INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

2025, Vol. 20(1), 19-40
e-ISSN: 2956-7971, License CC-BY 4.0

DOI: https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2025.002

POTRZEBY WODNE TRUSKAWKI W POWIECIE CHOJNICKIM W ŚWIETLE PRZEWIDYWANYCH ZMIAN KLIMATU

WATER NEEDS OF STRAWBERRY IN THE CHOJNICE COUNTY DEPENDING ON EXPECTED CLIMATE CHANGES

Stanisław ROLBIECKI [1]***, Mikołaj ŁONIEWSKI*** [1]

STRESZCZENIE

Celem pracy była próba oszacowania zapotrzebowania na wodę truskawki w powiecie chojnickim w zależności od przewidywanych zmian klimatycznych. W opracowaniu uwzględniono dwa scenariusze (RCP 4.5 i RCP 8.5) dla okresu 2021-2100. Stwierdzono, że w okresie porównawczym łączne niedobory opadu w okresie wegetacji truskawki w powiecie chojnickim – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wynosiły 31 mm, 127 mm i 192 mm. W okresie porównawczym (referencyjnym) największy miesięczny deficyt opadu w sezonie wegetacyjnym truskawki występował w czerwcu. Wielkość niedoboru opadu – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wynosiła 19 mm, 39 mm i 53 mm. Natomiast w okresie prognozowanym największe miesięczne deficyty opadu w czasie wegetacji truskawki będą miały miejsce w lipcu. Te deficyty opadu według scenariusza RCP 4.5 – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – będą w przybliżeniu wynosić 15 mm, 40 mm i 58 mm. Z kolei w świetle scenariusza RCP 8.5 deficyty opadu w lipcu mogą w przybliżeniu kształtować się na poziomie odpowiednio 17 mm, 43 mm i 61 mm. W latach 2021-2100 oczekiwać należy zwiększenia zapotrzebowania na wodę u truskawki. Jeśli zmiany klimatu będą przebiegały według scenariusza RCP 4.5, to wzrost ten w okresie kwiecień-październik (w odniesieniu do okresu referencyjnego) może wynieść 50 mm (tj.13%), natomiast według scenariusza RCP 8.5 wzrost zapotrzebowania na wodę u truskawki może wynieść około 69 mm (tj. o 18%). Zapotrzebowanie na wodę u truskawki w okresie kwiecień-październik – według scenariusza RCP 8.5 – zwiększy się (w odniesieniu do okresu referencyjnego) w największym stopniu w dekadzie 2091-2100. Wzrost ten wyniesie 108 mm (tj. o 28%). Natomiast w świetle scenariusza RCP 4.5 wzrost zapotrzebowania na wodę u truskawki w dekadzie może wynieść około 63 mm (tj. o 16%). W miesiącach kwiecień i październik nie wystąpią deficyty opadu w uprawie truskawki. Największy deficyt opadu w okresie wegetacji truskawki (maj-wrzesień) może natomiast wystąpić w latach bardzo

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

suchych (p=10%). Deficyt ten – odpowiednio dla scenariuszy RCP 4.5 i RCP 8.5 – może wynieść 202 mm i 211 mm. W latach średnio suchych (p=25%) deficyt ten będzie mniejszy i – odpowiednio dla scenariuszy RCP 4.5 i RCP 8.5 – może on wynieść 129 mm i 135 mm. Jeszcze mniejszy deficyt opadu może wystąpić w latach średnich (p=50%), i może on – odpowiednio dla scenariuszy RCP 4.5 i RCP 8.5 – kształtować się na poziomie 34 mm i 39 mm. Z wyznaczonych dla okresu prognozowanego (2021-2100) równań regresji liniowej wynika, że – odpowiednio dla scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 – potrzeby wodne truskawki będą w każdym dziesięcioleciu wzrastać w okresie wegetacji (IV-X) o 4,2 mm i o 10,6 mm.

Słowa kluczowe: *truskawka, potrzeby wodne, niedobory opadu, nawadnianie, zmiany klimatu*

ABSTRACT

The aim of the study was to attempt to estimate the demand for water for strawberry grown in the Chojnice county depending on expected climate changes. The study takes into account two scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5) for the period 2021-2100. It was found that in the reference period, the total rainfall deficits during the strawberry growing season in the Chojnice county - in the average, moderately dry and very dry years - amounted 31 mm, 127 mm and 192 mm, respectively. The largest monthly rainfall deficit during the strawberry growing season of the reference period occurred in June. The amount of rainfall deficit - in the average, moderately dry and very dry year – was on the level 19 mm, 39 mm and 53 mm, respectively. In the forecast period (2021-2100), the largest monthly rainfall deficits during the strawberry growing season will occur in July. These rainfall deficits under the RCP 4.5 scenario – in a medium, moderately dry and very dry year – will amount 15 mm, 40 mm and 58 mm, respectively. In the light of the RCP 8.5 scenario, rainfall deficits in July will be even higher and may amount to 17 mm, 43 mm and 61 mm, respectively. In the years 2021-2100, an increase in water demand for strawberry is expected. If climate change proceeds according to the RCP 4.5 scenario, this increase in the period April-October (in relation to the reference period) may amount to 50 mm (i.e. 13%). According to the RCP8.5 scenario, the increase in water demand for strawberry may amount to approximately 69 mm (i.e. 18%). The water demand for strawberry in the period April-October - according to the RCP 8.5 scenario - will increase (in relation to the reference period) to the greatest extent in the decade 2091-2100. This increase will amount 108 mm (i.e. 28%). In the light of the RCP 4.5 scenario, the increase in water demand for strawberry for this case may amount to approximately 63 mm (i.e. 16%). There will be no rainfall deficits in strawberry cultivation in April and October. The largest rainfall deficit during the strawberry growing season (May-September) may occur in very dry years (p=10%). This deficit – for the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios – may amount to 202 mm and 211 mm, respectively. In case of moderately dry years (p=25%), this deficit will be smaller and - for the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios - it may amount to 129 mm and 135 mm, respectively. An even smaller rainfall deficit may occur in medium years (p=50%). This deficit may – for the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios – amount to 34 mm and 39 mm, respectively. The linear regression equations determined for the forecast period (2021-2100) show that - for the RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios - the water needs of strawberry in

every 10 years will increase in the vegetation season (April-October) by 4.2 mm and by 10.6 mm, respectively.

***Keywords**: strawberry, water needs, rainfall deficit, irrigation, climate changes*

WSTĘP

W literaturze z zakresu potrzeb wodnych roślin panuje przekonanie, że w warunkach klimatycznych Polski, dla zapewnienia wysokiego plonowania, rośliny sadownicze – w tym takie gatunki roślin jagodowych, jak malina i truskawka – powinny otrzymać dodatkowo, poza naturalnymi opadami atmosferycznymi od 100 do 200 mm wody poprzez stosowanie nawodnień uzupełniających (Rzekanowski, 2000, 2009; Rolbiecki, 2018; Treder i Pacholak. 2006). Warto zaznaczyć, że ze wszystkich roślin sadowniczych największe potrzeby wodne mają właśnie rośliny jagodowe, a wśród nich najwięcej wody wymagają borówka wysoka, truskawka oraz poziomka, a następnie – malina, porzeczka i agrest (Rzekanowski, 2009).

Możliwość uprawy roślin ogrodniczych (w tym jagodowych) jest silnie uzależniona od warunków przyrodniczych danego regionu. Warunki przyrodnicze wyznaczają bowiem przeciętny poziom plonowania roślin oraz ryzyko znaczących obniżek plonów owoców, które wynika z prawdopodobieństwa pojawiania się niekorzystnych warunków pogodowych (Jerzy i Żarski, 1997). Powiat chojnicki położony jest w granicach województwa pomorskiego, cechującego się małymi potrzebami klimatycznymi nawodnień uzupełniających ze względu m.in. na dodatnie wartości klimatycznego bilansu wodnego (Peszek, 1987; Peszek, 1996; Kaca i Rek-Kaca, 2019).

Truskawka zaliczana jest – pośród roślin jagodowych – do gatunków cechujących się wysokimi wymaganiami wodnymi. Jest ona wrażliwa na niedostatek wody w glebie i silnie reaguje na suszę (Drupka, 1970; Dzieżyc, 1988; Zaliwski. 1984). Dzieżyc (1988) podaje, że truskawka wymaga w okresie wegetacji (IV-IX) od 550 do 650 mm opadów. Według Zaliwskiego (1984) opady okresu wegetacyjnego truskawki powinny wynosić około 370-400 mm. Drupka (1970) szacuje natomiast optymalne ilości opadów atmosferycznych w okresie wegetacji truskawki na 505 mm dla odmian wczesnych oraz 564 mm dla późnych. Natomiast według Rzekanowskiego (2009) potrzeby wodne truskawek – utożsamiane z opadami optymalnymi – mieszczą się w zakresie 515-620 mm.

Scenariusze zmian klimatu, a w szczególności wartości temperatury powietrza i ilości opadów atmosferycznych, które opracowano dla Polski, różnią się istotnie w odniesieniu do okresu letniego (czerwiec-sierpień) (Łabędzki, 2009a,b). We wszystkich modelach zakłada się wzrost temperatury, natomiast tylko w niektórych z nich – przewiduje się wzrost opadów, a są i takie scenariusze, gdzie zakłada się obniżenie ilości opadów (Łabędzki, 2009a,b; Bąk i Łabędzki, 2014a,b). W związku z tym bierze się pod uwagę to, że przewidywane zmiany klimatyczne mogą istotnie wpłynąć na wzrost potrzeb wodnych roślin (Łabędzki, 2009a,b).

Celem niniejszej pracy była próba oszacowania zapotrzebowania na wodę w uprawie truskawki na terenie powiatu chojnickiego w zależności od przewidywanych zmian klimatycznych.

MATERIAŁ I METODY

Według opracowania uwarunkowań klimatyczno-przyrodniczych produkcji ogrodniczej i rolniczej uwzględniającego powiat chojnicki – wykonanego przez Peszka (1987, 1996) – wynika, że wielkość usłonecznienia rzeczywistego w Chojnicach wynosi średnio 1513 godzin w ciągu roku oraz 1139 godzin w półroczu letnim. Przychód energii promienistej słońca, w postaci promieniowania całkowitego, w ciągu sezonu wegetacyjnego w Chojnicach wynosi 824kWh^{-2}. Okres wegetacyjny trwa 202 dni (od 12 kwietnia do 30 października). Średnia temperatura powietrza wynosi 6,8 °C, a dla sezonu wegetacyjnego (półrocza letniego) 13,0 °C. Suma opadów dla Chojnic w okresie wieloletnim wynosi 572 mm w roku, i 364 mm w półroczu letnim (IV-IX). Wielkość parowania wskaźnikowego wynosi odpowiednio 516 mm i 415 mm. Klimatyczny bilans wodny dla półrocza letniego jest zatem ujemny (-51 mm). Warto przy tym zaznaczyć, że w miesiącach (V-VI) wartość klimatycznego bilansu wodnego wynosi -48 mm.

W opracowaniu wykorzystano przewidywane średnie temperatury miesięczne (t; °C) oraz miesięczne sumy opadów (P; mm) dla powiatu chojnickiego. Dane te pozyskano z portalu Klimada 2.0 (https://klimada2.ios.gov.pl/klimat-scenariusze-portal/) dla 2 scenariuszy zmian klimatycznych (RCP 4.5 oraz RCP 8.5). Scenariusz RCP 4.5 jest scenariuszem umiarkowanym, zakładającym wzrost stężenia CO_2 do poziomu 540 ppm w roku 2100 (osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na poziomie 4,5 W/m^2). Scenariusz RCP 8.5 jest scenariuszem ekstrapolacyjnym zakładającym wzrost stężenia CO_2 do poziomu 940 ppm w roku 2100 (osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na poziomie 8,5 W/m^2). Uwzględniono 7 miesięcy (kwiecień, maj, czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień i październik) w 8 dziesięcioleciach XXI wieku (2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070, 2071-2080, 2081-2090, 2091-2100). Jako okres referencyjny (porównawczy) przyjęto wielolecie: 1891-1980 dla miesięcznych sum opadów w powiecie chojnickim oraz 1931-1960 dla średnich temperatur miesięcznych – korzystając z dostępnej literatury przedmiotu (Jerzy i Żarski, 1997; Żarski i Dudek, 1999; Żarski i Dudek, 2000).

Potrzeby wodne truskawki – na podstawie temperatury powietrza – obliczono wykorzystując metodę Tredera (Rolbiecki, 2018). W metodzie Tredera potrzeby wodne truskawki utożsamiane są z ewapotranspiracją potencjalną (nazywaną przez Tredera ewapotranspiracją rzeczywistą) danego gatunku roślin jagodowych (ETp).

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

gdzie:
k – współczynnik roślinny dla truskawki wg Tredera (tab. 1),
ETo – ewapotranspiracja wskaźnikowa (mm).

$$ETo = n \cdot \alpha \cdot t \quad (2)$$

gdzie:
n – liczba dni w miesiącu,α – współczynnik empiryczny wyznaczony przez Tredera (tab. 1),
t – średnia miesięczna temperatura powietrza (°C).

Tabela 1. Współczynniki do wzorów na potrzeby wodne truskawki według Tredera
Table 1. Values of coefficients for formulas for the water needs of strawberries according to Treder

Miesiąc	współczynnik	
	α	k
IV	0,28	0,40
V	0,21	0,65
VI	0,19	0,90
VII	0,18	0,90
VIII	0,17	0,85
IX	0,16	0,85
X	0,15	0,60

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

$$Np\% = Ap\% \cdot ETp - Bp\% \cdot P \quad (3)$$

gdzie:
Np% - niedobór opadu o prawdopodobieństwie pojawienia się równym p % (mm·okres^{-1}),
ETp – średnia z wielolecia wysokość ewapotranspiracji w analizowanym okresie (mm·okres^{-1}),
P – średnia z wielolecia wysokość opadu w analizowanym okresie (mm·okres^{-1}),
Ap% i Bp% - współczynniki liczbowe charakteryzujące zmienność ewapotranspiracji i opadów dla danej stacji meteorologicznej.

Wyniki opracowano statystycznie wyznaczając wartości: średnią, zwyczajną (medianę), maksymalną i minimalną oraz odchylenie standardowe (SD) i współczynnik zmienności (VC), czyli stosunek odchylenia standardowego do średniej. Podjęto także próbę określenia ewentualnych tendencji (trendów) zmian badanego wskaźnika potrzeb wodnych maliny w powiecie chojnickim z użyciem analizy regresji liniowej, z wyznaczeniem współczynników determinacji (R^2). Obliczenia przeprowadzono korzystając z arkusza kalkulacyjnego Excel. Wychodząc z definicji współczynnika determinacji, że jest to kwadrat współczynnika korelacji (r) (Rudnicki, 1992), wartości współczynników korelacji wyznaczono z zależności:

$$r = \sqrt[2]{R_2} \quad (4)$$

Istotność współczynników korelacji, przy liczebności próby n = 8, wyznaczono dla poziomu ufności α = 0.1, α = 0.05, α = 0.02, α = 0.01 i α = 0.001. Dla liczby stopni swobody *j*=6 (ponieważ *j*=n-2) wartości krytyczne współczynnika korelacji (r) – odpowiednio dla poziomu ufności (α) wynoszącego α = 0.1, α = 0.05, α = 0.02, α = 0.01, α = 0.001 były równe: 0.6215, 0.7067, 0.7887, 0.8343 i 0.92493 (Platt, 1978).

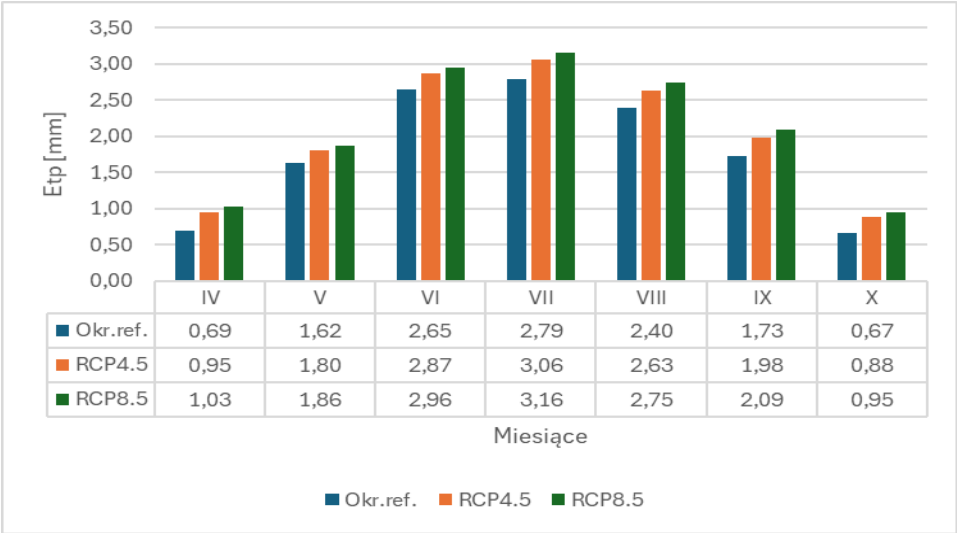
WYNIKI

W tabeli 2 przedstawiono statystykę opisową potrzeb wodnych truskawki – wyrażonych jako ewapotranspiracja potencjalna – zależnie od przyjętego scenariusza zmian klimatycznych. Z analizy danych zawartych w tabeli wynika, że większą zmiennością cechowały się potrzeby wodne truskawki obliczone na podstawie danych ujętych w scenariuszu RCP 8.5. Wyższe wartości odchylenia standardowego (SD) – będącego bezwzględną miarą zmienności Etp truskawki – stwierdzono w każdym z siedmiu rozpatrywanych miesięcy okresu wegetacji. Ta sama prawidłowość (wyższe wartości) wystąpiła również, gdy zmienność potrzeb wodnych truskawki wyrażono przy wykorzystaniu miary względnej, jaką jest – podany w % – współczynnik zmienności (VC).

Tabela 2. Statystyczna charakterystyka potrzeb wodnych truskawki (Etp; mm) w zależności od scenariusza zmian klimatycznych
Table 2. Statistical characteristics of strawberry water needs (Etp; mm) depending on the climate

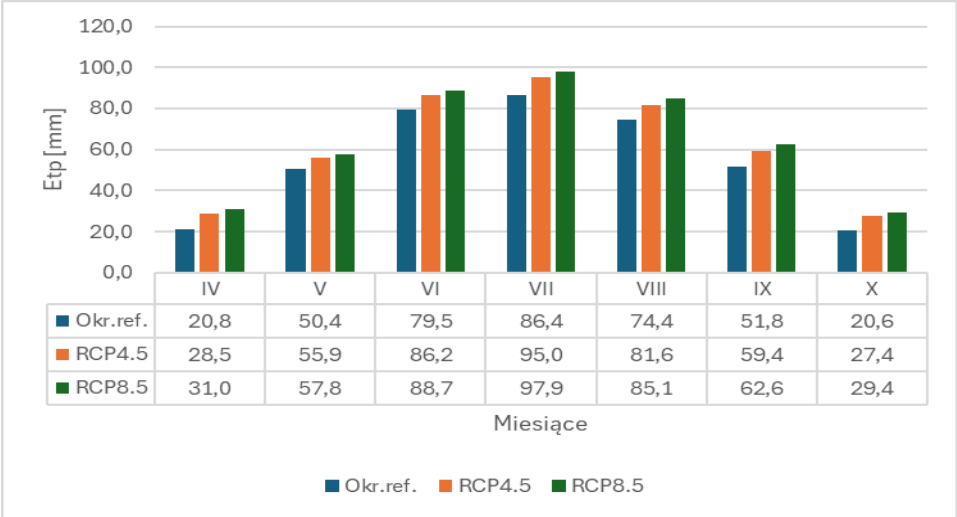
Miara statystyczna	Miesiące okresu wegetacji						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Scenariusz zmian klimatu RCP 4.5							
Minimum	25,5	53,3	83,1	91,9	78,8	56,3	25,4
Maksimum	30,9	58,0	88,2	97,9	82,9	61,2	28,7
Średnia	28,5	55,9	86,2	95,0	81,6	59,4	27,4
Mediana	28,6	55,6	86,7	95,2	82,2	59,4	27,6
SD	1,631	1,669	1,807	1,829	1,547	1,702	1,110
VC (%)	5,7	3,0	2,1	1,9	1,9	2,9	4,1
Scenariusz zmian klimatu RCP 8.5							
Minimum	26,9	54,6	83,1	91,9	78,8	56,7	25,1
Maksimum	35,6	63,5	93,9	104,5	92,3	69,0	33,2
Średnia	31,0	57,8	88,7	97,9	85,1	62,6	29,4
Mediana	30,9	56,9	88,5	96,9	84,2	62,8	29,7
SD	2,821	3,035	3,858	4,787	4,954	4,334	2,625
VC (%)	9,1	5,3	4,3	4,9	5,8	6,9	8,9

Przeprowadzone obliczenia wskazują, że dzienne (dobowe) potrzeby wodne truskawki – średnio w okresie prognozowanym 2021-2100 – będą wyższe w każdym miesiącu od tych potrzeb w okresie referencyjnym (rys. 1). Z porównania dwóch uwzględnionych scenariuszy zmian klimatycznych wynika jednocześnie, że wyższe potrzeby wodne truskawki wystąpią dla scenariusza RCP 8.5. Przykładowo, w cechującym się największymi potrzebami wodnymi miesiącu lipcu, dobowe zapotrzebowanie na wodę u truskawki zwiększy się z 2,79 mm w okresie referencyjnym do poziomu 3,06 mm dla scenariusza RCP 4.5 i do 3,16 mm dla scenariusza RCP 8.5.



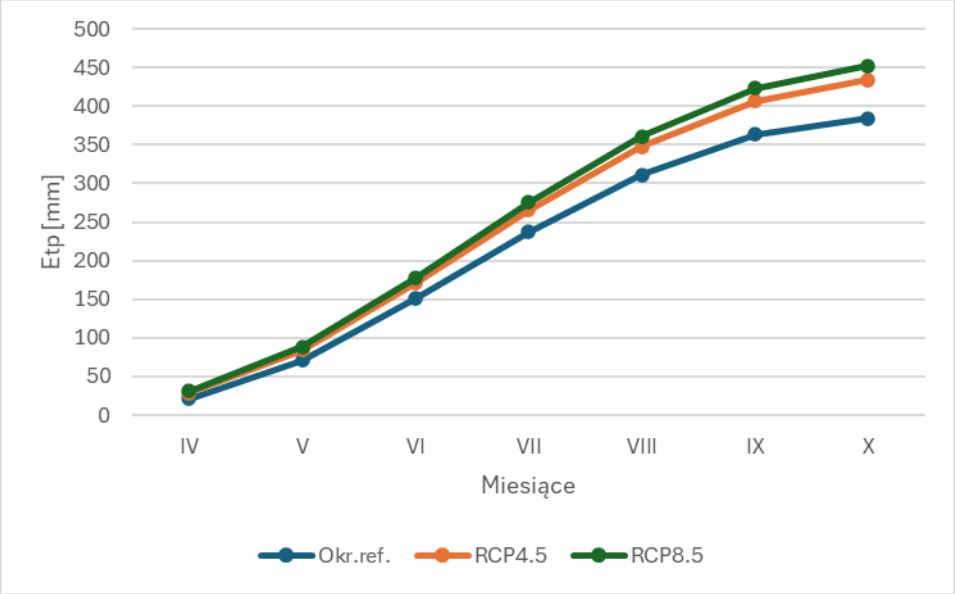
Rysunek 1. Dzienne sumy potrzeb wodnych truskawki (Etp; mm) – w zależności od scenariusza zmian klimatycznych i w odniesieniu do okresu porównawczego (referencyjnego)
Figure 1. Daily values of strawberry water needs (Etp; mm) – depending on the climate change scenario and in relation to the comparative reference period

Na rysunku 2 przedstawiono miesięczne sumy potrzeb wodnych truskawki. Występuje tu – co jest oczywiste – ta sama prawidłowość co w przypadku dobowego zapotrzebowania na wodę. Przewidywane zmiany klimatyczne spowodują wzrost potrzeb wodnych. Wyższe sumy potrzeb wodnych wystąpią w przypadku każdego miesiąca dla scenariusza RCP 8.5. Dla lipca suma zapotrzebowania na wodę dla truskawki – odpowiednio dla okresów referencyjnego, prognozowanego wg scenariusza RCP 4.5 oraz RCP 8.5 – kształtuje się na poziomie 86,4 mm, 95 mm oraz 97,9 mm.



Rysunek 2. Miesięczne sumy potrzeb wodnych truskawki (Etp; mm) – w zależności od scenariusza zmian klimatycznych i w odniesieniu do okresu porównawczego (referencyjnego)
Figure 2. Monthly values of strawberry water needs (Etp; mm) – depending on the climate change scenario and in relation to the comparative reference period

Na rysunku 3 przedstawiono – w odniesieniu do okresu porównawczego (referencyjnego) – sumowane miesięczne potrzeby wodne truskawki w zależności od przyjętego scenariusza zmian klimatycznych. Z przebiegu krzywych sumowych wynika, że generalnie, w całym sezonie wegetacyjnym truskawki (IV-X), największe potrzeby wodne wystąpią w okresie prognozowanym według scenariusza RCP 8.5.



Rysunek 3. Sumowane miesięczne potrzeby wodne truskawki (Etp; mm) – w zależności od scenariusza zmian klimatycznych i w odniesieniu do okresu porównawczego (referencyjnego)
Figure 3. Cumulated sum curve of strawberry water needs (Etp; mm) – depending on the climate change scenario and in relation to the comparative reference period

W tabeli 3 zamieszczono bardziej szczegółowe porównanie potrzeb wodnych truskawki w warunkach klimatycznych powiatu chojnickiego w okresach referencyjnym (porównawczym) i prognozowanym w zależności od przyjętego scenariusza zmian klimatycznych. Z przedstawionych danych wynika, że wskutek przewidywanej w powiecie chojnickim zmiany klimatu w wieloleciu 2021-2100 zwiększy się – wyrażone przez wzrost ewapotranspiracji potencjalnej – zapotrzebowanie na wodę w uprawie truskawki. Spodziewany wzrost potrzeb wodnych truskawki w okresie wegetacji (IV-X) według scenariusza RCP 4.5 wyniesie 50 mm (tj. 13%), a według scenariusza RCP 8.5 będzie on wynosił 69 mm (tj. 18%). Natomiast z porównania danych dla okresu referencyjnego z danymi dla ostatniej dekady XXI wieku (2091-2100) wynika, że spodziewany wzrost potrzeb wodnych truskawki może – odpowiednio w świetle scenariuszy RCP 4.5 i RCP 8.5 – wynieść 63 mm (16%) i 108 mm (28%).

Tabela 3. Porównanie potrzeb wodnych truskawki w powiecie chojnickim w okresach referencyjnym i prognozowanym zależnie od scenariusza zmian klimatu
Table 3. Comparison of water needs of strawberry in the Chojnice County in the reference period and the projected period depending on the climate change scenario

Wyszczególnienie	Etp	IV-X	V-IX	VI-VIII	VII
Okres referencyjny (porównawczy)	mm	384	342	240	86
	%	100	100	100	100
Okres prognozowany (2021-2100) wg scenariusza RCP 4.5	mm	434	378	263	95
	%	113	110	109	110
Okres prognozowany (2021-2100) wg scenariusza RCP 8.5	mm	453	392	272	98
	%	118	115	113	113
Ostatnia dekada okresu prognozowanego (2091-2100) wg scenariusza RCP 4.5	mm	447	388	269	98
	%	116	113	112	113
Ostatnia dekada okresu prognozowanego (2091-2100) wg scenariusza RCP 8.5	mm	492	423	291	104
	%	128	124	121	120

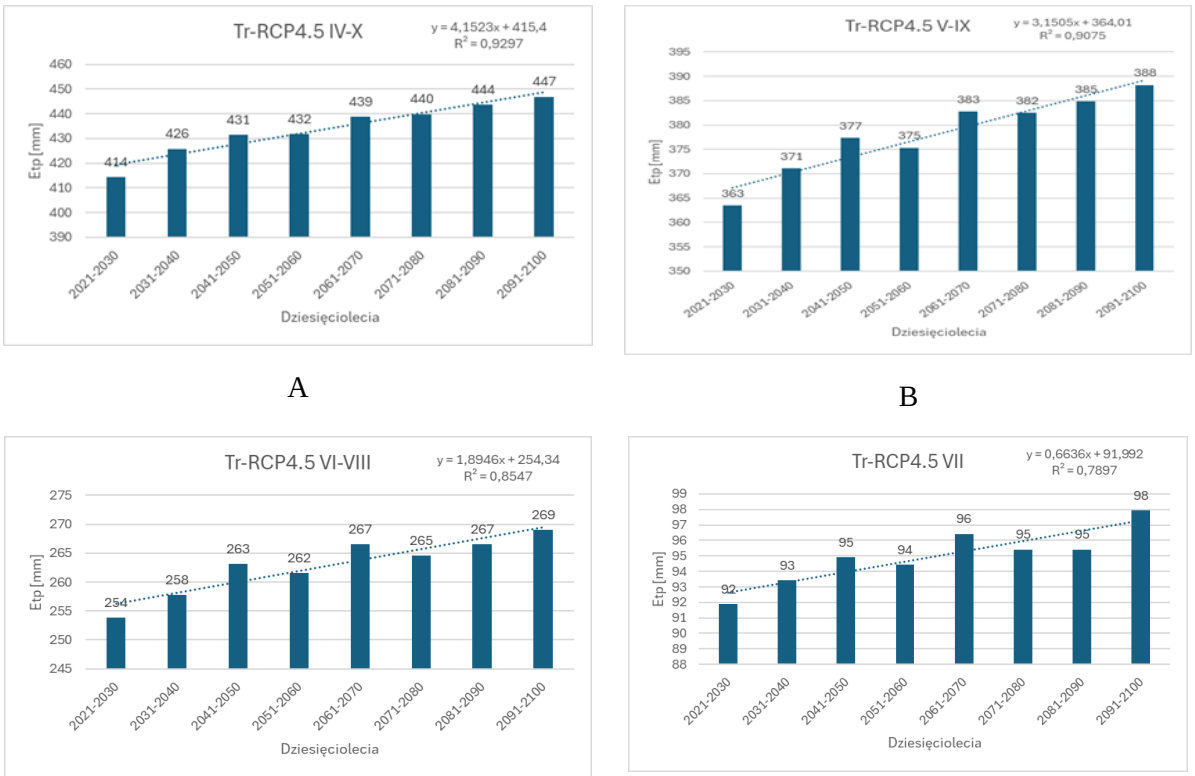
W tabeli 4 zamieszczono wartości współczynników korelacji Pearsona oraz wielkość trendu czasowego potrzeb wodnych truskawki (w dekadzie) dla okresu prognozowanego według scenariusza RCP 4.5. Przeprowadzona analiza korelacji wykazała, że w prognozowanym 80-leciu (2021-2100) wystąpi istotna dodatnia korelacja pomiędzy potrzebami wodnymi truskawki w każdym miesiącu jej wegetacji, a kolejnymi dekadami (dziesięcioleciami) okresu prognozowanego. Z wyznaczonych równań regresji liniowej wynika, że w każdym dziesięcioleciu – w świetle scenariusza RCP 4.5 – potrzeby wodne truskawki będą wzrastać w okresie wegetacji (IV-X) o 4,2 mm.

Tabela 4. Wartości współczynników korelacji liniowej dla trendów czasowych potrzeb wodnych truskawki w powiecie chojnickim w różnych okresach zależnie od scenariusza zmian klimatu RCP 4.5
Table 4. Values of linear correlation coefficients for time trends in strawberry water needs in Chojnice County in different periods depending on the RCP4.5 climate change scenario

L.p.	Okres	Wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona (r)	Trend czasowy potrzeb wodnych (mm·dekada^{-1})
1	Kwiecień	0,871*	0,6
2	Maj	0,909*	0,6
3	Czerwiec	0,902*	0,7
4	Lipiec	0,888*	0,7
5	Sierpień	0,895*	0,6
6	Wrzesień	0,915*	0,6
8	Październik	0,931**	0,4
9	Kwiecień-Październik	0,964**	4,2
10	Maj-Wrzesień	0,953**	3,2
11	Czerwiec-Sierpień	0,924*	1,9

* , ** - istotność odpowiednio dla poziomu ufności α=0.01 i α=0.001 ¬dla liczebności próby n=8; liczby stopni swobody j=6 (gdzie j=n-2); dekada=10 lat

Na rysunku 4 przedstawiono wykresy równań regresji liniowej obrazujące trend czasowy potrzeb wodnych truskawki według scenariusza RCP 4.5 w czterech wybranych okresach: kwiecień-październik, maj-wrzesień, czerwiec-sierpień, lipiec. Dodatkowo zamieszczono równania regresji prostoliniowej oraz współczynniki determinacji (R^2). Z przedstawionych równań wyznaczono m.in. zamieszczone w tabeli 4 wielkości zmian trendu czasowego potrzeb wodnych truskawki. Z wykresów przedstawionych na rysunku 4 jednoznacznie wynika, że najwyższe potrzeby wodne truskawki wystąpią w ostatnim dziesięcioleciu okresu prognozowanego. Przykładowo, w całym przyjętym okresie wegetacji truskawki (IV-X) sezonowe zapotrzebowanie na wodę w dziesięcioleciu 2091-2100 – w świetle scenariusza RCP 4.5 – wyniesie 447 mm.



Rysunek 4. Trend czasowy potrzeb wodnych truskawki w świetle scenariusza RCP 4.5 w okresach: IV-X (A), V-IX (B), VI-VIII (C) i VII (D)
Figure 4. Time trend of strawberry water needs in the light of climate change according to the RCP 4.5 scenario in the periods: April-October (A), May-September (B), June-August (C) and July (D)

W tabeli 5 zamieszczono z kolei wartości współczynników korelacji Pearsona oraz wielkość trendu czasowego potrzeb wodnych truskawki (w dekadzie) dla okresu prognozowanego według scenariusza RCP 8.5. Przeprowadzona analiza korelacji wykazała, że w prognozowanym 80-leciu (2021-2100) wystąpi istotna dodatnia korelacja pomiędzy potrzebami wodnymi truskawki w każdym miesiącu jej wegetacji, a kolejnymi dekadami (dziesięcioleciami) okresu prognozowanego. Z wyznaczonych równań regresji liniowej wynika, że w każdym dziesięcioleciu – w świetle

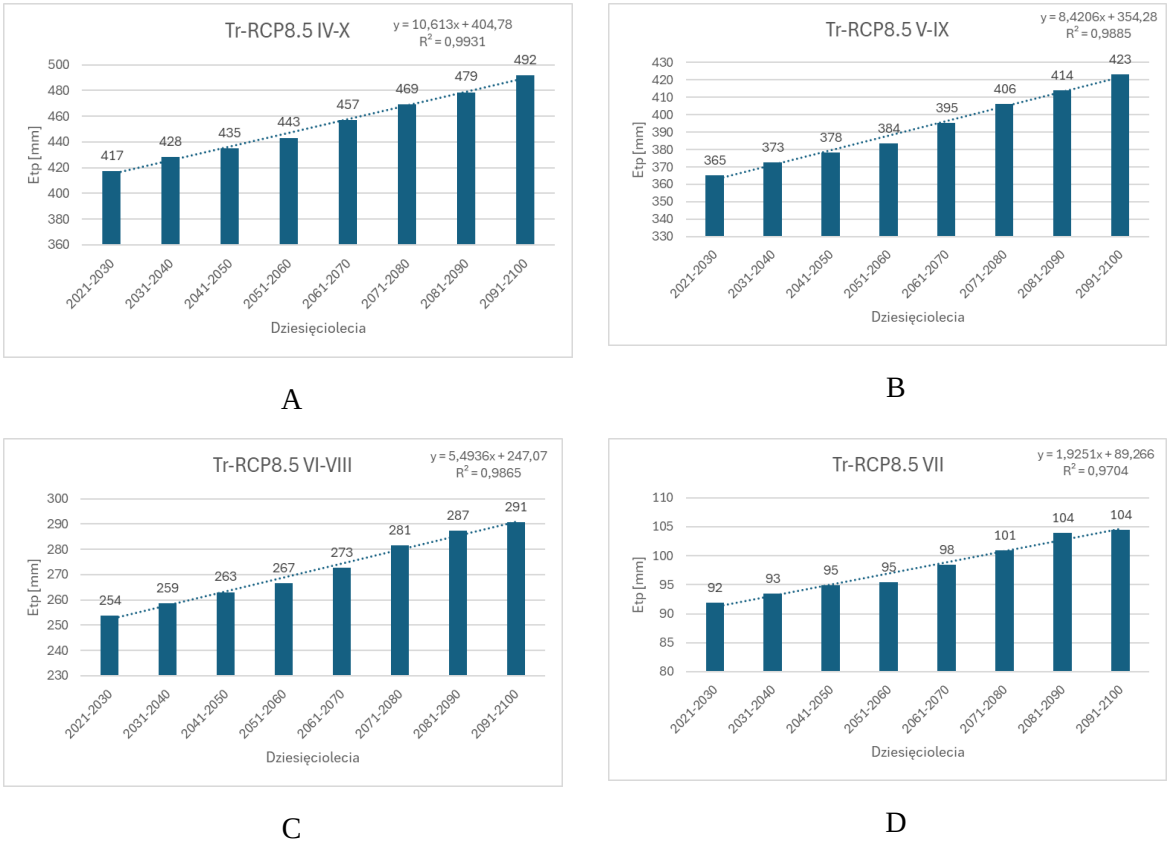
scenariusza RCP 8.5 – potrzeby wodne truskawki będą wzrastać w okresie wegetacji (IV-X) o 10,6 mm.

Tabela 5. Wartości współczynników korelacji liniowej dla trendów czasowych potrzeb wodnych truskawki w powiecie chojnickim w różnych okresach zależnie od scenariusza zmian klimatu RCP 8.5
Table 5. Values of linear correlation coefficients for time trends in strawberry water needs in Chojnice County in different periods depending on the RCP 8.5 climate change scenario

L.p.	Okres	Wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona (r)	Trend czasowy potrzeb wodnych (mm·dekada^{-1})
1	Kwiecień	0,986**	1,1
2	Maj	0,943**	1,2
3	Czerwiec	0,992**	1,6
4	Lipiec	0,985**	1,9
5	Sierpień	0,991**	2,0
6	Wrzesień	0,994**	1,8
8	Październik	0,986**	1,1
9	Kwiecień-Październik	0,997**	10,6
10	Maj-Wrzesień	0,994**	8,4
11	Czerwiec-Sierpień	0,993**	5,5

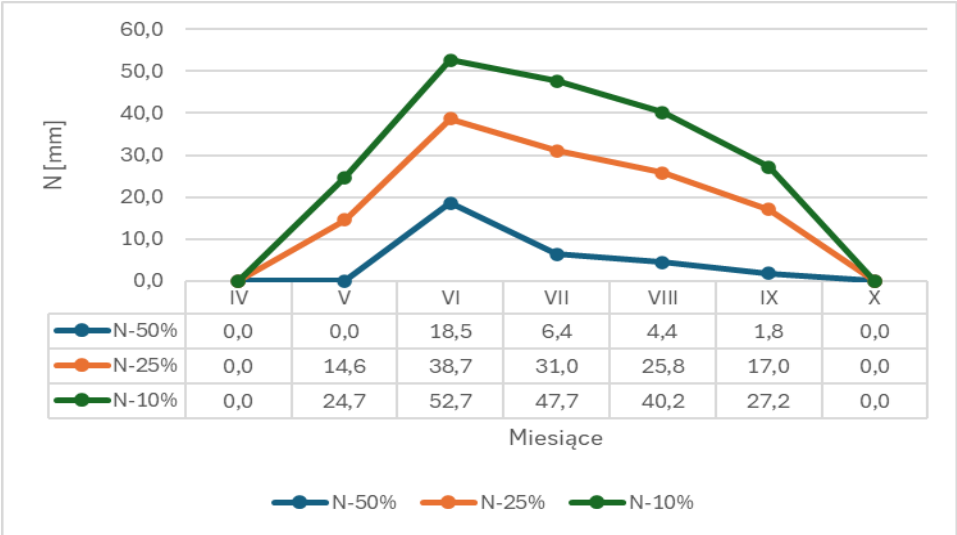
** - istotność dla poziomu ufności α=0.001; liczby stopni swobody *j*=6 (*j*=n-2); n=8; dekada=10 lat

Na rysunku 5 przedstawiono natomiast wykresy równań regresji liniowej obrazujące trend czasowy potrzeb wodnych truskawki według scenariusza RCP 8.5 w czterech wybranych okresach: kwiecień-październik, maj-wrzesień, czerwiec-sierpień, lipiec. Dodatkowo zamieszczono równania regresji prostoliniowej oraz współczynniki determinacji (R^2). Z przedstawionych równań wyznaczono m.in. zamieszczone w tabeli 5 wielkości zmian trendu czasowego (według scenariusza RCP 8.5) potrzeb wodnych truskawki. Z wykresów przedstawionych na rysunku 5 wynika, że – według scenariusza RCP 8.5 – największe potrzeby wodne truskawki wystąpią w ostatnim dziesięcioleciu okresu prognozowanego (2091-2100). Przykładowo, w całym przyjętym okresie wegetacji truskawki (IV-X) sezonowe zapotrzebowanie na wodę w tym dziesięcioleciu wyniesie 492 mm.



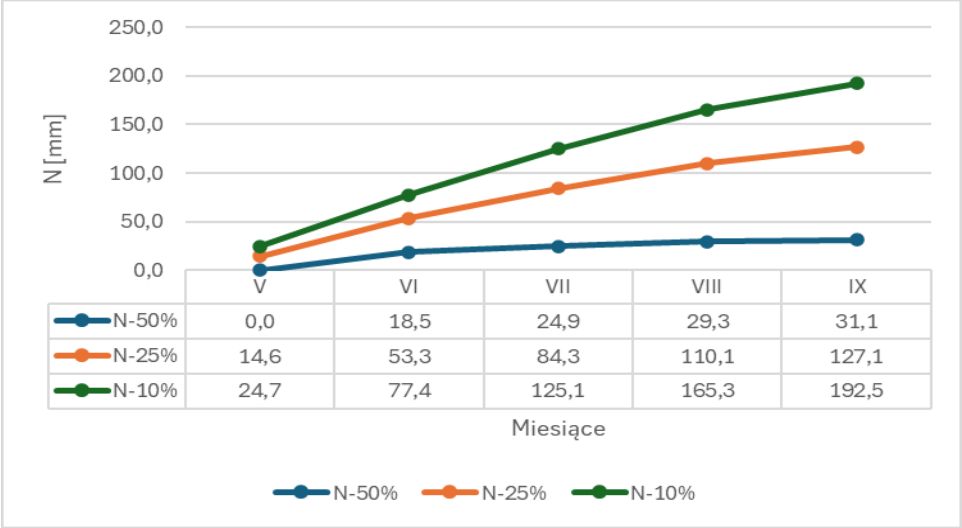
Rysunek 5. Trend czasowy potrzeb wodnych truskawki w świetle scenariusza RCP 8.5 w okresach: IV-X (A), V-IX (B), VI-VIII (C) i VII (D)
Figure 5. Time trend of strawberry water needs in the light of climate change according to the RCP 8.5 scenario in the periods: April-October (A), May-September (B), June-August (C) and July (D)

Na rysunku 6 przedstawiono niedobór opadu u truskawki w okresie referencyjnym (porównawczym). Z analizy przedstawionych danych wynika, że w uprawie truskawki w powiecie chojnickim zarówno w kwietniu, jak i w październiku nie występują niedobory opadu we wszystkich trzech (pod względem posuszności) kategoriach lat – w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym. Przy czym, w roku średnim (występującym średnio 1 raz na 2 lata) niedobory opadu nie występują także w maju, a bardzo niewielkie (zaledwie 1,8 mm) we wrześniu. Największe niedobory opadu występują natomiast w czerwcu i – odpowiednio dla roku średniego, średnio suchego i bardzo suchego – wynoszą 18,5 mm, 38,7 mm i52,7 mm.



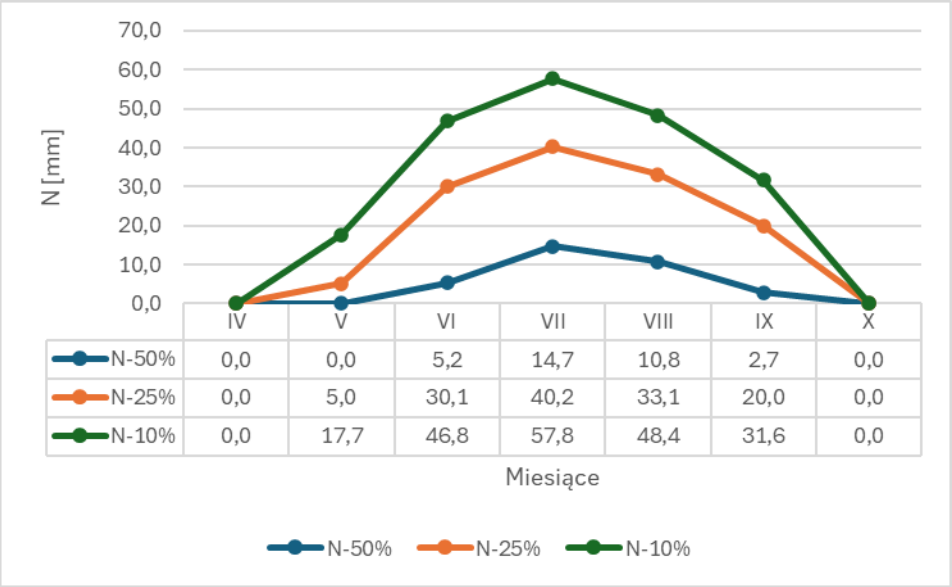
Rysunek 6. Niedobór opadu (N) u truskawki w powiecie chojnickim w okresie porównawczym (referencyjnym) w poszczególnych miesiącach wegetacji w roku średnim ($N_{50\%}$), średnio suchym ($N_{25\%}$) i bardzo suchym ($N_{10\%}$)
Figure 6. Rainfall deficiency (N) for strawberry in the Chojnice County in the reference period for individual months of the growing season in a normal year (N50%), a medium dry year (N25%) and a very dry year (N10%)

Na rysunku 7 przedstawiono natomiast sumowane w kolejnych miesiącach niedobory opadu u truskawki w okresie referencyjnym (porównawczym). Z analizy przedstawionych danych wynika, że w uprawie truskawki w powiecie chojnickim łączne niedobory w okresie wegetacji – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wynoszą 31,1 mm, 127,1 mm i 192,5 mm.



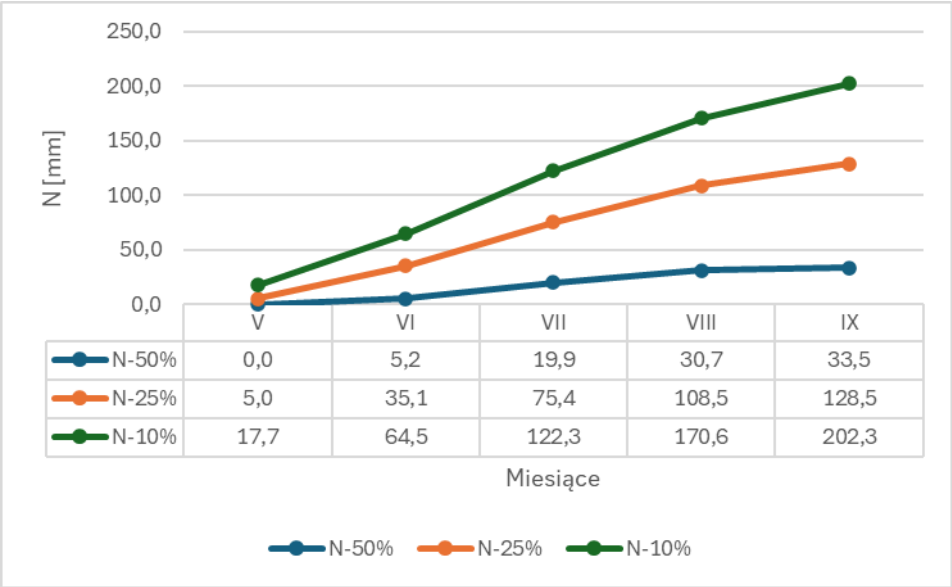
Rysunek 7. Krzywa sumowa niedoboru opadu (N) u truskawki w powiecie chojnickim w okresie porównawczym (referencyjnym) w poszczególnych miesiącach wegetacji w roku średnim (N50%), średnio suchym (N25%) i bardzo suchym (N10%)
Figure 7. Cumulated sum curve of the rainfall deficiency (N) for strawberry in the Chojnice County in the reference period for individual months of the growing season in a normal year ($N_{50\%}$), a medium dry year ($N_{25\%}$) and a very dry year ($N_{10\%}$)

Na rysunku 8 przedstawiono niedobór opadu u truskawki w okresie prognozowanym według scenariusza RCP 4.5. Podobnie jak to miało miejsce w okresie referencyjnym, w uprawie truskawki w powiecie chojnickim zarówno w kwietniu, jak i w październiku – w świetle scenariusza RCP 4.5 – nie wystąpią niedobory opadu we wszystkich trzech (pod względem posuszności) kategoriach lat – w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym oraz w maju w roku średnim. Największe niedobory opadu wystąpią w lipcu i – odpowiednio dla roku średniego, średnio suchego i bardzo suchego – wyniosą 14,7 mm, 40,2 mm i 57,8 mm.



Rysunek 8. Niedobór opadu (N) u truskawki w powiecie chojnickim w okresie prognozowanym według scenariusza RCP 4.5 w poszczególnych miesiącach wegetacji w roku średnim ($N_{50\%}$), średnio suchym ($N_{25\%}$) i bardzo suchym ($N_{10\%}$)
Figure 8. Rainfall deficiency (N) for strawberry in the Chojnice County in the forecast period according to the RCP 4.5 scenario for individual months of the growing season in a normal year (N50%), a medium dry year (N25%) and a very dry year (N10%)

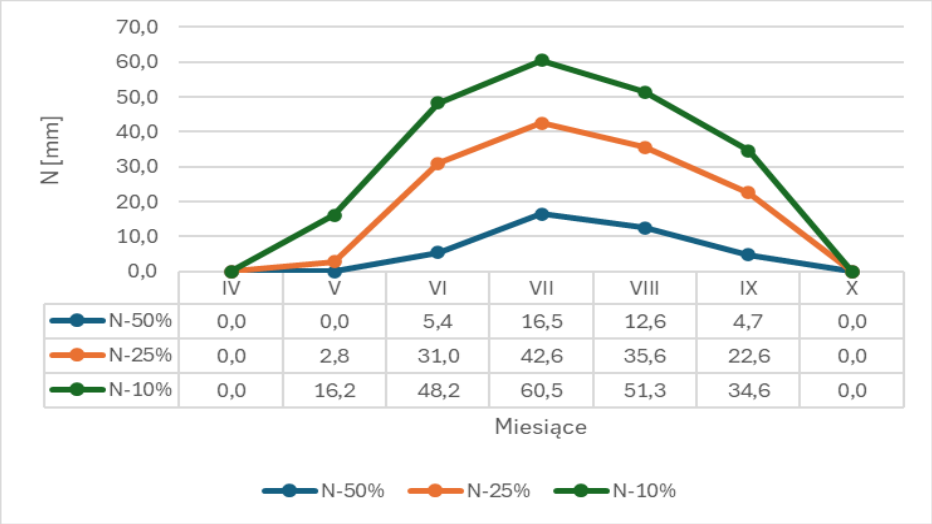
Na rysunku 9 przedstawiono z kolei sumowane w kolejnych miesiącach niedobory opadu u truskawki w okresie prognozowanym według scenariusza RCP 4.5. Z analizy przedstawionych danych wynika, że – w świetle scenariusza RCP 4.5 – w uprawie truskawki w powiecie chojnickim łączne niedobory w okresie wegetacji – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wyniosą 33,5 mm, 128,5 mm i 202,3 mm.



Rysunek 9. Krzywa sumowa niedoboru opadu (N) u truskawki w powiecie chojnickim w okresie prognozowanym według scenariusza RCP 4.5 w poszczególnych miesiącach wegetacji w roku średnim ($N_{50\%}$), średnio suchym ($N_{25\%}$) i bardzo suchym ($N_{10\%}$)

Figure 9. Cumulated sum curve of the rainfall deficiency (N) for strawberry in the Chojnice County in the forecast period according to the RCP 4.5 scenario for individual months of the growing season in a normal year (N50%), a medium dry year (N25%) and a very dry year (N10%)

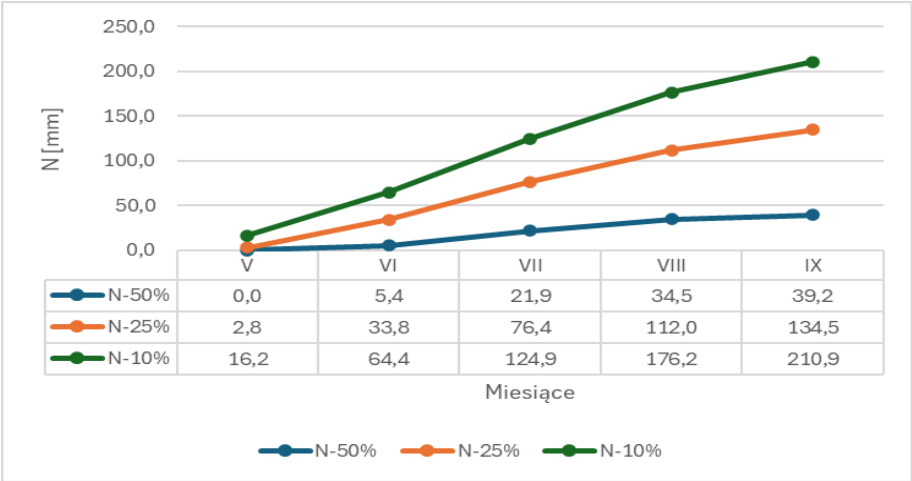
Na rysunku 10 przedstawiono niedobór opadu u truskawki w okresie prognozowanym według scenariusza RCP 8.5. Podobnie jak to miało miejsce w okresie referencyjnym oraz w okresie prognozowanym według scenariusza RCP 4.5, w uprawie truskawki w powiecie chojnickim zarówno w kwietniu, jak i w październiku – w świetle scenariusza RCP 8.5 – nie wystąpią niedobory opadu we wszystkich trzech (pod względem posuszności) kategoriach lat – w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym oraz w maju w roku średnim. Największe niedobory opadu (podobnie jak to było dla scenariusza RCP 4.5) wystąpią w lipcu i – odpowiednio dla roku średniego, średnio suchego i bardzo suchego – wyniosą 16,5 mm, 42,6 mm i 60,5 mm.



Rysunek 10. Niedobór opadu (N) u truskawki w powiecie chojnickim w okresie prognozowanym według scenariusza RCP 8.5 w poszczególnych miesiącach wegetacji w roku średnim (N50%), średnio suchym (N25%) i bardzo suchym (N10%)

Figure 10. Rainfall deficiency (N) for strawberry in the Chojnice County in the forecast period according to the RCP 8.5 scenario for individual months of the growing season in a normal year (N50%), a medium dry year (N25%) and a very dry year (N10%)

Na rysunku 11 przedstawiono sumowane w kolejnych miesiącach niedobory opadu u truskawki w okresie prognozowanym według scenariusza RCP 8.5. Z analizy przedstawionych danych wynika, że – w świetle scenariusza RCP 8.5 – w uprawie truskawki w powiecie chojnickim łączne niedobory w okresie wegetacji – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wyniosą 39,2 mm, 134,5 mm i 210,9 mm.



Rysunek 11. Krzywa sumowa niedoboru opadu (N) u truskawki w powiecie chojnickim w okresie prognozowanym według scenariusza RCP 8.5 w poszczególnych miesiącach wegetacji w roku średnim (N50%), średnio suchym (N25%) i bardzo suchym (N10%)

Figure 11. Cumulated sum curve of the rainfall deficiency (N) for strawberry in the Chojnice County in the forecast period according to the RCP 8.5 scenario for individual months of the growing season in a normal year (N50%), a medium dry year (N25%) and a very dry year (N10%)

DYSKUSJA

Największy deficyt opadu w okresie wegetacji truskawki w powiecie chojnickim (maj-wrzesień), którego można się spodziewać w latach bardzo suchych (o prawdopodobieństwie wystąpienia p=10% tj. przeciętnie 1 raz na 10 lat) – odpowiednio dla scenariuszy RCP 4.5 i RCP 8.5 – może wynieść 202 mm i 211 mm. Dla porównania niedobory wody u truskawek na glebie o podłożu piaszczystym w rejonie Bydgoszczy – przy średnich w okresie wieloletnim (1971-1995) opadach IV-IX 319 mm – wynosiły przeciętnie 219 mm, a w latach suchych 393 mm (Rolbiecki, 2003). Natomiast potrzeby wodne truskawki w okresie V-VI oszacowane przez Rzekanowskiego i in. (2001) dla rejonu Bydgoszczy wynosiły nieco ponad 200 mm. Z syntezy czterech doświadczeń polowych z nawadnianiem truskawki przeprowadzonych w okolicy Bydgoszczy w latach 1981-2001 wynika, że najsilniejsze oddziaływanie warunków wodnych na wysokość plonów i wielkość owoców truskawki wystąpiło w okresie maj-czerwiec. Najwyższe plony i największe owoce zbierano, gdy suma opadów i nawadniania w tym okresie wynosiła 220-230 mm (Rolbiecki i in., 2004a).

Według Drupki (1970) przeciętne niedobory wody na plantacjach truskawek w warunkach klimatycznych Polski wynoszą 159 mm u odmian wczesnych i 219 mm u późnych. Natomiast Makosz (1988) – opierając się na wyliczeniach Drupki – szacuje, że w Polsce niedobór wody w okresie kwiecień-wrzesień wynosi dla odmian wczesnych 185 mm, a dla późnych – 260 mm, zaś Słowik i Klimczak (1986), iż jest to odpowiednio 160 i 220 mm. Zdaniem Dzieżyca (1988), wspomniany niedobór opadów waha się zależnie od roku i rejonu od 150 do 250 mm. Okres największego zapotrzebowania na wodę (faza kwitnienia i wykształcania jagód) u odmian wczesnych przypada, według cytowanego autora, na 15 maj – 15 czerwiec, zaś u późnych na 15 czerwiec – 15 lipiec. Według Drupki (1970), największy niedobór wody na plantacjach truskawek występuje w czerwcu i wynosi 51 mm dla odmian wczesnych, a 63 mm dla późnych (na dobę odpowiednio 1,7 i 2,1 mm). W tym okresie zużywają one w ciągu doby na drodze ewapotranspiracji około 4 mm (odmiany wczesne) bądź 4,5 mm (późne).

W niniejszej pracy potrzeby wodne truskawki – wyznaczone jako ewapotranspiracja potencjalna (Etp) – obliczono metodą współczynników roślinnych (kc), na podstawie ewapotranspiracji wskaźnikowej (ETo) (Łabędzki i in. 1996, Allen i in. 1998). Metoda ta uznawana jest za optymalną metodę wyznaczania potrzeb wodnych roślin. ETo wyznaczono według metody Tredera (Rolbiecki 2018). Za wyborem tej metody przemawiał fakt, że oparta jest ona na zmianach temperatury powietrza, a właśnie wzrost temperatury powietrza – pociągający za sobą wzrost potrzeb wodnych – dla 2 scenariuszy zmian klimatycznych (RCP 4.5 oraz RCP 8.5), był przedstawiany na portalu Klimada 2.0, z którego korzystano w tej pracy przy obliczeniach ETo (https://klimada2.ios.gov.pl/klimat-scenariusze-portal/). Podobne opracowanie – dla 2 scenariuszy zmian klimatycznych (RCP 4.5 oraz RCP 8.5) – wykonano już wcześniej dla oszacowania zapotrzebowania na wodę do nawodnień podsiąkowych terenów zieleni miejskiej w parkach czterech wybranych miast województwa kujawsko-pomorskiego (Bydgoszcz, Grudziądz, Toruń, Włocławek) (Rolbiecki i in., 2023).

W niniejszej pracy stwierdzono, że w latach 2021-2100 oczekiwać należy zwiększenia zapotrzebowania na wodę u truskawki uprawianej

w rejonie Chojnic. Przewiduje się wobec tego, że zachodzące zmiany klimatyczne – co pokazują wyniki niniejszego opracowania dotyczącego truskawki – oraz te, które są prognozowane w przyszłości, spowodują (lub mogą spowodować) wzrost potrzeb wodnych roślin (Bąk i Łabędzki, 2014a,b; Jagosz i in., 2020, 2021). Zachodzi w związku z tym uzasadniona potrzeba, bądź nawet konieczność podejmowania szeregu działań adaptacyjnych. Do takich działań można z pewnością zaliczyć nawodnienia. Liczni autorzy są zgodni co do tego, że – wraz z nasilaniem się niekorzystnych zmian klimatycznych w Polsce – będzie wzrastać znaczenie nawodnień, 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; Rolbiecki i in., 2005; Rolbiecki i in., 2019; Rzekanowski i in., 2001, Stachowski i Markiewicz, 2011). Przewiduje się jednak, że powierzchnia nawadniania i zużycie wody do nawodnień rolniczych w Polsce w przyszłości będzie jednak zależeć przede wszystkim od przyjętej strategii rozwoju rolnictwa i warunków ekonomicznych rolnictwa, zaś w znacznie mniejszym stopniu od uwarunkowań klimatycznych (Łabędzki, 2009b).

Warto podkreślić, że potrzeby wodne roślin jagodowych nie mogą być rozpatrywane w oderwaniu od cech gatunkowych, fazy rozwojowej, wieku, sposobu uprawy, wilgotności gleby i pogody. Treder i Pacholak (2006) wyraźnie podkreślają, że potrzeby wodne roślin sadowniczych zależą nie tylko od warunków glebowych i pogodowych (m.in. temperatury, opadów, wilgotności powietrza, prędkości wiatru, nasłonecznienia), lecz także od cech gatunkowych roślin, fazy rozwojowej, zastosowanego systemu uprawy gleby, zagęszczenia roślin i sposobu prowadzenia plantacji. Potwierdzają to wyniki doświadczeń z truskawką przeprowadzonych w okolicy Bydgoszczy (Rolbiecki, 2003; Rolbiecki i Rzekanowski, 1997; Rolbiecki i in., 2004 a,b).

WNIOSKI

Na podstawie przyjętych założeń tj. przewidywanych w powiecie chojnickim zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych oraz przeprowadzonych na ich podstawie obliczeń i analiz, można sformułować następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Na podstawie analizy danych opadowo-termicznych okresu porównawczego (referencyjnego) – wynika, że łączne niedobory opadu w okresie wegetacji truskawki w powiecie chojnickim – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wynoszą 31 mm, 127 mm i 192 mm.
2. Na podstawie analizy danych opadowo-termicznych okresu prognozowanego można stwierdzić, że w latach 2021-2100 oczekiwać należy zwiększenia zapotrzebowania na wodę u truskawki. Jeśli zmiany klimatu będą przebiegały według scenariusza RCP 4.5, to wzrost ten w okresie kwiecień-październik (w odniesieniu do okresu referencyjnego) może wynieść 50 mm (tj. 13%), natomiast według scenariusza RCP 8.5 wzrost zapotrzebowania na wodę u truskawki może wynieść około 69 mm (tj. o 18%).
3. Zapotrzebowanie na wodę u truskawki w okresie kwiecień-październik – według scenariusza RCP 8.5 – zwiększy się (w odniesieniu do okresu referencyjnego) w największym stopniu w dekadzie 2091-2100. Wzrost ten wyniesie 108 mm (tj. o 28%).

Natomiast w świetle scenariusza RCP 4.5 wzrost zapotrzebowania na wodę u truskawki w dekadzie może wynieść około 63 mm (tj. o 16%).

4. W miesiącach kwiecień i październik nie wystąpią deficyty opadu w uprawie truskawki. Największy deficyt opadu w okresie wegetacji truskawki (maj-wrzesień) może natomiast wystąpić w latach bardzo suchych (p=10%). Deficyt ten – odpowiednio dla scenariuszy RCP 4.5 i RCP 8.5 – może wynieść 202 mm i 211 mm. W latach średnio suchych (p=25%) deficyt ten będzie mniejszy i – odpowiednio dla scenariuszy RCP 4.5 i RCP 8.5 – może on wynieść 129 mm i 135 mm. Jeszcze mniejszy deficyt opadu może wystąpić w latach średnich (p=50%), i może on – odpowiednio dla scenariuszy RCP 4.5 i RCP 8.5 – kształtować się na poziomie 34 mm i 39 mm.
5. W okresie porównawczym (referencyjnym) największy miesięczny deficyt opadu w czasie wegetacji truskawki w powiecie chojnickim ma miejsce w czerwcu. Wielkość niedoboru opadu – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – w przybliżeniu wynosi 19 mm, 39 mm i 53 mm. Natomiast w okresie prognozowanym największe miesięczne deficyty opadu w czasie wegetacji truskawki będą miały miejsce w lipcu. Te deficyty opadu według scenariusza RCP 4.5 – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – będą w przybliżeniu wynosić 15 mm, 40 mm i 58 mm. Z kolei w świetle scenariusza RCP 8.5 deficyty opadu w lipcu mogą w przybliżeniu kształtować się na poziomie odpowiednio 17 mm, 43 mm i 61 mm.
6. Z wyznaczonych dla okresu prognozowanego (2021-2100) równań regresji liniowej wynika, że – odpowiednio dla scenariuszy RCP 4.5 i RCP 8.5 – potrzeby wodne truskawki będą w każdym dziesięcioleciu wzrastać w okresie wegetacji (IV-X) o 4,2 mm i o 10,6 mm.

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. Drupka S. 1970. *Nawadnianie plantacji truskawek*. PWRiL, Warszawa, ss. 125.
5. Drupka S. 1976. *Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni*. Warszawa, PWRiL ss. 312.
6. Dzieżyc J. 1988. *Rolnictwo w warunkach nawadniania*. PWN, Warszawa, ss. 415.
7. Jagosz B., Rolbiecki S., Stachowski P., Ptach W., Łangowski A., Kasperska-Wołowicz W., Sadan A.H., Rolbiecki R., Prus P., Kazula M. 2020. *Assessment of water needs of grapevines in western Poland from*

the perspective of climate change. Agriculture 2020, 10, 0477, 1-16. doi:10.3390/agriculture10100477
8. Jagosz B., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Łangowski A., Sadan H.A., Ptach W., Stachowski P., Kasperska-Wołowicz W., Pal-Fam F., Liberacki D. 2021. *The water needs of grapevines in Central Poland*. Agronomy 2021, 11, 416, 1-13. https://doi.org/10.3390/agronomy11030416
9. Jerzy M., Żarski J. 1997. *Program restrukturyzacji i rozwoju ogrodnictwa w województwie bydgoskim*. Opracowanie dla Wydz. Rolnictwa i Ochrony Środowiska UW w Bydgoszczy, 1-77.
10. Kaca E., Rek-Kaca G. 2019. *Względna przyrodnicza zasadność rozwoju nawodnień w skali województw w Polsce*. Materiały Konferencyjne XXIII Sympozjum Nawadniania Roślin „Nawadnianie roślin w świetle zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich" – aspekty przyrodniczo-produkcyjne i techniczno-infrastrukturalne, 11-14 czerwca 2019, Bydgoszcz-Fojutowo, 33-35.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Łabędzki L. 2009a. *Foreseen climate changes and irrigation development in Poland.* Infrastructure and Ecology of Rural Areas, 3, 7-18.
16. Łabędzki L. 2009b. *Expected development of irrigation in Poland in the context of climate change.* Journal of Water and Land Development, 13b, 17-29.
17. Łabędzki L., Szajda J., Szuniewicz J. 1996. *Ewapotranspiracja upraw rolniczych – terminologia, definicje, metody obliczania*. Przegląd stanu wiedzy. Wyd. IMUZ Falenty, Mat. Inf., 33, 1-15.
18. 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.
19. Makosz E. 1988. *Rośliny jagodowe*. Warszawa: PWRiL ss. 193.
20. Peszek J. 1987. *Podstawy klimatyczne nawadniania roślin w regionie bydgoskim*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 314, 65-80.
21. Peszek J. 1996. *Uwarunkowania klimatyczno-przyrodnicze produkcji rolniczej w regionie bydgoskim*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 438, 19-32.
22. Platt C. 1978. *Problemy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej* PWN, Warszawa, ss. 377.
23. Rolbiecki S. 2003. *Reakcja trzech gatunków roślin jagodowych uprawianych na bardzo lekkiej glebie na mikronawodnienia*. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rozprawy, 108, 1-89, 2003.

24. Rolbiecki S. 2018. *O szacowaniu potrzeb wodnych drzew owocowych w Polsce na podstawie temperatury powietrza*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, II/1, 393-406.
25. Rolbiecki S., Rzekanowski C. 1997. *Influence of sprinkler and drip irrigation on the growth and yield of strawberries grown on sandy soils*. Acta Horticulturae, 439, Vol. 2: 669-672.
26. Rolbiecki S., Rolbiecki R., Rzekanowski C. 2004a. *Wpływ zróżnicowanych warunków wodnych na plonowanie truskawki na luźnej glebie piaszczystej*. Acta Agrophysica 104, vol. 3(1), 153-159.
27. Rolbiecki S., Rolbiecki R., Rzekanowski C., Derkacz M. 2004b. *Effect of different irrigation regimes on growth and yield of 'Elsanta' strawberries planted on loose sandy soil*. Acta Horticulturae, 646, 163-166.
28. Rolbiecki S., Rolbiecki R., Rzekanowski C. 2005. *Nawadnianie jako czynnik przeciwdziałający skutkom posuch w uprawie maliny na glebie piaszczystej*. Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie, t. 5, z. spec. 14, 243-260.
29. Rolbiecki S., Jagosz B., Rolbiecki R., Ptach W., Stachowski P., Kasperska-Wołowicz W., Łangowski A., Sadan H.A., Klimek A., Dobosz K. 2019. *The water needs of grapevines in the different regions of Poland.* Journal of Ecological Engineering, 20(7), 222-232.
30. Rolbiecki S., Rolbiecki R., Kuśmierek-Tomaszewska R., Żarski J. Łangowski A. 2023. *Zapotrzebowanie na wodę w nawadnianiu podsiąkowym terenu zieleni miejskiej w parkach Bydgoszczy, Grudziądza, Torunia i Włocławka zależnie od scenariusza przewidywanych zmian klimatycznych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 1(1), 169-186.
31. Rudnicki F. (red.) 1992. *Doświadczalnictwo rolnicze*. Wydawnictwa Uczelniane ATR. Bydgoszcz, ss. 1-210.
32. Rzekanowski C. 2000. *Perspektywy nawodnień roślin wobec nadchodzących przemian w polskim rolnictwie*. Ekologia i Technika, VIII(3), 83-91.
33. Rzekanowski C. 2009. *Kształtowanie się potrzeb nawodnieniowych roślin sadowniczych w Polsce*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3, 19-27.
34. Rzekanowski C., Rolbiecki S., Żarski J. 2001. *Potrzeby wodne i efekty produkcyjne stosowania mikronawodnień w uprawie roślin sadowniczych w rejonie Bydgoszczy*. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln., 478, 313-325, 2001.
35. Słowik B., Klimczak A. 1986. *Wpływ ściółkowania, nawadniania i nawożenia dolistnego na plonowanie truskawek*. Prace Inst. Sad. i Kw. A 26, 21-33.
36. Stachowski P., Markiewicz J. 2011. *The need of irrigation in central Poland on the example of Kutno county*. Annual Set The Environment Protection 13, 1453-1472.
37. Tabaszewski J. 1980. *Elementy inżynierii wodnej*. Dział Wyd. ART. Olsztyn, ss.189.
38. Treder W., Pacholak E. 2006. *Nawadnianie roślin sadowniczych*. W: Nawadnianie roślin (pr. zbior. pod red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka), PWRiL Poznań, 333-365.
39. Zaliwski S. 1984. *Intensywna produkcja owoców jagodowych i leszczynowych.* PWN, Warszawa, ss. 560.

40. Żakowicz S., Hewelke P. 2002. *Podstawy inżynierii środowiska*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 140
41. Żakowicz S., Hewelke, P., Gnatowski T. 2009. *Podstawy infrastruktury technicznej w przestrzeni produkcyjnej*. Wyd. SGGW, Warszawa, ss. 192.
42. Żarski J., Dudek S. 1999. *Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w gminach województwa bydgoskiego*. Zesz. Nauk. ATR 217, Rolnictwo 43, 43-51.
43. Żarski J., Dudek S. 2000. *Charakterystyka warunków termicznych i opadowych województwa kujawsko-pomorskiego w aspekcie potrzeb ochrony środowiska.* Zesz. Nauk. WSHE we Włocławku, VI, 85-98.

Autor korespondencyjny: Stanisław Rolbiecki
ORCID: 0000-0002-1433-2212
e-mail: Stanislaw.Rolbiecki@pbs.edu.pl
Katedra Biogeochemii, Gleboznawstwa i Melioracji Wodnych
Politechnika Bydgoska im. J. J. Śniadeckich
Al. Prof. S. Kaliskiego 7
85-796 Bydgoszcz

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

Otrzymano: 07.01.2025
Zwrócono po recenzji: 03.02.2025
Zaakceptowano: 08.02.2025