

Efectul capacității portante a terenului de fundare asupra volumului și costului barajelor de greutate folosite la corectarea torenților

I. Ciornei

Ciornei I., 2018. The effect of the bearing capacity of the foundation ground on the volume and cost of the gravity dams used in torrent control activity. Bucov. For. 18(1): 35-48.

Abstract. The paper analyzes the effect of the bearing capacity of the foundation ground on the volume and cost of some dams. Using a theoretical model, were analyzed 125 dams, as resulted from the combination of five categories of useful heights, with five categories of loads in the spillway, and five foundation ground categories with known bearing capacity. In our simulation, we choosed often-used dams that have an upside-down foundation and are made of beton. When deciding the spill area, we took into account the most unfavorable load scheme and the safety factors imposed by norms and basic, plus special loads. In order to achieve an economical optimum, it is necessary to minimize the cost of each work, which translates into a function that aims to minimize the volume of the dam, and also to minimize the area of its section. The external and internal stability conditions became mandatory criteria for the objective function. The 125 dams were dimensioned using a Microsoft Excel spreadsheet prepared accordingly, while the minimization of the section was done using the Solver tool. It has been pointed that the section area and, implicitly, the volume of a 1 m wide dam stripe increases, as the load capacity the foundation ground. These volumes increase with the useful height of the work and the task of the spillway. The obtained results show that the specific investment indicator (determined as the ratio between the cost of the proposed works and the consolidated area) is also influenced by the nature of the foundation ground, and its use for comparing projects located at different conditions, at least in the case of dams, is not recommended.

Keywords torrent control, check gravity dam; bearing capacity; foundation soil; terrain's bearing property; cost estimate

Authors. Ioan Ciornei (ioanciornei@usv.ro) - Ștefan cel Mare University of Suceava, Faculty of Forestry, 13 Universității, 720229 Suceava, Romania.

Manuscript received May 25, 2018; revised June 18, 2018; accepted June 30, 2018; online first July 15, 2018.

Introducere

În complexul lucrărilor de amenajare a bazine-

lor hidrografice torențiale, lucrările transversale constituie lucrările hidrotehnice de bază, cu rol hotărâtor în consolidarea rețelei hidro-

grafice (Băloiu 1967, Clinciu 2001, Clinciu și Lazăr 1999, Grudnicki 1996, Munteanu 1970, Munteanu et al. 1993, Piton et al. 2017, Popovici și Pricop 1981). Dintre lucrările transversale, barajele îndeplinesc funcții complexe pentru că, pe lângă lungimea pe care o consolidează prin ele însele și prin aterisamentele lor, asigură și funcția de retenție, stocând un volum important de aluviuni. Din punct de vedere al costurilor, la majoritatea sistemelor de lucrări concepute pentru amenajarea torenților, lucrările transversale implică efortul financiar cel mai mare. Eficacitatea acestor sisteme este, mai presus de toate structurală și funcțională dar, fiind supuse unor riscuri, încorporează o dimensiune economică care necesită extinderea evaluării performanței tehnice (Carladous et al. 2014, Tacnet et al. 2011).

Pentru a oferi asistență adecvată factorilor de decizie responsabili cu gestionarea lucrărilor, experții și inginerii trebuie să dispună de instrumente capabile a le evalua eficacitatea. Metodele de evaluare a eficienței tehnice (analiza funcțională, fiabilitatea) trebuie apoi completate cu metode de sprijin decizional, care integrează evaluarea economică (Hübl et al. 2005, Mazzorana și Fuchs 2010, Mizuyama 1993, Piton et al. 2017, Treich 2005, Zlatić et al. 2015). Pornind de la aceste considerente, a apărut și s-a dezvoltat interesul specialiștilor pentru realizarea unor lucrări mai economice, fie prin optimizarea dimensiunilor unor tipuri de lucrări existente, fie prin conceperea și implementarea unor noi tipuri de lucrări. Pe această linie se înscriu preocupările de o viață ale profesorului Stelian Munteanu care, analizând evoluția concepțiilor și metodelor de dimensionare statică a barajelor masive de greutate folosite în corectarea torenților din România spunea, încă din 1967, că ”fără îndoială că factorul care a determinat studierea și experimentarea diverselor tipuri de profile a fost cel economic” (Munteanu 1967). Demonstrând că prin menținerea fructului λ sub valorile 0,20-0,25 se frânează obținerea unor baraje mai suple, el a propus în anul 1951 renunțarea la concepția clasică - parament

amonte vertical și parament aval cu fruct 0,2 - și a propus adoptarea unui profil cu parament amonte vertical și parament aval cu fruct puternic înclinat (0,3-0,6). Această mișcare îndrăzneată a propulsat ideile proiectanților și, în timp, au apărut barajele de greutate cu profile și forme geometrice variate – trapezoidale, pentagonale, hexagonale, cu parament amonte în trepte, cu parament curb.

Criteriul economic, care presupune un consum de materiale cât mai mic, capătă prioritate, în timp, fără a afecta criteriile care asigură satisfacerea tuturor condițiilor de stabilitate. De forma profilului și de dimensiunile acestuia depinde stabilitatea, funcționalitatea și volumul materialelor încorporate în baraj. Un profil este cu atât mai stabil la răsturnare, cu cât masa solidă din corpul barajului este spațial mai îndepărtată de muchia de răsturnare, iar stabilitatea la scufundare este mai mare, cu cât suprafața tălpii fundației este mai mare (Grudnicki 1997). Rezultă că alegerea tipului de profil necesită o analiză judicioasă, în vederea asigurării condițiilor tehnice, funcționale și economice. Așadar, realizarea unor lucrări performante din punct de vedere tehnic și economic, nu se poate face fără optimizarea profilelor.

Acceptarea eforturilor unitare normale de întindere în secțiunile de calcul a dus apariția unor tipuri de baraje care realizează economii volumetrice foarte importante, în comparație cu barajul clasic cu profil trapezoidal. Așa au apărut barajele cu fundație evazată (Gașpar, 1962) cu patru variante constructive notate cu A, B, C și D, care ”se folosesc în mod diferențiat în raport cu deschiderea albiei și panta longitudinală a torentului” (Gaspar et al. 1973). Barajele cu fundație evazată au fost folosite pe scară largă în producție datorită eficacității lor funcționale și datorită economiilor volumetrice pe care le realizează.

În direcția optimizării profilelor, preocupările nu s-au materializat în realizări deosebite din cauza dificultăților implicate de dimensionarea prin încercări, care necesită calcule laborioase, este mare consumatoare de timp și nu con-

duce la "secțiuni minime posibile" (Popovici și Pricop 1981). În România, problema dimensionării optime a lucrărilor transversale a fost abordată pentru prima dată de către S.A. Munteanu care, prin transformarea unor restricții de stabilitate și de rezistență în ecuații de dimensionare, determină profilele optime aferente condițiilor respective (Munteanu și Apostol 1953a, Munteanu și Apostol 1953b, Munteanu et al. 1983, Munteanu 1970, Munteanu et al. 1958). În 1999, Pricop demonstrează că tehnicile de programare matematică pot fi folosite efectiv, cu rezultate bune, la dimensionarea barajelor cu fundație evazată și arată că "optimizarea dimensionării secțiunii transversale a barajelor cu fundație evazată permite reducerea volumului de zidărie cu 5-20 %, realizându-se economii de 0.61-1.50 m³ zidărie pe metru lungime de baraj" față de profilul original propus de R. Gaspar. Într-o altă abordare, Grudnicki (1997) propunea metoda profilelor echivalente pentru stabilirea formei și a dimensiunilor profilelor optime. În esență, metoda constă în transformarea unui profil geometric - considerat etalon - într-o altă formă geometrică echivalentă (având aceeași înălțime), prin care se redistribuie în spațiu aceeași masă solidă din corpul barajului, în vederea obținerii unor parametri statici superiori profilului etalon. Dacă barajul considerat este dimensionat la limită, pentru un coeficient la răsturnare $k = 1$, având în acest caz un volum de masă solidă minim, prin adoptarea unui profil echivalent optim, prin care se redistribuie masa se obține $k > 1$.

Metodele specifice de proiectare și instrumentele de calcul dezvoltate până acum s-au axat, în principal, pe o abordare bidimensională, inspirată în mare parte de calculele convenționale ale structurilor de susținere, în care intră și zidurile de sprijin (Tacnet et al. 2000). Pentru un zid de sprijin de greutate, cu profilul trapezoidal și parament amonte vertical, Zarojanu (2001) propune o metodă de optimizare care constă în exprimarea condițiilor de verificare sub forma unor funcții de două variabile (a - grosimea la coronament și lungimea proiecției orizontale a liniei paramentului aval)

și studiul grafic simultan al acestora printr-o metodă de optimizare specifică (Tamaș 1983). Din punct de vedere al modului de calcul, de mai bine de un deceniu, în vederea dimensionării se folosesc tabelele de calcul construite în Excel în care, prin tatonare, se dau valori convenabile parametrilor necunoscuți, până când se obțin combinații ale acestora care îndeplinesc condițiile de stabilitate, care sunt apoi introduse în celulele foi de calcul sub forma unor formule legate de celulele în care sunt introduși parametrii căutați.

În ceea ce privește costul barajelor de greutate, acesta este determinat direct de volumul acestor lucrări, iar acesta din urmă este condiționat, în principal, de forma și de aria secțiunii (profilul) rezultate în urma dimensionării. Calculul propriu-zis al dimensiunilor secțiunii barajului constă în verificarea unor categorii de condiții (Lehr 1960, Grudnicki 1994, Zarojanu 2001), de rezistență (a terenului de fundare, a materialelor din care este alcătuit zidul) și de stabilitate a zidului (la răsturnare, la alunecare). Prin dimensionare (Grudnicki 1994), se asigură stabilitatea exterioară și interioară a barajului, astfel încât să se asigure: echilibrul exterior (să nu se răstoarne, să nu alunece, să nu se scufunde, să nu fie decastrat) și cel interior (să nu se rupă sau să apară fisuri din cauza eforturilor tangențiale și normale mai mari decât limitele admisibile ale materialului din care este executat barajul). Stabilitatea la scufundare este asigurată dacă tensiunea normală efectivă σ este mai mică sau cel mult egală cu portanța terenului, respectiv cu tensiunea normală admisibilă. Dacă este să ne referim la portanța terenului, exprimată prin tensiunea normală (efortul unitar normal) σ_{ac} , aceasta variază de la 1,5 daN/cm² la 8,5 daN/cm² la pământurile necoezive și de la 9,0 daN/cm² la 20,0 daN/cm² la roci stâncoase (Anonymous 1995, NP112-2014 2014).

Scopul lucrării este de a analiza în ce măsură volumul/aria secțiunii unui baraj de greutate se modifică, atunci când este fundat pe terenuri a căror capacitate portantă variază. Întrucât secțiunea unui baraj se stabilește prin dimensiona-

re, pentru a putea surprinde efectul capacității portante a terenului de fundare este necesară dimensionarea unor baraje amplasate pe terenuri la care diferă capacitatea portantă. Pentru comparabilitatea rezultatelor barajele trebuie să fie de același tip, profilele trebuie optimizate prin minimizarea ariei lor, iar pentru reprezentativitate, dimensiunile secțiunilor barajelor (fructul, înălțimea totală, înălțimea deversorului) ar trebui să fie cât mai variate. Astfel de analize ar trebui să se facă pornind de la barajele existente, dar datorită variabilității mari a condițiilor locale este dificil de identificat o populație statistică de baraje care să verifice criteriile de similaritate, reprezentativitate și comparabilitate. O posibilitate de eliminare parțială a acestui gen de dificultăți este prin modelare, simulând amplasarea aceluiași tip de baraj pe terenuri cu capacități portante diferite.

Material și metodă

Pentru a arăta în ce măsură volumul barajului și, implicit, costurile sunt determinate de capacitatea portantă a terenului de fundare, s-a conceput un model teoretic prin care s-a simulat amplasarea un baraj de greutate cu fundație evazată pe cinci categorii de terenuri, cu capacitatea portantă cuprinsă între 2,5 și 6,0 daN/cm². Stabilirea acestui interval a fost determinată de situațiile practice cele mai întâlnite în care sunt amplasate aceste lucrări hidrotehnice transversale.

În cazul de față s-a optat pentru barajele cu fundație evazată de tip D (Gașpar 1962) introduse și folosite pe scară largă în practică începând cu anul 1962 (figura 1); acestea au fundația evazată spre amonte și sunt executate din beton, având o greutate specifică $\gamma_b = 24,0$ kN/m³. Barajul menționat "este unul dintre cele mai economice profile de baraje de greutate, folosite în mod curent în țara noastră, suprafața secțiunii transversale a tronsonului din zona deversată fiind mai mică cu circa 20-30% în cazul betonului și cu circa 10-20% în cazul zidăriei, față de barajele cu secțiune trapezoidă,

dimensionate cu admiterea eforturilor de întindere, în aceleași ipoteze de solicitare" (Munteanu et al. 1993). Inventarul lucrărilor realizate la noi în țară a arătat că dintre barajele de greutate cu fundație evazată s-au comportat mai bine cele cu cu fruct mai mare pe paramentul aval și consolă mai scurtă (Adorjani et al. 2008).

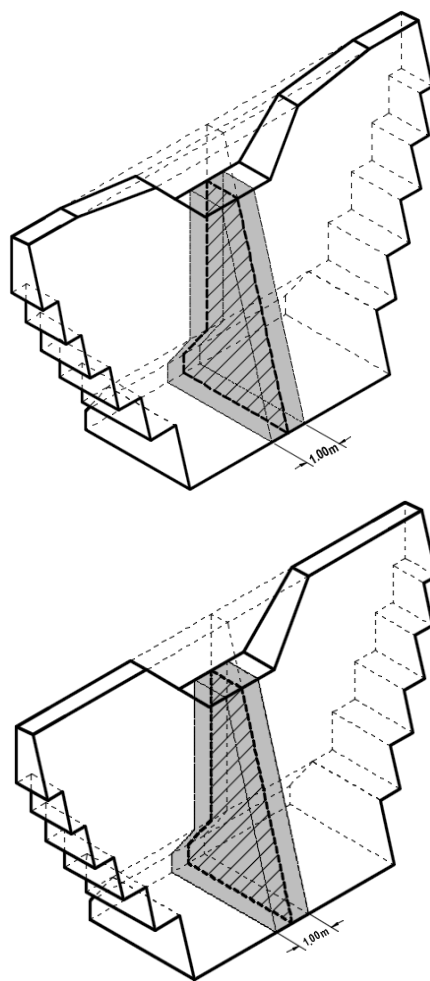


Figura 1 Secțiunea transversală și tronsonul de calcul cu lățime unitară din zona deversată

Cross section and compression section with unitary width in the spill area

Pentru asigurarea comparabilității datelor, s-a impus condiția ca în zona nedeversată, înclinarea paramentului aval să fie aceeași ca și în zona deversată, iar fructul aval al barajului să fie continuu și în zona aripilor ($\lambda_1 = \lambda_2$). În calculele de dimensionare ale barajelor cu fundație evazată, se iau în considerare următoarele sarcini (figura 2): (i) presiunea hidrostatică a apei pe înălțimea $Y + H$ (m); rezultanta este forța P (kN), cu componentele pe direcție orizontală (P_o) și verticală (P_v); (ii) presiunea aluviunilor submersate pe înălțimea Y (m); rezultanta este forța E (kN), cu componentele E_o și E_v și (iii) greutatea proprie a barajului (forțele N_1 , N_2 și N_3). Se neglijează în mod acoperitor greutatea

coloanei de apă pe coronamentul barajului și reacțiunea terenului de fundație pe talpa consolei amonte. În practica proiectării, se consideră că această schemă de sarcini este cea mai defavorabilă în perioada funcționării nepermanente (până la realizarea aterisamentului).

Aceste baraje s-au dimensionat la sarcini de bază și sarcini speciale ($H = H_v$), sarcina deversoarelor fiind considerată egală cu înălțimea deversorului, pentru cinci variante constructive, des utilizate, ale înălțimii acestuia: 1,00; 1,25; 1,50; 1,75, respectiv 2,00 m, care corespund sarcinilor totale în deversor. În acest fel, făcând variabilă înălțimea (sarcina) deversorului, se poate simula evacuarea unor debite

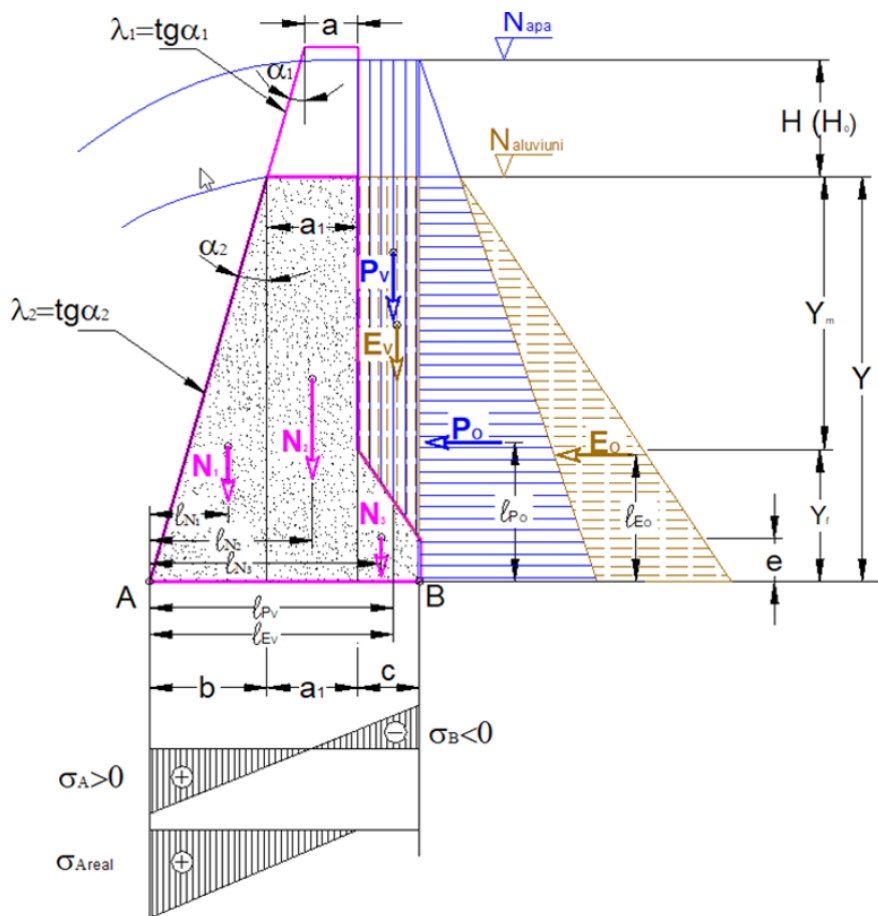


Figura 2 Schema de sarcini pentru un baraj cu fundație evazată de tip D
Load Scheme for a dam with a fossil foundation of D-type

diferite, care corespund unor amplasamente și chiar bazine diferite sau unor debite egale pe albiu cu albiu cu lățimi diferite.

Cele 25 de variante de baraje, rezultate în urma tuturor combinațiilor posibile între Y_m și H , s-au dimensionat ca și cum s-ar amplasa pe cinci categorii de terenuri, ale căror capacități portante pot

fi întâlnite pe amplasamentele

$$V(\lambda, a, c) = 1,00m \cdot A(\lambda, a, c) = \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot Y^2 + (a + \lambda H) \cdot Y + \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot H^2 + \frac{Y_f + e}{2} \cdot c \quad (2)$$

lucrărilor. Au rezultat 125 variante de baraje care cuprind toate combinațiile posibile între: (1) cinci categorii de înălțimi utile uzuale ($Y_m = 2,00; 2,50; 3,00; 3,50; 4,00$ m), determinate de înălțimea malurilor, (2) cinci categorii de înălțimi uzuale adoptate pentru deversoare, care corespund la aceleași valori unor sarcinilor maxime în deversor ($H = 1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00$ m) și (3) cinci categorii de terenuri de fundație, cărora le corespund următoarele capacități portante ($\sigma_{ac} = 2,00; 3,00; 4,00; 5,00; 6,00$ daN/cm²).

La dimensionarea secțiunii, s-a luat în calcul schema de sarcini cea mai defavorabilă (presiunea hidrostatică a apei pe înălțimea $Y + Hv$ și presiunea activă a pământului submersat pe înălțimea Y) și coeficienții de siguranță impuși prin normative pentru clasa IV de importanță și sarcini de bază + speciale.

Pentru realizarea unui optim economic este necesar să se minimizeze costul fiecărei lucrări, ceea ce se transpune într-o problemă de optimizare care urmărește minimizarea volumului barajului. În practica proiectării, calculele se fac pe o fâșie de baraj de lățime de 1,0 m (figura 1), situată în zona deversată și, similar, în zona nedeversată, care trebuie dimensionată în așa fel încât să satisfacă condițiile de rezistență și de stabilitate impuse lucrării. Volumul acestei fâșii (tronsonul de calcul) este egal cu volumul unei prisme drepte, care are suprafața egală cu aria secțiunii barajului și înălțimea egală cu 1,00 m (lățimea fâșiei/tronsonului de calcul), ce ia valoare minimă numai dacă aria secțiunii de calcul (A) este minimă:

$$V = A \cdot 1m \Rightarrow V_{\min} \Leftrightarrow A_{\min} \quad (1)$$

Pentru cele 125 de situații în care se poate afla barajul, minimizarea costurilor pentru fiecare caz în parte presupune și minimizarea volumului/ariei secțiunii barajului pe baza funcției obiectiv, deoarece:

în care:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda;$$

$\lambda_1 = \operatorname{tg} \alpha_1$ - fructul paramentului aval al aripilor;

$\lambda_2 = \operatorname{tg} \alpha_2$ - fructul paramentului aval al barajului;

a (m) - grosimea coronamentului aripilor;

H (m) $\in \{1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00\}$ - sarcina deversorului;

Y_m (m) $\in \{2,00; 2,50; 3,00; 3,50; 4,00\}$ - înălțimea utilă a barajului;

Y_f (m) - adâncimea de fundare a barajului (= 1,5 m);

$Y = Y_m + Y_f$ - înălțimea totală a barajului;

c (m) - lățimea consolei;

e (m) - înălțimea consolei la extremitatea amonte;

K_r - coeficientul normat de stabilitate la răsturnare (= 1,15);

σ_{ac} (daN/cm²) $\leq \{2,00; 2,50; 3,00; 3,50; 4,00\}$ - capacitatea portantă a terenului de fundare;

$\sigma_{ai} = 1,75$ (daN/cm²) - rezistența admisibilă la întinderea betonului.

Condițiile de stabilitate exterioare și interioare au devenit în cadrul dimensionării restricții pentru minimizarea ariei secțiunii:

$$\begin{cases} M_s / M_r = Kr \geq 1,15 \\ \mu N / T = Ka \geq 1,02 \\ \sigma_{Areal} \leq \sigma_{ac} \\ |\sigma_{imax}| \leq \sigma_{ai} \Leftrightarrow \sigma_{imax} \geq -\sigma_{ai} \text{ (dacă } \sigma_{imax} < 0) \end{cases} \quad (3)$$

În plus, s-au adăugat trei restricții constructive care privesc limitele în care variabilele pot fi modificate în vederea realizării funcției obiectiv:

$$\begin{cases} a \geq 0; \\ 0 \leq c \leq 1,0; \\ \lambda_1 = \lambda_2 \geq 0,2 \end{cases} \quad (4)$$

În vederea dimensionării barajelor, s-a folosit o foaie de calcul Excel (figura 3), în care s-a construit un algoritm tabelar propriu. Tabelul de dimensionare (figura 3) conține 67 de coloane și 125 de rânduri, ce corespund celor 125 de variante de baraje. Denumirile coloanelor reprezintă denumirile parametrilor care intervin în calcul, cu unitățile de măsură corespunzătoare. În primele trei coloane apar valorile Y_m , H și σ_{ac} alăturate în cele 125 de combinații posibile. În continuare, spre dreapta, coloanele s-au completat cu parametrii cunoscuți, apoi s-au adăugat coloanele care conțin celule cu formule pentru determinarea forțelor, momentelor, eforturilor, coeficienților de siguranță - într-o succesiune înlănțuită de la stânga spre dreapta, pornind de la parametrii cunoscuți spre cei care se calculează cu ajutorul formu-

lelor. În această succesiune sunt înlănțuite trei coloane, ce conțin variabilele (λ , a , c), urmate de patru coloane în care se calculează parametrii care indică stabilitatea barajului (K_r , K_a , σ_{Areal} și σ_{lmax}), precum și o coloană în care se calculează volumul fiecăreia dintre cele 125 de combinații de baraje.

Aria secțiunii transversale este o funcție neliniară descrisă prin relația (2) și supusă unor restricții neliniare. Profilul optim se obține prin minimizarea acestei funcții cu ajutorul instrumentului Rezolvitor (Solver) care, conform suportului oferit de Microsoft Office® (support.office.com) "Rezolvitor lucrează cu un grup de celule, denumite variabile de decizie sau, mai simplu, celule variabile, care participă la calculul formulelor din celulele obiectiv și de restricție. Rezolvitor ajustează valorile din celulele cu variabile de decizie pentru a satisface limitele privind celulele de restricții și a produce rezultatul dorit pentru celula obiectiv". Cu ajutorul instrumentului Rezolvitor (Solver) în

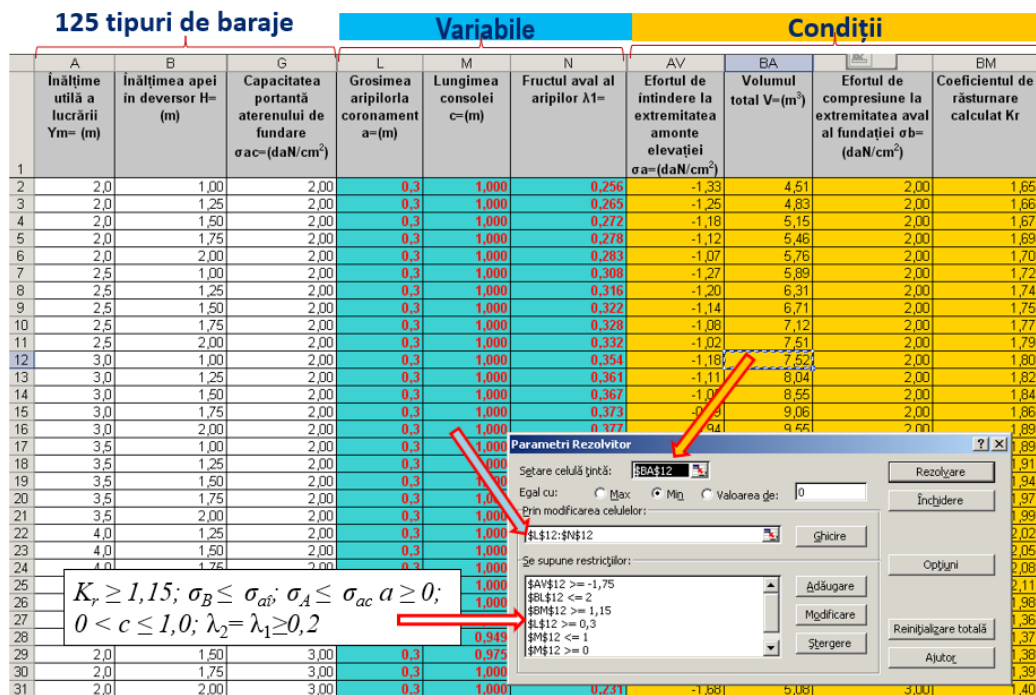


Figura 3 Fereastra de lucru a instrumentului Rezolvitor (Microsoft Excel©) și un extras din tabelul de dimensionare The working window of Solver (Microsoft Excel©) and a sample of the sizing table

fiecare celulă de pe coloana pe care se calculează aria secțiunii transversale s-a impus ca rezultatul calculului să fie minim, permițând modificarea variabilelor (λ , a , c) astfel încât să fie îndeplinite cele șapte restricții menționate mai sus.

Folosind ca referință capacitatea portantă cea mai favorabilă ($\sigma_6 = 6,0 \text{ daN/cm}^2$) s-au calculat creșterile relative în volum pe celelalte categorii de portanțe cu ajutorul relației:

$$\Delta V_{i-6} [\%] = \frac{|V_i - V_6|}{V_6} \cdot 100 \tag{5}$$

unde:

$$\sigma_2 = 2,0 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_3 = 3,0 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_4 = 4,0 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_5 = 5,0 \text{ daN/cm}^2;$$

$$V_i - \text{volumul aferent categoriei de portanță } \sigma_i.$$

Rezultate

După aplicarea algoritmului de optimizare descris anterior, s-au obținut 125 de arii/volume minime corespunzătoare celor 125 de combinații de baraje analizate; prin pivotarea datelor din tabelul de dimensionare a rezultat volumul tronsonului de calcul pentru cele 125 de baraje (figura 4). Pentru fiecare categorie de capacitate portantă au rezultat 25 de valori, care indică modul în care variază volumul în funcție de Y și H . Se poate constata că volumul tronsonului de calcul crește odată cu Y și H și scade odată cu scăderea capacității portante a terenului, iar în cadrul aceleiași categorii de înălțime, volumele calculate cresc odată cu creșterea sarcinii în deversor. Aceeași tendință de creștere a volumului odată cu scăderea capacității portante a terenului de fundare se observă și din diagramele boxplot din figura 5.

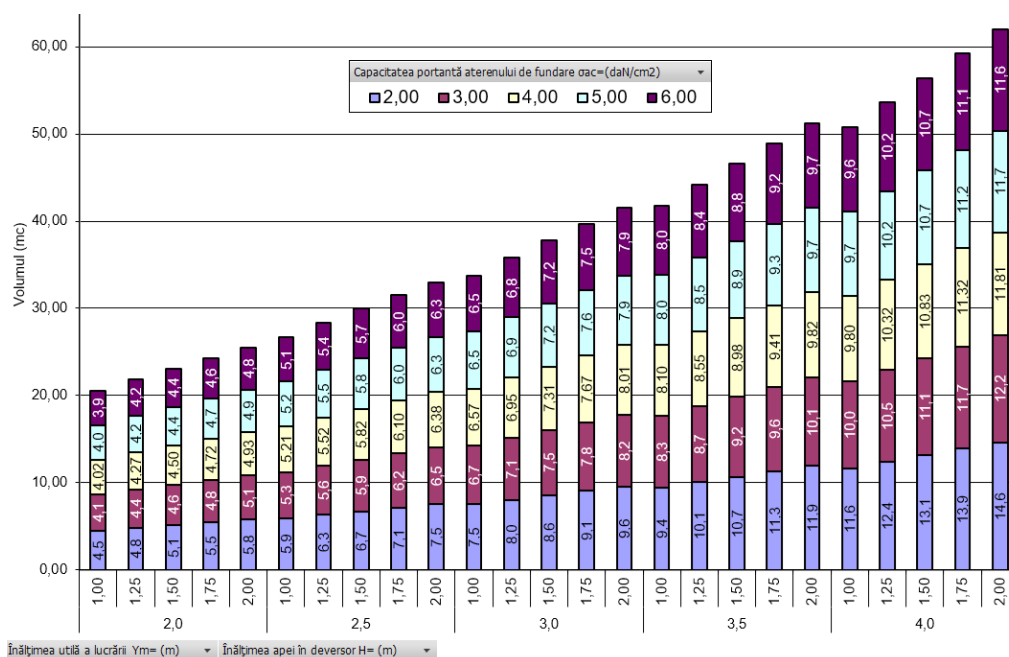


Figura 4 Variația volumului tronsonului de calcul în funcție de capacitatea portantă a terenului de fundare σ_{ac} , pe categorii de înălțimi utile Y_m și sarcini ale deversoarelor $H = 1,00-2,00 \text{ m}$
The variation of the computing section volume according to the load capacity of the foundation ground, on categories of useful heights Y_m and the loads of the spillway $H = 1,00-2,00 \text{ m}$

Valorile maxime, minime și medii ale creșterilor relative în volum pe categoriile de portanțe sunt prezentate în figura 6, iar detaliat, pe categoriile de înălțimi utile (Y_m) și categoriile de sarcini în deversor (H) în figura 1 – Material

suplimentar.

Din analiza rezultatelor observăm că, față de barajele fondate pe terenuri cu capacitatea portantă 6,0 daN/cm², volumul tronsonului cu lățime unitară crește în medie cu: 0,68% la barajele fondate pe terenuri cu o capacitate portantă de 5,0 daN/cm², cu 1,80% la barajele fondate pe terenuri cu o capacitate portantă de 4,0 daN/cm², cu 4,25% la barajele fondate pe terenuri cu o capacitate portantă de 3,0 daN/cm² și cu 19,32% la barajele fondate pe terenuri cu o capacitate portantă de 2,0 daN/cm².

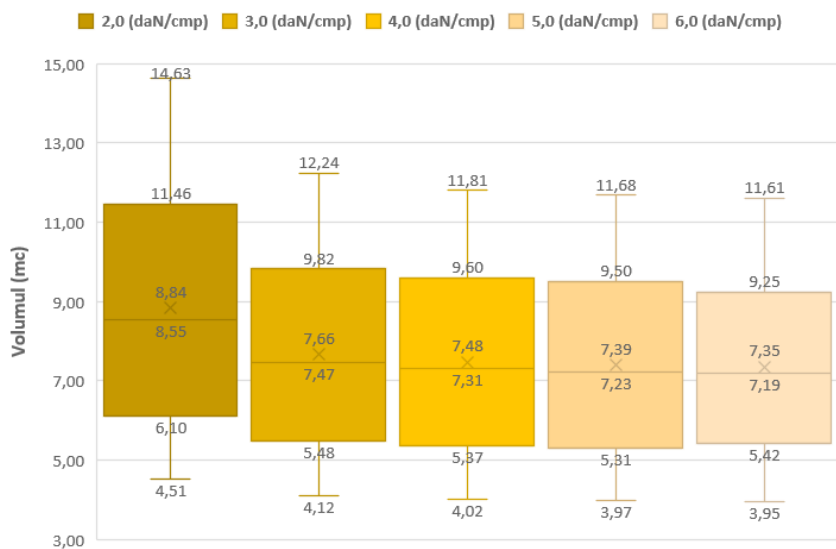


Figura 5 Volumul tronsonului de calcul pe categoriile de capacități portante
The volume of the calculation section by load capacity categories

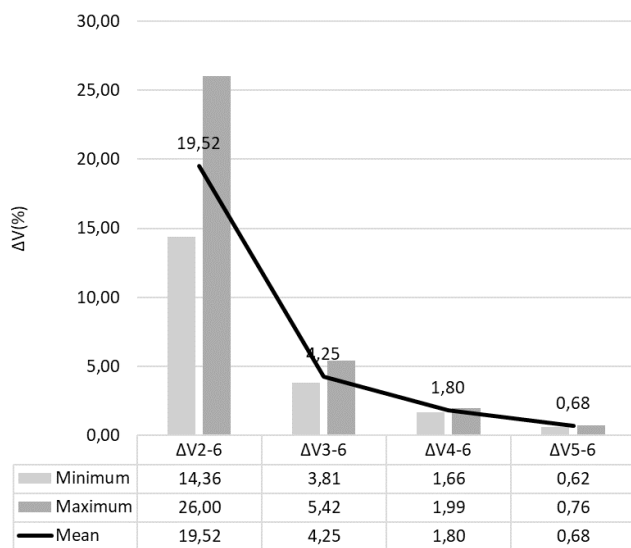


Figura 6 Creșteri procentuale în volum pe categoriile de capacități portante
Percentage increase in volume by load capacity categories

o capacitate portantă de 5,0 daN/cm², cu 1,80% la barajele fondate pe terenuri cu o capacitate portantă de 4,0 daN/cm², cu 4,25% la barajele fondate pe terenuri cu o capacitate portantă de 3,0 daN/cm² și cu 19,32% la barajele fondate pe terenuri cu o capacitate portantă de 2,0 daN/cm².

Valorile maxime și minime ale acestor creșteri corespund valorilor maxime, respectiv minime ale parametrilor Y și H ; menționăm că, în modelul analizat, $Y_{max} = 4,0$ m; $H_{max} = 2,0$ m; $Y_{min} = 2,0$ m; $H_{min} = 1,0$ m. Creșterea în volum a întregului baraj se poate estima prin înmulțirea volumului tronsonului unitar cu o lungime care se calculează în funcție de lățimea și profilul văii pe care lucrarea este amplasată.

Alături de scopul urmărit, rezultatele arată și modul în care se distribuie volumele în funcție de celelalte două variabile - înălțimea barajului Y și înălțimea deversorului care este

egală cu sarcina totală debitul de verificare ($H = H_v$). În acest caz, rezultatele sunt mai ușor de prevăzut pentru că, fiind caracteristici geometrice, participă direct în formula de calcul a volumului tronsonului cu lățime unitară și, cum era de așteptat, creșterile în volum datorate înălțimii barajului sunt mult mai pronunțate și mai evidente (figura 7, tabelul 1 – Material suplimentar).

Creșterea în volum datorată creșterii sarcinii deversorului este ceva mai ponderată. Cele mai mari volume pe fâșii unitare de baraj

dimensionat se obțin în cazul înălțimilor utile mari, la capacități minime ale terenului de fundare. Comparând efectul produs de cele trei variabile (capacitatea portantă - σ_{ac} , înălțimea utilă - Y_m și sarcina deversorului - H), se constată că cele mai mari variații ale de volumului le produce înălțimea utilă a lucrării.

Discuție

Executarea lucrărilor hidrotehnice pentru amenajarea torenților este precedată de câteva etape de proiectare care, atât în cazul obiectivelor de investiții noi, cât și în cazul intervențiilor la lucrări existente, sunt strict reglementate din punct de vedere legislativ. Indiferent de perioada în care au fost valabile, toate reglementările stabileau că elaborarea proiectului tehnic de execuție, precum și execuția lucrărilor sunt condiționate de aprobarea prealabilă a indicatorilor tehnico-economici: în cadrul unui studiu de fezabilitate (SF) după 1989, sau al unei documentații de fundamentare a notei de comandă (DFNC), înainte de 1989. În prezent, etapele de elaborare și conținutul-cadru al documentațiilor tehnico-economice aferente obiectivelor/proiectelor de investiții finanțate din fonduri publice sunt reglementate prin H.G. 907/2016, precedată de H.G. 28/2008. În aceste reglementări, se face precizarea că în studiul de fezabilitate trebuie să se propună și să se analizeze cel puțin două variante de soluții iar, după detalierea acestora să se adopte soluția optimă din punct de vedere tehnic și economic.

Finanțarea acestor lucrări se obține după avizarea acestor studii și se bazează pe o serie de indicatori tehnico-economici. Între indicatorii folosiți în studiile de fezabilitate pentru corectarea torenților, unul are caracter de sinteză: investiția specifică pe kilometru de albie (I_{sp}) - determinată raport între costul lucrărilor propuse și lungimea consolidată, deoarece exprimă costul lucrărilor raportul la lungimea în km a albiei consolidate. Este evident că aceste costuri pe km de lungime de albie consolidată

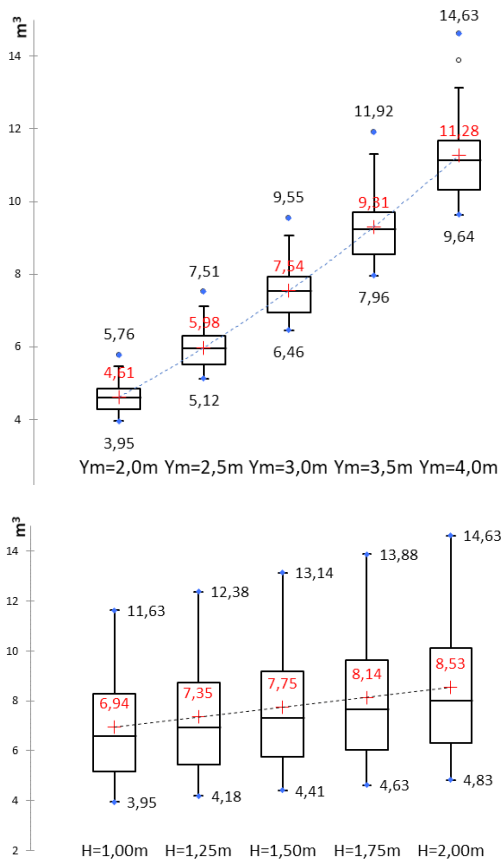


Figura 7 Volumul tronsonului de calcul pe categorii de înălțimi utile (Y_m) și sarcini totale (H) în deversor

Volume of the calculation section volume, on useful height categories (Y_m) and total loads (H) in the spillway

diferă de la o investiție la alta, pentru că sunt determinate de tipul de lucrări propuse, de modul lor de amplasare, de materialele din care se execută, de condițiile fizico-geografice și socio-economice locale și parametrii morfologici, morfometrici și hidrologici locali.

Lățimea albiei și panta talvegului sunt variabilele locale de tip geomorfometric care influențează direct *I_{sp}*, pentru că volumul lucrărilor transversale crește odată cu lățimea albiei, iar numărul lucrărilor crește pe măsură ce panta talvegului este mai mare. În cazul lucrărilor de corectare a torenților, variabilitatea mare a parametrilor morfometrici și hidrologici face foarte dificilă elaborarea unor standarde de cost, inclusiv datorită caracterului de unicat al fiecărei lucrări (Clinciu 2001, Grudnicki 1996, Munteanu et al. 1958, Pogány 2008). În România astfel de standarde de cost au fost elaborate pentru altfel tipuri de investiții; de exemplu, în cazul drumurilor forestiere, standardele de cost sunt utile pentru a estima costurile pe km ale unui drum - înainte chiar de a fi proiectat, pentru compararea costurilor în etapele proiectare și comparații între diverse obiective de investiții.

În cazul lucrărilor de corectarea a torenților, orice intenție de comparare ar trebui să plece de la cunoașterea efectului parametrilor locali menționați asupra volumului acestor lucrări și, implicit, asupra costurilor. Întrucât lucrările transversale sunt indispensabile în cadrul sistemelor de lucrări proiectate și deoarece volumul barajelor este majoritar în cadrul acestora, este justificat să se urmărească optimizarea secțiunii transversale în scopul reducerii volumului. Dimensionarea secțiunii transversale a barajelor cu fundație evazată se poate face prin încercări, cu ajutorul tabelelor sau prin programare neliniară (Popovici și Pricop 1981). Ultima dintre variante presupune utilizarea mijloacelor de calcul, alături de programe de optimizare care ajută la determinarea secțiunii transversale minim posibilă. Față de primele două metode de dimensionare, prin optimizare se pot obține, în cazul barajelor cu o consolă, economii între 4 și 18 % pe fiecare metru de

baraj (Pricop 1999).

Capacitatea portantă a terenului de fundare este un alt tip de variabilă locală care depinde de natura și caracteristicile fizico-mecanice ale terenurilor și este o condiție de dimensionare pentru asigurarea stabilității la scufundare. Prin dimensionare se stabilește profilul barajului, astfel încât, pe lângă celelalte condiții de stabilitate, presiunile pe care lucrarea le transmite terenului să nu fie mai mari decât cele pe care terenul le poate prelua. Considerentele menționate anterior justifică o astfel de preocupare, care urmărește efectul capacității portante a terenului asupra volumului și, implicit, asupra costurilor barajelor. Prin optimizare, dimensiunile profilului sunt minimizate, astfel încât fără a afecta condițiile de stabilitate, pentru același tip de baraj, consumul de materiale să fie redus la minim.

Deși din punct de vedere matematic minimizarea unor funcții neliniare sau liniare supuse unor restricții este o problemă cu un mod de rezolvare cunoscut (Horodnic 2016, Tamaș 1983), în domeniul corectării torenților preocupările pentru optimizări de acest tip sunt foarte restrânse din cauza faptului că dimensiunile se fac prin încercări, care necesită repetarea unor calcule complicate - mari consumatoare de timp. Pornind de la modelul prezentat, în urma calculelor efectuate s-au constatat creșteri procentuale în volum ale tronsonului de calcul ce pot depăși 20% în cazul terenurilor slabe, față de terenurile favorabile fundării. Aceasta demonstrează că și capacitatea portantă este o variabilă locală care are efect direct asupra volumului tronsonului de calcul și că acesta crește pe măsură ce capacitatea portantă scade. În același timp, înălțimea lucrării și sarcina deversorului controlează direct volumul, pentru că sunt dimensiuni geometrice, care intră în formula de calcul a volumului.

În modelul de dimensionare folosit, consola "dispare" dacă lungimea acesteia este zero ($c = 0$), iar barajul cu fundație evazată se "transformă" în baraj cu profil trapezoidal și parametru amonte vertical. Pornind de la această observație, în restricțiile introduse - deși s-a permis ca

lungimea consolei să fie nulă - cu toate acestea algoritmul de optimizare a adoptat în toate cazurile valori mai mari. Aceasta înseamnă că secțiunea minimă se obține numai dacă se "păstrează" consola și confirmă faptul că barajele cu fundație evazată sunt mai economice decât cele cu profil trapezoidal și parament amonte vertical.

Întrucât capacitatea portanta a terenului poate diferi de la o formațiune torențială la alta și de la o zonă de relief la alta, este bine ca investițiile specifice exprimate în costuri pe km să nu se compare decât în cazul construcțiilor realizate pe terenuri similare și sub aspectul portanței. Efectul altor parametri locali, precum panta talvegului și lățimea văii vor face obiectul unor preocupări viitoare, când se dorește integrarea lor într-o funcție multiparametrică, ce poate cumula efectul simultan al parametrilor locali asupra volumului barajului. Mai trebuie avut în vedere și faptul că rezultatele obținute în această etapă se referă numai la barajul propriu-zis (fără disipatorul hidraulic de energie).

Concluzii

Analiza efectului unor parametri locali asupra volumului lucrărilor transversale are o deosebită importanță pentru finanțatorii lucrărilor și pentru studiile comparative cu privire la costurile lucrărilor amplasate în condiții diferite. Marea variabilitate a acestor parametri face ca fiecare lucrare să devină unicat, și conduce la imposibilitatea elaborării unor standarde de cost cu ajutorul cărora să se poată estima lucrările necesare în funcție de lungimea albiei. Estimarea rapidă a costurilor lucrărilor necesare s-ar putea face mai ușor dacă s-ar cunoaște modul în care variază volumul lucrărilor în funcție de anumiți parametri locali.

Cercetările efectuate în această lucrare ne oferă primele informații în acest sens, arătând că volumul unui tronson unitar de baraj, amplasat în zona deversată, crește odată cu scăderea capacității portante de la 6 daN/cm² la 2

daN/cm², cu cca. 20 % la barajele amplasate pe terenurile cele mai slabe, care au înălțimea de 4 m și sarcina în deversor 2 m.

Optimizarea secțiunii barajelor de greutate se poate face numai cu ajutorul unor algoritmi care pot minimiza funcția neliniară a volumului/ariei, în condițiile îndeplinirii unor restricții referitoare la condițiile de stabilitate și la parametrii care determină geometria secțiunii (fruct, dimensiunile consolei etc). Volumul barajelor și implicit costul de realizare al acestora crește odată cu creșterea înălțimii utile a lucrărilor, a sarcinii totale a deversorului și scade odată cu creșterea capacității portante a terenului de fundare.

Rezultatele demonstrează că indicatorul investiție specifică (determinat ca raport între costul lucrărilor propuse și lungimea consolidată) este influențat și de natura terenului de fundare, iar utilizarea lui în compararea unor proiecte amplasate în condiții diferite, cel puțin în cazul barajelor, nu este recomandată.

Bibliografie

- Adorjani, A., Davidescu, Ș. and Gancz, C., 2008. Combaterea eroziunii solului și amenajarea bazinelor hidrografice torențiale în patrimoniul silvic al României., *Silvologie*. Vol. VI. Amenajarea bazinelor hidrografice torențiale. Noi concepții și perspective. Editura Academiei Române, București, pp. 169-192.
- Anonymous, 1995. Normativ pentru proiectarea lucrărilor de amenajarea a bazinelor hidrografice torențiale, Volumul II. ICAS București, 255+224 p.
- Băloiu, V., 1967. Combaterea eroziunii solului și regularizarea cursurilor de apă. Editura Didactică și Pedagogică, București, 450 p.
- Carladous, S., Tacnet, J.-M., Eckert, N., Curt, C., Botton-Hubert, M., 2014. Vers une analyse intégrée de l'efficacité des ouvrages de protection contre les risques naturels en montagne, 8èmes Journées Fiabilité des Matériaux et des Structures.
- Clinciu, I., 2001. Corectarea torenților - curs universitar. Ediția a II-a. Reprografia Universității Transilvania din Brașov, Brașov, 248 p. Clinciu, I., Lazăr, N., 1999. Bazele amenajării torenților. Editura Lux Libris, Brașov, 208 p.
- Gaspar, R., Anghel, T., Oprea, V., Petrișor, T., 1973. Baraje cu fundație evazată pentru corectarea torenților. Editura Ceres, București.
- Gaspar, R., 1962. Baraj cu fundație evazată pentru corec-

- tarea torenților. *Revista pădurilor* 77(9): 537-543.
- Grudnicki, F., 1996. Corectarea torenților, vol. II. Tipografia Universității "Ștefan cel Mare", Suceava, 259 p.
- Grudnicki, F., 1997. Baraje de greutate cu profile optime pentru corectarea torenților. *Analele Universității "Ștefan cel Mare" Suceava - Secțiunea Silvicultură*, III: 41-45.
- Guvernul României, 2008. Hotărâre nr. 28/2008 din 09 ianuarie 2008 privind aprobarea conținutului-cadru al documentației tehnico-economice aferente investițiilor publice, precum și a structurii și metodologiei de elaborare a devizului general pentru obiective de investiții și lucrări de intervenții. *Monitorul Oficial*, Partea I nr. 48 din 22 ianuarie 2008
- Guvernul României, 2016. Hotărârea nr. 907/2016 privind etapele de elaborare și conținutul-cadru al documentațiilor tehnico-economice aferente obiectivelor/proiectelor de investiții finanțate din fonduri publice. *Monitorul Oficial*, Partea I nr. 1061 din 29 decembrie 2016.
- Horodnic, S.A., 2016. Analiza statistică a proceselor tehnologice. Editura Universității "Ștefan cel Mare, Suceava, 110 p.
- Hübl, J., Holub, M., Suda, J., 2005. Structural mitigation measures, 3rd Probabilistic Workshop: Technical Systems+ Natural Hazards, edited by: Bergmeister, K., Rickenmann, D., Strauss, A., Wieshofer, S., Curbach, M., and Proske, D., Universität für Bodenkultur, Department für Bautechnik und Naturgefahren, pp. 115-126.
- Mazzorana, B., Fuchs, S., 2010. A conceptual planning tool for hazard and risk management. *Internationales Symposium Interprevent in the Pacific Rim*. In: Chen, S.-C. (ed.): *Internationale Forschungsgesellschaft Interprevent*, Klagenfurt, pp. 828-837.
- Mizuyama, T., 1993. Structural and non-structural debris-flow countermeasures. *Hydraulic Engineering*, ASCE, pp. 1914-1919.
- Munteanu, S., 1967. Evoluția concepțiilor și metodelor de dimensionare statică a barajelor masive de greutate folosite în corectarea torenților din România. *Revista pădurilor* 82(8): 414-423.
- Munteanu, S., Apostol, A., 1953a. Contribuții la dimensionarea barajelor mici de greutate *Revista pădurilor* LXVIII(6): 11-18.
- Munteanu, S., Apostol, A., 1953b. Contribuții la studiul economiilor de materiale la barajele mici de greutate din beton și zidărie cu mortar folosite la corecția torenților. *Revista pădurilor* LXVIII(9): 11-17.
- Munteanu, S., Gașpar, R., Clinciu, I., 1983. Contribuții la stabilirea unui profil unic de referință pentru studii comparative economice, statice și energetice la barajele folosite în amenajarea torenților. *Revista pădurilor* 98(2): 88-93.
- Munteanu, S.A., 1970. Contribuții la optimizarea barajelor de greutate folosite în corectarea torenților din România. Teză de doctorat, I.P. Brașov, Brașov.
- Munteanu, S.A., Apostol, A., Mecotă, T., 1958. Preocupări noi pentru reducerea volumului de zidărie la barajele mici de greutate folosite la corectarea torenților. *Revista pădurilor* LXVIII(9): 540-543.
- Munteanu, S.A. et al., 1993. Amenajarea bazinelor hidrografice torențiale prin lucrări silvice și hidrotehnice. Volumul II Amenajarea rețelei hidrografice torențiale și fectele lucrarilor de amenajare a bazinelor hidrografice torențiale, Vol. II: Amenajarea rețelei hidrografice torențiale și efectele lucrărilor de amenajare a bazinelor hidrografice torențiale. Editura Academiei Române, București, 311 p.
- NP112-2014, 2014. Normativ pentru proiectarea structurilor de fundare directă. In: O.M.T.C.T.n. 2.352/24.11.2014. M.Of., p I, nr. 935bis/22.12.2014.
- Piton, G. et al., 2017. Why do we build check dams in Alpine streams? An historical perspective from the French experience. *Earth Surface Processes and Landforms* 42(1): 91-108.
- Pogány, A., 2008. Unele aspecte privind asigurarea calității lucrărilor hidrotehnice. *Buletinul AGIR* 1-2: 175-178.
- Popovici, N., Pricop, A., 1981. Îndrumător pentru dimensionarea lucrărilor de pe rețeaua torențială. Institutul Politehnic Iași, Facultatea de Hidrotehnică, 233 p.
- Pricop, A., 1999. Contribuții la optimizarea lucrărilor transversale din rețeaua de scurgere torențială. Teză de doctorat, Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" Iași.
- Support.office.com, 2018. Definirea și rezolvarea unei probleme cu ajutorul Rezolutorului. Web: <https://support.office.com/ro-ro/article/definirea-%C8%99i-rezolvarea-unei-probleme-cu-ajutorul-rezolutorului-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>. Accesat: 04.2018.
- Tacnet, J.-M., Rey, B., Curt, C., Richard, D., 2011. Efficacité des ouvrages de correction torrentielle Indicateurs basés sur la sûreté de fonctionnement, XXIX^{ème} Rencontres Universitaires de Génie Civil, Tlemcen.
- Tacnet, J., Garin, L., Cheruy, O., 2000. Calcul global des barrages de correction torrentielle-Prise en compte des interactions sol/structure, Colloque International Interprevent 2000, pp. 295-306.
- Tamaș, Ș., 1983. Optimizări în silvicultură și exploatarea forestiere. Ed. Ceres, București.
- Treich, N., 2005. L'analyse coût-bénéfice de la prévention des risques. LERNA-INRA, Université de Toulouse.
- Zarojanu, D., 2001. Optimizarea dimensionării zidurilor de sprijin de greutate. *Anale I.C.A.S.* 44(1): 96-99.
- Zlatić, M., Todosijević, M., Momirović, N., 2015. Economic justification of investment in defense against torrential floods on the example of the Ljubovida River. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 112: 121-133.

Material suplimentar

Versiunea online a articolului conține material suplimentar.

Tabelul 1 Aria secțiunii barajelor în funcție de înălțimea utilă, sarcina totală a deversorului și

portanța ternului de fundare

Figura 1 Creșteri procentuale relative în volum la tronsoanele de calcul, prin raportare la capacitatea portantă cea mai favorabilă ($\sigma_{ac} = 6,0 \text{ daN/cm}^2$)