



A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2017

CONSIDERAȚII HIDRAULICE ÎN PROIECTAREA SCĂRILOR DE PEȘTI

Cristina Cătălina PETICĂ, Carmen Anca SAFTA

HYDRAULIC APPROACH OF FISH LEDDER DESIGN

The paper presents the design restrictions of fish ladders mentioned in the literature and highlights through an example of how sizing calculation of these structures taking into account the hydraulic flow regime.

Keywords: weir, fish ladder, critical flow regime, Froude number

Cuvinte cheie: deversor, scară de pești, regim critic de curgere, număr Froude

1. Introducere

Scările de pești sunt construcții hidrotehnice ce au rolul de a permite trecerea viețuitoarelor acvatice din aval în amonte pe un curs de apă a cărui continuitate longitudinală este întreruptă de diferite construcții hidroenergetice sau hidrotehnice.

Legea apelor nr. 107 din 25 septembrie 1996, art. 53 punctul 4, menționează că "lucrările de barare a cursurilor de apă trebuie să fie prevăzute cu instalații care să asigure debitul necesar în aval, precum și cu construcțiile necesare pentru migrarea ihtiofaunei", [1]. Din punct de vedere hidrodinamic, secțiunile de curgere caracteristice scărilor (sau pasajelor) de pești sunt orificiile și deversoarele. Din punct de vedere constructiv, scările de pești sunt canale în pantă a căror lungime este partiționată de șicanе prin care curgerea se face peste deversoare, fante sau orificii înecate prin secțiunile cărora trebuie să

treacă organismele acvatice. Sunt cunoscute câteva tipuri constructive de scări de pești clasificate în: scară de pești tip bazin, cu praguri deversoare, scară de pești cu fante verticale, scară de pești tip Denil, scară de pești tip canal de trecere, [2], figura 1.

Aceste tipuri de scări de pești sunt specifice obstacolelor hidrotehnice de înălțimi până la 20 m, [3]. Pentru cazul înălțimilor mai mari sunt utilizate scările de pești de tip elevator, figura 2, și tip ecluze pentru pești, [3].

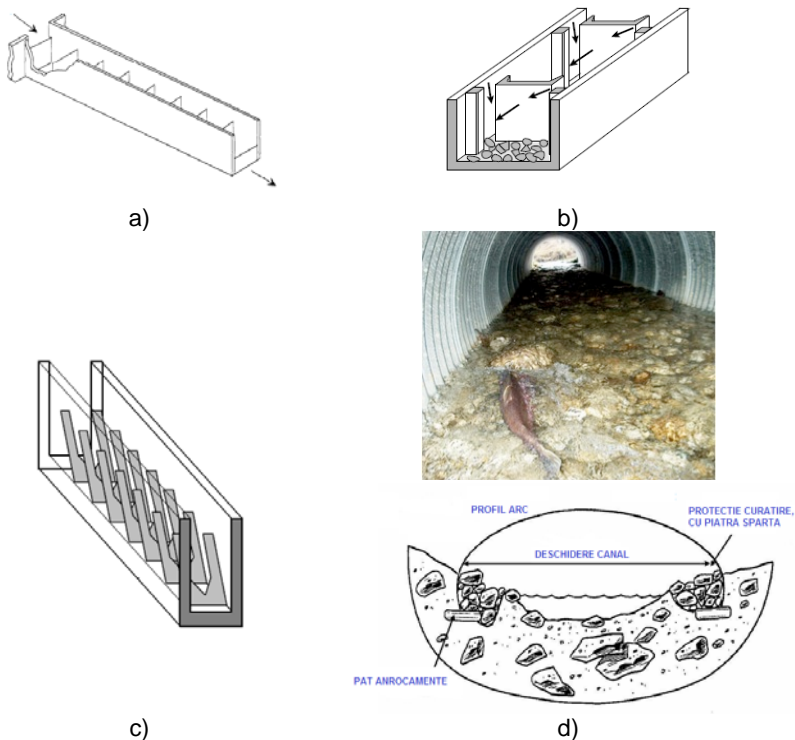


Fig. 1 Tipuri constructive de scări de pești:

- a) scară de pești tip cu praguri deversoare, [4];
- b) scară de pești cu fante verticale [2];
- c) scară de pești tip Denil, [2];
- d) scară de pești tip canal de trecere

O scară de pești (sau pasaj de pești) indiferent de tipul constructiv [4] este alcătuită dintr-o zonă de intrare cu rol de atractor (pentru atragerea peștilor), o zonă de trecere formată din bazine cu suprafețe generoase corespunzătoare cu mărimea peștilor, și o zonă de ieșire.

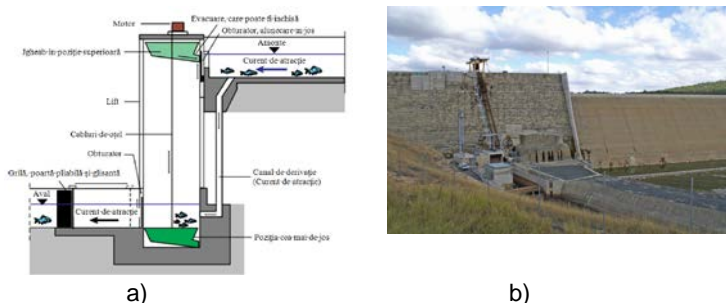


Fig. 2 Scară de pești tip elevator: a) schemă de principiu; b) Paradise Dam, Burnett River, Queensland, Australia

2. Situația în România

În România, interesul pentru asigurarea continuității sistemelor ecologice amonte și aval de o lucrare hidrotehnică au sporit în ultimii zece ani, ca urmare a reglementărilor aduse de cadrul legislativ, [1, 5]. Se remarcă astfel "Studiul privind posibilitatea asigurării conectivității laterale și longitudinale a cursurilor de apă în vederea atingerii stării ecologice bune" realizat de INHGA (<http://www.inhga.ro/>) în anul 2009 cu diseminarea rezultatelor studiului, [6].

Potrivit acestui studiu în România sunt inventariate 100 de scări de pești pe apele curgătoare din cele 8 bazine hidrografice: Someș-Tisa, Mureș, Banat, Jiu, Argeș-Vedea, Buzău-Ialomița, Siret, Crișuri. Obstacolele transversale au înălțimi între cuprinse între 0,5 m și 13,6 m iar tipurile de obstacol sunt: prag de fund, prag de priză, baraj de priză, cădere, captare microhidrocentrală (MHC), prag MHC, prag deversor, prag captare, baraj-stăvilor, centrală hidroelectrică de mică putere-CHEMP.

În figura 3 se prezintă grafic repartizarea scărilor de pești pe bazine hidrografice și tipuri de obstacole hidrotehnice. Se observă o dispunere neuniformă a scărilor de pești pe bazine hidrografice, de la o singură scară de pești în bazinul hidro Banat la 37 scări de pești în bazinul Mureș.

De asemeni se observă că numărul de scări de pești construite datorită prezenței unei microhidrocentrale este de 8 și adunând CHEMP-urile obținem un număr de 13 scări de pești ceea ce ar presupune existența a cel mult 13 centrale cu puteri instalate mai mici de 10 MW. Această cifră intră însă în contradicție cu numărul de 466 de centrale cu puteri instalate sub 10 MW existente în România la

începutul anului 2016, [7], și însumând o putere instalată de 612,658MW.

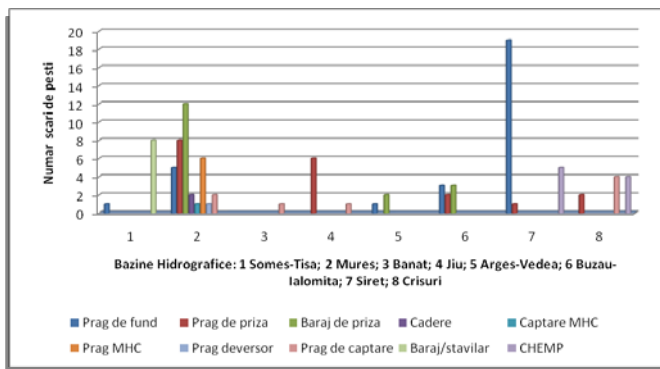


Fig. 3 Scări de pești în România la nivelul anului 2009 [3]

Numărul scărilor de pești datorită prezenței MHC-urilor ar fi trebuit să fie

mult mai mare deoarece prin legea apei 107/1996, [1], se precizează "obligativitatea proiectării și realizării de scări de pești" (art. 53 la punctul 4).

3. Standarde de proiectare a scărilor de pești

Cadrul legislativ asigurat în România prin legea apei 107/1996 și completat de Ordinul 799/2012, [8], face menționări asupra necesității existenței scărilor de pești pentru protecția ecosistemelor acvatice dar și precizări privind limita de înălțime a construcției de barare de a care se prevăd scările de pești. Astfel "înălțimea construcției de barare la captare este mai mare sau egală cu 0,5 m, lucrări de migrare a ihtiofaunei, după caz" ([8], art. 12-litera b.1) și "lucrările de barare a cursurilor de apă mai înalte de 0,5 m vor fi prevăzute cu pasaje de trecere (scări de pești) pentru fauna acvatică migratoare" ([8], art. 12-litera f).

Literatura de specialitate menționează faptul că proiectarea scărilor de pești necesită o abordare sistemică care să țină seama îndeplinirea condițiilor biologice, fizice, hidraulice și termice, hidrologice, economice.

În studiul făcut de INHGA și menționat mai sus se precizează faptul că "15 % din scările de pești din România sunt nefuncționale", [6]. Cauzele sunt date atât de proiectare, cât și datorită unei amplasări ce nu asigură condiții hidraulice optime comportamentului viețuitoarelor acvatice din zonă; cu alte cuvinte scara de pești nu răspunde comportamentului speciilor de pești. Astfel fiecare tip de scară de pești are performanțe limitate care depind de variația vitezei apei, turbulenței,

adâncimii, pierderilor de sarcină hidraulică, rugozității patului albiei, suprafața bazinelor din componența scării de pești, direcția de curgere, și intensitatea luminoasă, [9]. Acești parametri sunt greu de monitorizat și influențează comportarea peștilor. În aceste condiții eficiența scărilor de pești este discutabilă.

Turbulența caracteristică scărilor de pești se referă la energia disipată la parcurgerea scării de pești, exprimată în W/m^3 . Turbulența medie este funcție de viteza apei și volumul unui bazin din componența scării de pești. Dacă turbulența este intensă (cunoscută sub denumirea de "white water") peștii de talie mică (< 100 mm lungime) vor evita să pătrundă în această zonă și apare o problemă de disfuncționalitate și integritate structurală a scării de pești, [3, 9, 10].

În literatura de specialitate indicațiile de proiectare au în vedere nu atât tipul de scară de pești cât mărimea peștilor și funcționalitatea scării de pești, [8]. Astfel în funcție de lungimea peștilor se consideră trei grupe de pești: pești maturi de talie mică (30÷100 mm); pești maturi de talie mijlocie (100÷500 mm); pești maturi de talie mare (500÷1000 mm). Condițiile de proiectare se referă la zonele constructive din structura scării de pești în care se face intrarea și ieșirea din scara de pești indiferent de tipul acesteia.

Zona de intrare necesită condiții de atragere a peștilor în interiorul scării de pești, deci se vor avea în vedere condițiile biologice de comportament specifice fiecărei specii de pești iar condițiile hidraulice se vor adapta condițiilor biologice. Astfel, peștii sunt atrași de turbulență, dată de exemplu de căderea de apă peste un deversor, dar vor ocoli zonele cu turbulență intensă, specifică curgerilor cu pantă mare și adâncime mică, și căutând zone adiacente cu viteze mai mici și turbulență mai mică, [9]. De asemenea, condițiile de proiectare în zona de intrare și de ieșire trebuie să țină cont și de direcția de migrare în raport cu bieful amonte sau aval.

Dacă migrarea peștilor se face din *amonte în aval* se recomandă, [9]:

- pentru zona de intrare (de atracție) în scara de pești: - vectorii vitează de curgere ai apei să fie perpendiculari pe secțiunea de intrare astfel încât curgerea să nu se facă cu vârtejuri sau zone de recirculare care să abată poziția corpului peștelui obligându-l să se îndepărteze de zona de atracție, figura 4. Condițiile hidraulice la intrare în scara de pești sunt la limita sub aspectul vitezei, orientării vectorilor vitează și nivelul de turbulență, atât pentru migranții din amonte cât și pentru migranții din aval; - adâncimea minimă la intrare se recomandă 0,3 m pentru peștii de talie mică și 1 m pentru peștii de talie medie și mare;

- pentru zona de ieșire: - vectorii viteză să fie perpendiculari pe secțiunea de ieșire, curgerea se face fără zone de recirculare sau vârtejuri; - adâncimea minimă din secțiunea de ieșire este de 0,3 m pentru peștii de talie mică și 1 m pentru peștii de talie medie și mare.

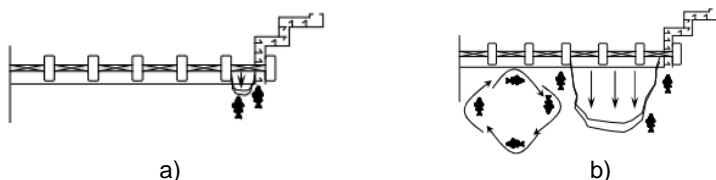


Fig. 4 Poziția peștilor la intrarea în scara de pești, [9]: a) poziția corectă; b) poziția incorectă

Dacă migrarea peștilor se face din *aval în amonte* se recomandă, [9]:

- pentru zona de intrare (de atracție) în scara de pești: - debitul de intrare să nu fie influențat de alte debite; - pierderea minimă de sarcină hidraulică la intrare să fie de 0,02 m pentru peștii de talie mică și 0,08 m pentru peștii de talie medie și mică; - pierderea maximă de sarcină hidraulică la intrare să nu depășească 0,1 m pentru peștii de talie mică și 0,15 m pentru peștii de talie medie și mare.

- pentru zona de ieșire: - viteza maximă a apei la ieșire să fie de 0,05 m/s pentru peștii de talie mică și 0,3 m/s pentru peștii de talie medie și mare; - pierderea de sarcină hidraulică prin grătarele de curățare să fie mai mică de 20 mm.

Din punctul de vedere al condițiilor hidrodinamice se recomandă ca viteza maximă a apei (exprimată prin pierderea de sarcină hidraulică între două bazine succesive la curgerea prin scara de pești) să fie coroborată cu tipul de scară de pești și cu dimensiunea peștilor, [9]. De exemplu, pentru *scările de pești cu șicane verticale și fantă* sunt recomandate ca pierderea de sarcină hidraulică să fie: 0,075 ± 0,015 m pentru peștii de talie 30÷50 mm; 0,1 ± 0,02 m pentru peștii de talie 40÷100 mm; 0,165 ± 0,035 m pentru peștii de talie medie și mare.

În ceea ce privește turbulența, se recomandă ca pentru scările de pești cu șicane verticale și fantă turbulența să fie mai mică de 30 W/m³ pentru peștii cu lungime mai mare de 25 mm; mai mică de 60 W/m³ pentru peștii cu lungime mai mare de 90 mm; mai mică de 90 W/m³ pentru peștii cu lungime mai mare de 150 mm. În cazul *scărilor de pești de tip Denil* turbulența trebuie să fie mai mică de 10 W/m³ în camerele de odihnă.

Dimensiunile geometrice ale bazinelor înseriate ce formează scara de pești depind de dimensiunile speciilor de pești dar și de comportarea lor. Se recomandă, în general ca suprafața unui bazin să aibă dimensiunile: 1,5 m lungime x 1,1 m lățime pentru pești cu lungime maximă de 150 mm; 2,0 m lungime x 1,5 m lățime pentru pești cu lungime maximă de 500 mm; 3,0 m lungime x 2,0 m lățime pentru pești cu lungime maximă de 1200 mm; 3,5 m lungime x 2,0 m lățime pentru pești cu lungime maximă de 1400 mm. Pentru scările de pești cu șicane verticale și fante lățimea fantei este 0,1 m pentru pești cu lungime maximă de 150 mm; 0,15 m pentru pești cu lungime maximă de 450 mm; 0,25 m pentru pești cu lungime maximă de 650 mm; 0,3 m pentru pești cu lungime maximă de 1000 mm; 0,35÷0,4 m pentru pești cu lungime maximă de 1400 mm.

În literatura de specialitate din ultimii ani [3, 9, 10] nu se fac referiri directe și asupra regimului de curgere, cu toate că acestea ar trebui să se regăsească în recomandările mai sus menționate. Scările de pești sunt structuri de deversoare înseriate la care metodologia de calcul se bazează pe existența unei curgeri permanente, neuniforme, gradual variabile, fără salt hidraulic, [11, 12].

Se prezintă în continuare un studiu de caz.

4. Dimensionare scară de pești din considerente hidraulice

Se consideră dimensionarea unei scări de pești care reface ecosistemul din bieful amonte-aval pe o distanță Δh de 6 m, folosind deversoare dreptunghiulare cu muchie vie la care înălțimea $P_g = 0,85$ m și lățimea $b = 1$ m. Scara de pești este betonată și are un coeficient de rugozitate $n = 0,015$ și o pantă hidraulică $i = 0,05$, figura 5. Debitul scării de pești este $Q = 0,5$ m³/s, viteza apei în scara de pești este mai mică de 1 m/s iar pierderea de sarcină hidraulică este mai mică de $z = 1$ m.

Cu datele cunoscute se calculează sarcina deversorului (1) în care coeficientul de debit, m , (2) se calculează iterativ având la bază formula SIAS (2), [11]:

$$H = \left(Q / (mb\sqrt{2g}) \right)^2 = 0,39 \text{ m}, \quad (1)$$

$$m = 0,41 \left(1 + \frac{1}{1000H + 1,6} \right) \left[1 + 0,5 \left(\frac{H}{H + P_g} \right)^2 \right] \approx 0,4632. \quad (2)$$

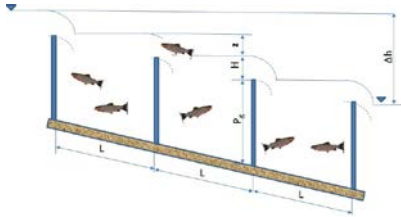


Fig. 5 Schemă scară de pești cu principalele mărimi hidraulice

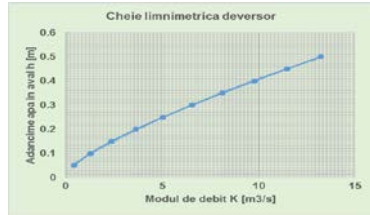


Fig. 6 Calculul adâncimii normale h_0 , pe baza modului de debit efectiv, K_0

Se determină adâncimea apei în amonte de deversor, $H + P_g = 0,85 + 0,39 = 1,24 \text{ m} > 1 \text{ m}$ și se pune condiția ca $h > H + P_g - z$ și $h \geq Q / (v_{\max} \cdot b)$ cu v_{\max} impus de problemă. Cum $h \geq 0,5 \text{ m}$ se analizează regimul de curgere construind cheia limnometrică a deversorului și calculând adâncimea normală pentru $K_0 = Q / \sqrt{i} = 2,236 \text{ m}^3/\text{s}$ pentru care $h_0 = 0,138 \text{ m}$. Se calculează adâncimea critică h_{cr} folosind (3) și se compară cu h_0 .

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\alpha \cdot Q^2 / (g \cdot b^2)} = 0,3037 \text{ m, unde } \alpha = 1,1 \text{ [11].} \quad (3)$$

Cum $h_0 < h_{cr}$ regimul de curgere este rapid variabil și $v \geq Q / (h_0 \cdot b) = 3,62 \text{ m/s}$ mult mai mare decât viteza impusă, la care $z > H + P_g - h = 1,1 \text{ m}$ adică mai mare decât pierderea de sarcină impusă.

Se studiază mișcarea în aval pentru cazul în care se montează un deversor, și printr-un calcul iterativ [11] se determină viteza și adâncimea apei în secțiunea contractată, folosind formulele (4) și (5):

$$v_c = \varphi_v \cdot \sqrt{\alpha \cdot v_0^2 + 2g(P_g + H - h_c)}, \quad (4)$$

$$h_c = \frac{Q}{\varphi_v \cdot b \sqrt{\alpha \cdot v_0^2 + 2g(P_g + H)}}. \quad (5)$$

unde $\varphi_v = 0,98$. Într-o primă aproximație pentru $h_c = 0 \text{ m}$, se determină $v_0 = 0,3927 \text{ m/s}$ și $h_c = 0,106 \text{ m} < h_0$. Se consideră în aval montarea unui alt deversor și se determină adâncimea conjugată la ieșirea din salt (6) lungimea saltului (7) și lungimea dintre secțiunea de ieșire din salt și deversorul din aval (8):

$$h_2' = 0,5 \cdot h_1' \left(\sqrt{(1 + 8 \cdot Fr)} - 1 \right) = 0,5724 \text{ m} \quad (6)$$

$$l_s' = 6,52(h_2' - h_1') (\log(Fr))^{-0,43} = 2,798 \text{ m} \quad (7)$$

$$L' = (P_g + H - h_2')/i = 14,015 \text{ m} \quad (8)$$

unde $h_1' = h_0$, $Fr = \alpha \cdot v^2 / (gh_1') = 10,693 > 4$ și calculat pentru $v = 3,62 \text{ m}$. Cum distanța dintre deversoare nu poate să fie mai mare decât $L' + l_s'$ se ajunge la concluzia că singura soluție tehnică este de înecare a saltului pentru două rezervoare consecutive. Se consideră o înălțime a saltului în aval $h_{av} = (5...10) \% > h_2''$ (recomandat de [11]) unde $h_2'' = 0,676 \text{ m}$ este calculat cu formula (6) în care $Fr = 1,1 \cdot 4,715^2 / (9,81 \cdot 0,106) = 23,51$ și $h_1' = h_c$. Viteza folosită pentru calculul numărului Froude este dată $v = Q / (h_c \cdot b)$.

Pentru un $h_{av} = 0,74 \text{ m}$ se calculează lungimea $L''' = (0,85 + 0,423 - 0,74) / 0,05 = 10,66 \text{ m}$. Deci distanța maximă dintre deversoare este $L''' + l_s'' = 13,91 \text{ m}$ unde $l_s'' = 3,245 \text{ m}$ se calculează cu (7) în care $h_1'' = h_1'$. Căderea corespunzătoare unui deversor este $\Delta h' = L_{\max} \cdot i = 13,91 \cdot 0,05 = 0,695 \text{ m}$ ceea ce înseamnă că pentru datele problemei $\Delta h = 6 \text{ m}$ numărul de căderi va fi $\Delta h / \Delta h' = 8,6 \approx 9$ căderi. Deci scara de pești va avea 9 deversoare cu $z = \Delta h / 9 = 0,67 \text{ m} < 1 \text{ m}$ pierdere de sarcină hidraulică și distanța dintre două rezervoare consecutive $L = z / i = 13,3 \text{ m}$. Viteza de curgere a apei prin deversor va fi de $v = Q / (b \cdot (H + P_g - z)) = 0,5 / (1 \cdot (0,423 + 0,85 - 0,67)) = 0,824 \text{ m/s} < 1 \text{ m/s}$.

5. Concluzii

- Lucrarea prezintă condițiile de proiectare specifice scărilor de pești și menționate în literatura de specialitate. În lucrare sunt prezentate, printr-un exemplu de calcul, etapele parcurse pentru dimensionarea acestor structuri ținând cont de regimul de curgere hidraulic. Din calculul prezentat rezultă că pentru funcționarea scării de pești în regim de curgere lent variabil este necesară înecarea saltului.

- Exemplul nu a avut în vedere o scară de pești pentru un amplasament dat. Dimensionarea hidraulică trebuie să țină cont și de considerentele de ordin biologic pentru a putea fi funcțională și eficientă.

■ De exemplu cu rezultatele obținute din exemplul dat se obține o turbulență a scării de pești de 407,21 W/m³, ceea ce este foarte mult față de datele din literatură.

BIBLIOGRAFIE

- [1] * * * Legea Apelor 107/1996, actualizată.
- [2] Katopodis, C., *Introduction to fishway design*, 1992.
- [3] * * * Fish passes. Design, dimensions and monitoring, Food and Agriculture Organization of the United Nations Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Rome, 2002 <http://www.fao.org/docrep/010/y4454e/y4454e00.htm>
- [4] Petică, C-C., Mândrea, L., Safta, C-A., Șerban, V., The Fish Passage Silting Phenomenon, A XVI- a Conferință internațională multidisciplinară „Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești” – Sebeș, (10-11) iunie 2016, publicat în "Știință și Inginerie", 2016, vol. 30, pag. 537-546, ISSN 2067-7138.
- [5] * * * Water Framework Directive 2000/60/EC of The European Parliament and of The Council, 23 October 2000.
- [6] Luca, E., *Practici mondiale privind soluții de asigurare a migrării ihtiofaunei și posibilitatea aplicării acestora în România*, Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor, Conferința științifică anuală, 1-3 noiembrie 2011.
- [7] Popa, B., *Microhidroenergia, astăzi, în România*. Romanian Hydro Power Energy Summit, februarie 2016, http://govnet.ro/uploads/files/11_ARmHE-GOVNET.pdf.
- [8] * * * *Ordin nr. 799/6.02.2012 privind aprobarea Normativului de conținut al documentațiilor tehnice de fundamentare necesare obținerii avizului de gospodărire a apelor și a autorizației de gospodărire a apelor*, publicat în M.O./ 7.03.2012.
- [9] O'Connor, J., Mallen-Cooper, M. and Stuart, I., *Performance, operation and maintenance guidelines for fishways and fish passage works*, Technical Report Series No. 262 for the Water and Catchments Group, Arthur Rylah Institute for Environmental Research, 2015.
- [10] Schmutz, S., Mielach, C., *Review of Existing Research on Fish Passage through Large Dams and its Applicability to Mekong Mainstream Dams*. MRC Technical Paper No. 48. Mekong River, Commission, Phnom Penh, Cambodia, 2015, 149 pp. ISSN: 1683-1489.
- [11] Iamandi, C., Petrescu, V., s.a., *Hidraulica instalațiilor. Elemente de calcul și aplicații*. Editura Tehnică, 1985, pag. 558-563.
- [12] * * * *Fish passage and screening design*, Technical supplement 14N, Part 654, National Engineering Handbook (210-VI-NEH, August 2007).

Drd. Ing. Cristina Cătălina PETICĂ

Universitatea Politehnică București, Facultatea de Energetică,
Școala Doctorală, e-mail: catalinapetica@yahoo.com

Prof.Dr.Ing. Carmen Anca SAFTA, Departamentul de Hidraulică,
Mașini Hidraulice și Ingineria Mediului, Universitatea Politehnică București,
e-mail: safta.carmenanca@gmail.com