

**METODA WYZNACZANIA LOKALIZACJI PRZEGRÓD PIĘTRZĄCYCH
WODY OPADOWE W WARUNKACH OBIEKTU „OLSZANKA”***

Dariusz Kowalski¹, Jan Rubaj², Marcin Widomski¹

¹Inżynierii Ochrony Środowiska, Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin
e-mail: KZWUS@fenix.pol.lublin.pl

²„EURO-EAST” sp. z o.o., Olszanka, 22-310 Kraśniczyn

Streszczenie. W artykule przedstawiono podstawy opracowanego modelu numerycznego spływu wód opadowych po zarośniętym zboczu i w dolinie. Obliczenia modelowe prowadzone przy szeregu założeń upraszczających, zostały poddane wstępnej weryfikacji terenowej w warunkach obiektu „Olszanka”. Symulacje numeryczne przeprowadzone zostały bez oraz z uwzględnieniem nowatorskiego systemu zabezpieczeń przeciwerozojnych (przegród piętrzących) zainstalowanych na terenie tego obiektu. Przedstawiony model numeryczny może być wykorzystywany do celów projektowania powyższego systemu zabezpieczeń.

Słowa kluczowe: ochrona przeciwerozojna, spływ powierzchniowy, modelowanie numeryczne

WSTĘP

Problem zagrożenia erozją wodną należy do jednych z najistotniejszych na terenach o budowie zróżnicowanej wysokościowo, szczególnie, jeżeli dany teren pokryty jest warstwą lessową [6]. Znakomitym przykładem obrazującym powyższe problemy jest gospodarstwo firmy EURO-EAST w Olszance. Jest ono zlokalizowane na terenie tzw. „Działów Grabowieckich” na obrzeżach Skierbieszowskiego Parku Krajobrazowego [13]. W jego bezpośrednim sąsiedztwie znajduje się rezerwat przyrody „Głęboka Dolina”. Duże zróżnicowanie wysokościowe, pokrywa lessowa oraz lokalny mikroklimat (znaczna częstotliwość intensywnych opadów) sprzyjają procesom erozji wodnej powierzchniowej i wąwozowej. Procesy te prowadzą do znaczących strat ekonomicznych [3,4,5,6].

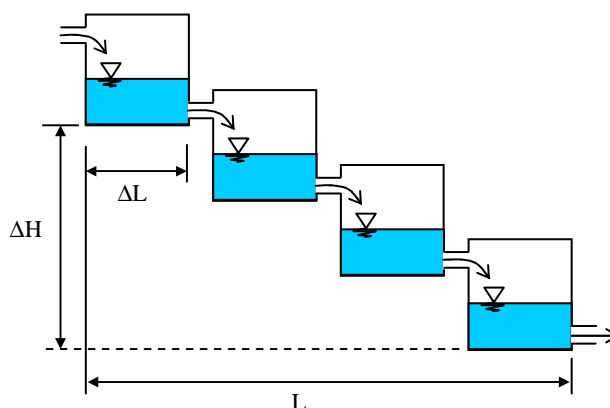
* Praca została wykonana w ramach projektu badawczego KBN nr 1564/T09/2001/21.

Od początku istnienia gospodarstwa podejmowano próby ograniczenia procesu erozji. W latach 90-tych, zastosowano kolejny rodzaj zabezpieczeń – przegrody piętrzące spływającą wodę opadową – zlokalizowane w dolinach spływowych oraz bezpośrednio na stokach [8,11]. Działania inwestycyjne wykonano własnymi siłami gospodarstwa. Lokalizację przegród wyznaczano również w oparciu o doświadczenia własne, metodą prób i błędów. Skuteczność tych zabezpieczeń została potwierdzona w praktyce. Brak jednak w dalszym ciągu narzędzia projektowego, umożliwiającego upowszechnienie ich stosowania.

Celem artykułu jest przedstawienie obliczeniowej metody wyznaczania lokalizacji przegród piętrzących, jako elementów zabezpieczenia przeciw erozji wodnej. Za podstawę metody przyjęto własny model matematyczny spływu wód opadowych. Dokonane obliczenia symulacyjne zostały poddane wstępnej weryfikacji w warunkach obiektu „Olszanka”.

METODYKA OBLICZEŃ

Model spływu wód opadowych dla warunków obiektu „Olszanka” opracowano jako składający się z dwóch podstawowych członów. Pierwszy z nich opisuje spływ po zboczu stoku, drugi zaś w dolinie spływowej. Oba człony modelu skonstruowano w oparciu o założenie istnienia szeregu kaskadowo ustawionych zbiorników przepływowych – rysunek 1. Celem stworzenia modelu było opracowanie metody projektowania lokalizacji badanych przegród piętrzących, zabezpieczających powierzchnię gleby przed erozją wodną. Jako główny parametr pozwalający na wyznaczenie tej lokalizacji przyjęto prędkość spływających wód opadowych.



Rys. 1. Schemat ideowy modelu spływu wód opadowych po zboczu
Fig. 1. The idea scheme of the model of rain flow at the slope

Model oparto o następujące podstawowe założenia:

- istnienie pokrywy roślinnej – trawiastej zarówno na stoku jak i w dolinie spływowej,
- brak infiltracji wód opadowych do gleby, w trakcie opadu,
- brak retencji części opadu na powierzchni liści,
- proces przepływu zaczyna się w momencie wystąpienia opadu,
- brak oddziaływania energii poszczególnych kropeł deszczu na strumień spływających wód opadowych,
- stała intensywność opadu w czasie symulacji.

Opracowany model opiera się na dwóch równiach: równaniu ciągłości (1) oraz równaniu zachowania energii (równanie Bernoulli'ego) (2) [2,7,12,14]:

$$Q_{dopływ\ powierzchniowy} + Q_{dopływ\ w\ deszczu} - Q_{odpływ} - \frac{\Delta V}{\Delta t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{v_{dopływ}^2}{2g} + \frac{v_{deszcz}^2}{2g} + h_{dopływ} = \frac{v_{odpływ}^2}{2g} + h_{odpływ} + h_{strat} \quad (2)$$

gdzie:

Q – wydatek objętościowy ($m^3 \cdot s^{-1}$),

$\Delta V/\Delta t$ – zmiana objętości wody zgromadzonej w zbiorniku w czasie pojedynczego kroku czasowego ($m^3 \cdot s^{-1}$),

v – prędkość wody dopływającej z poprzedniego zbiornika, opadu deszczu i odpływu do następnego zbiornika ($m \cdot s^{-1}$),

h – napełnienie zbiornika na dopływie i odpływie (m),

h_{strat} – wysokość strat ciśnienia przy przepływie przez zbiornik (m).

Podano wcześniej, że głównym parametrem pozwalającym na określenie lokalizacji przegrody piętrzącej jest prędkość spływu wody opadowej. Opracowany model symulacyjny pozwala na określenie średniej prędkości przepływu tej wody w dowolnej chwili czasowej symulacji oraz na całej długości stoku i doliny spływowej. Wyznaczenie lokalizacji przegrody piętrzącej (blokującej przepływ) oparto w dalszej kolejności o porównanie wyliczanych prędkości z prędkościami dopuszczalnymi.

Dla celów modelowych przyjęto prędkość dopuszczalną jak dla gruntów łatwo rozmywalnych pokrytych mieszanką traw $v_{max} = 1,2 m \cdot s^{-1}$. Dla celów porównawczych wykorzystano również współczynnik korygujący jak dla traw z dobrze rozwiniętym systemem korzeniowym $\alpha = 0,8$. Dalsze wyniki obliczeń symulacyjnych porównywano zatem z dwoma prędkościami krytycznymi [1]:

$$v = 1,2 m \cdot s^{-1}$$

oraz

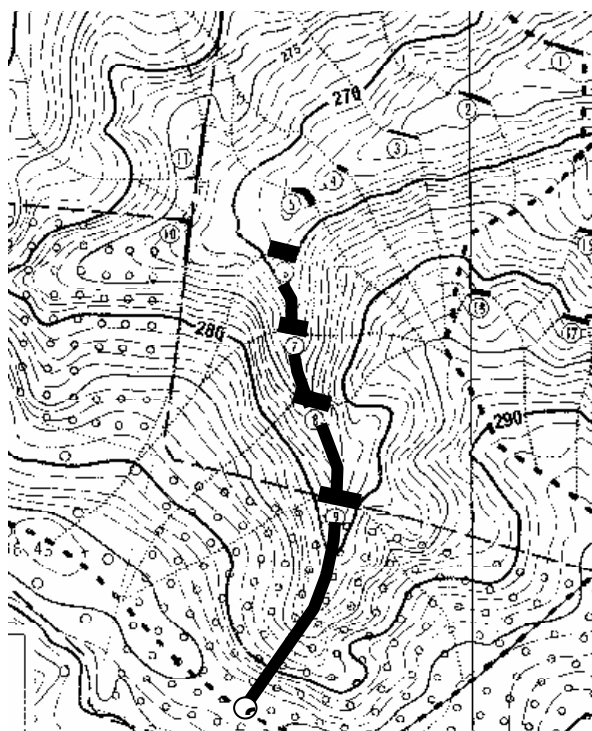
$$v = 0,8 \cdot 1,2 = 0,93 m \cdot s^{-1}$$

W celu zweryfikowania wyników uzyskiwanych za pomocą opracowanego przez autorów modelu, dokonano symulacji dla warunków wybranego fragmentu obiektu „Olszanka”. Porównanie wyników badań symulacyjnych z obserwacjami terenowymi pozwoliło na ocenę wiarygodności uzyskiwanych wyników obliczeniowych.

Dane obserwacyjne, z okresu lat 1998-2004 wskazują, że zainstalowane przegrody piętrzące skutecznie hamowały postępowanie erozji wodnej w warunkach opadu nie przekraczającego $20 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, przy czym należy dodać, że niejednokrotnie całość tego opadu przypadała na 1 godzinę.

Pomiary intensywności opadu dokonywano za pomocą zlokalizowanego na terenie obiektu deszczomierza [10]. Oceny skuteczności zabezpieczeń dokonano na podstawie badań geodezyjnych [9] oraz na podstawie obserwacji własnych autorów opracowania, jak również użytkownika obiektu.

Do obliczeń symulacyjnych wybrano fragment obiektu „Olszanka” (rys. 2). Fragment ten obejmował zlewnię i dolinę spływową opisaną przez istniejące przegrody nr 9, 8, 7 i 6.



Rys. 2. Fragment obiektu „Olszanka” – wybrana zlewnia [9]

Fig. 2. Selected rain basin of the „Olszanka” object [9]

Biorąc pod uwagę zebrane materiały inwentaryzacyjne [8,9,10] możliwe było stworzenie schematu obliczeniowego, wykorzystanego bezpośrednio w trakcie symulacji.

Obliczenia symulacyjne przeprowadzono w oparciu o następujące założenia:

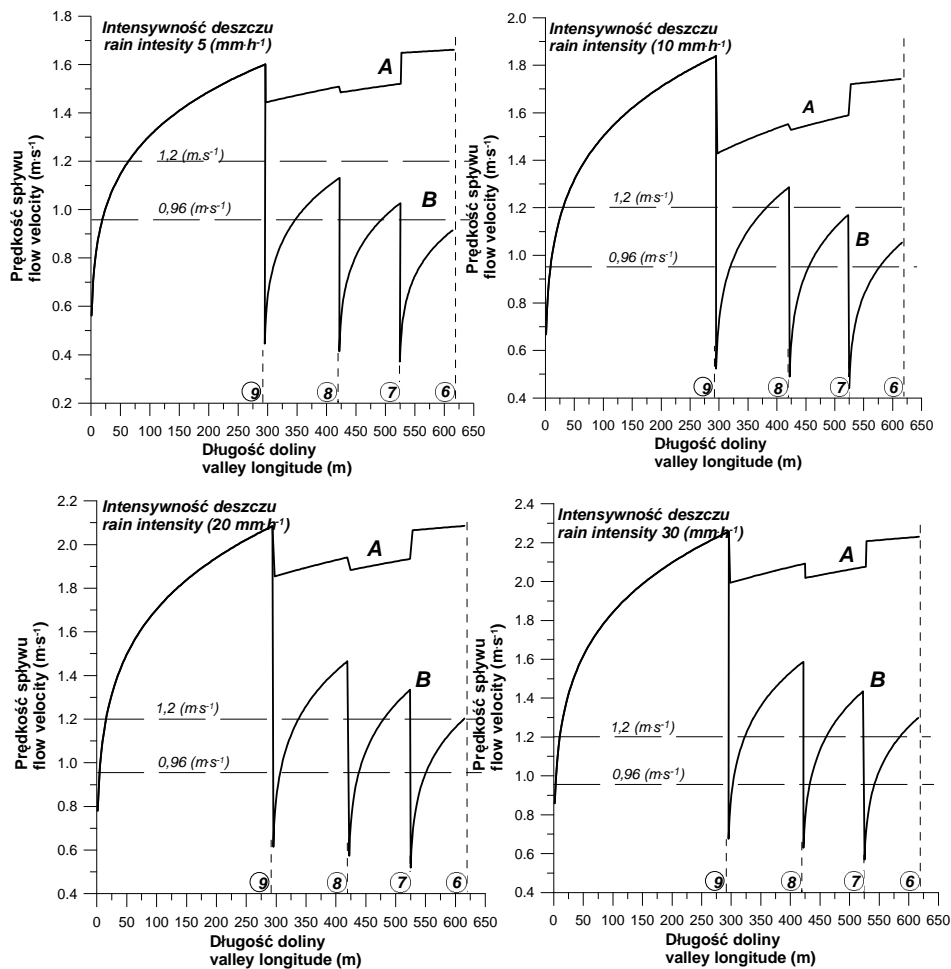
- intensywność deszczu była stała w czasie symulacji i wynosiła 5, 10, 20 i 30 mm·h⁻¹,
- symulację prowadzono do chwili ustabilizowania się prędkości przepływu,
- początek symulacji spływu po stoku był jednoczesny z rozpoczęciem opadu deszczu,
- symulację przepływu w dolinie spływowej prowadzono w warunkach ustabilizowanej prędkości wód spływających ze stoków – początek symulacji odpowiadał 5-7 minucie deszczu,
- nie uwzględniano tarasów zlokalizowanych na stokach, jako elementów zainstalowanych znacznie później niż przegrody piętrzące,
- spływające wody opadowe nie przedostawały się przez przegrody.

WYNIKI OBLICZEŃ I DYSKUSJA

Końcowe wyniki obliczeń symulacyjnych przedstawiono na rysunku 3. Widoczne na wykresach załamania linii (A) obrazujących prędkości przepływu są spowodowane, obok czasu symulacji, również zmianami spadku dna doliny spływowej, jak również długości i spadków stoków zasilających. Wydaje się, że przy bardziej szczegółowej dyskretyzacji całego badanego obiektu linie te powinny ulec pewnemu wygładeniu. Wymaga to jednak, przy obecnym stadium opracowanego modelu numerycznego, znacznego nakładu czasowego zarówno obliczeń jak i przygotowywania danych wejściowych.

Porównanie uzyskiwanych na bazie obliczeń symulacyjnych prędkości przepływu z prędkościami dopuszczalnymi wskazuje, że w przypadku braku przegród piętrzących są one przekraczane przy każdej z założonych intensywności opadu. Obrazuje to sytuację sprzed zabudowy przegród, kiedy to obserwowano bardzo intensywne procesy erozji wodnej w tym rejonie. Pod tym względem wyniki symulacji można uznać za wiarygodne.

Uwzględnienie przegród piętrzących – linie (B), zmniejsza w sposób istotny uzyskiwane prędkości maksymalne. Ich porównanie z prędkościami dopuszczalnymi wskazuje, że prędkość 0,96 m·s⁻¹ jest przekraczana dla każdej rozpatrywanej intensywności opadu. Prędkość wynosząca 1,2 m·s⁻¹ została przekroczona pomiędzy przegrodami przy intensywności opadu wynoszącej 10, 20 i 30 mm·h⁻¹, przy czym w przypadku intensywności 10 mm·h⁻¹ przekroczenie to pojawiło się jedynie pomiędzy przegrodą 9 i 8 i było stosunkowo niewielkie (1,28 m·s⁻¹).



Rys. 3. Końcowy rozkład prędkości wody w badanej dolinie bez uwzględniania (linie A) oraz przy uwzględnianiu (linie B) przegród piętrzących. Założona intensywność deszczu wynosiła 5, 10, 20 i 30 mm·s⁻¹. ⑨, ⑧, ⑦, ⑥ – lokalizacja przegród piętrzących

Fig. 3. Final distribution of rainwater flow velocity in selected valley without (lines A) and with (lines B) flow barriers. Assumed rain intensity was 5, 10, 20 and 30 mm·s⁻¹. ⑨, ⑧, ⑦, ⑥ – location of flow barriers

Pomimo obecności przegród hamujących przepływ, na odcinku początkowym, dla każdej założonej intensywności opadu, następuje wyraźnie przekroczenie prędkości dopuszczalnych. Na odcinku tym, w terenie, powinny być widoczne ciągłe procesy erozyjne. Wizje lokalne potwierdziły ich występowanie. Podjęte zostały również działania zmierzające do ich ograniczenia.

Obserwacje terenowe wskazują, że zainstalowany system przegród nie dopuszczał do powstawania szkód erozyjnych, w czasie sezonu wegetacyjnego, przy opadach nie przekraczających $20 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$, nawet jeżeli całość tego opadu przypadała na 1 godzinę. Wielkość ta ulegała zmniejszeniu, w przypadku występowania opadów w ciągu kolejno następujących po sobie dni. Jest to z pewnością wynikiem stopniowego nasycania przypowierzchniowego profilu glebowego i brakiem zatrzymywania opadu na powierzchni roślin. Pomimo tych ograniczeń, zgodnie z sugestią użytkownika terenu, za graniczną wartość skuteczności zainstalowanych przegród można przyjąć opad w wysokości $20 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

Porównanie rezultatów symulacji numerycznych, przeprowadzonych z wykorzystaniem opracowanego przez autorów modelu, z wynikami obserwacji terenowych sugeruje, że za optymalny dla celów wyznaczenia lokalizacji przegród piętrzących, w warunkach obiektu „Olszanka” należy przyjąć opad o intensywności $10 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. Intensywność powyższa powinna być zakładana przy wykorzystywaniu prezentowanego modelu symulacyjnego do wyznaczenia lokalizacji badanych przegród piętrzących.

WNIOSKI

Przeprowadzone obliczenia numeryczne oraz ich wstępna weryfikacja empiryczna pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Przegrrody piętrzący zmniejszają w sposób istotny uzyskiwane prędkości spływu powierzchniowego wód deszczowych i mogą być stosowane w celu ochrony przeciwerozyjnej.

2. Za graniczną wartość skuteczności powyższego systemu, w warunkach obiektu „Olszanka” przyjęto opad w wysokości $20 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

3. Porównanie wyników symulacji numerycznych, przeprowadzonych z wykorzystaniem opracowanego przez autorów modelu, z wynikami obserwacji terenowych sugeruje, że za optymalny dla celów wyznaczenia lokalizacji przegród piętrzących, w warunkach obiektu „Olszanka” należy przyjąć symulowany opad o intensywności $10 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

4. Przedstawiony model numeryczny może być wykorzystywany do celów projektowania lokalizacji rozpatrywanych przegród piętrzących w warunkach obiektu „Olszanka”. Większa uniwersalność stosowania modelu oraz jego dokładność obliczeń będzie możliwa do osiągnięcia dopiero po uwzględnieniu w nim procesu infiltracji wód deszczowych w głąb profilu glebowego, procesu ich retencji na powierzchni liści oraz przy zwiększeniu dokładności dyskretyzacji opisu stoków i dolin spływowych.

PIŚMIENNICTWO

1. **Dąbkowski Sz.L., Pachuta K.:** Roślinność i hydraulika koryt zarośniętych. Biblioteczka Wiadomości IMUZ, 89, 120-124, Falenty, 1996.
2. **Jeżowiecka-Kabsch K., Szewczyk H.:** Mechanika płynów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2001.
3. **Józefaciuk Cz.:** Rekultywacja i melioracje przeciwerozynne gruntów obiektu Olszanka – Zakład Ogrodniczy PPGR Żułów. Studium przedprojektowe, Projekt ST – TITR w Lublinie, Puławy, 1976.
4. **Józefaciuk Cz.:** Rekultywacja i melioracje przeciwerozynne gruntów obiektu Olszanka – Zakład Ogrodniczy PPGR Żułów. Projekt techniczny, Projekt ST – TITR w Lublinie, Puławy, 1977.
5. **Józefaciuk Cz., Józefaciuk A.:** Ocena wpływu systemów użytkowania gruntów na nasilenie erozji wodnej w obiekcie Olszanka, Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe „Ochrona agrosystemów przed erozją”, 245-258, IUNG Puławy, Puławy, 1996.
6. **Józefaciuk Cz., Józefaciuk A.:** Ochrona gruntów przed erozją, Poradnik, IUNG Puławy, Puławy, 1999.
7. **Mitosek M.:** Mechanika płynów w inżynierii środowiska”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1999.
8. **Olszta W., Rubaj J., Kowalska R., Kowalski D.:** Urządzenia przeciwerozynne w gospodarstwie rolnym „Euro-East” w Olszance. Inwentaryzacja istniejącego zabezpieczenia przeciwerozynnego. Materiały niepublikowane, Lublin, 2000.
9. **Patro M.:** Tachimetryczna mapa inwentaryzacyjna. Niepublikowany materiał źródłowy. Lublin, 2002.
10. **Patro M.:** Wyniki pomiarów meteorologicznych obiekt „Olszanka”. Niepublikowany materiał źródłowy. Lublin, 2000-2004.
11. **Rubaj J.:** Sposób zabezpieczania gruntów przed erozją wodną powierzchniową i wąwozową. Urządzenie do zabezpieczenia gruntów przed erozją wodną powierzchniową i wąwozową. Patent nr D.345788, 2004.
12. **Sawicki J.:** Przepływy ze swobodną powierzchnią. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1998.
13. Skierbieszowski Park Krajobrazowy – opracowanie ZChPK w Chełmie. Chełm, 2001.
14. **Szymkiewicz R.:** Modelowanie matematyczne przepływów w rzekach i kanałach”. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2000.

METHOD FOR THE LOCALIZATION OF RAINWATER FLOW BARRIERS
UNDER THE CONDITIONS OF THE “OLSZANKA” OBJECT

Dariusz Kowalski¹, Jan Rubaj², Marcin Widomski¹

¹Institute of Environment Protection Engineering, Lublin University of Technology
ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin
e-mail: kzwus@fenix.pol.lublin.pl

²Enterprise Euro-East sp.z o.o. Olszanka, 22-310 Kraśniczyn

Abstract. The paper presents the fundamentals of a designed numerical model of rainwater outflow on overgrown slope and valley. The numerical calculations, realized with an established group of simplifying assumptions, were subjected at an initial empirical verification under the conditions of the research object in Olszanka near Kraśniczyn. The simulation was provided in two

variants – with and without taking account of the existence of an original anti-erosion system (flow barriers) installed on the research object. The presented numerical model can be used in the process of design of the subject anti-erosion protection systems. The study presented in the paper was realized as a part of No 1564/T09/2001/21 project of The State Committee for Scientific Research.

Key words: anti-erosion protection, rainwater overflow, numerical modeling