INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

2026, Vol. 21(1), 5–15
e-ISSN: 2956-7971, License CC-BY 4.0

DOI: https://doi.org/10.14597/infraeco.2026.001

POTRZEBY WODNE PRZETACZNIKA KŁOSOWEGO (*Veronica spicata* L.) NA DACHU ZIELONYM W AGLOMERACJI MIEJSKIEJ BYDGOSZCZY W ŚWIETLE PRZEWIDYWANYCH ZMIAN KLIMATU

WATER NEEDS OF SPIKED SPEEDWELL (*Veronica spicata* 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 przetacznika kłosowego (Veronica spicata L.) na dachu zielonym w aglomeracji miejskiej Bydgoszczy w świetle przewidywanych zmian klimatu. Uwzględniono scenariusz zmian klimatu dla Polski SRES: A1B. Potrzeby wodne przetacznika wyznaczono metodą współczynników roślinnych. Na podstawie przyjętych założeń oraz przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że w okresie prognozowanym (2021-2050) wystąpi większa zmienność potrzeb wodnych przetacznika. W okresie prognozowanym należy się spodziewać wystąpienia wyraźnej tendencji do zwiększania się potrzeb wodnych przetacznika o 6,9 mm w każdym dziesięcioleciu. Przewidywane jest zmniejszenie sum niedoborów opadu dla całego okresu wegetacji przetacznika kłosowego (tj. od 11 maja do 10 lipca). Niedobory te zmniejszą się odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym z poziomu 129,9 mm, 175,7 mm i 210,7 mm w okresie referencyjnym do 121,2 mm, 169,4 mm i 205,5 mm w okresie prognozowanym.

Słowa kluczowe: *przetacznik kłosowy, Veronica spicata L., potrzeby wodne, niedobory opadu, zmiany klimatu*

ABSTRACT

The aim of this study to estimate the water demand for spiked speedwell (Veronica spicata L.) on a green roof in Bydgoszcz urban aglomeration, depending on projected climate change. A scenario of climate changes for Poland SRES: A1B was taken into account. Water needs of spiked speedwell were determined by the method of plant

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

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 spiked speedwell. In the forecast period, a clear tendency towards increasing water needs of the spiked speedwell is expected every 6.9 mm in a decade. The total rainfall shortages are expected to decrease for the entire growing season of the spiked speedwell (11. May – 10. July). Those water shortages decreased – in an average, moderately dry and very dry year, respectively – from 129.9 mm, 175.7 mm and 210.7 mm in the reference period to 121.2 mm, 169.4 mm and 205.5 mm in the forecast period.

***Keywords**: spiked speedwell, Veronica spicata L., water needs, rainfall deficit, climate changes*

WSTĘP

W ostatnich latach na terenach zurbanizowanych wprowadza się tzw. zrównoważone gospodarowanie wodą deszczową (Wojciechowska i in., 2015). Zgodnie z tym podejściem woda deszczowa przestaje być uważana za „niepotrzebną" czy „niechcianą". Dlatego też w wielu krajach – zarówno tych o ograniczonych zasobach wodnych, jak i rozwiniętych (np. Dania, Szwecja, Niemcy) – woda deszczowa zaczyna być postrzegana jako cenny zasób, nadający się do ponownego wykorzystania np. do pokrywania potrzeb wodnych (nawadniania) terenów zieleni miejskiej.

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 retencjonują wodę opadową, z której część jest wykorzystywana przez rośliny, a część oddawana do atmosfery w procesie ewapotranspiracji (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 i zmniejszenie przepływów szczytowych (Mrowiec, 2008).

Przetacznik kłosowy (*Veronica spicata* L.) jest byliną naturalnie porastającą suche łąki i wzgórza, a swoim zasięgiem obejmującą prawie całą Europę – w tym Polskę. Roślina ta charakteryzuje się średnim wzrostem (do około 50 cm) oraz licznymi kwiatostanami w formie gron w okresie kwitnienia (lipiec – wrzesień) (Chmiel, 2000). Stanowi on roślinę charakterystyczną dla klasy Festuco-Brometea, obejmującą murawy kserotermiczne (Sudnik-Wójcikowska i Cwener, 2012). Tym samym także jego występowanie wskazuje na dużą wartość pH gleby (Trąba i Rogut, 2013). Ze względu na małe wymagania siedliskowe, a także wysoką odporność na okresowe susze, z powodzeniem może być uprawiany na dachach zielonych w aglomeracji miejskiej.

Opracowane w ostatnich latach dla Polski scenariusze zmian temperatury powietrza i naturalnych opadów atmosferycznych różnią się między sobą istotnie w odniesieniu do okresu letniego (w szczególności: czerwiec-sierpień). Wszystkie modele przewidują bowiem wzrost temperatury, a tylko nieliczne z nich – wzrost opadów, niektóre natomiast – nawet spadek opadów. W ocenie specjalistów, przewidywane zmiany klimatyczne mogą wpłynąć na wzrost potrzeb wodnych roślin – zarówno na terenach niezurbanizowanych, jak i zurbanizowanych (obejmujących m.in. tereny zieleni miejskiej) (Łabędzki, 2009a,b).

Celem pracy było oszacowanie wielkości ewapotranspiracji potencjalnej przetacznika kłosowego (*Veronica spicata* 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 przetacznika kłosowego – na podstawie temperatury powietrza – obliczono wykorzystując metodę Tredera (Rolbiecki 2018).

ETp przetacznika kłosowego obliczono zatem ze wzoru:

$$ET = kc \cdot Eto \tag{1}$$

gdzie:

- kc – współczynnik roślinny dla przetacznika kłosowego wg Treder i in. (2017) (tab. 1)

Tabela 1. Wartość współczynnika kc dla przetacznika kłosowego (*Veronica spicata* L.). opracowanie własne na podstawie Treder i in. (2017)
Table 1. The kc coefficient value for spiked speedwell (*Veronica spicata* L.). The own elaboration by Treder et al. (2017)

Miesiąc/Month	**Maj / May**		**Czerwiec / June**		**Lipiec / July**	
Dekada*	**2d. V**	**3d. V**	**1d. VI**	**2d. VI**	**3d. VI**	**1d. VII**
Współczynnik k_c	0,87	1,07	1,27	1,23	1,18	1,15

*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):

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

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·s^{-1};
- Δ – nachylenie krzywej ciśnienia nasyconej pary wodnej, kPa·^{o}C^{-1};
- γ – stała psychrometryczna, kPa·^{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 przetacznika kłosowego 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·okres^{-1}),
- ETp – średnia z wielolecia wysokość ewapotranspiracji potencjalnej w analizowanym okresie (mm·okres^{-1}),
- P – średnia z wielolecia wysokość opadu w analizowanym okresie (mm·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 przetacznika kłosowego 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 12,1% w okresie prognozowanym.

Tabela 2. Charakterystyka statystyczna potrzeb wodnych przetacznika kłosowego na dachu zielonym w okresie wegetacji (11 V – 10 VII)(Etp; mm)
Table 2. Statistical characteristics of the water needs of spiked speedwell on a green roof during the growing season (11 V – 10 VII) (Etp; mm)

Wyszczególnienie / Specification	**Okres porównawczy / Comparative period (1981-2010)**	**Okres prognozowany / Forecast period (2021-2050)**
Minimum	186,8	181,3
Maksimum	293,2	295,0
Mediana	237,5	239,9
Średnia	239,6	241,5
*SD**	22,0	29,2
VC (%)*	9,2	12,1

* *SD* – odchylenie standardowe; *VC* – współczynnik zmienności

Dobowe wartości ETp przetacznika – średnio dla lat 2021-2050 – zwiększały się z poziomu 2,7 mm (w drugiej dekadzie maja) do 4,8 mm (w pierwszej dekadzie lipca) (rys. 1B). Dla porównania, w okresie referencyjnym średnie dobowe wartości ETp przetacznika zwiększały się z poziomu 2,9 mm w drugiej dekadzie maja do 4,5 mm w pierwszej dekadzie czerwca (w tej dekadzie były najwyższe) (rys. 1A).

Rysunek 1. Dzienne (dobowe) potrzeby wodne przetacznika w kolejnych dekadach sezonu wegetacyjnego – w okresach referencyjnym (A) i prognozowanym (B)
Figure 1. Daily (24-hour) water needs of spiked speedwell 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 przetacznika – w każdym dziesięcioleciu okresu prognozowanego bowiem o 6,9 mm. Dla porównania w okresie referencyjnym tendencja ta wyniosła zaledwie 1,9 mm·dekada^{-1}.

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

Wyszczególnienie / Specification	**Równanie trendu**	**Współczynniki i istotność***			**Trend czasowy (mm·dekada^{-1})**
		R^2	**r**	**istotność**	
Okres porównawczy (1981-2010)	y = 0,1886x + 236,7	0,0057	0,0755	*ns*	1,9
Okres prognozowany (2021-2050)	y = 0,6904x + 230,75	0,0433	0,2081	*ns*	6,9

* R2 – współczynnik determinacji; r – współczynnik korelacji; ns – nieistotne

W tabeli 4 zamieszczono potrzeby wodne badanego gatunku ujęte jako wartości średnie dla kolejnych dekad (dziesięcioleci) okresów referencyjnego i prognozowanego. Najniższa suma potrzeb wodnych wystąpiła w pierwszym dziesięcioleciu okresu referencyjnego (1981-1990) i wyniosła 232,7 mm. Najwyższą sumę potrzeb wodnych – wynoszącą 246,5 mm stwierdzono w dziesięcioleciu 1991-2000 w okresie porównawczym oraz niewiele od niej mniejszą (246,3 mm) w dziesięcioleciu 2031-2040 w okresie prognozowanym.

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

Dziesięciolecie / Decade	**ETp (mm)**
Okres referencyjny (1981-2010)	
1981-1990	232,7
1991-2000	246,5
2001-2010	239,7
Okres porównawczy (2021-2050)	
2021-2030	236,5
2031-2040	246,3
2041-2050	241,5

Różnica pomiędzy sumą średnich potrzeb wodnych w okresie prognozowanym i referencyjnym była bardzo mała wynosząc zaledwie 1,9 mm (tj. 0,8%) (tab. 5). W sytuacji, gdy porównywano skrajne dziesięciolecia obu okresów (1981-1990 oraz 2041-2050), różnica ta wzrosła do 8,8 mm (3,8%). Największy wzrost potrzeb wodnych badanych gatunków (różnica między dekadą z największymi potrzebami tj. 2031-2040 i dekadą z najmniejszymi potrzebami tj. 1981-1990) wyniósł 13,6 mm (tj. 5,8%).

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

Wyszczególnienie / Specification	**Dekady / Decades**		**Różnica / Difference (2021–2050) – (1981–2010)**	
	1981-2010	**2021-2050**	**mm**	**%**
Różnica pomiędzy wartościami średnimi dla porównywanych trzydziestoleci				
Okres wegetacji (11 V – 10 VII)	239,6	241,5	1,9	0,8
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)	232,7	241,5	8,8	3,8
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)	232,7	246,3	13,6	5,8

Generalnie, w okresie referencyjnym, sumy niedoboru opadu dla całego okresu wegetacji przetacznika kłosowego (od 11 maja do 10 lipca) odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym wyniosły 129,9 mm, 175,7 mm i 210,7 mm (tab. 6). W okresie prognozowanym zmniejszyły się one natomiast odpowiednio do 121,2 mm, 169,4 mm i 205,5 mm.

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

Wyszczególnienie / Specification	**Miesiące okresu wegetacji / Months of the growing season**			**Suma / Total ∑ 11 V – 10 VII**
	11-31 V	1-30 VI	1-10VII	
Okres referencyjny 1981-2010				
Rok średni [$N_{50\%}$]	31,2	80,2	18,5	129,9
Rok średnio suchy [$N_{25\%}$]	44,1	103,5	28,1	175,7
Rok bardzo suchy [$N_{10\%}$]	53,8	121,7	35,2	210,7
Okres prognozowany 2021-2050				
Rok średni [$N_{50\%}$]	15,7	71,5	34,0	121,2
Rok średnio suchy [$N_{25\%}$]	30,4	97,4	41,6	169,4
Rok bardzo suchy [$N_{10\%}$]	40,7	117,0	47,8	205,5

DYSKUSJA

Stwierdzona w badaniach własnych tendencja do zwiększania się potrzeb wodnych przetacznika jest konsekwencją wzrostu temperatury w przyjętym scenariuszu zmian klimatu (SRES: A1B). Przewidywany wzrost temperatury znajduje potwierdzenie w literaturze. Łabędzki (2009a,b) podaje, że w Polsce można spodziewać się wzrostu temperatury powietrza w zakresie od 2 do 4 °C. W literaturze panuje zgodność co do tego, że wraz z nasilaniem się niekorzystnych zmian klimatycznych w Polsce będzie wzrastać znaczenie racjonalnego zarządzania zasobami wodnymi (w tym nawodnieniami), zwłaszcza w Polsce centralnej (Kuchar i Iwański, 2011; Kuchar i Iwański, 2013; Kuchar i in., 2015, Kuchar i in., 2017; Łabędzki, 2009a,b; Łabędzki i in., 2013).

W okresie prognozowanym (2021-2050) zmniejszyły się niedobory opadu w przyjętym okresie wegetacji przetacznika (11 maj – 10 lipiec). Wyjaśnienia tego należy upatrywać w większej sumie opadów atmosferycznych przewidywanych w scenariuszu zmian klimatycznych SRES: A1B (Bąk i Łabędzki, 2014a). Przykładowo, średnie miesięczne sumy opadu atmosferycznego w maju i czerwcu wynosiły 49 mm i 51 mm dla okresu referencyjnego oraz odpowiednio 65 mm i 62 mm dla okresu prognozowanego. Odnosząc się do tego, trzeba stwierdzić, że w większości scenariuszy zmian klimatycznych dla Polski nie przewiduje wzrostu sumy opadów w ciągu roku, jednak można spodziewać się wzrostu opadów zimowych, a zmniejszenia opadów letnich (Alcamo i in., 2007; EEA, 2008; IPCC, 2007; Kundzewicz, 2003 i 2007; Parry, 2000; Randall i in., 2007).

W świetle uzyskanych wyników celowym wydaje się kontynuowanie tych badań z uwzględnieniem warunków także innych aglomeracji miejskich w Polsce centralnej oraz innych scenariuszy zmian klimatu i większej liczby gatunków bylin ozdobnych.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przyjętych założeń i przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że w okresie prognozowanym (2021-2050) należy się spodziewać:

- wystąpienia większej zmienności potrzeb wodnych przetacznika,
- wystąpienia wyraźnej tendencji do zwiększania się potrzeb wodnych przetacznika o 6,9 mm w każdym dziesięcioleciu,
- zmniejszenia sum niedoborów opadu dla całego okresu wegetacji przetacznika kłosowego (od 11 maja do 10 lipca). Niedobory te zmniejszą się odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym z poziomu 129,9 mm, 175,7 mm i 210,7 mm w okresie referencyjnym do 121,2 mm, 169,4 mm i 205,5 mm w okresie prognozowanym.

LITERATURA

1. Alcamo, J.; Moreno, J.M.; Nováky, B.; Hindi, M.; Corobov, R.; Devoy, R.J.N.; Giannakopoulos, C.; Martin, E.; Olesn, J.E.; Shvidenko, A. (2007). *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. W: Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J.; Hanson, C.E. (red.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541–580.
2. 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, 300.
3. 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.
4. 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.
5. Chmiel, H.; Gawroński, S.W.; Gołos, J.; Jabłońska, L.; Jerzy, M.; Latkowska, M.; Ładyżyńska, H.; Łukaszewska, A.; Pindel, Z.; Prabucki, A.; Skutnik, E.; Starck, Z.; Starck, J. R.; Szlachetko, W.; Szydło, W.; Świdzińska, M.; Witomska, M. (2000). *Uprawa roślin ozdobnych*. PWRiL, Warszawa.
6. EEA. (2008). *Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment*. Joint EEA-JRC-WHO report. Report No 4/2008,
7. IPCC. (2007). *The Fourth Assessment Report of the IPCC (AR4). Intergovernmental Panel on Climate Change*.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Kundzewicz, Z. (2007). *Projekcje zmian klimatu – ekstrema hydrometeorologiczne.* I Polska Konferencja ADAGIO, Poznań 24 kwietnia 2007.
13. Kundzewicz, Z. (2003). *Scenariusze zmian klimatu. W: Czy Polsce grożą katastrofy klimatyczne?*. Komitet Prognoz „Polska 2000 Plus", Polski Komitet Międzynarodowego Programu „Zmiany Globalne Geosfery i Biosfery" przy Prezydium PAN, Warszawa, 14–31.
14. Łabędzki, L. (2009a). *Foreseen climate changes and irrigation development in Poland*. Infrastructure and Ecology of Rural Areas, 3, 7–18.
15. Łabędzki, L. (2009b). *Expected development of irrigation in Poland in the context of climate change.* Journal of Water and Land Development, 13b, 17–29.
16. 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.
17. Mrowiec, C. (2008). *Zielone dachy jako element zrównoważonych systemów odprowadzania wód opadowych*. W: Łomotowski, J. (red.): Problemy zagospodarowania wód opadowych. Wyd. Seidel-Przywecki, 59–72.
18. Ostromęcki, J. (1973). *Podstawy melioracji nawadniających*. PWN Warszawa, 1–450.

19. Parry, M.L. (2000). *Assessment of potential effects and adaptation for climate change in Europe: The Europe ACACIA Project*. Jackson Environmental Institute, University of East Anglia, Norwich, UK, 1–324.
20. Platt, C. (1978). *Problemy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej*. PWN, Warszawa, 1–377.
21. Randall, D.A.; Wood, R.A.; Bony, S.; Colman, R.; Fichefet, T.; Fyfe, J.; Kattsov, V.; Pitman, A.; Shukla, J.; Srinivasan, J.; Stouffer, R.J.; Sumi, A.; Taylor, K.E. (2007). *Climate models and their evaluation.* W: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor M.; Miller H.L. (eds.). Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, USA.
22. Sudnik-Wójcikowska, B.; Cwener, A. (2012). *Rośliny kserotermiczne*. Oficyna Wydawnicza: MULTICO. Warszawa.
23. Rolbiecki, S. (2018). *O szacowaniu potrzeb wodnych drzew owocowych w Polsce na podstawie temperatury powietrza*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, II/1, 393–406.
24. 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*. Wyd. IOŚ-PIB, 1–31.
25. Tabaszewski, J. (1980). *Elementy inżynierii wodnej*. Wyd. ART Olsztyn, 1–189.
26. Trąba, Cz.; Rogut, K. (2013). *Zróżnicowanie zbiorowisk muraw psammofilnych w południowo-wchodniej Polsce*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. 13,1(41), Wyd. ITP. Falenty, 1–160.
27. 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.
28. Wojciechowska, E.; Gajewska, M.; Żurkowska, N.; Surówka, M.; Obarska-Pempkowiak, H. (2015). *Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową*. Wyd. Politechniki Gdańskiej, 1–147.
29. Żakowicz, S.; Hewelke, P.; Gnatowski, T. (2009). *Podstawy infrastruktury technicznej w przestrzeni produkcyjnej*, SGGW Warszawa, 1–192.
30. Żakowicz, S.; Hewelke, P. (2002). *Podstawy inżynierii środowiska*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 1–140

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

Weronika Pezała

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

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

Otrzymano: 05.08.2025
Zwrócono po recenzji: 09.01.2026
Opublikowano: 12.01.2026