

OCENA FUNKCJONOWANIA WYBRANYCH SYSTEMÓW ZIELONYCH ŚCIAN ZLOKALIZOWANYCH NA OBSZARACH NIZINNYCH DOLNEGO ŚLĄSKA

Daniel Skarżyński¹, Anna Pływaczyk¹, Grzegorz Pęczkowski¹

¹ Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu,
e-mail: anna.plywaczyk@up.wroc.pl; grzegorz.peczkowski@up.wroc.pl

STRESZCZENIE

Badania wykonano we Wrocławiu w okresach wegetacyjnych lat 2011 i 2012 na dwóch modelach modułowych zielonych ścian o zróżnicowanej budowie. Doświadczalne modele zielonych ścian wykonano w formie domków drewnianych o wymiarach 1,5×1,5×2,5 m oraz paneli roślinnych. Każda elewacja posiadała 9 paneli (33×33 cm), a powierzchnia pojedynczej ściany wyniosła 1 m². Do zazielenienia ścian użyto 60 gatunków roślin reprezentujących krzewy, byliny oraz trawy (*Ajuga reptans*, *Carex ornithopoda*, *Variegata*, *Euonymus fortunei*, *Emerald'n Gold*, *Festuca ovina*, *Glauca*, *Sedum spurium*, *Spirea japonica*, *Japaness Dwarf* i inne). W pracy porównano model retencyjny (I) zielonej ściany wykonanej z substratu glebowego o miąższości 15 cm z modelem ekonomicznym (II), w którym panele roślinne składały się z warstwy filcu i wełny mineralnej o miąższości 5 cm.

Badania wykazały, że model ekonomiczny (II) nie sprawdził się w warunkach klimatycznych panujących na terenach nizinnych Dolnego Śląska. Posiadał on zbyt małą chłonność, odpływ wody przy zastosowanej dawce nawodnienia kropłowego 4,6 mm na 1 m² dochodził miesięcznie do 50–77%, pokrycie ściany roślinnością wynosiło około 60%, a ich przeżywalność po okresie zimowym osiągała 5%. Model retencyjny (I) charakteryzował się znacznie lepszymi właściwościami chłonnymi, nie zaobserwowano odpływów, co wskazuje, że cała dawka nawodnienia była zretencjonowana w substracie glebowym. Rozwój roślin był prawidłowy, a przeżywalność oraz ich pokrycie w badanym okresie dochodziło do 90%. Na modelu retencyjnym (I) najlepiej rozwijały się gatunki z rodzaju *Sedum sp.*, *Heuchera sp.*, *Potentilla sp.*, *Festuca sp.*, oraz *Pachysandra sp.*, a na modelu ekonomicznym (II) w całym okresie doświadczalnym utrzymały się jedynie rośliny z rodzaju *Sedum sp.*, co wskazuje, że te gatunki można stosować w systemach modułowych zielonych ścian w warunkach klimatycznych panujących na terenie nizinnych Dolnego Śląska.

Słowa kluczowe: modułowe zielone ściany, tereny nizinne, Dolny Śląsk, stosunki wodne, nawadnianie, rozwój roślin.

EVALUATION OF PERFORMANCE OF SELECTED GREEN WALL SYSTEMS LOCATED IN THE LOWLANDS OF THE LOWER SILESIA

ABSTRACT

The study was performed in Wrocław in growing seasons of year 2011 and 2012 on two models of modular green walls of various construction. Experimental models of green walls

was made in the form of wooden houses with dimensions of 1,5×1,5×2,5 m and plant panels. Each elevation had 9 panels (33×33 cm) and the surface of a single wall was 1 m². For the greening the walls was used 60 plant species representing shrubs, perennials and grasses (*Ajuga reptans*, *Carex ornithopoda* ‘Variegata’, *Euonymus fortunei* ‘Emerald’n Gold’, *Festuca ovina* ‘Glauca’, *Sedum spurium*, *Spirea japonica* ‘Japaness Dwarf’ and others). The study compares retention model (I) of green wall made with soil substrate having a thickness of 15 cm with an economic model (II), wherein the plant panels consisted of a layer of mineral wool and felt with thickness of 5 cm. Studies have shown that the economic model (II) did not work in the climatic conditions prevailing in the lowlands of Lower Silesia. It had an insufficient absorption capacity. Water outflow at the dose used for drip irrigation of 4,6 mm per 1 m² came monthly to 50–77%, the covering wall of vegetation was approximately 60%, and the survival rate after the winter period reached only 5%. Retention model (I) was characterized by a much better absorbent properties. There was no water outflows, which indicates that the entire dose of irrigation was stored in the soil substrate. Plant development was normal, survival rate and their coverage in the analyzed period occurred up to 90%. On retention model (I) the best developed species was *Sedum sp.*, *Heuchera sp.*, *Potentilla sp.*, *Festuca sp.* and *Pachysandra sp.*. On economic model (II) throughout the whole experimental period remained only plant of the genus *Sedum sp.*, which indicating that these species can be used in systems of modular green wall under the climatic conditions prevailing in the lowland of Lower Silesia.

Keywords: modular green wall, lowlands, Lower Silesia, water relations, irrigation, plant growth.

WSTĘP

Na terenach zurbanizowanych w związku ze wzrostem zabudowy oraz uszczelnianiem powierzchni obserwuje się gwałtowne zmniejszanie naturalnych obszarów zieleni miejskiej. Proces zagęszczenia powstających obiektów budowlanych spowodowany jest brakiem nowych terenów inwestycyjnych w centrach miast oraz wysokimi cenami działek. Gęsta zabudowa miejska oraz niezbędna infrastruktura podziemna utrudnia między innymi sadzenie drzew oraz innej zieleni przyulicznej.

Jedną z możliwości uzupełniania zieleni miejskiej jest wykorzystanie ogrodów pionowych wprowadzających roślinność na elewacje budynków lub zielone ściany mocowane na konstrukcjach obok ich elewacji [Leksykon zieleni miejskiej 2013]. Zielone ściany wykonywane są najczęściej z pnączy na trejażach lub w formie tarasów z zawieszonych donic. Nową grupę stanowią modułowe roślinne ściany, które są coraz bardziej popularne na świecie. Brak jest jednak na terenie Polski badań w tym zakresie oraz regulacji technicznych, co spowalnia i utrudnia wprowadzanie tego typu rozwiązań na ściany budynków.

W Instytucie Kształtowania i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu wykonano w latach 2009–2012 badania na modelach doświadczalnych wybranych systemów modułowych zielonych ścian. Celem badań zlokalizowanych na terenie miasta Wrocławia była ocena ich funkcjonowania w warunkach klimatycznych panujących na obszarach nizinnych Dolnego Śląska.

ZAKRES I METODYKA BADAŃ ORAZ CHARAKTERYSTYKA DOŚWIADCZALNYCH MODELI ZIELONYCH ŚCIAN

Zakres badań obejmował: ocenę podstawowych elementów meteorologicznych w rejonie obiektu doświadczalnego, charakterystykę substratu glebowego i zastosowanego filcu hydroponicznego, pomiary odpływów z paneli roślinnych oraz ocenę kondycji roślin.

Elementy meteorologiczne (opad atmosferyczny oraz temperatura) rejestrowano za pomocą standardowych metod pomiarowych [Rojek i Żyromski 2004]. Substrat glebowy scharakteryzowano metodą dyfrakcji laserowej przy pomocy analizatora Mastersizer [Burshell i in. 2002]. Właściwości powietrzno wodne substratu oraz filcu hydroponicznego opisano na podstawie dostarczonych przez producentów kart technicznych [Krajewski 2012, Optigrün 2009]. Do pomiarów odpływów użyto zmodyfikowane pluwiografy z wykorzystaniem czujnika enkodera kwadraturowego autorskiego projektu, znajdującego się na każdej elewacji badanego obiektu. Ocenę kondycji roślin dokonano na podstawie własnych kryteriów (barwy liści, przyrostu pędów oraz blaszki liściowej, kwitnienia, owocowania) oraz analizy pokrycia roślinnością paneli roślinnych.

Doświadczalne modele zielonych ścian wykonano w 2009 roku. Zlokalizowane one są we wschodniej części Wrocławia, na terenie Obserwatorium Agro- i Hydro-meteorologii Wrocław Swojec Instytutu Kształtowania i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Konstrukcja pionowego ogrodu składającą się z wolnostojących obiektów doświadczalnych wykonanych w formie domków drewnianych o wymiarach 1,5×1,5×2,5 m (dł.×sze.×wys.) oraz paneli roślinnych (fot. 1). Każda z elewacji została wyposażona w 9 paneli o wymiarach 33×33 cm (dł.×szer.). Powierzchnia



Fot. 1. Modele doświadczalne modułowych zielonych ścian (model retencyjny I, model ekonomiczny II)

pojedynczej doświadczalnej roślinnej ściany wynosi 1 m². W pracy analizowano dwa modele: retencyjny (I) i ekonomiczny (II), które różnią się między sobą budową paneli roślinnych.

Model retencyjny (I) charakteryzuje się wykorzystaniem w warstwie wegetacyjnej specjalistycznego substratu glebowego w panelach roślinnych. Substrat glebowy został zamknięty w odpowiednio przygotowane worki z agrowłókniny umieszczone w kratownicach wykonanych ze stali nierdzewnej o grubości 15 cm.

Panele roślinne w modelu ekonomicznym (II) składają się z dwóch warstw filcu poliuretanowego wypełnionego wełną mineralną. Są one umieszczone w kratownicach wykonanych ze stali nierdzewnej. Całkowita grubość systemu wynosi 5 cm. Gramatura zastosowanego filcu o grubości 2,8 mm wynosi 300 g/m² przy maksymalnej pojemności wodnej osiągającej 2 l/m² [Optigrün 2009].

Układ paneli roślinnych na modelach doświadczalnych zaopatrzone w system automatycznego nawadniania kropłowego (umożliwiającego precyzyjne dostarczanie wody do strefy korzeniowej roślin), zbudowany on jest z elementów firmy Gardena oraz Tanake. Poszczególne linie nawadniające wyposażono w kroplozniki o wydajności 2 l/h przy ciśnieniu roboczym 0,5 bara. W systemie wodę pompowano na szczyt roślinnej ściany, a następnie po nawodnieniu jej nadmiar gromadzono do ponownego wykorzystania w niżej położonych zbiornikach. Nawadnianie wykonywano w poniedziałek, środę oraz piątek w godzinach 8:00, 12:00, 18:00 po 2 min, a sumaryczna dawka wody na każdą elewację wyniosła 3,6 l/ dobę. W doświadczeniu zastosowano nawóz uniwersalny NPK 4/6/4 rozcieńczany w wodzie w 10% stężeniu.

Panele roślinne zamontowano na elewacjach względem kierunków światła, w celu przebadania właściwego doboru roślin na zielone ściany. Przy doborze brano pod uwagę gatunki zastosowane na istniejących już na świecie pionowych ogrodach oraz popularnie występujące w założeniach ogrodowych na terenie Dolnego Śląska. W każdym panelu roślinnym wypełnionym substratem glebowym oraz na podłożu syntetyzowanym posadzono po 5 gatunków roślin. W całym doświadczeniu zastosowano łącznie 60 gatunków roślin (w tym odmiany uprawne) reprezentujących krzewy, byliny oraz trawy (*Ajuga reptans*, *Carex ornithopoda*, *Variegata*, *Euonymus fortunei*, *Emerald'n Gold*, *Festuca ovina*, *Glauca*, *Sedum spurium*, *Spirea japonica*, *Japaness Dwarf* i inne).

WYNIKI I DYSKUSJA

Warunki meteorologiczne

Doświadczalne modele zielonych ścian zlokalizowane są na terenie zaliczanym do Nadodrzańskiego (wrocławsko – legnickiego) rejonu pluwiotermicznego, w najcieplejszej dzielnicy klimatycznej Polski [Kondracki 1978]. Roczna suma opadów w rejonie nizinnym Dolnego Śląska kształtuje się na poziomie 560–600 mm [Kozłowski, Michalska 2001], a średnia roczna temperatura wynosi 9 °C [Dubicki i in. 2002].

W badaniach analizowano wyniki pomiarów miesięcznych, rocznych oraz okresowych sum opadów atmosferycznych w okresie badawczym obejmującym lata hydrologiczne 2009/10, 2010/11 oraz 2011/12 na tle wielolecia 1961–2000. Prawdopodobieństwo występowania opadów atmosferycznych ustalono metodą Dębskiego [Dębski 1954], zaliczając lata o prawdopodobieństwie występowania opadów atmosferycznych mniejszym od 20% do mokrych, 20–39% do średnio mokrych, 40–59% do normalnych, 60–79% do średnio suchych i równym lub większym od 80% do suchych [Marcilonek i in. 1980].

Roczne sumy opadów w analizowanych latach hydrologicznych 2009/10, 2010/11 oraz 2011/12 wynosiły 526–621 mm, przy średnich wieloletnich z lat 1961–2000 wynoszących 567 mm. Pod względem prawdopodobieństwa wystąpienia opadów atmosferycznych rok hydrologiczny 2009/10 zaliczono do mokrego ($p = 8\%$) natomiast rok 2010/11 oraz 2011/12 do średnio suchego ($p = 60\%$ i $p = 62\%$).

Średnia roczna temperatura powietrza w okresie obserwacji wynosiła od 6,5–10,4 °C przy średniej wieloletniej 8,6 °C. W całym badanym okresie panowały warunki meteorologiczne zbliżone do wartości średnich wieloletnich z lat 1961–2000. Badany okres może być zatem reprezentatywny dla oceny funkcjonowania analizowanych modeli modułowych zielonych ścian zlokalizowanych w rejonie Wrocławia.

Charakterystyka substratu glebowego

Substrat glebowy w modelu retencyjnym (I) wykonano z mieszanki mineralno-organicznej. Części mineralne zawierały między innymi keramzyt drobny i gruby, natomiast części organiczne torf niski i wysoki.

Skład granulometryczny substratu glebowego ustalono metodą dyfrakcji laserowej z wykorzystaniem analizatora Mastersizer 2000 firmy Malvern Instruments przy pomocy oprogramowania dostarczonego przez producenta [Burshell i in. 2002]. Analiza granulometryczna wykazała, że w podłożu wegetacyjnym części szkieletowe stanowią 56%, zawartość części sypialnych wyniosła 27%, części pylastych 22%, a zawartość części piaszczystych 51%. Na podstawie wartości procentowych ustalono, że panele roślinne modelu retencyjnego (I) wypełnione zostały gliną lekką silnie spiazszoną [PTG do 2008]. Skład substratu glebowego jest w miarę jednorodny, co pozwala na porównanie wyników badań w zakresie kształtowania się stosunków wodnych w warstwie wegetacyjnej we wszystkich analizowanych panelach roślinnych.

Odptyw i retencjonowanie wody w panelach roślinnych

W literaturze zalecana dawka nawadniania dotycząca systemów roślinnych ścian dla krajów śródziemnomorskich oraz krajów tropikalnych wynosi średnio od 7 do 10 l/m² [Blanc 2010, Tan 2009, Vialard 2012]. Jest to wartość, którą stosuje się w miastach, w których średnie najniższe miesięczne temperatury powietrza bardzo rzadko spadają poniżej 0°C, a przymrozki są krótkotrwałe. Pozwala to na stosowanie lekkich

systemów roślinnych ścian, które nawadniane są przez wszystkie miesiące w roku. Na terenach nizinnych Dolnego Śląska odnotowuje się natomiast niższe temperatury powietrza. Na obiekcie doświadczalnym nawodnienie roślin wykonywano jedynie w okresie wegetacyjnym (IV–IX), a najniższa średnia miesięczna temperatura powietrza wystąpiła w kwietniu 2010 r. i wyniosła 7 °C. Natomiast w całym okresie prowadzonych badań 2009/10 – 2012 najniższa średnia miesięczna temperatura obniżyła się nawet do -8,8 °C (styczeń 2010 r.). Biorąc pod uwagę warunki klimatyczne na obiektach doświadczalnych przy zastosowanych kroplownikach (wydajność 2 l/h, trzy cykle nawadniania po 2 min) ustalono jednakową zmniejszoną dawkę wody na modelu retencyjnym (I) oraz ekonomicznym (II) wynoszącą 3,6 l (3,6 mm na 1 m²).

Na modelu retencyjnym (I) stwierdzono brak występowania odpływów w całym okresie obserwacji, co wskazuje że cała dawka nawadniania została zretencjonowana w substracie glebowym. Dostarczona ilość wody na 1 m² w ilości 285 mm w ciągu całego okresu wegetacyjnego mogła być zatem wykorzystana przez rośliny.

Na modelu ekonomicznym (II) stwierdzono występowanie znacznych odpływów z paneli roślinnych wynoszących 25–36 mm miesięcznie (50–77% dawki nawodnienia) (tab. 1). Analiza wykazała, że zastosowana dawka była zbyt duża w stosunku do możliwości wchłaniania wykorzystanego filcu hydroponicznego.

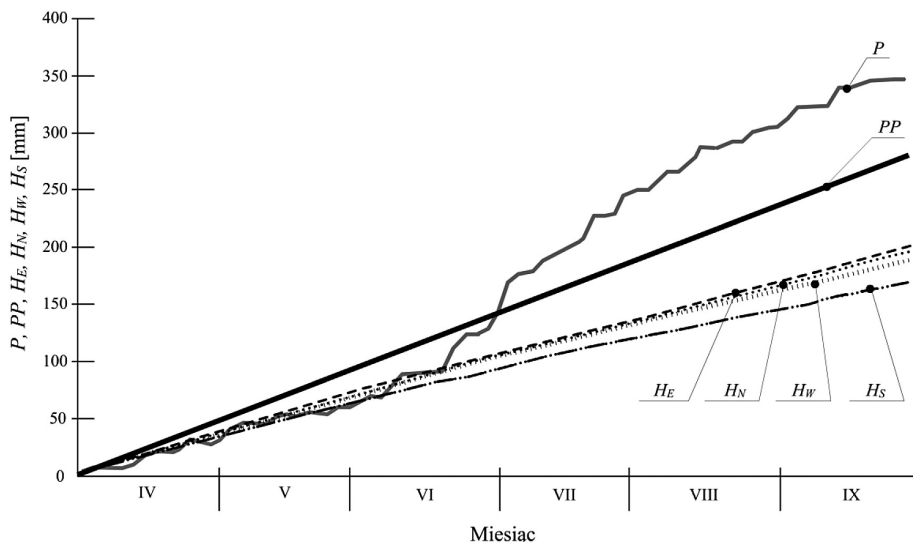
W celu zwiększenia wydajności systemu nawadniania należałoby zastosować grubszy filc hydroponiczny magazynujący przynajmniej dwukrotnie większą ilość wody. Analizując ilość oraz czas odpływu stwierdzono także, że należy zwiększyć ilość cykli nawadniania, zmniejszając jednorazową dawkę wody przypadającą na 1 m² zielonej ściany.

Woda do nawadniania roślinnych ścian pobierana była z wodociągów, lecz w celu oszczędnego gospodarowania wodą oraz odciążenia kanalizacji miejskiej należałoby gromadzić wodę opadową i wykorzystywać ją do nawadniania. Na podstawie obserwacji stwierdzono, że w sezonie wegetacyjnym 2011 i 2012 r. w miesiącach

Tabela 1. Średnie miesięczne i okresowe wartości odpływu H [mm/%] w sezonach wegetacyjnych lat 2011 i 2012 oraz stosowane miesięczne dawki nawodnienia PP [mm] dla modelu ekonomicznego (II)

2011 i 2012		IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV–IX
Wystawa	PP [mm]	47	47	47	47	50	47	285
N	H [mm]	36	35	33	32	31	31	197
	[%]	77	74	70	68	62	66	69
S	H [mm]	34	31	28	29	25	27	174
	[%]	72	66	60	62	50	57	61
E	H [mm]	35	35	35	32	32	32	201
	[%]	74	74	74	68	64	68	71
W	H [mm]	35	34	32	32	30	28	191
	[%]	74	72	68	68	60	60	67

kwiecień-czerwiec ilość opadów atmosferycznych przypadająca na 1 m² nie wystarczyłaby do nawadniania 1 m² zielonej ściany na modelu ekonomicznym (II), (rys. 1). W okresie tym należałoby uzupełniać niedobory wody z sieci wodociągowej. W pozostałym okresie ilość wody gromadzonej z powierzchni 1 m² w zupełności wystarczyłaby do zasilenia paneli roślinnych, gdyż sumy opadów przewyższyły sumy odpływów. W całym okresie obserwacji stwierdzono, że wystawa ścian wpływa na wielkość odpływu, a elewacja południowa charakteryzuje się mniejszym odpływem od północnej, wschodniej i zachodniej.



Rys. 1. Średnie z sezonów wegetacyjnych w latach 2011 i 2012 sumy opadów P [mm], dawek nawadniania P_p [mm] oraz odpływów [mm] dla ściany wschodniej H_E , północnej H_N , zachodniej H_W oraz południowej H_S na modelu ekonomicznym (II)

Ocena kondycji roślin

Analizując rozwój roślin na modelu retencyjnym (I), zaobserwowano znaczny rozwój pędów roślin, przyrost powierzchni blaszki liściowej, kwitnienie oraz owocowanie. Pokrycie roślinnością konstrukcji po sezonie wegetacyjnym i przeżywalność materiału roślinnego wynosiła średnio 90%. Dobór gatunków był wykonany pod kątem preferowanego stanowiska i nie zaobserwowano wpływu wystawy na rozwój zastosowanych roślin. W analizowanych okresach wegetacyjnych roku 2011 i 2012 najdłużej utrzymały się gatunki *Festuca ovina* 'Culture Form', *Heuchera* 'Marmalade', *Pachysandra terminalis*, *Potentilla fruticosa* oraz *Sedum album* 'Laconicum', wykazując największy przyrost biomasy (fot. 2).

Na modelu ekonomicznym (II) rozwój roślin był znacznie gorszy, pokrycie roślinnością dochodziło jedynie do 60%, a przeżywalność po sezonie zimowym nie

przekraczała 5%. W doświadczeniu zauważono wpływ usytuowania wystawy na przyrost biomasy. Rośliny na elewacji północnej, zachodniej oraz wschodniej wykazywały w okresie wegetacyjnym większy przyrost blaszki liściowej oraz kwitnienie niż na wystawie południowej. W całym okresie badań na modelu doświadczalnym utrzymał się jedynie gatunek *Sedum album*, *Laconicum*? (fot. 2).

W doświadczeniu zaobserwowano, iż najważniejszym czynnikiem wpływającym na prawidłowy rozwój roślin na modułowych zielonych ścianach jest zapewnienie roślinności właściwej niezbędnej ilości wody. Model retencyjny (I) z zastosowanym substratem glebowym zapewniał prawidłowe warunki wodno-powietrzne do rozwoju roślin. W modelu ekonomicznym (II) zaobserwowano brak wystarczającej ilości wody i składników mineralnych, co było przyczyną powolnego przyrostu biomasy roślin oraz słabego pokrycia elewacji liśćmi.



Fot. 2. Rozwój roślin na modelach doświadczalnych zielonych ścian po dwóch sezonach wegetacyjnych; model retencyjny (I) – pokrycie 90%, sierpień 2012 (znaczny przyrost biomasy) oraz model ekonomiczny (II) – pokrycie 60%, sierpień 2012 (znikomy wzrost roślin)

WNIOSKI

1. W okresie obserwacji panowały warunki meteorologiczne zbliżone do średnich wieloletnich, średnie roczne sumy opadów wyniosły 526–621 mm (wieloletnie 567 mm), a średnie roczne temperatury powietrza 6,5–10,4 °C (średnie wieloletnie 8,6°C). Analizowany okres może więc być reprezentatywny dla oceny funkcjonowania badanych modeli modułowych zielonych ścian zlokalizowanych na terenach nizinnych Dolnego Śląska.
2. Model retencyjny modułowej zielonej ściany wykorzystujący w warstwie wegetacyjnej substrat glebowy o grubości 15 cm charakteryzuje się znacznie lepszymi

- właściwościami retencyjnymi w porównaniu z modelem ekonomicznym, w którym warstwę vegetacyjną o grubości 5 cm wykonano z filcu i wełny mineralnej.
3. Wielkości dawek nawodnieniowych i ich ilość należy dostosować do przyjętego typu modułowej zielonej ściany. W analizowanych warunkach doświadczalnych stwierdzono, że zastosowana dawka nawodnienia kropłowego 3,6 mm na 1 m² może być wchłonięta przez substrat glebowy modelu retencyjnego (I), natomiast jest nieodpowiednia dla modelu ekonomicznego (II) wykonanego z filcu hydroponicznego, gdzie miesięczny odpływ wody z paneli roślinnych dochodził do 50–77% zastosowanej dawki, osiągając nieco niższe wartości na elewacji południowej niż na północnej, wschodniej i zachodniej. Wskazuje to na potrzebę zwiększenia w tego typu systemach grubości filcu w celu retencjonowania większej ilości wody.
 4. Na modelu retencyjnym (I) stwierdzono prawidłowy rozwój roślin, a pokrycie roślinami modelu po sezonie vegetacyjnym i ich przeżywalność wyniosła około 90%. Wystawa ścian modelu nie odgrywała istotnego znaczenia. Model ekonomiczny (II) nie sprawdził się w analizowanych warunkach klimatycznych, gdyż nie gwarantował przyrostu biomasy roślin, pokrycie roślinnością dochodziło do 60%, przeżywalność po sezonie zimowym wynosiła 5%, a najslabszy rozwój roślin zaobserwowano na ścianie o wystawie południowej.
 5. W okresie badawczym na modelu retencyjnym (I) najlepiej rozwijały się rozwijały się gatunki *Festuca ovina* 'Culture Form', *Heuchera* 'Marmalade', *Pachysandra terminalis*, *Potentilla fruticosa* oraz *Sedum album* 'Laconicum', natomiast na modelu ekonomicznym (II) w całym okresie doświadczalnym utrzymał się jedynie gatunek *Sedum album* 'Laconicum', co wskazuje, że te gatunki roślin są najlepiej przystosowane do warunków klimatycznych panujących na terenach nizinnych Dolnego Śląska i należy je stosować na analizowanych typach modułowych zielonych ścian.

LITERATURA

1. Blanc P. 2010. The Vertical Garden: From Nature to the City.
2. Burshell G.C., Yan Y.D., Woodfield D., Raper J., Amal R. 2002. On techniques for measurement of the mass fractal dimension of aggregate. *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 95, 1–50.
3. Dębski K., 1954. Prawdopodobieństwo zjawisk hydrologicznych i meteorologicznych. *Metoda de cyklów*, Warszawa.
4. Dubicki A., Dubicka M., Szymanowski M. 2002. Klimat Wrocławia, Środowisko Wrocławia. *Informator 2002*, Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju, Wrocław, 9–26.
5. Kondracki J. 1978. *Geografia fizyczna Polski*. PWN Warszawa, 304–308.
6. Koźmiński C., Michalska B. 2001. *Atlas klimatyczny ryzyka upraw roślin w Polsce*. AR w Szczecinie i Uniwersytet Szczeciński, ss. 81.

7. Krajewski 2012. Karta techniczna sub. ZS v. 1'13.
8. Leksykon zieleni miejskiej Wrocławia 2013, str. 766.
9. Marcilonek S., Kostrzewa S., Pływaczyk A., 1980. Oddziaływanie drenowania na stosunki wodne gleb ornych średnio zwięzłych w latach 1970–1978. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracje XXII, Nr 128, 81–84.
10. Optigrün 2009. Karta techniczna geowłóknina chłonno-ochronna typ RMS 300.
11. PTG – Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, 2008. Klasyfikacja uziarnienia gleb.
12. Rojek M., Żyromski A., 2004. Agrometeorologia i klimatologia. Wydawnictwo AR we Wrocławiu, Wrocław.
13. Tan A. 2009. Vertical Greenery for the Tropics.
14. Vialard N. 2012. Gardening vertically.