INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

2025, Vol. 20(1), 109–118
e-ISSN: 2956-7971, License CC-BY 4.0

DOI: https://doi.org/10.14597/infraeco.2025.007

POTRZEBY WODNE JEŻÓWKI PURPUROWEJ (*Echinacea purpurea* L.) NA DACHU ZIELONYM W AGLOMERACJI MIEJSKIEJ BYDGOSZCZY W ŚWIETLE PRZEWIDYWANYCH ZMIAN KLIMATU

WATER NEEDS OF PURPLE CONEFLOWER (*Echinacea purpurea* L.) ON A GREEN ROOF IN BYDGOSZCZ URBAN AGLOMERATION IN VIEW OF EXPECTED CLIMATE CHANGES

Stanisław ROLBIECKI [1], Ariel ŁANGOWSKI [1], Weronika PEZAŁA [1], Renata KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA [1], Roman ROLBIECKI [1]

STRESZCZENIE

Celem pracy była próba oszacowania zapotrzebowania na wodę u jeżówki purpurowej (Echinacea purpurea L.) na dachu zielonym w aglomeracji miejskiej Bydgoszczy w świetle przewidywanych zmian klimatu. Uwzględniono scenariusz zmian klimatu dla Polski SRES: A1B. Potrzeby wodne jeżówki wyznaczono metodą współczynników roślinnych. Na podstawie przyjętych założeń oraz przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że w okresie prognozowanym (2021-2050) wystąpi większa zmienność potrzeb wodnych jeżówki. W okresie prognozowanym należy się spodziewać wystąpienia wyraźnej tendencji do zwiększania się potrzeb wodnych jeżówki (w każdym dziesięcioleciu o 8.9 mm). Sumy niedoboru opadu dla okresu wegetacji jeżówki purpurowej (11 maj – 10 lipiec) – w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – zmniejszą się w niewielkim zakresie z poziomu 205,9 mm, 259,4 mm i 301,9 mm w okresie porównawczym do poziomu odpowiednio 198,6 mm, 254,6 mm i 298,5 mm w okresie prognozowanym (co wynika z większej ilości opadów w czerwcu i lipcu w wykorzystanym scenariuszu zmian klimatu).

Słowa kluczowe: *jeżówka purpurowa, Echinacea purpurea L., potrzeby wodne, niedobory opadu, zmiany klimatu*

ABSTRACT

The aim of this study was to estimate the water demand for purple coneflower (Echinacea purpurea L.) on a green roof in Bydgoszcz urban aglomeration, depending on projected climate change. A scenario of climate changes for Poland SRES: A1B was

[1] *Politechnika Bydgoska im. J. J. Śniadeckich, Polska*

taken into account. Water needs of purple coneflower were determined by the method of plant coefficients. Based on adopted assumptions and performed calculations, it was found that in the forecast period (2021-2050) there will be greater variability in the water needs of the Purple coneflower. In the forecast period, a clear tendency towards increasing water needs of the purple coneflower is expected (every 8.9 mm in a decade). Total rainfall deficiencies for the entire growing season of the purple coneflower (11. May – 10. July) – in an average, moderately dry and very dry year – are expected to decrease to a minor extent, from 205,9 mm, 259,4 mm and 301,9 mm in the comparative period to 198,6 mm, 254,6 mm and 298,5 mm in the forecast period, respectively (which results from more rainfall in June and July in the scenario of climate changes, which was used.)

***Keywords**: purple coneflower, Echinacea purpurea L., water needs, rainfall deficit, climate changes*

WSTĘP

Specjalne pokrycia dachowe, składające się z kilku warstw struktury z umieszczonym na jej wierzchołku podłożem gruntowym, na którym są posadzone rośliny nazywane są dachami zielonymi (Wojciechowska i in. 2015). Dachy zielone są zalecanym systemem zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych w aglomeracjach miejskich, zwłaszcza w sytuacji, gdy istniejące warunki gruntowo-wodne nie pozwalają na zastosowanie innego systemu rozsączania wód opadowych, bądź też na terenach o gęstej zabudowie, gdzie szczególnie ważne jest odtworzenie powierzchni biologicznie czynnej (Wojciechowska i in. 2015). Zastosowanie zielonych dachów umożliwia zmniejszenie objętości wód opadowych spływających do kanalizacji, jak i przepływów szczytowych (Mrowiec 2008). Dachy zielone retencjonują wodę opadową, z której część jest wykorzystywana przez rośliny, a część oddawana do atmosfery w procesie ewapotranspiracji (Wojciechowska i in. 2015).

Jeżówka purpurowa (*Echinacea purpurea* L.) jest byliną, której naturalne siedlisko stanowią suche prerie Ameryki Północnej, gdzie występują gleby gliniaste i piaszczysto-gliniaste (Li T.S.C. 1994). Warunkiem powstania takich terenów są okresowe deficyty wody w podłożu (objaw wahań miesięcznych sum opadów w ciągu roku), a także wysokie temperatury w okresie letnim (a co za tym idzie – zwiększone parowanie) (Sudnik-Wójcikowska, Cwener 2012). Zważając na fakt, iż roślina ta w rodzimym środowisku zmaga się ze zróżnicowanymi warunkami wodnymi, wymaga stanowisk słonecznych, a jej okres kwitnienia obejmuje większą część sezonu wegetacyjnego (wysoki stopień dekoracyjności od lipca do października) (Marcinkowski 2015), można uznać ją za cenny gatunek przy wykonywaniu nasadzeń na zielonych dachach w aglomeracji miejskiej.

Według Łabędzkiego (2009a,b), w Polsce można spodziewać się wzrostu temperatury o około 2-4°C. Jednak uzyskane za pomocą różnych modeli scenariusze zmian temperatury i opadów w Polsce (w latach 2050 i 2080) różnią się istotnie dla okresu letniego (czerwiec – sierpień). I tak, wszystkie modele przewidują wzrost temperatury, zaś wzrost opadów – już

tylko niektóre z nich; są też takie modele, które przewidują obniżenie opadów (Łabędzki 2009a,b; Bąk i Łabędzki 2014b). Uważa się m.in. za bardzo prawdopodobne to, że temperatura lipca i sierpnia (poza wybrzeżem) przekroczy 25°C. Warto zaznaczyć, że większość scenariuszy dla Polski nie przewiduje wzrostu sumy opadów atmosferycznych w ciągu roku. Ocenia się wobec tego, że przewidywane zmiany klimatyczne mogą istotnie wpłynąć na wzrost potrzeb wodnych roślin (Łabędzki 2009a,b).

Celem pracy było oszacowanie wielkości ewapotranspiracji potencjalnej jeżówki purpurowej (*Echinacea purpurea* L.) w warunkach klimatycznych Bydgoszczy w świetle przewidywanych zmian klimatu.

MATERIAŁ I METODY

Do oszacowania potrzeb wodnych jeżówki purpurowej wykorzystano wartości temperatur powietrza prognozowane dla rejonu Bydgoszczy w latach 2021-2050 według scenariusza zmian klimatu dla Polski SRES: A1B (Bąk i Łabędzki 2014b). Jako okres referencyjny przyjęto 30-lecie 1981-2010, wykorzystując wartości temperatur powietrza dla Bydgoszczy według pomiarów stacji IMUZ (ITP).

Potrzeby wodne jeżówki purpurowej – na podstawie temperatury powietrza - obliczono wykorzystując metodę Tredera (Rolbiecki 2018).

ETp jeżówki purpurowej obliczono zatem ze wzoru:

$$ET = kc \cdot ETo \quad (1)$$

gdzie;
kc – współczynnik roślinny dla jeżówki purpurowej wg J. Treder i in. (2017) (tab. 1)

Tabela 1. Wartość współczynnika kc dla jeżówki purpurowej (*Echinacea purpurea* L.); opracowanie własne na podstawie J. Treder i in. (2017)
Table 1. The kc coefficient value for purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.). The own elaboration by J. Treder and others (2017)

Miesiąc	**Maj**		**Czerwiec**		**Lipiec**	
Dekada	**2d. V**	**3d. V**	**1d. VI**	**2d. VI**	**3d. VI**	**1d. VII**
Współczynnik k_c	1,11	1,31	1,50	1,59	1,67	1,71

*dekada – dziesięć dni

ETo w okresie referencyjnym wyznaczono według zalecanej do określania ewapotranspiracji wskaźnikowej metody Penmana-Monteitha, ze wzoru (Allen i in. 1998, Łabędzki i in. 2011):

$$ET_o = n\frac{0{,}408\Delta R_n + \gamma\frac{900}{T+273}u(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0{,}34u)} \quad (2)$$

gdzie:
ET_o - ewapotranspiracja wskaźnikowa, mm·d^{-1};
R_n - promieniowanie netto, MJ·m^{-2}·d^{-1};
T - temperatura powietrza, ^{o}C;

u - prędkość wiatru na wysokości 2m, $m \cdot s^{-1}$;
Δ - nachylenie krzywej ciśnienia nasyconej pary wodnej, $kPa \cdot {}^{o}C^{-1}$;
γ - stała psychrometryczna, $kPa \cdot {}^{o}C^{-1}$;
e_a - ciśnienie pary wodnej, kPa;
e_s - ciśnienie pary wodnej nasyconej, kPa;
n – liczba dni w dekadzie.

Ewapotranspirację wskaźnikową (*ETo*) w latach 2021–2050 obliczono stosując równania regresji liniowej między ewapotranspiracją wskaźnikową według Penmana-Monteitha i temperaturą powietrza. Równania te wyznaczono korzystając z danych okresu referencyjnego. Takie same założenie metodyczne przyjęli Łabędzki i in. (2013) szacując *ETo* wg Penmana-Monteitha dla wyznaczenia potrzeb wodnych ziemniaka późnego (ETp) w wieloleciach 2021–2050 i 2071–2100.

Wyniki opracowano statystycznie wyznaczając wartości: średnią, zwyczajną (medianę), maksymalną i minimalną oraz odchylenie standardowe i współczynnik zmienności (Platt 1978).

Wielkość niedoborów opadu (N) dla jeżówki purpurowej w roku średnim ($N_{50\%}$), średnio suchym ($N_{25\%}$) i bardzo suchym ($N_{10\%}$) wyznaczono metodą Ostromęckiego (Ostromęcki 1973, Tabaszewski 1980, Żakowicz i Hewelke 2002, Żakowicz i in. 2009).

$$N_{p\%} = A_{p\%} \cdot ETp - B_{p\%} \cdot P \qquad (3)$$

gdzie;
$N_{p\%}$ - niedobór opadu o prawdopodobieństwie pojawienia się równym p % ($mm \cdot okres^{-1}$),
ETp – średnia z wielolecia wysokość ewapotranspiracji potencjalnej w analizowanym okresie ($mm \cdot okres^{-1}$),
P – średnia z wielolecia wysokość opadu w analizowanym okresie ($mm \cdot okres^{-1}$),
$A_{p\%}$ i $B_{p\%}$ - współczynniki liczbowe charakteryzujące zmienność ewapotranspiracji i opadów dla danej stacji meteorologicznej.

WYNIKI

W tabeli 2 zamieszczono statystyczną charakterystykę potrzeb wodnych jeżówki purpurowej w okresach referencyjnym i prognozowanym. Większą zmienność potrzeb wodnych stwierdzono w okresie prognozowanym. Wskazują na to wyższe wartości miar zmienności bezwzględnej, tj. odchylenia standardowego (SD) oraz względnej – współczynnika zmienności (VC). Przykładowo wartość współczynnika zmienności (VC) wzrastała z poziomu 9.2 % w okresie referencyjnym do poziomu 11.9 % w okresie prognozowanym.

Tabela 2. Charakterystyka statystyczna potrzeb wodnych jeżówki purpurowej na dachu zielonym w okresie wegetacji (11 V – 10 VII)(Etp; mm)

Table 2. Statistical characteristics of the water needs of purple coneflower on a green roof during the growing season (11 V – 10 VII) (Etp; mm)

Wyszczególnienie	**Okres porównawczy (1981-2010)**	**Okres prognozowany (2021-2050)**
Minimum	246.5	240.0
Maksimum	386.1	388.8
Mediana	313.0	315.7
Średnia	315.6	318.9
SD	28.9	37.9
VC (%)	9.2	11.9

SD – odchylenie standardowe; *VC* – współczynnik zmienności

Dobowe potrzeby wodne w pierwszych dwóch dekadach wegetacji jeżówki (2d.V-3d.V) były wyższe w okresie referencyjnym (rys. 1A), a w ostatnich czterech (1d.VI-1d.VII) w okresie prognozowanym (rys. 1B).

Rysunek 1. Dzienne (dobowe) potrzeby wodne jeżówki w kolejnych dekadach sezonu wegetacyjnego – w okresach referencyjnym (A) i prognozowanym (B)
Figure 1. Daily (24-hour) water needs of purple coneflower in subsequent decades of the growing season – in the reference (A) and forecast (B) period

Nie stwierdzono istotnego trendu czasowego wzrostu potrzeb wodnych tak w okresie referencyjnym, jak i prognozowanym (tab. 3). Jednak w okresie prognozowanym wystąpiła wyraźna tendencja do zwiększania się potrzeb wodnych jeżówki. Potrzeby wodne w każdym dziesięcioleciu okresu prognozowanego wzrastały bowiem o 8.9 mm. Dla porównania – w okresie referencyjnym tendencja ta wyniosła zaledwie 2.5 mm·dekada^{-1}.

Tabela 3. Równania trendów czasowych potrzeb wodnych jeżówki (ETp; mm) na dachu zielonym w Bydgoszczy
Table 3. Equations of time trends of the water needs of purple coneflower (ETp; mm) on a green roof in Bydgoszcz

Wyszczególnienie	Równanie trendu	Współczynniki i istotność			Trend czasowy (mm·dekada^{-1})
		R^2	r	istotność	
Okres porównawczy (1981-2010)	y = 0.245x + 311.79	0.0056	0.0748	*ns*	2.5
Okres prognozowany (2021-2050)	y = 0.8902x + 305.08	0.0428	0.2069	*ns*	8.9

Objaśnienia: R2 – współczynnik determinacji; r – współczynnik korelacji; ns – nieistotne; dekada – 10 lat

W tabeli 4 zamieszczono potrzeby wodne jeżówki purpurowej jako wartości średnie dla kolejnych dekad (dziesięcioleci) okresów referencyjnego i prognozowanego. Najniższe sumy potrzeb wodnych wystąpiły w pierwszym dziesięcioleciu okresu referencyjnego (1981-1990), a najwyższe – w dziesięcioleciu 2031-2040 z okresu prognozowanego.

Tabela 4. Potrzeby wodne jeżówki w kolejnych dziesięcioleciach okresów referencyjnego i prognozowanego
Table 4. Water needs of purple coneflower in subsequent decades of the reference and forecast periods

Dziesięciolecie	ETp (mm)
Okres referencyjny (1981-2010)	
1981-1990	306.4
1991-2000	324.6
2001-2010	315.7
Okres porównawczy (2021-2050)	
2021-2030	312.6
2031-2040	325.1
2041-2050	318.9

Różnica pomiędzy sumą średnich potrzeb wodnych w okresie prognozowanym i referencyjnym była bardzo mała i wyniosła zaledwie 3.3 mm (tj. 1.0 %) (tab. 5). W sytuacji, gdy porównywano skrajne dziesięciolecia obu okresów (1981-1990 oraz 2041-2050), różnica ta wzrastała do 12.5 mm (tj. 4.1 %). Największy wzrost potrzeb wodnych jeżówki (różnica między dekadą z największymi potrzebami tj. 2031-2040 i dekadą z najmniejszymi potrzebami tj. 1981-1990) wyniósł 18.7 mm (tj. 6.1 %).

Tabela 5. Porównanie potrzeb wodnych jeżówki w sezonie wegetacyjnym – w okresach referencyjnym i prognozowanym
Table 5. Comparison of water needs of purple coneflower during the growing season – in the reference and forecast periods

Wyszczególnienie	**Dekady**		**Różnica (2021–2050) – (1981–2010)**	
	1981-2010	**2021-2050**	**mm**	**%**
Różnica pomiędzy wartościami średnimi dla porównywanych trzydziestoleci				
Okres wegetacji (11 V – 10 VII)	315.6	318.9	3.3	1.0
Różnica pomiędzy wartościami średnimi dla skrajnych dekad porównywanych trzydziestoleci				
Wyszczególnienie 2031-2040	Dekady		Różnica (2041–2050) – (1981–1990)	
	1981–1990	2041–2050	mm	%
Okres wegetacji (11 V – 10 VII)	306.4	318.9	12.5	4.1
Różnica pomiędzy dekadami z wartościami min. w okresie referencyjnym i max. w okresie prognozowanym				
Wyszczególnienie	Dekady		Różnica (2031–2040) – (1981–1990)	
	1981–1990	2031–2040	mm	%
Okres wegetacji (11 V – 10 VII)	306.4	325.1	18.7	6.1

Zasadniczo, w okresie referencyjnym, sumy niedoboru opadu dla całego okresu wegetacji jeżówki purpurowej (11 maj – 10 lipiec) – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wyniosły 205,9 mm, 259,4 mm i 301,9 mm (tab. 6). W okresie prognozowanym zmniejszyły się one natomiast odpowiednio do 198,6 mm, 254,6 mm i 298,5 mm.

Tabela 6. Niedobory opadu w okresie wegetacji jeżówki purpurowej w latach średnich, średnio suchych i bardzo suchych w okresach referencyjnym i prognozowanym [N; mm]
Table 6. Rainfall shortages during the growing season of purple coneflower in average, moderately dry and very dry years in the reference and forecast periods [N; mm]

Wyszczególnienie	**Miesiące okresu wegetacji**			**Suma w okresie wegetacji ∑ 11 V – 10 VII**
	11-31 V	1-30 VI	1-10VII	
Okres referencyjny 1981-2010				
Rok średni [$N_{50\%}$]	47,0	118,7	40,2	205,9
Rok średnio suchy [$N_{25\%}$]	61,6	145,9	51,9	259,4
Rok bardzo suchy [$N_{10\%}$]	72,9	167,9	61,1	301,9
Okres prognozowany 2021-2050				
Rok średni [$N_{50\%}$]	30,4	110,8	57,4	198,6
Rok średnio suchy [$N_{25\%}$]	46,6	140,6	67,4	254,6
Rok bardzo suchy [$N_{10\%}$]	58,4	164,2	75,9	298,5

DYSKUSJA

Zwiększenie potrzeb wodnych jeżówki w okresie prognozowanym wynikało ze wzrostu temperatury (Bąk i Łabędzki 2014b). Przykładowo, w czerwcu istotny wzrost temperatury przebiegał – w wykorzystanym w tej pracy scenariuszu SRES: A1B – zgodnie z równaniem regresji liniowej o postaci: Y = 0.0536x + 16.086. Jak podaje literatura, wszystkie scenariusze zmian klimatu opracowane dla Polski przewidują wzrost temperatury, natomiast wzrost sum opadów – tylko niektóre z opracowanych modeli (Kuchar i Iwański 2011, Kuchar i Iwański 2013, Kuchar i in. 2015, Kuchar i in. 2017, Łabędzki 2009a,b; Bąk i Łabędzki 2014a,b). Strużewska i in. (2020) podają, że według scenariusza RCP4.5 temperatura średnia roczna na terenie Polski wzrośnie w ciągu stulecia o 1,3 °C, natomiast według scenariusza RCP8.5 trend wzrostowy średniej rocznej temperatury będzie znacznie silniejszy. Najszybszy wzrost prognozowany jest – według cytowanego zespołu autorów – w latach 2025 - 2040, po czym na około dekadę ulega stabilizacji. Po roku 2050 temperatura średnia roczna wykazuje silny trend wzrostowy prowadzący do zwiększenia średnich rocznych temperatur na obszarze Polski o ponad 3 °C (w stosunku do dekady 2011-2020).

Mniejsze niedobory opadu w okresie prognozowanym (2021-2050) w przyjętym przedziale czasowym wegetacji jeżówki (11 maj – 10 lipiec) wynikały z tego, że w tym czasie przewiduje się wystąpienie większej sumy opadów atmosferycznych w scenariuszu zmian klimatycznych SRES: A1B. Bowiem średnie sumy miesięcznego opadu atmosferycznego maja i czerwca – odpowiednio dla okresu referencyjnego i prognozowanego – wyniosły 100 mm i 127 mm (Bąk i Łabędzki 2014a). Dodatkowo, jak podają cytowani autorzy, sumy opadów w lipcu wykazywały dla tego scenariusza (zgodnie w równaniem regresji liniowej w postaci: y = 0.2337x + 36.101) tendencję rosnącą.

W świetle uzyskanych wyników, opracowanych dla tylko jednego miasta i jednego scenariusza zmian klimatu (SRES: A1B) w okresie 2021-2050, które przedstawiono w niniejszej pracy, wydaje się być interesującym kontynuowanie badań z uwzględnieniem innych jeszcze scenariuszy zmian klimatu dla Polski, innych miast i dalszego horyzontu czasowego. Planowane są w naszym zespole takie badania z uwzględnieniem dwóch kolejnych scenariuszy zmian klimatu (RCP4.5 i RCP8.5), czterech miast (Bydgoszcz, Poznań, Łódź, Warszawa) i dłuższego okresu prognozowanego (2031-2100) oraz innych jeszcze gatunków roślin.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przyjętych założeń i przeprowadzonych obliczeń można sformułować następujące stwierdzenia i wnioski:

1. W okresie prognozowanym (2021-2050) należy spodziewać się wystąpienia większej zmienności potrzeb wodnych jeżówki purpurowej. Wskazują na to wyższe wartości miar zmienności bezwzględnej (odchylenia standardowego) i względnej (współczynnika zmienności).

2. W okresie prognozowanym należy spodziewać się wystąpienia wyraźnej tendencji do zwiększania się potrzeb wodnych jeżówki (w każdym dziesięcioleciu o 8.9 mm).
3. Sumy niedoboru opadu dla całego okresu wegetacji jeżówki purpurowej (11 maj – 10 lipiec) – w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – zmniejszą się w niewielkim zakresie z poziomu 205,9 mm, 259,4 mm i 301,9 mm w okresie porównawczym do poziomu odpowiednio 198,6 mm, 254,6 mm i 298,5 mm w okresie prognozowanym, co – w świetle scenariusza SRES: A1B – wynika z większej ilości opadów w czerwcu i lipcu.

LITERATURA

1. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements.* FAO Irrig. Drain. Paper, 56, Rome, ss. 300.
2. Bąk B., Łabędzki L. 2014a. Prediction of precipitation deficit and excess in Bydgoszcz region in view of predicted climate change. *Journal of Water and Land Development*, 23, 11–19.
3. Bąk B., Łabędzki L. 2014b. Thermal conditions in Bydgoszcz region in growing seasons 2011–2050 in view of expected climate change. *Journal of Water and Land Development*, 23, 21–29.
4. Kuchar L., Iwański S. 2011. Rainfall simulation for the prediction of crop irrigation in future climate. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 5, 7–18.
5. Kuchar L., Iwański S. 2013. Rainfall evaluation for crop production until 2050-2060 and selected climate change scenarios for North Central Poland. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 2(I), 187–200.
6. Kuchar L., Iwański S., Diakowska E., Gąsiorek E. 2015. Simulation of hydrothermal conditions for crop production purpose until 2050-2060 and selected climate change scenarios for North Central Poland. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, II(1), 319–334.
7. Kuchar L., Iwański S., Diakowska E., Gąsiorek E. 2017. Assessment of meteorological drought in 2015 for North Central part of Poland using hydrothermal coefficient (HTC) in the context of climate change. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, I(2), 257–273.
8. Li T.S.C. 1994. Use of stinging nettle as potential organic fertilizer for herbs. J. Herbs Spices Medicinal Plants, 4, 3-8.
9. Łabędzki L. 2009a. Foreseen climate changes and irrigation development in Poland. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 3, 7-18.
10. Łabędzki L. 2009b. Expected development of irrigation in Poland in the context of climate change. *Journal of Water and Land Development*, 13b, 17-29.
11. Łabędzki L., Bąk B., Liszewska M. 2013. Wpływ przewidywanej zmiany klimatu na zapotrzebowanie ziemniaka późnego na wodę. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2(I), 155-165.
12. Marcinkowski J. 2015. *Byliny*. MULTICO. Warszawa
13. Mrowiec C. 2008. *Zielone dachy jako element zrównoważonych systemów odprowadzania wód opadowych*. W: J. Łomotowski (red.): Problemy zagospodarowania wód opadowych. Wyd. Seidel-Przywecki, 59-72.
14. Ostromęcki J. 1973. *Podstawy melioracji nawadniających*. PWN Warszawa, 1-450.

15. Platt C. 1978. *Problemy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej*. PWN, Warszawa, ss. 377.
16. Rolbiecki S. 2018. O szacowaniu potrzeb wodnych drzew owocowych w Polsce na podstawie temperatury powietrza. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, II/1, 393-406.
17. Strużewska J., Jefimow M., Jagiełło P., Kłeczek M., Sattari A., Gienibor A., Norowski A., Durka P., Walczak B., Drzewiecki P. 2020. *Zmiany temperatury i opadu na obszarze Polski w warunkach przyszłego klimatu do roku 2100 (Raport skrócony).* Wyd. IOŚ-PIB, 1-31.
18. Tabaszewski, J. 1980. Elementy inżynierii wodnej. Wyd. ART Olsztyn, 1-189.
19. Treder J., Treder W., Klamkowski K. 2017. Determination of irrigation requirements and crop coefficients using weighing lysimeters in perennial plants. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 14/ III (2), 1213–1228.
20. Wojciechowska E., Gajewska M., Żurkowska N., Surówka M., Obarska-Pempkowiak H. 2015. *Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową*. Wyd. Politechniki Gdańskiej, 1-147.
21. Żakowicz, S.; Hewelke, P.; Gnatowski, T. 2009. *Podstawy infrastruktury technicznej w przestrzeni produkcyjnej*, SGGW Warszawa, 1-192.
22. Żakowicz S., Hewelke P. 2002. *Podstawy inżynierii środowiska*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 140

Autor korespondencyjny: Stanisław Rolbiecki
ORCID: 0000-0002-1433-2212
e-mail: Stanislaw.Rolbiecki@pbs.edu.pl

Ariel Łangowski
ORCID: 0000-0002-3459-8990
e-mail: Ariel.Langowski@pbs.edu.pl

Roman Rolbiecki
ORCID: 0000-0001-6230-4227
e-mail:: rolbr@pbs.edu.pl

Renata Kuśmierek-Tomaszewska
ORCID: 0000-0002-2333-376X
email: rkusmier@pbs.edu.pl

Weronika Pezała

Katedra Biogeochemii, Gleboznawstwa i Melioracji Wodnych
Politechnika Bydgoska im. J. J. Śniadeckich
Al. Prof. S. Kaliskiego 7
85-796 Bydgoszcz

Otrzymano: 05.08.2025 r.
Zwrócono po recenzji: 27.10.2025 r.
Zaakceptowano: 27.10.2025 r.