SOLUȚIE TEHNICĂ PENTRU ASIGURAREA MIGRĂRII STURIONILOR ȘI A ALTOR ORGANISME ACVATICE

RAPORT DE EXPERIMENTARE PRIVIND REGIMURILE HIDRAULICE I EFECTUL DE COLMATARE PENTRU PASAJUL DE STURIONI - SERB

1. DATE GENERALE

Locul experimentării: Universitatea Politehnica București. Facultatea de Energetică - Laboratorul de Hidroenergetică.

Materiale: pasajul este realizat din scândură de arin tratat și căptușit cu membrană din fibre de sticlă. El cuprinde 4 compartimente de odihnă și relaxare despărțite între ele prin 3 pereți cilindrici fiecare perete având în zona centrală un element demontabil cu orificii de trecere pentru migrarea organismelor acvatice.

Dimensiuni model: 80 x 92,5 x 80 cm (L x l x h). Pentru migrarea organismelor acvatice dintr-un compartiment de odihnă și relaxare în altul sunt prevazute orificii în elementul demontabil din pereții despărțitori. Orificiile de trecere dintr-un compartiment în altul pentru migrarea sturionilor care se vor testa au 3 dimensiuni (80mm, 100mm și 120mm). O încercare se va face cu un set de orificii. Întrucât dimensiunile mici favorizează colmatarea prima încercare experimentală privind regimurile hidraulice și efectul de colmatare pentru pasajul de sturioni - SERB s-a realizat cu orificiile minime. Orificiile de trecere au o geometrie convergent-divergentă ce favorizează curgerea apei dintr-un compartiment în altul. Orificiul pentru migrarea sturionilor este situat în partea inferioară a peretelui despărțitor mobil și are în secțiune formă pătrată continuată, la partea superioară, cu un semicerc de diametru egal cu latura pătratului. Orificiile pentru migrarea sturionilor, de la partea inferioară, întrucât numai la acestea există pericol de colmatare. Viteza realizată în aceste orificii poate duce la blocarea migrării sturionilor, dacă aceasta depășește o valoare critică specifică fiecărei specii de sturioni.

În figurile 1.1 - 1.3 se prezintă modelul pasajului de sturioni în: secțiune longitudinală, vedere de sus, secțiune transversală.



Fig. 1.1. Sectiune longitudinală prin modelul de pasaj de sturioni



Fig. 1.2. Vedere de sus a modelului de pasaj de sturioni



Fig. 1.3. Secțiune transversală prin modelul de pasaj de sturioni

Pentru experimentarea regimurilor hidraulice și a efectului de colmatare pasajul se montează înclinat. Din compartimentul aval apă este preluată printr-o pompă cu ajutorul unui furtun și este refulată în compartimentul amonte (vezi fig. 1.4).



Fig. 1.4. Secțiune transversală prin modelul de pasaj de sturioni în poziție de experimentare

Experimentările s-au realizat pe același pasaj de sturioni experimentat și la Universitatea Dunărea de Jos de la Galați pentru migrarea puietului de sturioni de diferite dimensiuni cu rezultate prezentate în lucrarea [1].

Scara model: 1:10

În această etapă s-au testat experimental orificiile de dimensiuni minime de la fundul modelului pentru migrarea sturionilor, cu latura pătratului de 80mm întrucât aceste orificii pot genera o colmatare mai mare. În etapele următoare se vor testa și orificiile medii și mari, cu latura pătratului de 100mm, respectiv 120mm.

Structura modelului: 4 camere de odihnă și relaxare numerotate cu A, B, C, D din amonte în aval și 3 pereți despărțitori numerotați astfel: 1 - pentru trecerea din camera A în camera B, 2 - pentru trecerea din camera B în camera C, 3 - pentru trecerea din camera C în camera D. Pereții despărțitori au în partea inferioară, cu amplasare în zona centrală, orificii pentru testarea regimurilor hidraulice și a efectului de colmatare.

Modelul reproduce la scară geometria camerelor de odihnă și a orificiilor de trecere a pasajului aerat și a pasajului submers.

În experimentare pasajul are o poziție înclinată la diferite unghiuri față de planul orizontal pentru a se realiza diferite regimuri de curgere, cu diferite concentrații de particule (mâl).

Regimurile de curgere ale apei, la diferite viteze, au fost realizate prin preluarea apei din compartimentul D cu ajutorul unor pompe și deversarea ei în compartimentul A. Debitul pompelor utilizate pentru încercare a fost de 4 l/s, 12 l/s și respectiv 32 l/s pentru a se putea asigura diferite viteze de curgere prin modelul de pasaj (la diferite unghiuri de înclinare ale acestuia). În fig. 1.5 se prezintă modelul înainte de experimentare.



Fig. 1.5 Model experimental de pasaj de sturioni – scara 1:10 pentru testarea regimurilor hidraulice și a efectului de colmatare

Condiții hidraulice de testare: Experimentarea s-a realizat cu un volum de apă cuprins între 850-1200 l cu o concentrație volumetrică de mâl cuprinsă între 7 - 8%. Volumul de apă a fost pus în diverse regimuri de curgere cu ajutorul a 3 pompe de diferite debite. Pompele (una electrică și 2 moto-pompe) montate în serie și/sau paralel absorb apa cu concentrația de mâl din compartimentul D și o evacueaza în compartimentul A, realizând diferite regimuri de curgere. Vitezele apei, cu mâl prin pasajul de sturioni, sunt funcție de debitul de recirculare realizat de pompe și de înclinarea pasajului care a fost cuprinsă între 4,74° și 6,85°.

Măsurătorile s-au realizat, la adâncimile de 40mm și 80mm față de fundul modelului: setul 1 de măsurători s-a realizat la o distanță de 40mm de fundul compartimentului modelului; setul 2 s-a realizat la o distanță de 80mm față de fundul compartimentului modelului. Adâncimea la care s-au făcut măsurătorile s-a notat cu Δ H. Pentru măsurarea vitezelor s-a folosit un traductor tip ADV SonTek/YSI (Acoustic Doppler Velocimeter) care poate măsura vitezele în curgeri cu suprafața liberă (canale), Fig. 1.6.

În timpul experimentarilor, au fost făcute vizualizări ale curenților formați la nivelul liber al apei din compartimentele de mijloc B și C, folosind plutitori din polistiren. S-a pus în evidență o mișcare circulară în sens orar, la suprafața liberă în compartimentul C, iar în compartimentul B în sens contrar. Această mișcare lentă este similara mișcărilor din vecinătatea malurilor râurilor și ea nu perturbă mișcarea generală din amonte în aval.



Fig. 1.6. ADV SonTek/YSI

Regimuri de experimentare realizate:

- 1. **Experiment 1.** Model înclinat la un unghi de 4,74° umplut 2/3 cu apă, cu utilizarea unei pompe pentru recircularea apei de 4 l/s, fără introducerea de namol (mâl) pentru a se vedea efectul colmatării.
- Experiment 2. Model înclinat la un unghi de 4,74° umplut 3/4 cu apă cu utilizarea unei pompe pentru recircularea apei de 12 l/s cu introducerea de nămol (cca. 4 găleți cu nămol având particule de dimensiuni mici şi medii între 0,1 0,5mm) pentru a se vedea efectul colmatării. După experimentul 2 s-a făcut prima golire.
- 3. **Experiment 3.** Model înclinat la un unghi de 4,74° în prima etapă după care s-a mărit la 6,85° umplut 3/4 cu apă, cu utilizarea unei pompe pentru recircularea apei de 32 l/s cu introducerea unei cantități de nămol de 1 galeată pentru compensarea nămolului eliminat din camera D concomitent cu apa la prima golire de nămol.
- 4. **Experiment 4.** Model înclinat la un unghi de 6,85° umplut 3/4 cu apă, cu utilizarea a 2 pompe pentru recircularea apei de 12 l/s și 32 l/s. După experimentul 4 s-a făcut a doua golire pentru a se examina depunerile de nămol.

In fig. 1.7 sunt date câteva imagini din timpul experimentării.



2. REZULTATE EXPERIMENTALE

2.1. Regimuri de curgere și efectul de colmatare

Numărul de experimente realizate: 4

Pentru determinarea vitezelor de curgere la diferite adâncimi s-a utilizat un aparat de tip ADV SonTek/YSI [2]. Cu ajutorul acestuia s-au determinat vitezele în profilele transversale notate cu a, b, c, d, e, f, g, h în punctele $1 \div 7$ în compartimentele B și C ale modelului, poziționate conform fig. 2.1. Originea axelor de coordonate s-a considerat pe latura stânga a peretelui modelului la intersecția acestuia cu axa peretelui despărțitor dintre compartimentele A și B; axa **ox** este în lungul modelului iar axa **oy** transversală.



Fig. 2.1 Poziția punctelor de măsura din timpul experimentărilor

Experimentul 1. În acest experiment scopul urmărit a fost verificarea etanșeității modelului și punerea în evidență a posibilității de curgere între camerele de odihnă si relaxare ale modelului. Vitezele de curgere a apei dintr-un compartiment în altul al modelului au fost mici, corespunzătoare unei diferențe de nivel între amonte și avalul unui perete despărțitor de 4-5mm. Nu s-au făcut înregistrări la acest experiment. În urma acestui experiment s-au luat unele măsuri de etanșare și s-au obținut informații calitative privind regimul de curgere al apei prin modelul experimental.

Experimentul 2. În acest experiment s-a utilizat pompa de 12 l/s și s-a introdus o cantitate mare de nămol, 4 găleți, în comparație cu dimensiunile modelului care, în cazul unor regimuri de curgere necorespunzătoare, era suficientă pentru blocarea orificiilor de trecere din pereții despărțitori ai compartimentelor de odihnă și relaxare. Pentru evaluarea regimurilor de curgere s-au efectuat determinări experimentale de viteze ale apei cu namol în pozițiile menționate în fig. 2.1. Diferența de nivel între zona amonte și aval la cei 3 pereți despărțitori obținută in regimurile de curgere de la

experimentul 2 este dată în tabelul 2.1. Aceste diferențe au fost utilizate pentru determinarea vitezei de curgere în orificiile de trecere¹ întrucât senzorii aparatului de măsură utilizat pentru determinarea vitezelor de curgere nu au putut fi poziționați la o distanță mai mică de 100mm de orificiile de curgere. În tabelele 2.2, 2.3 și fig. 2.2, 2.3 sunt prezentate vitezele de curgere din experimentul 2 și diagramele vitezelor măsurate la o distanță de 40 mm de fundul modelului când recircularea apei s-a realizat cu pompa de 12 l/s. Această distanță s-a ales pentru ca senzorii să nu intre în mâlul colmatat când valoarea vitezei indicate este zero. Din analiza diagramelor rezultă că în pozițiile apropiate de pereții laterali, mâlul depus a depășit 40 mm.

Pentru fiecare punct indicat în figura 2.1 se măsoară viteza în secțiunea planului de curgere situat la 40mm de fundul pasajului, ceea ce ar corespunde cu planul de secțiune transversală, Fig.1.3, ce trece prin centrul orificiului din pereții despărțitori. Pe afișajul aparatului este trecut și indicele de calitate SNR (Signal to Noise Ratio) măsurat in dB și care trebuie să aibă valori mai mari decât 10dB pentru a fi siguri că măsurătorile făcute sunt de calitate. În tabelele 2.2 și 2.3 sunt trecute și valorile de SNR (dB) pentru fiecare viteză măsurată.

Pozitie diferenta	Volum apa 2/3	Volum apa 3/4	Volum apa 3/4	Volum apa 3/4	Volum apa 3/4
nivel Δh /regimuri de	Q=12 l/s	Q=12 l/s	Q=32 l/s	Q=12 l/s	Q=12 + 32 l/s
curgere	α=4,74	α=5,71	α=6,85	α=6,85	α=6,85
Intre compart. A - B	80 mm	90 mm	230 mm	100 mm	300 mm
Intre compart. B - C	80 mm	90 mm	220 mm	100 mm	260 mm
Intre compart. C - D	80 mm	90 mm	230 mm	100 mm	300 mm

Tabelul 2.1. Diferențele de nivel (notată Δh) între amonte și aval de pereții despărțitori în diferite regimuri de experimentare

La înclinarea de 6,85 și debite mari curgerea naturală dintre compartimentele B și C nu a asigurat debitul dat de pompa mare sau pompa mare + pompa mică ceea ce a făcut ca între compartimente să fie o diferență de cădere hidraulică pe cei trei pereți. Această diferență se modifică ușor în timp și experimentele au fost oprite pentru a nu se ajunge diferențe mari de volume de apă între compartimente.Valorile din tabel reprezintă valori medii.

Tabelul 2.2. Vitezele de curgere și factorul de calitate SNR (dB) în diferite poziții de măsurare (a, d, e, h în apropierea orificiilor de trecere – poz. verticală 40 mm de la fundul modelului), indicate în fig. 2.1; înclinare α=4,74; pentru ΔH=80mm cu viteza maximă în orificiul de trecere 1.16m/s

				omm cu	viteZu int	iAnna m	ormenur		1,1011/3			
Poz.	Poz.	V [m/s]	SNR	Poz.	V	SNR	Poz.	V	SNR	Poz. x	V [m/s]	SNR
У	x (a)		[dB]	x (d)	[m/s]	[dB]	x (e)	[m/s]	[dB]	(h)		[dB]
1	12	0.017	38.3	80	0.016	39.7	97	0.015	42.1	172	Colm	atare
2	4	0.049	40.4	81	0.082	40.0	96	0.245	34.4	173.5	0.049	42.7
3	4	0.202	37	81	0.058	40.4	96	0.22	41.3	173.5	0.054	42.1
4	4	0.041	38.7	81	0.025	37.8	96	0.15	43.9	173.5	0.044	41.3
5	12	0.034	31.4	80	0.014	37.0	97	0.047	44.7	172	0.021	42.1

¹ Viteza teoretică de curgere printr-un orificiu submers se calculează cu formula $v = \sqrt{2g\Delta h}$ unde Δh este dat în figură, [3]. Această viteza reprezinta viteza apei în centrul de greutate al orificiului.



	ΔH=δ0mm cu viteza maxima in officiul de trecere 1,16m/s											
Poz.	Poz.	V [m/s]	SNR	Poz.	V	SNR	Poz.	V	SNR	Poz. x	V [m/s]	SNR
у	x (b)		[dB]	x (c)	[m/s]	[dB]	x (f)	[m/s]	[dB]	(g)		[dB]
1	40	0.061	37	60	colm	atare	132.5	0.019	47.6	152.5	colm	atare
2	40	0.081	40	60	0.088	39.7	132.5	0.023	44.3	152.5	0.024	36.1
3	40	0.207	38.3	60	0.149	38.7	132.5	0.028	46.4	152.5	0.032	42.1
4	40	0.187	38.3	60	0.131	37.8	132.5	0.048	42.6	152.5	0.043	41.7
5	40	0.096	38.3	60	0.05	40.4	132.5	0.083	43.9	152.5	0.074	42.6
6	40	0.015	35.3	60	0.025	30.5	132.5	0.078	44.3	152.5	0.063	42.1
7	40	colm	atare	60	colmatare		132.5	coln	natare	152.5	colm	atare

Tabelul 2.3. Vitezele de curgere și factorul de calitate SNR (dB) în diferite poziții de măsurare (b, c, f, g în zona centrală a compartimentelor – poz. verticala 40 mm de la fundul modelului) indicate în fig. 2.1; înclinare α =4,74; pentru Δ H=80mm cu viteza maximă în orificiul de trecere 1 16m/s



În tabelul 2.4 și fig. 2.4, 2.5 sunt prezentate vitezele de curgere din experimentul 2 și diagramele vitezelor măsurate, la o distanță de 80 mm de fundul modelului când recircularea apei s-a realizat cu pompa de 12 l/s.

			IIII	n cu vitez	za maxin		iciui de li	lecele 1,2	.5111/5			
Poz.	Poz.	V [m/s]	SNR	Poz.	V	SNR	Poz.	V	SNR	Poz. x	V [m/s]	SNR
у	x (e)		[dB]	x (h)	[m/s]	[dB]	x (f)	[m/s]	[dB]	(g)		[dB]
1	97	0.020	47.9	172	0.016	43.00	132.5	0.011	46.0	152.5	0.019	43.0
2	96	0.182	39.6	173.5	0.033	40.00	132.5	0.027	45.1	152.5	0.017	43.4
3	96	0.221	45.6	173.5	0.051	40.90	132.5	0.035	42.6	152.5	0.022	45.6
4	96	0.153	45.6	173.5	0.049	40.90	132.5	0.068	41.7	152.5	0.038	41.3
5	97	0.086	46.9	172	0.030	42.10	132.5	0.160	42.6	152.5	0.092	42.1
							132.5	0.105	43.4	152.5	0.070	43.9
							132.5	0.000	0.0	152.5	0.000	0.0

Tabelul 2.4. Vitezele de curgere și factorul de calitate SNR (dB) în diferite poziții de măsurare (e, h, f, g în apropierea orificiilor de trecere – poz. verticală 80 mm de la fundul modelului) indicate în fig. 2.1; înclinare α =5,71 pentru Δh =90 mm cu viteza maximă în orificiul de trecere 1.23m/s



În tabelul 2.5 și fig. 2.6, 2.7 sunt prezentate vitezele de curgere din acest experiment și diagramele vitezelor măsurate, la o distanță de 40 mm de fundul modelului când recircularea apei s-a realizat cu pompa de 12 l/s. Înclinarea modelului este de 6,85 °.

Tabelul 2.5. Vitezele de curgere și factorul de calitate SNR (dB) în diferite poziții de măsurare (e, h, f, g în apropierea orificiilor de trecere – poz. verticală 40 mm de la fundul modelului), indicate în fig. 2.1; înclinare α =6,85 ° pentru Δh =100 mm cu viteza maximă în orificiul de trecere 1,30m/s

	-			-	-	-	-	-			-	
Poz.	Poz.	V [m/s]	SNR	Poz.	V	SNR	Poz.	V	SNR	Poz. x	V [m/s]	SNR
у	x (e)		[dB]	x (h)	[m/s]	[dB]	x (f)	[m/s]	[dB]	(g)		[dB]
1	97	0		172	0		132.5	0		152.5		
2	96	0.42	36.5	173.5	0.067	40.0	132.5	0		152.5	16	0
3	96	0.164	38.7	173.5	0.046	41.7	132.5	0.292	36.5	152.5	26	0.162
4	96	0.085	39.1	173.5	0.028	41.3	132.5	0.145	36.1	152.5	36	0.104
5	97	0		172	0		132.5	0.036	40.0	152.5	46	0.037
							132.5	0		152.5	56	0
							132.5	0		152.5		

Din punct de vedere teoretic, [4] distribuția de viteze în jetul de fluid la trecerea printr-un orificiu se prezintă ca în figura.



Distribuția de viteze într-un jet subsonic izobar, [4]

Se observa că depărtarea de orificiu va duce la distribuții de viteze cu valori din ce în ce mai mici, așa cum au fost și cele obținute în experimentări. În figura de mai jos sunt date și distribuțiile de viteze la diferite distanțe de orificiu, [4]



Distribuție de viteze în jet, [4]



În timpul primei goliri, după experimentul 2, o cantitate importantă de nămol a fost evacuată odată cu apa tulbure și în special nămolul depus în compartimentul D, datorită capacității pompelor de a absorbi nămolul. Nămolul a fost deversat într-un canal colector din laborator odată cu apa din model. Din acest motiv în pozele din fig 2.8, în compartimentul D, este mai puțin nămol decât în timpul experimentării.

Rezultatul colmatării cu namol al compartimentelor este prezentat în fig. 2.8.





Din analiza acestor informații, rezultă următoarele:

- Compartimentele B și D, la care regimurile de curgere sunt similare unui pasaj real (nu sunt influențate de absorbția apei din compartimentul D și refularea apei în compartimentul A), au colmatare mică și numai în zonele laterale. Zona centrală în lungul orificiilor de trecere, esențială pentru realizarea migrării sturionilor, practic nu este colmatată. Unele colmatări mici, din zona centrală în care grosimea stratelor depuse este de până la 2mm se datorează unor neregularități existente pe fundul modelului.
- În zonele laterale ale compartimentelor A, B, C şi D, şi în special zonele amonte şi aval față de pereții despărțitori dintre compartimente, există o colmatare de până la 50-70mm. Această colmatare este uzuală la cantitatea mare de nămol, 4 găleți, care a fost introdusă în model şi care trebuia să fie depusă în anumite zone. Important este că această colmatare nu are efect de obturare a orificiilor de trecere şi deci, de blocare a migrării.
- Colmatarea compartimentului A (în care s-a introdus nămolul) şi în care refulează pompele precum şi în compartimentul D din care absorb pompele, diferă radical de colmatarea compartimentelor B şi D. În acest compartiment, A, s-a depus un strat de mâl relativ gros de peste 50mm poziționat şi în zona centrală, dar situată la o distanță destul de mare de orificiile de trecere în compartimentul B şi respectiv compartimentul C, în aşa fel încât nu se blochează migrarea. Este de remarcat faptul că, pe o distanță de circa 250mm în amonte de orificiul de trecere între compartimentele A şi B, respectiv C şi D fundul compartimentului A, respectiv D este putin colmatat, ceea ce înseamnă că, regimurile de curgere realizate în orificiul de trecere între compartimentele A şi B, respectiv C şi D (care este relativ apropiat de regimul de curgere de la gura de intrare amonte, respectiv de gura de evacuare aval din pasajul de sturioni), nu pot fi colmatate. În situația reală de pe Dunăre pericolul de colmatare a gurii amonte a pasajului de sturioni este practic exclus întrucât aceasta este situată în vecinătatea obstacolului (prag sau baraj) are o poziție aproape de suprafața apei, zona în care cantitatea de mâl antrenată este minimă. În

zona gurii amonte a pasajelor de sturioni conținutul de mâl și de alte sedimente din apă este minim datorită următoarelor aspecte: viteza de curgere a apei în lacul de acumulare (inclusiv amonte de un prag) este mică, depunerea majorității sedimentelor se realizează înainte de a ajunge la gura de intrare în pasaj, timpul de curgere a apei de la coada lacului pana la baraj este mare și are loc un proces de curățare naturală a apei prin depuneri treptate pe fundul lacului. Din aceste motive apa care intră în pasaj are o concentrație de mâl de zeci de ori mai mică decât concentrația de mâl conținută în apa utilizată la experimentarea modelului care este între 7 și 8% concentrație volumetrică.

Experimentul 3. Determinările experimentale sunt realizate în condiții similare cu experimentul 2 cu deosebirea că s-a utilizat o pompă de debit mai mare de 32 l/s.

În tabelul 2.6 și fig. 2.9, 2.10 sunt prezentate vitezele de curgere din acest experiment și diagramele vitezelor măsurate la o distanță de 40 mm de fundul modelului când recircularea apei s-a realizat cu pompa de 32 l/s. Înclinarea modelului este de 6,89°.

Tabelul 2.6. Vitezele de curgere și factorul de calitate SNR (dB) în diferite poziții de măsurare (e, h, f, g în apropierea orificiilor de trecere – poz. verticală 40 mm de la fundul modelului), indicate în fig. 2.1; înclinare α =6,85 ° pentru Δh =220 mm cu viteza maximă în orificiu de trecere 1,93m/s

Poz.	Poz.	V [m/s]	SNR	Poz.	V	SNR	Poz.	V	SNR	Poz. x	V [m/s]	SNR
у	x (e)		[dB]	x (h)	[m/s]	[dB]	x (f)	[m/s]	[dB]	(g)		[dB]
1	97	0.144	37.000	172	0.057	36.50	132.5	0.035	36.100	152.5	0.050	32.700
2	96	0.194	32.200	173.5	0.114	35.70	132.5	0.050	35.300	152.5	0.080	33.100
3	96	0.332	37.000	173.5	0.150	34.40	132.5	0.097	33.100	152.5	0.103	33.500
4	96	0.160	20.400	173.5	0.232	35.30	132.5	0.317	31.800	152.5	0.123	34.400
5	97	0.058	38.300	172	0.026	34.40	132.5	0.334	33.500	152.5	0.204	33.500
							132.5	0.230	34.000	152.5	0.155	34.400
							132.5	0.000	0.000	152.5	0.000	0.000



Experimentul 4. Determinările experimentale sunt realizate în condiții similare cu experimentul 3 cu deosebirea că s-a mărit panta la un unghi de 6,85° și s-a utilizat pompa mare și respectiv cele două pompe de debit mai mici. Pentru compensarea cantității de nămol evacuată la prima golire s-a adăugat 1 galeată de nămol.

După efectuarea experimentului 4 s-a realizat o nouă golire a modelului pentru examinarea colmatării acestora la aceste regimuri de curgere de viteze mai mari.

În tabelul 2.7 și fig. 2.11, 2.12 sunt prezentate vitezele de curgere din acest experiment și diagramele vitezelor măsurate, la o distanță de 80 mm de fundul modelului când recircularea apei s-a realizat cu pompa de 32 l/s. Înclinarea modelului este de 6,85°.

Tabelul 2.7. Vitezele de curgere și factorul de calitate SNR (dB) în diferite poziții de măsurare (e, h, f, g în apropierea orificiilor de trecere – poz. verticală 40 mm de fundul modelului), indicate în fig. 2.1; înclinare α =6,85° pentru Δh =220 mm cu viteza maximă în orificiul de trecere 1,93m/s

Poz.	Poz.	V [m/s]	SNR	Poz.	V	SNR	Poz.	V	SNR	Poz. x	V [m/s]	SNR
У	x (e)		[dB]	x (h)	[m/s]	[dB]	x (f)	[m/s]	[dB]	(g)		[dB]
1	97	0.055	37.8	172	0.073	37.5	132.5	0.064	37.0	152.5	0.057	37.4
2	96	0.307	35.7	173.5	0.194	34.8	132.5	0.083	37.4	152.5	0.052	37.8
3	96	0.342	37.4	173.5	0.320	34.4	132.5	0.100	37.0	152.5	0.049	36.1
4	96	0.27	37.8	173.5	0.220	34.4	132.5	0.145	35.3	152.5	0.089	35.3
5	97	0.162	38.3	172	0.239	34.4	132.5	0.330	36.5	152.5	0.186	36.1
							132.5	0.364	37.0	152.5	0.200	36.1
							132.5	0.000	0.0	152.5	0.000	0



În tabelul 2.8 și fig. 2.13, 2.14 sunt prezentate vitezele de curgere din acest experiment și diagramele vitezelor măsurate la o distanță de 80 mm de fundul modelului când recircularea apei s-a realizat cu pompa de 32 l/s și pompa de 12 l/s. Înclinarea modelului este de 6,85°.

Tabelul 2.8. Vitezele de curgere și factorul de calitate SNR (dB) în diferite poziții de măsurare (e, h, f, g în apropierea orificiilor de trecere – poz. verticală 40 mm de fundul modelului), indicate în fig. 2.1; înclinare α =6,85° pentru Δh =260 mm cu viteza maximă în orificiul de trecere 2,10m/s

Poz.	Poz.	V [m/s]	SNR	Poz.	V	SNR	Poz.	V	SNR	Poz. x	V [m/s]	SNR
у	x (e)		[dB]	x (h)	[m/s]	[dB]	x (f)	[m/s]	[dB]	(g)		[dB]
1	97	0		172	0		132.5	0		152.5	0	
2	96	0.345	30.5	173.5	0.099	33.1	132.5	0		152.5	0	
3	96	0.546	32.7	173.5	0.114	36.5	132.5	0.173	32.7	152.5	0.098	34
4	96	0.429	33.5	173.5	0.091	36.1	132.5	0.286	33.1	152.5	0.253	35.7
5	97	0		172	0		132.5	0.153	36.5	152.5	0.115	35.7
							132.5	0		152.5	0	
							132.5	0		152.5	0	



În fig. 2.15 sunt prezentate imagini cu depunerile de mâl în compartimentele modelului de pasaj de pești.





În timpul celei de-a doua goliri a modelului o cantitate mare de nămol a fost evacuată odată cu apa tulbure și în special nămolul depus în compartimentul D, datorită capacității pompelor utilizate de a absorbi nămol. Nămolul a fost deversat într-un canal colector din laborator odată cu apa din model. Nu s-a putut face o determinare exactă a nămolului evacuat la golirea modelului după experimentul 3. Vizual s-a evaluat la 1 galeată, motiv pentru care în experimentul 4 s-a adăugat o cantitate de 1 galeată nămol. În pozele din fig 2.5 în compartimentul D realizate după experimentul 4 este mai puțin nămol decât în pozele din fig 2.4 realizate după experimentul 3 care se poate explica prin cantitatea mai mare de nămol din compartimentul A și a regimurilor de curgere realizate.

În urma examinării depunerilor de mâl în modelul de pasaj de sturioni, după experimentul 4 cu viteze de curgere mai mari se pot face următoarele remarci:

- cantitatea de nămol din experimentul 4 a fost aproximativ egală cu cantitatea de nămol din experimentul 2 şi 3 întrucât la cantitatea de nămol rămasă după prima golire (după experimentul 3) a fost adaugată aproximativ 1 galeată de nămol pentru a înlocui cantitatea de nămol evacuat odată cu apa la prima golire a modelului;
- 2. cantitatea de nămol depusă în compartimentele B și C la experimentul 4 este mai mică decât la experimentul 3 datorită, în special, regimurilor de curgere realizate cu viteze mai mari și înclinare mai mare a modelului;
- 3. cantitatea de nămol depusă în compartimentele A în experimentul 4 este mai mare decât în experimentul 3 ceea ce explică reducerea cantității de nămol depusă în compartimentele B și C din experimentul 4 când s-au realizat regimuri de curgere cu viteze mai mari;

- 4. cantitatea de nămol din compartimentul D a fost mai mică decât la prima golire datorită capacității mai mari de antrenare a nămolului de pompă mare (pompa de 32 l/s) utilizată la golirea din compartimentul D după experimentul 4;
- 5. orificiile de trecere dintre compartimentele A și B, respectiv C și D și zonele adiacente nu s-au colmatat ca să împiedice migrarea sturionilor deși densitatea de nămol din apa din experiment a fost mult mai mare decât în apa de pe fluviul Dunărea, inclusiv în regimurile de viitură;
- 6. existența unor pungi mici de nămol în compartimentele B și C cât și a unor cantități mai mari de nămol în zonele laterale este favorabilă migrării sturionilor datorită similitudinii cu albia naturală a râului înainte de realizarea obstacolului (în migrarea amonte sturionii se deplasează, de regulă, în zig zag prin zonele cu nămol de pe fundul albiei);
- 7. în timpul evacuării apei din modelul experimental regimurile de curgere din compartimentele A, B și C sunt cu viteze mai mici decât în timpul experimentului, când regimul de curgere a fost staționar (adică, cu aspirarea apei și a nămolului din compartimentul D și evacuarea acestora în compartimentul A). În timpul acestui regim de curgere se formeaza diferențe de nivel amonte și aval între compartimentele A-B, B-C și C-D, notate Δh și care dau vitezele de curgere prin orificiile de trecere. În acest fel s-a evitat ca în timpul golirii depunerile de sedimente din compartimentele A, B și C ale modelului nu se modifică.
- 8. Din analiza rezultatelor obținute prin măsurători pentru determinarea regimurilor de curgere în experimentele 2, 3 si 4, și a calculelor realizate pe baza datelor înregistrate în timpul experimentelor, ca și în urma examinării colmatării modelului de pasaj de sturioni în cele două vizionări după experimentele 3 și 4, rezultă următoarele:
 - a) în toate regimurile de curgere testate, orificiile de trecere dintr-un compartiment în altul cât și zonele din camerele de odihnă și relaxare (compartimente) din vecinătatea orificiilor de trecere nu sunt colmatate; deci, migrarea sturionilor și a altor organisme acvatice nu este obstrucționată;
 - b) la viteza de curgere de 0,5m/s în zona centrală a compartimentelor de odihnă şi relaxare, şi respectiv de 1,5 m/s în orificiile de trecere dintr-un compartiment în altul nu există efect de colmatare în zona de migrare a pasajului (zona centrală a camerelor de odihnă şi relaxare, şi a orificiilor de trecere dintr-o cameră în alta);
 - c) cu cât viteza de curgere este mai mare și cu cât înclinarea pasajului este mai mare cu atât efectul de colmatare este mai redus;
 - d) pentru orice înălțime de baraj cu diferențe mari de nivel între nivelul apei amonte şi aval de baraj se pot realiza pasaje de peşti, inclusiv sturioni. În aceste pasaje vitezele de curgere sunt prestabilite la valori dorite prin divizarea căderii totale a apei într-un număr *n* de căderi mai mici de înălțime egală şi dorită care va da viteza maximă prin orificiile de trecere. De asemenea, pasajul va avea *n*+*1* camere de odihnă şi relaxare în care sunt incluse gura aval şi amonte a pasajului;
 - e) în zonele laterale şi în zonele amonte şi aval de pereții despărțitori există o depunere de nămol. Aceasta nu afectează migrarea organismelor acvatice, şi în special a sturionilor, dimpotrivă, face pasajul mai atragător pentru migrare, prin apropierea de albia naturală a râului;
 - f) depunerea de nămol în pasajul de sturioni este similară cu depunerea de nămol din albia naturală a râurilor în sensul că, în părțile laterale sunt depuneri maxime şi în zona centrală depuneri minime;

- 9. Prin demonstrările experimentale pe modelul de pasaj de sturioni realizat la scara 1:10 rezultă că la viteze de curgere prin orificiile de trecere de câteva ori mai mici decât viteza care ar putea îngreuna migrarea sturionilor, nu există pericol de colmatare.
- 10. Viteza maximă prin orifiicile de trecere dintr-un compartiment în altul este pe o distanță foarte mică (de circa 100mm la pasajele reale și 10 mm la modelul experimental de pasaj de sturioni) după care are loc o reducere amonte și aval de 2 respectiv 4 ori datorită măririi suprafeței de curgere la o distanță de 100 respectiv 200 mm la pasajul real, și circa 10 respectiv 20 mm la model. Reducerea mare a vitezei de curgere a apei odată cu depărtarea de orificiul de trecere (care se realizează și la pasajele reale, la scara 1:1, conform modelării matematice) face ca migrarea sturionilor să fie posibilă și în cazul în care prin orificiul de trecere se realizează viteze și mai mari decât viteza de blocare a migrării evaluată la 3m/s pentru sturionii din Dunăre, după unii specialiști.
- 11. Viteza maximă prin orificiile de trecere la pasajele reale este pe o lungime de circa 5 ori mai mică decât lungimea sturionilor care migrează amonte pe fluviul Dunarea. Trebuie menționat faptul că prin orificiul de trecere viteza variază de la 0, la marginea orificiului, la valoarea maximă în centrul orificiului. Funcție de geometria orificiului viteza medie este cuprinsă între 0,5 și 0,6 din viteza maximă.

Noul tip de pasaj de sturioni, așa cum a fost conceput și experimentat (pentru regimurile hidraulice și fenomenul de colmatare) poate fi realizat la orice obstacol de tip prag sau baraj, în așa fel încât să se obțină viteze de curgere optime prin pasaj care să nu permită colmatarea pasajului și care să nu blocheze migrarea sturionilor și a altor organisme acvatice.

Viteza optimă de curgere se realizează prin divizarea căderii hidraulice între amonte și aval, față de obstacolul de pe albia râului (prag sau baraj) într-un număr optim de compartimente de odihnă și relaxare, despărțite între ele prin pereți prevăzuți cu orificii, de migrare a organismelor acvatice de diferite dimensiuni.

Adâncimea pasajului va fi în așa fel stabilită încât adâncimea medie a apei într-o cameră de odihnă și relaxare, care este realizată sub un anumit unghi, să fie egală cu adâncimea medie a albiei din zona obstacolului înainte de realizarea acestuia.

Orificiile de migrare pentru organismele acvatice dintre camerele de odihnă și relaxare se realizează la adâncimea de migrare a acestora și la dimensiuni și distanțe care să nu dea efect de canal. De exemplu, dimensiunea maximă a orificiilor poate fi de circa 100mm, cu diametrul de 2 ori dimensiunea transversală a organismelor acvatice care migrează. Acestea sunt realizate la adâncimi corespunzătoare comportamentului fiecărei specii de organisme acvatice (pentru sturioni se realizează la partea inferioară a pereților despărțitori ai pasajului).

Orificiile de trecere dintr-un compartiment în altul se realizează de dimensiuni minime, care nu afectează migrarea, nu se pierde potențial hidroenergetic la baraje și nu sunt afectate regimurile de curgere la praguri.

Înclinarea compartimentelor de odihnă și relaxare, ca și diferența de nivel între nivelul apei amonte și aval față de un perete despărțitor, pentru un baraj de o înălțime dată se stabilește prin calcule hidraulice, în așa fel încât numărul de camere și de pereți despărțitori, precum și căderea de apă pe un perete al pasajului să fie optime, fără perturbarea migrării.

3. CONCLUZII

Din prima etapă de experimentare a regimurilor hidraulice și a efectului de colmatare pe noul tip de pasaj pentru migrarea sturionilor, care permite refacerea conectivității longitudinale în dreptul unui obstacol de tip baraj sau prag, prin asigurarea condițiilor de migrare similare cu cele din albia naturală înainte de realizarea obstacolului, rezultă următoarele concluzii:

- Geometria şi structura pasajului sunt în aşa fel concepute încât nu poate să apară o colmatare a orificiilor de trecere dintr-un compartiment de odihnă şi relaxare în altul, şi nici a zonelor din camerele de odihnă şi relaxare care asigură migrarea sturionilor.
- Viteza maximă din orificiul de trecere dintr-un compartiment de odihnă şi relaxare în altul se păstrează practic constantă pe o lungime egală cu circa 2 grosimi ale peretelui în zona orificiului de trecere dintre compartimente.
- Conform modelării matematice, coroborat cu rezultatele experimentale, viteza de curgere a apei se reduce foarte mult cu distanța de la mijlocul orificiului de trecere, ajungând la o reducere de 50% la o distanță de 1,5 grosimi de perete față de mijlocul orificiului de trecere. Această reducere favorizează migrarea sturionilor prin pasaj, chiar şi la viteze mai mari de 3m/s prin orificiile de trecere, întrucât viteza maximă se realizează pe o lungime mai mică decât 50% din lungimea unui sturion mediu care migrează şi care are mărimea medie de circa 1000mm.
- Pentru alte specii de organisme acvatice care migrează la diferite adâncimi situate la o distanță relativ mare de fundul pasajului, ca de exemplu scrumbiile, problema colmatării orificiilor de trecere şi a zonelor de migrare nu poate genera probleme de blocare a migrării acestora, având în vedere că orificiile de trecere din compartimentele intermediare nu vor fi colmatate în nicio situație posibilă.
- În experimentul realizat apare o colmatare în părțile laterale din camerele de odihnă și relaxare și în zonele aval și amonte ale pereților despărțitori dintre camere. Această colmatare este relativ mică și nu pune în pericol colmatarea orificiilor de trecere și a zonelor de migrare prin pasaj.
- Prin modul de colmatare, noul tip de pasaj se apropie mult de albiile naturale ale râurilor care, în multe zone, se colmatează în zona laterală și în jurul obstacolelor.
- Colmatarea primului şi ultimului compartiment al modelului, respectiv camerele de odihnă şi relaxare A şi D, apare deoarece în aceste camere (din care se face aspirarea şi respectiv refularea apei) regimurile de curgere diferă mult de regimurile de curgere din camerele pasajului. De remarcat faptul că, şi în aceste compartimente nu apare o colmatare a orificiilor de trecere şi a zonelor din vecinătatea acestora.
- Prin modul de realizare, noul tip de pasaj de sturioni poate fi vizitat și decolmatat ceea ce face ca în orice situații extreme (inclusiv viituri catastrofale) pasajul să poată fi readus în condiții optime de exploatare.
- Vitezele de curgere a apei cu mâl înregistrate în diferite zone ale pasajului cât și vitezele de curgere din orificiile de trecere, determinate pe baza măsurătorilor experimentale ale diferențelor de nivel ale apei Δh arată că acestea sunt sub 2m/s ceea ce înseamnă că sunt mult sub viteza care poate bloca migrarea sturionilor prin pasaj. Dacă se ține seama că aceste viteze mari se realizează pe o zonă de circa 20mm la model și la pasajul real de circa 200mm, care este de zeci de ori mai mică decât lungimea unui sturion, rezultă că valorile maxime ale vitezelor de curgere prin orificiile de trecere prin pereții despărțitori dintre camere nu pot împiedica migrarea sturionilor, chiar dacă acestea ar fi de câteva ori mai mari.

Din rezultatele preliminare obținute pe modelul de laborator de pasaj de sturioni, care reproduce la scara 1:10 un tronson de pasaj aerat (condițiile similare de regimuri de curgere și colmatare sunt și la pasajul submers), coroborate cu modelarea matematică a regimurilor hidraulice pe model și în situații reale de pasaje, rezultă că noua soluție de pasaj pentru migrarea organismelor acvatice, inclusiv a sturionilor, este indicată pentru refacerea conectivității longitudinale a albiei unui râu în dreptul unui prag sau baraj și inclusiv pentru migrarea sturionilor pe Fluviul Dunărea.

Având la bază rezultatele obținute în Laboratorul de Hidroenergetică al Facultății de Energetică din Universitatea Politehnica din București, cât și rezultatele obținute la încercările experimentale de la Universitatea Dunărea de Jos Galați, unde s-a testat procesul de migrare a puietului de sturioni pe noul model de pasaj de sturioni, considerăm că se poate trece la realizarea unui pasaj de sturioni aerat la pragul de pe brațul Bala întrucât diferența între nivelul amonte și aval al apei este de numai 2m. Acest pasaj se poate realiza cu 4-8 compartimente de odihnă și relaxare. Pasajul poate fi utilizat și pentru studiul detaliat al regimurilor de curgere și de migrare a tuturor tipurilor de organisme acvatice care migrează pe fluviul Dunărea.

De asemenea, considerăm ca s-au obținut suficiente date care să permită trecerea la realizarea unui pasaj la scara 1:1 în albia unui râu, în dreptul unui baraj cu o înălțime medie de 8-16m.

RECOMANDĂRI

Avand la bază rezultatele obținute în actuala etapă (UPB) de experimentare a modelului pasajului de sturioni pentru determinarea regimurilor de curgere și a efectului de colmatare, cât și rezultatele obținute la încercările experimentale de la Universitatea Dunărea de Jos Galați, unde s-a testat migrarea puietului de sturioni pe noul model de pasaj de sturioni, se pot face următoarele recomandări:

- Pe baza noii concepții de pasaj de sturioni protejată prin OSIM, cu cererea de brevet de invenție nr. A/00272/08.04.2014, cu titlul "Pasaj pentru refacerea conectivității longitudinale a unui curs de apă şi procedeu de realizare a acestuia", a proiectelor tehnice realizate în colaborare cu CITON şi a datelor experimentale obținute pe modelele de laborator, se poate trece la realizarea unui pasaj de sturioni aerat la pragul de pe brațul Bala. Diferența mică între nivelul amonte şi aval al apei la pragul Bala, de circa 2m, permite realizarea cu cheltuieli minime a pasajului prin ocolirea pragului, fără a afecta programul de realizare a pragului submers, care în prezent este blocat de o serie de probleme ecologice şi de protecție a mediului, în special cele legate de migrarea sturionilor. Realizarea pasajului aerat la confluența brațului Bala cu brațul Dunărea Veche, prin ocolirea pragului, poate aduce un aport important la finalizarea urgentă a contradițiilor legate de blocarea migrării sturionilor. S-ar putea rezolva, astfel, problemele critice legate de navigarea pe Brațul Dunarea Veche, canalul Dunare - Marea Neagră şi alimentarea cu apă de răcire a CNE Cernavodă.
- 2. Realizarea pasajului la pragul Bala se propune în această etapă de realizare a pragului și cu ajutorul pasajului se pot realiza observații referitoare la migrarea sturionilor și a altor organisme acvatice fără a condiționa realizarea etapelor ulterioare ale pragului.
- 3. În cazul cel mai puțin probabil, că prin noul pasaj nu vor migra sturionii (prin controlul migrării sturionilor prin pasaj se va știi cu exactitate dacă acesta favorizează sau nu migrarea), acesta nu va perturba cu nimic găsirea altor variante de realizare a pragului.
- 4. Pentru a avea o colmatare cât mai mică pe brațul Dunărea Veche în aval de brațul Bala, pe canalul Dunăre Marea Neagră și pe racordul de alimentare cu apă de răcire a CNE Cernavodă, considerăm că propunerea CITON, (cuprinsă și în invenția protejată) de a se realiza prin prag un număr de canale de fund înclinate cu pantă mică, din tuburi de beton, pentru antrenarea depunerilor prin prag prezintă multe avataje față de propunerea actuală în care debitul de apă aferent brațului Bala se realizează numai prin curgeri peste prag, și anume:
 - se păstreză mai bine condițiile naturale actuale prin curgerea apei pe la partea inferioară și partea superioară a pragului;
 - antrenarea unei cantități importante de mâl și pe brațul Bala, ceea ce va face ca, după realizarea pragului, schimbarea condițiilor ecologie și hidromorfologice să fie minime și cu efecte favorabile pentru toată zona;

- nu se vor depune cantități mari de mâl pe brațul Dunărea Veche şi pe canalul Dunăre -Marea Neagră, ceea ce va reduce mult cheltuielile de dragare şi va asigura condiții de navigare favorabile şi, totodată, va asigura un debit suficient de răcire pentru CNE Cernavodă, inclusiv în condiții de debit scăzut pe Dunăre din cauza schimbărilor climatie care se manifestă în ultima perioadă;
- configurația actuală (depunerile de mâl, bălți, grinduri, etc) de pe brațul Bala, practic nu se va modifica; se vor reduce eroziunile de teren cu fertilitate foarte bună din zona adiacentă brațului Bala, datorită faptului că în varianta cu canale de fund, cantitatea de mâl ce va fi antrenată pe brațul Bala va fi practic aceeași cu cea anterioară realizării pragului. De asemenea, pe brațul Bala nu se vor realiza viteze mari de curgere, inclusiv la viituri, ceea ce reduce modificările hidromorfologice ale brațului cu efecte favorabile asupra ecosistemului;
- depunerile de mâl pe braţul Dunărea Veche în zona Cernavodă şi pe canalul de navigaţie şi de alimentare cu apă de răcire a CNE Cernavodă, va fi mult mai mică ca în prezent datorită vitezelor mai mari care se vor realiza în toate condiţiile hidrologice de pe Dunăre cât şi datorită faptului că o cantitate mare de mâl va fi antrenată prin canalele de fund ale pragului Bala pe braţul Bala.
- 5. Pasajul aerat de la pragul submers Bala se poate realiza cu un număr dorit de compartimente de odihnă şi relaxare între 4 şi 8, la adâncimea apei de pe braţul Bala şi de dimesiuni dorite, în aşa fel încât să nu apară efectul de "ţarc". Pasajul va putea fi utilizat pentru studiul detaliat al migrării tuturor tipurilor de organisme acvatice din fluviul Dunărea. Datele obținute vor putea fi utilizate la realizarea de pasaje la barajele de la Porțile de Fier I şi II;
- 6. Având în vedere importanța practică a acestui pasaj, conform celor mai sus menționate, se recomandă reluarea măsurătorilor experimentale și confruntarea lor cu calcule hidraulice pe modele matematice detaliate.

Referințe bibliografice

- [1] V. CRISTEA, V. SERBAN, Raport Experimental Soluție tehnică pentru asigurarea migrării sturionilor și a altor organisme acvatice, Universitatea Dunărea de Jos, Galați.
- [2] ***, ADV Vitezometru Doppler 3D- Micro ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), carte tehnică.
- [3] C. MATEESCU, HIDRAULICA, Ed. Didactica si pedagogica, Bucuresti, 1963.
- [4] Polezhaev, Yury V., Golub, V.V., Jets, THERMOPEDIA, A-to-Z Guide to Thermodynamics, Heat & Mass Transfer, and Fluids Engineering, DOI: 10.1615/AtoZ.j.jets

Universitatea Politehnica Bucuresti Facultatea de Energetică Coordonator experimentări Prof. Dr. Ing. Carmen Anca Safta

Centrul de Inginerie Tehnologică Obiective Nucleare Responsabil proiect Dr. Ing. Serban Viorel

20