

Marian GŁAŻEWSKI

Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Warszawa
Institute for Building, Mechanization and Electrification of Agriculture, Warsaw

Ocena zmywów erozyjnych skarp budowli ziemnych z popiołów lotnych

Evaluation of erosion rainwash of structure slopes mode of fly-ash

Słowa kluczowe: budowle ziemne, skarpa, erozja wodna, hydroobsiew

Key words: ground constructions, slope, water erosion, hydroseeding

Wprowadzenie

Słowo skarpa oznacza w technice powierzchnię o znacznym pochyleniu, która łączy dwie płaszczyzny poziome lub zbliżone do poziomu, leżące na różnych wysokościach. Skarpa w podanym znaczeniu zastępuje mury oporowe i wykonuje taką samą pracę. Skarpy zabezpieczają nasypy i wykopy, umacniają rowy melioracyjne oraz koryta uregulowanych rzek.

Skarpa stanowi element konstrukcyjny budowli ziemnych. Umocnienie może być biologiczne (zbliżone do naturalnego użytkowania terenu) bądź techniczne. Jako umocnienie biologiczne najczęściej stosowana jest darń wzmocniona niekiedy krzewami (Coopin 1990), a nawet drzewami. Przez pojęcie skarpy należy rozumieć nie tylko pochylone

powierzchnie ośrodka gruntowego, lecz również przyległe pasy poziome technologiczne.

Pokrycie roślinnością skarp nasypów, przekopów oraz zboczy składowisk (Głażewski 1995) napotyka na znaczne trudności. Nie mamy bowiem do czynienia z glebą i często wprowadzana roślinność musi odgrywać pionierską rolę w procesie glebotwórczym. Pochylenie sprawia, że nakładana warstwa ziemi urodzajnej (zabieg niezbędny do uzyskania polepszenia warunków siedliskowych) ma tendencję do zsuwania się, podobnie jak wysiewane nawozy czy nasiona. Stąd też diametralnie różne warunki bytowe przy koronie i u podnóża skarpy. Przy koronie, gdzie jest najbardziej sucho, roślinność jest szczególnie narażona na działanie wiatru, a system korzeniowy często ulega obnażaniu z gleby (ziemi urodzajnej). W zimie wiatry często zwiewają pokrywę śnieżną w tych partiach skarpy, przyczyniając się do przemarzania i osłabiania roślin. U podnóża skarpy gromadzi się ziemia

urodzajna, poziom próchniczny ma większą miąższość, stąd też tworząca się gleba ma większe możliwości gromadzenia zapasu wody, więc i roślinność znajduje nieźle warunki bytowania oraz rozwoju. Również duże zróżnicowanie warunków siedliskowych może występować w przekopach (wykopach), gdzie na powierzchni skarp występuje grunt rodzimy, który może charakteryzować się zarówno różnymi warunkami, jeśli chodzi o naturalną żyzność, jak i stosunki wodne.

Opis stanowiska badawczego

Przeciwerozyjna powłoka (warstwa) ochronna jest warstwą hydromieszaniny (hydromulczu) nanoszoną metodą hydromechaniczną na pochyłą powierzchnię gruntów utworów antropogenicznych. Miąższość tej warstwy zależy od właściwości fizykochemicznych głównego składnika hydromieszaniny. Zadaniem hydromieszaniny jest stworzenie przeciwerozyjnej powłoki ochronnej i utrzymanie na odpowiedniej głębokości nasion w niej zawartych, dostarczenie im wody do czasu ich wykiełkowania i wzrostu siewek, kiedy to funkcje przeciwerozyjne przejmą zasiane rośliny. Użyto tu tych samych gruntów (popiołów lotnych i piasku średniego), które poddano badaniom podatności na erozję wodną przy ich nieosłoniętych powierzchniach.

Próbki gruntu pokryte warstwą hydromieszaniny w specjalnie przygotowanych pojemnikach nachylonych pod kątami od 14° (1 : 4) do 34° (1 : 1,5) poddano symulowanemu opadowi deszczu o natężeniu $114,2 \text{ mm}$, co odpowiada poziomowi energii kinetycznej opadu

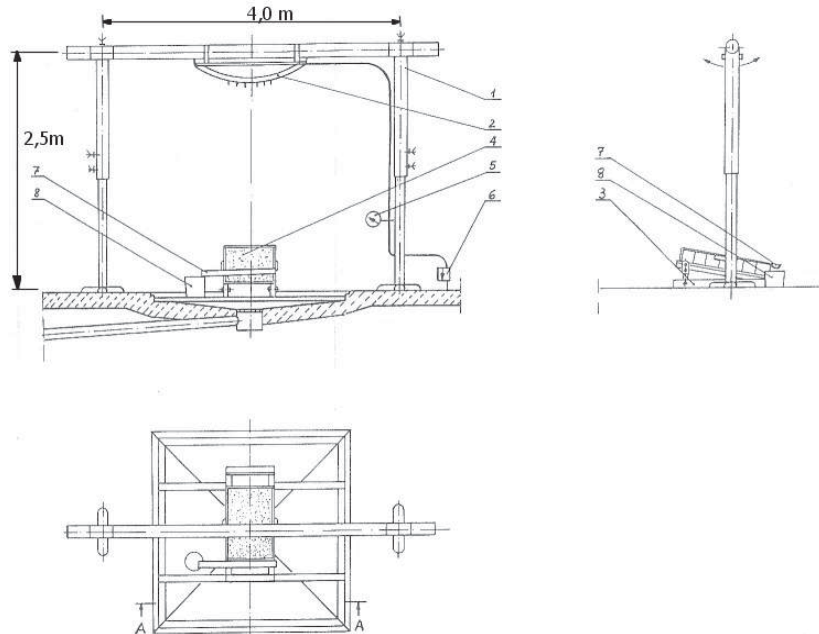
$E_k = 669 \text{ J}\cdot\text{m}^2$ (rys. 1). Czas trwania opadu wynosił 30 minut. Przyjęto te dwie wymierzone powyżej wartości liczbowe parametrów eksperymentu z uwagi na to, że:

- skarpy nasypów budowlanych z utworów antropogenicznych wznieszone z użyciem gruntów nasypowych wybranych do badań pochylone są na ogół pod kątem $26\text{--}34^\circ$ (1 : 2) i (1 : 1,5); ta górna granica pochyleń nie przekracza wartości kąta tarcia wewnętrznego piasku średniego i popiołów lotnych,
- przy podanej wartości kąta pochyleń skarpy $\alpha = 34^\circ$ oraz natężenia opadu $114,2 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ uzyskano najwyższy poziom erozji badanych gruntów z odkrytymi powierzchniami.

Są to zatem graniczne wartości liczbowe cech, dla których przeprowadzono eksperyment, by zrealizować cel badawczy, tzn. doprowadzić do wyboru warstwy (powłoki) ochronnej najbardziej odpornej na erozję wodną i tym samym zminimalizować natężenie tej erozji.

Doświadczenia zmywu przeprowadzono w układzie doświadczenia jednoczynnikowego w pomieszczeniach laboratoryjnych o wyrównanych warunkach temperaturowych, świetlnych i wilgotnościowych. Część przyjętego programu badań powtórzono na otwartej powierzchni. Badano wpływ właściwości fizycznych przeciwerozyjnych powłok ochronnych, pokrywających powierzchnie trzech wybranych gruntów, na poziom erozji oraz przepuszczalność tych gruntów.

Do przeprowadzenia eksperymentu badawczego wybrano najczęściej występujące grunty antropogeniczne (charakterystykę gruntów podano w załączniku 1) – rysunek 2.



RYSUNEK 1. Schemat stanowiska do badań zmywu erozyjnego gruntów: 1 – stojak z regulowaną wysokością, 2 – zraszacz, 3 – podstawa o regulowanym kącie położenia, 4 – pojemnik z gruntem, 5 – manometr, 6 – reduktor, 7 – rynna spustowa, 8 – pojemnik na spływający materiał
 FIGURE 1. Scheme of a test stand for measurement of erosion of a ground: 1 – stand with adjustable height, 2 – sprinkler, 3 – base with adjustable angle, 4 – container with a soil, 5 – manometer, 6 – reducer, 7 – tapping runner, 8 – container for a flowing material

Badania wpływu różnych czynników na zmyw erozyjny skarp z popiołów lotnych

Natężenie opadu, a właściwie wytworzona energia kinetyczna opadu, powoduje rozbryzg, odrywanie, a następnie spływ zmytej masy wody i materiału. Znajomość wpływu tych czynników na wielkość spływu erozyjnego jest niezbędna przy wyborze technologii zabezpieczenia utworów antropogenicznych przed szkodliwym działaniem procesów erozyjnych.

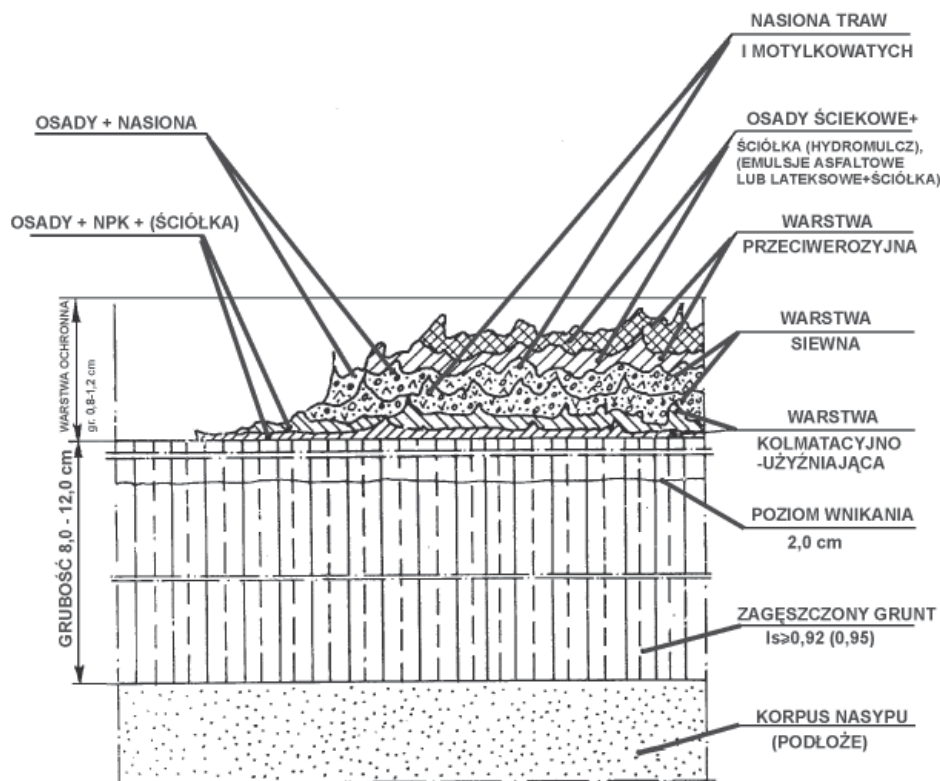
Dla określenia i oceny wpływu omawianych czynników na erozję wodną

wybranych gruntów zastosowano model analizy regresji jednej zmiennej.

Przy najniższym poziomie opadu $I_o = 67,0 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ masa zmytego gruntu (M_s) wzrasta liniowo w miarę zwiększania się kąta pochylenia skarpy ($\text{tg}\alpha$). Jest to zależność w wysokim stopniu dopasowana do funkcji regresji i do rozkładu danych empirycznych.

Dla opadu o natężenie $I_o = 87,5 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ oraz $114,2 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ zależność pomiędzy masą zmytego popiołu (M_s) a kątem nachylenia powierzchni gruntu ($\text{tg}\alpha$) dokładnie opisują równania regresji o postaci wykładniczej (rys. 3):

$$M_s = a \cdot e^{bX} \quad (1)$$



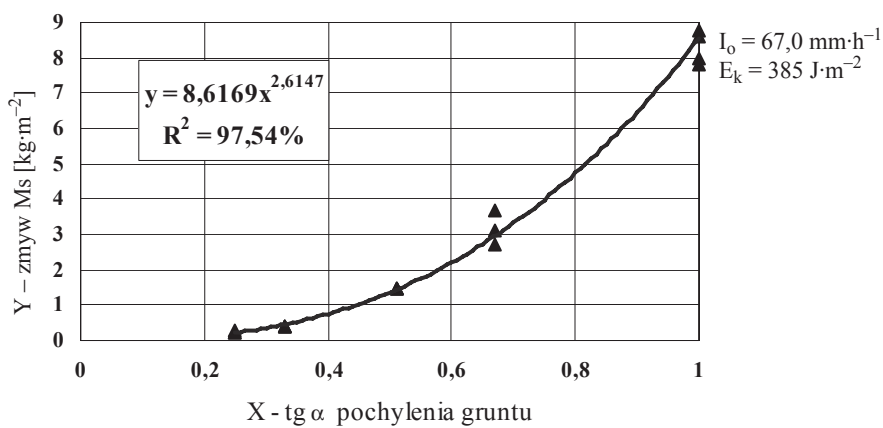
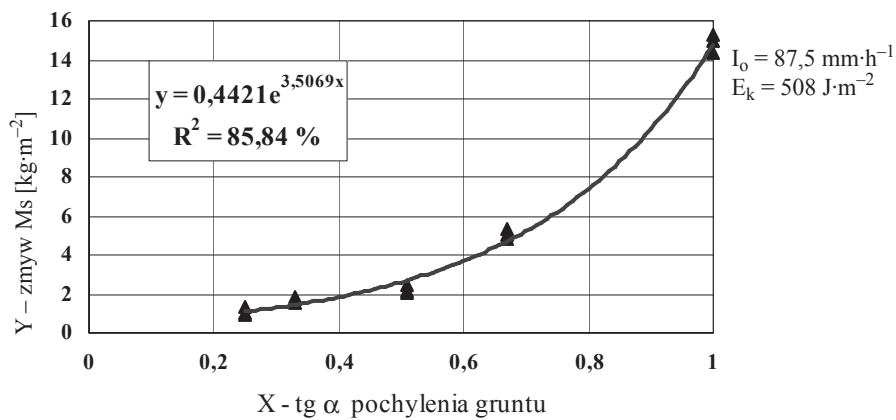
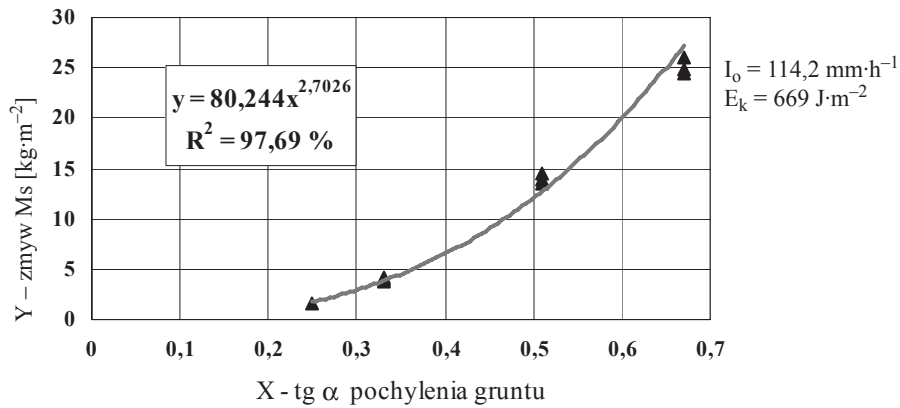
RYSUNEK 2. Formowanie warstwy ochronnej na powierzchni utworów antropogenicznych
 FIGURE 2. Formation of protective layer on the surface of anthropogenic structures

Najniższym współczynnikiem determinacji $R^2 = 85,84\%$ charakteryzuje się zależność regresyjna dla poziomego opadu $I_o = 87,5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Z analizy danych empirycznych $M_{s,2}$ względem nachylenia powierzchni gruntu – skarpy ($\text{tg}\alpha$), wynika, że w zakresie kąta α równego $14\text{--}34^\circ$ przebieg tej zależności ma charakter liniowy (rys. 3) lub logarytmiczny. Po przekroczeniu kąta $\alpha = 34^\circ$ zmyw zdecydowanie narasta (patrz wartości M_s dla kąta 45°), nadając całej funkcji regresji charakter równania regresyjnego. Fakt ten można

wytłumaczyć właściwościami fizykochemicznymi i składem mechanicznym popiołu lotnego. Przy dużym pochyleniu powierzchni tego gruntu następuje wzrost prędkości spływającej wody.

Pod wpływem intensywnego opadu następuje wzrost spójności popiołu wywołany początkiem procesu hydratacji oraz cementacji (zeskalenia), co również przyczynia się do obniżenia infiltracji wody w tym gruncie. Jak już wiemy, im mniejsza infiltracja wody, tym większy spływ erozyjny przy większym poziomie opadu niż infiltracja wody w gruncie.



RYSUNEK 3. Wzrost zmywu (M_s) w zależności od kąta α pochylenia powierzchni gruntu (popiołu lotnego) dla trzech poziomów natężenia opadu (I_o) i poziomów energii kinetycznej (E_k)
 FIGURE 3. Increase of erosion (M_s) dependent on angle of slope of ground (fly-ash) for three levels of intensity of rainfall (I_o) and kinetic energy (E_k)

TABELA 1. Wyniki analizy jednej zmiennej dla zależności $M_s = f(\text{tg } \alpha)$ zmytego popiołu podczas 30-minutowego opadu

TABLE 1. Results of analysis for one variety for relation $M_s = f(\text{tg } \alpha)$ ash washed during 30 minutes rainind

Natężenie opadu Rainfall intensity I_o [mm·h ⁻¹]	Równanie regresji Regression, equation	Współczynnikdeterminacji Determination coefficient R^2 [%]
114,2	$M_s = 0,9269 \cdot e^{3,2004X}$	97,69
87,5	$M_s = 0,3681 \cdot e^{1,9069X}$	85,84
67,0	$M_s = 1,4251 \cdot X - 0,1208$	97,54

Infiltracja wody w popiołach lotnych i piasku

Zależność masy spływu zmytego materiału (M_s) względem infiltracji wody (V), wyrażonej prędkością przepływu, w popiele lotnym przedstawiono w postaci równań regresji i wykresów zamieszczonych na rysunku 4. Do opisu zmienności M_s względem prędkości infiltracji wody w gruncie (V) przy danych poziomach natężenia opadu (I_o) oraz energii kinetycznej (E_k) zastosowano model równania regresji o postaci potęgowej:

$$M_s = a \cdot X^b \quad (2)$$

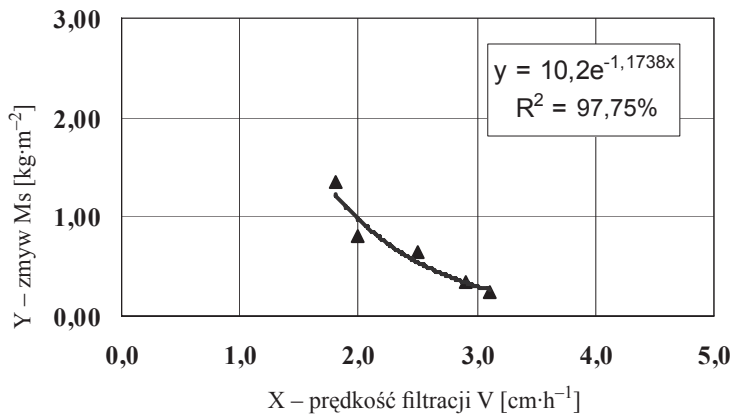
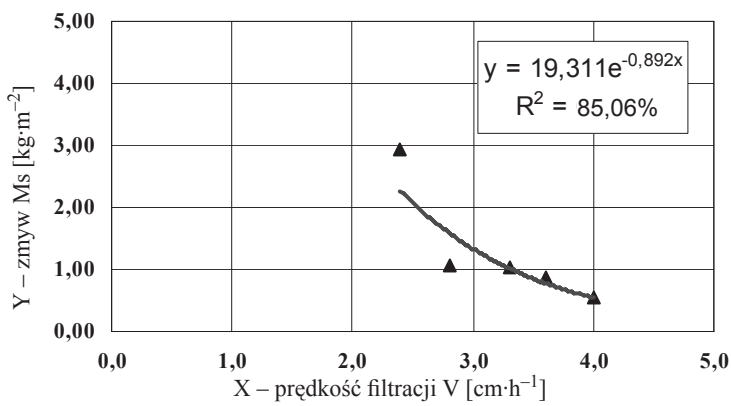
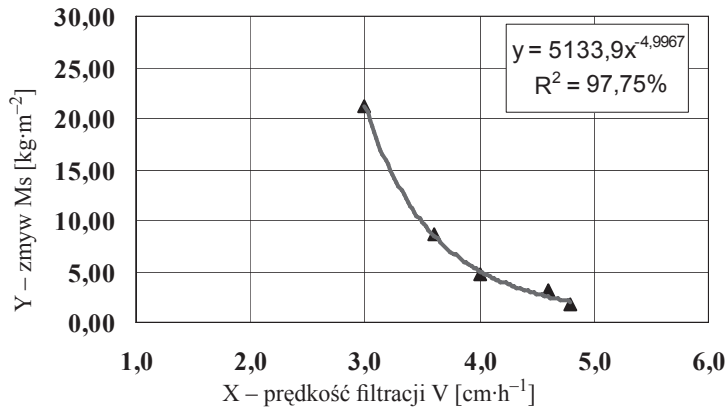
Wykresy zamieszczone na rysunku 4 wyraźnie odzwierciedlają tendencje wzrostu zmywu (M_s) w miarę malejącej infiltracji wody w gruncie, co jest zgodne z fizyczną interpretacją powstawania powierzchniowej erozji wodnej. Gdyby infiltracja wody w danym gruncie była wyższa lub równa natężeniu opadu, wtedy nie byłoby spływu erozyjnego. W przypadku popiołów lotnych, zawierających w swym składzie dużo cząstek ilowych i pyłowych, infiltracja jest niska, a wskaźnik filtracji $k_{10} = 0,036 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$. Infiltracja wody w popiele zmienia się również w całym zakresie wartości kąta

α pochylecia powierzchni gruntu. Trzeba mieć na uwadze omówione już wcześniej niektóre właściwości chemiczne popiołów. Stąd też duża zmienność mierzonych wartości liczbowych tego parametru i trudność ich dopasowania do wybranego modelu równania regresji, co wynika z wartości współczynnika determinacji (R^2).

Do opisu zmienności M_s względem prędkości przepływu w piasku (V), przy danych poziomach energii kinetycznej opadu (E_k), zastosowano model równania regresji o postaci potęgowej:

$$M_s = a \cdot V^b \quad (3)$$

Osiągnięty na podstawie danych z eksperymentu najwyższy współczynnik determinacji $R^2 = 0,8415$ charakteryzuje analizowaną zależność regresyjną dla poziomu opadu $114,2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ i energii kinetycznej (E_k) = $669 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$. Przy tych poziomach opadu i energii następował intensywny rozbryzg, odrywanie i spływ zmytego materiału oraz zatykanie porów gruntu. Przy wzroście energii opadu zmniejsza się infiltracja do gruntu i zwiększa się wielkość zmywu erozyjnego. Przy niższych poziomach energii opadu ($E_k = 508 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ oraz $E_k = 385 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$) infiltracja wody wzrastała, co wpłynęło na zmniejszenie zmywu.



RYSUNEK 4. Wpływ infiltracji wody w gruncie (V) – popioły lotne, na zmyw (M_s) przy trzech różnych poziomach opadu (I_0) i pełnym zakresie zmienności kąta pochylenia powierzchni gruntu ($\alpha = 14\text{--}45^\circ$) i różnej energii kinetycznej (E_k)

FIGURE 4. Impact on fly-ash soil infiltration on erosion with various slope inclination (α from 14° to 45°) and different kinetic energy value (E_k)

Duża zmienność prędkości filtracji wody w piasku jest rezultatem wpływu na osiągnięte wartości liczbowe tego parametru innych czynników, zwłaszcza kąta α . Stąd też trudne dopasowanie modelu równania regresji do tych wartości liczbowych, o czym świadczą wartości współczynnika determinacji.

Dyskusja wyników oraz ich podsumowanie

W ramach rozwiązania podjętego problemu zaprojektowano eksperyment badawczy, pozwalający na ilościową ocenę strat (ubytków) gruntów spowodowanych procesem zmywu, powstającym na pochyłych, odkrytych powierzchniach utworów antropogenicznych. W tym celu do badań wybrano dwa rodzaje gruntów nasypanych: grunt antropogeniczny – popioły lotne, i grunt naturalny – piasek średni. Następnie napełniono nimi pojemniki, zagęszczono w nich grunt i umieszczono na stanowisku badawczym pod symulatorem opadu tak, by powierzchnia gruntu nachylona była w stosunku do poziomu pod określonym kątem α w zakresie od 14 do 45°. Tak przygotowane próbki gruntu poddano symulowanemu opadowi deszczu o różnym natężeniu. Warunki przeprowadzenia eksperymentu w laboratorium i pod namiotem zostały zbliżone do naturalnych. Obejmowały one przygotowanie próbek gruntu tak, by odpowiadały one wymaganiom nasypu budowlanego w zakresie: wskaźnika zagęszczenia, wilgotności, pochylenia powierzchni, natężenie zaś symulowanego opadu odpowiadało naturalnym opadom pochodzenia burzowego i nawalnego.

W ramach tego eksperymentu poszukiwano ilościowych zależności między masą zmywu – zmytego materiału (M_s), a czynnikami wywołującymi i kształtującymi proces erozji. Wybrano pięć czynników opisujących ilościowe zależności, wpływające na zjawisko powstawania i kształtowania zmywu na pochyłych powierzchniach badanych gruntów nasypanych (utworów antropogenicznych). Czynniki te potraktowano jako zmienne niezależne i poddano ocenie ich wpływ na zmyw (zmienna zależna), z zastosowaniem metod analizy regresji jednej zmiennej i regresji wielorakiej.

Należą do nich cztery czynniki charakteryzujące właściwości fizyczne i mechaniczne badanych gruntów, przede wszystkim wskaźnik zagęszczenia (I_s), prędkość filtracji (V), wilgotność gruntu (W), a także czynnik topograficzny ($\tan \alpha$), gdyż pochylenia skarpy (zbocza) utworu antropogenicznego uwarunkowane jest wielkością kąta tarcia danego gruntu, uzależnionego od jego składu mechanicznego i spójności. Prędkość filtracji (V) jest czynnikiem zależnym od właściwości filtracyjnych gruntu, wyrażanych współczynnikiem filtracji (k), gradientu hydraulicznego i różnicy ciśnień, jak również drożności porów (skutki zjawiska sufozji lub kolmatacji gruntu). Natomiast piąty czynnik – energia kinetyczna opadu (E_k), jest pochodną natężenia kropli deszczu, spadających z określoną prędkością i masą na nieosłoniętą powierzchnię gruntu. Pod wpływem energii kinetycznej opadu tych kropli następuje mechaniczne uderzenie, wrywanie, rozbryzg i wymywanie z powierzchniowej warstwy cząstek gruntu, a następnie ich spływ po

pochyłej powierzchni skarpy. Tak więc to czynnik E_k powoduje powstawanie i kształtowanie zmywu.

Na podstawie wyników liniowych i nieliniowych modeli regresji można stwierdzić, że pełny zestaw tych pięciu czynników (cech ilościowych), występujących w różnym składzie i liczbie, z różną siłą wpływa na poziom i kształtowanie zmywu dwóch badanych gruntów. Oznacza to, że wybór tych czynników dobrze opisuje zależność ich wpływu na powstawanie, poziom i kształtowanie zmywu na powierzchniach utworów antropogenicznych.

Wnioski

Bardziej podatny na erozję wodną jest piasek średni niż popioły lotne, przy czym podatność ta uzależniona jest głównie od składu mechanicznego gruntu. Uwidacznia się to w przypadku piasku średniego niezawierającego cząstek ilastych. W przypadku popiołów lotnych silny wpływ na mniejszą podatność tego gruntu na zmyw, oprócz dużej zawartości cząstek ilastych i pyłowych, mają także właściwości chemiczne (zawartość aktywnego CaO), wywołujące proces hydratacji.

Spośród czynników najbardziej wpływających na wzrost poziomu zmywu w przypadku piasków i popiołów lotnych ma kąt pochylenia powierzchni zbocza ($\tan \alpha$) oraz energia kinetyczna opadu (E_k), przy czym na wzrost zmywu (M_s) piasku istotnie wpływają zmienne W – wilgotność gruntu, I_s – wskaźnik zagęszczenia, a na jej ograniczenie – prędkość filtracji wody (V). Na wzrost

zmywu popiołów lotnych wpływa istotnie zmienna W , a na jej ograniczenie zmienne I_s i V .

Roślinność pokrywająca skarpy, będąca rezultatem zastosowania hydroobsiewu, w miarę rozwoju wegetacyjnego znacznie zmniejsza intensywność procesu erozji.

Zarówno właściwa technologia formowania skarp (z zachowaniem wymaganego zagęszczenia), jak i sposób nakładania poszczególnych warstw hydromieszanki o odpowiednich właściwościach gwarantują skuteczność hydroobsiewu od chwili naniesienia, jako metody ochrony przeciwozyjnej powierzchni pochyłych utworów antropogenicznych.

Literatura

- COOPIN N.J., RICHARDS I.G. 1990: Use of Vegetation in Civil Engineering. CIRIA – Butterworths, Londyn.
- GŁAŻEWSKI M. 1995: Zastosowanie osadów ściekowych i popiołów lotnych do budowy zboczy zwałowisk odpadów oraz wysypisk komunalnych z wykorzystaniem techniki hydroobsiewu. I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalniach ścieków”. Politechnika Częstochowska, Częstochowa.
- GŁAŻEWSKI M. 2003. Hydroobsiew jako metoda ochrony przeciwozyjnej pochyłych powierzchni antropogenicznych. Prace naukowe IBMER 1(6).
- GŁAŻEWSKI M., KALOTKA J. 1999: Hydrodynamic seeding with the use of sewage sludge and fly-ashes for slope protection. Slope Stability Engineering. Is-Shikoku'99.
- GŁAŻEWSKI M., WIERZBICKI M. 2003: Hydromulczowanie i iniekcja z użyciem osadów ściekowych – skuteczny sposób użyczniania oraz ochrony przeciwozyjnej skarp antropogenicznych utworów nasypowych. II Mię-

- dzynarodowa i XIII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowe spojrzenie na osady ściekowe. Odnawialne źródła energii”. Politechnika Częstochowska, Częstochowa.
- Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej nr EN-4435/M10/84. Warunki przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych z oczyszczalni komunalnych metodą hydroobsiewu.
- OST/D-06.0101, 2001. Ogólne specyfikacje techniczne. Umocnienie powierzchniowe skarp, rowów i ścieków. BZDBDiM/GDDKiA, Warszawa.
- P-147319, 1986. Sposób hydromechanicznego siewu.
- P-162546, 1990. Sposób umacniania skarp o pochyleniu stoku naturalnego i naruszonej strukturze gruntu.
- PN-R-04152, 1997. Erozja i melioracje przeciwoerozyjne. Terminologia.
- PN-R-65023, 1999. Materiał siewny. Nasiona roślin rolniczych.
- PN-S-02205, 1998. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. DzU nr 134, poz. 1140.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów. DzU 03.61.549. z dnia 10 kwietnia 2003 r.

Summary

Evaluation of erosion rainwash of structure slopes mode of fly-ash. Technical meaning of the word “slope” assing significantly inclined area which joins two horizontal or almost horizontal surfaces lying

on different heighth. In this meaning, slope replaces and acts as resistance walls. The slopes prtect embankments and excavations, reinforce drainage ditches and regular riverbeds. The slope is a construction element of earthen structures. Reinforcement may be biological (similar to the natural exploitation) or technical (artificial). Biological reinforcement may be made of sustainable turf fortified by bushes and sometimes by trees. “Slope” means not only inclined areas of ground centre but also adherent horizontal strips of suitable wideness at road crown and toe. The investigations concerning rainwashes were conducted under laboratory (repeatable) conditions, where the formation and shaping of water erosion processes were simulated. Sloped areas (14–34°) of antropogenic structures from natural soils (medium sand) and antropogenic soils (fly-ash) were tested. Vegetation is widely used in civil engineering as a way of reducing the visual impact of civil engineering works and enhancing the quality of the landscape. It can also perform an important engineering function because of its direct influence on the soil both at the surface, protecting and restraining the soil, and at depth, increasing the strenght and competence of the soil mass. Vegetation can also very significantly affect soil moisture. All these effects may be adverse or beneficial, depending on the circumstances, and most have direct engineering relevance.

Author’s address:

Marian Głazewski
Instytut Budownictwa, Mechanizacji
i Elektryfikacji Rolnictwa
ul. Rakowiecka 32, 02-532 Warszawa
Poland

Załącznik 1

TABELA 1. Wyniki badań popiołów lotnych z mokrego składowiska EC Żerań
TABLE 1. Results of fly ash tests from wet deposit EC Żerań

Lp. No	Badana cecha gruntu Tested soil parameter	Wynik Result
1	Konsystencja	materiał w stanie sypkim
2	Wilgotność naturalna (W_n)	20–78%
3	Wilgotność optymalna dla uzyskania maksymalnego zagęszczenia (W_{opt})	45,7%
4	Gęstość właściwa	2,08 g·cm ⁻³
5	Gęstość objętościowa: a) w stanie luźnym – popiół suchy – popiół wilgotny o wilgotności $W_n = 30\%$, wskaźnik zagęszczenia $I_s = 0,652$ b) w stanie max zagęszczenia wskaźnik zagęszczenia $I_s = 1,0$; $W_{opt} = 45,7\%$	0,934 g·cm ⁻³ 1,023 g·cm ⁻³ 1,361 g·cm ⁻³
6	Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego a) w stanie luźnym $I_s = 0,65$, $W_n = 30\%$ b) w stanie max zagęszczenia (przy $I_s = 1,0$ i $W_{opt} = 45,7\%$)	0,940 g·cm ⁻³ 0,795 g·cm ⁻³
7	Porowatość (n) przy wskaźniku zagęszczenia $I_s = 1,0$	$n = 0,54$
8	Wskaźnik porowatości (e) przy $I_s = 1,0$	$e = 1,21$
9	Współczynnik filtracji – wodoprzepuszczalności (k_{10}) przy $I_s = 0,98$	$k_{10} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$
10	Kąt tarcia wewnętrznego (φ) i spójność (C) a) przy wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,88$ – przed nasyceniem wodą – po nasyceniu wodą b) przy wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,94$ – przed nasyceniem wodą – po nasyceniu wodą c) przy wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,98$ – przed nasyceniem wodą – po nasyceniu wodą przy wilgotności optymalnej $W_{opt} = 45,7\%$ i wilgotności naturalnej 48,5%	$\varphi = 31^{\circ}40'$; $C = 35 \text{ kPa}$ $\varphi = 27^{\circ}55'$; $C = 28 \text{ kPa}$ $\varphi = 34^{\circ}26'$; $C = 38 \text{ kPa}$ $\varphi = 32^{\circ}48'$; $C = 32 \text{ kPa}$ $\varphi = 37^{\circ}36'$; $C = 41 \text{ kPa}$ $\varphi = 35^{\circ}42'$; $C = 36 \text{ kPa}$
11	Wskaźnik piaskowy (W_p)	5
12	Powierzchnia właściwa	15–30 m ² ·g ⁻¹
13	Kwasowość pH w H ₂ O	8,7–10,5

TABELA 2. Wyniki badań piasku z obwałowań stawu osadowego z EC Pruszków II (w budowie)
 TABLE 2. Results of sand tests from embankments of sediment pond in EC Pruszków II

Lp. No	Badana cecha gruntu Tested soil parameter	Wynik Result
1	Konsystencja	materiał w stanie sypkim
2	Wilgotność naturalna (W_n)	8–9%
3	Wilgotność optymalna dla uzyskania maksymalnego zagęszczenia (W_{opt})	10,6%
4	Gęstość właściwa	2,58–2,64 g·cm ⁻³
5	Gęstość objętościowa a) w stanie luźnym – piasek suchy – piasek wilgotny o wilgotności $W_n = 90\%$, – wskaźnik zagęszczenia $I_s = 0,82$ b) w stanie max zagęszczenia wskaźnik zagęszczenia $I_s = 1,0$, $W_{opt} = 10,6\%$	1,650 g·cm ⁻³ 1,800 g·cm ⁻³ 1,997 g·cm ⁻³
6	Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego a) w stanie luźnym $I_s = 0,82$, $W_n = 9\%$ b) w stanie max zagęszczenia (przy $I_s = 1,0$ i $W_{opt} = 10,6\%$)	1,480 g·cm ⁻³ 1,806 g·cm ⁻³
7	Porowatość (n) przy wskaźniku zagęszczenia $I_s = 1,0$	$n = 0,3–0,32$
8	Wskaźnik porowatości (e) przy $I_s = 1,0$	$e = 0,42–0,46$
9	Współczynnik filtracji – wodoprzepuszczalności (k_{10}) przy $I_s = 0,98$	$k_{10} = 0,115 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$
10	Kąt tarcia wewnętrznego (φ) i spójność (C) a) przy wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,88$ – przed nasyceniem wodą – po nasyceniu wodą b) przy wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,94$ – przed nasyceniem wodą – po nasyceniu wodą c) przy wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,98$ – przed nasyceniem wodą – po nasyceniu wodą	$\varphi = 32^{\circ}35'$; $C = 0,0 \text{ kPa}$ $\varphi = 30^{\circ}55'$; $C = 0,0 \text{ kPa}$ $\varphi = 35^{\circ}10'$; $C = 0,0 \text{ kPa}$ $\varphi = 34^{\circ}25'$; $C = 0,0 \text{ kPa}$ $\varphi = 38^{\circ}15'$; $C = 0,0 \text{ kPa}$ $\varphi = 37^{\circ}35'$; $C = 0,0 \text{ kPa}$
11	Wskaźnik piaskowy (W_p)	71
12	Powierzchnia właściwa	0,3–0,5 m ² ·g ⁻¹
13	Kwasowość pH w H ₂ O	5,5