

# Wpływ biowłókniny z wełny owczej na rozwój roślin na dachach zielonych

The influence of sheep wool biotextile on plant development on green roofs

dr hab. inż. Wacław Brachaczek, prof. ATH (0000-0002-4782-8409), Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, mgr inż. Adam Chleboś (0000-0003-3429-8098), Interdyscyplinarna Szkoła Doktorska ATH w Bielsku-Białej, mgr inż. Remigiusz Zabolski, Sempre Farby Sp. z o.o.

DOI: 10.5604/01.3001.0054.3641

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono obserwacje i wyniki badań nad wpływem biowłókniny z wełny owczej na rozwój roślin na dachach zielonych. Badania prowadzone były przez 2 miesiące na dachu płaskim, w nasłonecznionych i wyeksponowanych na warunki atmosferyczne stanowiskach w okresie letnim. Wykonano 2 stanowiska różniące się podłożem i roślinnością: substrat ekstensywny z rozchodnikami i intensywny z bylinami o wyższych wymaganiach. Dla każdego stanowiska wykonano 3 sekcje: bez oraz z biowłókninami różniącymi się masą powierzchniową. Biowłókniny umieszczono w warstwie wegetacyjnej roślin. Trzy razy dziennie monitorowano warunki atmosferyczne i rozwój roślinności oraz sprawdzano wilgotność masową gruntu w strefie przypowierzchniowej, pod włókniną oraz wilgotność samej włókniny. Wyraźne różnice w rozwoju zaczęto obserwować w momencie, gdy rośliny ukorzeniły się w biowłókninie. Po czterech tygodniach od posadzenia roślin można było zauważyć, że roślinność na stanowiskach z biowłókniną rozwinęła się znacznie bardziej, niż te same rośliny w sekcjach bez włókniny. W okresach ciepłych i suchych obserwowano znacznie lepszy rozwój roślin na stanowiskach z biowłókniną, która utrzymywała wodę w warstwie wegetacyjnej i dostarczała cennych składników odżywczych.

**Słowa kluczowe:** biowłóknina, dachy zielone, wełna owcza, wilgotność gruntu, rozchodniki, byliny.

**Abstract:** The article presents observations and research results on the impact of sheep wool bio-based nonwoven on the development of plants on green roofs. The research was conducted for 2 months on a flat roof, in sunny and exposed to weather conditions positions during the summer. Two sets of sites were created, differing in substrate and vegetation: an extensive substrate with sedums and an intensive substrate with higher requirements with perennials. Three stations were made for each set: without and with bio-based nonwoven differing in a surface mass. The nonwoven was placed in the vegetation layer of plants. The weather conditions and the vegetation development were monitored three times a day and the mass moisture of the soil in the near-surface zone, under the nonwoven fabric and the moisture of the nonwoven fabric itself were checked. Clear differences in development began to be observed when the plants took root in the nonwoven. It was noticeable that four weeks after planting the plants, the vegetation in the sections with nonwoven had developed much more than the same plants in the sections without nonwoven. During warm and dry periods, much better plant development was observed in sites with nonwoven, which retained water in the vegetation layer and provided valuable nutrients.

**Keywords:** bio-based nonwoven, green roofs, sheep wool, soil moisture, sedums, perennials.

## 1. Wprowadzenie

Geosyntetyki są coraz częściej stosowane w ogrodnictwie i budownictwie lądowym. Materiały te jako agrowłókniny stosowane są w ogrodnictwie do ściółkowania i zabezpieczania roślin przed mrozem [1]. Geowłókniny do zastosowań budowlanych wykorzystywane są do wykonywania drenaży, dróg, zabezpieczania zboczy [1]. Rynek tych grup produktowych rozwija się, ponieważ powierzchnie przeznaczone do wykładania włókninami są duże. Nazwa biowłóknina tworzy nową kategorię i odnosi się do grupy produktów włóknistych z wełny owczej, które są tożsame w zastosowaniu do agrowłókniny, ale są w pełni biodegradowalne

i naturalne [2]. Materiał ten wpisuje się w założenia zrównoważonego rozwoju, gdyż wykonany jest z naturalnego materiału odpadowego [3]. Odpowiednio przygotowana wełna owcza po procesie igłowania tworzy biowłókninę [4]. Umieszczona w gruncie przytrzymuje wodę, chroni roślinę przed przemarzaniem i pozostawia przestrzeń na prawidłowe ukorzenie się roślin, dotleniając je [5]. Ponadto wspomaga rozwój roślinności, bowiem pod wpływem czynników atmosferycznych i środowiska w glebie ulega rozkładowi, użyźniając ją takimi składnikami jak m.in. azot, wapń, magnez, potas i siarka [4–7]. Wyniki przeprowadzonych badań jednoznacznie wskazują, że przekłada się to na wzrost plonów i pędów warzyw i bylin [5, 6].

Jednym z nowych zastosowań biowłókniny są dachy zielone zakładane na dachach płaskich lub o niewielkim nachyleniu (do 5–8,8%)[8], które coraz częściej spotkać można w centrach dużych miast. Pomimo różnych technologii ich wykonywania każdy z systemów zawiera warstwę drenażową i wegetacyjną. Najczęściej na warstwie drenażowej układa się mata drenażowa, geowłóknina filtracyjna, a następnie warstwa wegetacyjna stanowiąca substrat z roślinnością [9]. W większości, w technologiach tych wymagane jest stosowanie długodziałających nawozów oraz intensywne nawadnianie tak w okresie wzrostu roślin, jak i późniejszego ich rozwoju. Dachy zielone wpisują się w założenia strategii zrównoważonego rozwoju i gospodarowania wodami opadowymi, ponieważ zatrzymują one część wody opadowej, tym samym zmniejszając prędkość i objętość odpływających wód w obszarach zurbanizowanych. Wpływa to na poprawę jakości wód odpływających i redukcję ryzyka wystąpienia powodzi [9]. Wykorzystanie dachów zielonych przyczynia się do likwidacji miejskich wysp ciepła i obniżania temperatury w budynkach. Dzięki florze na dachach zielonych fauna powraca do miast, co skutkuje podtrzymywaniem ekosystemów. Dachy zielone w miastach redukują hałas, absorbują dwutlenek węgla i zwiększają produkcję tlenu [9]. Biowłóknina wspomagając wzrost i utrzymanie roślin na dachach jest niezbędnym elementem takich ekosystemów.

Celem badań było określenie wpływu biowłóknin o różnej masie powierzchniowej na rozwój roślin oraz właściwości retencyjne zielonych dachów intensywnych i ekstensywnych.

## 2. Metodyka badań

Do zrealizowania tego celu przygotowano po 2 zestawy stanowisk badawczych różniących się między sobą zastosowanym substratem wulkanicznym oraz odpowiadającą mu roślinnością. Stanowiska te umieszczone zostały na nasłonecznionym dachu w siedzibie firmy Sempre Farby znajdującym się w centrum Bielska-Białej. Do przygotowania poszczególnych stanowisk zastosowano typowe komponenty stosowane w dachach zielonych składających się z maty drenażowej, geowłókniny, substratu i biowłókniny. Najniższą warstwą każdego stanowiska była mata pełniąca funkcję rezerwuaru wody wykonana z tworzywa HDPE z systemem do drenażu oraz otworami dyfuzyjnymi. Na macie umieszczono geowłókninę poliestrową o gramaturze 300 g/m<sup>2</sup> w celu wyrównania powierzchni i zabezpieczeniu przed przenikaniem cząstek substratu do warstwy drenażowej. Na tak przygotowanej powierzchni ułożono dwa rodzaje substratów różniących się między sobą wodoprzepuszczalnością. Jeden rodzaj substratu: ekstensywny o  $K_f$  mniejszym niż 70 mm/min i intensywny o  $K_f$  mniejszym niż 30 mm/min, gdzie  $K_f$  to współczynnik wodoprzepuszczalności, której wartość jest mocno uzależniona od porowatości gruntu. Pozostałe właściwości substratów zamieszczono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Zestawienie właściwości zastosowanych substratów wulkanicznych

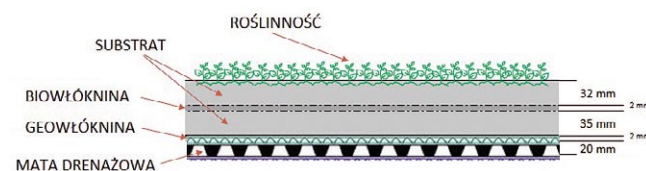
	Substrat ekstensywny	Substrat intensywny
Maksymalna pojemność wodna	35–65%	45–65%
Pojemność powietrzna przy max. pojemności wodnej	10–20%	20–20%
Zawartość materii ogranicznej	<50 g/dm <sup>3</sup>	<90 g/dm <sup>3</sup>
Współczynnik zagęszczenia	≤20%	≤20%
Wodoprzepuszczalność mod. $K_f$	>0,6–70 mm/min	>0,3–30 mm/min
Ciężar w stanie suchym	≤1100 kg/m <sup>3</sup>	≤950 kg/m <sup>3</sup>

Każdy zestaw stanowisk składał się z sekcji bez biowłókniny oraz sekcji z włókniną o masie powierzchniowej 200 g/m<sup>2</sup> (biowłóknina 200) i 400 g/m<sup>2</sup> (biowłóknina 400). Biowłóknina 200 charakteryzowała się mniejszą wodochłonnością niż biowłóknina 400, właściwości zastosowanych włóknin zestawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Zestawienie właściwości zastosowanych biowłóknin

	Biowłóknina 200	Biowłóknina 400
Masa powierzchniowa	200 ± 25 g/m <sup>2</sup>	400 ± 25 g/m <sup>2</sup>
Grubość przy nacisku 2 kPa	3,5 mm	5,1 mm
Grubość przy nacisku 20 kPa	2 mm	3,8 mm
Grubość przy nacisku 200 kPa	0,8 mm	1,6 mm
Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż	0,24 kN/m	1,35 kN/m
Wytrzymałość na rozciąganie w poprzek	0,18 kN/m	1,02 kN/m
Wodochłonność	500 g/m <sup>2</sup>	1400 g/m <sup>2</sup>

Włóknina umieszczana była w połowie wysokości substratu – w warstwie wegetacyjnej roślin. Pojedyncze stanowisko badawcze miało wymiary 93x125 cm – 1,16 m<sup>2</sup>, a jego kąt nachylenia wynosił około 3%. Łączna grubość wszystkich warstw na każdym stanowisku wynosiła około 9 cm. Przekrój warstw przykładowej sekcji stanowiska badawczego umieszczono na rysunku 1.

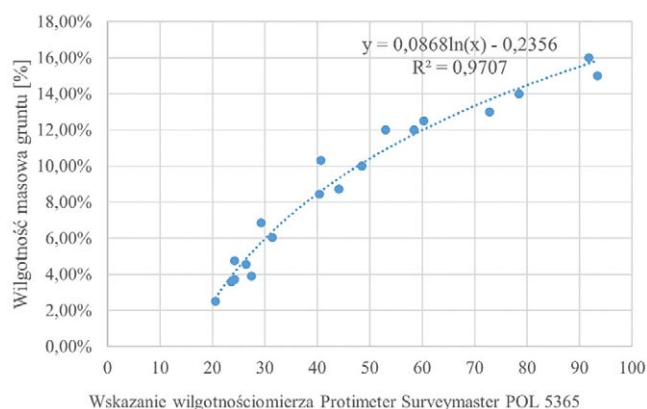


**Rys. 1.** Przekrój stanowiska badawczego z biowłókniną

Dla stanowiska z substratem ekstensywnym zastosowano roślinność o niskich wymaganiach i małym zapotrzebowaniu na wilgoć (rozchodniki), natomiast dla stanowiska z substratem intensywnym zastosowano roślinność o wyższych wymaganiach (mieszanka bylin – łąka kwietna).

Na stanowisku dachu intensywnego posadzono bylinową mieszankę siewną typu bioróżnorodność, w wysiewie po 50 g na każdą z sekcji. Mieszanka składa się z 55 różnych nasion roślin. Na stanowisku dachu ekstensywnego posadzone zostały sadzonki rozchodników o bryle korzeniowej  $\varnothing 2,5$  cm, w liczbie po 61 szt. na sekcję. Tak przygotowane stanowisko umieszczono na płaskim dachu. Stanowiska nie były w żaden sposób dodatkowo pielęgnowane np. poprzez nawożenie, czy podlewanie.

Badania polegały na codziennej obserwacji rozwoju roślin, warunków pogodowych (opady, temperatura, zachmurzenie) oraz wilgotności gruntu badanej w strefie przypowierzchniowej, w biowłókninie oraz pod włókniną. Dla sekcji bez biowłókniny wykonywane były jedynie pomiary w strefie przypowierzchniowej i w dolnej partii substratu. Na takiej samej głębokości pomiary były wykonywane w pozostałych sekcjach pod włókniną. Pomiary wilgotności masowej wykonywano metodami suszarkowo-wagową oraz elektrooporową z użyciem miernika Protimeter Surveymaster POL 5365. Bezpośrednie wskazania wilgotnościomierza przeliczano na wartości wilgotności masowej badanego gruntu dzięki przelicznikowi, który wykonano poprzez porównanie wskazań urządzenia na próbkach, a następnie sprawdzeniu jego rzeczywistej wilgotności metodą suszarkowo-wagową. Następnie na wysuszonych do stałej masy próbkach ponownie zwiększano wilgotność do ustalonej poprzez dodanie odpowiedniej ilości wody i sprawdzano wskazania wilgotnościomierza. Na podstawie kompletu 20 pomiarów objęta metodami wyznaczono logarytmiczny przelicznik skali, którego współczynnik dopasowania wyniósł  $R^2 = 0,9707$ . Ustaloną zależność pomiędzy dwiema metodami pomiarów przedstawiono na rysunku 2. Instalację badawczą zamontowano 20 lipca 2023 r. i w tym dniu wykonano zasadzenia roślin. Obserwacje prowadzono w okresie letnim, od sierpnia do września 2023. W dniu



**Rys. 2.** Zależność pomiędzy wilgotnością masową gruntu a wskazaniem wilgotnościomierza

nasadzenia wszystkie sekcje zostały podlane 5 l wody każda. Następnie przez cały czas trwania badań w żaden sposób nie nawadniano roślin, tak aby jedynie woda opadowa i warunki atmosferyczne oddziaływały na stanowiska badawcze.

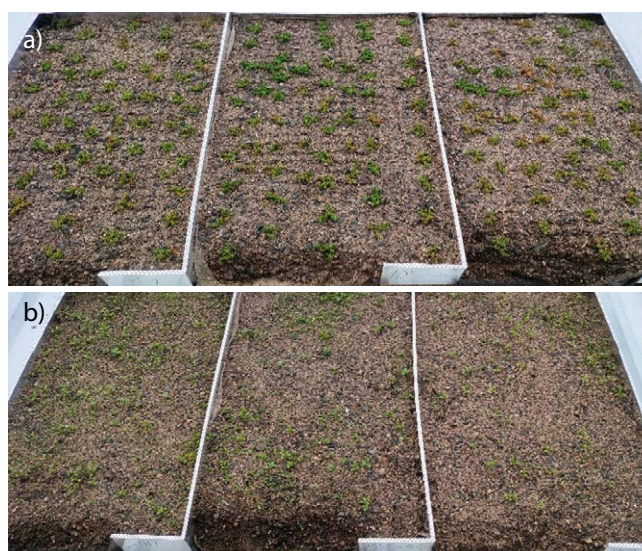
### 3. Wyniki badań i dyskusja

W pierwszych dwóch tygodniach obserwacji rozwój roślinności na poszczególnych sekcjach stanowisk badawczych przebiegał w sposób zbliżony. Początkowy okres wzrostu roślin, gdzie nie widać znaczących różnic między sekcjami przedstawiono na rysunku 3. W tym okresie występowała duża intensywność opadów. Na obu stanowiskach badawczych widoczne są następujące sekcje od lewej: bez włókniny, z biowłókniną 200 i z biowłókniną 400.

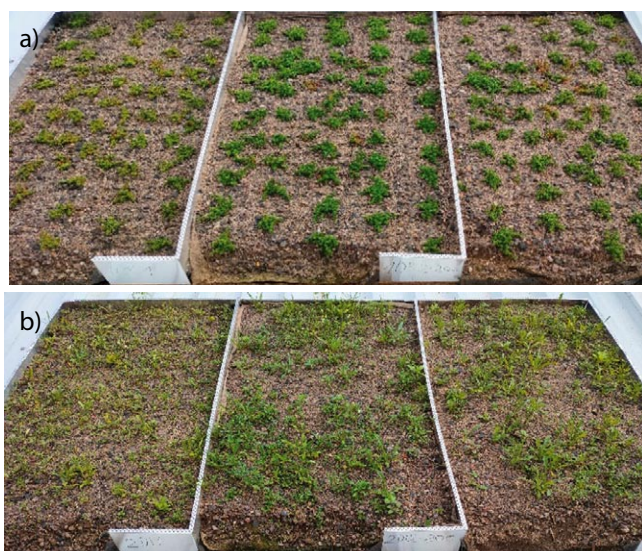
Różnice pojawiły się po okresie jednego miesiąca od zasadzenia, w momencie gdy rośliny zakorzeniły się w biowłókninie. Zdjęcia stanowisk po 28 dniach od zasadzenia przedstawiono na rysunku 4.

Po okresie kilkudniowych opadów po 7 tygodniach od nasadzenia widoczne były bardzo wyraźne różnice w intensywności wzrostu i kolorze roślin w poszczególnych sekcjach, co widoczne jest na rysunku 5. W sekcjach z biowłókniną intensywność wzrostu roślin była zdecydowanie większa.

Niezależnie od rodzaju posadzonych roślin, różnice we wzroście, widoczne na rysunku 5 utrzymywały się do końca trwania obserwacji. Roślinność w sekcjach bez biowłókniny (z lewej) w znacznie mniejszym stopniu rozrosła się, była też wyraźnie niższa, miała mniej intensywnie zielony kolor. Rozwój roślinności na stanowiskach z biowłókniną, różniącą się masą powierzchniową był bardziej zbliżony w przypadku stanowiska z substratem intensywnym, natomiast w przypadku substratu ekstensywnego obserwowano nieco większą powierzchnię rozrostu rozchodników w sekcji z włókniną 200.



**Rys. 3.** Stanowiska badawcze z substratem ekstensywnym (a) i intensywnym (b) w 14 dni po nasadzeniu (04.08.2023)



**Rys. 4.** Stanowiska badawcze z substratem ekstensywnym (a) i intensywnym (b) w 28. dniu po nasadzeniu (17.08.2023)



**Rys. 5.** Stanowiska badawcze z substratem ekstensywnym (a) i intensywnym (b) w 46. dniu po nasadzeniu (4.09.2023)

W okresie po 70 dniach od nasadzenia, całość obszaru z rozchodnikami na dachu ekstensywnym z biowłókniną została zarośnięta. W sekcji bez biowłókniny rozchodniki rozwijały się zdecydowanie wolniej.

Wyniki pomiarów wilgotności wykonanych po rozpoczęciu zakorzeniania się roślin w biowłókninach zestawiono w tabeli 3. Pomiarów wilgotności masowej gruntu oraz biowłókniny uśredniono do średniej wartości dobowej i zestawiono wraz z dziennymi ilościami opadów. W tabeli kolorem czerwonym określono maksymalną temperaturę dobową, zaś kolorem żółtym minimalną. Wartości wilgotności masowej rozrózniono kolorami w taki sposób, że najniższą wilgotność (na poziomie 4% mas.) oznaczono kolorem intensywnie czerwonym, a najwyższą (ok. 16% mas.) kolorem intensywnie błękitnym, zgodnie z podziałką umieszczoną po lewej stronie tabeli.



**Rys. 6.** Stanowiska badawcze z substratem ekstensywnym (a) i intensywnym (b), w 70. dniu (28.09.2023), w 10-tym tygodniu, po nasadzeniu; pierwsze sekcje od lewej bez biowłókniny, środkowe z biowłókniną 200, ostatnie po prawej z biowłókniną 400

Na podstawie wyników badań zamieszczonych w tabeli 3 zauważyć można, że w przypadku substratu ekstensywnego bez biowłókniny, przy niewielkiej ilości deszczu po długotrwałym okresie suchym, woda początkowo kumuluje się w górnej części warstwy wegetacyjnej i powoli przenika w jej głąb. Zaś w odpowiednich sekcjach z biowłókniną woda kumuluje się w warstwie włókniny i dopiero po jej całkowitym nasiąknięciu przechodzi głębiej warstwy wegetacyjnej. Biowłóknina pozwala zatrzymać wodę na poziomie warstwy wegetacyjnej, tak aby nie przedostawała się ona do warstwy drenażowej.

W przypadku substratu intensywnego odnotowano nieco większe spadki wilgotności substratu w sekcjach z biowłókniną w porównaniu do substratów bez biowłókniny. Zmiany te wyraźnie zaobserwować można w okresach suchych i ciepłych (m.in. w dniach 8–13 września). Wiązało się to z dużym większym zapotrzebowaniem na wodę roślinności, która miała tu bardziej sprzyjające warunki rozwoju i była już w tym okresie w pełni rozwinięta.

Stwierdzono ponadto, że w sekcjach z substratami ekstensywnymi z biowłókniną, niezależnie od panujących warunków pogodowych, najwyższą wilgotność odnotowywano w warstwie samej włókniny.

Niezależnie od rodzaju substratu, w warstwach wegetacyjnych z biowłókniną w okresie mokrym najwyższą wilgotność odnotowano na poziomie włókniny oraz poniżej tej warstwy, zaś w okresie suchym najwyższą wilgotność odnotowywano w warstwie samej włókniny.

Większą wilgotność na poziomie włókniny odnotowano dla sekcji z substratem intensywnym, zawierających biowłókninę 400 niż 200, w porach długotrwałego braku opadów.

Zmiany wilgotności górnej warstwy substratu intensywnego z intensywnością opadów zestawiono na rysunku 7. Wyniki dotyczyły okresu od 6 do 19 września, w którym nastąpiła

Tabela 3. Zestawienie uśrednionych dobowych pomiarów ilości opadów, temperatur oraz wilgotności substratów i biowłóknin w dniach 21.08. do 22.09.

		21 VIII	22 VIII	23 VIII	24 VIII	25 VIII	28 VIII	30 VIII	31 VIII	1 IX	4 IX	5 IX	6 IX	7 IX	8 IX	11 IX	12 IX	13 IX	14 IX	15 IX	18 IX	19 IX	20 IX	21 IX
Dach ekstensywny	bez włókniny	12	3	0	0	0	0	1	8	4	1	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	5	0
	włóknina 200	4	3	0	0	0	0	1	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2	9	0	0	12	0
	włóknina 400	24	11				1	12	6	1					4	9			4			15		
Dach intensywny	bez włókniny	9,9%	12,8%	14,3%	14,9%	13,3%	14,7%	15,1%	14,4%	14,3%	14,3%	15,3%	14,3%	13,7%	12,1%	10,5%	8,3%	8,4%	12,9%	12,1%	7,9%	16,0%	15,3%	15,0%
	włóknina 200	9,9%	12,8%	15,4%	15,0%	14,3%	15,8%	15,9%	15,4%	15,7%	15,2%	16,2%	15,5%	14,3%	14,8%	12,9%	11,6%	12,6%	15,5%	14,1%	12,5%	16,1%	16,4%	16,3%
	włóknina 400	10,6%	14,8%	15,9%	15,4%	13,0%	15,6%	15,4%	14,5%	14,7%	14,8%	15,3%	14,7%	13,8%	12,2%	10,3%	9,1%	7,6%	13,0%	11,9%	9,0%	15,7%	14,8%	14,6%
Dach ekstensywny	bez włókniny	10,5%	16,3%	16,2%	15,9%	14,8%	16,2%	16,3%	15,5%	16,2%	16,0%	16,0%	15,9%	15,6%	14,9%	11,8%	11,4%	11,3%	16,0%	13,8%	13,8%	16,3%	16,4%	16,4%
	włóknina 200	14,6%	15,0%	16,1%	15,6%	14,5%	15,2%	15,7%	15,7%	14,6%	15,5%	15,2%	13,3%	14,0%	13,3%	10,4%	10,2%	9,7%	10,7%	10,7%	10,0%	16,4%	16,4%	16,4%
	włóknina 400	9,1%	15,0%	15,5%	14,8%	12,1%	14,9%	15,8%	13,9%	14,8%	14,6%	16,0%	13,5%	14,2%	12,1%	9,4%	9,1%	7,1%	14,3%	14,1%	10,6%	16,0%	15,5%	15,9%
Dach intensywny	bez włókniny	11,5%	16,4%	16,0%	16,0%	13,7%	16,0%	16,3%	15,9%	15,9%	16,4%	16,3%	16,3%	16,1%	15,3%	13,0%	11,2%	10,7%	16,4%	16,2%	12,9%	16,4%	16,4%	16,4%
	włóknina 200	14,6%	15,9%	16,2%	15,9%	14,8%	15,1%	15,1%	15,8%	15,3%	16,1%	15,6%	14,3%	15,1%	15,0%	10,9%	9,9%	9,0%	10,6%	9,8%	9,9%	15,9%	16,4%	16,4%
	włóknina 400	10,5%	14,0%	16,0%	14,7%	14,2%	15,4%	15,6%	14,4%	15,3%	14,6%	15,7%	14,9%	13,8%	12,9%	11,7%	6,9%	7,9%	12,8%	13,0%	8,9%	15,1%	15,1%	13,3%
Dach ekstensywny	bez włókniny	11,0%	14,4%	16,0%	15,0%	14,5%	16,3%	15,2%	15,8%	16,0%	16,1%	16,1%	16,3%	15,7%	14,4%	13,9%	12,2%	12,2%	15,9%	13,1%	12,4%	16,2%	16,4%	16,4%
	włóknina 200	9,0%	11,7%	15,4%	13,3%	10,8%	15,0%	15,2%	15,3%	14,2%	14,1%	14,6%	13,3%	12,3%	9,0%	8,1%	7,4%	7,9%	13,9%	10,4%	6,8%	15,1%	13,9%	14,9%
	włóknina 400	8,9%	14,0%	15,3%	13,8%	12,5%	15,6%	15,8%	15,7%	15,4%	15,4%	15,6%	15,2%	14,8%	13,8%	12,5%	10,4%	10,0%	15,6%	13,4%	10,4%	15,9%	16,4%	16,3%
Dach intensywny	bez włókniny	10,9%	13,2%	14,4%	12,8%	11,3%	15,7%	16,3%	16,0%	16,2%	16,1%	15,8%	14,9%	14,7%	13,2%	11,6%	8,9%	8,0%	7,2%	9,3%	8,9%	8,5%	15,4%	16,1%
	włóknina 200	8,2%	12,9%	15,4%	13,5%	10,1%	15,2%	14,4%	13,6%	12,7%	11,5%	12,5%	11,3%	9,8%	7,5%	6,0%	4,9%	6,0%	4,4%	11,1%	7,9%	13,8%	15,2%	14,7%
	włóknina 400	8,4%	12,0%	14,8%	13,9%	10,7%	15,8%	15,3%	15,4%	15,3%	14,4%	15,7%	14,7%	12,9%	11,3%	11,9%	9,3%	8,0%	8,4%	16,1%	15,2%	11,6%	16,4%	16,4%
Dach ekstensywny	bez włókniny	11,2%	10,9%	12,0%	12,3%	10,1%	15,9%	16,3%	16,1%	16,1%	16,1%	15,7%	14,4%	12,3%	9,2%	9,8%	10,4%	5,9%	8,8%	8,9%	8,2%	13,2%	16,1%	16,3%
	włóknina 200																							
	włóknina 400																							

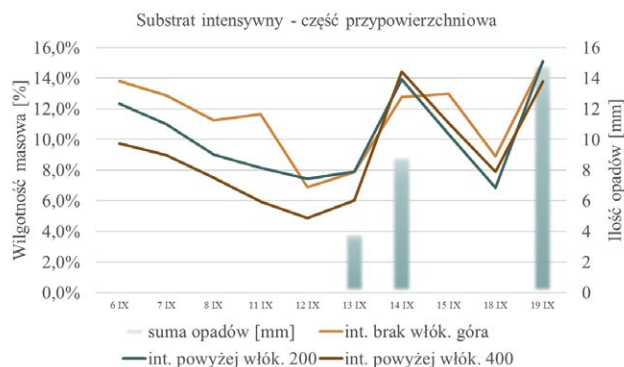
największa zmiana warunków atmosferycznych. Po długotrwałym okresie wysokich temperatur i braku opadów nastąpiły intensywne opady. Wilgotność substratu zaznaczono liniami, a wielkość opadów słupkami.

Analizując wyniki badań (rys. 7), można stwierdzić, że w okresie wysokich temperatur do momentu pierwszych opadów najwyższa wilgotność górnej części substratu odnotowywano w sekcjach bez włókniyny. W odpowiednich sekcjach z biowłókniną wilgotność substratów w tym okresie była niższa, zaś podczas opadów zaobserwowano odwrotną zależność – wilgotność górnej warstwy sekcji bez biowłókniyny była najniższa.

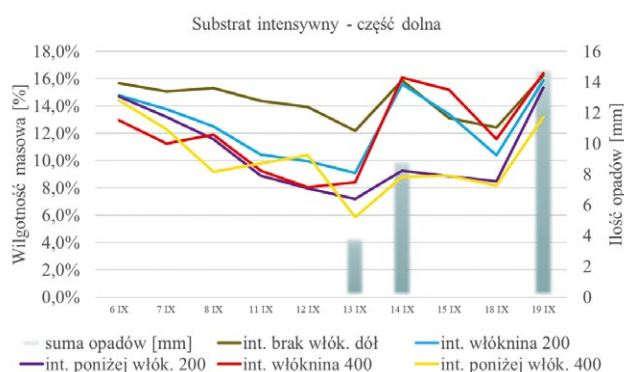
Wymienione zjawiska wyjaśnić można wysoką wodochłonnością biowłókniyny. Utrzymywanie wysokiej wilgotności w strefie włókniyny sprzyjało rozwojowi roślinności, co widoczne jest wyraźnie na rysunkach 5 i 6.

Zmianę wilgotności dolnych partii substratu w tym samym okresie przedstawiono na przykładzie substratu intensywnego na rysunku 8.

Wyniki pomiarów na poziomie włókniyny oraz substratu intensywnego dolnej warstwy zestawiono na rysunku 8. W okresie suchym najniższą wilgotność wykazują substraty w sekcjach z biowłókninami. W okresie mokrym wilgotność na poziomie biowłókniyny szybko wzrasta i jest nadal wysoka również w okresie bez opadów. Wilgotność dolnej warstwy substratu jest tu umiarkowana.



**Rys. 7.** Zmiana wilgotności górnej części substratu intensywnego wraz ze zmianą warunków atmosferycznych



**Rys. 8.** Zmiana wilgotności dolnej części substratu intensywnego wraz ze zmianą warunków atmosferycznych

W przypadku sekcji bez biowłókniyny podczas opadów woda szybko przenika przez warstwę substratu zwiększając tym samym wilgotność dolnej warstwy.

Podkreślić należy, że zastosowane substraty są powszechnie stosowane w technologii zielonych dachów. Stwierdzono, że niebagatelny wpływ na rozwój roślin wywiera nie tyle wilgotność samego substratu, jak obecność biowłókniyny. Analizowane w artykule wyniki badań pozyskano ze stanowisk, w których nie zastosowano jakichkolwiek nawozów, a potrzebna do wzrostu roślin woda pochodziła tylko z warunków atmosferycznych. Zastosowana w badaniach biowłókniina była bogata w składniki mineralne, które sprzyjały wzrostowi roślin, a ponadto stanowiła rezerwar wilgoci niezbędnej dla ich rozwoju oraz późniejszej vegetacji.

#### 4. Podsumowanie

Zastosowanie biowłókniyny w warstwie wegetacyjnej roślin spowodowało wyraźny rozwój roślinności na dachach zielonych bez konieczności stosowania dodatkowych nawozów oraz bez potrzeby stosowania systemów nawadniających. Biowłókniina stanowi rezerwar wilgoci konieczny dla rozwoju i wzrostu roślin. Świadczy o tym nierównomierny rozkład wilgoci na głębokości warstwy wegetacyjnej – najwyższy na poziomie włókniyny. Intensywniejszy rozwój roślinności na warstwach wegetacyjnych z biowłókniną można powiązać z utrzymywaniem podwyższonej wilgotności oraz wzbogacaniem substratu licznymi składnikami mineralnymi o właściwościach odżywczych pochodzącymi z rozkładu wełny owczej.

Zastosowanie biowłókniyny w znacznym stopniu wpisuje się w założenia dachów zielonych – utrzymując wodę w warstwie wegetacyjnej powoduje silny wzrost roślinności, która zwiększając swoje zapotrzebowanie na wodę zatrzymuje duże ilości wody opadowej jednocześnie redukując prędkość i objętość odpływających wód.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Grzybowska-Pietras J., Juzwa A., Zastosowanie geotekstyliów biodegradowalnych jako zabezpieczenia przeciwoerozyjnego skarp i zboczy, *Magazyn Autostrady* 3/2020
- [2] <https://sklep.semprefarby.pl/produkty/biowlokniny/2-208>
- [3] Juhos K., Papdi E., Kovács F., Vasileiadis V. P., Veres A., The effect of wool mulch on plant development in the context of the physical and biological conditions in soil. *Plants* 12(3)/2023
- [4] Grzybowska-Pietras J., Wpływ sposobu instalacji na wybrane właściwości geotekstyliów biodegradowalnych stosowanych w inżynierii środowiska, *Inżynieria Ekologiczna* 3/2017
- [5] Herfort S., Pflanz K., Larsen M. S., Mertschun T., Grüneberg H., Influence of Sheep's Wool Vegetation Mats on the Plant Growth of Perennials, *Horticulturae* 9(3)/2023
- [6] Akca H., Taskin M. B., Tugrul M., Babar S. K., Gunes A., Waste Sheep Wool and Its Hydrolysate as a Nutritional Support for Sugar Beet, *Sugar Tech* 1–12/2023
- [7] Ajdukiewicz J., Biodegradowalne geosyntetyczne materiały antyerozyjne i wspomagające zazielenianie obiektów hydrotechnicznych, *Gospodarka Wodna* 1/2005
- [8] <https://inzynierbudownictwa.pl/osuwanie-sie-podloza-i-roslinnosci-na-dachu-zielonym/>
- [9] Pęczkowski G., Orzepowski W., Pokładek R., Kowalczyk T., Żmuda R., Wójcik R., Właściwości retencyjne zielonych dachów typu ekstensywnego na przykładzie badań modelowych, *Acta Scientiarum Polonorum* 15(3)/2016