INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

No I/1/2023, POLISH ACADEMY OF SCIENCES, Cracow Branch, pp. 187 - 204
Commission of Technical Rural Infrastructure

DOI: https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2023.010

SZACOWANIE POTRZEB DESZCZOWANIA TERENÓW ZIELENI W ZRÓŻNICOWANEJ PRZESTRZENI URBANISTYCZNEJ

Stanisław ROLBIECKI[1], Roman ROLBIECKI[1], Renata KUŚMIEREK-TOMASZEWSKA[1], Jacek ŻARSKI[1], Ariel ŁANGOWSKI[1]

ESTIMATING THE NEEDS FOR SPRINKLER IRRIGATION OF GREEN AREAS IN DIVERSE URBAN PLANNING SPACES

Streszczenie

Celem pracy było określenie różnic potrzeb deszczowania trawnika wynikających z niejednorodności topograficznej miasta Bydgoszczy i zróżnicowanych pod względem zagospodarowania terenów zamiejskich. Pomiary meteorologiczne prowadzono w okresie od maja do września na terenach zróżnicowanych pod względem stopnia urbanizacji i formy pokrycia terenu: centrum dużego miasta, peryferia miejskie i obszar użytkowany rolniczo. Na podstawie wielkości obliczonych potrzeb wodnych trawnika określono zakres deficytów opadów w okresie wegetacji roślin. Stwierdzono, że sumy opadów sezonowych w porównywanych lokalizacjach kształtowały się na podobnym poziomie, jednakże zaobserwowano dużą zmienność czasową tego wskaźnika w poszczególnych sezonach. Pod względem warunków ewaporometrycznych zaobserwowano wyraźne różnice po-

[1] Pracownia Melioracji i Agrometeorologii, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Politechnika Bydgoska im. J.i.J.Śniadeckich, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-021 Bydgoszcz rolbr@pbs.edu.pl

między analizowanymi lokalizacjami. Średnio, największe sumy ewapotranspiracji wskaźnikowej wyznaczono dla centrum miasta, co jest efektem powstającego na tym obszarze zjawiska "miejskiej wyspy ciepła". Natomiast najmniejsze straty wody na skutek ewapotranspiracji wystąpiły na terenach wiejskich. Wyniki przeprowadzonej analizy pozwoliły stwierdzić, że potrzeby deszczowania trawnika cechowała zarówno zmienność czasowa jak i przestrzenna. Zdecydowanie największe potrzeby deszczowania wystąpiły w warunkach miejskich, mniejsze na terenach wiejskich użytkowanych rolniczo, a najmniejsze na obrzeżach Bydgoszczy.

Słowa kluczowe: ewapotranspiracja, opady atmosferyczne, nawadnianie, tereny zieleni, miejska wyspa ciepła

Abstract

The study aimed to determine the differences in lawn irrigation needs resulting from the topographical heterogeneity of the city of Bydgoszcz and surrounding areas. To gather the data, meteorological measurements were carried out in the period from May to September 2012-2014, in areas diversified in terms of the degree of urbanization and land cover: the center of a large city, urban peripheries and rural area. Based on the calculated water needs of the lawn, the range of rainfall deficits during the lawn growing period was determined. It was found that seasonal rainfall totals in the compared locations were at a similar level, but a large temporal variability of this indicator was observed in individual seasons. In terms of evapotranspiration, clear differences were noted between the analysed locations. On average, the highest amounts of potential evapotranspiration were found in the city center, which may be the result of the urban heat island phenomenon forming over this area. However, the lowest water loss due to evapotranspiration took place in the rural area. As a result of these, the analysis showed that the lawn's irrigation needs were characterized by both temporal and spatial variability. By far the greatest irrigation needs occurred in urban space, lower in rural areas, while the lowest on the outskirts of the city, in the Fordon district..

Keywords: evapotranspiration, atmospheric precipitation, irrigation, green areas, urban heat island

WSTĘP

Potrzeby deszczowania roślin wyznaczane są w oparciu o znormalizowane pomiary elementów meteorologicznych, których wieloletnie serie stanowią podstawę do tworzenia matematycznych formuł pozwalających oszacować wielkość ewapotranspiracji jednorodnej gatunkowo powierzchni biologicznie czynnej. W ciągu ostatnich 50 lat zostało opracowane wiele metod empirycznych mających na celu oszacowanie zależności ewapotranspiracji od różnych zmiennych klimatycznych (Penman 1948 Monteithem 1965, Allen i in. 1998, 2005, Hargreaves i Allen 2003, Alexandris i in. 2008), co ma istotne znaczenie w modelowaniu hydrologicznym, sterowaniu nawodnieniami, zarządzaniem zasobami wodnymi, w ekologii i ekonomii. Różnorodność modeli i metod jest związana ze złożonością zjawiska ewapotranspiracji i zależy od szerokiego zakresu danych wejściowych oraz lokalnych warunków klimatycznych. Zmiana metody, jak również zmiana miejsca pomiarów może powodować duże rozbieżności otrzymanych wyników. Przykładem tego są zróżnicowane wyniki dotyczące wielkości potrzeb wodnych roślin wyznaczone przez różnych autorów dla tego samego regionu na podstawie formuły Penmana-Monteitha, które zawierały się w przedziale od 500 mm (Kędziora 1995) do 549 mm (Łabędzki i in. 2012).

Najbardziej dokładny obraz procesu ewapotranspiracji dają wyniki pomiarów prowadzonych bezpośrednio w terenie, jednakże z uwagi na szereg ograniczeń, wykorzystuje się dane meteorologiczne pochodzące z sieci pomiarowej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Stacje pomiarowe IMGW lokalizowane są w miejscach reprezentujących bardzo duży obszar, często zróżnicowany topograficznie. Licznie prezentowane wyniki badań wskazują, że nawet na stosunkowo niewielkiej przestrzeni, może wystąpić bardzo duże zróżnicowanie topoklimatyczne spowodowane niejednorodnym sposobem zagospodarowania terenu, różnym rodzajem podłoża, czy charakterem szaty roślinnej (Błażejczyk 1992, Żarnowiecki 2002, Nowosad 2011, Kunz i in. 2012, Dudek i in. 2014, Kuśmierek-Tomaszewska i in. 2015). Ma to również wpływ na straty wody z terenów zieleni. Kiedy masy ciepłego i wilgotnego powietrza napływające do miasta zostają ogrzane, wilgotność względna powietrza ulega obniżeniu. To z kolei stymuluje zwiększone parowanie z powierzchni miejskich parków i terenów rekreacyjnych (Nidzgorska-Lencewicz i Mąkosza, 2016). Takie zwiększone straty wody z terenów biologicznie czynnych powodują konieczność stosowania nawodnień deszczownianych, celem utrzymania ich na optymalnym poziomie wegetacji.

Do sterowania nawadnianiem wykorzystuje się zazwyczaj informację meteorologiczną pochodzącą ze stacji pomiarowych zlokalizowanych poza obszarami silnie zurbanizowanymi. Istnieje ryzyko, że zastosowanie wyników pomiarów meteorologicznych prowadzonych na obszarze o niskim stopniu antropopresji (tereny zagospodarowane rolniczo) do oceny potrzeb nawadniania roślin na obszarach charakteryzujących się wysokim stopniem urbanizacji (centrum aglomeracji miejskiej), może skutkować błędnym oszaco-

waniem poziomu ewapotranspiracji, a w konsekwencji potrzeb deszczowania terenów zieleni zlokalizowanych w centrach miast.

Celem niniejszej pracy było określenie różnic warunków pluwiometrycznych i ewaporometrycznych w zróżnicowanych urbanistycznie warunkach topoklimatu, na podstawie których wyznaczono i porównano potrzeby deszczowania hipotetycznego trawnika w trzech niejednorodnych topograficznie strefach: miejskiej (centrum miasta Bydgoszczy), podmiejskiej (dzielnice peryferyjne) i użytkowanej rolniczo (tereny wiejskie).

MATERIAŁ I METODY

Aby ocenić potrzeby deszczowania trawnika w zróżnicowanych przestrzeniach urbanistycznych, porównano wielkość zaopatrzenia trawnika w wodę (opady naturalne) z jego potrzebami wodnymi (ET_o) w trzech różniących się pod względem zagospodarowania terenu lokalizacjach. Ewapotranspirację wskaźnikową trawnika obliczono za pomocą formuły Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena (ET_o *HDA*) (1).

$$ET_o = HC \cdot Ra\,(T_{max} - T_{min})^{HE}\left(\frac{T_{max}+T_{min}}{2}\right) + HT \quad \text{(mm)} \tag{1}$$

gdzie:

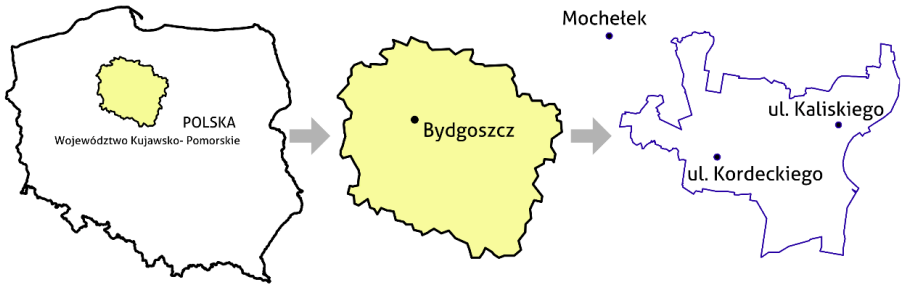
ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa (mm), Ra – radiacja ponad atmosferą (mm · dzień$^{-1}$), T_{max} – temperatura maksymalna powietrza (°C), T_{min} – temperatura minimalna powietrza (°C), HC – współczynnik empiryczny autorów = 0,0025, HE − współczynnik empiryczny autorów = 0,5, HT − współczynnik empiryczny autorów = 16,8.

Do analizy wykorzystano wyniki pomiarów podstawowych elementów meteorologicznych (całkowite promieniowanie słoneczne, temperatura i wilgotność powietrza oraz opady atmosferyczne). Pomiary prowadzono w latach 2012–2014 przy użyciu automatycznych stacji meteorologicznych Sky i DeltaT zlokalizowanych w centrum Bydgoszczy, w dzielnicy peryferyjnej Fordon i poza miastem w miejscowości Mochełek (rys. 1). Pierwszy punkt pomiarowy znajdował się w centrum Bydgoszczy (dziedziniec obiektu przy ul. Ks. Kordeckiego 20 (17º59'E i 53º07'N). W jego bezpośrednim otoczeniu, znajdował się parking pokryty betonową trylinką oraz wielopiętrowe budynki. Miejsce to cechuje zwarta zabudowa, silnie ograniczająca swobodną cyrkulację powietrza, z niewielką ilością terenów zielonych. Na obszarze tym dominują powierzchnie wykonane z materiałów cementowych, ceramicznych i bitumicznych charakteryzujące się bardzo dużą pojemnością cieplną. Miejsce to wybrano, kierując się możliwością monitorowania zjawiska znanego w literaturze pod nazwą „miejskiej wyspy ciepła".

Do badań warunków atmosferycznych na peryferiach Bydgoszczy wykorzystano wyniki pomiarów z automatycznej stacji meteorologicznej zainstalowanej w dzielnicy Fordon przy ul. Prof. S. Kaliskiego 7, na terenie kampusu Politechniki Bydgoskiej (ówczesnego Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego). Odległość tego punktu od cen-

trum miasta wyniosła około 11 kilometrów w kierunku wschodnim (18º07'E i 53º08'N). Peryferia w tej części miasta cechuje mniejsza w porównaniu z centrum Bydgoszczy zwartość zabudowy budynków wielokondygnacyjnych (3-4 piętra) i znacznie większy udział powierzchni biologicznie czynnych. Punkt pomiarowy zlokalizowano w otoczeniu terenów trawiastych, niskich mało zwartych zadrzewień i nieużytków.

Warunki panujące na terenach wiejskich, poza wpływem oddziaływania miasta monitorowano w punkcie pomiarowym zlokalizowanym w Stacji Badawczej Politechniki Bydgoskiej w miejscowości Mochełek. Obiekt położony jest około 15 kilometrów od centrum Bydgoszczy w kierunku północno-zachodnim, w dorzeczu rzeki Brdy (17º52' E i 53º12'N). Jest to otwarta przestrzeń, zagospodarowana rolniczo, o bardzo luźnej i niskiej zabudowie domów jednorodzinnych.



Rysunek 1. Lokalizacja automatycznych stacji meteorologicznych będących źródłem danych, w zróżnicowanych przestrzeniach urbanistycznych

Figure 1. Location of automatic weather stations, which were the sources of data, in various urban planning spaces

Obliczenia wykonano dla okresu intensywnej wegetacji trawnika, czyli od 1 maja do 31 września, w trzech kolejnych sezonach 2012, 2013 i 2014 roku, we wszystkich trzech lokalizacjach. Na podstawie sum dobowych opadów (P) i ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET_o) obliczono sumy dekadowe, które były punktem wyjścia do wyznaczenia potrzeb deszczowania trawnika (N) w tych krokach czasowych oraz dla całego sezonu maj–wrzesień. Dla zobrazowania zmienności analizowanych wskaźników zastosowano wybrane wskaźniki statystyki opisowej stosowane powszechnie do oceny cech klimatu lokalnego.

WYNIKI

Opady atmosferyczne

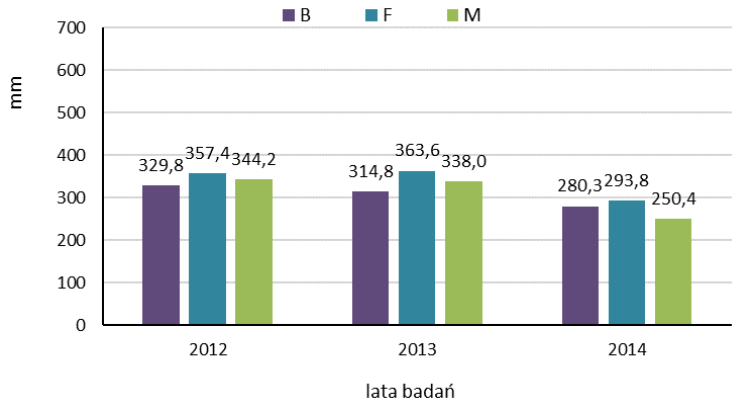
Średnie sumy opadów atmosferycznych w sezonie maj–wrzesień, w porównywanych przestrzeniach zróżnicowanych urbanistycznie nie wykazywały dużego zróżnicowania. W centrum Bydgoszczy na obszarze wiejskim wyniosły odpowiednio 308,3 i 310,9 mm (tab. 1). Nieco wyższe sumy opadów, średnio o 30,0 mm w stosunku do centrum miasta, zarejestrowano na peryferiach w dzielnicy Fordon. Zaobserwowano natomiast dużą zmienność czasową tego wskaźnika w poszczególnych sezonach, w każdej z porównywanych przestrzeni urbanistycznej, od 250,4 mm w 2014 roku na obszarze wiejskim do 363,6 mm w 2013 roku w dzielnicy peryferyjnej Fordon (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka warunków pluwiometrycznych w trzech zróżnicowanych urbanistycznie typach krajobrazu: centrum Bydgoszczy, peryferia miasta dzielnica Fordon, teren zamiejski Mochełek

Table 1. *Characteristics of rainfall conditions in diverse urban planning landscape types: the city center of Bydgoszcz, the city outskirts - the Fordon district, the rural area of the village of Mochełek.*

Wskaźnik Indicator		**Bydgoszcz centrum miasta city center**	**Fordon dzielnica peryferyjna the city suburbs**	**Mochełek obszar wiejski the rural area**
Opady atmosferyczne Atmospheric precipitation (mm)	Średnio mean	308,3	338,3	310,9
	najwyższe max	329,8 (2012)	363,6 (2013)	344,2 (2012)
	najniższe min	280,3 (2014)	293,8 (2014)	250,4 (2014)

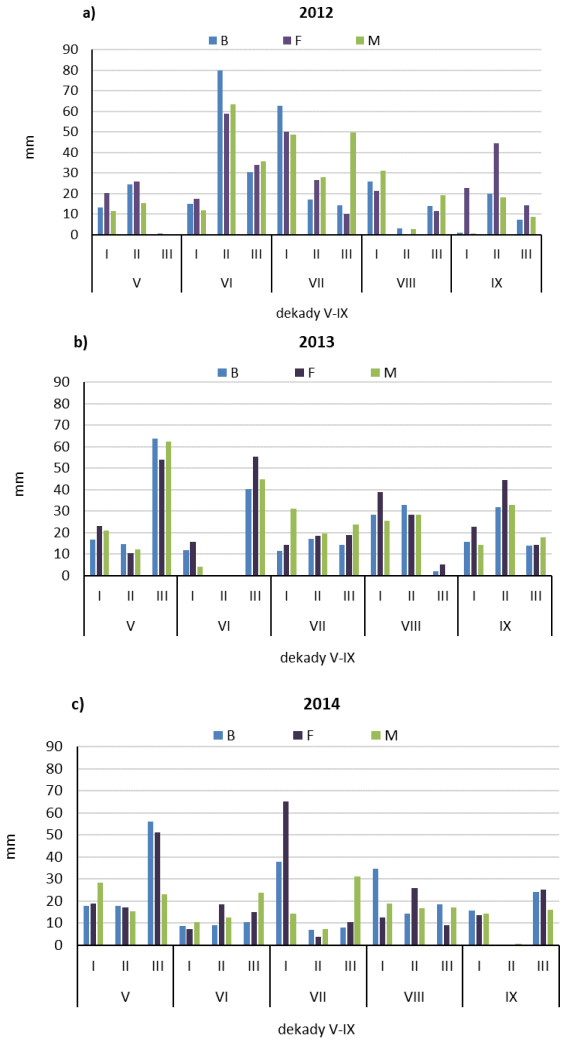
Na rysunku 2 przedstawiono porównanie sumy opadów w okresie (1 maj – 30 wrzesień) w trzech kolejnych latach badań (2012–2014) w poszczególnych lokalizacjach. Można zauważyć, że na obszarze silnie zurbanizowanym (centrum Bydgoszczy) sezonowe sumy opadów były niższe niż w pozostałych lokalizacjach o mniejszym stopniu antropopresji (z wyjątkiem roku 2014).



Rysunek 2. Porównanie sum opadów w okresie maj–wrzesień w kolejnych latach badań w zróżnicowanych urbanistycznie krajobrazach (B–centrum miasta Bydgoszczy, F–peryferia miasta Fordon, M–teren wiejski Mochełek)

Figure 2. *Comparison of rainfall totals in the period May–September in subsequent years of research in diverse urban planning spaces (B–the city center of Bydgoszcz, F–Fordon, the outskirts of the city , M–the rural area of Mochełek).*

W celu zobrazowania niestabilności czasowej warunków pluwiometrycznych, na wykresach poniżej przedstawiono dekadowe rozkłady sum opadów w okresie od 1 maja do 30 września w trzech porównywanych lokalizacjach zarejestrowanych w kolejnych latach badań 2012–2014 (rys. 3a-c). Zaznaczyło się duże zróżnicowanie dekadowych sum opadów okresu nawadniania (V–IX), w latach badań oraz porównywanych lokalizacjach (teren miejski, podmiejski i wiejski). Na przykład w 2012 r. od 0,0 mm w III dekadzie maja i II dekadzie sierpnia w dzielnicy Fordon, do 80,0 mm w II dekadzie czerwca w centrum miasta.



Rysunek 3. Dekadowe sumy opadów atmosferycznych w okresie maj–wrzesień w sezonach badań a) 2012, b) 2013 i c) 2014 roku w zróżnicowanych urbanistycznie krajobrazach (B–centrum miasta Bydgoszczy, F–peryferia miasta Fordon, M–teren wiejski Mochełek)

Figure 3. *The course of 10-day totals of atmospheric precipitation in the period May–September in the research seasons a) 2012, b) 2013 and c) 2014 in diverse urban planning spaces (B–the city center of Bydgoszcz, F–Fordon, the outskirts of the city, M – the rural area of Mochełek).*

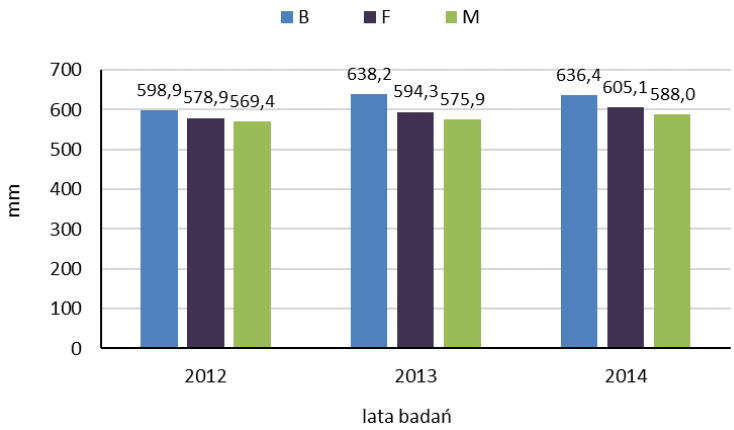
Ewapotranspiracja wskaźnikowa

Pod względem warunków ewaporometrycznych zaobserwowano wyraźne zróżnicowanie pomiędzy porównywanymi lokalizacjami. Średnio dla analizowanych sezonów maj-wrzesień, największe sumy ewapotranspiracji wskaźnikowej wyznaczono w centrum miasta (624,5 mm), co jest efektem tworzacego się nad tym obszarem zjawiska "miejskiej wyspy ciepła" (tab. 2). Natomiast najmniejsze straty wody na skutek ewapotranspiracji, średnio na poziomie 577,8 mm miały miejsce na terenach wiejskich. Podobnie, jak w przypadku opadów, również ewapotranspirację cechowała duża zmienność czasowa w poszczególnych sezonach i porównywanych przestrzeniach urbanistycznych. Sezonowe sumy wahały się od 569,4 mm w Mochełku w 2012 roku do 638,2 mm w centrum Bydgoszczy w 2013 r. Pod względem parowania, w dzielnicy peryferyjnej Fordon panowały warunki przejściowe pomiędzy centrum miasta, a obszarem wiejskim (rys. 4).

Tabela 2. Charakterystyka warunków ewaporometrycznych w trzech zróżnicowanych urbanistycznie typach krajobrazu: centrum Bydgoszczy, peryferia miasta dzielnica Fordon, teren zamiejski Mochełek

Table 2. *Characteristics of evapotranspiration conditions in diverse urban planning landscape types: the city center of Bydgoszcz, the city outskirts - the Fordon district, the rural area of the village of Mochełek.*

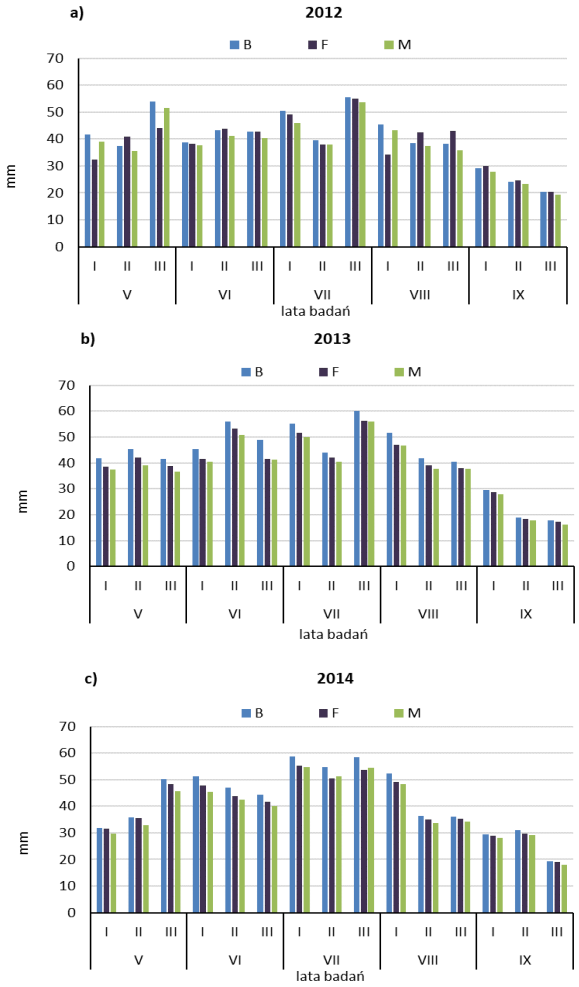
Wskaźnik Indicator		**Bydgoszcz centrum miasta city center**	**Fordon dzielnica peryferyjna the city suburbs**	**Mochełek obszar wiejski the rural area**
Ewapotranspiracja wskaźnikowa Potential evapotranspiration (mm)	średnio- mean	624,5	592,8	577,8
	najwyższe max	638,2 (2013)	605,1 (2014)	588,0 (2014)
	najniższe min	598,9 (2012)	578,9 (2012)	569,4 (2012)



Rysunek 4. Porównanie sum ewapotranspiracji w okresie maj–wrzesień w kolejnych latach badań w zróżnicowanych urbanistycznie krajobrazach (B–centrum miasta Bydgoszczy, F–peryferia miasta Fordon, M–teren wiejski Mochełek)

Figure 4. *Comparison of potential evapotranspiration totals in the period May–September in subsequent years of research in diverse urban planning spaces (B–the city center of Bydgoszcz, F–Fordon, the outskirts of the city , M–the rural area of Mochełek).*

Na rysunkach od 5a do 5c przedstawiono dekadowe sumy ewapotranspiracji wskaźnikowej, obrazujące duże zróżnicowanie tego wskaźnika, zarówno w kolejnych dekadach okresu nawadniania (V–IX), jak również w sezonach badań oraz lokalizacjach. Poza nielicznymi wyjątkami, największe parowanie cechowało silnie zurbanizowany obszar miejski.



Rysunek 5. Dekadowe sumy ewapotranspiracji potencjalnej w okresie maj–wrzesień w sezonach badań a) 2012, b) 2013 i c) 2014 roku w zróżnicowanych urbanistycznie krajobrazach (B–centrum miasta Bydgoszczy, F–peryferia miasta Fordon, M–teren wiejski Mochełek)

Figure 5. *The course of 10-day totals of potential evapotranspiration in the period May–September in the research seasons a) 2012, b) 2013 and c) 2014 in diverse urban planning spaces (B–the city center of Bydgoszcz, F–Fordon, the outskirts of the city, M – the rural area of Mochełek).*

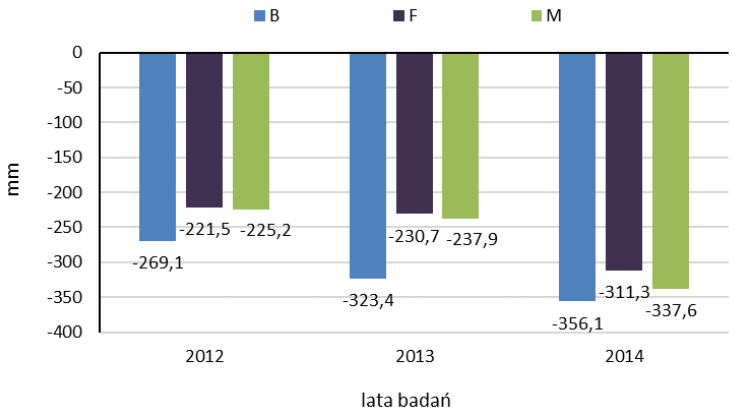
Niedobory opadów / potrzeby deszczowania trawnika

Wyniki przeprowadzonej analizy pozwoliły stwierdzić, że potrzeby deszczowania trawnika wyrażone wielkością niedoborów opadów, cechowała zarówno zmienność czasowa jak i przestrzenna. Zdecydowanie największe potrzeby deszczowania wystąpiły w warunkach miejskich. Średnio w sezonie maj–wrzesień wyniosły one 316,2 mm (tab. 3). Wyraźnie mniejsze zapotrzebowanie na suplementowanie wody poprzez systemy nawadniające stwierdzono na terenach wiejskich (średnio 266,9 mm) i na peryferiach miasta w dzielnicy Fordon (średnio 254,5 mm), a najmniejsze na obrzeżach Bydgoszczy. Potrzeby deszczowania trawnika cechowała duża zmienność czasowa w poszczególnych sezonach i porównywanych przestrzeniach urbanistycznych, co jest konsekwencją zmienności warunków pogodowych w poszczególnych sezonach wegetacji. Sezonowe sumy dawki nawadniającej wahały się od 221,5 mm w Fordonie i 225,2 mm w Mochełku w 2012 roku do 356,1 mm w centrum Bydgoszczy w 2014 r. W dzielnicy peryferyjnej Fordon i na obszarze wiejskim średnie potrzeby deszczowania kształtowały się na bardzo zbliżonym poziomie (średnia różnica wyniosła zaledwie 12,4 mm) (tab. 3). Natomiast w poszczególnych sezonach różnice te kształtowały się pomiędzy 3,6 mm w 2012 r. do 26,3 mm w 2014 r. (rys. 6).

Tabela 3 Charakterystyka potrzeb deszczowania trawnika (niedoborów opadów) w trzech zróżnicowanych urbanistycznie typach krajobrazu: centrum Bydgoszczy, peryferia miasta dzielnica Fordon, teren zamiejski Mochełek

Table 3. *Characteristics of irrigation needs (rainfall deficiencies) in diverse urban planning landscape types: the city center of Bydgoszcz, the city outskirts - the Fordon district, the rural area of the village of Mochełek.*

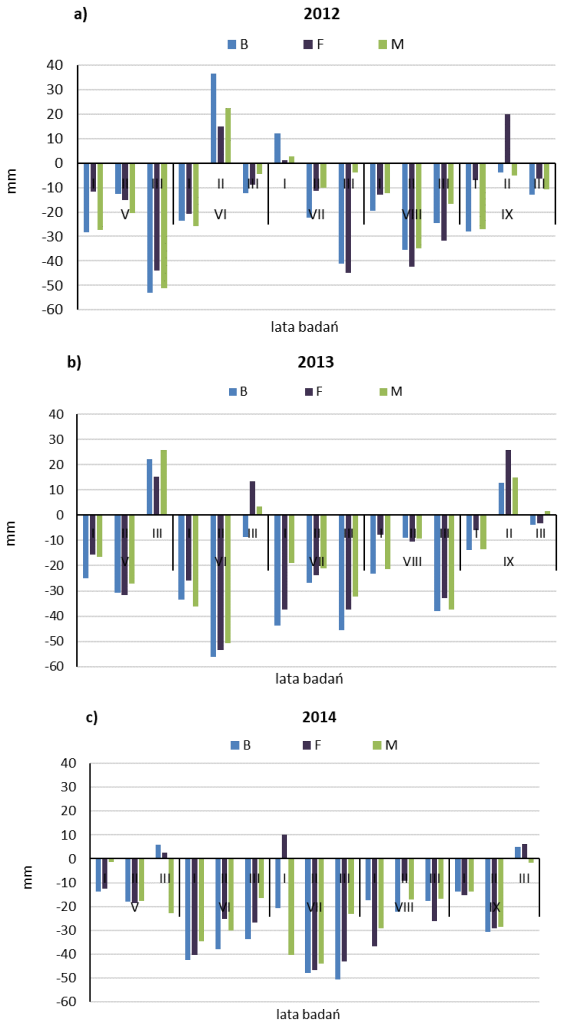
Wskaźnik Indicator		**Bydgoszcz centrum miasta city center**	**Fordon dzielnica peryferyjna the city suburbs**	**Mochełek obszar wiejski the rural area**
Potrzeby deszczowania (niedobory opadów) Irrigation needs (rainfall deficiencies) (mm)	Średnio- mean	-316,2	-254,5	-266,9
	najwyższe max	-356,1 (2014)	-311,3 (2014)	-337,6 (2014)
	najniższe min	-269,1 (2012)	-221,5 (2012)	-225,2 (2012)



Rysunek 5. Porównanie sezonowych potrzeb deszczowania w okresie maj–wrzesień w kolejnych latach badań w zróżnicowanych urbanistycznie krajobrazach (B–centrum miasta Bydgoszczy, F–peryferia miasta Fordon, M–teren wiejski Mochełek)

Figure 5. *Comparison of seasonal irrigation needs in the period May–September in subsequent years of research in diverse urban planning spaces (B–the city center of Bydgoszcz, F–Fordon, the outskirts of the city , M–the rural area of Mochełek).*

Dekadowe niedobory opadów atmosferycznych okresu nawadniania (V–IX) cechowała duża zmienność czasowa (rys. 7a–c) wynikająca zarówno z dużego zróżnicowania opadów atmosferycznych, jak i ewapotranspiracji potencjalnej w poszczególnych sezonach. Konieczność deszczowania trawnika występowała w każdym z analizowanych sezonów wegetacji, w niemal wszystkich dekadach (nieliczne wyjątki). Dekadowe potrzeby nawadniania trawnika sięgały do: 56,1 mm w centrum miasta i 53,3 mm w dzielnicy Fordon w II dekadzie czerwca 2013 r., oraz 51,1 mm na obszarze wiejskim w III dekadzie maja 2012 r.



Rysunek 7. Dekadowe potrzeby deszczowania trawnika w okresie maj–wrzesień w sezonach badań a) 2012, b) 2013 i c) 2014 roku w zróżnicowanych urbanistycznie krajobrazach (B–centrum miasta Bydgoszczy, F–peryferia miasta Fordon, M–teren wiejski Mochełek)

Figure 7. *The course of 10-day totals of the needs for irrigation of the lawn in the period May–September in the research seasons a) 2012, b) 2013 and c) 2014 in diverse urban planning spaces (B–the city center of Bydgoszcz, F–Fordon, the outskirts of the city, M–the rural area of Mochełek).*

DYSKUSJA WYNIKÓW

Warunki pogodowe i klimatyczne na danym obszarze kształtuje w głównej mierze cyrkulacja atmosferyczna (Błażejczyk 2002, Owczarek 2012), jednakże, wyniki przeprowadzonej analizy potwierdzają, że w skali lokalnej zróżnicowanie przestrzenne elementów pogodowych, a tym samym potrzeb deszczowania terenów zieleni jakim są trawniki, powodują różnice wynikające ze stopnia zurbanizowania przestrzeni. Zmniejszanie terenów biologicznie czynnych na rzecz powierzchni o dużej pojemności cieplnej jakimi są tereny utwardzone, powierzchnie dachów, ściany budynków, prowadzi do ograniczenia retencji wody w podłożu. Generuje to w okresie sezonu wegetacji wysokie poziomy niedosytu wilgotności powietrza i intensyfikuje proces ewapotranspiracji i tym samym powoduje wzrost zapotrzebowania terenów rekreacyjnych na nawadnianie (Nowosad 2011). Złożona struktura urbanistyczna i wysokościowa, która wpływa na bilans energetyczny powierzchni oraz powoduje zmiany prędkości i kierunku wiatru jest czynnikiem warunkującym specyficzny lokalny klimat i bioklimat miasta (Fortuniak 2003). Wyniki badań innych autorów potwierdzają, że zróżnicowanie warunków meteorologicznych i w dużych aglomeracjach miejskich zależy istotnie od charakteru zabudowy, udziału powierzchni biologicznie czynnej i ich lokalizacji (Żarnowiecki 2002, Kuchcik i Baranowski 2011, Stopa-Boryczka i in. 2011).

PODSUMOWANIE

Na podstawie wstępnych wyników badań nad określeniem różnic w potrzebach wodnych trawnika wynikających z niejednorodności topograficznej Bydgoszczy i okolicy można sformułować następujące wnioski:

1. Średnie sezonowe sumy opadów w porównywanych miejscach były podobne, różniły się jednak w poszczególnych latach.
2. Potrzeby wodne trawnika cechowała zarówno duża zmienność czasowa jak i przestrzenna.
3. Zdecydowanie największe niedobory opadów wystąpiły w warunkach miejskich, nieco mniejsze poza miastem, a najmniejsze na obrzeżach Bydgoszczy.
4. Szacowanie niedoborów opadowych w centrach miast, na podstawie danych z monitoringu meteorologicznego zlokalizowanego na obszarach o dużo mniejszym stopniu urbanizacji, może skutkować niewłaściwą oceną potrzeb nawadniania miejskich terenów zieleni.

LITERATURA

1. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Irrig. Drain. Paper, 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 300(9): D05109.
2. Allen, R. G., Walter, I. A., Elliot, R. L., Howell, T.A., Itenfisu, D., Jensen, M. E., Snyder, R. (2005). *The ASCE standardized reference evapotranspiration equation*. W: Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Final Report, Environmental and Water Resources Institute (EWRI) of the American Society of Civil Engineers, American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, s. 213.
3. Alexandris S., Stricevic R., Petkovic S. (2008). *Comparative analysis of reference evapotranspiration from the surface of rainfed grass in central Serbia, calculated by six empirical methods against the Penman-Monteith formula*. Europ. Water, 21 (22), 17–28.
4. Błażejczyk K., (1992). *Wpływ urbanizacji na lokalne warunki bioklimatyczne*. Zesz. IGiPZ PAN 6: 15–27.
5. Błażejczyk, K. (2002). Znac*zenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*. Dok. Geogr., 26, Wyd. IGiPZ PAN,pp. 160.
6. Dudek S., Kuśmierek-Tomaszewska R., Żarski J. (2014). Oce*na warunków termicznych w centrum Bydgoszczy na tle dzielnicy peryferyjnej Fordon i terenu zamiejskiego*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, II/3, 731–742.
7. Fortuniak, K. (2003). *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 233.
8. Hargreaves, G., Allen, R. (2003). *History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation*. J. Irrig. Drain Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:1(53), 53–63.
9. Kędziora, A. (1995). *Prognoza zmian klimatycznych*. W: Prognoza ostrzegawcza zmian środowiskowych warunków życia człowieka w Polsce na początku XXI wieku. Praca zb. pod red. S. Kozłowski. PAN, Kom. Nauk. Człowiek i środow. 10, 97–132.
10. Kuchcik, M., Baranowski, J. (2011). *Różnice termiczne między osiedlami mieszkaniowymi o różnym udziale powierzchni czynnej biologicznie*. Pr. Stud. Geogr., 47, 365–372.
11. Kunz M., Uscka-Kowalkowska J., Przybylak R., Kejna M., Araźny A, Maszewski R., (2012). *Zróżnicowanie klimatów lokalnych Torunia - założenia projektu i wstępne wyniki badań*. Roczn. Geomat., X, 3 (53), 85–96.

12. Kuśmierek-Tomaszewska R., Żarski J., Dudek S. (2015). *Wpływ rodzaju pokrycia podłoża na przestrzenne zróżnicowanie stresu cieplnego*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, IV(1), 921–933.
13. Łabędzki L., Bąk B., Kanecka-Geszke E. (2012). *Wielkość i zmienność ewapotranspiracji wskaźnikowej według Penmana-Monteitha w okresie wegetacyjnym w latach 1970–2004 w wybranych rejonach Polski*. Woda-Środ.-Obsz. Wiejskie,12, 2(38), 159–170.
14. Nidzgorska-Lencewicz, J., Mąkosza, A. (2016). *Specyficzne cechy klimatu miasta w aspekcie zdrowia człowieka*. Kosmos, 65(4), 637–645.
15. Nowosad M., (2011). *Wpływ zagospodarowania terenu na klimat lokalny, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów górskich*. Rocz. Bieszcz., 19, 261–272.
16. Monteith, J. L. (1965). *Evaporation and Environment*. In: The state and movement of water in living organism. 19th Symp. Soc. Exptl. Biol. P. 205–234.
17. Owczarek, M. (2012). *Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania odczucia gorąca latem w Polsce według temperatury odczuwanej fizjologicznie (PST), 1951–2008*. Przegl. Geogr., 84(3), 387–397.
18. Penman, H. L. (1948). *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Math. Physic. Sci., 193, 1032,120–145.
19. Stopa-Boryczka, M., Boryczka, J., Wawer J. (2011). *Wpływ zabudowy i zieleni osiedlowej na zróżnicowanie klimatu lokalnego w Warszawie*. Pr. Stud. Geogr., 47, 373–381.
20. Żarnowiecki G., (2002). *Zróżnicowanie bioklimatu Kielc w sezonie letnim*. Reg. Monit. Środ. Przyrodn., 3, 109–116.

Autor do korespondencji: Prof. dr hab. inż. Roman Rolbiecki
ORCID: 0000-0001-6230-4227
e-mail: rolbr@pbs.edu.pl

Prof. dr hab. inż. Stanisław Rolbiecki
ORCID: 0000-0002-1433-2212
email: Stanislaw.Rolbiecki@pbs.edu.pl

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

Prof. dr hab. inż. Jacek Żarski
ORCID: 0000-0002-5098-4242

Mgr inż. Ariel Łangowski
ORCID: 0000-0002-3459-8990

Politechnika Bydgoska im. J. J. Śniadeckich
Pracownia Melioracji i Agrometeorologii
Al.. Prof. S. Kaliskiego 7
85-796 Bydgoszcz

Otrzymano: 24.11.2023 r.
Zwrócono po recenzji: 20.12.2023 r.
Zaakceptowano: 28.12.2023 r.