

Wykorzystanie geokompozytów sorbujących wodę do ochrony skarp budowli ziemnych przed erozją

Mgr inż. Michał Śpitalniak

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji

Projektując budowle ziemne, takie jak wały przeciwpodziowe, zapory i nasypy, należy zabezpieczyć powierzchnię skarp tych konstrukcji przed niszczącym działaniem wody i wiatru. W związku z tym projektuje się odpowiednie systemy ochronne w celu zabezpieczenia powierzchni skarpy. Przy doborze materiałów w takich systemach należy rozważyć wiele czynników: warunki eksploatacji, warunki atmosferyczne, ekspozycję, wysokość i nachylenie skarpy, a w przypadku darni wybrać odpowiednie gatunki traw. Najtańszym rozwiązaniem i zarazem jednym z najbardziej efektywnych jest obsiew lub darniowanie skarp [5]. Niestety mimo niskich kosztów wykonania pokrycia trawiastego, często napotyka się na trudności z utrzymaniem roślin w dobrym stanie i ich pielęgnacją. Problemy wynikają z konieczności porostu pochyłej powierzchni, jaką jest skarpa, gdyż nachylenie znacząco wpływa na rozkład wilgotności gleby i podatność na procesy erozyjne. W wyniku wystąpienia opadu na niezadarnionej powierzchni skarpy łatwiej dochodzi do wymycia części nasion oraz humusu [6].

Zjawisko erozji wodnej jest efektem wypłukiwania luźnych cząstek gruntu z powierzchni terenu przez spływającą wodę lub odpajanie gleby w wyniku działania energii kinetycznej kropli deszczu. W zależności od rodzaju roślin i gęstości zadarnienia ilości wymywanej gleby mogą różnić się znacznie [6, 21]. Usuwanie skutków erozji jest jednym z głównych problemów w utrzymaniu i eksploatacji nasypów i pochłania do 20% kosztów robót ziemnych [2]. Stąd też rozwój technologii zabezpieczeń biotechnicznych, takich jak: hydroobsiew, biomaty, superabsorbenty polimerowe czy geokompozyty sorbujące wodę.

ROLA TRAW W OCHRONIE SKARP PRZED EROZJĄ

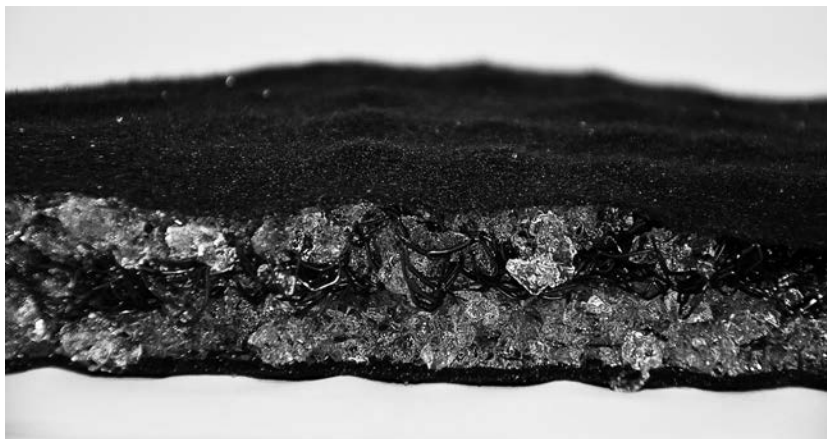
Darni chroni skarpe przed negatywnymi skutkami erozji wodnej przez zmniejszenie prędkości spływającej wody. Części naziemne roślin stanowią osłonę przed rozbrzygiem. Tylko około 10 ÷ 20% wody opadowej spływa po powierzchni w pełni zadarnionej, od 30 ÷ 40% spływa po skarpie słabo zadarnionej, a od 60 ÷ 70% opadu spływa po skarpie bez darni [15]. Rośliny,

pobierając wodę z podłoża, kształtują jego wilgotność, co powoduje zmianę ciśnienia wody w porach i naprężeń efektywnych [4]. Odpowiednio ukorzenione rośliny mogą znacząco wpływać na wzrost odporności skarpy na erozję, a także na możliwość wystąpienia przypowierzchniowych zsuwów [4, 11, 12]. Skarpa porośnięta dobrze rozwiniętą roślinnością jest dodatkowo zbrojona poprzez korzenie. Wpływ korzeni traw na wytrzymałość gruntów na skarpach przeanalizowano w pracy Mafiana i in. [12]. Według autorów 2/3 awarii skarp jest związanych z płytkim zsuwem zachodzącym w płaszczyźnie poślizgu zalegającej nie głębiej jak 1m, a więc w strefie, gdzie można polepszyć warunki stateczności przez wprowadzenie odpowiednich roślin [12]. Wyniki badań potwierdzających korzystny wpływ korzeni roślin na parametry wytrzymałościowe gleb opublikowali także Jeż [4], Gray i Sotir [3], Wu [22] oraz Norris i in. [16].

GEOKOMPOZYTY SORBUJĄCE WODĘ

Superabsorbenty są od dawna stosowane do zwiększania retencji wody w glebie. Najprostszą metodą stosowania superabsorbentów jest ich bezpośrednie zmieszanie z glebą. Stwierdzono jednak, że taki sposób ich zastosowania pogarsza parametry wytrzymałościowe gleb. Bezpośrednie mieszanie superabsorbentów z glebą zmniejsza ich zdolność do swobodnego pęcznienia, przez co ich potencjał nie jest w pełni wykorzystany. Ponadto zmniejszają one przepuszczalność gleby i w ekstremalnym przypadku mogą uniemożliwić uprawę maszynową. Natomiast na skarpach taki sposób aplikacji może doprowadzić do zsuwu powierzchniowego [7, 10, 17, 19, 20, 23].

Niekorzystne cechy, które zaobserwowano przez lata użytkowania superabsorbentów, zniwelowano, tworząc geokompozyty sorbujące wodę (GSW), które wdrożono w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w ramach projektu „Geokompozyty sorbujące wodę – innowacyjne technologie wspomagające wegetację roślin”. Pomysł GSW opatentowano i skomercjalizowano. Geokompozyt sorbujący wodę zbudowany jest z kilku elementów: geowłókniny, której



Rys. 1. Geokompozyt sorbujący wodę w formie maty (fot. Michał Śpitalniak)

zadaniem jest wchłanianie wody znajdującej się w otoczeniu geokompozytu (rys. 1). W dalszej kolejności woda przekazywana jest do superabsorbentu, który magazynuje wodę. Struktura włókniny pozwala na swobodny przepływ wody oraz na penetrację nawet przez najmniejsze korzenie o średnicy 0,2 mm. Szkielet usztywniający geokompozyt ma kształt i strukturę dobraną do zastosowania (skarpy budowli ziemnych, doniczki, gazony czy uprawa roślin w gruncie). Geokompozyty sorbujące wodę mogą być produkowane w formie punktowej, liniowej oraz w formie maty. W geokompozycie, którego przeznaczeniem jest stymulowanie wzrostu zabezpieczenia biotechnicznego funkcję szkieletu pełni siatka przeciwerozyjna wykonana z polietylenu HDPE, sam geokompozyt ma formę maty. Opisany geokompozyt może być kotwiony w gruncie na dowolną głębokość. Konieczność stosowania szkieletu wynika również z faktu, że po wbudowaniu geokompozytu w konstrukcję ziemną, nawet po dogęszczeniu skarp, superabsorbent umieszczony w geokompozycie będzie miał miejsce na zwiększenie swojej objętości w wyniku absorpcji wody. Ostatnim istotnym składnikiem geokompozytu sorbującego wodę jest substancja absorbująca wodę – superabsorbent polimerowy [8, 18].

Celem pracy było sprawdzenie skuteczności GSW we wspomaganiu wegetacji traw na skarpach budowli ziemnych oraz określenie optymalnej głębokości zainstalowania geokompozytów w skarpie.

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Opis stanowiska doświadczalnego

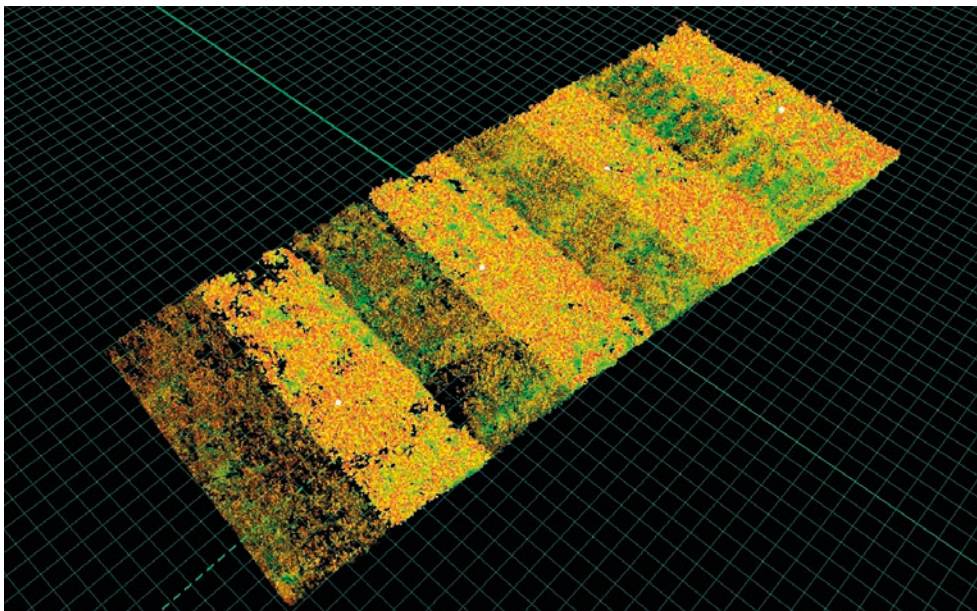
Poletko doświadczalne znajduje się w Pierwoszowie, w gminie Wisznia Mała, niedaleko Trzebnicy (N:51°15'18.95", E:17°5'50.35"). Badania przeprowadzono na skarpach wyeksploatowanej kopalni surowców mineralnych. Zwierciadło wody gruntowej położone jest na głębokości około 8 m poniżej podstawy skarpy. Nachylenie skarpy wynosi 1:3. Skarpę podzielono na osiem mniejszych poletek o równej powierzchni. Na czterech z nich (nieparzystych) umieszczono geokompozyt sorbujący wodę o wymiarach $L = 74$ cm, $H = 5,5$ cm, $W = 9$ cm, na każdym poletku na innej głębokości. W prezentowanym doświadczeniu wykorzystano geokompozyty liniowe. Bardziej efektywny GSW w formie maty opracowano w późniejszym czasie. Na poletku 1

geokompozyt umieszczono na głębokości 5 cm, na poletku 3 na głębokości 10 cm, na poletku 5 na głębokości 20 cm, a na poletku 7 na głębokości 30 cm. Poletka 2, 4, 6, 8 były poletkami kontrolnymi. Na poletkach: 1, 3, 5, 7 geokompozyty rozłożono w liniach poziomych naprzemiennie w taki sposób, aby ułożyć na całym poletku geokompozyty w odstępach co 30 cm, pozostawiając między nimi puste przestrzenie. Każde poletko ma 5 m szerokości i 16 m długości. Warstwa powierzchniowa skarpy jest zbudowana z pyłów oraz pyłów piaszczystych, lokalnie przewarstwionych piaskiem gliniastym. Na poletkach doświadczalnych wysiano mieszankę traw o składzie: Życica trwała 40%, Kostrzewa czerwona 45%, Kostrzewa owcza 10%, Wiechlina łąkowa 5%.

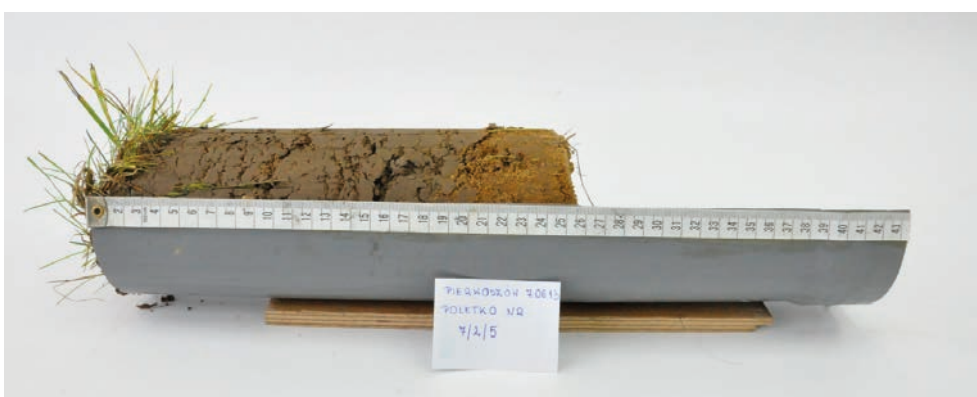
Opis metody badań

Wykorzystując naziemny skaner laserowy 3D firmy Leica ScanStation 2, wykonano skanowanie powierzchni skarpy doświadczalnej. Pomiar przeprowadzono z dwóch stanowisk wyznaczonych geodezyjnie. Pozyskane dane (rys. 2) poddano obróbce: w pierwszej kolejności za pomocą algorytmów matematycznych wypoziomowano skarpę, co oznacza, że przedstawiono układ odniesienia tak, aby oś Z była skierowana równolegle do normalnej skarpy, a pozostałe osie wzdłuż oraz w poprzek zbocza. Następnie przeprowadzono kontrolę poziomu skarpy i wyeksportowano dane w postaci nowej chmury punktów. Tak przygotowane dane poddano analizie w programie Statistica v.10. Jednakże przed analizą statystyczną, ze względu na dużą liczbę danych, dane poddano uśrednieniu co 10 tys. punktów. Założenia o równości wariancji w grupach sprawdzono testem Levene'a. Test nie wykazał jednorodności wariancji, co wyklucza zastosowanie badań parametrycznych do porównywania różnic wysokości pomiędzy badanymi grupami/poletkami. Do określenia, czy różnice pomiędzy wysokościami traw na poletku z geokompozytem i poletku kontrolnym są istotne statystycznie, wykorzystano nieparametryczny test U Manna-Whitneya.

Próbki gleby i traw pobierano w okresie wegetacyjnym 2013 roku, w trzecim roku od instalacji geokompozytów sorbujących wodę. W celu określenia masy części naziemnych traw na poszczególnych poletkach skoszono trawę. Materiał gromadzono w koszu kosiarki, a następnie ważono. Dodatkowo, pobierano próby gleby z darnią (rys. 3) do badania biometrycznego korzeni. Próbkę pobierano do stalowych cylindrów o średnicy 1



Rys. 2. Rzut izometryczny na wypoziomowaną skarpę w postaci chmury punktów



Rys. 3. Przykładowa próbka darni pobrana do badań biometrycznych (fot. Michał Śpitalniak)

10 cm i długości 30 cm. Po dostarczeniu próbek do laboratorium korzenie płukano, po czym próbkę umieszczano w kalibrowanym skanerze EPSON Expression 10000XL Flatbed Scanner, gdzie za pomocą oprogramowania WhinRHIZO Pro przeprowadzano mapowanie systemu korzeniowego. Następnie, za pomocą makra XLRhizo 2012a przeanalizowano zebrane dane.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Naziemny skanowanie laserowe

Dane uzyskane z naziemnego skanowania poddano analizie statystycznej i przedstawiono w tabl. 1. Różnice wysokości między poletkami z geokompozytem i kontrolą były istotne statystycznie w przypadku par poletków 1 i 2, 3 i 4, 7 i 8. Na rys. 4 przedstawiono, obliczone na podstawie skanowania powierzchni, różnice w wysokościach traw względem poletków kontrolnych. Z analizy danych wynika, że geokompozyt sorbuje wodę w istotny sposób wpłynął na wysokość trawy na poletku 7, zwiększył ją średnio o około 10 cm. Na parach poletków 1 i 2 oraz 3 i 4 wyższa trawa wyrosła na poletkach kontrolnych. Na polet-

Tabl. 1. Rzędne z naziemnego skanowania laserowego w układzie lokalnym badanej skarpy

Porównanie wartości dla pól	Średnia/mediana z pola z geokompozytem	Średnia/mediana z pola kontrolnego	p-value
1 i 2	99,671/99,679	99,888/99,891	0,000000*
3 i 4	99,964/99,924	100,103/100,088	0,000000*
5 i 6	100,017/99,987	100,031/100,000	0,573298
7 i 8	99,815/99,785	99,763/99,747	0,031638*

*różnice istotne statystycznie dla $\alpha = 0,05$

kach 5 i 6 różnice wysokości traw nie były istotne statystycznie. Na potrzeby analizy przyjęto lokalny układ współrzędnych.

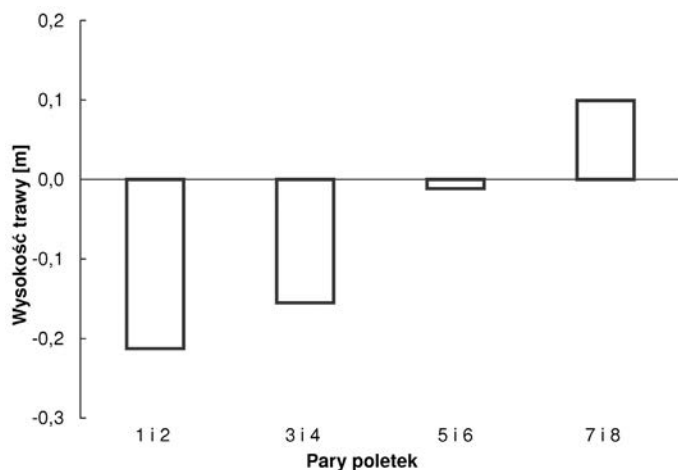
Biomasa nadziemna traw

W okresie letnim 2013 roku skoszono trawę na poletkach doświadczalnych. Zebraną biomasę po koszeniu ważono. Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 5.

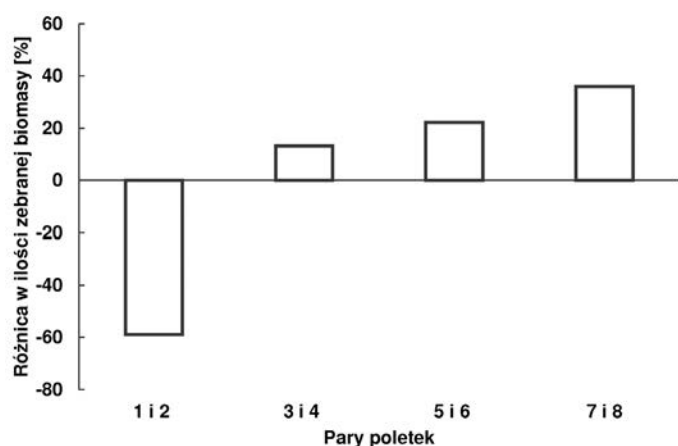
Analiza biometryczna korzeni traw

Dane pozyskane z mapowania korzeni spełniały założenia wykorzystania badań parametrycznych. Zastosowano więc jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA. Liczba próbek wynosiła $N = 20$ na poletko. Wyniki zestawiono w tabl. 2 i na rys. 6 ÷ 8.

Różnice średniej średnicy korzeni i objętości bryły korzeniowej w parametrach traw z poletka 7 i 8 są istotne statystycznie. Średnia średnica korzeni była o 33%, a średnia objętość bryły korzeniowej była o 40% większa na poletku z zainstalowanym geokompozytem sorbującym wodę.

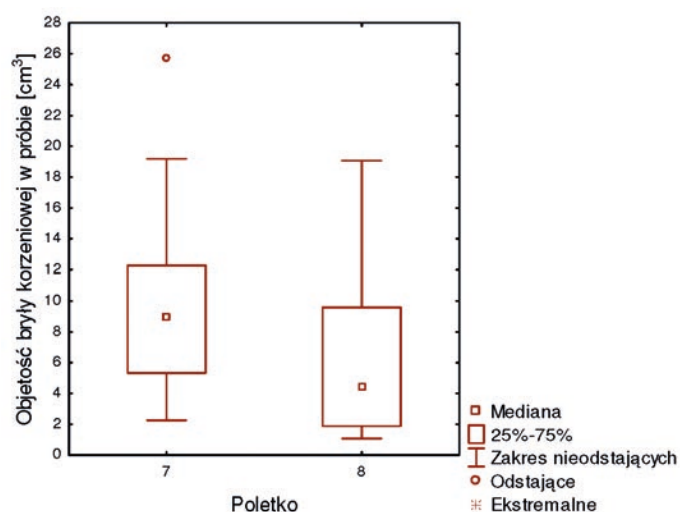


Rys. 4. Różnice w wysokości traw względem poletek kontrolnych

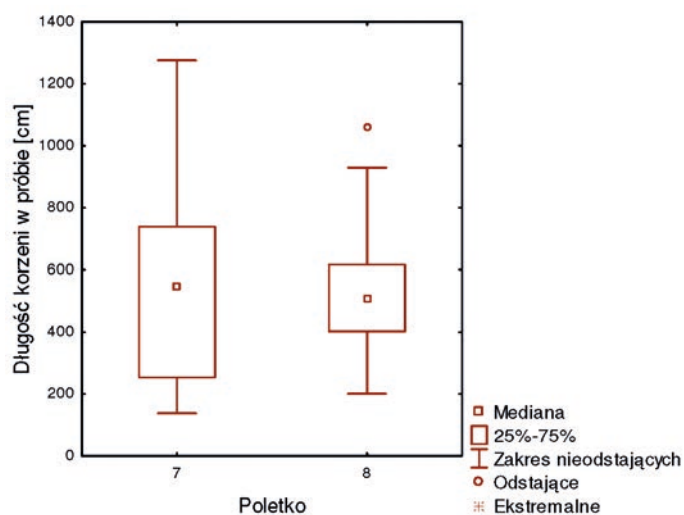


Rys. 5. Różnice ilości zebranej biomasy względem poletek kontrolnych

W pierwszej parze poletek większy przyrost biomasy odnotowano na poletku kontrolnym, gdzie różnica zebranej świeżej biomasy wyniosła 58,8%. W kolejnej parze o 13,1% więcej biomasy zebrano na poletku z geokompozytem. Porównując poletka 5 i 6 o 22,2% więcej biomasy uzyskano na poletku z GSW. W przypadku pary poletek 7 i 8 więcej biomasy (o 36%) zebrano na poletku z geokompozytem sorbującym wodę. Analiza wyników ze skaningu laserowego i biomasy traw wykazała, że GSW najefektywniej wpłynął na rozwój traw na poletku 7. Dlatego też podjęto decyzję o pobraniu próbek korzeni z poletka 7 i 8 w celu dalszej analizy biometrycznej. W ramach badania pobrano 40 próbek korzeni za pomocą stalowych cylindrów o długości 30 cm i średnicy 10 cm. W przypadku każdej pobranej próbki przeanalizowano takie parametry, jak: objętość korzeni, sumaryczna długość korzeni, średnia średnica korzeni.



Rys. 6. Objętości bryły korzeniowej traw w próbach z poletka 7 i 8

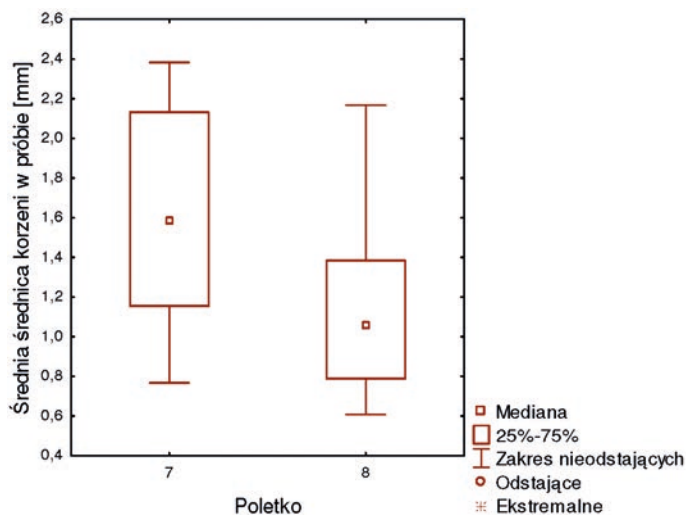


Rys. 7. Długości korzeni traw w próbach z poletka 7 i 8

Tabl. 2. Wyniki analizy biometrycznej korzeni traw na poletku 7 i 8 wykonanej z użyciem programu WhinRHIZO i XLRhizo 2012a

	Długość korzeni w próbce [cm]	<i>p</i> -value	Średnia średnica korzeni w próbce [mm]	<i>p</i> -value	Objętość bryły korzeniowej w próbce [cm³]	<i>p</i> -value
Poletko 7 Geokompozyt	557	0,854501	1,6	0,003225*	9,4	0,042784*
Poletko 8 Kontrola	546		1,2		6,7	

*różnice istotne statystycznie dla $\alpha = 0,05$



Rys. 8. Średnie średnice korzeni traw w próbach z poletka 7 i 8

Podobne wyniki z zastosowania GSW uzyskano na skarpach wału doświadczalnego Wrocław-Swojec (51°07'N, 17°08'E) [9]. Wykorzystano takie same geokompozyty sorbujące wodę, które zainstalowano na głębokości 30 cm w gruncie piaszczystym z warstwą humusu. Badania prowadzono przez trzy lata. Po zakończeniu badań, w 2013 roku, odnotowano 56% wzrost średniej średnicy korzeni w próbce, 130% wzrost objętości korzeni oraz 60% wzrost masy części nadziemnych na poletkach z geokompozytem.

Długości korzeni traw, po trzech latach doświadczenia, nie wykazały istotnych różnic. W badaniach Lejcusia i in. [9] wykazano natomiast szybszy rozwój systemu korzeniowego traw w pierwszym i drugim roku obserwacji na poletkach z zainstalowanym geokompozytem.

W przypadku traw z wału doświadczalnego Wrocław-Swojec zaobserwowano silną dodatnią zależność pomiędzy objętością i średnią średnicą korzeni a wytrzymałością na ścinanie. Zależności dotyczące wpływu parametrów biometrycznych korzeni na wytrzymałość gruntu odnotowano także w pracach Mattia i in., Ali i in. oraz Naghdi i in. [1, 13, 14]. Oddziaływanie GSW na parametry darni należy rozpatrywać, biorąc pod uwagę zarówno korzenie, jak i rozwój biomasy. Naziemne części roślin odgrywają znaczącą rolę w ochronie skarp przed rozbryzgiem i erozją powierzchniową, natomiast podziemne w ochronie przed erozją wąwozową i żłobinową [16].

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z przeprowadzonych analiz biometrycznych części naziemnych i podziemnych traw wynika, że optymalna głębokość instalowania geokompozytu sorbującego wodę na skarpach w analizowanych warunkach środowiskowych wynosi 30 cm. Znaczący wpływ GSW na ilość biomasy uzyskano także przy głębokości instalacji 10 i 20 cm. Geokompozyt sorbujący wodę wpłynął pozytywnie na rozwój darni. W przypadku aplikacji geokompozytu na skarpie na głębokości 30 cm uzyskano, w porównaniu z poletkiem kontrolnym, wzrost wysokości trawy o około 10 cm, średniej średnicy korzeni o 33%, objętość bryły

korzeniowej zwiększoną o 40% oraz ilość zebranej świeżej biomasy większą o 36%.

LITERATURA

1. Ali F. H., Osman N.: Shear strength of a soil containing vegetation roots. *Soils and Foundations*, 2008, 48 (4): 587-596.
2. Głazewski M., Piechowicz K.: Budowa i umocnienie przeciwoerozyjne skarp drogowych. *Drogi i Mosty* 2/2009, 5-31.
3. Gray D. H., Sotir R. B.: *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization. A practical guide for erosion control*. John Wiley & Sons, INC. USA 1990.
4. Jeż J.: *Biogeotechnika*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008.
5. Jędryka E.: Budowle wodne z naturalnych materiałów. *Woda-Środowisko-Obszary-Wiejskie*, 2007, t. 7 z. 2b (21), 55-74.
6. Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R.: *Erozja gleb w Polsce – skutki środowiskowe i gospodarcze, działania zaradcze*. Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy. Monografie i rozprawy Naukowe nr 44, Puławy 2014.
7. Laftah W. A., Hashim S., Ibrahim A. N.: Polymer Hydrogels: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2011;50(14): 1475-1486. doi: 10.1080/03602559.2011.593082.
8. Lejcus K., Garlikowski D., Orzeszyna H., Pawłowski A.: *Geocomposite with superabsorbent in landfill recultivation and slope protection*. [W:] *Management of Pollutant Emission from Landfills and Sludge* (Eds.: Pawłowska & Pawłowski). London: Taylor & Francis Ltd; 2008.
9. Lejcuś K., Dąbrowska J., Garlikowski D., Śpitalniak M.: The application of water-absorbing geocomposites to support plant growth on slopes *Geosynthetics International*, 2015 22:6, 452-456 DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/jgein.15.00025>.
10. Lejcuś K., Orzeszyna H., Pawłowski A., Garlikowski D.: Wykorzystanie superabsorbentów w zabezpieczeniach przeciwoerozyjnych, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 9/2008, 189-194.
11. Loades K. W., Bengough A. G., Bransby M. F., Hallett P. D.: Planting density influence on fibrous root reinforcement of soils. *Ecological Engineering*. 2010, (36), 276-284.
12. Mañan S., Huat B., Ghiasi V.: Evaluation on Root Theories and Root Strenght Properties in Slope Stability. *European Journal of Scientific Research*. 2009. vol. 30 no. 4, 594-607.
13. Mattia Ch., Bischetti G. B., Gentile F.: Biotechnical characteristics of root systems of typical Mediterranean species. *Plant and Soil*, 2005, 278, 23-32.
14. Naghdi R., Maleki S., Abdi E., Mousavi R., Nikooy M.: Assesing the effect of Alnus roots and hilslope stability in order to use in soil bioengineering. *Journal of Forest Science*, 2013, 59(11), 417-423.
15. Najder T.: Wpływ roślinności na zmiany stateczności zboczy. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, nr 2/2003.
16. Norris J. E., Stokes A., Mickovski S. B., Cammeraat E., Van Beck R., Nicoll B.C., Achim A.: *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological solutions*. Springer, Dordrecht, The Netherlands 2008.
17. Orts W. J., Roa-Espinosa A., Sojka R. E., Glenn G. M., Imam S. H., Erlacher K., et al.: Use of synthetic polymers and biopolymers for soil stabilization in agricultural, construction, and military applications. *Journal of*

Materials in Civil Engineering. 2007;19(1), 58-66. doi: 10.1061/(asce)0899-1561(2007)19:1(58).

18. Orzeszyna H., Garlikowski D., Pawłowski A.: Using of geocomposite with superabsorbent synthetic polymers as water retention element in vegetative layers. *International Agrophysics* 2006, 20, 201-206.

19. Ramazani-Harandi M. J., Zohuriaan-Mehr M. J., Ershad-Langroudi A., Yousefi A. A., Kabiri K.: Rheological Determination of the Swollen Gel Strength of the Superabsorbent Polymer Hydrogels, *Polym. Test.*, 25, 470-474 (2006).

20. Sojka R., Lentz R., Westermann D.: 1998. Water and erosion management with multiple applications of polyacrylamide in furrow irrigation. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 62, Issue 6, 1672-1680.

21. Stępniewski K., Demczuk P., Rodzik J., Siwek K.: Związki między opadem deszczu a spływem powierzchniowym i splukiwaniem gleby na poletkach doświadczalnych o różnym użytkowaniu (Guciów – Roztocze Środkowe). *Prace i Studia Geograficzne*. 2010, T. 45, 229-241.

22. Wu T. H.: Effect of vegetation on slope stability, *Transportation Research Record* 965, Transportation Research Board, Washington, DC. 1984.

23. Yang L. X., Yang Y., Chen Z., Guo C. X., Li S. C.: Influence of super absorbent polymer on soil water retention, seed germination and plant survivals for rocky slopes eco-engineering. *Ecological Engineering*. 2014;62: 27-32. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.10.019.

INFORMACJA DODATKOWA: Opisane rozwiązanie opracowano na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu w ramach projektu „Geokompozyty sorbujące wodę – innowacyjne technologie wspomagające vegetację roślin”. Projekt zrealizowano w ramach POIG i był współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego: POIG.01.03.01-00-181/09-00. Rozwiązanie jest chronione patentem krajowym PL 211198 i europejskim EP2560472.