

UNIVERSITATEA ALEXANDRU IOAN CUZA DIN IAȘI
FACULTATEA DE GEOGRAFIE ȘI GEOLOGIE
ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOȘTIINȚE



**MODIFICAREA CONDIȚIILOR HIDRO-MORFOLOGICE ALE BRAȚULUI
SFÂNTU GHEORGHE CA URMARE A LUCRĂRILOR HIDROTEHNICE DE
REGULARIZARE A CURSULUI DE APĂ**

Rezumat teză

Coordonatori științifici:

Prof. Dr. Gheorghe Romanescu

Prof. Dr. Dan Dumitriu

Doctorand:
Trifanov Cristian

Domeniul Geografie

Iași, 2023

CUPRINS

1. Introducere	1
1.1. Obiectivele lucrării	1
1.2. Lucrările hidrotehnice pe brațele Deltei Dunării	1
1.3. Lucrările hidrotehnice ale brațului Sfântu Gheorghe.....	3
1.4. Modificări induse de rectificarea brațului Sfântu Gheorghe.....	4
2. Materiale și metode	5
2.1. Structura bazei de date	5
2.2. Colectarea și procesarea datelor hidrologice	7
2.2.1. Rețea topografică de referință.....	7
2.2.2. Date batimetrice cu sonar mono fascicol.....	8
2.2.3. Date batimetrice cu sonar multi fascicol	8
2.2.4. Date cu privire la viteza și debitul apei	12
2.2.5. Publicarea datelor in baze de date internaționale	14
2.3. Evaluarea proceselor morfodinamice din sistemele meandru-canal de rectificare...	14
2.4. Parametrii geometrici ai meandrelor.....	15
3. Analiza modificărilor hidro-morfologice ale meandrelor brațului Sfântu Gheorghe	17
3.1. Meandrul Mahmudia.....	17
3.2. Gruparea de meandre Dunavăț – Perivolovca	21
3.3. Gruparea de meandre Dranov – Erenciuc	27
3.4. Meandrul Ivancea	33
4. Discuții și Concluzii	40
5. Lista Figurilor	48
6. Lista tabelor	50
7. Bibliografie selectivă	51

1. INTRODUCERE

1.1. Obiectivele lucrării

Scopul principal al prezentei teze de doctorat este reprezentat de actualizarea informațiilor hidrologice și analiza evoluției hidromorfologice a brațului Sfântu Gheorghe pe sectoarele de meandrare și pe canalele de rectificare ale acestuia. Informațiile de referință sunt prezentate în “Studiul complex sedimentologic și geologic al modificărilor ambientale din Delta Dunării și zona litorală adiacentă determinate de amenajările hidrotehnice de pe brațul Sfântu Gheorghe pentru identificarea măsurilor de protecție a ecosistemelor deltaice și litorale” elaborat de Centrul Român de Geologie și Geoecologie Marină în 1995. Aceste date au fost transpuse în format digital și actualizate cu cele din perioade mai recente și cele colectate pe perioada studiilor doctorale. Astfel, se vor urmări patru obiective specifice, care vor consta în:

- 1) Analize morfodinamice ale malurilor brațului Sfântu Gheorghe prin studii comparative pe seturi de date provenite din aerofotogrametrie (1990, 2004, 2011 și 2018);
- 2) În vederea aprecierii gradului de echilibru morfodinamic dar totodată și pentru a caracteriza și încadra tipologiile curburilor meandrelor studiate, se va calcula raportul dintre lungimile de undă ale meandrelor și lățimea corpului de apă (rm/d) conform metodologiei R. A. Bognold 1960;
- 3) Analiza evoluției sectoarelor de meandrare ale brațului prin studii comparative ale secțiunilor batimetrice istorice și actuale. Totodată se va realiza și analiza repartiției debitelor de apă prin valorificarea informațiilor provenite din literatura de specialitate și a determinărilor în teren prin măsurători batimetrice cu sonare unic (single beam) și multi fascicol și ale debitelor și vitezelor apei prin măsurători cu tehnica doppler.
- 4) Determinări morfometrice actuale ale meandrelor și cercetarea posibilității corelării anumitor valori, evidențiate prin determinarea coeficienților de regresie și a gradului de confidență al acestora.
- 5) În baza rezultatelor obținute ca urmare a analizelor și discuțiilor, se vor propune ipoteze de evoluție a acestor meandre și grupări de meandre.

1.2. Lucrările hidrotehnice pe brațele Deltei Dunării

Configurația morfohidrografică și peisagistică a evoluat în mod natural până în a doua jumătate a secolului al XIX-lea, odată cu înființarea Comisiei Europene a Dunării (1856). În condiții naturale, procesele predominante erau reprezentate, pe de o parte, de colmatare în interiorul deltei, ca rezultat al aportului de sedimente din Dunăre și, de cealaltă parte, de descompunerea organică, de modelarea eoliană a grindurilor marine nisipoase, de formarea cordoanelor litorale și a deltelor secundare la gurile de vărsare ale brațelor Chilia și Sfântu Gheorghe.

Înființarea Comisiei Europene a Dunării (CED) în 1856 a avut un impact semnificativ asupra brațului Sulina, care a fost selectat în urma măsurătorilor topohidrografice efectuate în anii 1857-1858 sub conducerea inginerului Sir Charles Hartley, pentru a fi amenajat în vederea navigației fluvio-marine. Acest eveniment a generat modificări importante în arealul Deltei Dunării, concentrându-se în special asupra brațului Sulina.

În vederea atingerii acestui obiectiv, s-au efectuat lucrări de regularizare a unor meandre precum Maliuc și "Marele M", reprezentând Dunărea Veche, care au redus distanța navigabilă de la 83,4 km la 62,6 km și au adâncit albia până la minim 7,9 m (24 de picioare), pentru a permite circulația navelor cu un tonaj maritim de până la 55000 tdw. Lucrările de amenajare au început în anul 1858 și au fost finalizate în 1902. O modificare deosebit de importantă a constat în regularizarea grupării de meandrare "Marele M", eveniment marcat inițial de prezența regelui Carol I, în timpul începerii lucrărilor. Ulterior, în anul 1989, a fost reconstruit un obelisc pe malul stâng, în zona Crișan (Mila 13), pe care se află o placă de cupru cu inscripția originală, având următorul conținut: „Cette colonne a été élevée en l'honneur de Sa Majesté Charles I-er, roi de la Roumanie qui le 5/17 mai 1894 a daigne inaugurer la coupure du 8e au 18 milliaire” (Acest monument a fost ridicat în onoarea Majestății Sale Carol I, Regele României, care la 5/17 mai 1894 a binevoit să inaugureze a opta taietura la mila 18) (Gâștescu, 2006).

Pentru a permite navigația navelor de tonaj maritim pe Dunăre până la Brăila, a fost necesară și continuă realizarea unor lucrări importante de întreținere, precum consolidarea malurilor și menținerea adâncimii de minim 7,9 m pe șenalul brațului Sulina.(Gâștescu, 2006).

Brațul Sfântu Gheorghe a fost supus rectificării meandrelor în perioada 1986-1993, având ca rezultat scurtarea sa de la 108,2 km la 69,7 km. Navigația fluvială pe acest braț se desfășoară cu nave care au un pescaj de până la 3,5 m. Procesul de rectificare a brațului prin recalibrarea graduală a sectoarelor afectate determină o creștere a pantei de scurgere și a debitului lichid și solid. De asemenea, prin debușarea unui volum mai mare de aluviuni la gura de vărsare, se reduce procesul de abraziune asupra țărmului (inclusiv a insulei Sacalin) (Gâștescu, 2006; Dobraca *et al.*, 2006).

Brațul Chilia, având elemente morfometrice și hidrologice semnificative (350 - 450 m lățime, adâncime medie de 10 m, reprezentând 60% din debitul Dunării), nu a fost subiectul unor amenajări speciale pentru navigație, care în mod obișnuit este de tip fluvial. Situația s-a schimbat radical atunci când a început amenajarea brațului Chilia în continuarea brațului secundar Bîstroe pentru navigație fluvio-maritimă (Filip și Giosan, 2014).

În cadrul Deltei Dunării, au avut loc numeroase modificări în rețeaua hidrografică, în special, în ceea ce privește gârlele și canalele, a căror evoluție a fost influențată de exploatarea resurselor naturale (pește, stuf, lemn, etc.), precum și de nevoia de a scurta căile de transport pe apă. În acest context, se poate observa o ierarhizare temporală a modificărilor, unde primele intervenții au fost realizate în vederea valorificării resursei piscicole, urmate de exploatarea stufului, iar mai târziu, de amenajări agricole (Gâștescu, 2006; Bauman, 2006).

Primele modificări în rețeaua hidrografică internă a Deltei, în vederea îmbunătățirii productivității piscicole într-un mediu natural, au fost inițiate de către hidrobiologul Grigore Antipa. În intervalul 1900 – 1935, la recomandarea acestuia, s-au construit mai multe canale pentru facilitarea circulației apei între brațele Dunării, complexe lacustre din zona deltei și Complexul lacustru Razim - Sinoie (Gâștescu, 2006; Bauman, 2006).

Printre canalele cele mai semnificative amintim: Dunavăț (inițial numit Canalul Regele Carol I), construit în anul 1907; Enisala (inițial numit Canalul Elisabeta), inaugurat la data de 12 octombrie 1913; Dranov (cunoscut și sub denumirea de Canalul Ferdinand), realizat între anii 1912 și 1914, care leagă brațul Sfântu Gheorghe de lacul Razim, permițând astfel navigația ambarcațiunilor de pescuit și, ulterior, a celor turistice spre Complexul lacustru Razim-Sinoie; Litcov (cunoscut ca și Canalul Carol II), construit în perioada 1929-

1932; Crasnicol (numit și Canalul Voievodul Mihai), realizat între anii 1930 și 1934; Sireasa, un canal paralel cu brațul Sulina, care facilitează accesul ambarcațiunilor de pescuit și turistice în complexul lacustru Sireasa-Fortuna (Gâștescu, 2006, Bauman 2006).

Până în anul 1950 s-au mai realizat următoarele canale: Magearu, Eracle - Batacu, Roșuleț - Împutița, Buhaz, Ciotic, precum și în depresiunea Pardina - Ceamurlia, canalele Gotca, Iacob - Batacu. Între anii 1950 și 1956 au fost construite canalele II și V pe Grindul Lupilor, care au fost ulterior modernizate prin utilizarea de stăvilare după anul 1970. În această perioadă, lacurile Razim și Golovița au fost transformate în rezervoare pentru irigații, iar Gura Portiței a fost închisă. Legătura dintre Complexul lagunar Razim-Sinoie și Marea Neagră a rămas asigurată, doar prin intermediul canalului Periboina, amenajat în anul 1985 pentru a reglementa schimbul de apă între lacul Sinoie și Marea Neagră. (Gâștescu, 2006; Bauman, 2006).

După anul 1980, implementarea politicilor de exploatare integrală a resurselor naturale disponibile în teritoriul rezervației a condus la dezvoltarea de infrastructuri stufile, piscicole, agricole și silvice, care au implicat construcția de canale în zonele de interes economic, adesea fără o fundamentare solidă. Printre acestea se menționează: canalul Crișan - Caraorman, care conectează brațul Sulina cu localitatea Caraorman și facilitează accesul navelor de transport (barje de 2 000 și 3 000 de tone) pe acest traseu; canalul Mila 35, care leagă brațul Tulcea de brațul Chilia și are rolul de a scurta distanța navigabilă între portul Tulcea și porturile de pe brațul Chilia; precum și tăierea unui număr mare de canale de lungimi reduse, destinate asigurării accesului navelor și transportului stufului către depozitele stufile sau de aducțiune a apelor către amenajările piscicole sau punctele de captare a apelor pentru sistemele de irigații (Gâștescu, 2006; Bauman 2006)

1.3. Lucrările hidrotehnice ale brațului Sfântu Gheorghe

În intervalul 1983-1989, în Delta Dunării au fost realizate extinse lucrări hidrotehnice și de amenajare a teritoriului, conform prevederilor cunoscute sub numele de "Program de transformare și exploatare integrală a deltei". Aceste lucrări au avut ca principal obiectiv transformarea unor suprafețe extinse din interiorul deltei în terenuri agricole, însă au avut un impact semnificativ și, în cea mai mare parte, negativ asupra echilibrului ecologic al acestei regiuni unice din Europa. Printre măsurile propuse de acest program se numără și regularizarea cursului brațului Sfântu Gheorghe, prin săparea unor canale cu adâncimi de 7-8 m și lățimi de 75-100 m, cu scopul de a corecta majoritatea meandrelor precum: Mahmudia, kilometrii 84-64; Dunavățul de sus, kilometrii 58-54; Dunavățul de jos, kilometrii 54-50; Dranov, kilometrii 44-39; Erenciuc, kilometrii 38-30; Ivancea, kilometrii 20-16, astfel încât să se reducă lungimea brațului cu aproximativ 32 Km. Lucrările au fost inițiate în anul 1986 și finalizate în 1993. În anul 1988, doar canalul de rectificare a meandrului Dunavățul de Jos (kilometrii 54-50) a fost finalizat, în timp ce la celelalte canale s-au executat doar canalele de profil. În anul următor, 1989, au fost finalizate canalele de rectificare Mahmudia (kilometrii 84-64) și Dunavățul de Sus (kilometrii 58-54). În anul 1990, lucrările au continuat prin finalizarea canalului de rectificare Ivancea (kilometrii 20-16) și execuția parțială a canalului de rectificare a meandrului Dranov (kilometrii 44-39). În anul 1991, canalul de rectificare a meandrului Dranov a fost finalizat, iar în anul 1992 au fost continuate lucrările la rectificarea meandrului Erenciuc (kilometrii 38-30) (Panin și Overmars, 2012; Popa, 1997; Popa *et al.*, 1995).

În anul 1988 a fost inițiat și abordat un studiu complex privind modificările morfologice, hidrologice, geologice, pedologice etc. ale Deltei Dunării și zonei litorale, în

urma rectificării meandrelor brațului Sfântu Gheorghe. Institutul de Geologie și Geofizică, prin Laboratorul de Geologie Marină și Sedimentologie și ulterior Centrul Român de Geologie și Geoecologie Marină, a fost implicat în acest studiu, pentru cercetarea prin metode specifice (geologice, sedimentologice, geofizice, teledetecție etc.) a modificărilor și evoluției geodinamice și geoecologice ale deltei și zonei litorale adiacente. Cercetările din cadrul studiului sus-menționat, au fost efectuate în perioada 1988-1994 și au evidențiat anumite modificări ale mediului înconjurător.([Popa et al., 1995](#); [Popa, 1997](#); [Tiron, 2010b](#)).

1.4. Modificări induse de rectificarea brațului Sfântu Gheorghe

Cercetările efectuate de Institutul de Geologie și Geofizică s-au concentrat în principal, pe înțelegerea regimului de scurgere a apei și a aluviunilor, în special a nisipurilor, pe brațul Sfântu Gheorghe în noile condiții create de săparea canalelor de rectificare. De asemenea, s-au monitorizat modificările în balanța sedimentară a zonei litorale și, în consecință, evoluția proceselor de eroziune a plajelor sub influența modificării regimului de scurgere pe braț. ([Panin, 1974](#)).

Aluviunile grosiere, nisipoase, ale Dunării sunt reprezentate în principal de încărcătura de fund (bedload), care cuprinde două componente distincte: încărcătura de contact, alcătuită din particule care se deplasează pe fundul albiei prin rostogolire sau alunecare, menținând un contact constant cu suprafața de jos, și încărcătura de saltație, care include granule ce sunt transportate prin mișcarea lor de saltație. Aluviunile târâte creează o serie de entități morfologice efemere care cuprind rippluri sau riduri; dune cu rippluri suprapuse; dune ([Ichim et al., 1989](#)) care migrează în aval cu viteze de până la 700 - 1000 m/24 de ore în perioadele de viitură. În albia brațului Sfântu Gheorghe, se întâlnesc în mod obișnuit ripple-uri și valuri de nisip cu amplitudini cuprinse între 0,5 și 4 m și lungimi de undă de 8-40 m. Grosimea stratului activ al aluviunilor grosiere (care poate fi mobilizat în condiții de scurgere extreme) este în mare parte de 1,0 - 4,0 m pe întreg traseul. În apropierea zonei de vărsare a brațelor Dunării, formele morfologice sunt influențate de condițiile hidrometeorologice, care determină expansiunea variabilă în amonte a penei de apă sărată. ([Panin, 1983a](#)).

În perioada 1988 - 1994, Centrul Român de Geologie Marină a efectuat măsurători directe pe teren pentru a determina debitul lichid și aluviunile de fund, în special încărcătura de saltație ale brațului Sfântu Gheorghe. Au fost realizate profile cu 6-10 stații de măsurători pe cele mai importante secțiuni ale brațului, inclusiv în zona meandrelor, pe canalele naturale și pe cele de rectificare a meandrelor. Numărul secțiunilor măsurate a crescut de la 15 în 1988 la 35 în 1994. Probele colectate în fiecare stație au fost ulterior analizate din punct de vedere sedimentologic, granulometric, chimic și mineralogic ([Popa et al., 1995](#); [Ichim et al., 1989](#)).

Monitorizarea brațului în timpul și după rectificări (până în anul 1994) s-a desfășurat în condiții hidrologice destul de variate de la an la an. Astfel, anul cu cel mai mare debit lichid al brațului Sfântu Gheorghe a fost 1989 (1034 m³/s). În perioada monitorizării 1988-1994, în anul 1990, s-au înregistrat cele mai scăzute cote, viteze de curgere și debite lichide și solide ale Dunării în ultimii 40 ani (până în 1994): în acest an debitul lichid mediu pe brațul Sfântu Gheorghe a fost de 502 m³/s. Valoarea debitului lichid mediu măsurată în perioada 23.08-05.09 1994 (720 m³/s) s-a încadrat în intervalul de valori obținute până în 1994. Se adaugă ploile torențiale și condițiile meteorologice speciale au cauzat spontan creșteri ale debitului lichid, ceea ce a afectat într-o oarecare măsură corelația dintre debitul lichid și cel de încărcătura de saltație ([Popa et al., 1995](#); [Panin, 1983a](#)).

2. MATERIALE ȘI METODE

2.1. Structura bazei de date

În vederea realizării analizei evoluției morfodinamice ale sistemelor Dunăre-meandru-canal de rectificare, s-au utilizat imagini aeriene de înaltă rezoluție pentru întreaga suprafață a studiului în cauză. Așadar, s-a apelat la imagini de tip ortofotoplan în format digital (raster) pentru a extrage conformația malurilor pentru fiecare serie de timp analizată prin proceduri tipice disciplinei de teledetecție. Prin urmare, baza de date presupune planșe fizice reprezentând imagini aeriene datând din anul 1990 (ortofotoplan) transpuse în digital. Aceste planșe prezintă imaginea (alb-negru) conformației de referință a zonei de studiu. Planșele se află în arhiva Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare ”Delta Dunării” Tulcea (INCDDD) și au fost puse la dispoziție pentru acest studiu pentru a fi digitalizate prin scanare și georeferențiere. În continuare s-au utilizat imagini aeriene de înaltă rezoluție (ortofotoplan), mai recente, din 2004, în spectrul vizibil, provenite din zborurile realizate de Direcția Topografică Militară (DTM) și gestionate de Agenția Națională de Cadastru și Publicitate Imobiliară (ANCPPI), aflate în arhiva INCDDD. Un alt set de informații de tip ortofotoplan este rezultatul zborurilor de fotogrametrie din anul 2011 (spectru vizibil și NIR) și Light Detection and Ranging (LiDAR) în cadrul proiectului ”CartoDD” elaborat de [INCDDD \(2012b\)](#). În final, în ceea ce privește imaginea cea mai recentă pentru acest spațiu studiat, s-au utilizat imagini satelitare Airbus și Landsat oferite de platforma Google. S-a apelat la aceste imagini de rezoluție inferioară în absența ortofotoplanurilor recente. S-a luat în considerare cartografierea cu ajutorul unei drone hobby dar suprafețele sunt prea extinse pentru a fi fezabilă metoda. Așadar, setul de date cu privire la imaginile aeriene și satelitare sunt relativ uniforme, variația acestor date regăsindu-se la anii recenți din cauza indisponibilității acestora, iar aceasta se poate observa în tabelul 1.

Tabelul 1 Ortofotoplanuri și imagini satelitare utilizate în studiu

Meandre	Ortofotoplan			
	An de referință	Anul 2	Anul 3	Anul 4 (google)
Mahmudia	1990	2004	2011	2020
Dunavăț – Perivolovca	1990	2004	2011	2018
Dranov – Erenciuc	1990	2004	2011	2016
Ivancea	1990	2004	2011	2019

Baza de date cuprinde și informații cu privire la valorile debitelor de pe brațul Sfântu Gheorghe și repartitia acestora pe meandre și canalele de rectificare. Primul set de date pentru care s-au realizat comparațiile debitelor reprezintă anul 1994, extrase din raportul Institutului Geoecomar elaborat de [Popa \(1995\)](#). Acest raport a furnizat atât informațiile cu privire la valorile debitelor cât și pozițiile de determinare a acestor valori. Următorul an de comparație este anul 2015 în care s-au înregistrat niveluri ridicate ale apei Dunării, fapt pentru care, a avut loc o campanie de determinare a debitelor de pe brațele Deltei Dunării și repartițiile acestora pe canalele adiacente celor trei brațe. Ultimul an de comparație a debitelor îl reprezintă 2017 pentru meandru Ivancea și 2018 pentru grupările de meandre Dunavăț – Perivolovca și Dranov – Erenciuc. Acești ultimi ani de determinări ai debitelor s-au realizat în perioada studiilor doctorale în două campanii de teren de câte o săptămână de colectare a datelor hidrologice și topografice. De menționat faptul că datele cu privire la debite pentru meandru Mahmudia s-au comparat doar între anii 1994 și 2015. În același

timp, în ceea ce privește determinarea debitelor în sistemele Dunăre-meandru-canal de rectificare în anul 2015, se observă unele inconsecvențe în ceea ce privește valorile acestora, deoarece nu au fost obținute in situ în anumite locații pentru care există aceste informații în ani precedenți sau ulteriori. Astfel, pentru a popula baza de date și pentru a armoniza analizele, aceste lacune au fost determinate prin calcule luând în considerare debitele approximate preluate sau dobândite de la canalele adiacente cursului brațului Sfântu Gheorghe (Uzlina, Dunavat, Perivolovca, Dranov). Aceste valori calculate sunt marcate în tabelul 2 cu caracterul ”*”.

Tabelul 2 Valorile debitelor, evoluția acestora și lățimile secțiunilor în care au fost determinate acestea, pentru toate meandrele studiate.

Anul	Meandru Mahmudia		Rectificare Mahmudia		-		-	
	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)
1994	368	204.8	306	72.7	-	-	-	-
2015	14.8	100	1020*	160*	-	-	-	-
-	Meandru Dunavăț		Rectificare Dunavăț		Meandru Perivolovca		Rectificare Perivolovca	
1994	565	271	78	75	655	176.6	157	74.6
2015	679.9	277	354*	90*	16.1	86	991*	110*
2018	977	280	327	90	17.3	81	1202	110
	Meandru Dranov		Rectificare Dranov		Meandru Erenciuc		Rectificare Erenciuc	
1994	575	186.6	179	72	540	171.6	80	77.5
2015	178.7	153	828*	115*	66.1	136	938*	138*
2018	254.9	170	1043	115	55.2	162	1233	138
	Meandru Ivancea		Rectificare Ivancea		-		-	
1994	495	193.6	100	67.6	-	-	-	-
2015	656*	221*	347.6	104	-	-	-	-
2017	887.5	221	678.2	114	-	-	-	-

Date cu privire la valorile batimetrice ale profilelor transversale au populat baza de date din diverse surse. Pentru datele batimetrice de referință s-au utilizat cele colectate de Institutul Geocomar și publicate în raportul elaborat de Popa (1995). Datele batimetrice din cadrul acestui raport au fost digitizate și aduse la scară conform valorilor din formatul tabelar și poziționarea acestora conform descrierilor. Următorul set de date batimetrice presupune cel elaborat de Feodot (2015) din cadrul proiectului ”Analiza morfo-fractală a dinamicii hidro-morfologice a celor 3 brațe principale ale Deltei Dunării, Faza II, Analiza complexă a macroformelor – meandrele și ostroavelor Brațului Sfântu Gheorghe”. În cadrul acestui proiect, autorul acestui studiu a fost responsabil pentru realizarea profilelor batimetrice cu un sonar mono fascicul cu o frecvență de 250m pentru brațul Sfântu Gheorghe. A 3-a componentă a datelor batimetrice a acestei baze de date reprezintă modelul numeric al albei

minore pentru zonele de meandru al brațului Sfântu Gheorghe. Acest model numeric a fost realizat în cadrul studiilor doctorale prin utilizarea unui sonar multifascicul în cele două expediții în teren din anii 2017 respectiv 2018. Aceste date batimetrice au menirea de a oferi o imagine clară a reliefului submers actual și a situației hidro-morfologice a sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare. Totodată un astfel de model permite extragerea profilelor batimetrice pe distanța și orientarea dorită, astfel permițând compararea de mare precizie a profilelor din anii anteriori.

Baza de date include tabele și valori ale reperelor geodezice care au fost utilizați în teren pentru definirea bazelor GPS. Aceste baze au folosit în sprijinirea rețelei topografice la care s-au calibrat și transmis corecții geometrice către toți senzorii utilizați pentru măsurătorile hidrologice. În vederea procesării ulterioare a datelor hidrologice prin transformarea adâncimilor în valori de cote absolute, s-a realizat set de date cu privire la cotele nivelurilor apei de pe brațul Sfântu Gheorghe prin citiri zilnice ale mirelor amplasate în zona de studiu și totodată de interogare a bazei de date SGA (Sistemul de Gospodărire al Apelor) Tulcea acolo unde mirele clasice au fost înlocuite de stații automate.

2.2. Colectarea și procesarea datelor hidrologice

Pentru a putea evalua evoluția sistemelor Dunăre-meandru-canal de rectificare de pe brațul Sfântu Gheorghe a fost necesară colectarea datelor hidrologice actuale din teren. Activitatea din teren a presupus trei principale componente: a. realizarea unei rețele topografice de sprijin și determinare a cotelor nivelului apelor; b. colectarea datelor cu privire la vitezele și debitele apei; c. colectarea datelor batimetrice cu ajutorul unui sonar multifascicul. Așadar, în perioada studiilor doctorale au fost realizate două campanii de teren în care s-au colectat informațiile enumerate anterior. Prima campanie a fost în vara anului 2017 pentru cartografierea meandrului Ivancea iar a doua campanie în vara anului 2018 pentru cartografierea grupărilor de meandre Dunavăț-Perivolovca și Dranov-Erenciuc. Datele batimetrice și cele de determinare a debitelor din anul 2015 (anterior studiilor doctorale) au fost realizate cu un sonar mono fascicul pentru batimetrie și același sistem ADCP (utilizat și în perioada studiilor doctorale) pentru debite și viteze ale apei. Meandrul Mahmudia nu a putut fi vizitat în teren pentru determinările hidrologice precum în cazul celorlalte meandre din avalul acestuia datorită constrângerilor de timp și de buget. Fapt pentru care, analiza evoluției meandrului Mahmudia, din punct de vedere al modificărilor în secțiunile albiei minore și a repartiției debitelor, se rezumă doar la comparațiile dintre anii de referință 1994 și 2015.

2.2.1. Rețea topografică de referință

Pentru cursul Dunării de la vărsarea acesteia în Marea Neagră pe cele trei brațe și până în amonte, la ieșirea acesteia din teritoriul țării la Moldova Veche, s-a realizat și implementat un proiect intitulat „Realizarea unui sistem de sprijin pentru lucrările hidrografice pe Dunăre, în scopul asigurării adâncimilor minime de navigație”, de către un consorțiu de companii private: SC. Intercontract SRL și SC. Tehnoigis Grup SRL (Petre, 2011). În cadrul acestui proiect s-au realizat studii geodezice de mare acuratețe în urma cărora s-au amplasat de-a lungul malului Dunării borne de repere topografice, perfect utilizabile pentru realizarea studiului de față. Sistemul de sprijin constă, în materializarea de-a lungul Dunării, în 144 de locații, a câte trei borne geodezice, ale căror poziție spațială a fost determinată cu o precizie ridicată: o bornă de Referință, una Martor și una Azimutală.

În egală măsură s-a utilizat și serviciul rețelei ROMPOS care presupune o acoperire națională de date de corecții de poziționare față de un sistem de referință bine determinat (ROMPOS, 2023).

În cele două campanii de teren s-au utilizat ambele soluții de sprijin topografic în vederea aplicării corecțiilor geometrice de poziționare pe cele 3 axe XYZ după cum urmează:

- a. în campania din 2017, la meandrul Ivancea, în lipsa unei acoperiri de servicii date GSM, s-a utilizat reperul geodezic determinat la Km 20 de pe brațul Sfântu Gheorghe. Aplicarea corecțiilor geometrice s-a realizat prin amplasarea unei baze GPS amplificată radio cu antena de 3W;
- b. în campania din 2018, la grupările de meandre Dranov-Erenciuc și Dunavăț – Perivolovca, s-a utilizat serviciul de rețea ROMPOS printr-un abonament standard aferent antenei GPS al sistemului multifascicol. Această metodă mult mai facilă din punct de vedere al timpului, fost posibilă datorită semnalului relativ prezent în aceste zone ale studiului. Semnalul a fost fluctuant, prin urmare, datele nu fost constant fixate la rețeaua ROMPOS dar acest inconvenient a fost ulterior compensat la partea de procesare.

2.2.2. Date batimetrice cu sonar mono fascicol

Profilele batimetrice au fost executate cu sonarul Sonar Mite, produs de compania Ohmex, cuplat la GPS-ul Trimble Pathfinder XH cu antena Zephir. Înregistrarea datelor s-a realizat utilizând un terminal mobil Trimble Recon / tableta robustă Login, prin intermediul aplicației ArcPAD. Datele colectate și stocate au fost transferate pe terminale PC și procesate, utilizând platforme GIS. Datele sunt sub formă de secțiuni transversale ale albiei minore, ale brațului Sfântu Gheorghe. Aceste secțiuni au fost efectuate în 2015, la o distanță de aproximativ 250 m una față de cealaltă și reprezintă date cu caracter comparativ. Timpul de colectare a fiecărui punct batimetric (rezoluția) de pe secțiune, a fost setat la o secundă (Figura 1) (Feodot, 2015). Abordări similare s-au realizat în alte studii cum ar fi studiul gurii de vărsare al brațului Sfântu Gheorghe în teza de doctorat al lui Zăinescu Florin în anul 2019 (Zăinescu, 2019).

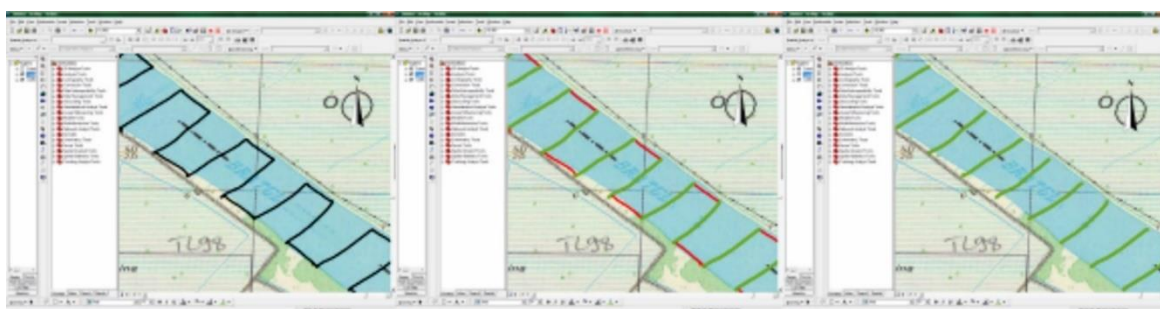


Figura 1 Măsurători batimetrice unic fascicul. Stânga-matricea acoperirii cu date brute, mijloc-separarea profilelor transversale, dreapta-aplicarea corecțiilor de cotă a profilelor transversale și evaluarea tendințelor (Feodot, 2015).

2.2.3. Date batimetrice cu sonar multi fascicol

Sistemul sonar multifascicul ce a fost utilizat în vederea colectării datelor batimetrice pentru acest studiu este conceput pentru a funcționa la adâncimi mici 0-100m (ideal pentru adâncimile din Dunăre) dar care lucrează la o frecvență mică de doar 240kHz (rezoluție

redușă și mult zgomot în datele brute). Provocarea obținerii datelor batimetrice relevante constă în gradul de acoperire de semnal DGPS pe anumite suprafețe din Delta Dunării, iar zona meandrelor brațului Sfântu Gheorghe este una deficitară din acest punct de vedere fapt pentru care s-a adoptat soluția RTK (Real Time Kinematic).

Sistemul sonar multifascicul (Figura 2) reprezintă un conglomerat de senzori ce monitorizează o serie de parametri impetuos necesari în colectarea norului de puncte batimetric. Fiecare sensor este calibrat și poziționat în ansamblul sistemului, ce permite interogarea și monitorizarea parametrilor de funcționare. Sensorii ce compun acest sistem sunt: talpa sonarului unde se găsește oglinda hidroacustică complet submersă, senzorul de măsurare a vitezei sunetului în apă (submers), senzorul de măsurare a mișcării ambarcațiunii, senzor de măsurare a direcției de drum a ambarcațiunii, antena GPS pe post de rover cuplat cu baza instalată pe mal în sistem RTK și consola de integrare a semnalelor, laptop, monitoare și sistem de alimentare (Eilertsen și Hansen, 2008).



Figura 2 Asamblarea sistemului sonar multifascicul

Măsurătoarea începe de-a lungul liniilor de navigare (Figura 3) realizate în cadrul proiectului de colectare a datelor batimetrice. Atâta timp cât cursul apei este rectiliniu, aceste linii (pase) au fost respectate. În zonele de meandrare aceste linii sunt orientative, iar încadrarea ambarcațiunii pe acestea este foarte dificilă datorită unui cumul de factori: inerție, curenții apei, vântul, conformația curgerii de apă și toate acestea, în combinație cu o viteză redusă de 4 noduri pentru colectarea datelor, nu determină altceva, decât abaterea mai mare sau mai mică de la linia planificată. În situația acestui studiu, fiind vorba de un curs al Dunării meandrat, situațiile în care ambarcațiunea s-a abătut de la liniile planificate au fost dese, mai ales în zonele de bifurcație, confluență dar și în interiorul meandrelor.

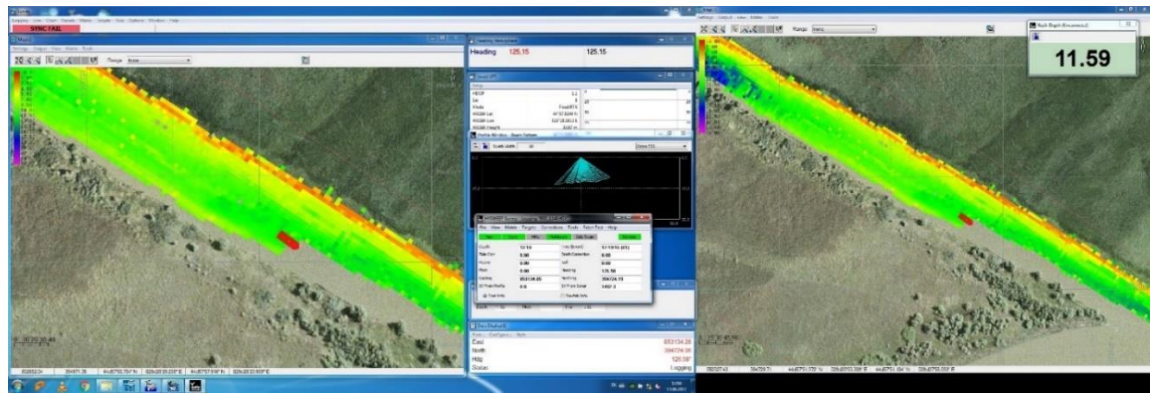


Figura 3 Captură de ecran în timpul colectării datelor batimetrice. Stânga și mijloc: Ferestrele active pe monitorul laptop-ului. Dreapta: Fereastra cu harta vizibilă pe monitorul de navigație.

Procesarea a fost realizată cu ajutorul aplicației Hypack, utilizând un număr de module ale acesteia, fiecare dedicat pentru un anumit tip de format de date, aflat în diferite stadii de procesare. Procedul este unul meticulos, deoarece este complet manual, iar rezultatul este în funcție de interpretarea utilizatorului, cel puțin, în ceea ce privește zonele cu incertitudine mare a datelor, unde semnalele înregistrate sunt de calitate inferioară, în urma unor conectivități slabe sau inexistente, în primul rând între antenele GPS. De aceea, în astfel de situații, tronsoane de câțiva zeci de metri de-a lungul unei pase, impun o abordare de interpretare amănunțită (expert judgement) și totodată un timp îndelungat în vederea soluționării produsului finit (Eilertsen și Hansen, 2008; Stateczny et al., 2019).

Procedura MBMAX de editare impune importarea fișierelor brute ale proiectului și aplicarea de filtre, în vederea excluderii automate ale unor valori ce nu se încadrează în ecartul de adâncimi din zona măsurată (termenul de specialitate folosit este „spike”). Pasul următor a fost acela de excludere a punctelor batimetrice din capetele fiecărei fante batimetrice, deoarece acele puncte prezintă un grad mare de incertitudine. Imediat ce filtrele au fost aplicate, toate datele sunt afișate sub formă de trasee. Fiecare fișier de date este reprezentat sub forma unei linii. Afișarea aceasta permite identificarea aberațiilor de poziționare ce se pot îndepărta cu ușurință (Figura 4).

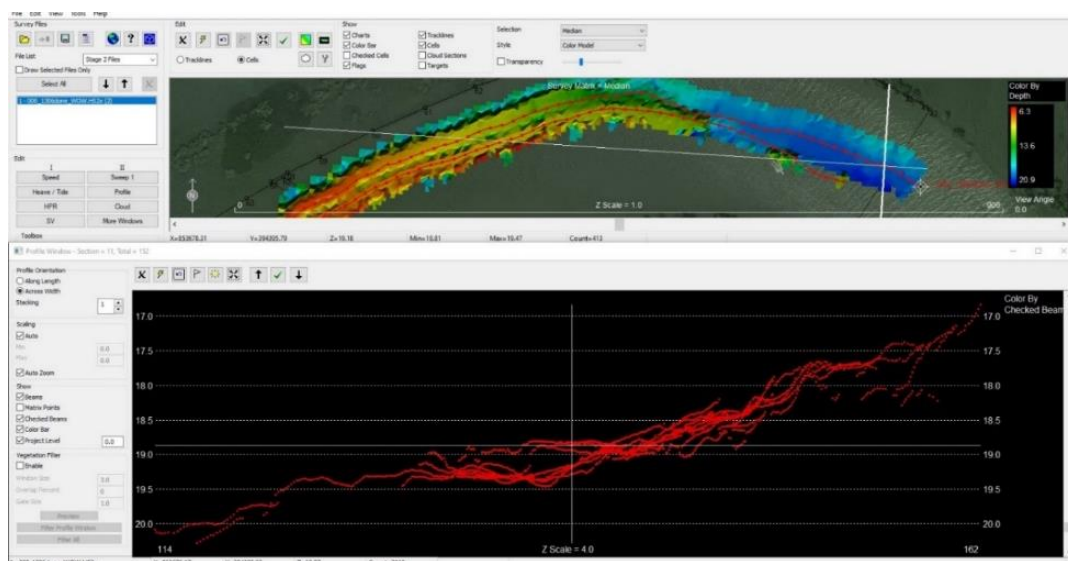


Figura 4 Editarea punctelor batimetrice în profil transversal.

Stadiul al doilea de editare, îl presupune efectiv editarea batimetriei în norul de puncte. Acesta se realizează secvențial între fișierele de date brute importate, iar pentru o interpretare calitativă se aleg tronșoane mici. Fiecare astfel de tronșon se analizează separat de restul datelor, dar aspectul punctelor batimetrice, de la trecerea de la un tronșon editat la altul, trebuie să fie uniformă și continuă (Figura 5).

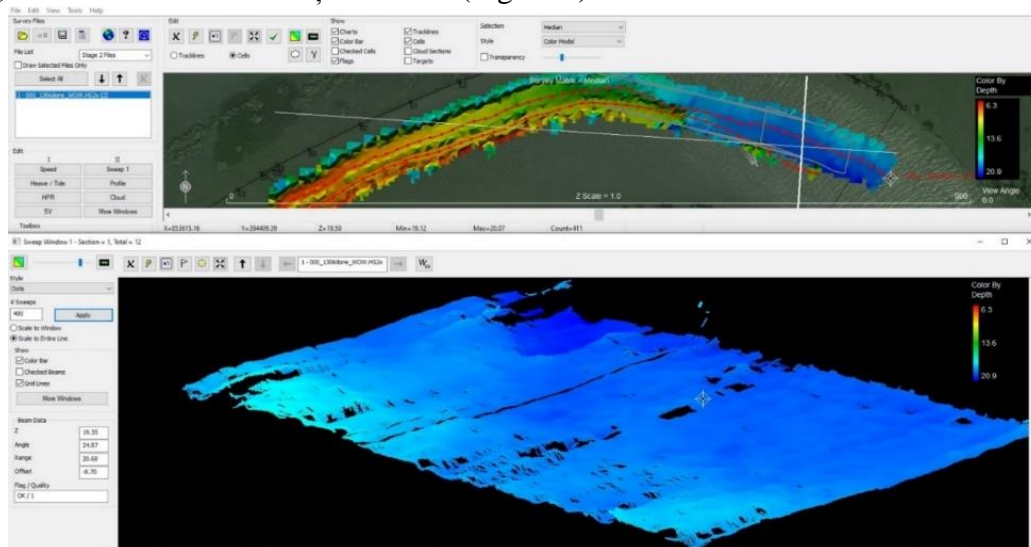


Figura 5 Editarea punctelor batimetrice în vizualizare tridimensională.

Modulul **Cloud64** din aplicația Hypack este un instrument foarte util în editarea și verificarea punctelor ASCII exportate din modulul MBMAX. Acesta permite o citire foarte rapidă a datelor exportate ce sunt afișate într-o fereastră tridimensională, iar dacă se găsesc nereguli în date, permite o accesibilitate facilă în vederea identificării acestora.

Următorul pas în vederea realizării produsului finit îl reprezintă generarea **modelului TIN** (Triangulated Irregular Network). Acest model este o reprezentare a unei suprafețe continue formată în întregime din fațete triunghiulare.

Acest modul se folosește în vederea interpolării suprafețelor acolo unde lipsesc datele batimetrice în urma editării. Hypack, fiind o aplicație dedicată pentru lucrul cu astfel de date, gradul de încredere în algoritmi interpolării este mult mai mare comparativ cu orice altă aplicație GIS disponibilă.

Datele batimetrice prelucrate până în acest punct, conțin valori de adâncimi pe axa Z. Aceste valori nu sunt relevante unor reprezentări morfometrice comparative și hidrologice. De aceea, sunt supuse unui proces de calcul, astfel încât, să se alinieze unui sistem de referință standardizat aplicabil pe tot teritoriul României și anume Marea Neagră 75 și/sau Marea Neagră Sulina. Cu alte cuvinte, adâncimile **se transformă în cote**. Dacă valorile batimetrice de adâncime procesate până în acest moment, sunt valori pozitive, transformarea acestora în cote, determină ca acestea să varieze de la valori pozitive, până la valori negative (Zhao *et al.*, 2017).

Transformarea adâncimilor se realizează, ținând cont de valoarea cotei luciului de apă la momentul măsurătorii. Așadar, determinarea acestor cote ale nivelului apei la momentul măsurătorii, începe prin stocarea informațiilor de nivel ale apei la mirele hidrologice disponibile pe brațul Sfântu Gheorghe. Totodată sunt necesare informațiile de cote absolute, la care au fost amplasate mirele. Cu alte cuvinte, la ce altitudine se află 0 miră față de sistemele de referință utilizate. Aceste informații sunt publicate de IGFCOT în anexa „Corecții „0” miră și nivelurile de asigurare” (Ghițău, 1983).

Disponând de toate valorile necesare se poate realiza ecuația de calcul a cotei nivelului de apă în dreptul zonei unde s-a desfășurat măsurătoarea.

$$D_c = \frac{(C_{am} - C_{av}) \times d}{D}$$

Unde „ D_c ” reprezintă diferența de cotă, „ C_{am} ” reprezintă cota amonte, „ C_{av} ” reprezintă cota aval, „ d ” este distanța de la mira din amonte până la zona unde s-a realizat măsurătoarea, iar „ D ” reprezintă distanța dintre mira din amonte și mira din aval. Etapa următoare este determinarea cotei nivelului de apă în zona măsurată, iar aceasta se realizează folosind următoarea ecuație:

$$C_{pi} = C_{am} - D_c$$

Unde „ C_{pi} ” reprezintă cota punct intermediar, „ C_{am} ” este cota din amonte iar „ D_c ” reprezintă diferența de cotă, ce a fost calculată anterior.

2.2.4. Date cu privire la viteza și debitul apei

Colectarea din teren a datelor cu privire la vitezele de curgere și debitul apelor Dunării s-a realizat cu ajutorul echipamentului Sontek Riversurveyor ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Sistemul ADCP RiverSurveyor combină cea mai avansată tehnică de măsurare utilizând efectul Doppler cu un pachet de programe care funcționează pe un terminal cu sistem de operare Microsoft Windows. Precizia înaltă a utilizării acestui sistem, ca și faptul că, aparatul poate fi manevrat cu ușurință, permit o măsurare sigură și rapidă a vitezelor de curenți și a debitelor, utilizând un mod de operare accesibil.

RiverSurveyor M9 (Figura 6) include: Acoustic Doppler Profiler (ADP) - pentru măsurarea vitezelor de curenți și a debitelor; Circuit Bottom-tracking – pentru măsurarea adâncimii apei, vitezei și direcției; Busola și un senzor de înclinare - pentru orientarea datelor.

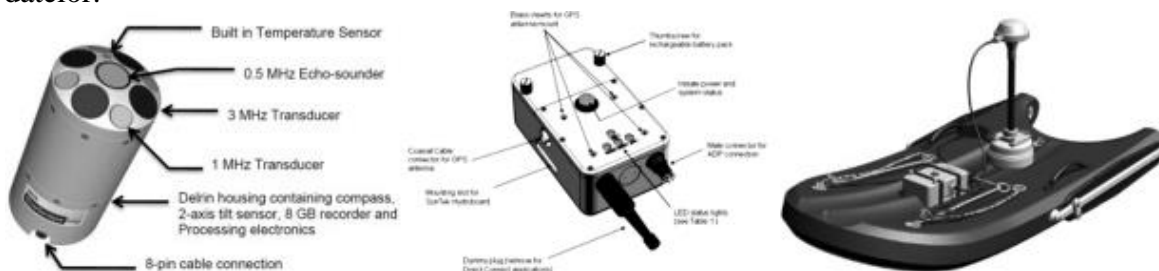


Figura 6 Componentele sistemului RiverSurveyor M9 și Flotorul – HydroBoard-ul cu sistemul River Surveyor M9 instalat, inclusiv antena GPS.

Sistemul ADCP RiverSurveyor este montat în lateralul ambarcațiunii (Figura 7), pe un sistem de fixare amagnetic (construit din aluminiu). Acesta permite îndepărtarea instrumentului de corpul metalic al navei, pentru evitarea influențelor magnetice asupra busolei încorporate. RiverSurveyor este cuplat la un terminal mobil care înregistrează datele și totodată la un GPS pentru completarea datelor de poziționare.

Pentru înregistrarea vitezelor de curenți de-a lungul profilelor, barca se deplasează cu viteză scăzută (similară cu viteza apei), dintr-un mal spre celălalt și cu echipamentul în amonte ambarcațiunii, astfel încât aparatul, să se afle direct în curentul de curgere a cursului de apă (Langendoen *et al.*, 2023). Pentru fiecare profil se efectuează între 2 și 6 traversări, pentru verificarea acurateții înregistrărilor.



Figura 7 Echipamentul ADCP utilizat în colectarea datelor de debite și viteze ale apei.

Datele rezultate din măsurătorile pe un profil sunt comparate și mediate, rezultatul fiind un raport (Discharge Report) care conține toate datele esențiale pentru fiecare profil executat în parte.

Reprezentarea grafică a datelor înregistrate pe profil permite o mai bună înțelegere a rezultatelor. Această imagine este afișată, chiar în momentul măsurătorilor, permițând verificarea traseului ambarcațiunii, a direcției acesteia față de curent, ca și a vitezei ei de deplasare, în timp real.

Totodată, datele se pot exporta în format ASCII, iar ulterior, utilizând instrumente tipice GIS, se transformă în formate vector, în vederea armonizării acestora cu baza de date existentă. Ca urmare a procesării datelor, rezulta tabelul 3, în care sunt compilate valorile de debite repartizate pentru fiecare meandru studiat.

Tabelul 3 Tabel centralizator a debitelor înregistrate pentru meandrele studiate

Data	Meandru	Nr. Profil	Debit m ³ /s						
			Amonte			Aval			
			Dunăre	Meandru	Canal	Dunăre	Meandru	Canal	
12 Iulie 2017	Ivancea Km 20 – 16	1	1477	111	659	1653	810		
		2	1519	893	682	1512	931		
		3			689				
17 August 2018	Erenciuc Km 38 – 29	1		55	1233	1340	120	1228	
		2		83		1211	96	1252	
		3							
	Dranov Km 44 – 38	1		255	994		118	1016	
		2		247	1044		210	1017	
		3					207		
	Canalul Dranov	1		3					
		2		3.1					
	Perivolovca Km 54 – 49	1		16	1142		20		
		2		17	1202				
	Canalul Perivolovca	1		6.6					
		2		6.5					
	Canalul Dunavăț	1		22					
		2		27					
Dunavăț Km 59 – 54	1		1327	977	297		1033		
	2		1365	959	328		1027		

2.2.5. Publicarea datelor in baze de date internaționale

În ceea ce privește studiul de față, datele batimetrice, atât cele istorice datând din anul 2015, cât și cele colectate în cadrul anilor de studii doctorale, au fost publicate în sistemul EMODnet, pe portalul seadatanet ([Sea Data Net, 2023](#)). Seturile de date se clasifică în două grupe principale: curbe (profile batimetrice unic fascicul, Figura 8) și suprafețe (modele de elevație rezultate din prelucrarea datelor multifascicul, Figura 9).

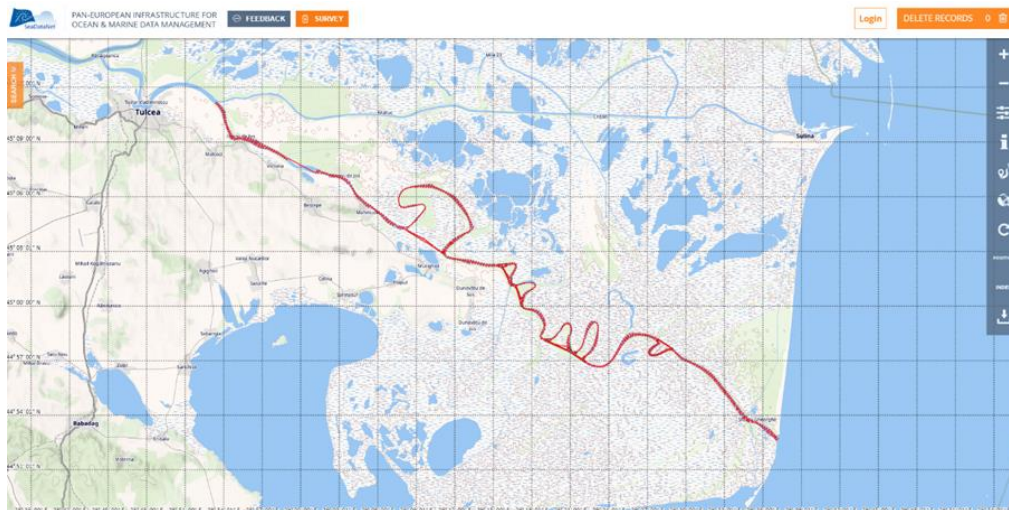


Figura 8 Date de batimetrie unic fascicul publicate pe portalul EMODnet.

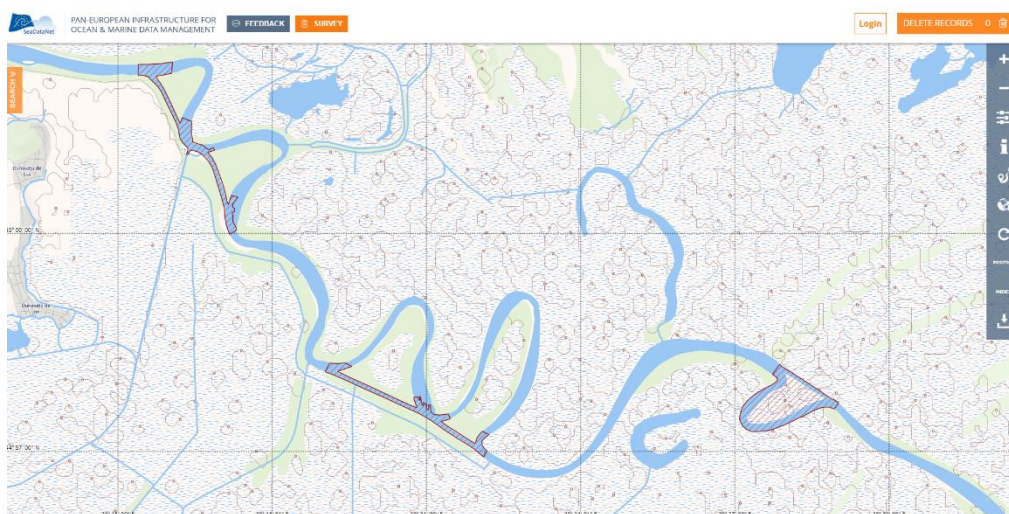


Figura 9 Date de batimetrie multifascicul publicate pe portalul EMODnet.

2.3. Evaluarea proceselor morfodinamice din sistemele meandru-canal de rectificare

Pentru a evalua procesele morfodinamice emerse pentru sectoarele de curgere, s-au utilizat ortofotoplanuri istorice datând din anul 1990 ce au fost digitalizate și georeferențiate astfel încât, informațiile extrase din acestea, să fie comparabile cu cele extrase din ortofotoplanuri digitale recente. Pentru zonele de meandru se obțin informații cu privire la suprafețele corpurilor de apă, cât și cele ale terenului aferent pentru anii 1990, 2004, 2011 și ”prezent”, pentru a evidenția morfodinamica acestor segmente de curgere. Astfel, utilizând aplicații GIS, se extrag toate informațiile referitoare la limitele uscatului și a corpurilor de apă sub forma de vectori din toate imaginile aeriene disponibile.

În baza acestor suprafețe, tot prin utilizarea aplicațiilor GIS, prin aplicarea de algoritmi de calcul, se extrag suprafețele proceselor morfodinamice, din aproape în aproape, conform imaginilor aeriene luate în calcul, pentru comparație. Aceste suprafețe sunt ulterior organizate astfel încât, în tabela de atribute, să dețină apartenența la malul stâng, malul drept și ostroave. În continuare, tot în tabela de atribute, fiecare poligon rezultat, indiferent de apartenența la tipul de mal, beneficiază de algoritmi de calcul pentru a obține valorile suprafețelor exprimate în hectare.

Prin urmare, dispunând de aceste informații, tot în cadrul aplicațiilor GIS, se realizează hărți ce ilustrează procesele morfodinamice pentru sectoarele de curgere anchetate în acest studiu și pentru fiecare ecart temporal luat în considerare.

2.4. Parametrii geometrici ai meandrelor

Cursurile de apă meandrate arată că, raportul între raza de curbură a meandrelor (r_m) și lățimea canalului (d) este surprinzător de constantă. Aceasta demonstrează că, în cursurile naturale de apă, există valori de echilibru ale acestui raport.

Bagnold (1960) a arătat că, la o micșorare a raportului r_m/d sub 2, rezistența la trecere prin meandru se mărește foarte mult și determină formarea unor zone de turbulență ridicată, și implicit, mărirea forței de forfecare a curentului (Figura 10).

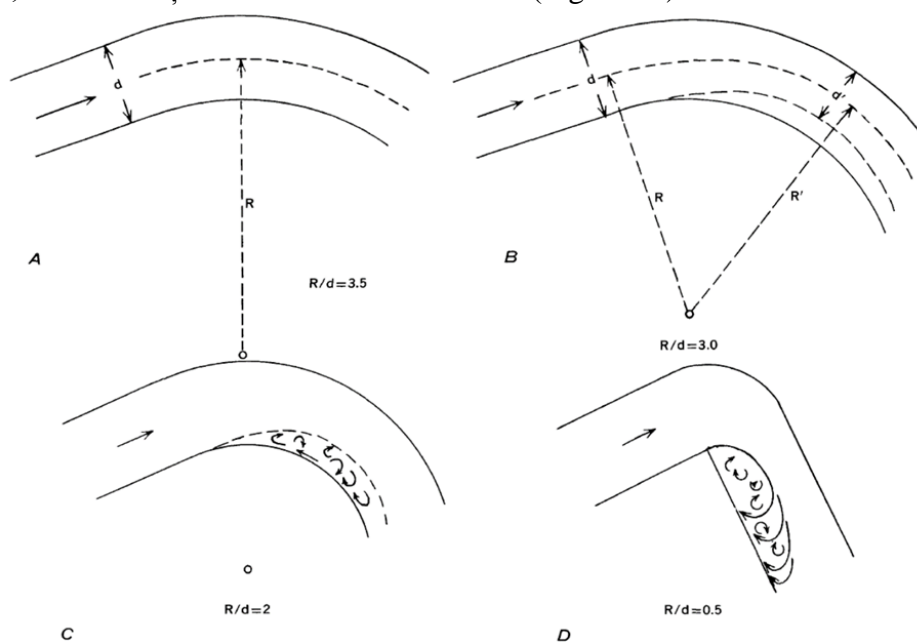


Figura 10 Relația diagramă între lungimea de undă a meandrului și lățimea corpului de apă (Bagnold, 1960).

- A. Curbură fără asimetrie aplicabilă a fluxului;
- B. Asimetria fluxului creează o zonă relativ stagnantă, dar încă stabilă și o scădere a valorii efective a R_m / d ;
- C. Se produce o ruptură, la care zona stagnantă devine instabilă și disipă energia în vârtej;
- D. Când curba formează în cele din urmă un unghi drept, zona instabilă este mare și foarte pronunțată.

Aceste valori ale raportului r_m/d au fost calculate folosind elemente de geometrie în aplicații GIS. Dispunând de formule și de suprafețele corpului de apă, în seriile de timp pentru aceste meandre, s-au putut aprecia lungimile de undă ale acestora (Figura 11)

(Bagnold, 1960) prin construirea unor cercuri. Acestea sunt poziționate înainte și după curbura meandrului, unde se presupune că, segmentul de curgere este predominant rectiliniu. Astfel, este poziționat un al treilea cerc, al cărui diametru reprezintă perpendiculara pe apexul curburii în cauză. Prin unirea ulterioară a centroidelor celor 3 cercuri se trasează și măsoară raza medie a curburilor meandrelor (r_m). Diametrul cercului din aval, realizat anterior, reprezintă valoarea diametrului corpului de apă (d).

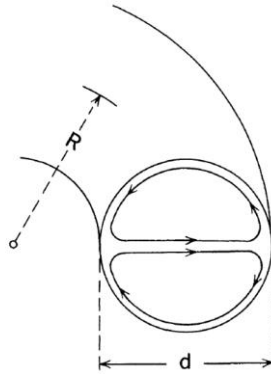


Figura 11 Diagrama idealizată a fluxului transversal într-o curbă a meandrului. "R" este raza medie a curburii meandrului și "d" este diametrul corpului de apă (Bagnold, 1960).

3. ANALIZA MODIFICĂRILOR HIDRO-MORFOLOGICE ALE MEANDRELOR BRAȚULUI SFÂNTU GHEORGHE

3.1. Meandrul Mahmudia

În perioada 1990-2004, meandrul suferă modificări semnificative, cu o reducere a suprafeței de apă în favoarea zonelor emerse. Suprafața de apă se reduce în 2004 față de 1990, datorită acumulării de sedimente la gura meandrului și fluctuațiilor nivelului apei (Figura 12). În această perioadă, se formează un ostrov între kilometrul 83 și kilometrul 81 și malurile avansează, determinând o albie minoră diminuată între kilometrul 84 și kilometrul 76. Procesele de eroziune sunt amplificate de-a lungul canalului de rectificare, în timp ce în interiorul meandrului sunt reduse. Malul stâng al canalului de rectificare este cel mai erodat în această perioadă (Figura 13).

În perioada 2004-2011, albia minoră a meandrului suferă modificări semnificative, cu procese morfodinamice importante care duc la colmatarea acestuia. Suprafața corpului de apă în anul 2011 este mai mică decât în 2004, reducându-se de la 637.2 Ha la 567 Ha într-un interval de 7 ani. Malurile emerse se extind până la kilometrul 68 în acest interval de 7 ani, comparativ cu extinderea până la kilometrul 76 în primii 14 ani de la rectificarea meandrului. Colmatarea în această perioadă este de aproximativ 10 ori mai puternică decât în perioada anterioară, cu o creștere de 70 Ha a suprafețelor emerse. Malul drept dobândește 46.3 Ha și pierde doar 6.25 Ha la eroziune/submersie, în timp ce malul stâng dobândește 22.5 Ha și pierde 10 Ha (Tabelul 4). Ostroavele își măresc suprafețele cu 16.7 Ha și pierd doar 0.08 Ha la eroziune/submersie.

În perioada 2011-2020, se observă o colmatare mai accentuată în prima parte a meandrului. Suprafața totală a corpului de apă se diminuează de la 567 Ha în 2011 la 559 Ha în 2020, dar cu o rată mai mică față de perioada anterioară (2004-2011). Albia minoră a meandrului se diminuează accentuat între kilometrii 84 și 77, iar malurile emerse și ostroavele se extind în detrimentul suprafeței corpului de apă. Malul drept dobândește 8 Ha, malul stâng dobândește 14.2 Ha, iar ostroavele se extind cu 15.4 Ha. Suprafețele submerse în această perioadă sunt mai mici decât cele emerse, iar malul drept pierde 16.5 Ha, malul stâng pierde 10.6 Ha, și ostroavele pierd 0.31 Ha. Se observă o eroziune accentuată a canalului de rectificare, în special de-a lungul malului stâng.

Tabelul 4 Valorile morfometrice ale proceselor morfodinamice aferente malurilor meandrului Mahmudia în perioada 1990 – 2020.

	Ani	Suprafață corp apă (Ha)	Mal Drept		Mal Stâng		Ostroave		
			Emers (Ha)	Submers (Ha)	Emers (Ha)	Submers (Ha)	Emers (Ha)	Submers (Ha)	
Meandrul Mahmudia	1990	644.5	referință	referință	referință	referință	referință	referință	
	2004	637.2	15	13	14	25	16.5	0.19	
	2011	567	46.3	6.25	22.5	10	16.7	0.08	
	2020	559	6	16.5	14.2	10.6	15.4	0.31	
	TOTAL	-85	67	36	51	46	49	0.5	
	Total Suprafețe Emerge (Ha)			167 Ha					
	Total Suprafețe Submerse (Ha)			82 Ha					

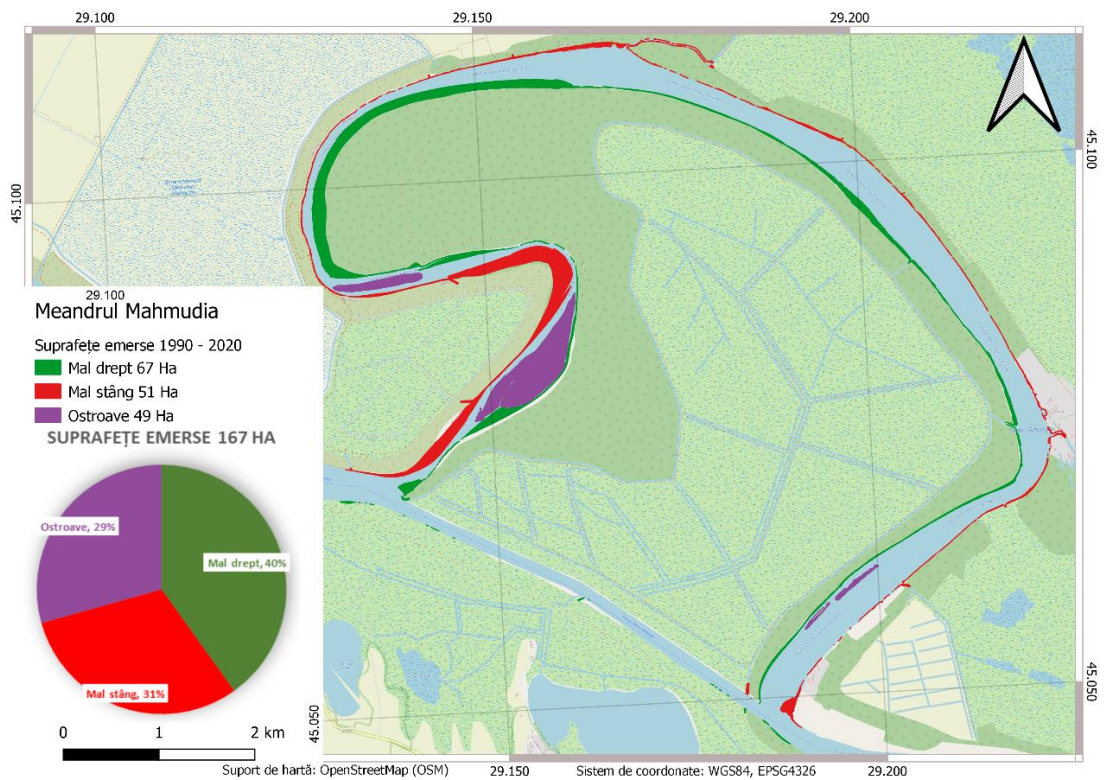


Figura 12 Suprafețele emerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare Mahmudia între 1990, 2004, 2011 și 2020.

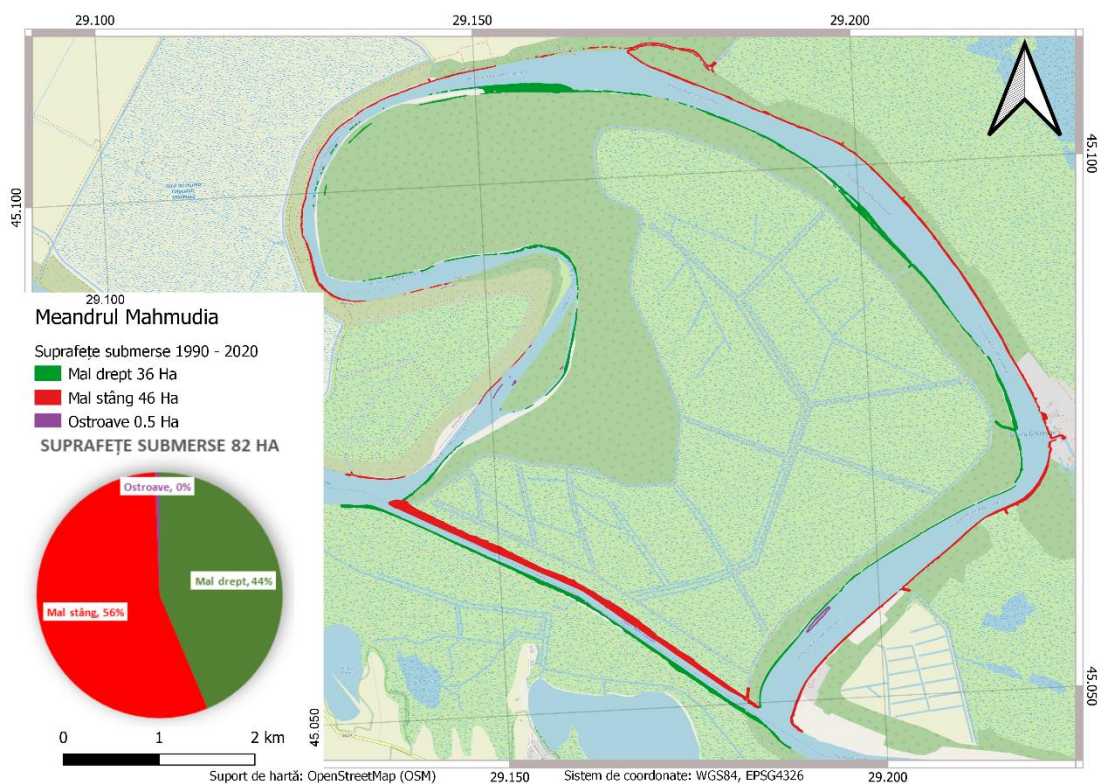


Figura 13 Suprafețele submerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare Mahmudia între 1990, 2004, 2011 și 2020.

Evoluția raportului Bagnold, analizat pentru fiecare curbură a meandrului Mahmudia, în serii de timp, s-a constatat a fi variabil. Acest aspect se datorează modificării regimului de curgere naturală a apei, într-un regim puternic influențat de modificările antropice. Valorile inițial calculate pentru începutul anilor 90, pentru meandrul Mahmudia, au fost publicate în raportul Geocomar din anul 1995 (Popa *et al.*, 1995). Aceste valori ale raportului Institutului Geocomar servesc drept punct de referință în comparație cu valorile determinate pentru anii următori: 2004, 2011 și 2020 (Tabelul 5 și Figura 14).

Prin analizarea acestor valori ale raportului dintre lungimea de undă a curbelor meandrului și lățimea corpului de apă, se constată că acestea nu prezintă o uniformitate, contrar ipotezei formulate de Bagnold. Acest aspect indică faptul că albia minoră suferă schimbări semnificative în segmentul amonte al meandrului, reflectând astfel instabilitatea echilibrului hidrologic al sistemului de meandru-canal de rectificare.

Tabelul 5 Valorile critice ale raportului r_m/d pentru meandrul Mahmudia.

Meandrul	Km	r_m (m)				d (m)				r_m/d			
		1990	2004	2011	2020	1990	2004	2011	2020	1990	2004	2011	2020
Mahmudia	81	248	327	343.4	356.3	158	114.6	82.4	57.4	1.57	2.85	4.16	6.2
Mahmudia	78	405	372.5	329.4	322	180	138.2	107.4	88.4	2.25	2.69	3.06	3.64
Mahmudia	68	490	535.2	497.8	481.4	165	176.5	158	160.6	2.97	3.03	3.15	2.99
Mahmudia	64	250	388.6	361.2	224.2	165	207.6	207.6	213.2	1.52	1.87	1.73	1.05

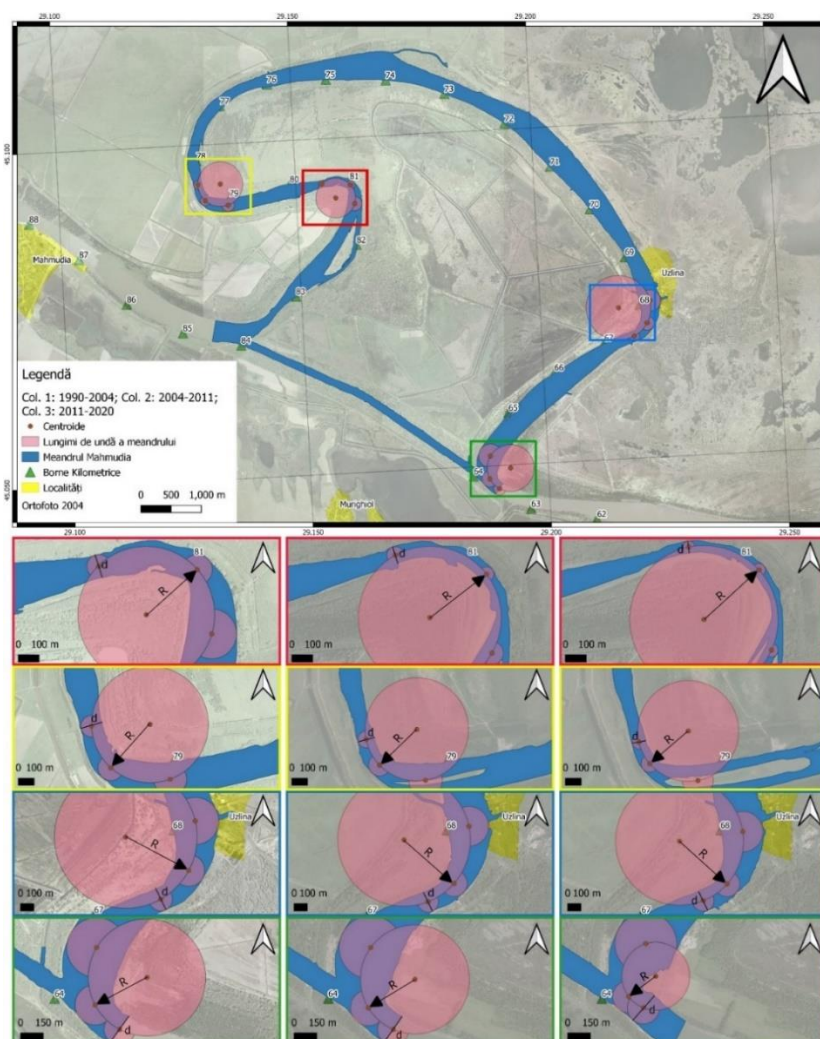


Figura 14 Calculul raportului r_m/d pentru meandrul Mahmudia conform metodologiei R. A. Bognold 1960.

Menținându-se scara temporală a comparațiilor între serii de timp ai parametrilor hidro-morfologici, se pot observa în tabelul 6 valorile debitelor istorice și relativ actuale pentru meandrul Mahmudia. Se poate remarca o modificare drastică a debitului din anul 2015 în comparație cu anul 1994, în ceea ce privește profilul P83 (Figura 15). Această scădere semnificativă a debitului este cauzată de procesul de aluvionare la intrarea în meandru, indicând o tendință de viitoare deconectare a acestuia de la cursul principal al brațului.

Tabelul 6 Comparație debitele înregistrate pe meandrul Mahmudia între 1994 și 2015.

Anul	P85		P83		PMh		P62		P65		P Uzlina	
	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)
1994	682	336	368	204.8	306	72.7	640	296.6	-	-	-	-
2015	-	-	14.8	100	-	-	-	-	13.1	331	0.9	30

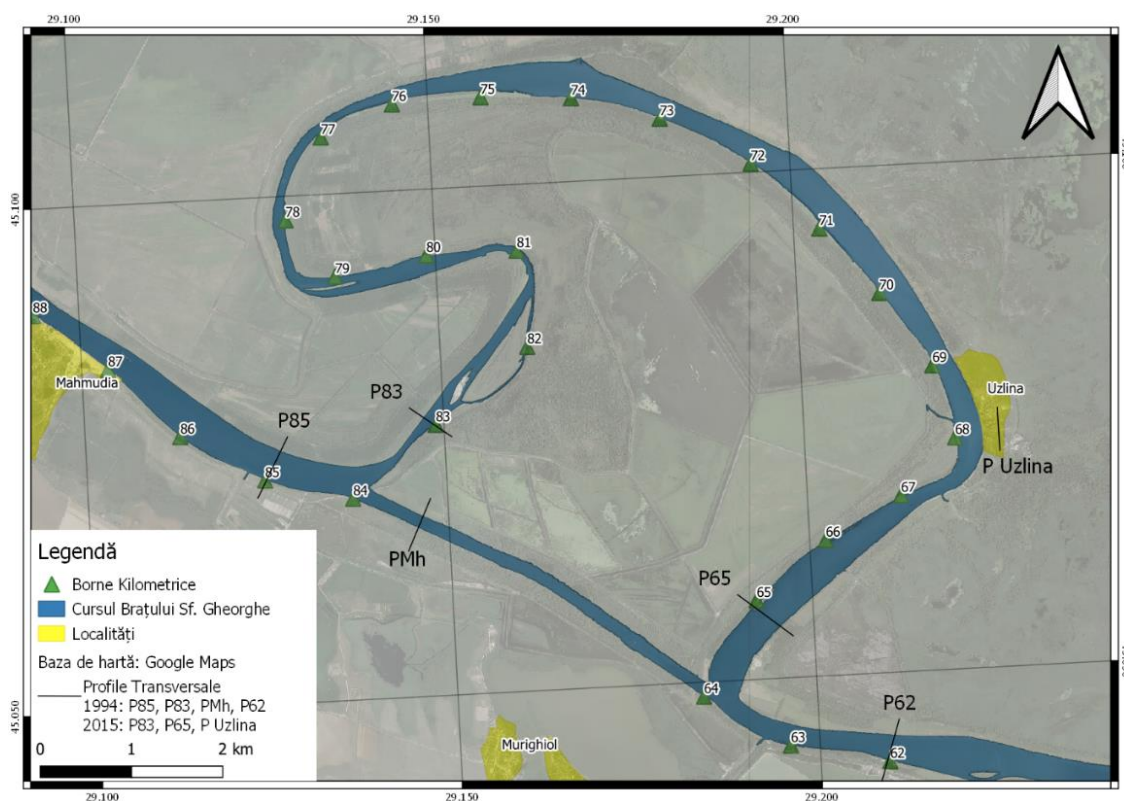


Figura 15 Localizarea profilurilor de măsurare a debitelor și vitezelor în meandrul Mahmudia

Datele batimetrice comparative pentru acest segment de curs de apă, datează din 1994, imediat ce canalele de rectificare au fost finalizate, respectiv din 2015 (Figura 15). Analizând profilele de la figura 16 se constată faptul că cele de la kilometrul 85 indică o adâncire semnificativă a secțiunii, conducând la o creștere a vitezei de curgere. Talvegul se mută de la malul stâng către mijlocul albiei, indicând schimbarea direcției principale de curgere spre canalul de rectificare. Malul drept al Dunării suferă eroziune puternică din cauza accelerării apei pe canalul de rectificare, iar adâncimile se modifică de la 7-8 m la 12-13 m. Pe parcursul a 20 de ani, canalul de rectificare se extinde în lățime și adâncime, dublându-și

lățimea și crescând adâncimile de la 15 m la 23 m. Profilele de la kilometrul 83 indică o colmatare puternică a intrării pe meandru în urma creării canalului de rectificare. Albia minoră a meandruului s-a diminuat considerabil prin colmatare conform profilelor din 2015, păstrând forma secțiunii, dar cu adâncimi maxime de 4 m. În secțiunea de la kilometrul 62, distanța dintre maluri rămâne constantă, sugerând un echilibru morfologic al malurilor, însă adâncimea s-a adâncit cu aproximativ 5 m, iar talvegul s-a deplasat ușor către malul drept, posibil pe direcția de curgere a canalului de rectificare.

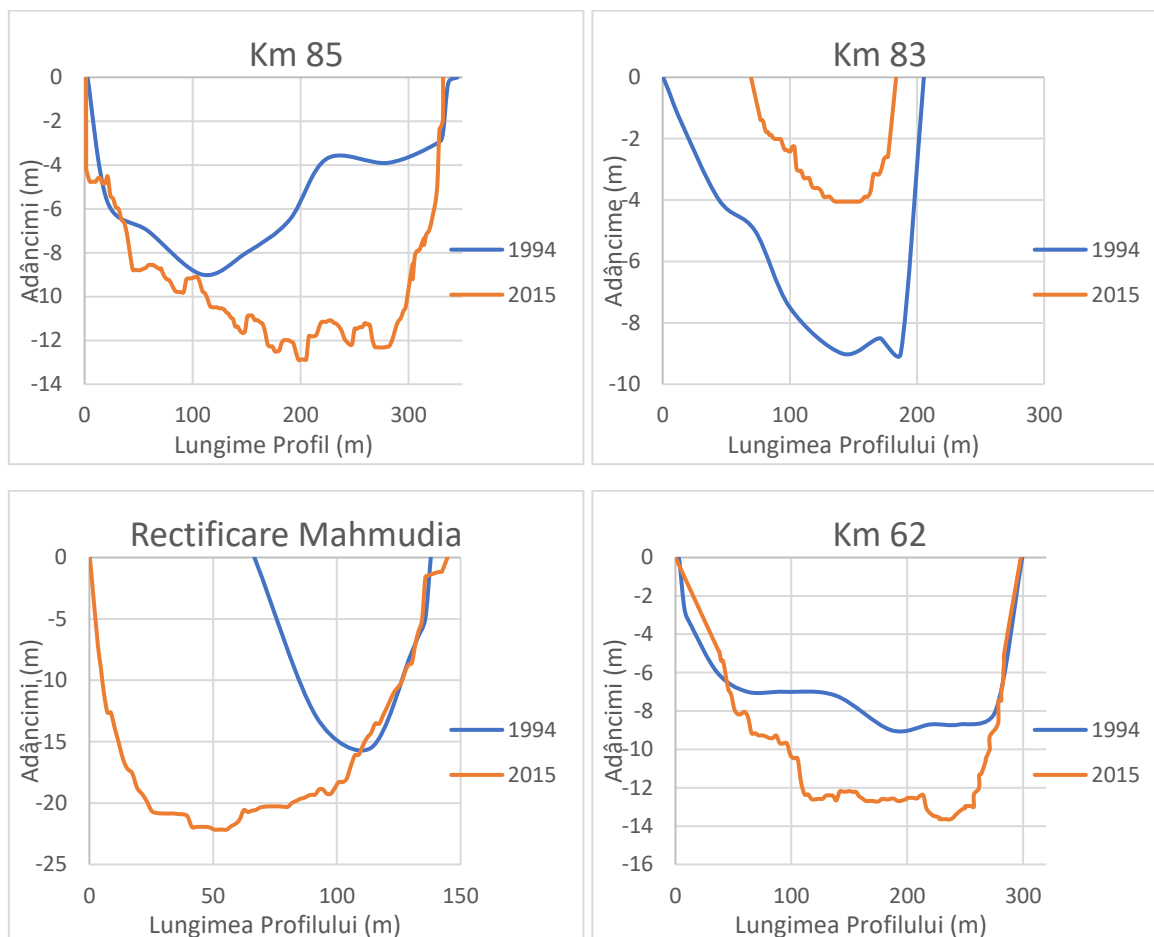


Figura 16 Comparații ale secțiunilor batimetrice 1994 și 2015 în sectorul de curgere al meandruului Mahmudia.

3.2. Gruparea de meandre Dunavăț – Perivolovca

În perioada 1990-2004, au avut loc modificări importante în cele două meandre, prin procese hidromorfologice specifice meandrelor rectificate. Suprafața corpului de apă în anul 2004 a fost de 278.5 Ha, față de 271 Ha în anul 1990, datorită proceselor fluviale complexe pe întregul sector de curgere între kilometrii 59-49. Malul drept a avansat cu 2.88 Ha, iar malul stâng a avansat cu 3.7 Ha (Tabelul 7), predominant pe meandru Perivolovca. Ambele maluri au pierdut suprafețe de 7.7 Ha și, respectiv, 6.7 Ha, de-a lungul malului drept și malului stâng. Meandru din aval, Perivolovca, a înregistrat o sedimentare mai intensă, în timp ce meandru Dunavăț a beneficiat de procese de eroziune mai însemnate (Figura 18). Suprafețele emerse sunt mai mari pe meandru Perivolovca, indicând modificări semnificative în albia minoră a meandruului.

În perioada 2004-2011 au avut loc modificări semnificative în acest grup de meandrare prin procese morfodinamice caracterizate de o ușoară colmatare. Dimensiunea corpului de apă al grupului de meandre s-a redus de la 278.5 Ha în 2004 la 262 Ha în 2011 (Tabelul 7). Zonele emerse sunt mai mari cu 16.5 Ha decât cele submerse în acest sector de meandru, în decursul acestor 7 ani. Procesele de sedimentare sunt accentuate în meandrul Perivolovca. Malul stâng al meandrului Dunavăț este erodat, în timp ce canalul de rectificare al acestuia prezintă o micșorare ușoară a lățimii din cauza deficitului de debit al pei. Albia minoră a canalului de rectificare Dunavăț prezintă o asimetrie, cu un mal stâng abrupt și adâncimi scăzute către malul drept iar lățimea canalului de rectificare al meandrului Perivolovca continuă să crească pe toată lungimea sa. Cele două meandre, Dunavăț și Perivolovca, au evoluții asimetrice, apa Dunării curgând predominant pe traseul natural (meandrul Dunavăț) iar canalul de rectificare fiind ușor colmatat în zona de bifurcare. Meandrul Perivolovca prezintă zone semnificative de colmatare pe toată lungimea acestuia iar cursul principal al apei este direcționat pe canalul de rectificare.

În perioada 2011-2018, meandrul Perivolovca prezintă o colmatare mai accentuată în comparație cu meandrul Dunavăț. Corpul de apă se diminuează în continuare, de la 262 Ha în 2011 la 227 Ha în 2018, cu o rată mai mare decât în perioada anterioară. Sectorul de curgere al meandrului între kilometrii 54 și 49.5 reprezintă zona de sedimentare accentuată, în care malurile și ostroavele se extind (Figura 17). În ceea ce privește meandrul Dunavăț, acesta este aparent foarte puțin afectat de procesele morfodinamice, sugerând o stare de echilibru, cel puțin în ceea ce privește configurația emersă. Procesele de eroziune sunt prezente pe ambele canale de rectificare, iar eroziunea se accentuează pe malul stâng al canalului de rectificare Dunavăț, determinând lărgirea intrării pe acest canal. Canalul de rectificare Perivolovca continuă să se extindă preponderent de-a lungul malului stâng, iar malurile, în zona de bifurcare se erodează, favorizând captarea unui debit de apă mai mare. Eroziunea pe canalul de rectificare Dunavăț s-a amplificat, însă suprafețele emerse și submerse de pe meandrul Dunavăț nu prezintă modificări semnificative, menținând o configurație de meandru activ. În schimb, meandrul Perivolovca suferă o colmatare de la amonte spre aval. Ostroavele se schimbă și se alipesc malurilor, rezultând un curs de apă redus și neregulat pe toată lungimea meandrului. Totuși, de la confluența canalului Perivolovca până în avalul meandrului, există un corp de apă uniform, fără formațiuni emerse. Acesta poate fi explicat de direcția reversibilă a curului de apă de pe canalul Perivolovca, care deversează apa în meandru în diferite regimuri hidrologice.

Tabelul 7 Valorile morfometrice ale proceselor morfodinamice aferente malurilor meandrelor Dunavăț - Perivolovca în perioada 1990 – 2018.

	Ani	Suprafață corp apă (Ha)	Mal Drept		Mal Stâng		Ostroave	
			Emers (Ha)	Submers (Ha)	Emers (Ha)	Submers (Ha)	Emers (Ha)	Submers (Ha)
Meandrele Dunavăț & Perivolovca	1990	271	referință	referință	referință	referință	referință	referință
	2004	278.5	2.88	7.7	3.7	6.7	-	-
	2011	262	8.1	1.7	5.8	5.3	9.5	-
	2018	227	16.6	2.6	13.1	6.5	14.7	0.4
	TOTAL	-44	27	12	23	18	24	0.5
	Total Suprafețe Emerse (Ha)			74 Ha				
Total Suprafețe Submerse (Ha)				30 Ha				

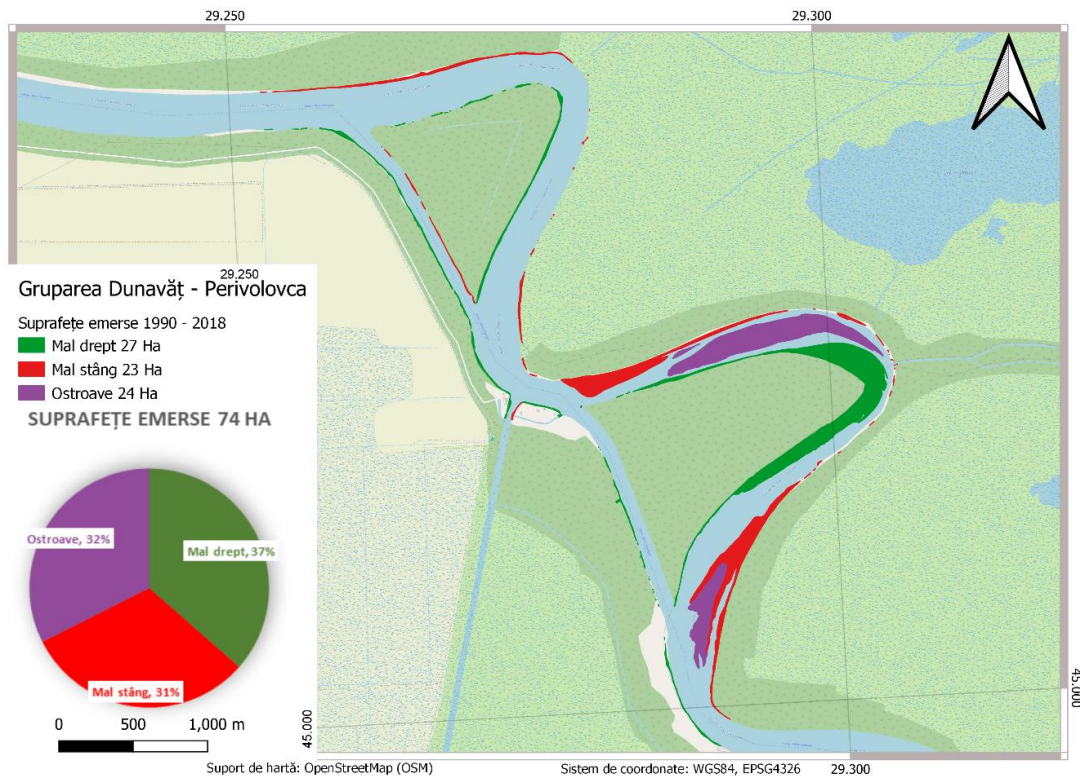


Figura 17 Suprafețele emerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare între 1990, 2004, 2011 și 2018 pentru gruparea de meandre Dunavăț - Perivolovca.

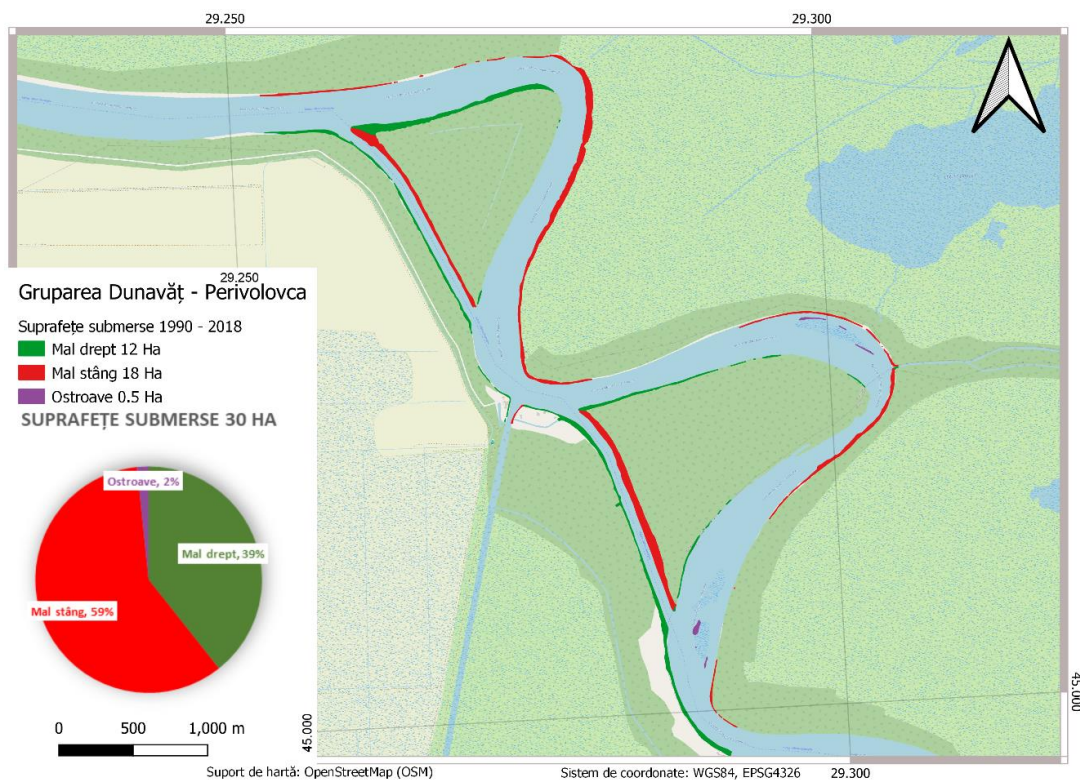


Figura 18 Suprafețele submerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare între 1990, 2004, 2011 și 2018 pentru gruparea de meandre Dunavăț - Perivolovca.

Valorile raportului Bagnold (Tabelul 8) indică faptul că în a doua parte a meandrului Dunavăț, curgerea devine turbionară, iar valoarea raportului are o tendință ușor descrescătoare, sugerând că în albia minoră a meandrului au loc procese morfodinamice accentuate. Valorile raportului pentru curba din dreptul canalului Dunavăț rămân constante timp de 21 de ani, sugerând un aparent echilibru dinamic în albia minoră a acestui segment de curgere. Pentru curba de la apexul meandrului Perivolovca (Figura 19), valoarea raportului în 2018 indică un curs atenuat, asemănător celui de la meandrul Mahmudia, în care arcul de curbură este mare, iar lățimea canalului este mică. În condiții hidrologice caracterizate de ape mici și medii, tendința meandrului Perivolovca este de deconectare în amonte de la cursul principal al brațului și de colmatare până în dreptul canalului Perivolovca, urmată de îngustarea în a doua jumătate a meandrului, dar menținerea unui șenal de legătură între cursul principal al brațului și canalul Perivolovca.

Tabelul 8 Valorile critice ale raportului r_m/d pentru meandrele Dunavăț și Perivolovca.

Meandrul	Km	r_m (m)				d (m)				r_m/d			
		1990	2004	2011	2018	1990	2004	2011	2018	1990	2004	2011	2018
Dunavăț	56	260	269	253	271.7	160	198.8	194	217.6	1.63	1.35	1.30	1.24
Perivolovca	54	412	411	415	360.8	197	194.2	188.4	198.6	2.09	2.11	2.2	1.81
Perivolovca	52	252	253	283.6	339	170	166.2	103	54.2	1.49	1.52	2.75	6.25
Perivolovca	49	333	274	521	672	168	194	186.6	99.6	1.98	1.41	2.79	6.74

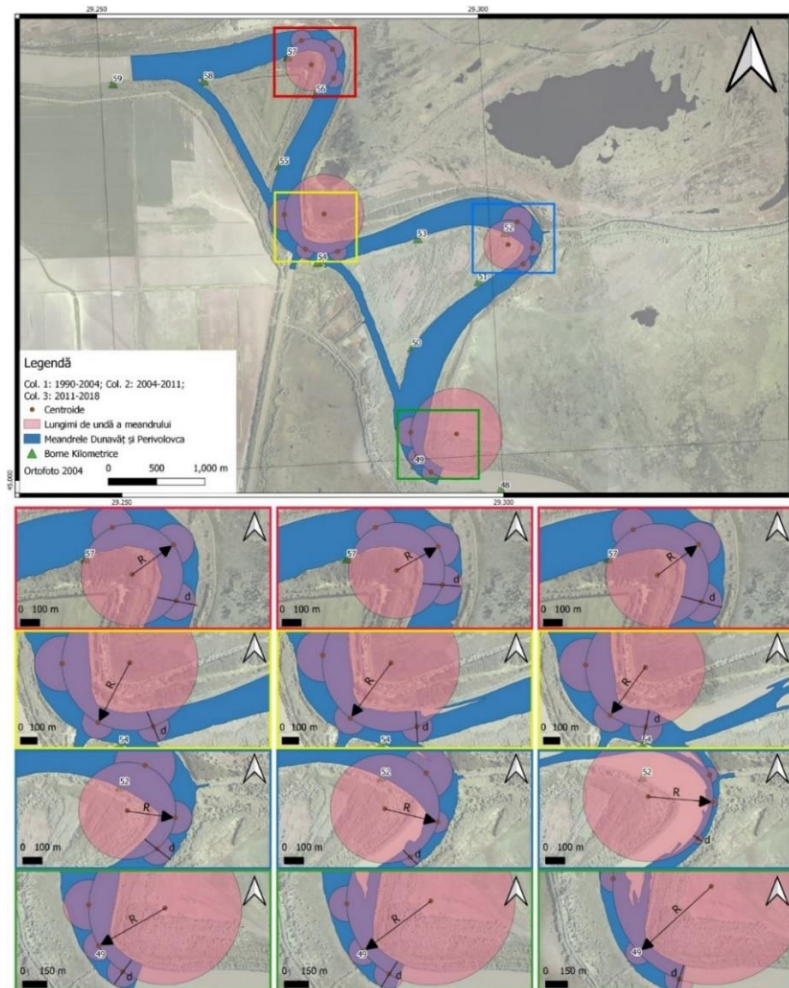


Figura 19 Calculul raportului r_m/d pentru meandrele Dunavăț și Perivolovca conform metodologiei R. A. Bognold 1960.

Repartiția debitelor lichide prin segmentul de curgere de la kilometrul 57.5 (Figura 20) prezintă o evoluție în două etape, aflându-se în prezent într-o stare predominantă de echilibru morfodinamic după rectificarea meandrelor. Lățimea corpului de apă rămâne aproape constantă în perioada investigată (1990 - 2018). Diferența de debit între anii 1994 și 2015 indică faptul că debitul pe canalul de rectificare este nesemnificativ, în ciuda măririi albiei minore. Aceasta reprezintă prima etapă a evoluției debitului, iar a doua etapă implică sedimentarea malului drept al bifurcației dintre cursul principal și canalul de rectificare. Canalul de rectificare Dunavăț se lățește puțin, dar primește de patru ori mai mult debit de apă în 2018 față de 1994, indicând modificări semnificative ale adâncimii albiei minore. Profilele de la kilometrul 53.5, situate în avalul bifurcației cu al doilea meandru al grupării - Perivolovca, evidențiază o puternică colmatare a acestuia, debitul scăzând de la 655 m³/s în 1994 la 17 m³/s în 2018. Navigația pe acest meandru este dificilă pentru ambarcațiuni. Canalul Dunavăț, care face legătura cu lacul Razim, își menține lățimea și debitul din 1994 datorită poziției favorabile și direcției scurgerii apei din cursul principal, beneficiind de autodragare și intervenții în canalele adiacente în aval. Canalul de rectificare Perivolovca înregistrează în 2018 un debit de apă de șapte ori mai mare față de 1994 (Tabelul 9), datorită direcției benefice de curgere a apei, sedimentării puternice la intrarea în meandru și creșterii vitezei de curgere a apei.

Tabelul 9 Comparație între debitele înregistrate pe meandrele Dunavăț și Perivolovca între 1994 și 2018.

Anul	Km 57.5		Rectificare Dunavăț		Km 54.5		Km 53.5		Canalul Dunavăț		Rectificare Perivolovca		Km 49	
	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)
1994	565	271	78	75	862	301	655	176.6	20	40	157	74.6	975	186.6
2015	679.9	277	-	-	-	-	16.1	86	26.1	38	-	-	-	-
2018	977	280	327	90	-	-	17.3	81	27.3	37	1202	110	-	-

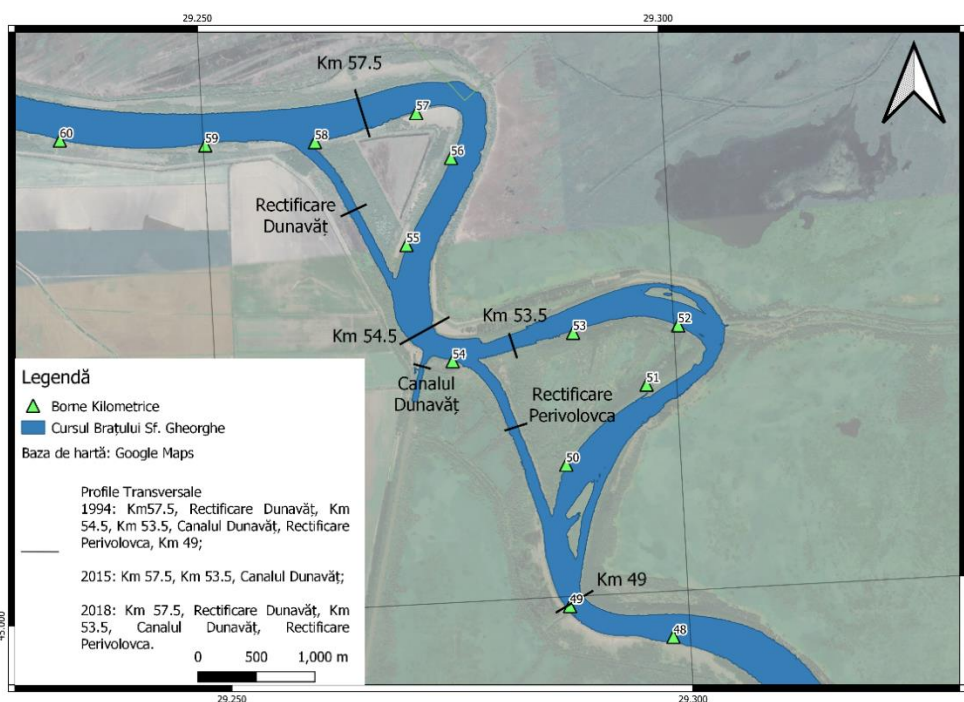


Figura 20 Localizarea profilelor de măsurare a debitelor și vitezelor în meandrele Dunavăț și Perivolovca.

Din punct de vedere al **modificărilor în secțiunile albiei minore**, acest segment de meandrare evoluează printr-un curs sinuos, parcurgând două meandre. Meandrul Dunavăț își menține în mare parte configurația morfologică, în timp ce al doilea meandru, Perivolovca, se colmatează puternic, dezvoltând ostroave și prezentând adâncimi reduse pe întreaga sa lungime. Meandrul Dunavăț preia cea mai mare parte a debitului datorită direcției generale a cursului de apă și își păstrează configurația relativ constantă de-a lungul anilor. Profilele la kilometrul 57.5 arată acest aspect (Figura 22). Talvegul rămâne în aceeași poziție de-a lungul malului drept, și se adâncește. Același lucru se întâmplă și la profilele din dreptul kilometrilor 54.5 și 49 (Figura 21). Însă la intrarea în meandrul Perivolovca, la kilometrul 53.5, situația este diferită. De la o secțiune de curgere uniformă și simetrică în 1994, în 2018 adâncimea scade la 3 m, iar talvegul se apropie la 1 m distanță de malul drept. Întregul meandru este caracterizat de un șenal greu accesibil de-a lungul malului drept și colmatat spre malul stâng, cu adâncimi de profil ce evoluează între 0.5-1m pe o distanță de aproximativ 40 m. Canalul de rectificare Dunavăț se lățește cu aproximativ 30 m și se adâncește cu 6 m, dar nu înregistrează un aport semnificativ de apă. Datorită unghiului de atac al debitului din cursul principal în canalul de rectificare, acesta este direcționat în mare parte pe meandru. Cu toate acestea, în zona de bifurcație a cursului principal cu meandrul și canalul rectificat, se observă o colmatare semnificativă a malului drept, determinând șenalul să se deplaseze mai mult spre malul stâng.

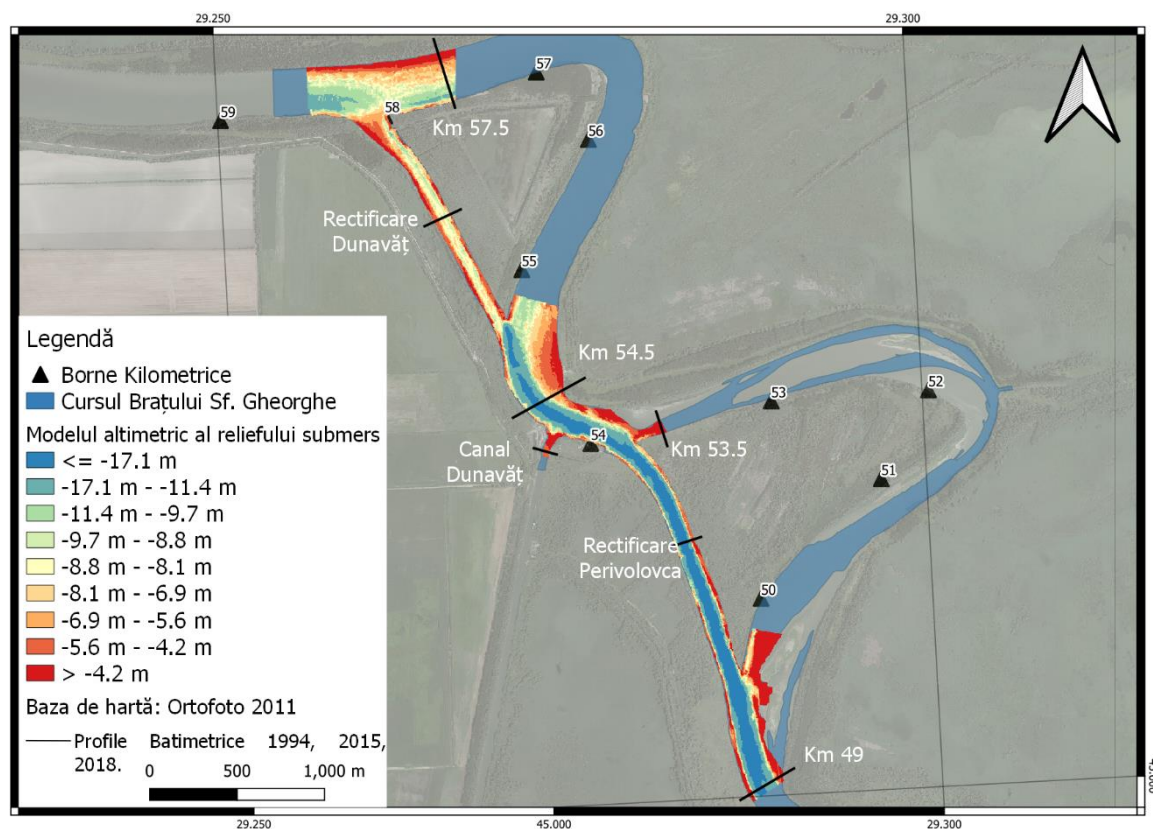


Figura 21 Poziționarea profilelor batimetrice și modelul altimetric al reliefului submers, în cadrul grupării de meandre Dunavăț și Perivolovca.

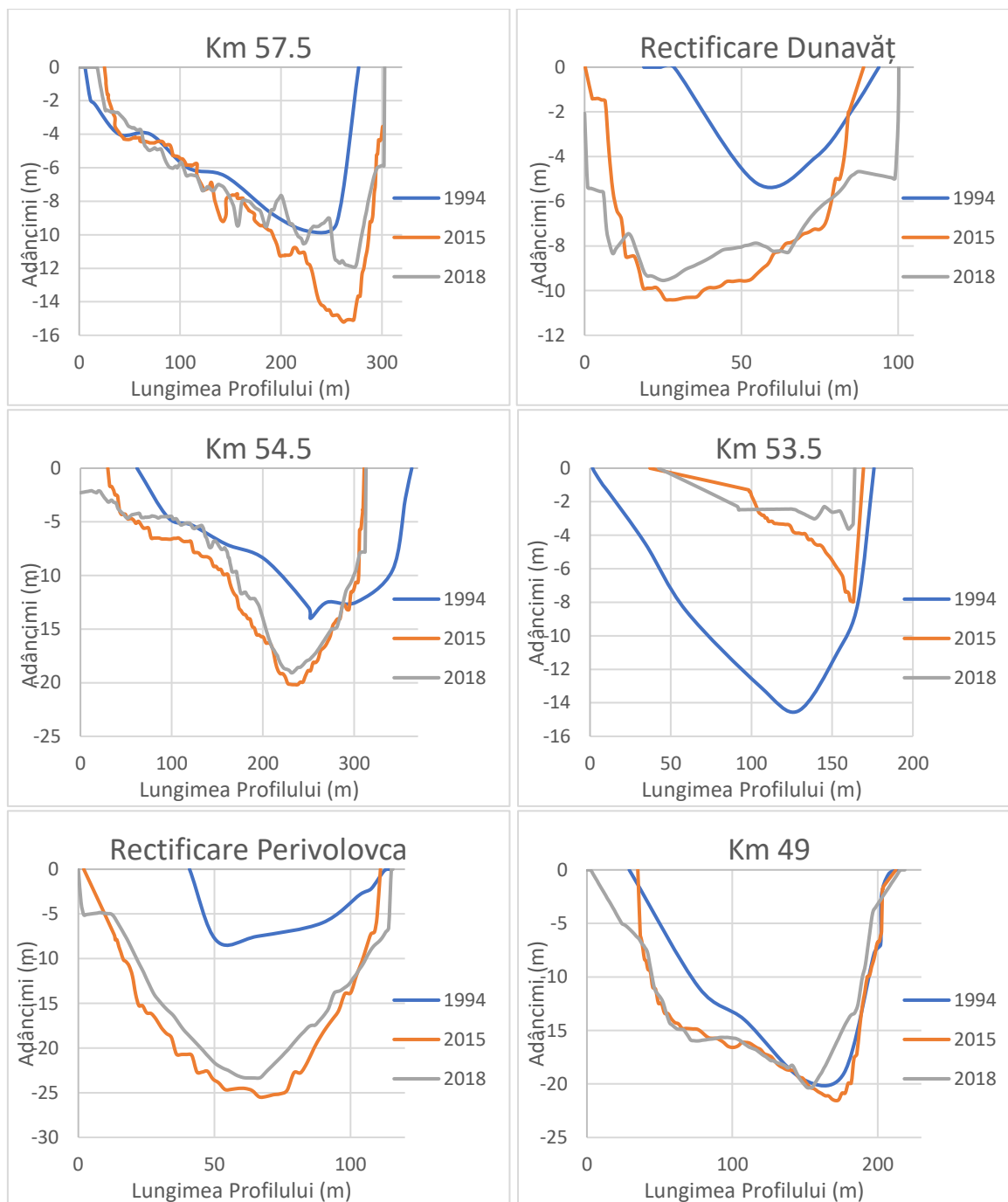


Figura 22 Comparație a profilelor batimetrice în cadrul grupării meandrelor Dunavăț și Perivolovca.

3.3. Gruparea de meandre Dranov – Erenciuc

Între anii 1990 și 2004, de la lucrările de rectificare a meandrelor, se observă procese morfodinamice favorabile aluvionării. Suprafața corpului de apă se micșorează de la 388 Ha în 1990 la 376.5 Ha în 2004 (Tabelul 10). Malurile stângi se sedimentează în prima jumătate a meandrelor, în timp ce malurile drepte se sedimentează în a doua jumătate. Eroziunea se produce într-un mod similar, dar în oglindă. Aceste aspecte indică faptul că există un debit suficient în ambele meandre pentru a permite proceselor fluviale să se desfășoare în mod natural. Malurile stângi ale meandrelor prezintă zone emerse, în special în meandrul

Erenciuc, segment în care lățimea corpului de apă ajunge la 130m în 2004 față de 200m în 1990. Suprafețele emerse sunt de două ori mai mari decât cele submerse. Suprafețele emerse și noile ostroave rezultate însumează 23.9 Ha (Figura 23), în timp ce cele submerse ocupă 12.7 Ha (Figura 24). Ostrovul de-a lungul malului stâng, de la confluența meandrului Dranov cu canalul de rectificare, are o suprafață de 0.8 Ha în 2004 și este acoperit cu vegetație ierboasă. Canalele de rectificare evoluează prin procese dinamice, determinând expansiunea albiilor minore, așa cum s-a observat și în cazul canalelor de rectificare ale meandrelor anterioare.

Între anii 2004 și 2011, similar meandrelor de amonte, are loc o perioadă critică datorită celor două evenimente istorice de nivel minim (2003) și maxim (2010). În decursul acestui interval, au loc cele mai semnificative procese morfodinamice ale acestui segment de meandrare. Suprafața corpului de apă în 2011 este de 341 Ha, în scădere față de 376.5 Ha în 2004, deoarece debitul lichid și solid a scăzut semnificativ pe meandrele (Tabelul 10). Canalele de rectificare sunt puternic erodate, lățimea și adâncimea acestora crescând în această perioadă. Suprafețele emerse sunt semnificativ mai mari decât cele submerse, ajungând la 44.1 Ha în comparație cu 8.5 Ha (Figurile 23 și 24). Noi ostroave se formează în partea inferioară a meandrului Dranov și anterior apexului de curbură a meandrului Erenciuc. Ostroavele sunt bine fixate și ajung să prezinte vegetație lemnoasă în interior și vegetație ierboasă în exterior. Ostroavele din partea inferioară a meandrului Dranov direcționează debitul de apă spre malul drept al confluenței, favorizând colmatarea și alipirea acestui ostrov cu malul stâng al meandrului. Ostrovul din curbura meandrului Erenciuc determină șenalul să se dezvolte pe partea stângă a acestuia, și prezintă adâncimi impresionante. Comparativ cu primii 14 ani de evoluție, canalele de rectificare ale meandrelor continuă să se lățească din cauza proceselor accentuate de eroziune laterală și longitudinală.

Între anii 2011 și 2016 gruparea de meandre prezintă continuitate în procesele morfodinamice anterioare, cu o creștere mai mare a suprafețelor emerse în comparație cu cele submerse. Suprafețele emerse ale malurilor meandrelor, în special ale celui de-al doilea meandru, Erenciuc, au crescut în 2016. De asemenea, ostroavele conturate în perioada anterioară s-au extins. În ansamblu, suprafața tronsonului emers studiat s-a extins cu aproximativ 22 Ha, în timp ce suprafețele submerse, în special de-a lungul malurilor canalelor de rectificare, au pierdut teren în favoarea corpului de apă, cu doar 4.3 Ha. Comparativ cu 2011, suprafața corpului de apă pe întregul sector de curgere al grupării de meandre s-a micșorat cu 17.6 Ha în 2016. Suprafețele emerse s-au înjumătățit în această perioadă față de cea anterioară, în condițiile în care nu s-au înregistrat regimuri hidrologice extreme.

Tabelul 10 Valorile morfometrice ale proceselor morfodinamice aferente malurilor meandrelor Dranov - Erenciuc în perioada 1990 – 2016.

	Ani	Suprafață corp apă (Ha)	Mal Drept		Mal Stâng		Ostroave		
			Emers (Ha)	Submers (Ha)	Emers (Ha)	Submers (Ha)	Emers (Ha)	Submers (Ha)	
Meandrele Dranov & Erenciuc	1990	388	referință	referință	referință	referință	referință	referință	
	2004	376.5	9.4	5.6	13.7	7.1	0.8	-	
	2011	341	11.2	4.3	17.4	4.2	15.5	-	
	2016	323.4	9.2	1.4	6.2	2.5	6.45	0.4	
	TOTAL	-65	30	11	37	14	23	0.5	
	Total Suprafețe Emerge (Ha)			90 Ha					
	Total Suprafețe Submerse (Ha)			25 Ha					

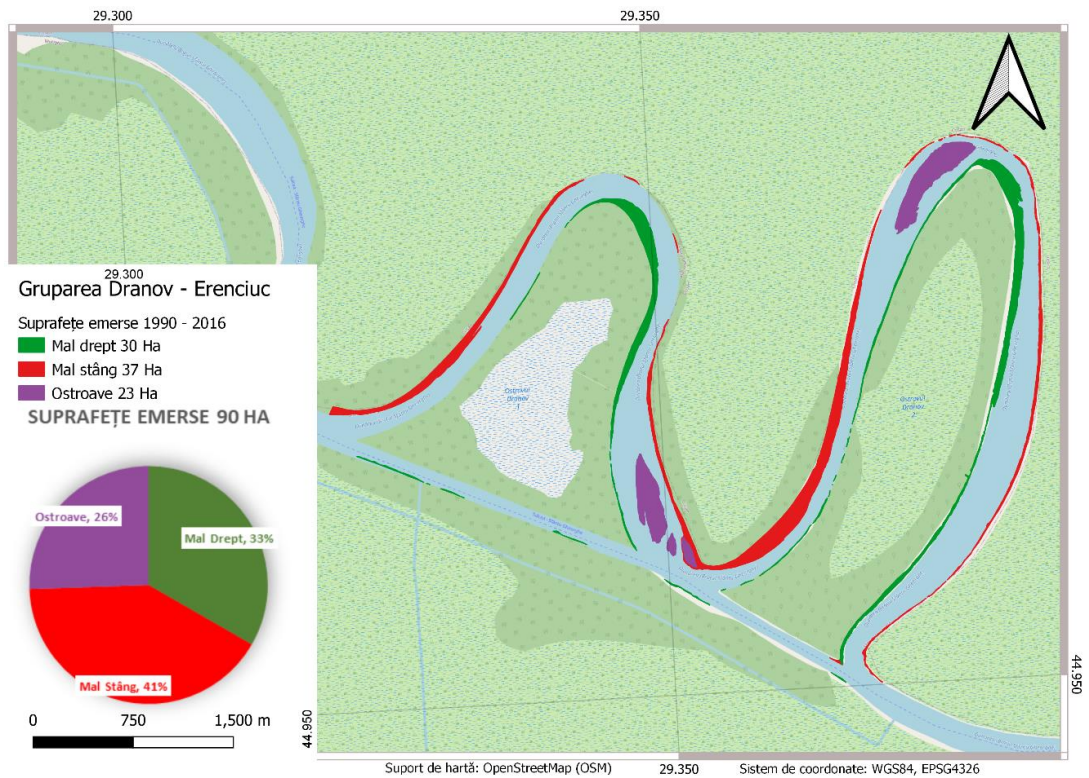


Figura 23 Suprafețele emerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare între 1990, 2004, 2011 și 2016 pentru gruparea de meandre Dranov - Erenciuc.

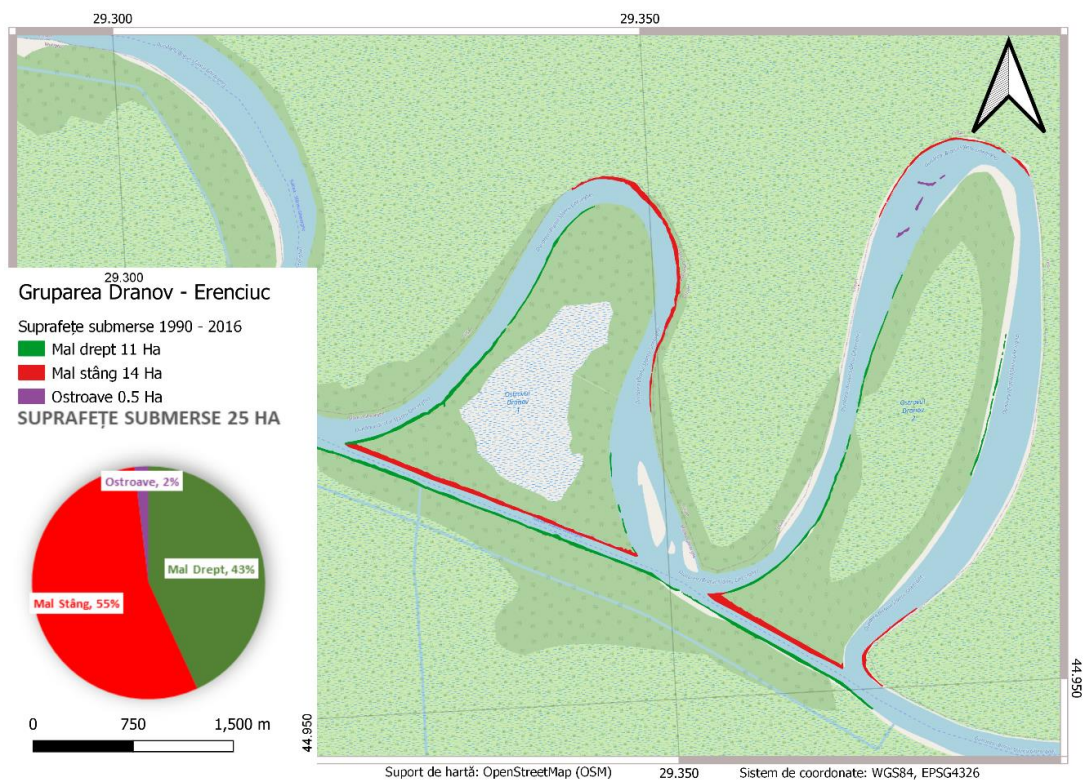


Figura 24 Suprafețele submerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare între 1990, 2004, 2011 și 2016 pentru gruparea de meandre Dranov - Erenciuc.

Prin implementarea **metodologiei de analiză geometrică** a curburilor meandrelor dezvoltată de Bagnold, se observă o tendință de scădere a turbulenței apei în meandre (Figura 25). Această scădere favorizează formarea de suprafețe emerse în lungul malurilor și în albiile minore. Raportul Bagnold care caracterizează gradul de turbulență, pentru curbura de la kilometrul 41, a evoluat de la o valoare de 1,76 pentru anul 1990 la valoarea de 3 în 2016, indicând o curgere detensionată și atenuată (Tabel 11), favorizând procesul de aluvionare și apariția ostroavelor. La zona de confluență/bifurcare a meandrelor, raportul Bagnold a crescut în urma lucrărilor de rectificare, iar lățimea secțiunii de curgere pe meandrul Erenciuc s-a diminuat. În curbura din apexul meandrului Erenciuc, coeficientul Bagnold a crescut, datorită apariției unui ostrov și îngustării cursului de apă. La confluența meandrului Erenciuc cu canalul de rectificare, raportul Bagnold s-a menținut constant, sugerând un echilibru morfodinamic și existența adâncimilor semnificative în secțiunea de curgere.

Tabelul 11 Valorile critice ale raportului r_m/d pentru meandrele Dranov și Erenciuc.

Meandrul	Km	r_m (m)				d (m)				r_m/d			
		1990	2004	2011	2016	1990	2004	2011	2016	1990	2004	2011	2016
Dranov	41	335	409	383	392	190	207	139	129	1.76	1.97	2.7	3
Dranov	38	353	491	495	491	200	136	110	94	1.77	3.6	4.5	5.2
Erenciuc	34	285	408	359	391	175	169	122	104	1.63	2.4	2.9	3.7
Erenciuc	29	232	286	268	278	170	183	182	180	1.37	1.5	1.4	1.5

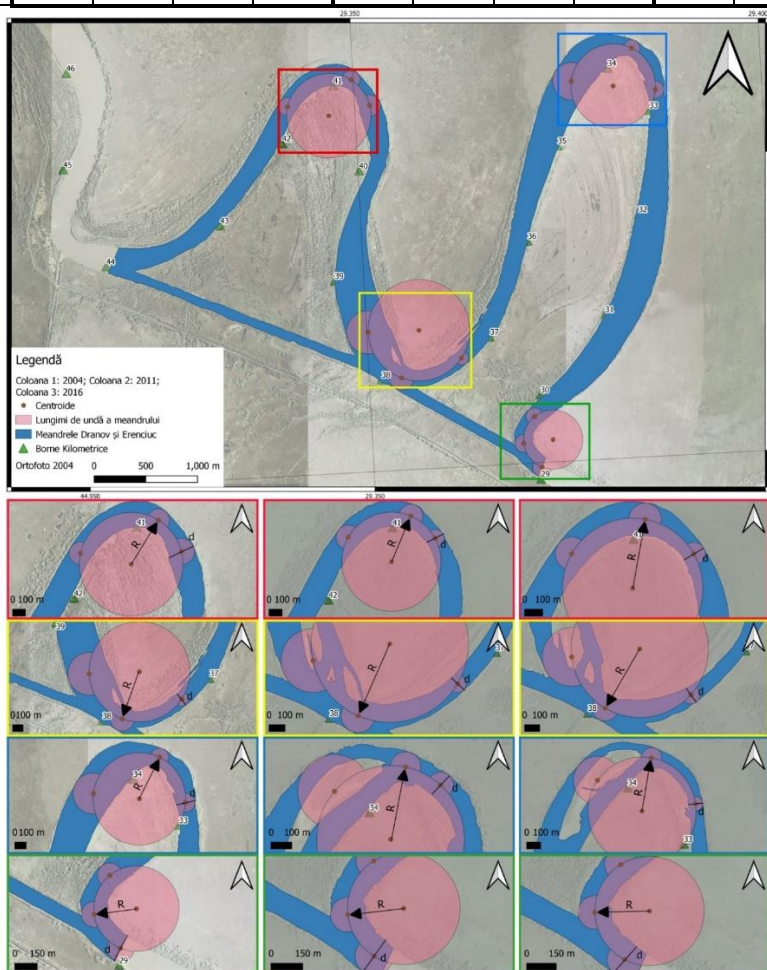


Figura 25 Calculul raportului r_m/d pentru meandrele Dranov și Erenciuc conform metodologiei R. A. Bognold 1960.

În ceea ce privește **valorile debitelor** în această grupare de meandre (Tabel 12, Figura 26) se constată că debitul lichid al meandrului Dranov s-a înjumătățit în 2018 față de anul de referință 1994, ajungând la 250 m³/s de la 570 m³/s. Debitul lichid al meandrului Erenciuc a scăzut și el, ajungând la 50-60 m³/s în 2018 față de valorile similare cu cele ale debitului meandrului Dranov în 1994. Colmatarea a afectat atât debitul meandrului Erenciuc cât și gura canalului Dranov, ce face legătura cu lacul Razim, care s-a colmatat și și-a redus debitul lichid. Cele două canale de rectificare ale meandrelor au fost puternic erodate lateral și longitudinal, iar debitul lor lichid a crescut semnificativ în perioada analizată. Se observă diferențe în comportamentul curgerii și vitezei apei în secțiunile de meandre și totodată în canalele de rectificare, unde curgerea este mai uniformă.

Tabelul 12 Comparație între debitele înregistrate pe meandrele Dranov și Erenciuc între 1994 și 2001.

Anul	Km 43		Rectificare Dranov		Canal Dranov		Km 38		Km 37		Rectificare Erenciuc		Km 29	
	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)
1994	575	186.6	179	72	10	33.6	670	270	540	171.6	80	77.5	685	195.6
2015	178.7	153	-	-	2.7	24.5	-	-	66.1	136	-	-	-	-
2018	254.9	170	1043	115	3.1	24	-	-	55.2	162	1233	138	1340	185

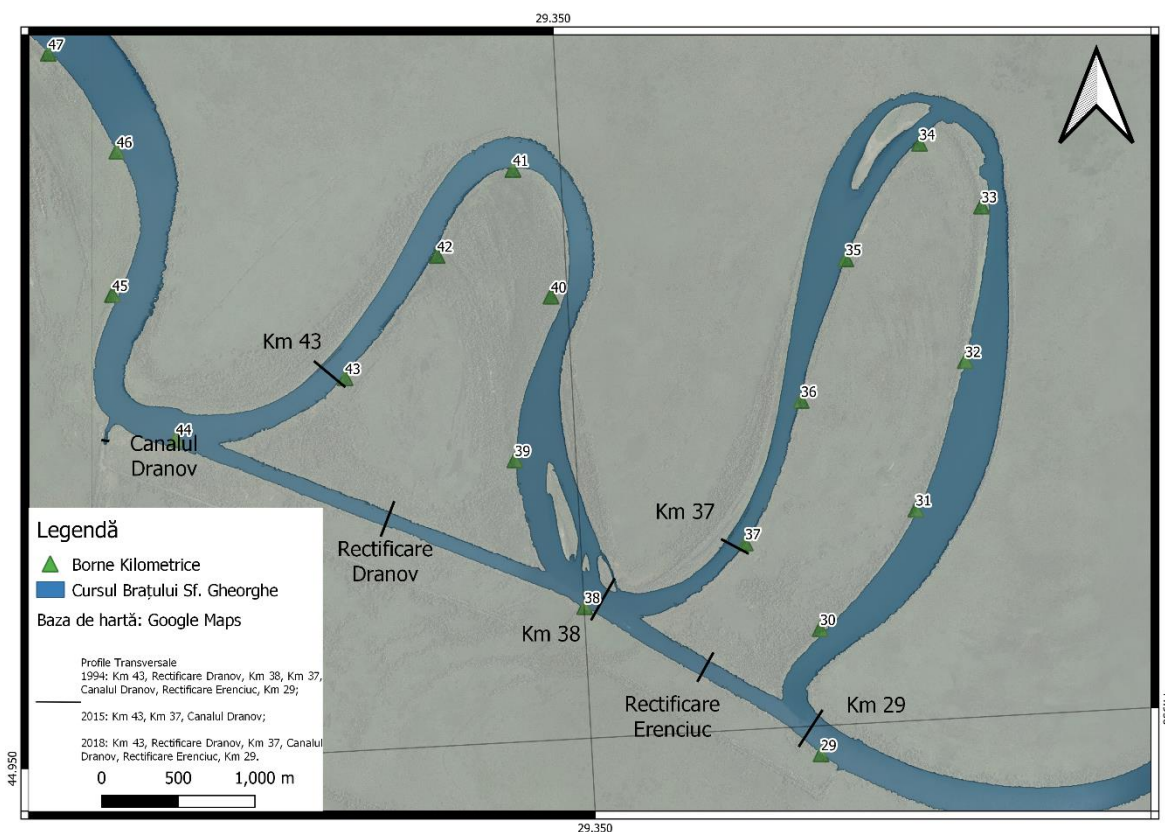


Figura 26 Localizarea profilelor de măsurare a debitelor și vitezelor în meandrele Dunavă și Perivolovca.

În secțiunile de la kilometrul 43 (Figura 27) în interiorul meandrului Dranov, se observă eroziunea malului drept și adâncimi de 10-11 m în talveg, comparativ cu situația din 1994, când adâncimea era de 14-15 m și malul era poziționat în mijlocul secțiunii (Figura 28). Rata medie anuală de acumulare a talvegului în această secțiune este de 16.33 cm/an. Malul stâng este puternic colmatat. Secțiunile canalului de rectificare Dranov se autodraghează cu o rată de 53.29 cm/an, favorizând lățirea și adâncirea talvegului până la ~23 m adâncime. La kilometrul 38, malul stâng prezintă o aluvionare intensă pe o distanță de ~80 m, în timp ce malul drept este puternic erodat, extinzând secțiunea spre sud cu aproximativ 30 m. Secțiunea este asimetrică și talvegul migrează ușor către malul drept, adâncindu-se cu o rată de 18.45 cm/an. Secțiunile de la kilometrul 37 reflectă o colmatare puternică a meandrului Erenciuc, dispunând de un mal drept erodat și abrupt, unde talvegul are o adâncime de 5-6 m, iar malul stâng are adâncimi foarte mici pe aproximativ 100 m lungime de profil. Rata de acumulare a talvegului în această secțiune este de 13.33 cm/an. Canalul de rectificare Erenciuc are o evoluție similară cu cel de rectificare al meandrului Dranov, cu lățire și adâncire într-o manieră exponențială. Ambele canale prezintă o configurație simetrică a albiei minore (Figura 28), indicând o distribuție echilibrată a apei pe întreaga secțiune. Rata de adâncire a talvegului pentru canalul de rectificare Erenciuc este de 54.16 cm/an, la fel ca și cea a canalului de rectificare a meandrului Dranov. În secțiunile de la kilometrul 29, evoluția este simetrică, păstrându-și lungimile, cu diferențe doar în adâncime, de la 19 m la 26 m, cu o rată de adâncire a talvegului de 29.16 cm/an către malul drept.

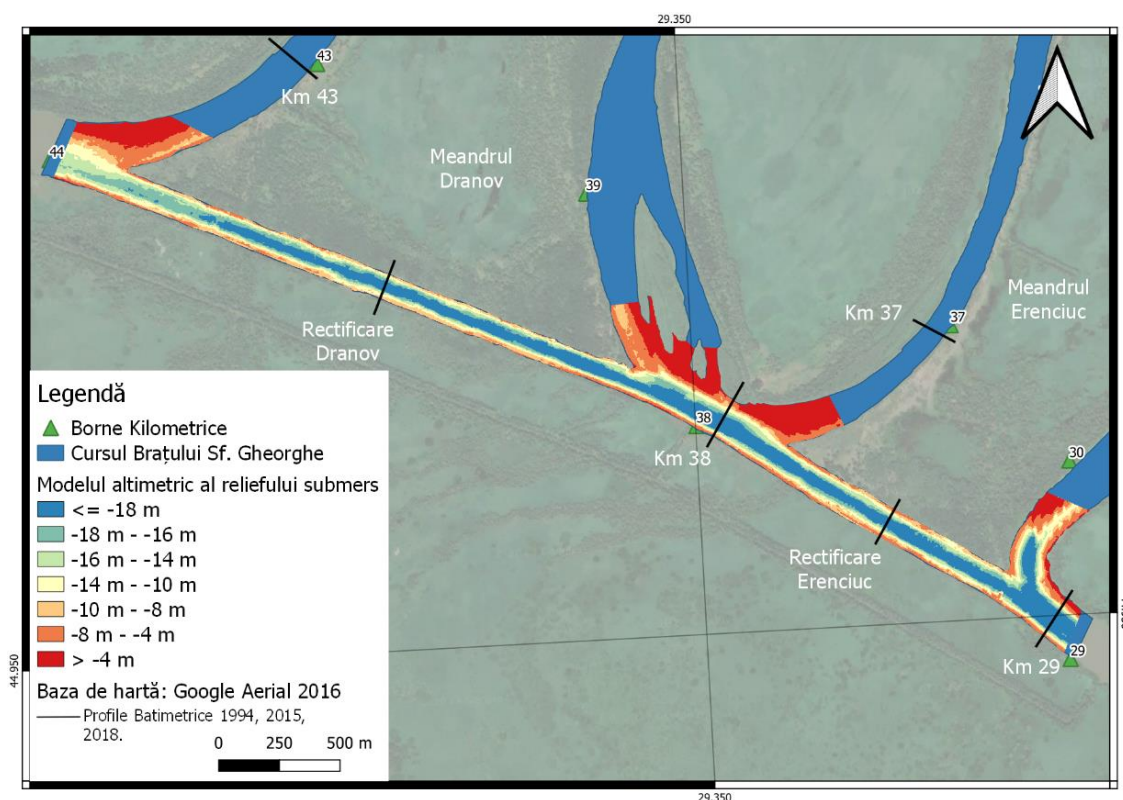


Figura 27 Poziționarea profilelor batimetrice pe sectorul de curgere al meandrelor Dranov și Erenciuc.

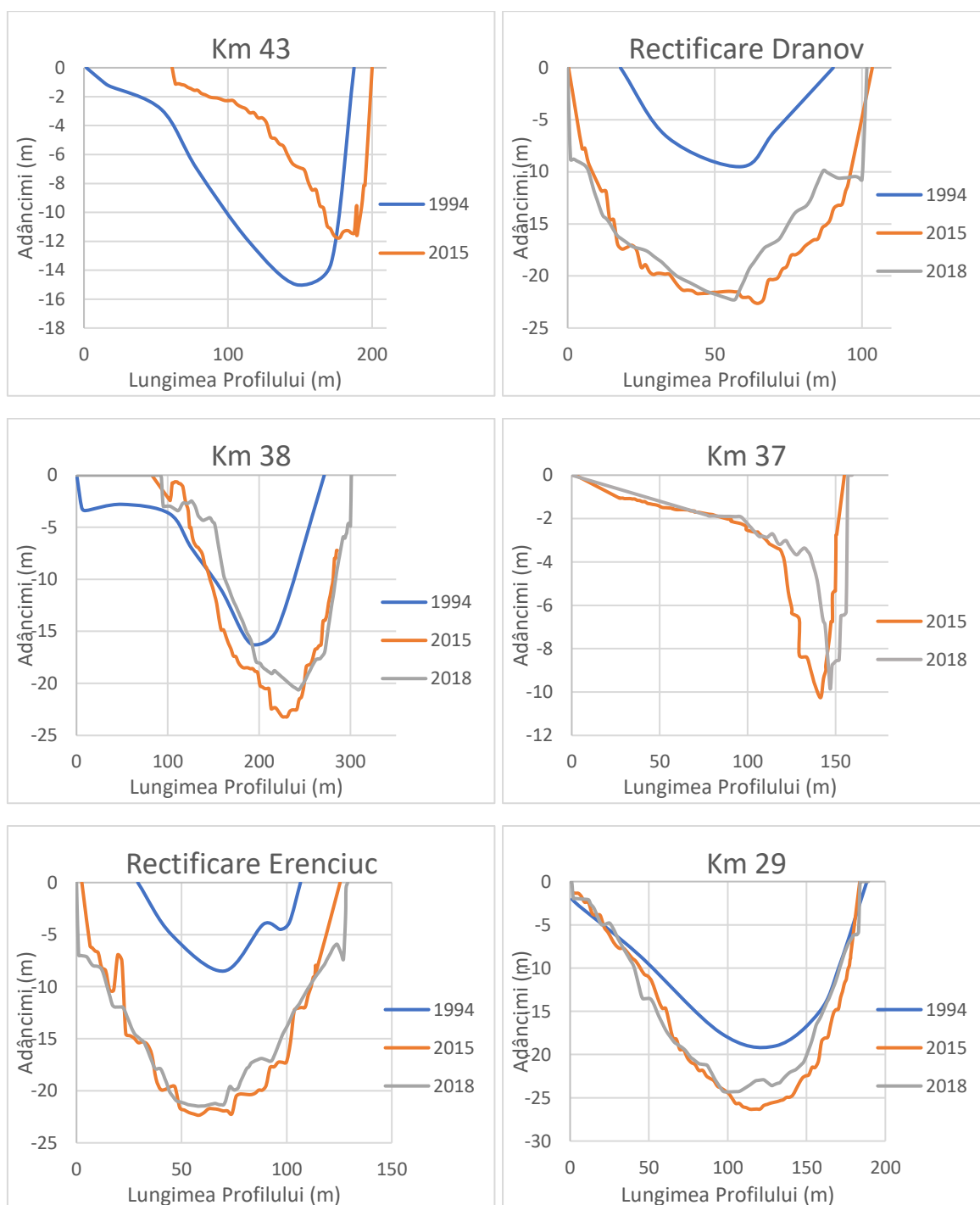


Figura 28 Comparație a profilelor batimetrice pe sectorul de curgere a meandrelor Dranov și Erenciuc.

3.4. Meandrul Ivancea

Între anii 1990 și 2004 suprafața corpului de apă a crescut de la 99.7 Ha în 1990 la 101.2 Ha în 2004. Procesele morfodinamice ale malurilor sunt intense, iar suprafețele submerse sunt mai mari decât cele emerse dar diferența este foarte mică, doar 1.5 Ha. Rectificarea meandrului a amplificat procesele morfodinamice pe ambele fluxuri - meandru și canal de rectificare. Suprafețele emerse însumate pentru ambele maluri sunt de 5.66 Ha, iar cele submerse sunt de 7.19 Ha. Suprafețele emerse se găsesc de-a lungul malului stâng în a doua jumătate a meandrului (Figura 29), iar cele submerse pe malul drept până aproape

de confluența cu canalul de rectificare în aval. Albia minoră se mărește pe canalul de rectificare și pe meandru, iar zona de bifurcație este puternic erodată.

Între anii 2004 și 2011 meandrul Ivancea și-a păstrat dimensiunile suprafețelor corpului de apă și conformația malurilor, cu câteva mici excepții. Diferența între suprafețele emerse și cele submerse este foarte mică, adăugând doar 1 Ha la suprafața corpului de apă în ansamblu. Eroziunea este procesul predominant pe acest sector, iar suprafețele emerse se găsesc în principal pe malul drept al meandrului și pe malul stâng în a doua jumătate a acestuia. Prezența unui debit lichid important și direcția de curgere a fluxului pun presiune pe malul stâng al meandrului, care este puternic erodat. Procesele morfodinamice au scăzut în intensitate în acest sector în comparație cu primele decenii de la rectificarea meandrului.

Între anii 2011 și 2019 meandrul Ivancea continuă să-și modeleze formele emerse cu o rată mult mai mare față de anii precedenți. Comparând valorile suprafeței corpului de apă din tabelul 13, se constată faptul că suprafețele emerse au o rată de creștere mult inferioară celor submerse, diferența dintre acestea fiind de 4.1 Ha. Astfel, suprafețele emerse cresc timid în interiorul meandrului, de-a lungul malului drept (de acumulare) în prima jumătate și de-a lungul malului stâng (de acumulare) în a doua jumătate, însumând aproximativ 1.5 Ha (Figura 3.47). Nesurprinzător, suprafețele submerse se extind puternic de-a lungul malurilor canalului de rectificare și de-a lungul întregului mal stâng al meandrului în prima jumătate a acestuia. Acest lucru indică faptul că meandrul pare să preia din ce în ce mai mult debit, exercitând presiune asupra acestui mal stâng (Figura 30). În total, pe acest segment se pierde o suprafață de 5.69 Ha, ceea ce reprezintă o valoare mult mărită față de perioada anterioară.

Tabelul 13 Valorile morfometrice ale proceselor morfodinamice aferente malurilor meandrului Ivancea în perioada 1990 – 2019.

	Ani	Suprafață corp apă (Ha)	Mal Drept		Mal Stâng		Ostroave	
			Emers (Ha)	Submers (Ha)	Emers (Ha)	Submers (Ha)	Emers (Ha)	Submers (Ha)
Meandrul Ivancea	1990	99.7	referință	referință	referință	referință	referință	referință
	2004	101.2	0.91	5.13	4.75	2.06	-	-
	2011	102.3	1.31	1.68	1.31	1.93	-	-
	2019	107	0.81	2.14	0.73	3.55	-	-
	TOTAL	+7.3	3	9	7	8	-	-
	Total Suprafețe Emerge (Ha)			10 Ha				
Total Suprafețe Submerse (Ha)			17 Ha					

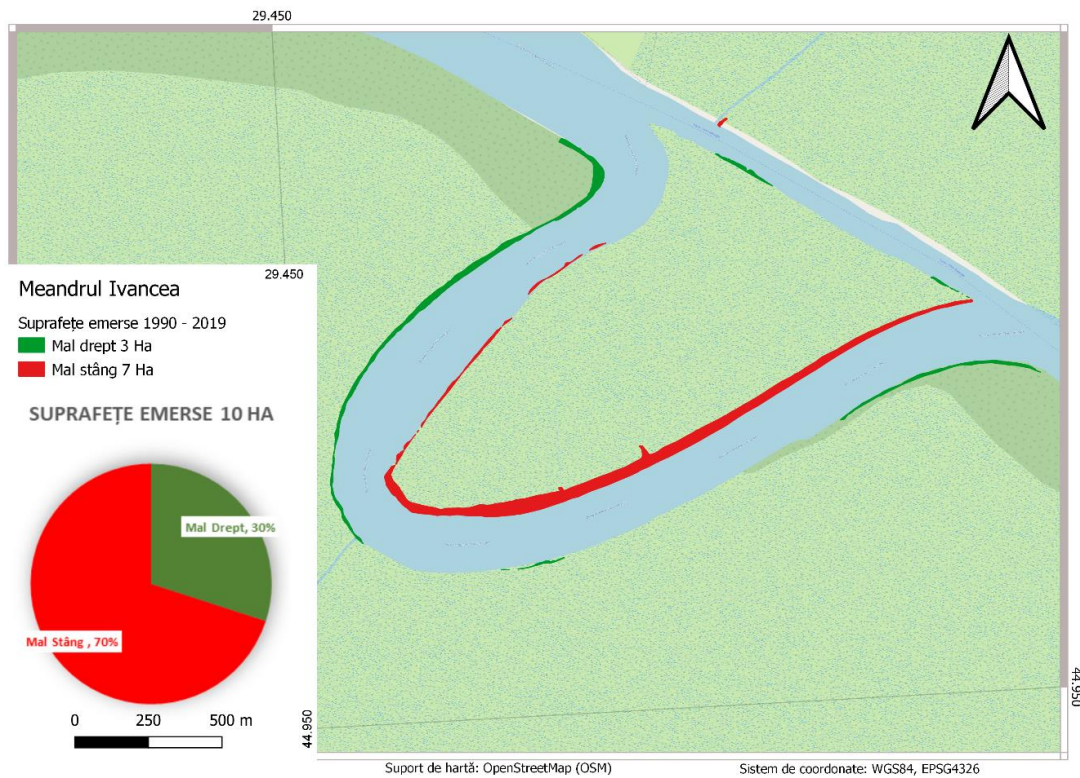


Figura 29 Suprafețele emerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare Ivancea între 1990, 2004, 2011 și 2019

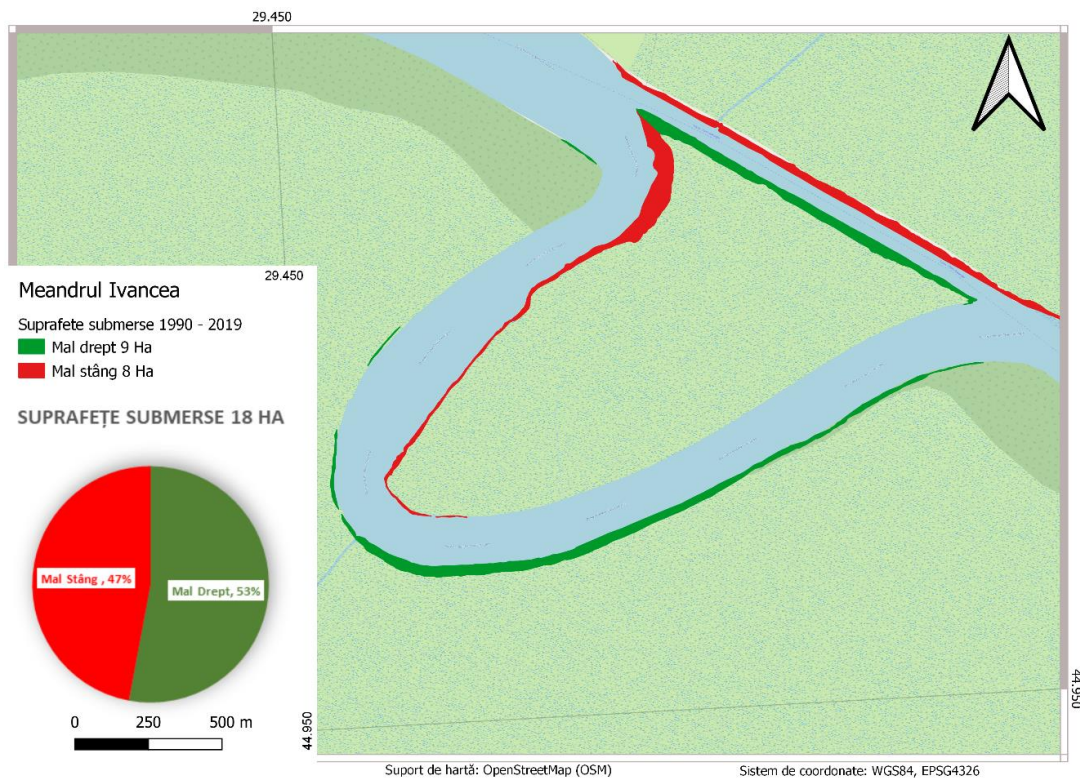


Figura 30 Suprafețele submerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare Ivancea între 1990, 2004, 2011 și 2019

Din punct de vedere ai **parametrilor geometrici**, comparând indicatorii calculați pentru anii 1994, 2004, 2011 și 2019 (Figura 31), se observă o ușoară atenuare a curburilor meandrului, de la valori între 1.3-1.5 în 1994 la 2-2.5 în anii următori (Tabelul 14). În anul 1990, acest raport avea valori reduse, fapt interesant având în vedere proximitatea zonei de vărsare în Marea Neagră, la aproximativ 20 km. Acest lucru determină o pantă foarte mică și un curs de apă atenuat și neturbulent. Pe de altă parte, valorile indicatorilor Bagnold caracterizează meandrul prin prezența unui flux de apă turbulent, provocând modificări semnificative în albia sa minoră. Ulterior, aceste valori trec peste 2 și rămân relativ constante, indicând un echilibru morfodinamic. Deși eroziunea este mai pronunțată în acest meandru, nu afectează în mod drastic regimul hidrologic al întregului curs, așa cum se întâmplă în cazurile meandrelor Perivolovca și Erenciuc. Prin urmare, meandrul continuă să primească un debit suficient de mare pentru a-și menține fluxul.

Tabelul 14 Valorile critice ale raportului r_m/d pentru meandrul Ivancea.

Meandrul	Km	r_m (m)				d (m)				r_m/d			
		1990	2004	2011	2019	1990	2004	2011	2019	1990	2004	2011	2019
Ivancea	20	230	190	174	163	168	87	80	87	1.37	2.1	2.1	1.8
Ivancea	18	260	244	250	247	165	99	99	101	1.58	2.4	2.5	2.4

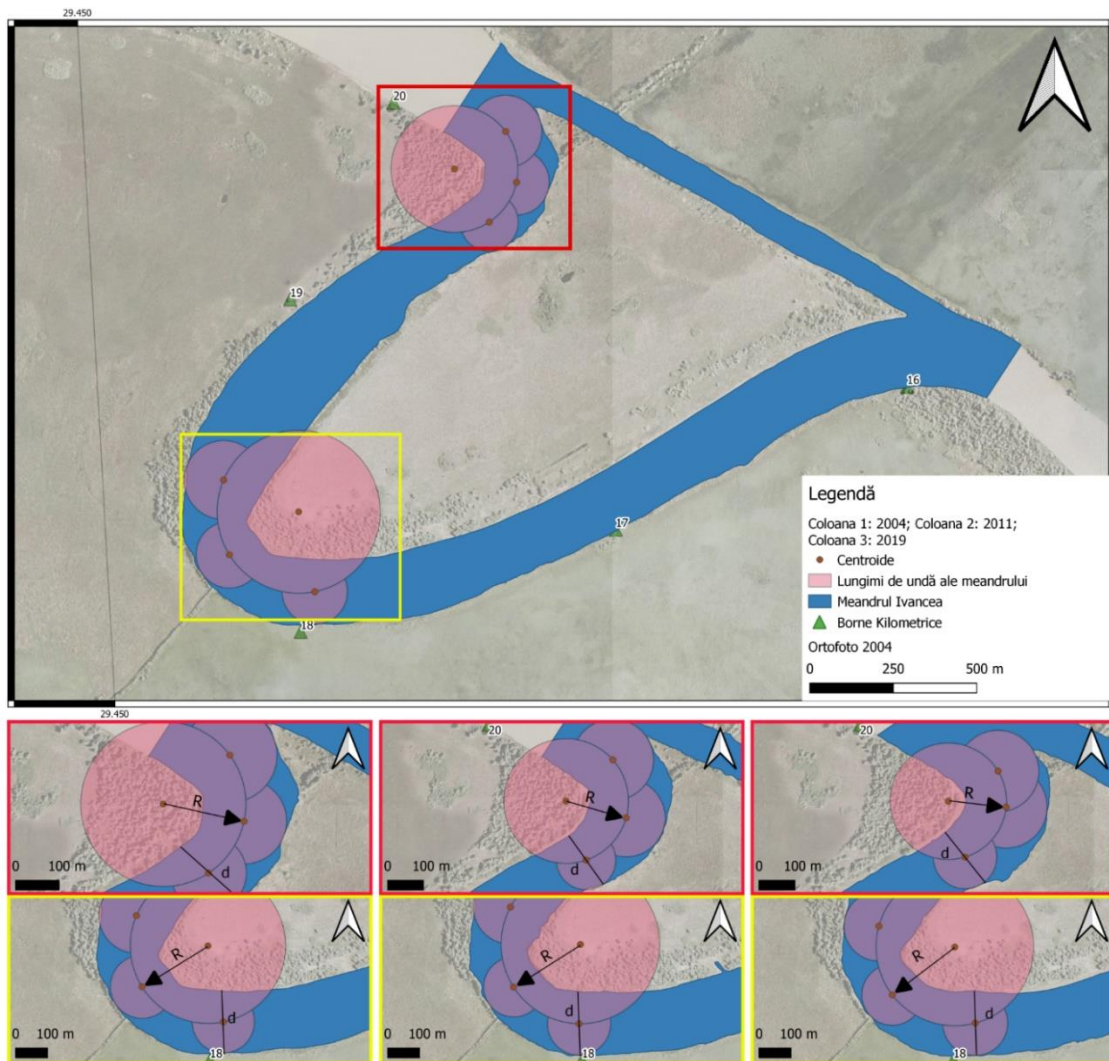


Figura 31 Calculul raportului r_m/d pentru meandrul Ivancea conform metodologiei R. A. Bognold 1960.

Referitor la **valorile repartiției debitelor** (Tabelul 15, Figura 32) pentru acest sector de meandru se constată faptul că la kilometrul 20, debitul lichid a crescut de la 585 m³/s în 1994 la 1467 m³/s în 2017, datorită intensificării proceselor morfodinamice în albia minoră. Meandru la kilometrul 19 primește peste jumătate din debitul total al brațului, lărgindu-se în această secțiune și având viteze relativ omogene în zonele mai puțin adânci. În schimb, spre centru, vitezele devin turbulente, atingând 0.6 – 0.8 m³/s. Canalul rectificat Ivancea, care inițial avea un debit de 100 m³/s în 1994, se autodraghează și devine principala rută de navigație, cu un debit de 678 m³/s în 2017. Deși preia mai puțin de jumătate din debitul total al brațului, acest canal își îndeplinește scopul pentru care a fost creat fără a mai necesita intervenții umane. Canalul prezintă viteze omogene de-a lungul malului drept, între 0.4 – 0.8 m³/s, în partea adâncă, iar spre malul stâng acestea se atenuează și devin puțin mai turbulente, cu valori între 0.1 – 0.4 m³/s. Totodată, meandru este capabil să preia cea mai mare parte a debitului și să-și mențină conectivitatea cu fluxul principal, asemenea meandru Dunavăț. Vitezele de curgere a apei prin meandru la kilometrul 16.5 sunt uniforme în zona adâncă a secțiunii, devenind turbulente pe măsură ce se apropie de maluri. De asemenea, vitezele apei, după reîntregirea cu cele din canalul de rectificare la kilometrul 15.5, au un curs omogen în partea adâncă, cu valori între 0.6 – 0.8 m³/s, iar spre maluri se atenuează, cu valori între 0.1 – 0.3 m³/s.

Tabelul 15 Comparatie între debitele înregistrate pe meandru Ivancea între 1994 și 2017.

Anul	Kilometrul 20		Kilometrul 19		Rectificare Ivancea		Kilometrul 16.5		Kilometrul 15.5	
	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q (m ³ /s)	L (m)	Q(m ³ /s)	L (m)	Q(m ³ /s)	L (m)
1994	585	372	495	193.6	100	67.6	-	-	-	-
2015	-	-	-	-	347.6	104	-	-	-	-
2017	1467.2	337	887.5	221	678.2	114	925	191	1506	196

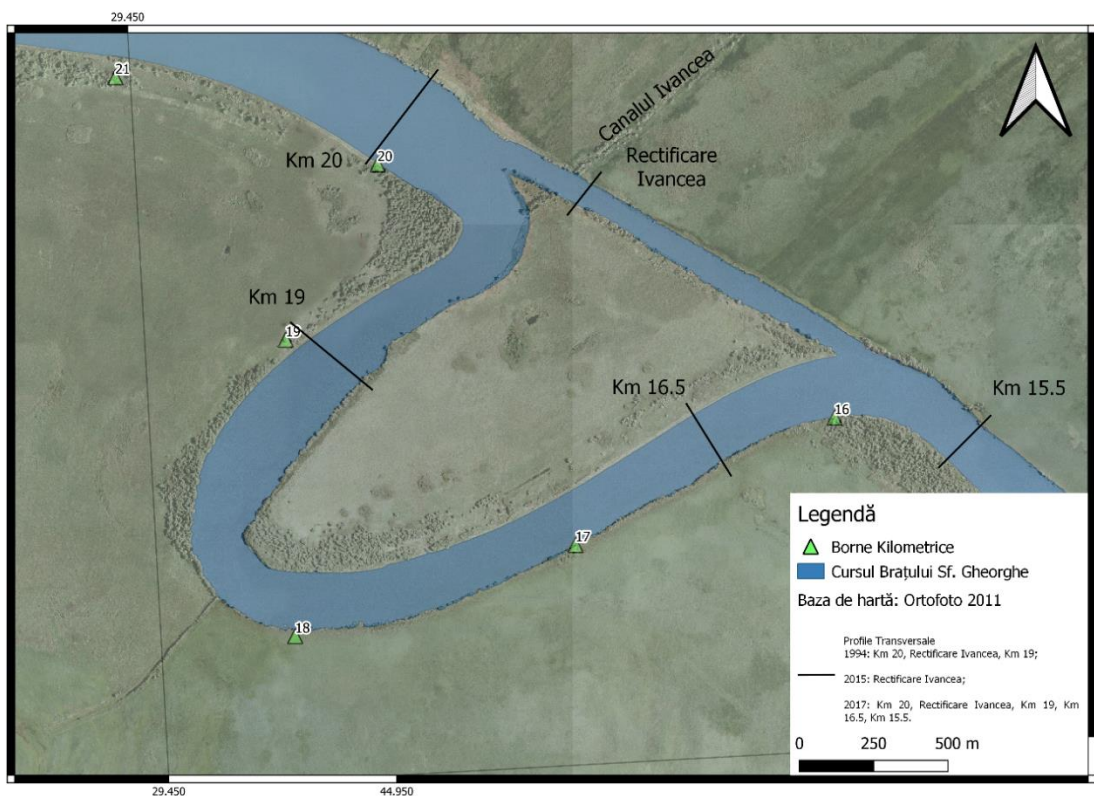


Figura 32 Localizarea profilurilor de măsurare a debitelor și vitezelor pe meandru Ivancea.

În ceea ce privește modificările în secțiunile albiei minore, se observă, la kilometrul 20, o adâncire a brațului pe malul stâng, cu o valori cuprinse între 12-13 m în 2015 față de 10-11 m în 1994 (Figurile 33 și 34). În partea din amonte a canalului de rectificare s-au înregistrat modificări semnificative în profilele albiei minore între anii 1994, 2015 și 2017. Canalul s-a lărgit și adâncimile au crescut de aproximativ 4 ori. La kilometrul 19.5, au avut loc procese morfodinamice intense, cu toate acestea, secțiunea și-a păstrat forma cu talvegul în proximitatea malului stâng și cu valori ale adâncimilor de până la 22-23 m în 2017 și 15-16 m în 1994. La kilometrul 19, adâncimea a rămas relativ constantă între anii 2015 și 2017, în jur de 10-12 m. La kilometrul 18, s-a observat o sedimentare puternică a malului stâng în 2017, în timp ce partea de pe malul drept și-a păstrat adâncimile și poziția talvegului. La kilometrul 17, există similitudini între anii 2015 și 2017, cu unele modificări ale talvegului care s-a deplasat ușor spre malul stâng, dar cu adâncimi constante de 15-16 m. La kilometrul 15.8, după confluența meandrului cu canalul de rectificare, cursul de apă este lat și are adâncimi de 19-20 m, cu excepția unui segment către malul drept unde adâncimile scad de la 14-15 m în 2015 la 9-10 m în 2017. În avalul canalului de rectificare Ivancea profilul prezintă similitudini între anii 2015 și 2017, cu adâncimi de 11-12 m și un talveg central, ilustrând o secțiune simetrică și uniformă.

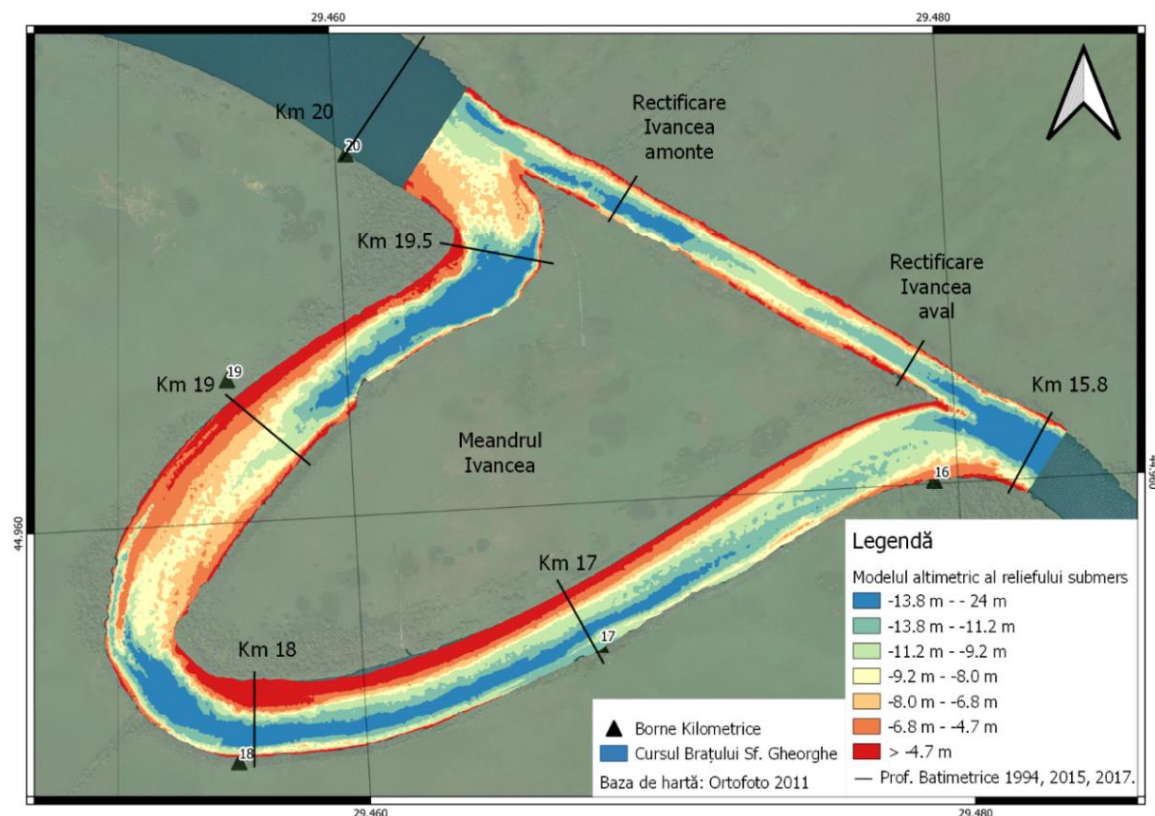


Figura 33 Poziționarea profilelor batimetrice pe sectorul de curgere al meandrului Ivancea.

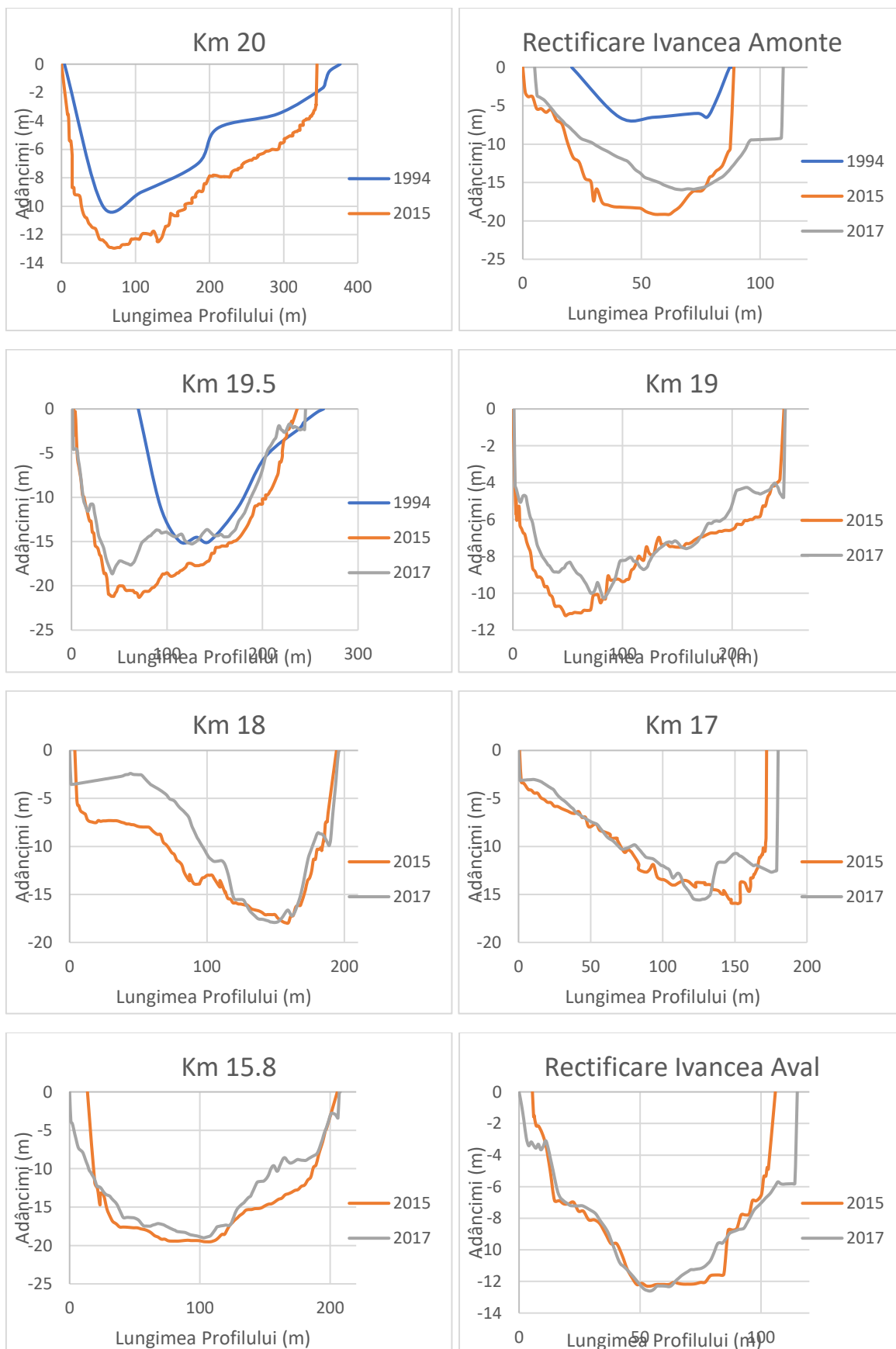


Figura 34 Comparație a profilelor batimetrice pe sectorul de curgere al meandruului Ivancea.

4. Discuții și Concluzii

Petru a facilita o comparație mai precisă a valorilor morfometrice și a corelațiilor dintre acestea, s-au determinat, pentru fiecare meandru, indicatori specifici exprimați în metri pentru distanțe și suprafețele exprimate în hectare, ce sunt relațiați în tabele individuale.

Prin urmare, comparând valorile morfometrice se evidențiază diminuarea semnificativă a corpului de apă în cazul meandrului Mahmudia, cu o pierdere de 85 de hectare. Acest meandru prezintă cea mai mare rată de emersie a albiei minore dar și cea mai mare amplitudine în comparație cu meandrele din aval. Cu excepția acestui meandru, care își pierde treptat conectivitatea cu fluxul principal de apă al brațului în zona de bifurcație, se poate observa că gruparea de meandre Dranov-Erenciuc are o conectivitate fragilă la cursul principal al brațului, iar corpul de apă se micșorează cu 65 de hectare. Aceasta este urmată de gruparea de meandre Dunavăț-Perivolovca, al cărei corp de apă se micșorează cu 44 de hectare. În cazul celor două grupări de meandre, Dunavăț-Perivolovca și Dranov-Erenciuc, se observă că meandrul 2 al fiecărei grupări prezintă o rată mai accentuată de emersie a albiei minore în comparație cu primul. Studiile recente indică faptul că meandrul Erenciuc este unul dintre cele mai afectate meandre în ceea ce privește conectivitatea, lucru demonstrat prin măsurători (Duțu, et al., 2022b). Aceeași situație se poate spune și despre meandrul Perivolovca. Diferențele dintre cele două meandre sunt reprezentate de indicele de sinuozitate de 6,59 pentru Erenciuc (Duțu, et al., 2022a; Duțu, et al., 2022b) și de 2,9 pentru Perivolovca. Astfel, se poate observa că cele două meandre au rate diferite de emersie din punct de vedere morfometric, și totodată ambele prezintă o conectivitate fragilă cu fluxul principal al apei. Un aspect important de menționat este rolul crucial al unghiului de atac al debitului de apă, care determină evoluția acestor meandre. În cazul meandrelor Perivolovca și Erenciuc, se poate observa că au un unghi similar de atac al debitului de apă, care, în combinație cu direcția generală de curgere a acestuia, influențează procesele morfodinamice pe întreaga lungime a meandrelor.

Comparând suprafețele emerse și cele submerse pentru aceste meandre, se poate vedea faptul că, de-a lungul malurilor stânga predomină eroziunea, iar de-a lungul celor drepte – sedimentarea pentru meandrele Mahmudia (69.2 Ha sedimentare și 42 Ha eroziune), Dunavăț (4 Ha sedimentare și 11 Ha eroziune) și Perivolovca (23 Ha sedimentare și 9 Ha eroziune). Situația aceasta se modifică pentru meandrele Dranov și Erenciuc, procesele morfodinamice având loc în predominantă, de-a lungul malurilor stânga. Astfel, de-a lungul malurilor stânga ale meandrului Dranov, se sedimentează 13 Ha și se erodează 9 Ha, iar de-a lungul malurilor stânga ale meandrului Erenciuc se sedimentează 25 Ha și se erodează 5 Ha. În cazul meandrului Ivancea, aceste procese se inversează, astfel că, malurile drepte sunt erodate (9 Ha), iar malurile stânga sedimentate (7 Ha).

Comparând valorile suprafețelor emerse (Figura 35 și Figura 36), cât și cele ale ratelor de emersie ale acestora se poate observa că cele mai semnificative valori se regăsesc în sistemele meandru-canal de rectificare Mahmudia (167 Ha cu o rată de 5.56 Ha/an), Perivolovca (66 Ha cu o rată de 2.35 Ha/an) și Erenciuc (55 Ha cu o rată de 2.11 Ha/an). Valori semnificative ale suprafețelor submerse se regăsesc la celelalte 3 meandre, conform Figurilor D.1 și D.2. Sistemele meandru-canal de rectificare: Dunavăț prezintă 17 Ha de suprafețe submerse cu o rată de 0.6 Ha/an, Dranov prezintă tot 17 Ha de suprafețe submerse cu o rată de 0,65 Ha/an și nu în ultimul rând sistemul Ivancea ce prezintă 16 Ha de suprafețe submerse având o rată de 0.55 Ha/an. Pentru toate aceste 3 sisteme de meandrare se poate observa faptul că suprafețele submerse cât și ratele de submersie ale acestora sunt similare

ca și valori. Ca și în cazul celorlalte 3 sisteme de meandrare (Mahmudia, Perivolovca și Erenciuc), în care sunt predominante suprafețele emerse, se întărește ipoteza asupra faptului că acestea dețin o bună conectivitate la cursul principal al apei pe braț iar evoluția acestora către tipologiile de meandre părăsite este foarte lentă.

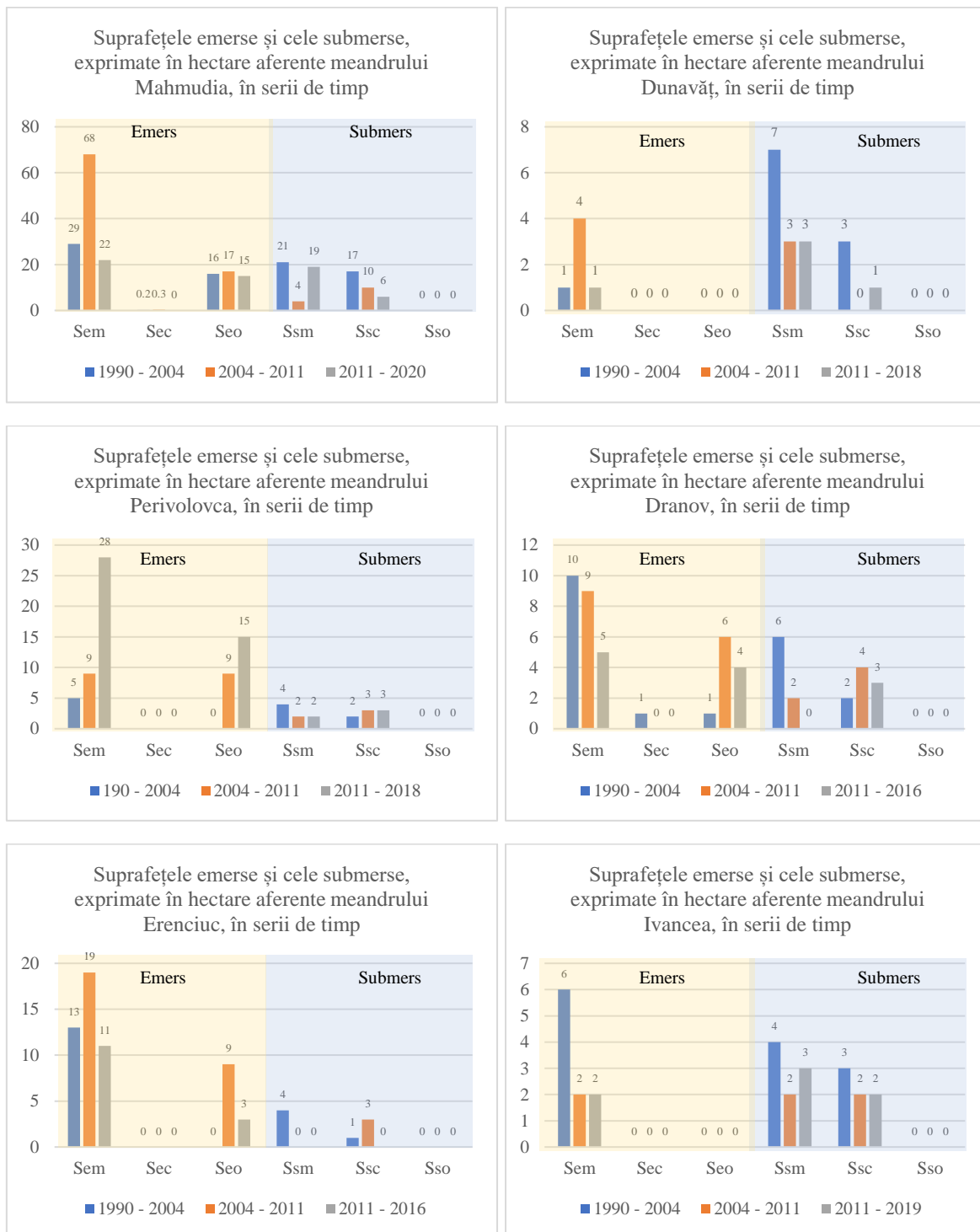


Figura 35 Suprafețele emerse și submerse exprimate în hectare aferente celor 6 meandre

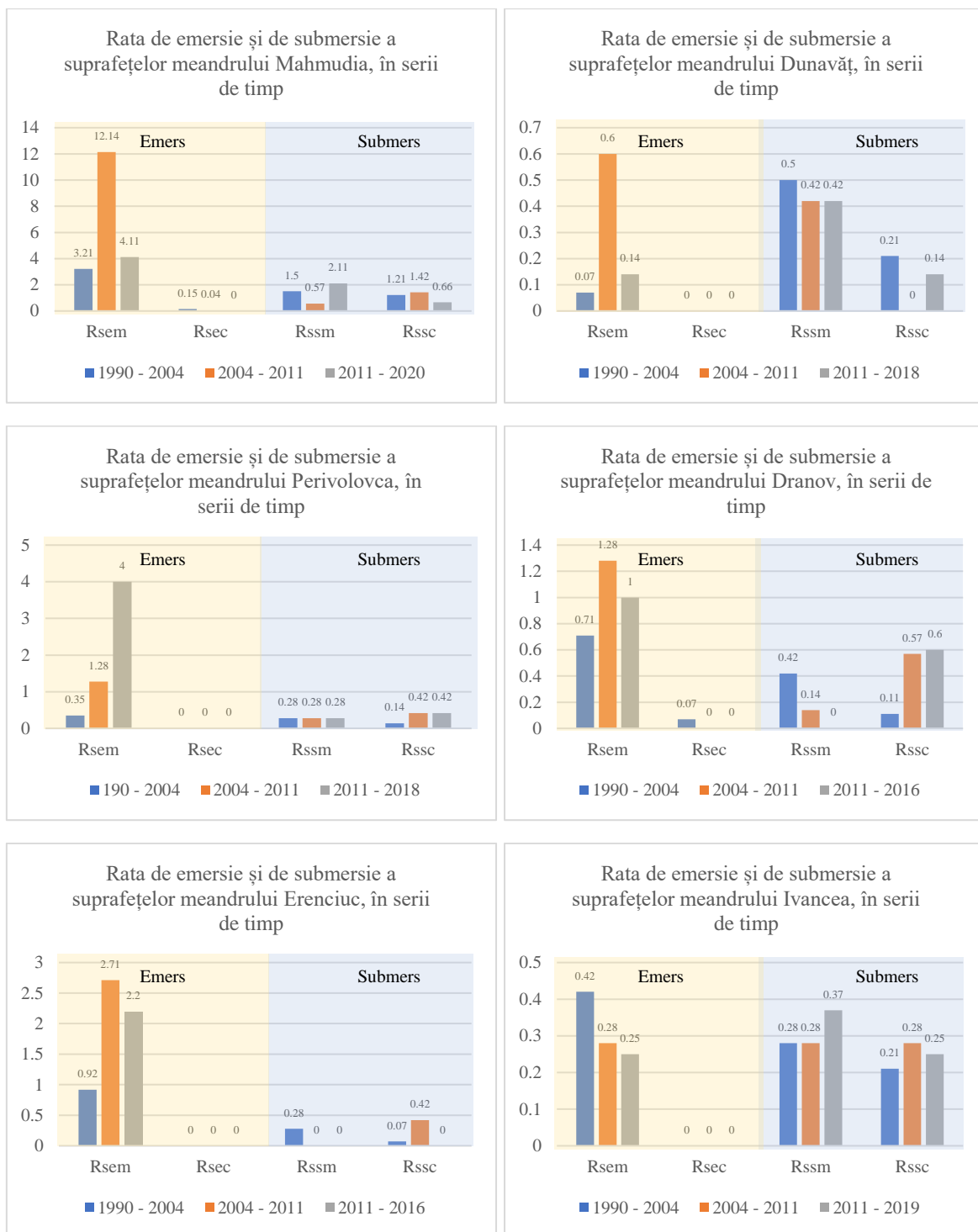


Figura 36 Ratele de emersie și submersie ale albiei minore aferente celor 6 meandre.

O situație aparte se întâlnește în demonstrarea faptului că există o corelație între indicele de sinuozitate al meandrului și suprafața apei acestuia pentru seriile de timp 1990, 2004, 2011 și prezent (Figura 37). Există un grad mare de încredere în corelația dintre indicele de sinuozitate și suprafața corpului de apă din meandru, atunci când corelația este negativă. Acesta presupune că, dreapta de regresie scade pe axa y (suprafața corpului de apă), când axa x crește (indicele de sinuozitate). Așadar, cu cât suprafața corpului de apă din meandru scade, indicele de sinuozitate al meandrului crește. Gradul de încredere al acestor corelații este mare prin valorile R^2 aproape de 1 și prin valorile P situate în jurul 0.02

(meandrele Mahmudia, Perivolovca, Dranov și Erenciuc). Pe de altă parte, când corelația este pozitivă, deci, când suprafața corpului de apă crește pe măsură ce indicele de sinuozitate crește și acesta, gradul de încredere este foarte mic și deci, se poate spune, că nu există o corelație (meandrele Dunavăț și Ivancea). Totuși, pentru aceste corelații pozitive se poate observa, faptul că variațiile valorilor sunt foarte mici, aproape insesizabile pe ambele scări x și y.

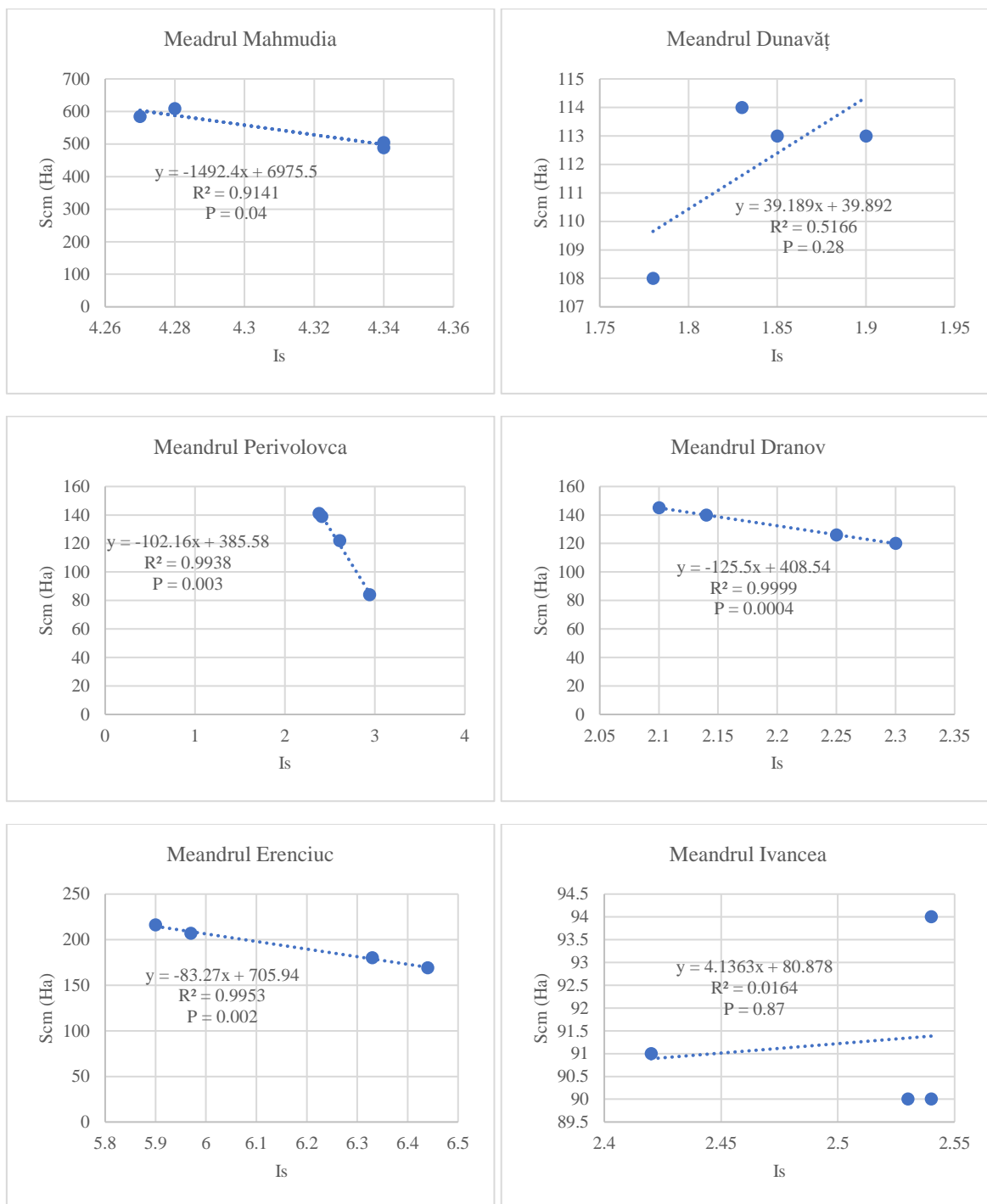


Figura 37 Coeficientul de regresie și cel de confidență al acestuia cu privire la corelația valorilor dintre indicele de sinuozitate al meandrului și suprafața de apă a acestuia pentru seriile de timp 1990,2004,2011, prezent.

Ținând cont de imaginea de ansamblu pentru fiecare meandru și grupare de meandre în parte, prin interpretarea datelor cu privire la formele reliefului submers, al profilelor batimetrice și totodată a valorilor repartițiilor debitelor și a indicilor geometrici ai curburilor, se pot proiecta diferite scenarii de evoluție. Acestea se regăsesc în figurile 38 pentru meandrul Mahmudia, 39 pentru gruparea de meandre Dunavăț - Perivolovca, 40 pentru gruparea de meandre Dranov-Erenciuc și 41 pentru meandrul Ivancea.

Meandrul Mahmudia pare să aibă o evoluție similară cu cel dintâi meandru al marelui „M” de pe brațul Sulina ce a fost rectificat de Comisia Europeană. De atunci, până în prezent, segmentul meandrului de la cursul principal al brațului Sulina, până aproape de localitatea Mila 23, s-a colmatat complet. În aceeași manieră se consideră că și prima parte a meandrului Mahmudia se va colmata total, iar albia minoră va ajunge a fi în totalitate emersă și acoperită de vegetație. Din punct de vedere al unei ipoteze de evoluție al meandrului Mahmudia, primul stadiu reprezintă situația actuală - meandrul aproape își pierde conectivitatea în zona din amonte. Următorul stadiu indică faptul că, prima parte a meandrului se deconectează complet de la cursul principal la brațului, canalul de rectificare se lățește, iar în meandru, de-a lungul malului stâng din zona de confluență au loc procese de aluvionare. Ulterior, albia minoră a primei jumătăți a meandrului este complet emersă. Spre aval, până la Uzlina, meandrul are adâncimi foarte mici iar de-a lungul malului stâng, amonte de zona de confluență, procesele de aluvionare se intensifică (Figura 38).

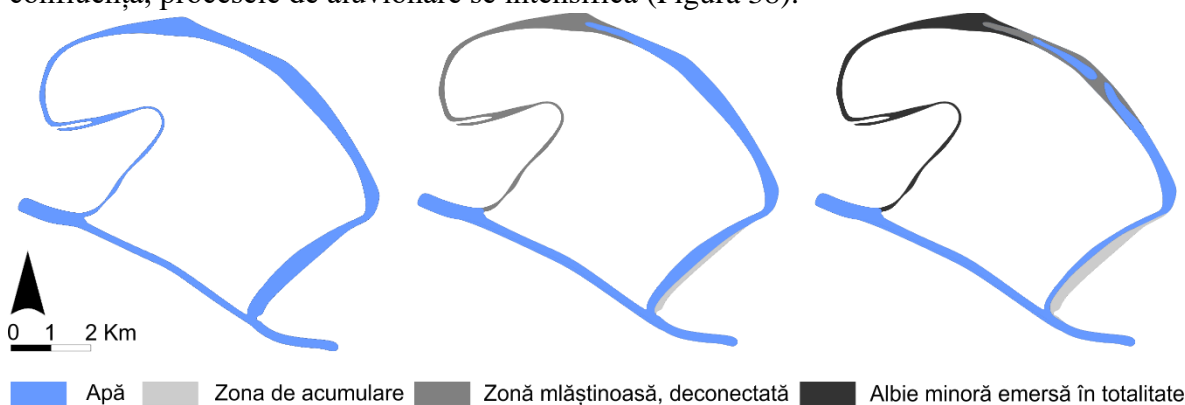


Figura 38 Ipoteză de evoluție a sistemului meandru-canal de rectificare Mahmudia

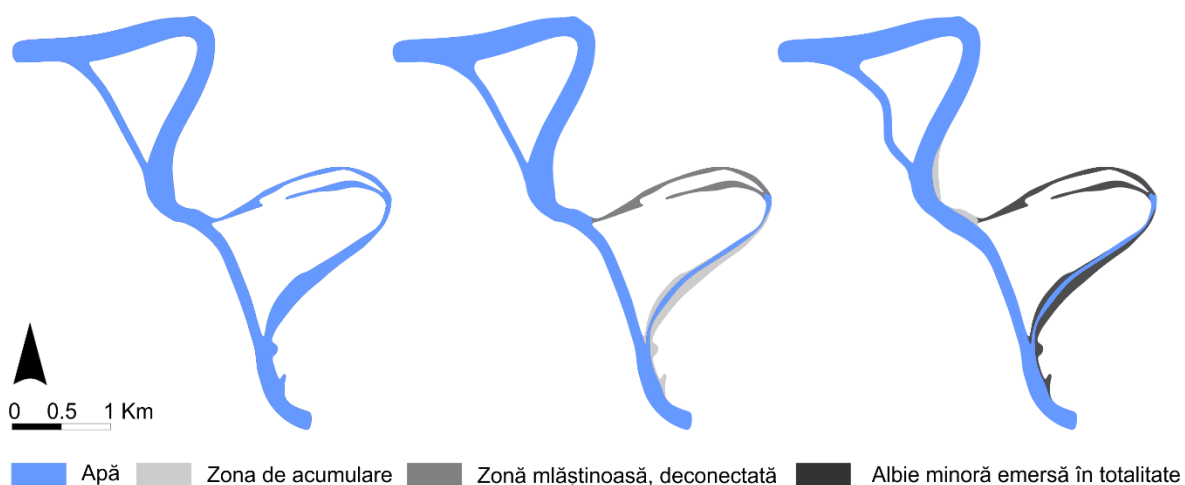


Figura 39 Ipoteză de evoluție a sistemului meandru-canal de rectificare Dunavăț – Perivolovca

O posibilă evoluție a canalului de rectificare Dunavăț este de a dezvolta un curs meandrat. Acest fapt este posibil, în primul rând prin acea atenuare a unghiului de atac al

curentului pe canal datorită eroziunii malului drept în zona de bifurcare. Mărindu-se semnificativ gura canalului, curentul se amplifică și are loc autodragarea (Figura 39). În ceea ce privește prima jumătate a meandrului Perivolovca, se preconizează că își va pierde conectivitatea de la cursul principal al Dunării. Evoluția celei de-a doua jumătate a meandrului fiind de îngustare asemenea unui canal ce va realiza legătură dintre actualul canal Perivolovca și confluența cu canalul de rectificare a meandrului.

Meandrul Erenciuc, în zona din amonte aproape se deconectează de la cursul principal al brațului. Pe toată lungimea meandrului acesta are loc procese de aluvionare, iar ostroavele se alipesc malurilor. Gura canalului de rectificare Dranov se mărește datorită eroziunii pintenului de bifurcație a ostrovului rezultat în urma rectificării și totodată datorită direcției de curgere a apei brațului. Într-o fază mai avansată, meandrul Dranov, în a doua jumătate a acestuia, dezvoltă un curs meandrat mai proeminent, iar corpul de apă este mult diminuat. Pe de altă parte meandrul Erenciuc este complet deconectat de la cursul principal al Dunării (Figura 40).



Figura 40 Ipoteză de evoluție a sistemului meandru-canal de rectificare Dranov – Erenciuc

Analizând harta reliefului submers, se poate interpreta faptul că, în următoarea fază evolutivă a meandrului Ivancea, malul stâng al gurii acestuia se va eroda determinând aluvionarea, în aval, a ambelor maluri ale acestuia și o ușoară eroziune a apexului de curbură. În următoarea fază, în funcție de evenimentele hidrologice, aceste procese pot avea caracter accelerat. Cu toate acestea meandrul, va evolua natural în timp, prin procese de aluvionare ale malurilor, prezentând zone emerse sub formă de ostroave cu conectivitate redusă (Figura 41).



Figura 41 Ipoteză de evoluție a sistemului meandru-canal de rectificare Ivancea

În ceea ce privește repartiția debitelor lichide pe brațul Sfântu Gheorghe, se poate observa faptul că redirecționarea cursului principal are loc dinspre meandru către canalele de rectificare cu două excepții, Dunavăț și Ivancea;

Fiecare meandru reprezentat în aceste grafice are definită curba de tendință cu pante diferite în funcție de valorile determinate, dar tabloul general indică același deznodământ ca și în cazul analizelor anterioare: colmatarea meandrelor și migrarea cursului principal spre canalele de rectificare (Figurile 42 și 43).

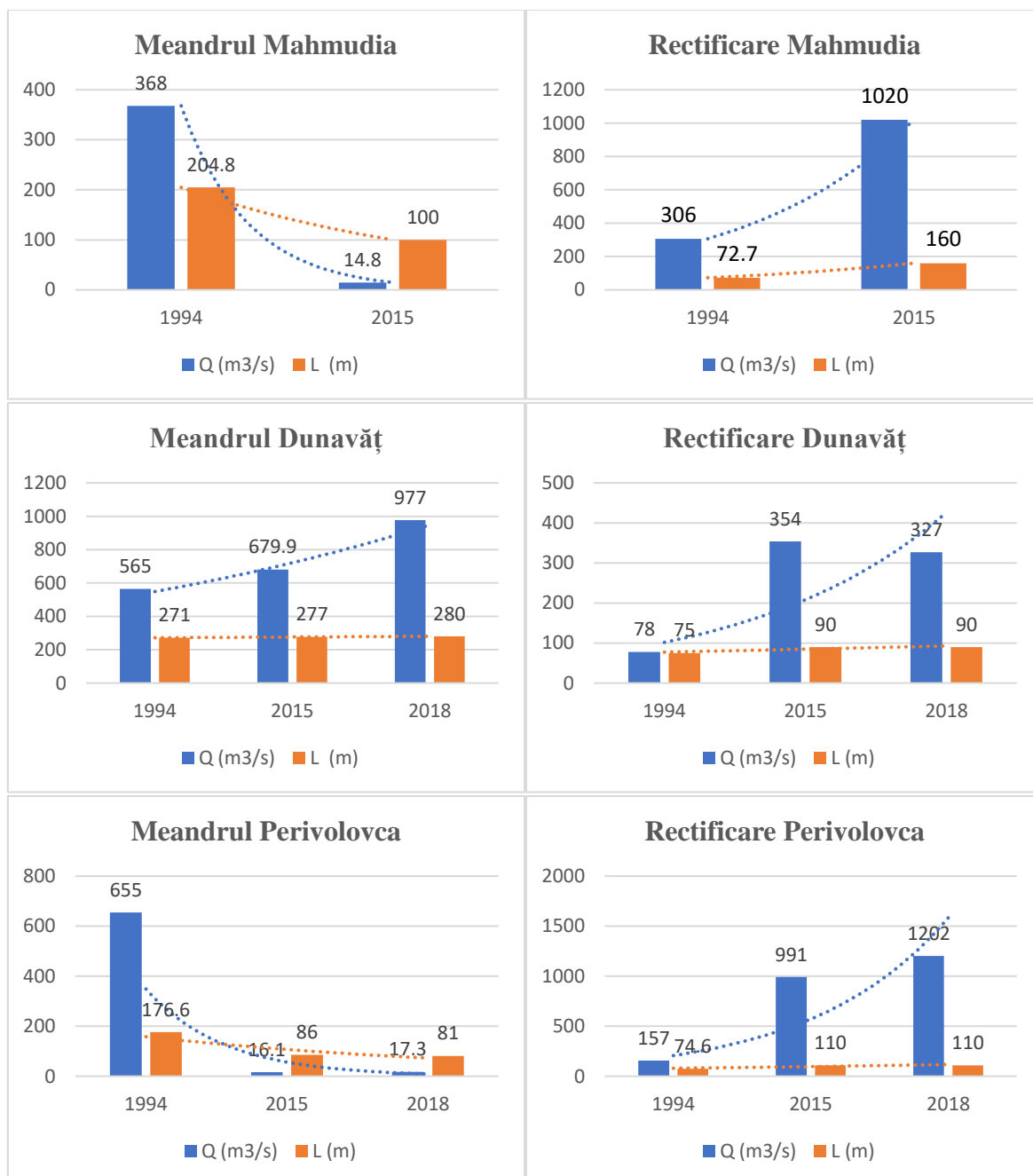


Figura 42 Evoluția debitelor și a lățimii secțiunilor pentru sistemele meandru-canal de rectificare Mahmudia, Dunavăț și Perivolovca între anii 1994, 2015, 2017/2018



Figura 43 Evoluția debitelor și a lățimii secțiunilor pentru sistemele meandru-canal de rectificare Dranov, Erenciuc și Ivancea între anii 1994, 2015, 2017/2018

5. Lista Figurilor

Figura 1 Măsurători batimetrice unic fascicul. Stânga-matricea acoperirii cu date brute, mijloc-separarea profilelor transversale, dreapta-aplicarea corecțiilor de cotă a profilelor transversale și evaluarea tendințelor (Feodot, 2015).....	8
Figura 2 Asamblarea sistemului sonar multifascicul.....	9
Figura 3 Captură de ecran în timpul colectării datelor batimetrice. Stânga și mijloc: Ferestrele active pe monitorul laptop-ului. Dreapta: Fereastra cu harta vizibilă pe monitorul de navigație.....	10
Figura 4 Editarea punctelor batimetrice în profil transversal.....	10
Figura 5 Editarea punctelor batimetrice în vizualizare tridimensională.....	11
Figura 6 Componentele sistemului RiverSurveyor M9 și Flotorul – HydroBoard-ul cu sistemul River Surveyor M9 instalat, inclusiv antena GPS.....	12
Figura 7 Echipamentul ADCP utilizat în colectarea datelor de debite și viteze ale apei. ..	13
Figura 8 Date de batimetrie unic fascicul publicate pe portalul EMODnet.....	14
Figura 9 Date de batimetrie multifascicul publicate pe portalul EMODnet.....	14
Figura 10 Relația diagramă între lungimea de undă a meandrului și lățimea corpului de apă (Bagnold, 1960).....	15
Figura 11 Diagrama idealizată a fluxului transversal într-o curbă a meandrului. "R" este raza medie a curburii meandrului și "d" este diametrul corpului de apă (Bagnold, 1960). ..	16
Figura 12 Suprafețele emerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare Mahmudia între 1990, 2004, 2011 și 2020.	18
Figura 13 Suprafețele submerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare Mahmudia între 1990, 2004, 2011 și 2020.	18
Figura 14 Calculul raportului r_m/d pentru meandrul Mahmudia conform metodologiei R. A. Bognold 1960.	19
Figura 15 Localizarea profilelor de măsurare a debitelor și vitezelor în meandrul Mahmudia	20
Figura 16 Comparații ale secțiunilor batimetrice 1994 și 2015 în sectorul de curgere al meandrului Mahmudia.....	21
Figura 17 Suprafețele emerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare între 1990, 2004, 2011 și 2018 pentru gruparea de meandre Dunavăț - Perivolovca.....	23
Figura 18 Suprafețele submerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare între 1990, 2004, 2011 și 2018 pentru gruparea de meandre Dunavăț - Perivolovca.....	23
Figura 19 Calculul raportului r_m/d pentru meandrele Dunavăț și Perivolovca conform metodologiei R. A. Bognold 1960.....	24
Figura 20 Localizarea profilelor de măsurare a debitelor și vitezelor în meandrele Dunavăț și Perivolovca.	25
Figura 21 Poziționarea profilelor batimetrice și modelul altimetric al reliefului submers, în cadrul grupării de meandre Dunavăț și Perivolovca.....	26
Figura 22 Comparație a profilelor batimetrice în cadrul grupării meandrelor Dunavăț și Perivolovca.....	27

Figura 23 Suprafețele emerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare între 1990, 2004, 2011 și 2016 pentru gruparea de meandre Dranov - Erenciuc.	29
Figura 24 Suprafețele submerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare între 1990, 2004, 2011 și 2016 pentru gruparea de meandre Dranov - Erenciuc.	29
Figura 25 Calculul raportului r_m/d pentru meandrele Dranov și Erenciuc conform metodologiei R. A. Bognold 1960.	30
Figura 26 Localizarea profilelor de măsurare a debitelor și vitezelor în meandrele Dunavăț și Perivolovca.	31
Figura 27 Poziționarea profilelor batimetrice pe sectorul de curgere al meandrelor Dranov și Erenciuc.	32
Figura 28 Comparație a profilelor batimetrice pe sectorul de curgere a meandrelor Dranov și Erenciuc.	33
Figura 29 Suprafețele emerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare Ivancea între 1990, 2004, 2011 și 2019.	35
Figura 30 Suprafețele submerse ale albiei minore ca urmare a diferenței dintre suprafețele corpului de apă ale sistemului Dunăre-meandru-canal de rectificare Ivancea între 1990, 2004, 2011 și 2019.	35
Figura 31 Calculul raportului r_m/d pentru meandrul Ivancea conform metodologiei R. A. Bognold 1960.	36
Figura 32 Localizarea profilelor de măsurare a debitelor și vitezelor pe meandrul Ivancea.	37
Figura 33 Poziționarea profilelor batimetrice pe sectorul de curgere al meandrului Ivancea.	38
Figura 34 Comparație a profilelor batimetrice pe sectorul de curgere al meandrului Ivancea.	39
Figura 35 Suprafețele emerse și submerse exprimate în hectare aferente celor 6 meandre	41
Figura 36 Ratele de emersie și submersie ale albiei minore aferente celor 6 meandre.	42
Figura 37 Coeficientul de regresie și cel de confidență al acestuia cu privire la corelația valorilor dintre indicii de sinuozitate al meandrului și suprafața de apă a acestuia pentru seriile de timp 1990,2004,2011, prezent.	43
Figura 38 Ipoteză de evoluție a sistemului meandru-canal de rectificare Mahmudia.	44
Figura 39 Ipoteză de evoluție a sistemului meandru-canal de rectificare Dunavăț – Perivolovca.	44
Figura 40 Ipoteză de evoluție a sistemului meandru-canal de rectificare Dranov – Erenciuc.	45
Figura 41 Ipoteză de evoluție a sistemului meandru-canal de rectificare Ivancea.	45
Figura 42 Evoluția debitelor și a lățimii secțiunilor pentru sistemele meandru-canal de rectificare Mahmudia, Dunavăț și Perivolovca între anii 1994, 2015, 2017/2018.	46
Figura 43 Evoluția debitelor și a lățimii secțiunilor pentru sistemele meandru-canal de rectificare Dranov, Erenciuc și Ivancea între anii 1994, 2015, 2017/2018.	47

6. Lista tabelelor

Tabelul 1 Ortofotoplanuri și imagini satelitare utilizate în studiu.....	5
Tabelul 2 Valorile debitelor, evoluția acestora și lățimile secțiunilor în care au fost determinate acestea, pentru toate meandrele studiate.....	6
Tabelul 3 Tabel centralizator a debitelor înregistrate pentru meandrele studiate.....	13
Tabelul 4 Valorile morfometrice ale proceselor morfodinamice aferente malurilor meandrului Mahmudia în perioada 1990 – 2020.....	17
Tabelul 5 Valorile critice ale raportului r_m/d pentru meandrul Mahmudia.	19
Tabelul 6 Comparăție debitele înregistrate pe meandrul Mahmudia între 1994 și 2015. ..	20
Tabelul 7 Valorile morfometrice ale proceselor morfodinamice aferente malurilor meandrelor Dunavăț - Perivolovca în perioada 1990 – 2018.	22
Tabelul 8 Valorile critice ale raportului r_m/d pentru meandrele Dunavăț și Perivolovca...	24
Tabelul 9 Comparăție între debitele înregistrate pe meandrele Dunavăț și Perivolovca între 1994 și 2018.	25
Tabelul 10 Valorile morfometrice ale proceselor morfodinamice aferente malurilor meandrelor Dranov - Erenciuc în perioada 1990 – 2016.....	28
Tabelul 11 Valorile critice ale raportului r_m/d pentru meandrele Dranov și Erenciuc.	30
Tabelul 12 Comparăție între debitele înregistrate pe meandrele Dranov și Erenciuc între 1994 și 2001.	31
Tabelul 13 Valorile morfometrice ale proceselor morfodinamice aferente malurilor meandrului Ivancea în perioada 1990 – 2019.....	34
Tabelul 14 Valorile critice ale raportului r_m/d pentru meandrul Ivancea.	36
Tabelul 15 Comparăție între debitele înregistrate pe meandrul Ivancea între 1994 și 2017.	37

7. Bibliografie selectivă

Bagnold, R. A. Some Aspects of the Shape of River Meanders. Physiographic And Hydraulic Studies of Rivers. *Physiographic And Hydraulic Studies Of Rivers - Geological Survey Professional Paper*. **1960**, 282-E, 15, United States Government Printing Office, Washington.

Bauman, V. Delta Dunării rezervație a Biosferei. *Editura Dobrogea*. **2006**, ISBN: 973-8044-72-3, Constanța.

Dobraca, L.; Dobre, S.; Nichersu, I.; Damian N. Delta Dunării rezervație a Biosferei. *Editura Dobrogea*. **2006**, ISBN: 973-8044-72-3, Constanța.

Duțu, L.; Duțu, F.; Iordache, G. Intensive Infilling Processes of a Cutoff Meander in the Danube Delta. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*. **2022a**, 24(3), 1–10, DOI: <https://doi.org/10.2478/trser-2022-0015>.

Duțu, L.; Secieru, D.; Duțu, F.; Catianis, I.; Vasiliu, D. Hydro-dynamic and geochemical assessment of three successive cutoff meanders of the Danube Delta. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*. **2022b**, 24(2), 1–18, DOI: <https://doi.org/10.2478/trser-2022-0008>

Eilertsen, R. S.; Hansen, L. Morphology of river bed scours on a delta plain revealed by interferometric sonar. *Geomorphology*. **2008**, 94(1–2), 58–68, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.04.005>

Feodot, I. Analiza morfo-fractală a dinamicii hidro-morfologice a celor 3 brațe principale ale Deltei Dunării, Faza II, Analiza complexă a macroformelor – meandrele și ostroavelor Brațului Sfântu Gheorghe. *Proiect Program Național Nr. PN 09 26 04 08*. **2015**, raport al fazei proiectului în cadrul Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare ”Delta Dunării” (2015). Ministerul Educației și Cercetării Științifice.

Filip, F.; Giosan, L. Evolution of Chilia lobes of the Danube delta: Reorganization of deltaic processes under cultural pressures. *Anthropocene*. **2014**, 5, 65–70, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2014.07.003>.

Gâțescu P.; Driga, B.; Ciupitu, D. Delta Dunării rezervație a Biosferei. *Editura Dobrogea*. **2006**, ISBN: 973-8044-72-3, Constanța.

Ghițău, D. Geodezie și gravimetrie geodezică. *Editura Didactică și pedagogică*. 1983, București.

Ichim, I.; Bătuca, D.; Rădoane, M.; Duma, D. Morfologia și dinamica albiilor de râu. *Editura tehnică*. **1989**, București.

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare ”Delta Dunării”. Elaborarea unui suport cartografic digital de rezoluție înaltă necesar implementării planurilor, strategiilor și a schemelor de management în Rezervația Biosferei Delta Dunării - CARTODD. **2012b**. proiect de cercetare a cărui beneficiar a fost Ministerul Mediului și al Pădurilor.

Langendoen, E.; Shoemaker, D.; Ursic, M.; Konsoer, K. Resolving river planform and width effects on flow in meandering rivers for optimal placing of ADCP cross sections. *European*

Geosciences Union (EGU) General Assembly. **2023**, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-17154>.

Panin, N. Evoluția Deltei Dunării în timpul Holocenului. *Studii Tehnice și Economice*. **1974**, Seria H - Geologia Cuaternarului. 5, 107-121, București.

Panin, N. Black Sea coastline changes in the last 10,000 years. A new attempt at indentifying the Danube mouths as described by the ancients. *Dacia*. **1983a**, N.S., T.XXVII, 1-2, 175 - 184, București.

Panin N.; Overmars W. The Danube Delta Evolution During The Holocene: Reconstruction Attempt Using Geomorphological And Geological Data, And Some Of The Existing Cartographic Documents. *Geo-Eco-Marina*. **2012**, 18, 75–104, București.

Petre, C.; Rus, T.; Lădaru, I. Realizarea unui sistem de sprijin pentru lucrările hidrografice pe Dunăre in scopul asigurării adâncimilor minime de navigare. *Raport în cadrul proiectului finanțat prin Programul Operațional Sectorial "TRANSPORT" (POS-T) 2007-2013, Axa prioritară 3: "Modernizarea sectorului de transportul în scopul creșterii protecției mediului și a sănătății publice și siguranței pasagerilor"*. **2011**, implementat de S.C. Interconstruct S.R.L., beneficiar Administrația Fluvială a Dunării de Jos-R.A. Galați, DOI: <http://bord.tehnoGIS.ro/rezultateb.html>.

Popa, A.; Panin, N.; Fârnoagă, D.; Mihăilă, E.; Secrieru, D. Studiul complex sedimentologic si geologic al modificărilor ambientale din Delta Dunării și zona litorală adiacentă determinate de amenajările hidrotehnice de pe brațul Sfântu Gheorghe pentru identificarea măsurilor de protecție a ecosistemelor deltaice și litorale. **1995**, raport al Centrului Român de Geologie și Geoecologie Marină.

Popa, A. Environment Changes in The Danube Delta Caused by The Hydrotechnical Works on The Sfântu Gheorghe Branch. *GEO-ECO-MARINA, Proc. Intern. Workshop on „Fluvial-Maine Interactions”*, **1997**, 2, 135–147, Malnaș, Romania.

Stateczny, A.; Błaszczak-Bak, W.; Sobieraj-Złobińska, A.; Motyl, W.; Wisniewska, M. Methodology for Processing of 3D Multibeam Sonar Big Data for Comparative Navigation. *Remote Sensing*. **2019**, 11, 2245, DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11192245>.

Tiron, L.; Provansal, M. Dynamic sedimentary in a deltaic environment: The St. George Branch in the Danube Delta. *Zeitschrift fur Geomorphologie*. **2010b**, 54(4), 417–441. DOI: <https://doi.org/10.1127/0372-8854/2010/0054-0014>.

Zăinescu, F. I. Fluvio-marine interactions and sediment dynamics in river mouth areas. *Școala Doctorală „Simion Mehedinți – Natură și Dezvoltare Durabilă”; Ecole Doctorale Espaces Cultures Sociétés - ED 355*. **2019**, teză de doctorat, Universitatea din București.

Zhao, J.; Meng, J.; Zhang, H.; Yan, J. A New Method for Acquisition of High-Resolution Seabed Topography by Matching Seabed Classification Images. *Remote Sensing*. **2017**, 9(12), 1214, DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9121214>.