

ANALIZA GEOMETRII ROZMYCIA KORYTA PONIŻEJ JAZU W WARUNKACH LABORATORYJNYCH

Piotr Siwicki

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

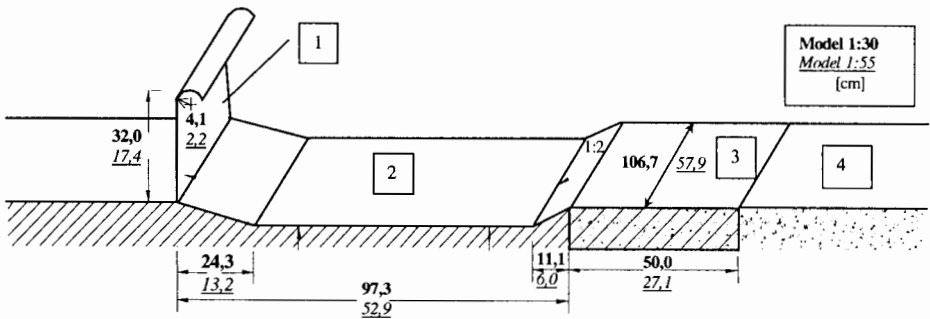
Wstęp

Zjawisko rozmycia miejscowego poniżej budowli piętrzących było przedmiotem wielu badań, prowadzonych głównie ze względu na praktyczne znaczenie wiedzy o lokalizacji, kształtach i wymiarach pogłębienia koryta nazywanego wybojem [HOFFMANS, VERHEIJ 1997]. Znajomość przewidywanego kształtu i wymiarów wyboju potrzebna jest w projektach dla ustalenia, czy nie stanowi on zagrożenia stateczności budowli i brzegów oraz dla określenia w miarę potrzeby odpowiednich środków zaradczych. W praktyce, wielkości wyboju poniżej projektowanej budowli, określone na podstawie wyników badań modelowych w znacznym stopniu odbiegają od późniejszych obserwacji w naturze. Dlatego też prowadzenie badań nad wpływem skali modelu i zastosowanego materiału dennego na kształtowanie się rozmyć poniżej budowli piętrzących jest zasadne.

Celem pracy jest pogłębienie wiedzy o zjawisku kształtowania się rozmycia lokalnego na modelach tej samej budowli wykonanych w różnych skalach geometrycznych w zależności od rodzaju gruntu.

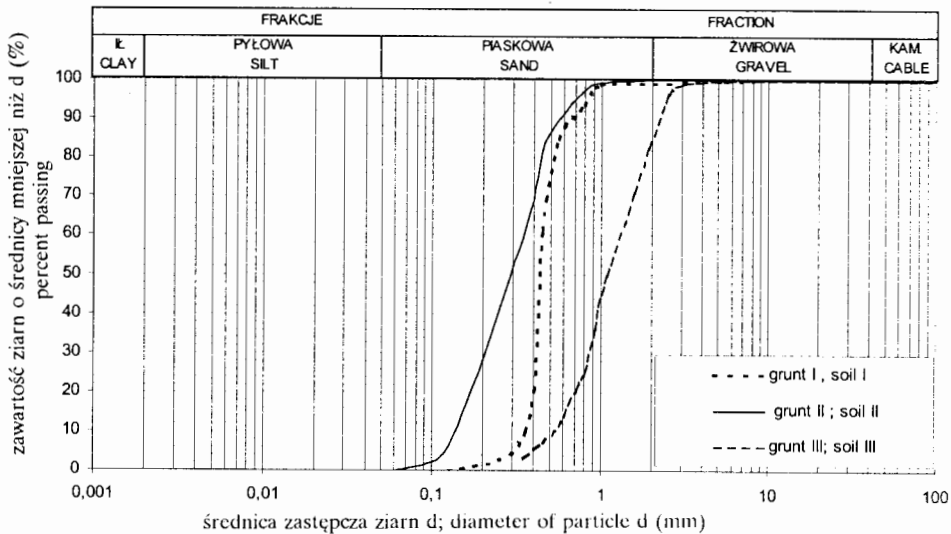
Materiał i metody badań

Doświadczenia własne przeprowadzono na modelach jazu wykonanych w dwóch skalach: 1:30 i 1:55,25. Schemat badanej budowli (rys. 1) przyjęto za ŻBIKOWSKIM [1970]. Był to model jazu z zamknięciem zasuwowym z zaokrągloną krawędzią przelewową, niecką wypadową i odcinkiem dna umocnionego. Woda przepuszczana była nad zamknięciem. Doświadczenia przeprowadzono dla odpowiadających sobie natężeń przepływów modelowanych według kryterium podobieństwa Froude'a. Są to wartości przepływów występujące na rzekach nizinnych w Polsce. Wartości badanych przepływów podano w tabeli 1. Na obu modelach użyto trzy te same materiały rozmywane o krzywych uziarnienia przedstawionych na rysunku 2. Są to: grunt I – piasek wiślany, grunt II – piasek kopany, grunt III – piasek sortowany.



Rys. 1. Schemat i wymiary badanej budowli piętrzącej: 1 – ściana przelewu, 2 – dno niecki, 3 – umocnienie dna koryta, 4 – rozmywalny odcinek dna

Fig. 1. Schema and dimensions of investigated taird construction. 1 – spillway, 2 – bottom of water basins, 3 – bed protection, 4 – washing-out area



Rys. 2. Krzywa uziarnienia materiałów rozmywalnych użytych w doświadczeniach

Fig. 2. Granulation of soil used in the models

Tabela 1; Table 1

Wielkości hydrauliczne na modelach
Hydraulic parameters of flow on the models

Wielkości hydrauliczne Hydraulic parameters	1:30	1:55,25	1:1
1	2	3	4
Q (m ³ ·s ⁻¹)	0,024	0,006	3,155
	0,049	0,012	6,441
	0,073	0,018	9,596
	0,122	0,029	16,037

1	2	3	4
h (m)	0,092	0,050	2,748
	0,133	0,072	4,000
	0,165	0,090	4,948
	0,215	0,117	6,448
q (m ² s ⁻¹)	0,240	0,0096	4
	0,0490	0,0196	8
	0,0730	0,0292	12
	0,1220	0,488	20

Oznaczenia; Explanations

Q całkowite natężenie przepływu; total intensity of flow (m³s⁻¹)

h napelnienie w stanowisku dolnym; filling of the lower site (m)

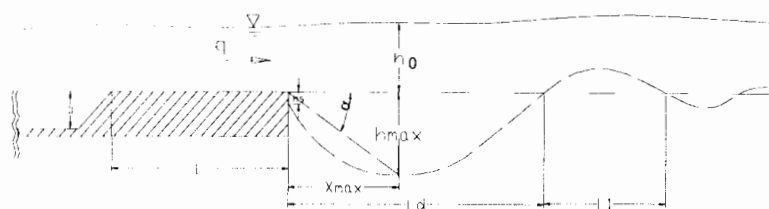
q jednostkowe natężenie przepływu; unitary intensity of flow (m²s⁻¹)

Wyniki i dyskusja

Analizując wpływ uziarnienia materiału rozmywalnego i skali modelu na głębokość rozmycia porównano:

- ostateczne głębokości wyboju h_{\max} ,
- profile podłużne rozmyć,
- kąt nachylenia stoku wyboju α .

W tych celach przeanalizowano odległości występowania maksymalnej głębokości rozmycia od końca umocnień x_{\max} i związany z nimi kąt α nachylenia do poziomu linii łączącej koniec umocnień z najniższym punktem dna (rys. 3) oraz profile rozmyć.



Rys. 3. Schemat wyboju z oznaczeniami parametrów go charakteryzujących
Fig. 3. Schema of scour with characteristic symbols

Odcinek koryta rozmywalnego na modelu okazał się zbyt krótki dla największych natężeń przepływu. Nie we wszystkich przypadkach możliwe było więc określenie takich parametrów rozmycia jak L_d , L_1 . Głębokość odsłonięcia umocnień h_s wahała się na modelu w skali 1:30 od 0 do 4,5 cm, a na modelu 1:55 od 0 do 3 cm. Zauważyć można było, że rosła ona wraz ze wzrostem natężenia przepływu.

W tabeli 2 przedstawiono odległości występowania głębokości maksymalnej x_{\max} oraz obliczone kąty α .

Rysunek 4 przedstawia graficzny związek odległości występowania h_{\max} z natężeniem przepływu. Na modelu w skali 1:55 odległości od końca umocnień, w jakich występuje h_{\max} , przyjmują wartości najmniejsze dla gruntu najdrobniejszego (grunt II, $d_{50} = 0,29$ mm), a największe dla gruntu najgrubszego (grunt III, $d_{50} = 1,10$ mm). Na modelu w skali 1:30 odległość x_{\max} jest najmniejsza dla piasku wiślanego (grunt I, $d_{50} = 0,44$ mm), a największa dla piasku najgrubszego (grunt III, $d_{50} = 1,10$ mm).

Na podstawie wielu badań DIETZ [1969] stwierdził, że spadek stoku dołu rozmycia od strony umocnień zależy od stopnia turbulencji, rozkładu prędkości w pionie parametru δ :

$$\delta = \frac{(v_{sr} - v_{gr})D_*}{w} \quad (1)$$

gdzie:

$$D_* = d_{50} \left(\frac{\Delta g}{v^2} \right)^{1/3}$$

w – prędkość opadania cząstki,
 v_{sr} – prędkość średnia,
 v_{gr} – prędkość graniczna początku ruchu rumowiska

Według BREUSERSA i in. [1977] na kształt wyboju ma wpływ wiele parametrów. BUCHKO i in. [1987] w wyniku analizy wymiarowej uzyskali parametry wzajemnie od siebie niezależne, od których uzależnili $\text{ctg } \alpha$ kąta nachylenia α (°):

$$\text{ctg } \alpha = f \left(\frac{d_{50} \sqrt{\Delta g d_{50}}}{v}, \Delta, \frac{d_{50}}{h}, \frac{v_{sr}}{\sqrt{\Delta g d_{50}}} \right) \quad (2)$$

Dla dołów rozmycia w badaniach własnych ułożono dwa równania z parametrami z zależności (2), dla każdego z modeli i dla trzech rodzajów gruntu. Wyniki zobrazowane są na rysunku 5. Dla modelu w skali 1:30 otrzymano równanie (3) o współczynniku determinacji $R^2 = 55,9\%$:

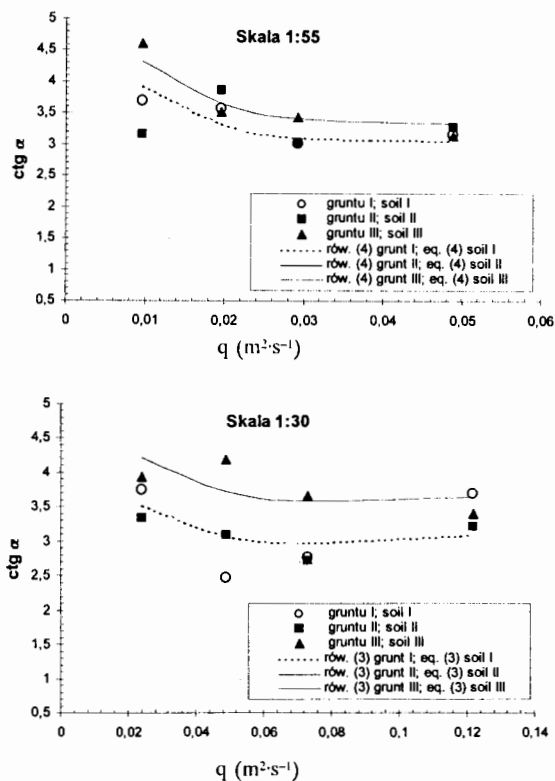
$$\text{ctg } \alpha = -2,36 + 3,00 \frac{d_{50} \sqrt{\Delta g d_{50}}}{v} + 0,01 \Delta + 534,65 \frac{d_{50}}{h_0} + 0,18 \frac{v_{sr}}{\sqrt{\Delta g d_{50}}} \quad (3)$$

Dla modelu w skali 1:55 uzyskano równanie (4):

$$\text{ctg } \alpha = -0,83 - 0,02 \frac{d_{50} \sqrt{\Delta g d_{50}}}{v} + 2,14 \Delta + 334,07 \frac{d_{50}}{h_0} + 0,20 \frac{v_{sr}}{\sqrt{\Delta g d_{50}}} \quad (4)$$

o współczynniku determinacji $R^2 = 63,7\%$.

Uzyskane współczynniki determinacji są nie zadawalające i pokazują słabość związku co może być efektem nie uwzględnienia stopnia turbulencji w tych równaniach. Równania te ważne są jedynie dla skal modeli dla jakich zostały określone.



Rys. 5. Zmienność $ctg \alpha$ na modelach wraz ze wzrostem natężenia przepływu
 Fig. 5. Variability $ctg \alpha$ on models with intensity of flow increase

BLĄŻEJEWSKI i ZAWADZKI [2001] na podstawie badań własnych na modelu z odcinkiem umocnień za którym występowała strefa rozmywalna opisał kąt α empiryczną zależnością:

$$\alpha = 0,39\sigma_u + 0,13 \text{ (rad)} \quad (5)$$

gdzie:

σ_u – względna intensywność turbulencji na końcu umocnień.

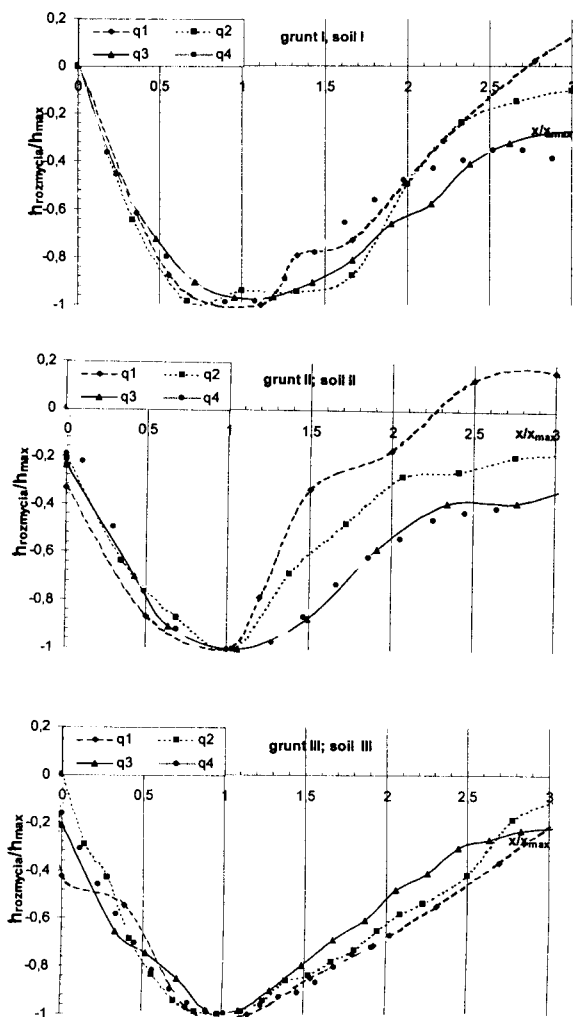
Formułę (5) zaadaptowano dla obu badanych modeli. Jako względną intensywność turbulencji przyjęto wartość średnią z pięciu wartości mierzonych po czasach 0,5 godz.; 1,5 godz.; 3,5 godz.; 5,5 godz.; 7,5 godz. w punkcie 1 cm nad dnem w pionie w przekroju końca umocnień dla gruntu I, otrzymując zależność o współczynniku determinacji $R^2 = 73,8$:

$$\alpha = 0,60\sigma_u + 0,10 \text{ (rad)} \quad (6)$$

Inna wartość parametrów w równaniu (6) niż w równaniu (5) wynika z większej intensywności turbulencji przepływu w przekroju końca umocnień, spowodowanej konstrukcją przelewu i występującym poniżej niego odskokiem hydraulicznym.

Z profili rozmyć przedstawionych na rysunku 6 i 7 wynika, że kształty roz-

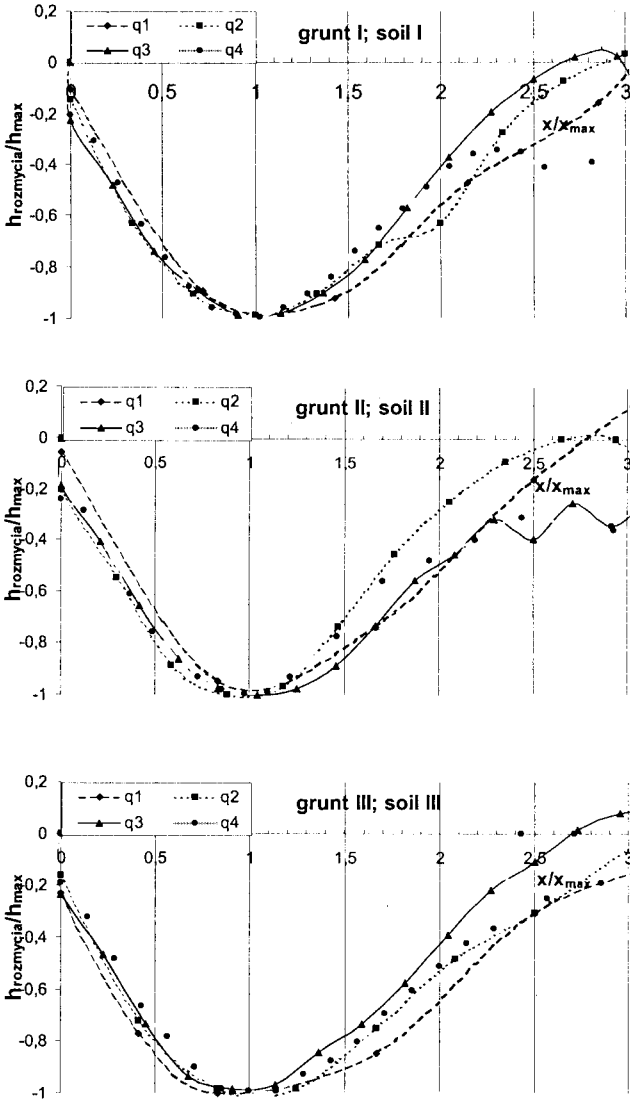
myć dla badanych natężeń przepływu są podobne, a w szczególności kształt stoku od strony umocnień. Jedynie dla gruntu II na modelu w skali 1:30 (rys. 6) kąt wznoszącego się przeciwstoku maleje wraz ze wzrostem natężenia przepływu. Może to być wynikiem dość intensywnego procesu tworzenia się form dennych w gruncie II, w którym fałdy nie zawsze były prostopadłe do kierunku przepływu i przyjmowały nieregularne kształty. Powstające odsypisko przy najmniejszych natężeniach przepływu na modelu w skali 1:30 wpływało na formowanie się przeciwstoku. Największe podobieństwo kształtów rozmycia otrzymano na obu modelach w gruncie III. Był to grunt najgrubszy, w którym formy denne były niewielkie i bardzo regularne.



Rys. 6. Profile rozmyć na modelu w skali 1:30 w układzie współrzędnych bezwymiarowych (po 8 godz.)

Fig. 6. Profiles of erosion on model 1:30 in dimensionless coordinate system (after 8 h)

Z rysunku 6 wynika, że im jest drobniejszy piasek, tym bardziej nieregularne są profile dołów rozmyć. Szczególnie wyraźnie widać to na wznoszącym się stoku i przy małych natężeniach przepływu wody. Stok jest wtedy bardziej stromy i formują się na nim fałdy a stok wznosi się powyżej pierwotnego poziomu dna w formie odsypiska. Z upływem czasu odsypisko to ulega erozji, obniża się i wybój zaczyna się wydłużać. Fałdowe formy denne są widoczne na końcowych odcinkach profilów wyboju.



Rys. 7. Profile rozmyć na modelu w skali 1:55 w układzie współrzędnych bezwymiarowych (po 8 godz.)

Fig. 7. Profiles of erosion on model 1:55 in dimensionless coordinate system (after 8 h)

Wnioski

Wartość kąta α nachylenia górnego stoku wyboju do poziomu wzrasta ze wzrostem natężenia przepływu i przyjmuje najmniejsze wartości dla gruntu najdrobniejszego ($d_{50} = 0,29$ mm grunt II) na obu badanych modelach. Dla takich samych q i d_{50} na modelu większym przyjmuje wartości mniejsze niż na modelu w skali 1:55.

Kształty rozmyć na badanych modelach są podobne, a w szczególności profil stoku od strony umocnień. Jedyne dla gruntu najdrobniejszego kąt wznoszącego się przeciwstoku maleje wraz ze wzrostem natężenia przepływu. Największe podobieństwo kształtów rozmyć w poszczególnych jego fazach zaobserwowano dla gruntu najgrubszego ($d_{50} = 1,10$ mm grunt III). Kąty wznoszącego się przeciwstoku znacznie się od siebie różniły na obu modelach. Na modelu mniejszym użykuje się bardziej zwarte kształty rozmyć niż na modelu większym.

Literatura

BLAŻEJEWski R., ZAWADZKI P. 2001. *Local scour in non-uniform bed material below a horizontal solid apron.* Arch. of Hydro-Engin. and Envinronmental Mech. 48(1): 3–17.

BREUSERS H.N.C., NICOLLET G., SHEN H. 1977. *Local scour around cylindrical piers.* J. Hydr. Res. Delf, The Netherlands 15(3): 211–252.

BUCHKO M., KOLMAN P., PILARCZYK K. 1987. *Investigation of local in cohesionless sediments using a tunnel.* Proc. 22nd IAHR-Congr., Lausanne, Switzerland: 233–239.

DIETZ J.W. 1969. *Kolkbildung in feinen oder leichten Sohlmaterialien bei strömen dem Abfluß.* Mitteilungen des Theodor Rehbock Flußbaulaboratorium, Universität Fridericiana Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, Heft 155: 1–122.

HOFFMANS G.J.C.M., VERHEIJ H.J. 1997. *Scour manual.* A.A.Balkema/Rotterdam/Broekfield: 7–141.

ŻBIKOWSKI A. 1970. *Badania laboratoryjne zależności głębokości rozmycia poniżej przelewu od długości umocnień i czasu trwania doświadczenia.* Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska: 20–45.

Słowa kluczowe: rozmycia, erozja, modelowanie, budowle wodne

Streszczenie

Scharakteryzowano zjawisko kształtowania się rozmycia lokalnego na modelach tej samej budowli wykonanych w różnych skalach geometrycznych w zależności od rodzaju gruntu.

Doświadczenia własne przeprowadzono na modelach tej samej budowli piętrzącej z przepływem nad zamknięciem w dwóch skalach 1:30 i 1:55, dla natężeń przepływu modelowanych według kryterium Froude'a. Doświadczenia przeprowa-

dzono dla czterech natężeń przepływu i trzech rodzajów materiału rozmywalnego. Na modelach wykonanych w skali 1:30 i 1:55, po zakończeniu doświadczenia trwającego 8 godz. dokonywano pomiaru powierzchni rozmycia w ustalonej siatce punktów.

Analizując wpływ uziarnienia materiału rozmywalnego na geometrię rozmycia porównano: odległości występowania maksymalnej głębokości wyboju, profile podłużne rozmyć, kąt nachylenie stoku wyboju α .

RIVER BED SCOURING GEOMETRY BELOW THE DAM ANALYSED UNDER LABORATORY CONDITIONS

Piotr Siwicki

Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation,
Warsaw of Agricultural University, Warszawa

Key words: hydraulic structures, local scour, erosion, modeling

Summary

The paper presents analysis results of the investigations of influence scale model and used soil on the geometry of scour. The investigations were conducted on two models of this same tired constructions (1:30 and 1:55) with water passing above the closure, bottom of water basins and washing-out area. The same three kinds of sand were used in each model for modelling of flow according to Froude's criterion. On the executed models in the scale 1:30 and 1:55, after the end of experiment lasting 8h measurement of the surface of scouring was taken to settle mesh of points. While analysing the effect of granulation of the eroded material on the geometry of scour, the following data were compared: distance of occurrence of maximum depth of scour, profiles of erosion, angle inclination of slope of scour α .

Dr inż Piotr **Siwicki**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

ul. Nowoursynowska 166

02-787 WARSZAWA

e-mail: Siwicki@alpha.sggw.waw.pl