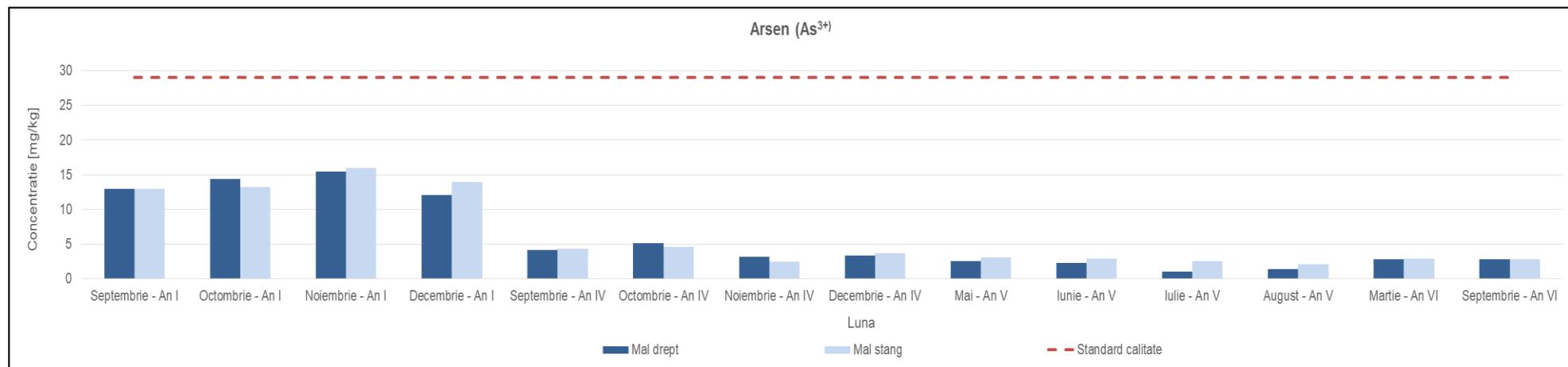


Figura A2.1. Variația indicatorului Arsen ( $\text{As}^{3+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1

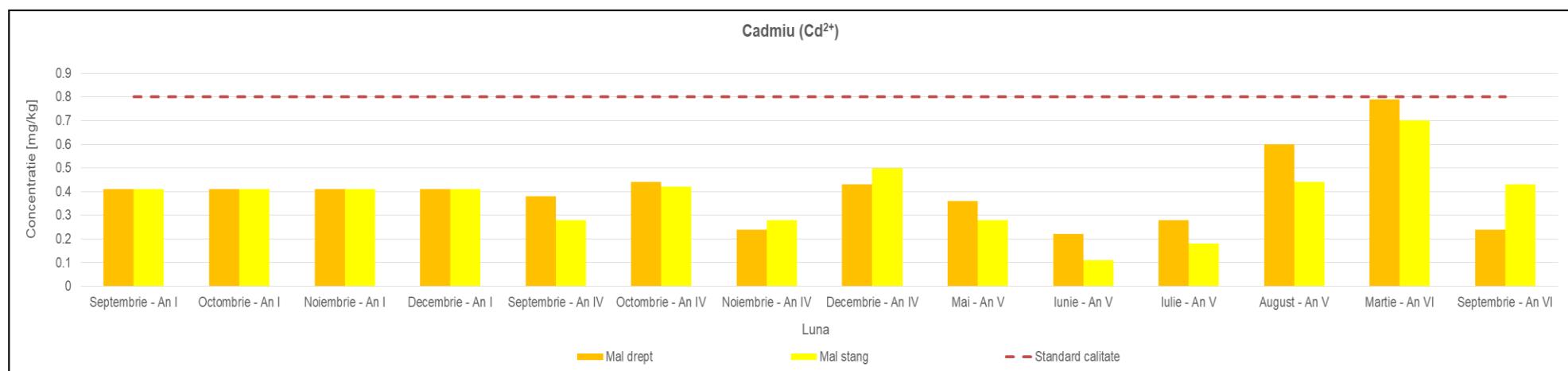


Figura A2.2. Variația indicatorului Cadmiu ( $\text{Cd}^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1

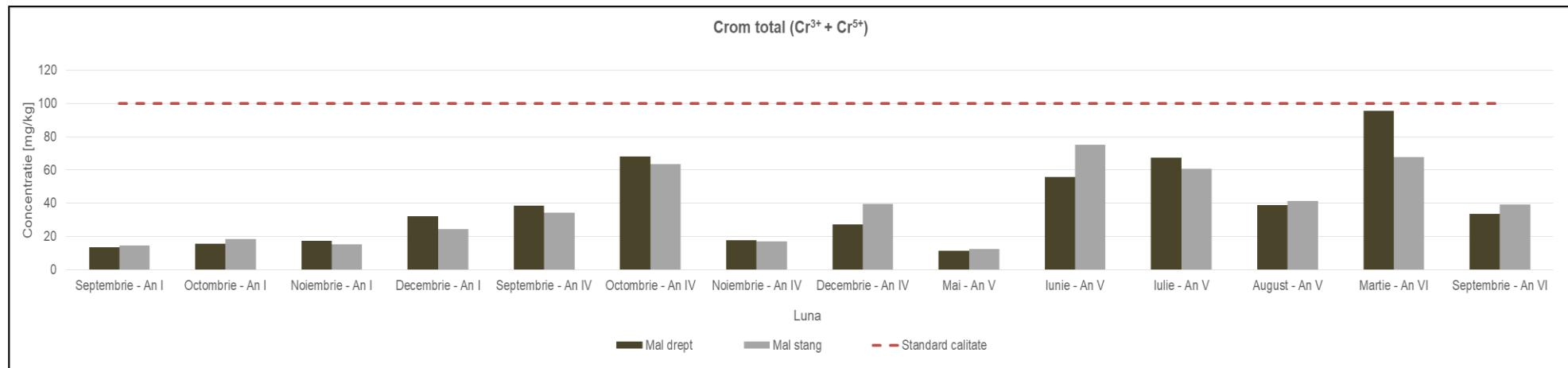


Figura A2.3. Variația indicatorului Crom total ( $\text{Cr}^{3+} + \text{Cr}^{5+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1

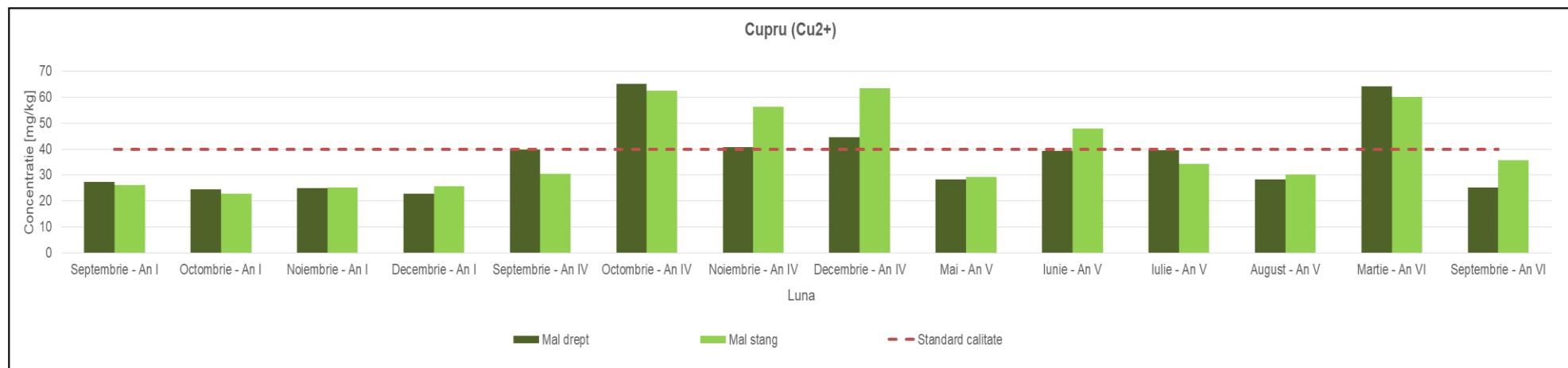


Figura A2.4. Variația indicatorului Cupru ( $\text{Cu}^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1

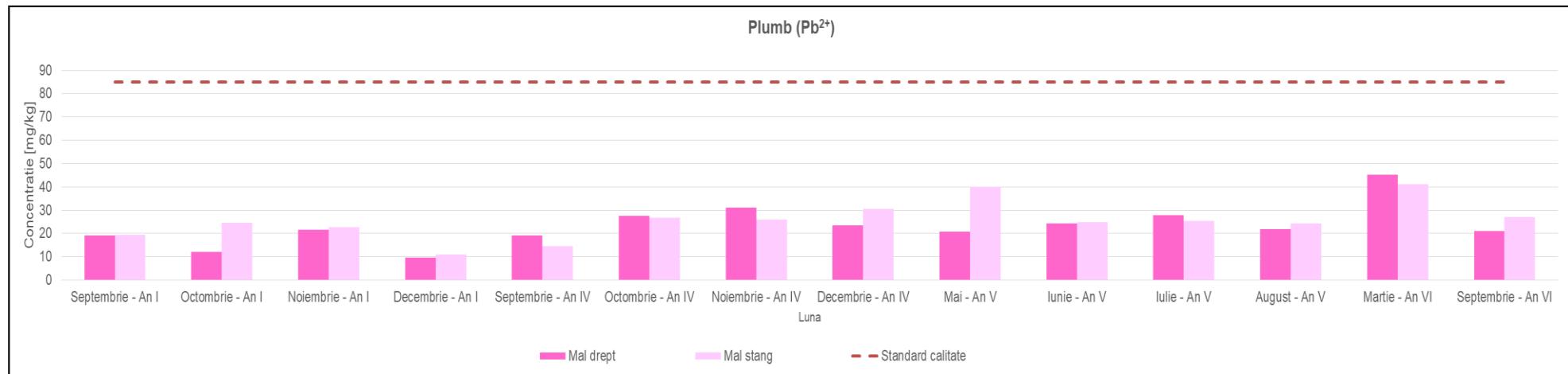


Figura A2.5. Variația indicatorului Plumb ( $Pb^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1

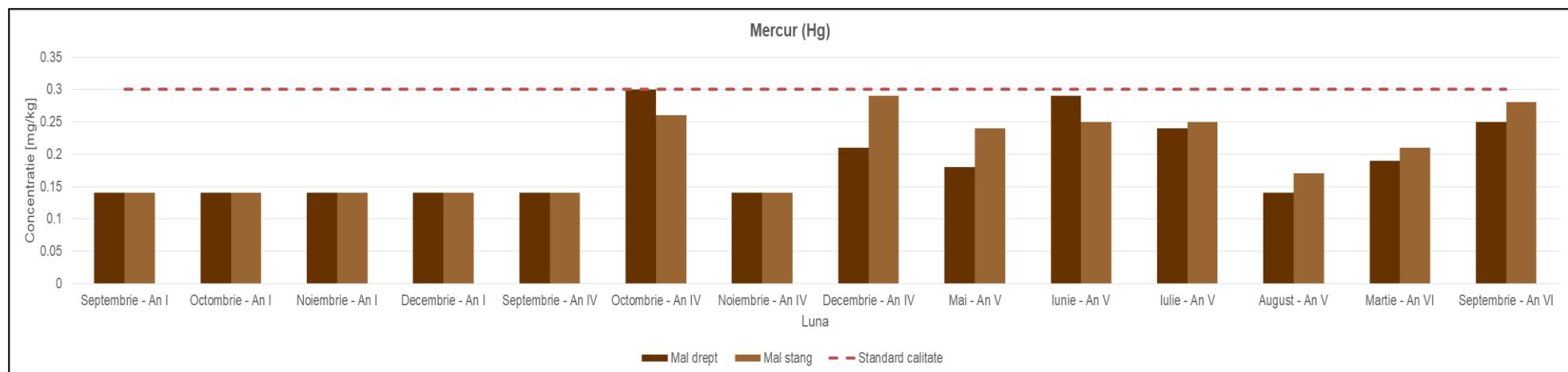


Figura A2.6. Variația indicatorului Mercur (Hg) în perioada analizată – Secțiunea 1

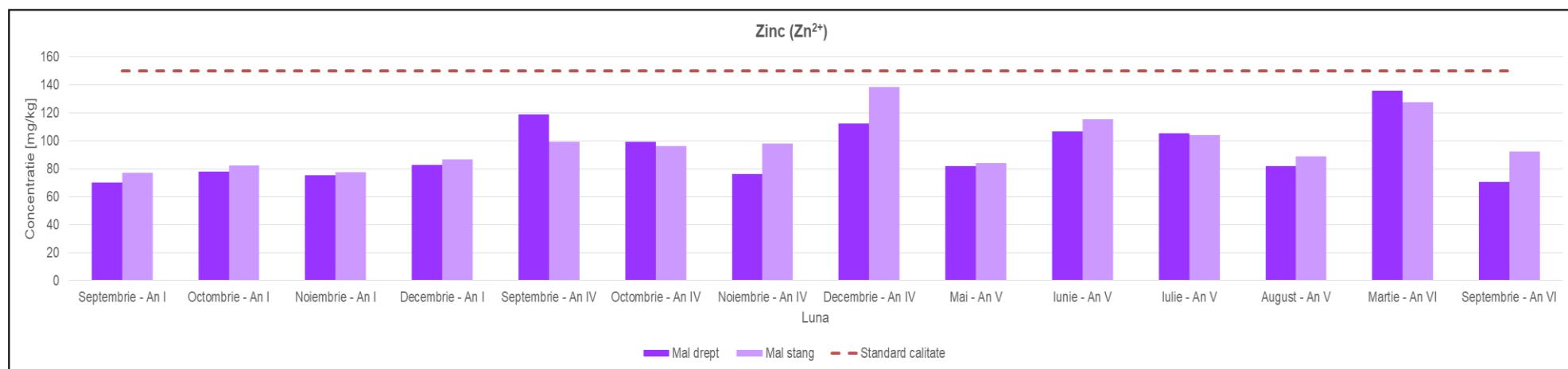


Figura A2.7. Variația indicatorului Zinc ( $Zn^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1

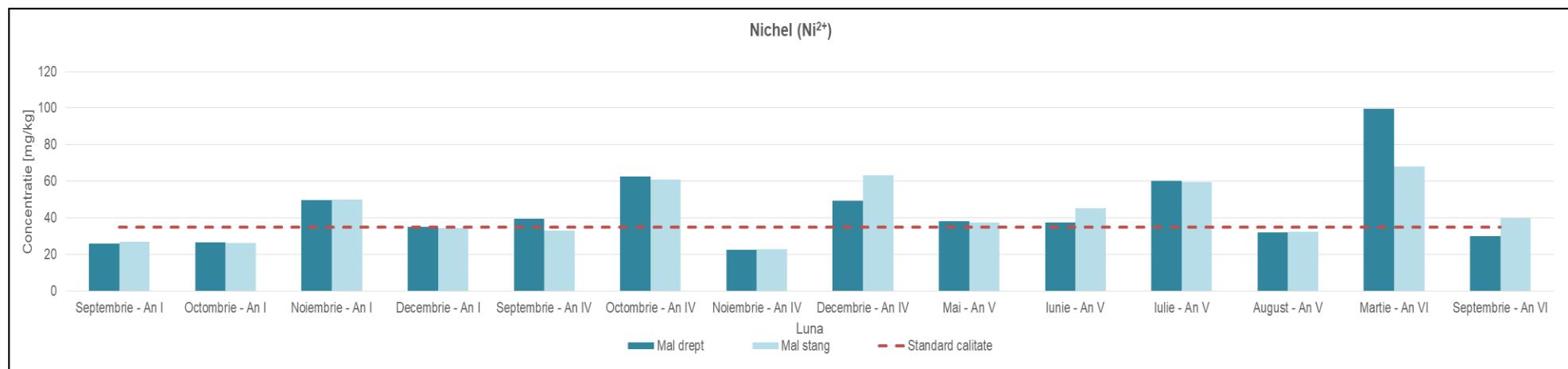


Figura A2.8. Variația indicatorului Nichel ( $Ni^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 1

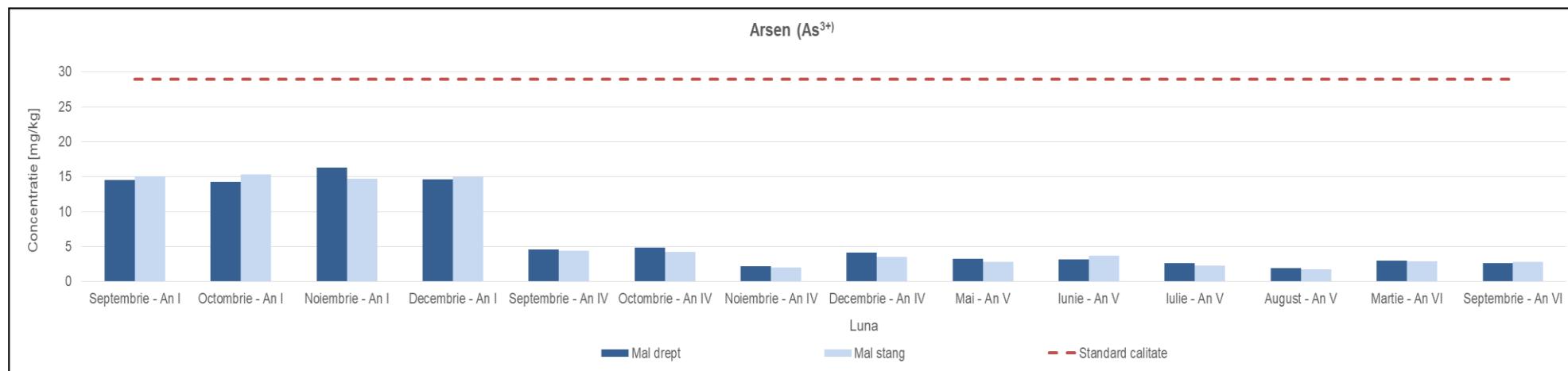


Figura A2.9. Variația indicatorului Arsen ( $\text{As}^{3+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2

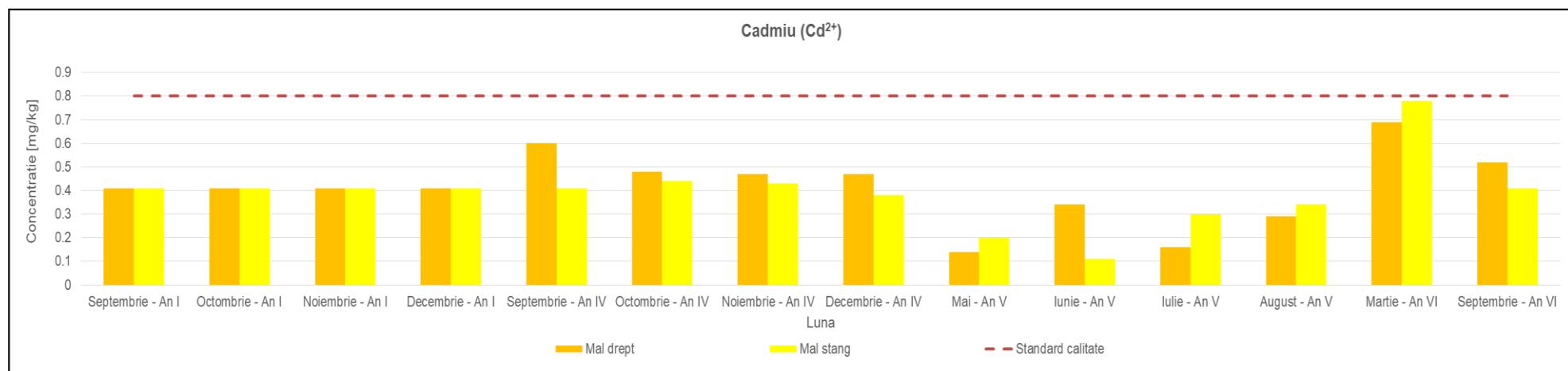


Figura A2.10. Variația indicatorului Cadmiu ( $\text{Cd}^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2

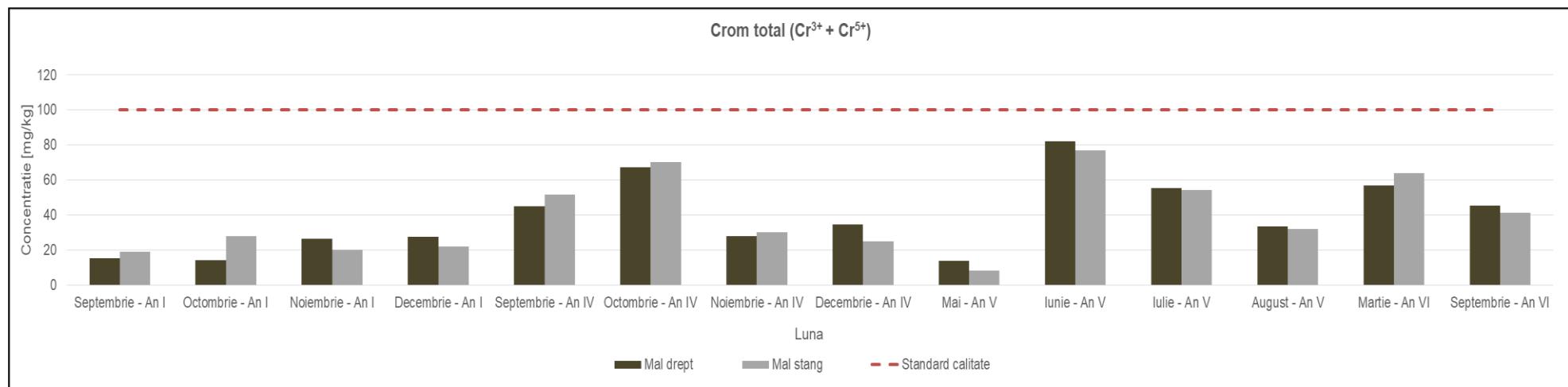


Figura A2.11. Variația indicatorului Crom total ( $\text{Cr}^{3+} + \text{Cr}^{5+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2

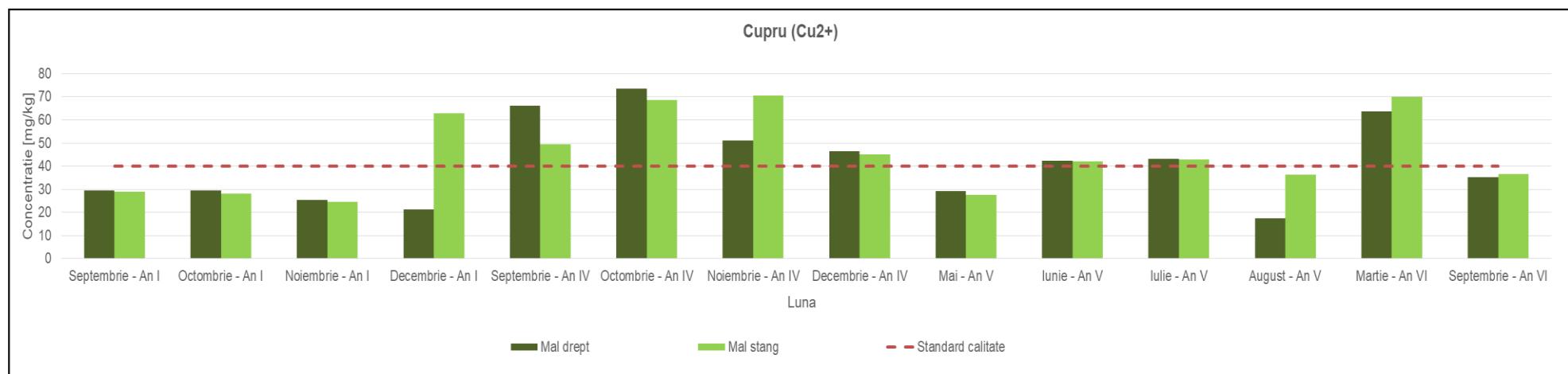


Figura A2.12. Variația indicatorului Cupru ( $\text{Cu}^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2

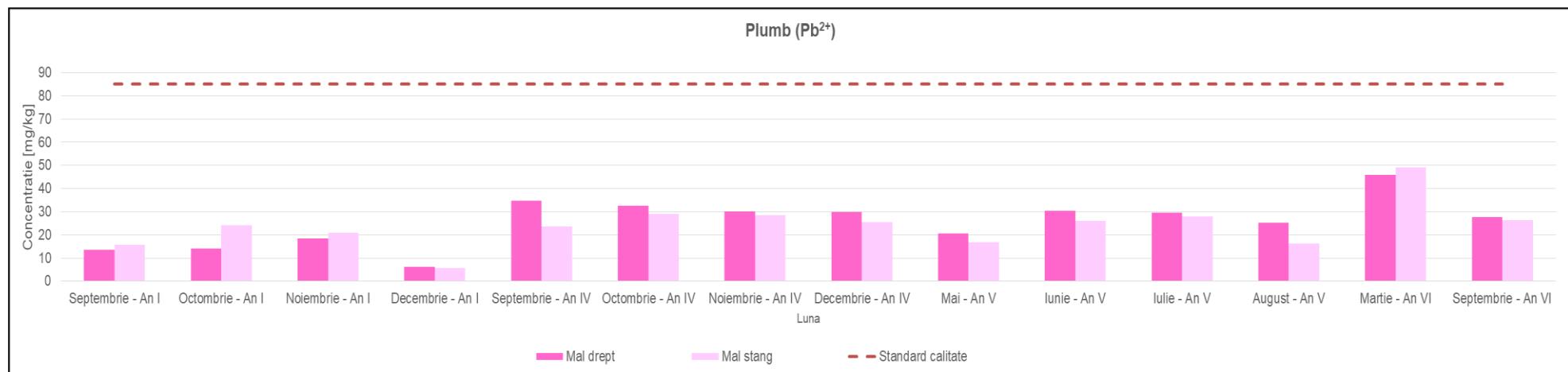


Figura A2.13. Variația indicatorului Plumb ( $\text{Pb}^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2

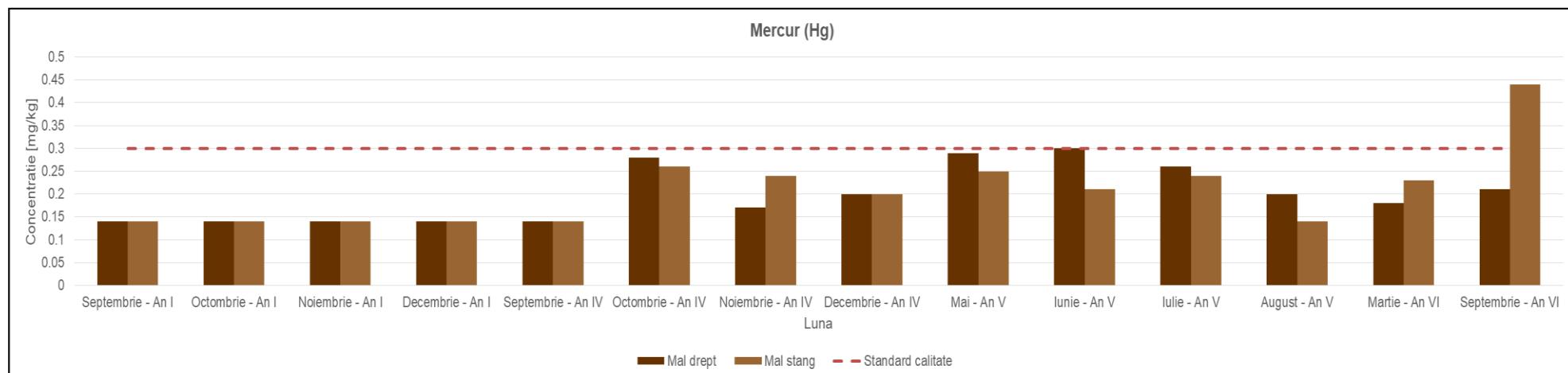


Figura A2.14. Variația indicatorului Mercur (Hg) în perioada analizată – Secțiunea 2

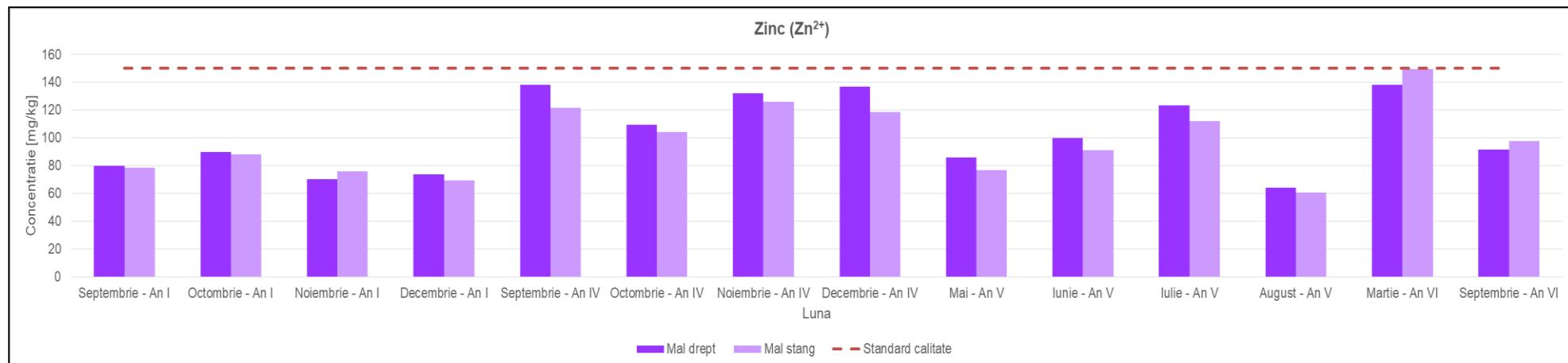


Figura A2.15. Variația indicatorului Zinc ( $Zn^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2

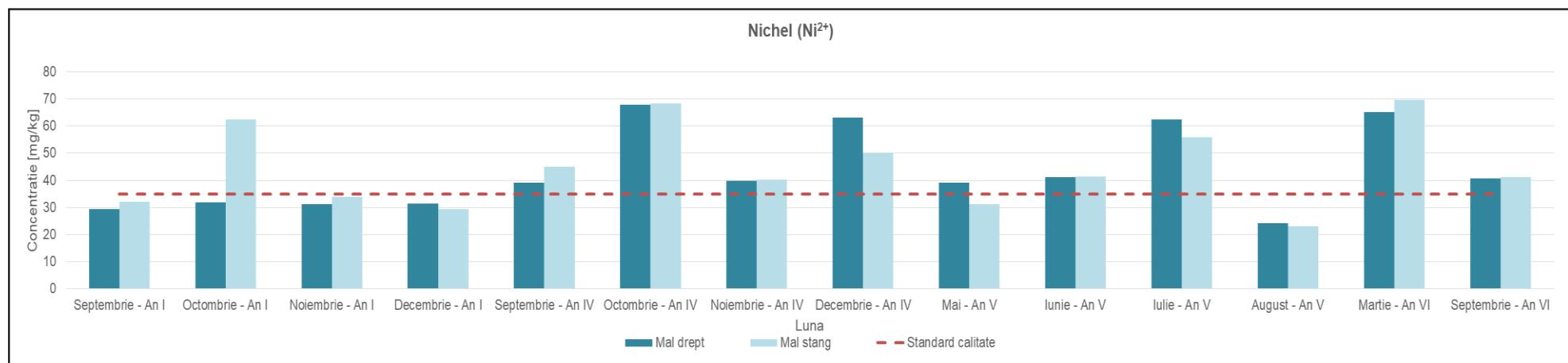


Figura A2.16. Variația indicatorului Nichel ( $Ni^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 2

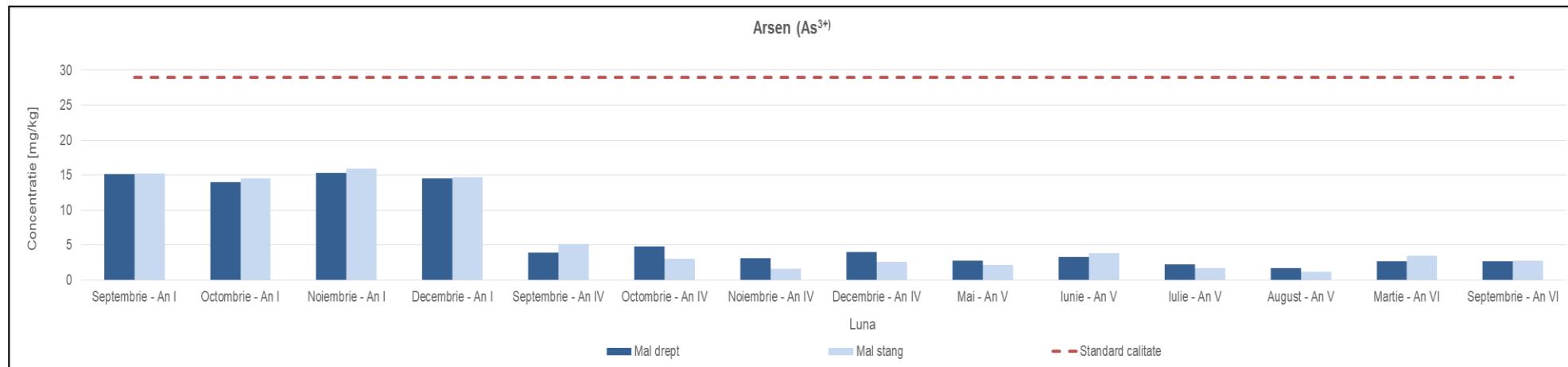


Figura A2.17. Variația indicatorului Arsen ( $\text{As}^{3+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3

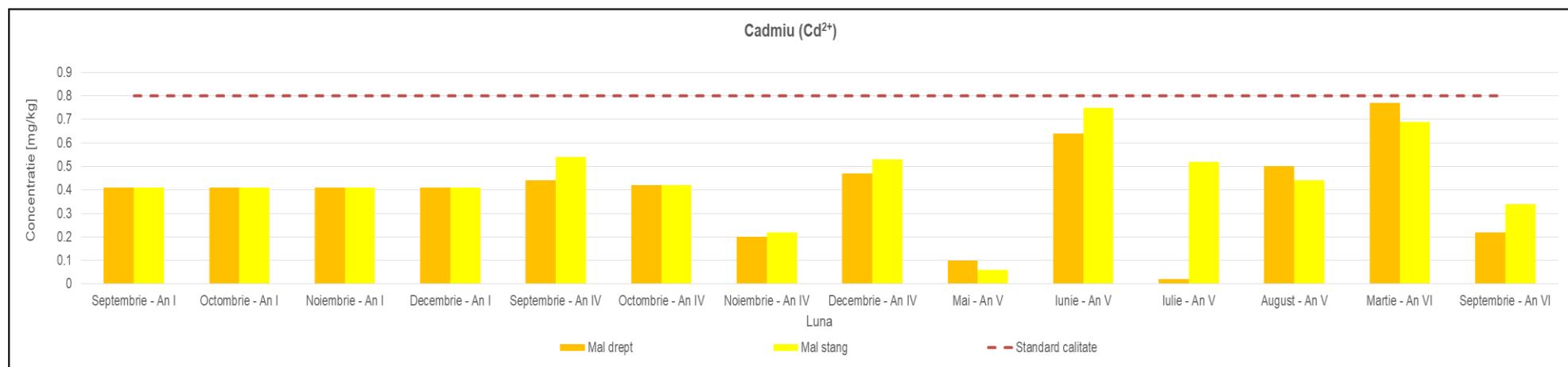


Figura A2.18. Variația indicatorului Cadmiu ( $\text{Cd}^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3

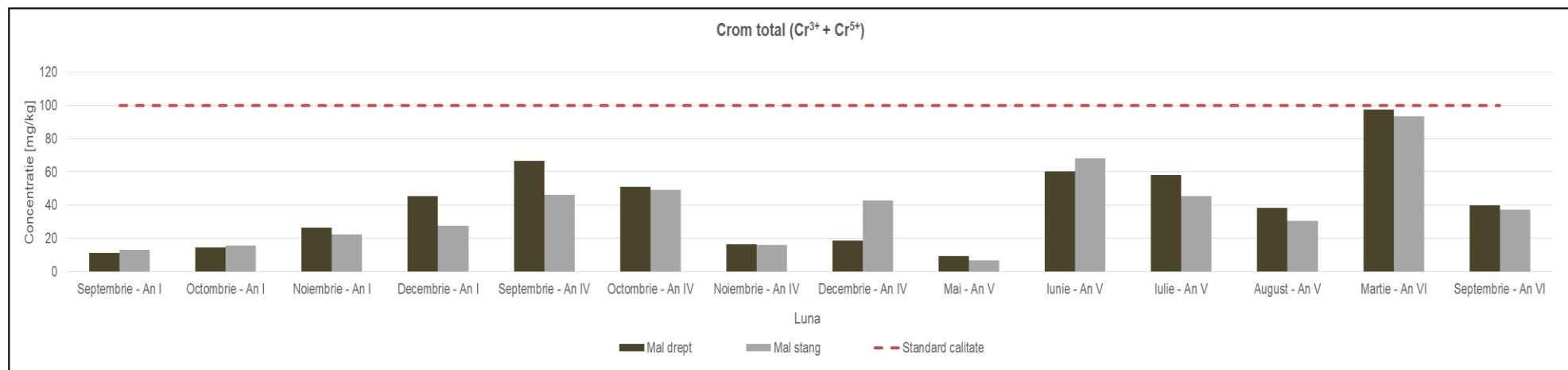


Figura A2.19. Variația indicatorului Crom total ( $\text{Cr}^{3+} + \text{Cr}^{5+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3

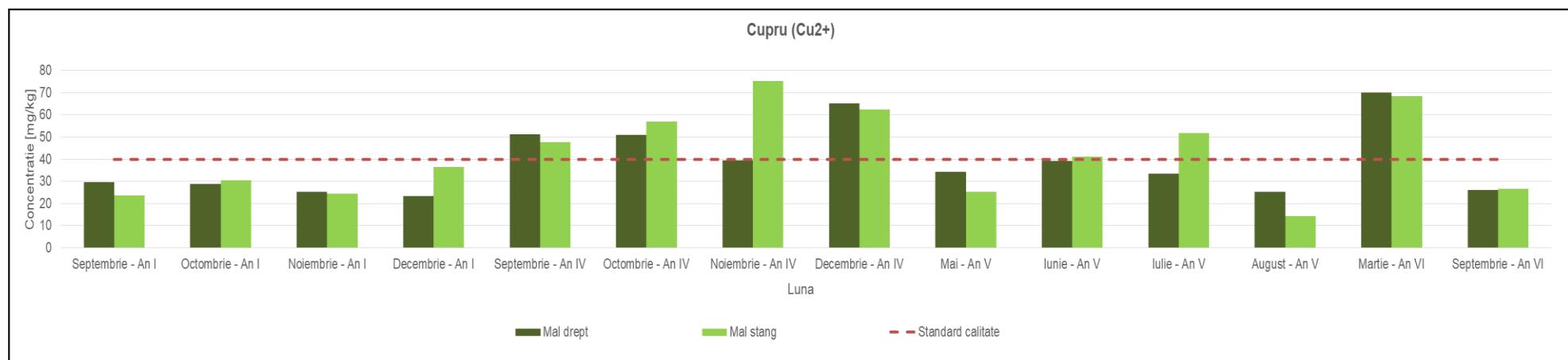


Figura A2.20. Variația indicatorului Cupru ( $\text{Cu}^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3

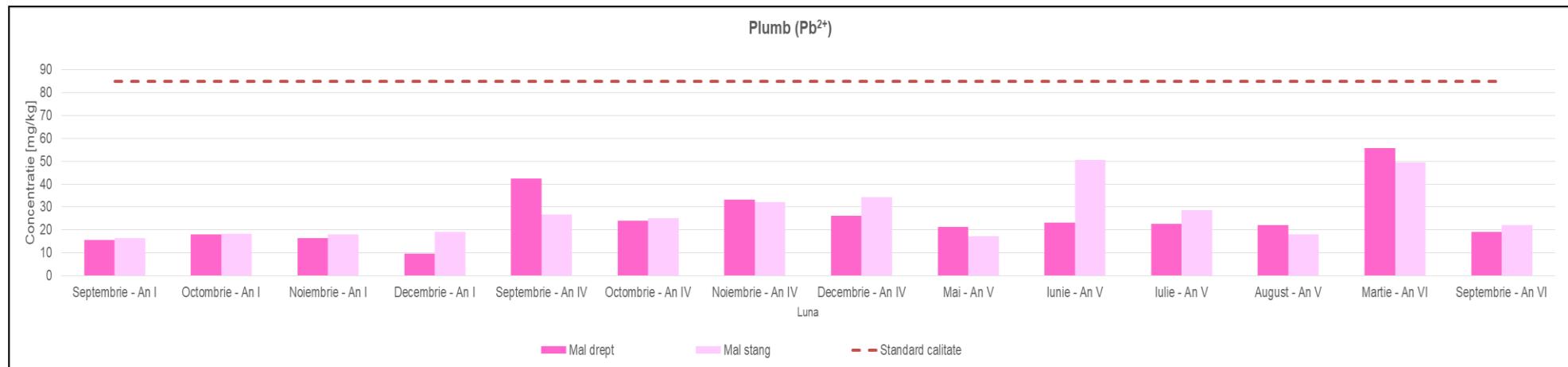


Figura A2.21. Variația indicatorului Plumb ( $\text{Pb}^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3

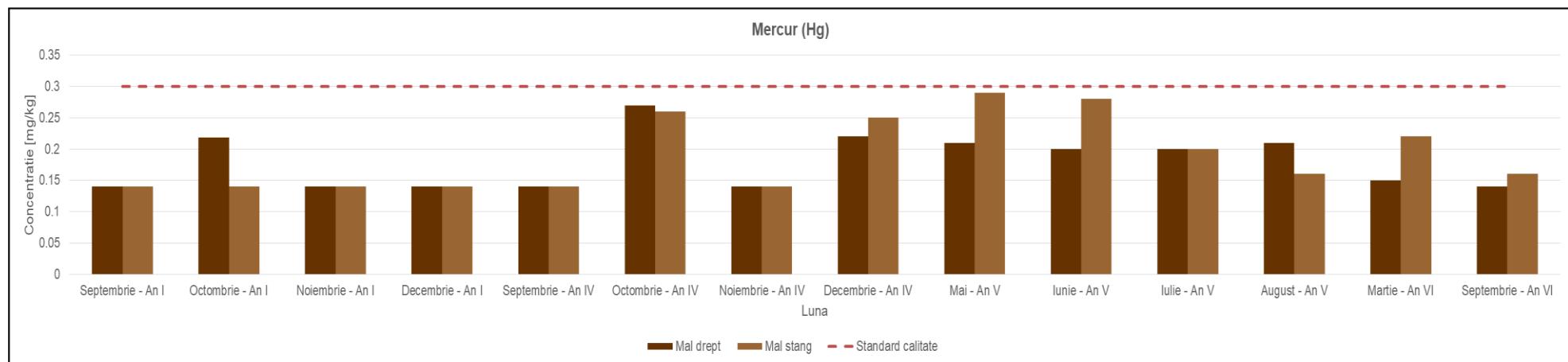


Figura A2.22. Variația indicatorului Mercur (Hg) în perioada analizată – Secțiunea 3

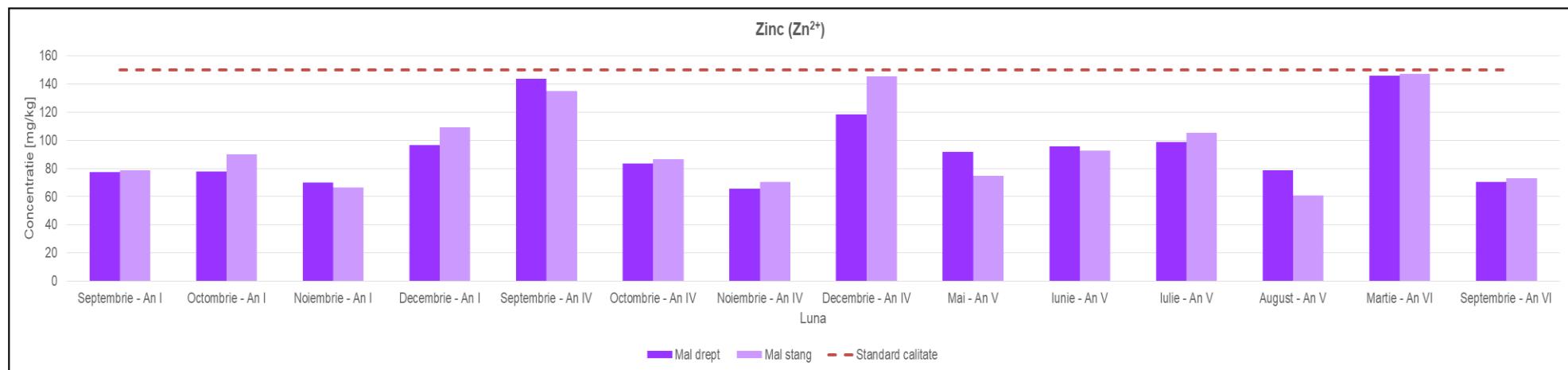


Figura A2.23. Variația indicatorului Zinc ( $Zn^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3

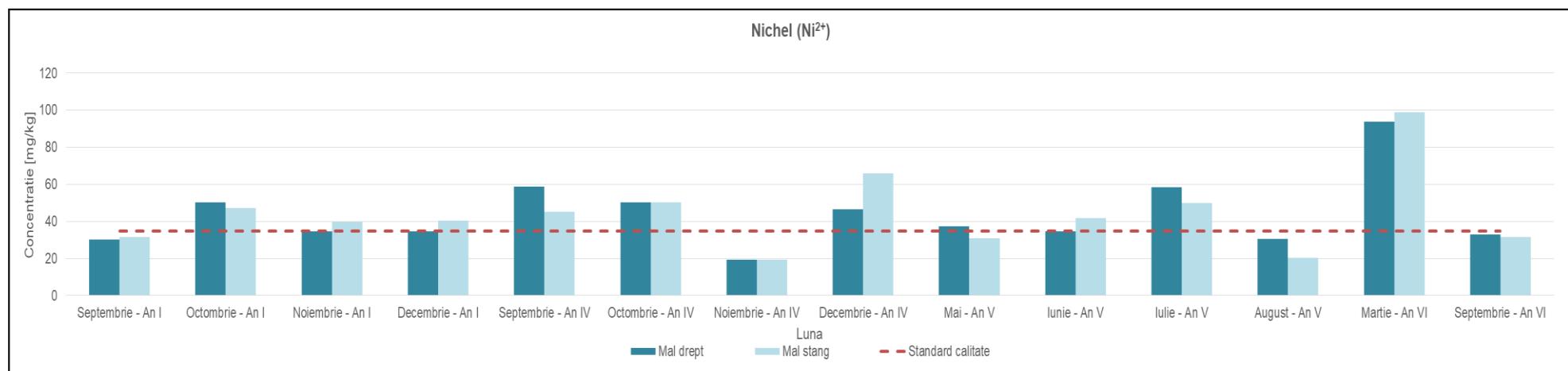
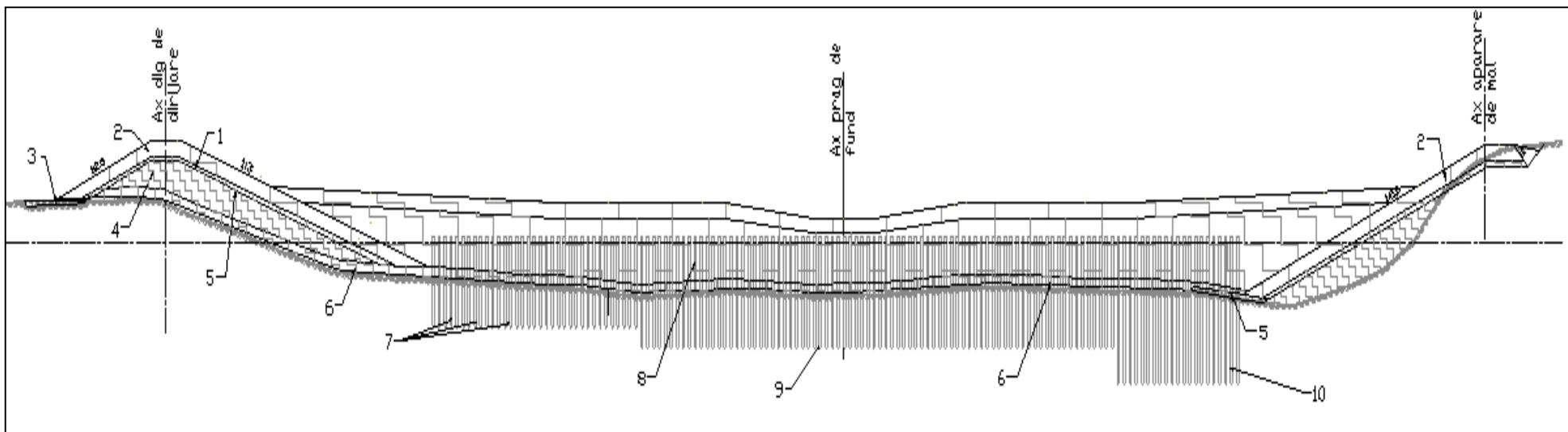


Figura A2.24. Variația indicatorului Nichel ( $Ni^{2+}$ ) în perioada analizată – Secțiunea 3

Anexa 3. Lucrări hidrotehnice – Secțiune transversală braț Bala



1. Filtru din piatră brută sortată 10-200 kg/buc, 60 cm grosime; 2. Îmbrăcăminte din blocuri de piatră 0,5 – 2 t/buc, 1,60 m grosime; 3. Strat din piatră 10-50 kg/buc, 50 cm grosime; 4. Umplutură din piatră brută sortată 10 - 500 kg/buc; 5. Saltea din două fete de geotextil TERRAFIX B813, 6100 g/mp, lestată cu strat de piatră 10 - 50kg/buc, 40 cm grosime; 6. Saci umpluți cu nisip,  $V=1,50 \text{ mc/buc}$ ; 7. Piloți din beton armat 40x40 cm,  $L=10.00 \text{ m}$ ; 8. Umplutură din piatră brută sortată 200-600 kg/buc; 9. Piloți din beton armat 40x40 cm,  $L=12.00 \text{ m}$ ; 10. Piloți din beton armat 40x40 cm,  $L=16.00 \text{ m}$ .

Figura A3.1. Elemente constructive ale construcțiilor hidrotehnice din zona de studiu – dig de dirijare, prag de fund și apărare de mal

**Anexa 4. Diferențe dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate  
în urma modelării numerice**

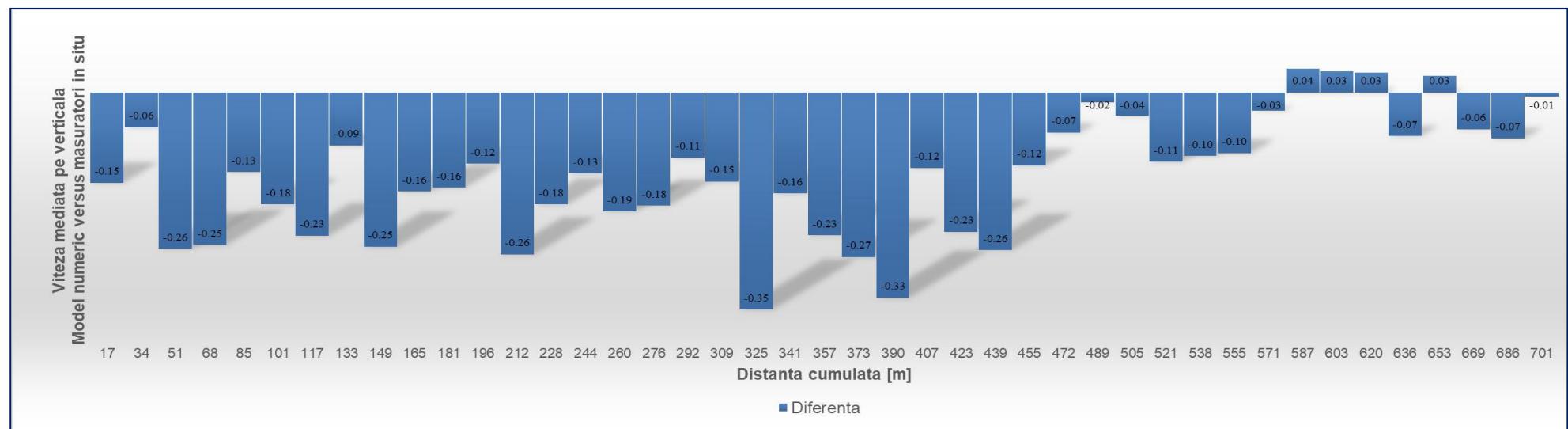


Figura A4.1. Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice, în secțiunile transversale analizate – Secțiunea transversală 1

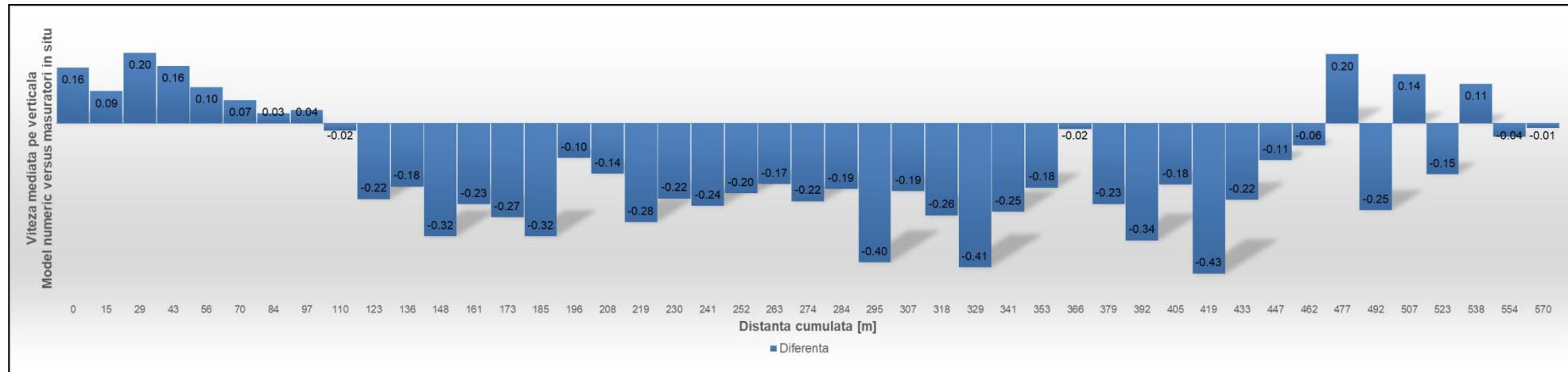


Figura A4.2. Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice, în secțiunile transversale analizate – Secțiunea transversală 2

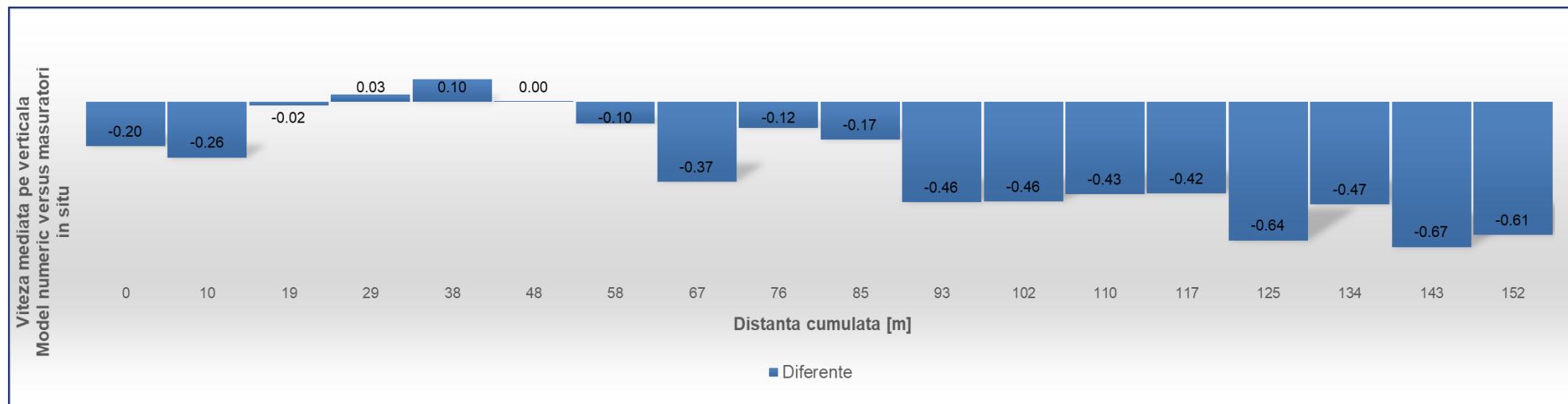


Figura A4.3. Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice, în secțiunile transversale analizate – Secțiunea transversală 3



Figura A4.4. Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice, în secțiunile transversale analizate – Secțiunea transversală 4

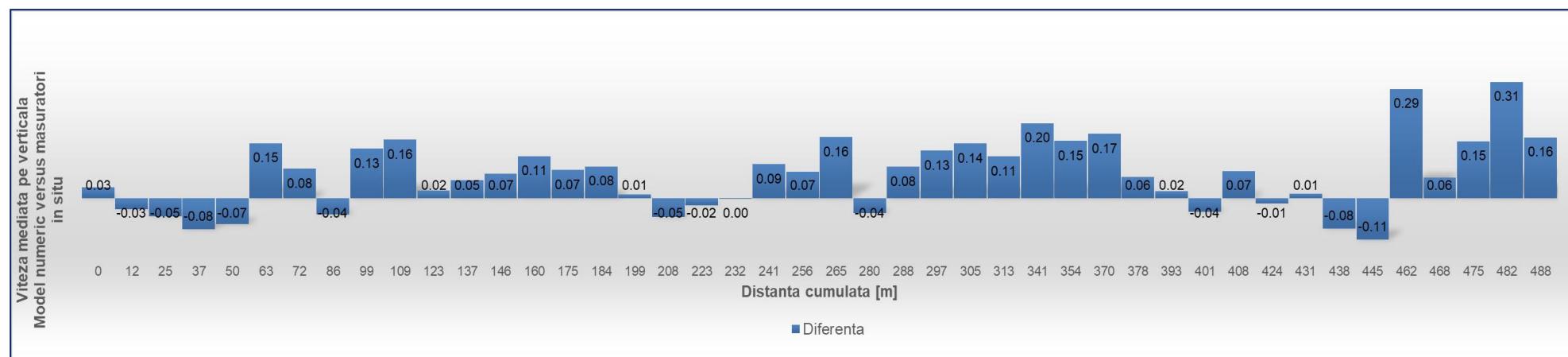


Figura A4.5. Diferențele dintre valorile mediate pe verticală ale vitezelor curentului de apă obținute în urma măsurătorilor *in situ* și cele rezultate în urma modelării numerice, în secțiunile transversale analizate – Secțiunea transversală 5

**Anexa 5. Variația concentrației de metale grele din apă și sedimente – Secțiunea 1 și Secțiunea 3**

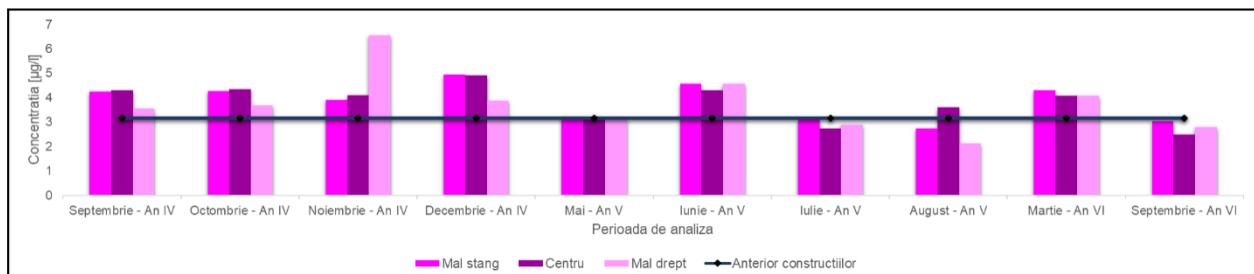


Figura A5.1. Variația concentrației de cupru în apă – Secțiunea 1

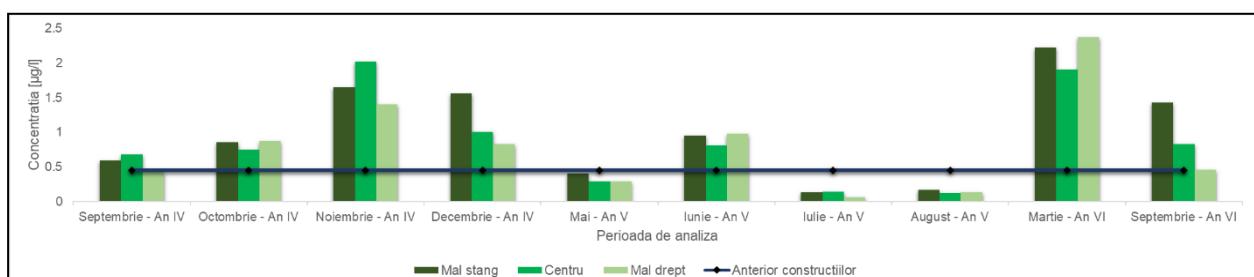


Figura A5.2. Variația concentrației de plumb în apă – Secțiunea 1

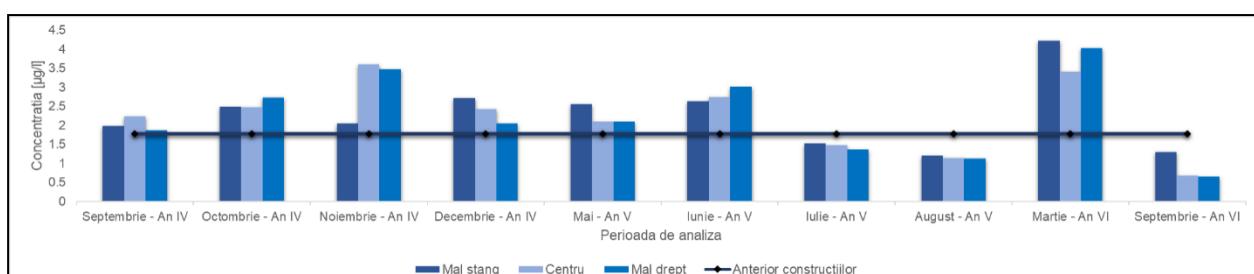


Figura A5.3. Variația concentrației de nichel în apă – Secțiunea 1

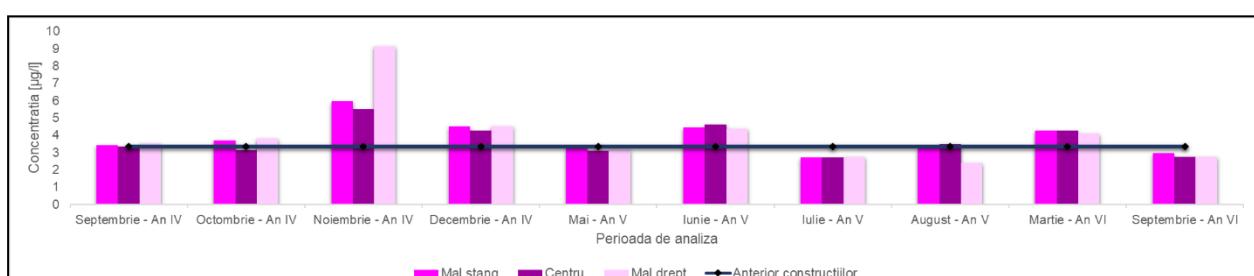


Figura A5.4. Variația concentrației de cupru în apă – Secțiunea 3

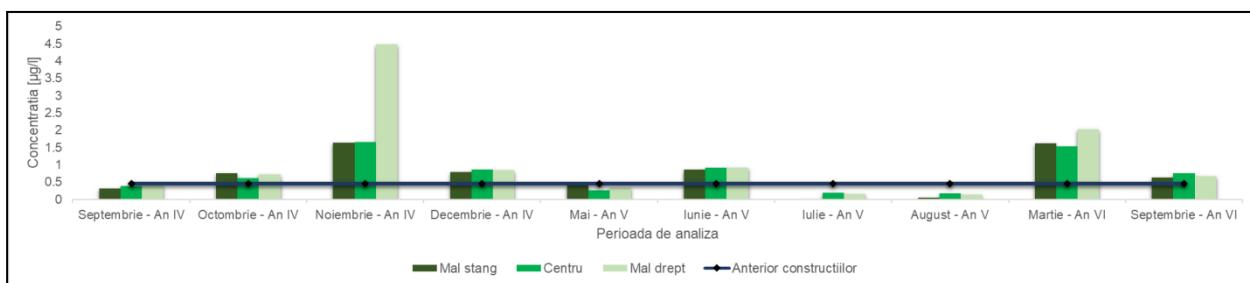


Figura A5.5. Variația concentrației de plumb în apă – Secțiunea 3

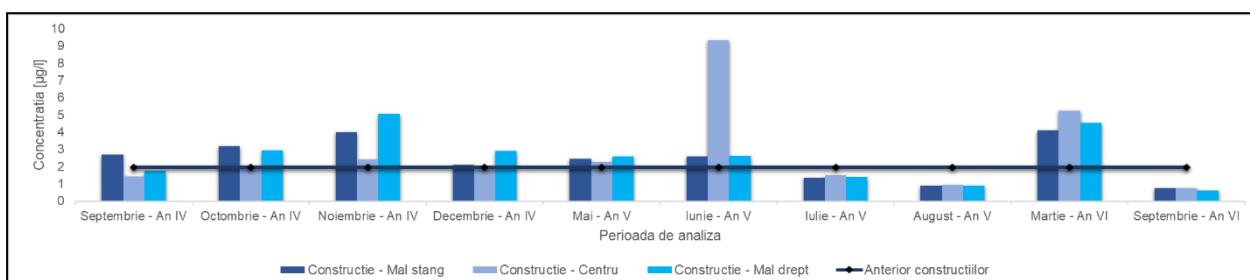


Figura A5.6. Variația concentrației de nichel în apă – Secțiunea 3

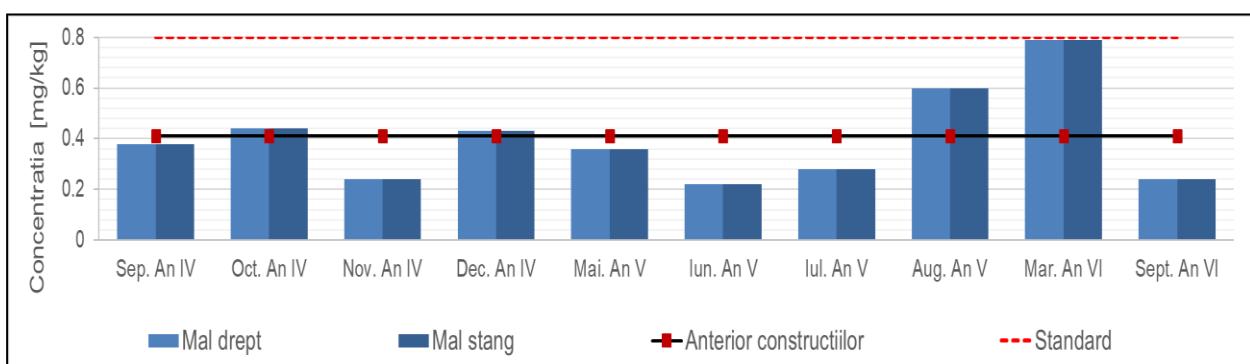


Figura A5.7. Variația concentrației de cadmiu în sedimente – Secțiunea 1

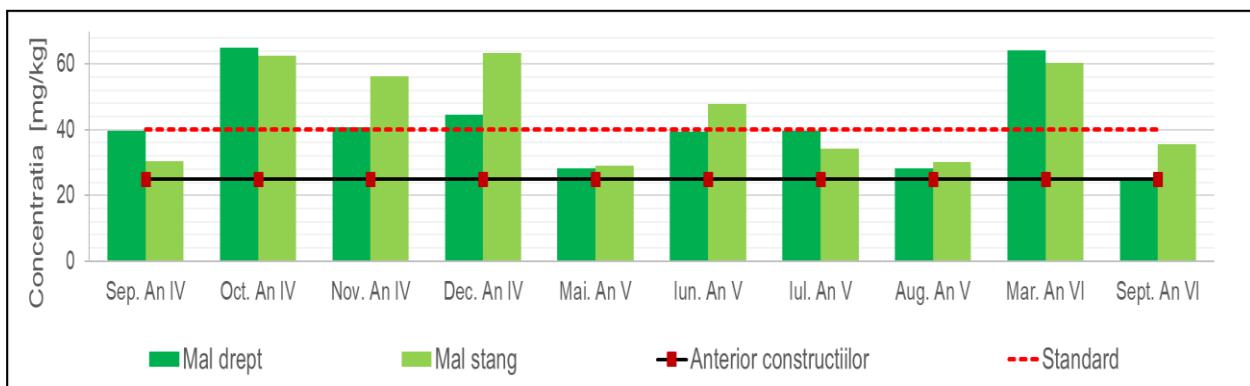


Figura A5.8. Variația concentrației de cupru în sedimente – Secțiunea 1

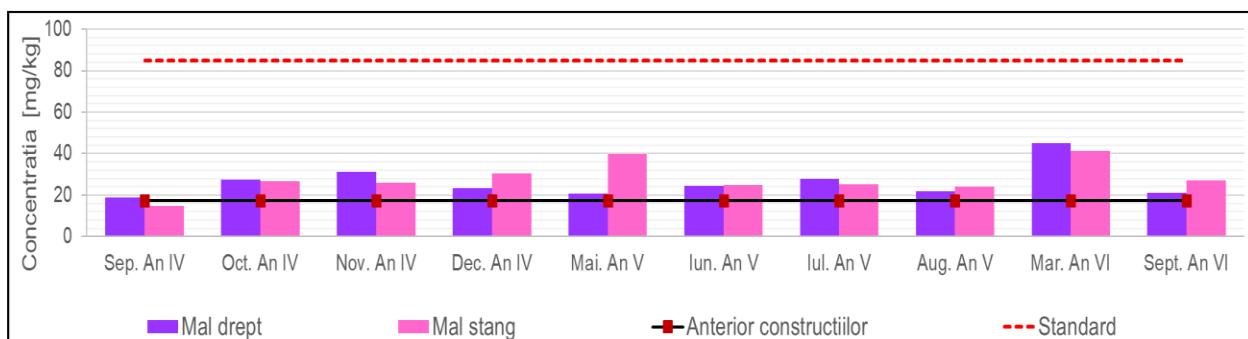


Figura A5.9. Variația concentrației de plumb în sedimente – Secțiunea 1

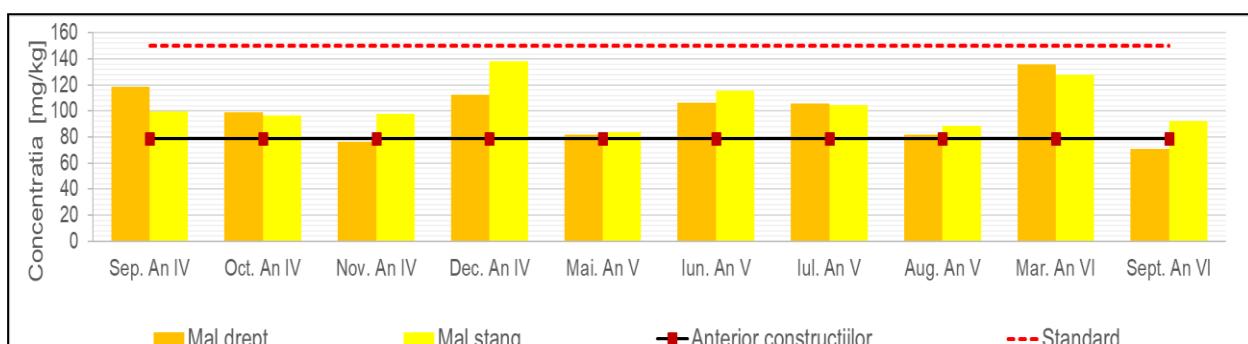


Figura A5.10. Variația concentrației de zinc în sedimente – Secțiunea 1

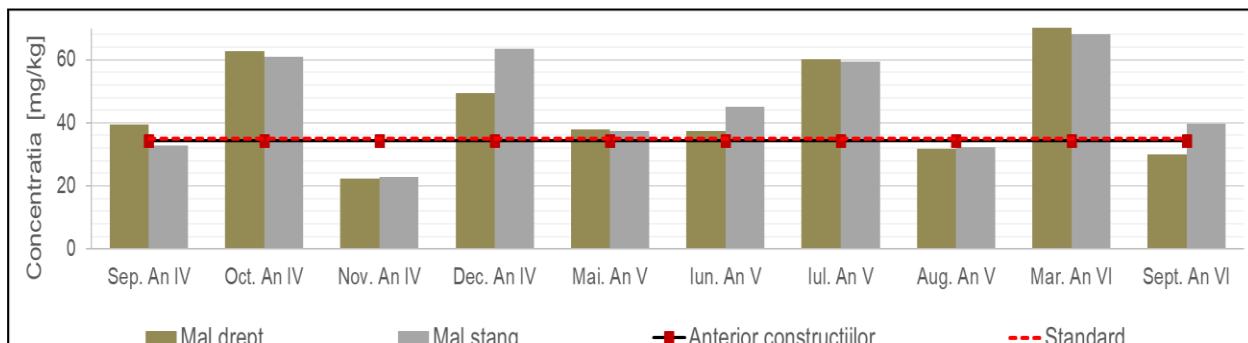


Figura A5.11. Variația concentrației de nichel în sedimente – Secțiunea 1

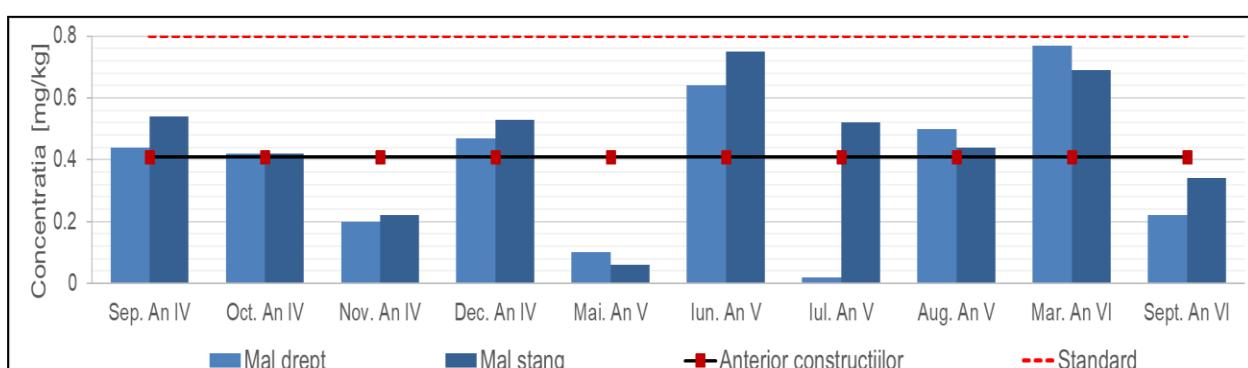


Figura A5.12. Variația concentrației de cadmio în sedimente – Secțiunea 3

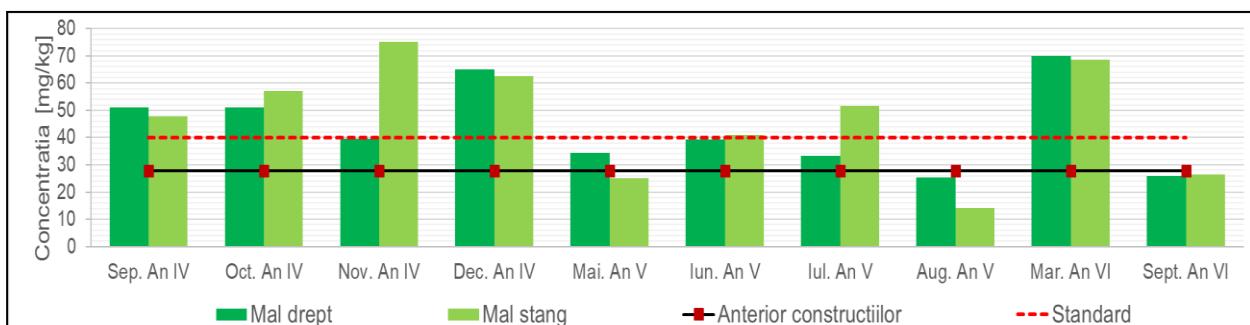


Figura A5.13. Variația concentrației de cupru în sedimente – Secțiunea 3

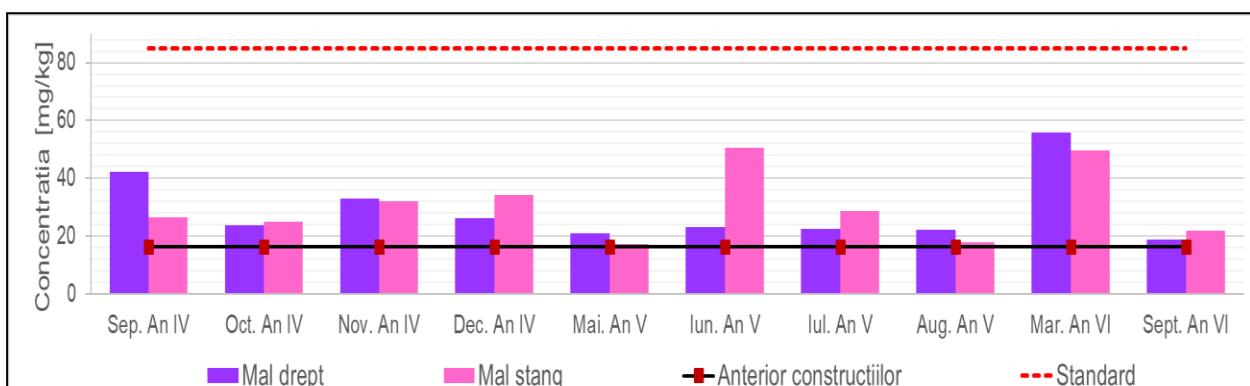


Figura A5.14. Variația concentrației de plumb în sedimente – Secțiunea 3

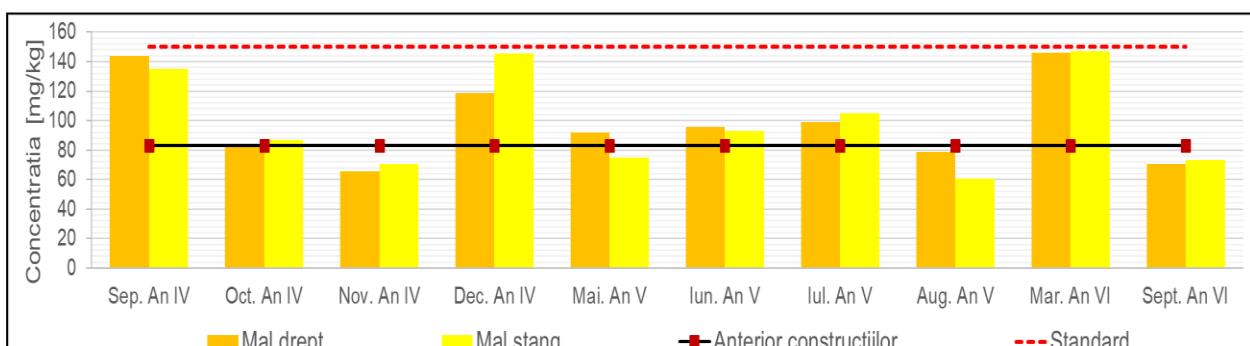


Figura A5.15. Variația concentrației de zinc în sedimente – Secțiunea 3

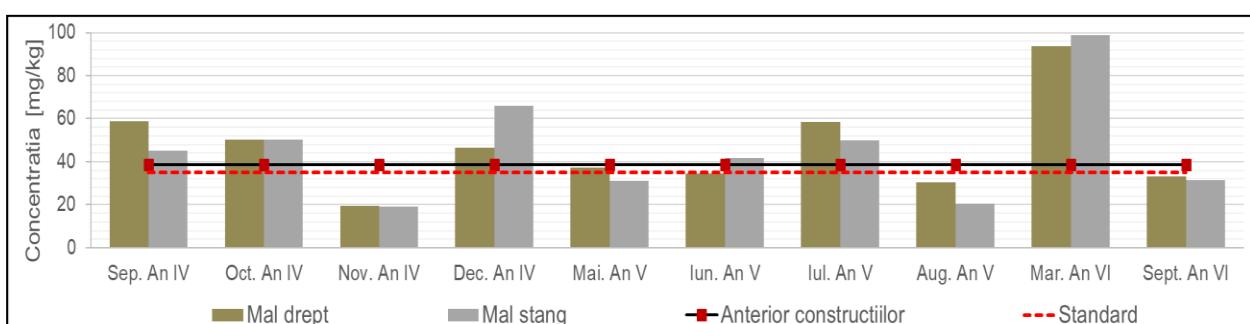


Figura A5.16. Variația concentrației de nichel în sedimente – Secțiunea 3