

## ANALIZA ROZKŁADU INTENSYWNOŚCI OPADU DESZCZU NA STOKU Z RÓWNOMIERNIE ROZMIESZCZONYMI PRZEGRODAMI\*

*D. Kowalski, P. Gliński*

Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków, Politechnika Lubelska  
ul. Nadbystrzycka 40, 20-044 Lublin

**Streszczenie.** W opracowaniu, przy pomocy teoretycznych rozważań, próbowano ocenić wpływ prędkości wiatru i nachylenia stoku z umieszczonym na nim układem przegród, na obliczeniową wartość natężenia opadu. Analiza wykazała, iż przy poziomo wiejącym wietrze wysokość oraz rozstaw przegród ma zasadniczy wpływ na wielkość rozkładu natężenia opadu.

**Słowa kluczowe:** prędkość wiatru, natężenie deszczu, powierzchnia efektywna opadu.

### WSTĘP

W poprzednich artykułach [1,2] wykazano związek pomiędzy natężeniem potencjalnym  $I_o$ , mierzonym w deszczomierzach  $I_m$  oraz w płaszczyźnie stoku  $I_R$ , w warunkach poziomo wiejącego wiatru. Poszukiwano również związku pomiędzy prędkością tego wiatru, a prędkością spływu wód opadowych po stoku pozbawionym roślinności. W tym artykule powyższą analizę poszerzono o wprowadzenie serii przegród na stoku. Przez to układ ten zbliżono do realnej sytuacji, w której na stoku występują różnego rodzaju naturalne przeszkody modyfikujące parametry opadu (natężenie, jego rozkład i energia). Parametry te mają istotny wpływ na procesy erozji wodnej na powierzchni stoku. Analiza zależności między nimi może odpowiedzieć na pytania jak zmniejszać do minimum ryzyko erozyjnej degradacji gleby.

---

\* Praca wykonana w ramach projektu badawczego Nr 154/T09/2001/21.

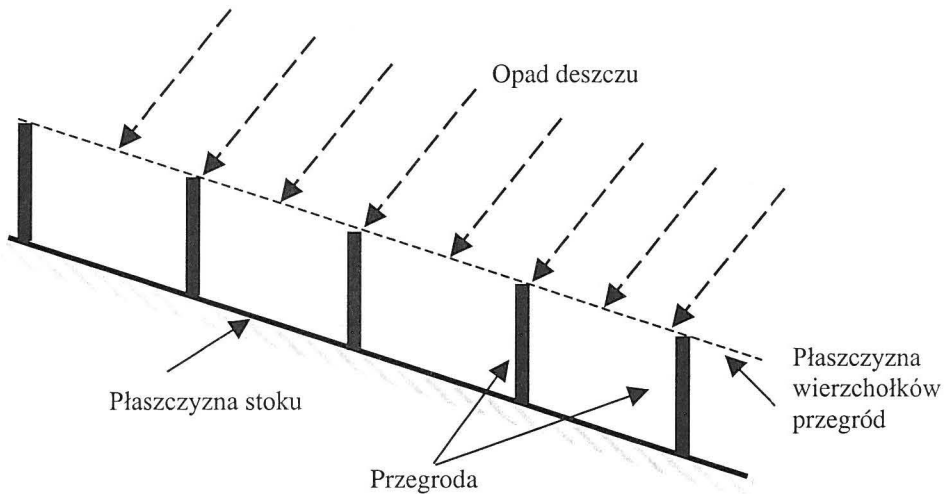
## ROZWAŻANIA TEORETYCZNE

Dla przeprowadzenia przedmiotowej analizy wpływu przegród na rozkład natężenia opadu rozważano stok, wzdłuż którego umieszczono równomiernie przegrody o jednakowych wysokościach (Rys. 1).

W warunkach poziomo wiejącego wiatru, odchylającego kąt padania deszczu [1], na Rys. 1 wyróżniono 2 płaszczyzny odniesienia: płaszczyznę wierzchołków przegród oraz płaszczyznę stoku. Można łatwo zauważyć, że natężenie deszczu w obu tych płaszczyznach jest różne. W płaszczyźnie wierzchołków odpowiada ono natężeniu wyznaczanemu dla stoku pozbawionego przegród. W płaszczyźnie stoku – na poziomie podstaw przegród wygląda to zupełnie inaczej, co ilustrują Rys. 1 i 2.

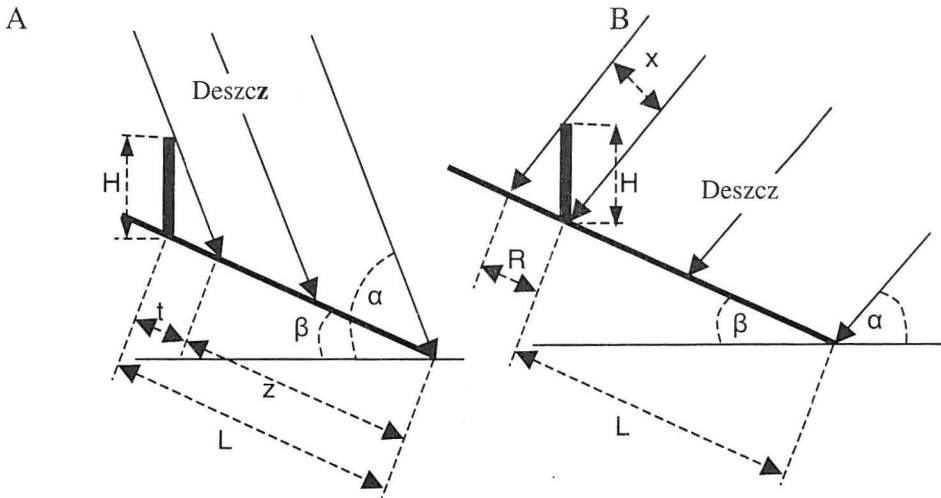
Przypadek pojedynczej przegrody

W tym przypadku rozpatrywano oddziaływanie pojedynczej pionowej przegrody o wysokości  $H$ , umieszczonej na stoku o długości  $L$  – (Rys. 2), na rozkład natężenia opadu.



**Rys. 1.** Schemat ideowy stoku z równomiernie osadzonymi na nim przegradami.

**Fig.1.** Schematic diagram of slope with evenly distributed partitions.



**Rys. 2.** Schemat ideowy opadu deszczu na stok zaopatrzony w pojedynczą przegrodę przy opadzie zgodnym ze stokiem (A) oraz przy opadzie skierowanym przeciwnie do stoku (B).

**Fig.2.** Schematic diagram of rainfall on the slope with one partition.

Zaznaczone na Rys. 2A linie opadu wskazują, że w założonych tam warunkach do powierzchni stoku opad dociera jedynie na długości „z”. Odcinek „t” jest chroniony przed opadem poprzez przegrodę. Intensywność deszczu docierająca do powierzchni stoku na odcinku „z” można wyznaczyć podobnie jak w artykułach poprzednich ze wzoru:

$$I_R = I_o \cdot \sin(\alpha - \beta)$$

pamiętając o związku pomiędzy natężeniami [1,2]

$$I_m = I_o \cdot \sin(\alpha)$$

długość odcinka „t” można wyznaczyć ze wzoru:

$$t = \frac{H \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha - \beta)},$$

zaś odcinka „z” z różnicy :

$$z = L - t \quad (1)$$

Oczywiście rozumowanie powyższe jest słuszne dla warunku  $L > t$ .

Wprowadzając dodatkowo oznaczenie:  $a = \frac{H}{L}$  można opisać średnie, dla całego odcinka „L” natężenie deszczu docierającego do powierzchni stoku:

$$I_R^{\dot{s}r} = I_o [\sin(\alpha - \beta) - a \cdot \cos(\alpha)] \quad \text{lub} \quad (2)$$

$$I_R^{\dot{s}r} = I_m \left[ \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha)} - \frac{a}{\operatorname{tg}(\alpha)} \right] \quad (3)$$

Wyznaczanie tak rozumianego natężenia deszczu nie byłoby zbyt wygodne, toteż wydaje się, że łatwiej posługiwać się w praktyce efektywną powierzchnią opadu, odpowiadającą odcinkowi „z”. Wówczas całkowity opad na odcinku L można opisać jako:

$$\begin{aligned} Q &= I_R \cdot F_{\text{efekt}} \\ Q &= I_R \cdot (B \cdot z) = I_R \cdot [B \cdot (L - t)] = I_R \cdot \left[ B \cdot \left( L - \frac{H \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha - \beta)} \right) \right] \\ Q &= [I_o \cdot \sin(\alpha - \beta)] \cdot \left[ B \cdot \left( L - \frac{H \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha - \beta)} \right) \right] \quad (4) \\ Q &= \left[ I_m \cdot \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha)} \right] \cdot \left[ B \cdot \left( L - \frac{H \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha - \beta)} \right) \right] \end{aligned}$$

gdzie: B - szerokość rozpatrywanego jednorodnego stoku.

Podobne rozumowanie przeprowadzono dla przeciwnego kierunku padania deszczu przedstawionego na Rys. 2 B. Wykorzystano tu związki pomiędzy natężeniami [1,2]:

$$\begin{aligned} I_m &= I_o \cdot \sin(\alpha) \\ I_R &= I_o \cdot \sin(\alpha + \beta) \\ I_R &= I_m \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\alpha)} \end{aligned} \quad (5)$$

Dla rozpatrywanego przypadku występują tu dwa różne natężenia. Jedno odpowiadające natężeniu potencjalnemu na odcinku „x” oraz drugie, odpowiadające natężeniu bezpośrednio docierającemu do powierzchni stoku o długości „L”. Długość odcinka „x” wyznaczono zależności:

$$x = H \cdot \cos(\alpha)$$

Wprowadzając podobnie jak poprzednio zależność:  $a = \frac{H}{L}$  wyznaczono sumaryczne natężenie deszczu na całej długości rozpatrywanego stoku:

$$\begin{aligned} I_R^{sum} &= I_o \cdot [a \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha + \beta)] \\ I_R^{sum} &= I_m \cdot \left[ \frac{a}{\operatorname{tg}(\alpha)} + \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\alpha)} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

Podobnie jak poprzednio tak rozumiana intensywność deszczu nie definiuje jednoznacznie opisywanego zjawiska opadu deszczu. Wydaje się, że wygodniejsze w praktycznym użyciu będzie operowanie prostszymi związkami pomiędzy podstawowymi intensywnościami oraz odpowiednimi powierzchniami.

$$\begin{aligned} Q &= Q_{pocz} + Q_R \\ Q_{pocz} &= I_o \cdot [H \cdot \cos(\alpha) \cdot B] = I_m \cdot \left[ \frac{H \cdot \cos(\alpha) \cdot B}{\sin(\alpha)} \right] \\ Q_{stok} &= I_o \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot (B \cdot L) = I_m \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\alpha)} \cdot (B \cdot L) \\ Q &= I_o \cdot B \cdot [H \cdot \cos(\alpha) + L \cdot \sin(\alpha + \beta)] \\ Q &= I_m \cdot B \cdot \left[ \frac{H}{\operatorname{tg}(\alpha)} + L \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\alpha)} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

gdzie:  $B$  - szerokość rozpatrywanego jednorodnego stoku,  $Q_{pocz}$  - całkowity opad na przegrodę,  $Q_{stok}$  - całkowity opad docierający bezpośrednio na powierzchnię stoku.

Dodatkowo wyznaczono długość stoku chronioną przed bezpośrednim opadem deszczu przez przegrodę. Dokonano tego wykorzystując wzór:

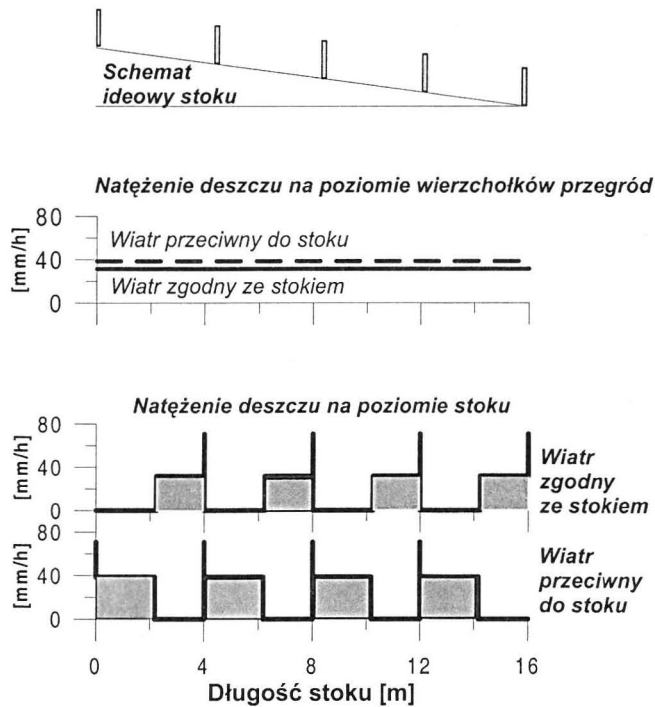
$$R = \frac{H}{[\operatorname{tg}(\alpha) + \operatorname{tg}(\beta)] \cdot \cos(\beta)} \quad (8)$$

### Przypadek szeregu jednakowych przegród

Najpierw rozpatrzono przykład szeregu jednakowych przegród rozmieszczonych równomiernie wzdłuż jednorodnego stoku Rys. 3. Założono, że odległość pomiędzy przegrodami jest na tyle duża, że istnieją fragmenty stoku narażone na opad bezpośredni. Nazwano to w dalszej części artykułu „rzadką rozstawą przegród”.

Dla celów poglądowych założono, że intensywność potencjalna deszczu wynosi  $50 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ , a jego kąt padania  $45^\circ$  do poziomu (jednakowy dla kierunku zgodnego i przeciwnego spadkowi stoku), spadek stoku przyjęto 10%. Wysokość przegród założono 2 m, zaś ich rozstaw, liczoną po stoku 4 m. Długość stoku, dla celów prezentacji wyników przyjęto 52 m.

Wyniki obliczeń intensywności deszczu docierającego w tych warunkach do płaszczyzny stoku porównano z intensywnością deszczu w płaszczyźnie wierzchołków. Choć wartości całkowite opadu dla całej długości stoku pomiędzy przegradami są we wszystkich przypadkach takie same, to jednak rozkład opadu docierającego do stoku jest zupełnie różny Rys. 3.

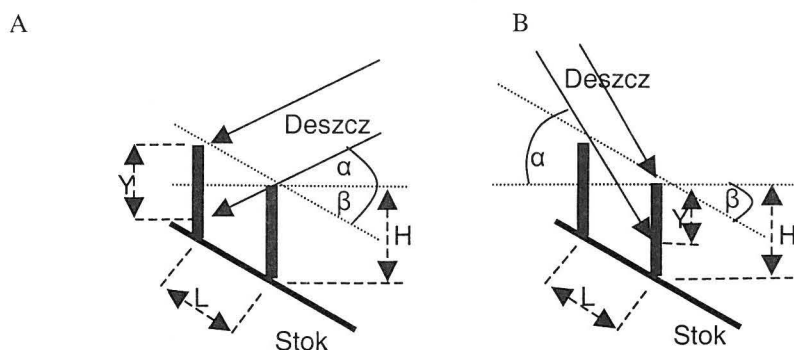


Rys. 3. Przykładowy wykres rozkładu natężenia deszczu docierającego do stoku, w warunkach istnienia rzadko rozmieszczonych przegród.

Fig. 3. Diagram of rainfall intensity distribution the slope with rarely situated partitions.

Nieco inaczej rozkład natężenia opadów docierających do powierzchni stoku przedstawia się w warunkach przegród ustawionych gęsto, tzn. takich, które całkowicie chronią stok przed opadem bezpośrednim.

Do obliczeń rozkładu intensywności opadu w tych warunkach należy wyznaczyć szereg wielkości pomocniczych. Wielkości te tzn. wysokości przegród narażonych na opad bezpośredni wyznaczono ze wzorów wyprowadzonych dla przypadku reprezentowanego przez Rys. 4.



**Rys. 4.** Schemat wyznaczania wysokości przegrody „Y” narażonej na opad bezpośredni przy opadzie przeciwnym do stoku (A) oraz przy opadzie zgodnym ze stokiem (B).

**Fig. 4.** Scheme for determination of partition “Y” height exposed to direct rainfall.

Biorąc pod uwagę powyższy schemat można wyznaczyć wysokość „Y” przegrody narażonej na bezpośredni opad. Wszystkie oznaczenia zgodne ze schematami poprzednimi.

Dla wiatru wiejącego przeciwnie do spadku stoku (Rys.4 A):

$$Y = L \cdot \cos(\beta) \cdot [tg(\alpha) + tg(\beta)] \quad (9)$$

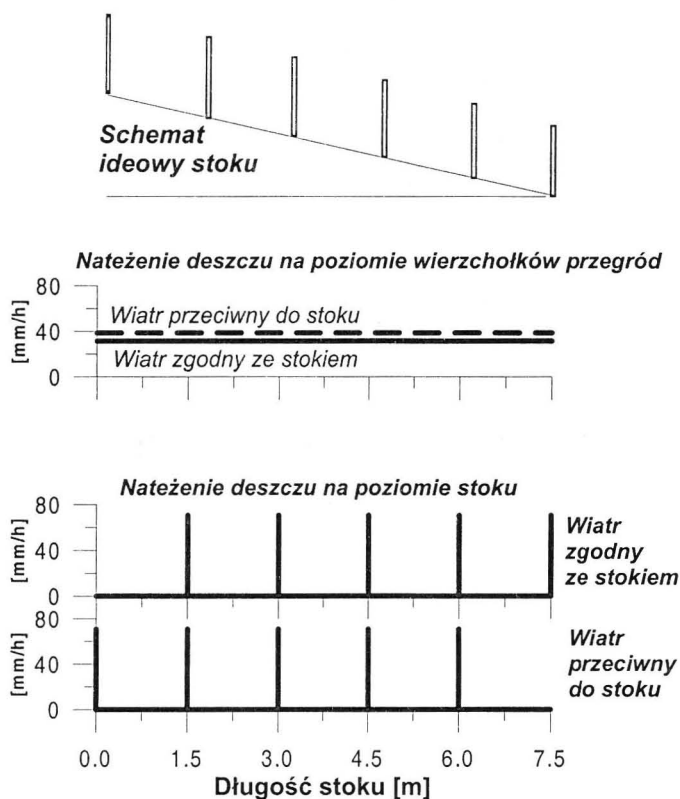
Dla wiatru wiejącego zgodnie ze stokiem (Rys.4 B)

$$Y = L \cdot \left[ \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\beta)} - tg(\beta) \right] \quad (10)$$

Jednostkowa wielkość opadu (na jednostkę szerokości przegrody) może być wyznaczona, zgodnie z wcześniej wyprowadzonymi zależnościami ze wzoru:

$$q = I_o \cdot H \cdot \cos(\alpha) \quad (11)$$

Podobnie jak poprzednio dokonano teraz przykładowych obliczeń rozkładu natężenia deszczu wzdłuż stoku w warunkach gęsto ustawionych przegród. Założono stałą wysokość przegród 2 m, stały ich rozstaw 1,5 m, kąt padania deszczu  $\alpha = 45^\circ$ , spadek stoku 10%, intensywność potencjalną deszczu  $50 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  oraz długość stoku dla celów prezentacji 8 m. (Rys. 5)



**Rys. 5.** Wykres rozkładu natężenia deszczu docierającego do stoku, w warunkach istnienia gęsto rozmieszczonych przegród.

**Fig. 5.** Diagram of rainfall intensity distribution the slope with densely situated partitions.

Na rysunku tym widoczne są tylko punktowe doprowadzenia wody opadowej do powierzchni stoku, w bezpośrednim sąsiedztwie przegród. Chociaż całkowita wielkość opadu w płaszczyźnie wierzchołków przegród i stoku jest taka sama, to jednak rozkład opadu w obu tych płaszczyznach jest bardzo różny.



## WNIOSKI

Na podstawie przedstawionych rozważań w układzie prezentującym zależności pomiędzy kątem padania deszczu, prędkością wiejącego wiatru, natężenia opadu na stoku z osadzonymi równomiernie przegrodami można stwierdzić, że:

1. Uwzględnianie prędkości poziomo wiejącego wiatru implikuje szereg rozważań dotyczących oddziaływania przegród na intensywność opadu deszczu docierającego do płaszczyzny stoku w aspekcie różnego rozkładu natężenia opadu między przegrodami.
2. Całkowita ilość opadu w płaszczyźnie wierzchołków przegród i stoku jest taka sama, jednak rozkład opadu docierającego do płaszczyzny stoku jest różny w obu tych płaszczyznach.
3. Kierunek wiatru (zgodny lub przeciwny do stoku) zmienia rozkład opadów docierających do stoku
4. Gęstość przegród może zmieniać całkowicie rozkład natężenia opadów oraz, jak się wydaje się ma wpływ na energię kropeł deszczu docierających do płaszczyzny stoku.
5. Przy zadanej wysokości przegród, kąta nachylenia opadu, można obliczyć z wyprowadzonych zależności trygonometrycznych rozstawę przegród, przy której nie nastąpi opad bezpośredni na płaszczyznę stoku.
6. Przeprowadzone rozważania wskazują, iż zastosowanie przegród na stoku zmieniając rozkład natężenia opadu na jego powierzchni może zmienić wpływ opadu na erozję powierzchniową gruntu stoku.

## PIŚMIENNICTWO

1. **Gliński P., Kowalski D.:** Próba oceny wpływu wiatru i kąta nachylenia stoku na wartość obliczeniową intensywności opadającego deszczu. *Acta Agrophysica*, 78, 25-35, 2002.
2. **Kowalski D., Gliński P.:** Wpływ wiatru na prędkość spływającej po zboczu wody opadowej. *Acta Agrophysica*, 78, 89-100, 2002.

ANALYSIS OF RAIFALL INTENSITY DISTRIBUTION ON SLOPE  
WITH EVENLY SITUATED PARTITIONS

*D. Kowalsk, P. Gliński*

Technical University, Nadbystrzycka 40, 20-044 Lublin

Summary. Theoretical analysis were helped to estimate influence of wind direction and velocity and the angle of slope with partition on slope on unitary value of rainfall. The analysis indicate, that altitude and distance of partitionsis at horizontal wind is very important because of influence on rain water intensity differentiate.

Keywords: wind speed, rainfall intensity, raifall efectiv aera.