



DOI: <https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2024.008>

**POTRZEBY WODNE MALINY W POWIECIE CHOJNICKIM
W ŚWIETLE PRZEWIDYWANYCH ZMIAN KLIMATU**

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

Stanisław ROLBIECKI¹, Mikołaj ŁONIEWSKI¹

STRESZCZENIE

Celem pracy była próba oszacowania zapotrzebowania na wodę maliny 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 maliny w powiecie chojnickim – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wynosiły 48 mm, 141 mm i 208 mm. W okresie porównawczym (referencyjnym) największy miesięczny deficyt opadu w sezonie wegetacyjnym maliny występował w lipcu. Wielkość niedoboru opadu – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wynosiła 16 mm, 42 mm i 59 mm. W okresie prognozowanym (2021-2100) największe miesięczne deficyty opadu w czasie wegetacji maliny będą miały miejsce również w lipcu. Te deficyty opadu według scenariusza RCP 4.5 – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – będą wynosić 25 mm, 52 mm i 70 mm. W świetle scenariusza RCP 8.5 deficyty opadu w lipcu będą jeszcze wyższe i mogą one w przybliżeniu kształtować się na poziomie odpowiednio 27 mm, 55 mm i 74 mm. W latach 2021-2100 oczekiwać należy zwiększenia zapotrzebowania na wodę u maliny. Jeśli zmiany klimatu będą przebiegały według scenariusza RCP 4.5, to wzrost ten w okresie kwiecień-październik (w odniesieniu do okresu referencyjnego) może wynieść 49 mm (tj. 12 %), natomiast według scenariusza RCP8.5 wzrost zapotrzebowania na wodę u maliny może wynieść około 67 mm (tj. o 17 %). Zapotrzebowanie na wodę u maliny 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 105 mm (tj. o 27 %). Natomiast w świetle scenariusza RCP 4.5 wzrost zapotrzebowania na wodę u maliny dla tego przypadku może wynieść około 61 mm (tj. 16 %). W miesiącach kwiecień i październik nie wystąpią deficyty opadu w uprawie maliny. Największy deficyt opadu w okresie wegetacji maliny (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 220 mm i 229 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 145 mm i 153 mm. Jeszcze mniejszy deficyt opadu może wystąpić w latach średnich (p=50 %),

¹ Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Polska

i może on – odpowiednio dla scenariuszy RCP 4.5 i RCP 8.5 – kształtować się na poziomie 57 mm i 63 mm. Z wyznaczonych dla okresu prognozowanego (2021-2100) równań regresji liniowej wynika, że – odpowiednio dla scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 – potrzeby wodne maliny będą w każdym dziesięcioleciu wzrastać w okresie wegetacji (IV-X) o 4,0 mm i o 10,5 mm.

Słowa kluczowe: malina, potrzeby wodne, niedobory opadu, nawadnianie, zmiany klimatu

ABSTRACT

The aim of the study was to attempt to estimate the demand for water for raspberry 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 raspberry growing season in the Chojnice county - in the average, moderately dry and very dry years - amounted 48 mm, 141 mm and 208 mm, respectively. The largest monthly rainfall deficit during the raspberry growing season of the reference period occurred in July. The amount of rainfall deficit - in the average, moderately dry and very dry year – was on the level 16 mm, 42 mm and 59 mm, respectively. In the forecast period (2021-2100), the largest monthly rainfall deficits during the raspberry growing season will also occur in July. These rainfall deficits under the RCP 4.5 scenario – in a medium, moderately dry and very dry year – will amount 25 mm, 52 mm and 70 mm, respectively. In the light of the RCP 8.5 scenario, rainfall deficits in July will be even higher and may amount to 27 mm, 55 mm and 74 mm, respectively. In the years 2021-2100, an increase in water demand for raspberries 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 49 mm (i.e. 12%). According to the RCP8.5 scenario, the increase in water demand for raspberries may amount to approximately 67 mm (i.e. 17%). The water demand for raspberries 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 105 mm (i.e. 27%). In the light of the RCP 4.5 scenario, the increase in water demand for raspberries for this case may amount to approximately 61 mm (i.e. 16%). There will be no rainfall deficits in raspberry cultivation in April and October. The largest rainfall deficit during the raspberry 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 220 mm and 229 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 145 mm and 153 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 57 mm and 63 mm, respectively. The linear regression equations determined for the forecast period (2021-2100) show that - for the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios - the water needs of raspberries in every 10 years will increase in the vegetation season (April-October) by 4.0 mm and by 10.5 mm, respectively.

Keywords: raspberry, water needs, rainfall deficit, irrigation, climate changes

WSTĘP

Malina – w świetle danych z literatury – jest rośliną, na którą nawet krótkotrwałe susze wpływają negatywnie (Treder, 1996). Malina w rejonach o małej ilości opadów w miesiącach letnich kończy wcześniej wzrost, co sprawia, że plon jej gwałtownie maleje. Gatunek ten – podobnie jak inne rośliny jagodowe – ma płytki system korzeniowy. Najwięcej korzeni znajduje się w warstwie gleby od 0 do 25 cm, zaś w warstwie od 0 do 40 cm znajduje się około 75% całego systemu korzeniowego (Makosz, 1988; Mazur, 1987). Duże zapotrzebowanie na wodę związane jest także z bardzo dużym uwodnieniem owoców maliny, w których woda stanowi od 75,9 do 85,9 % (Zaliwski 1984). Według cytowanego autora opady optymalne dla malin w okresie wegetacyjnym powinny wynosić od 330 do 360 mm. Optymalny ich rozkład w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego malin (oraz pozostałych krzewów jagodowych) – według Zaliwskiego (1984) – powinien być następujący: kwiecień i sierpień po 60 mm, maj i czerwiec po 80 mm, lipiec 70 mm, a wrzesień 50 mm.

Obszar powiatu chojnickiego – zgodnie z podziałem Polski na regiony klimatyczne dokonany przez Romera – zaliczany jest w przeważającej mierze (gminy Brusy, Czersk i częściowo Chojnice) do regionu klimatu pojeziernego (Jerzy i Żarski, 1997; Peszek, 1987; Peszek, 1996; Romer, 1962). Powiat chojnicki położony jest w granicach województwa pomorskiego, które charakteryzuje się małymi potrzebami klimatycznymi nawodnień uzupełniających z uwagi na dodatnie wartości klimatycznego bilansu wodnego (Peszek, 1987; Peszek, 1996; Kaca i Rek-Kaca, 2019).

Opracowane dla Polski scenariusze zmian klimatu (zwłaszcza wartości temperatury powietrza i ilości opadów atmosferycznych), różnią się wyraźnie w odniesieniu do okresu letniego (czerwiec-sierpień) (Łabędzki, 2009a,b). We wszystkich modelach zakłada się bowiem wzrost temperatury powietrza, natomiast wzrost opadów już tylko w niektórych z nich; są też takie scenariusze, które zakładają obniżenie ilości opadów (Łabędzki, 2009a,b; Bąk i Łabędzki, 2014a,b). Z tego względu 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 potrzeb wodnych maliny w zależności od przewidywanych na terenie powiatu chojnickiego zmian klimatycznych.

MATERIAŁ I METODY

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 CO₂ do poziomu 540 ppm w roku 2100 (osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na poziomie 4.5 W/m²). Scenariusz RCP 8.5 jest scenariuszem ekstrapolacyjnym zakładającym wzrost stężenia CO₂ do poziomu 940 ppm w roku 2100 (osiągnięcie wymuszenia radiacyjnego na poziomie 8.5 W/m²). Uwzględniono siedem miesięcy (kwiecień, maj, czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień i październik) dla 8 dekad (dziesięcioleci) XXI wieku: 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, 2061-2070, 2071-2080, 2081-2090 oraz

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 w tym zakresie z dostępnej literatury przedmiotu (Jerzy i Żarski, 1997; Żarski i Dudek, 1999; Żarski i Dudek, 2000).

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

ET_p maliny obliczono ze wzoru:

$$ET_p = k \cdot ET_o \quad (1)$$

gdzie:

k – współczynnik roślinny dla maliny wg Tredera (tab. 1),

ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa (mm).

ET_o policzono ze wzoru:

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

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 maliny według Tredera

Table 1. Values of coefficients for formulas for the water needs of raspberries according to Treder

Miesiąc	Współczynnik	
	α	K
IV	0,28	0,25
V	0,21	0,60
VI	0,19	0,80
VII	0,18	1,00
VIII	0,17	1,00
IX	0,16	0,90
X	0,15	0,55

Wielkość niedoborów opadu (N) dla maliny 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).

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

gdzie:

$N_{p\%}$ - niedobór opadu o prawdopodobieństwie pojawienia się równym p % (mm·okres⁻¹),

ET_p – średnia z wielolecia wysokość ewapotranspiracji 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 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 (Rudnicki, 1992), że jest to kwadrat współczynnika korelacji, wartości współczynników korelacji (r) wyznaczono z zależności:

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

Istotność współczynników korelacji, przy liczebności próby $n = 8$, wyznaczono dla poziomu ufności $\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,02$, $\alpha = 0,01$ i $\alpha = 0,001$. Dla liczby stopni swobody $j=6$ (ponieważ $j=n-2$) wartości krytyczne współczynnika korelacji (r) – odpowiednio dla poziomu ufności (α) wynoszące $\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,02$, $\alpha = 0,01$, $\alpha = 0,001$ były równe: 0,6215; 0,7067; 0,7887; 0,8343 i 0,92493 (Platt, 1978).

WYNIKI

Statystyczną charakterystykę potrzeb wodnych maliny (Etp; mm) w poszczególnych miesiącach jej wegetacji – w zależności od przyjętego scenariusza zmian klimatycznych – przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Statystyczna charakterystyka potrzeb wodnych maliny (Etp; mm) w zależności od scenariusza zmian klimatycznych

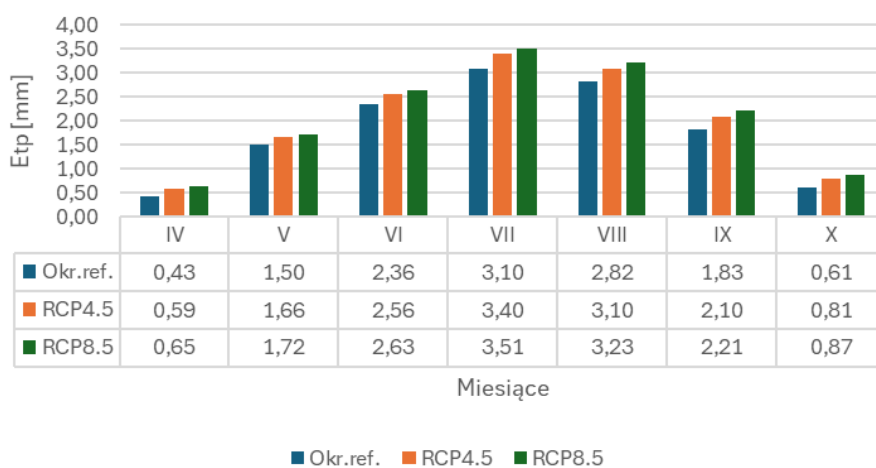
Table 2. Statistical characteristics of raspberry water needs (Etp; mm) depending on the climate change scenario

Miara statystyczna	Miesiące okresu wegetacji						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Scenariusz zmian klimatu RCP 4.5							
Minimum	16,0	49,2	73,9	102,1	92,8	59,6	23,3
Maksimum	19,3	53,5	78,4	108,8	97,5	64,8	26,3
Średnia	17,8	51,6	76,7	105,5	96,0	62,9	25,1
Mediana	17,9	51,4	77,1	105,7	96,7	62,9	25,3
SD	1,019	1,540	1,606	2,033	1,820	1,803	1,018
VC (%)	5,7	3,0	2,1	1,9	1,9	2,9	4,1
Scenariusz zmian klimatu RCP 8.5							
Minimum	16,8	50,4	73,9	102,1	92,8	60,0	23,0
Maksimum	22,3	58,6	83,4	116,1	108,6	73,0	30,4
Średnia	19,4	53,3	78,9	108,8	100,1	66,3	26,9
Mediana	19,3	52,5	78,7	107,7	99,1	66,5	27,2
SD	1,763	2,801	3,430	5,319	5,828	4,589	2,406
VC (%)	9,1	5,3	4,3	4,9	5,8	6,9	8,9

Potrzeby wodne maliny wyznaczone z wykorzystaniem danych scenariusza RCP8.5 charakteryzowały się większą zmiennością w porównaniu do scenariusza RCP4.5. Wyższe wartości obu zastosowanych

miar zmienności potrzeb wodnych maliny – miary bezwzględnej czyli odchylenia standardowego (SD) oraz miary względnej tj. współczynnika zmienności (VC) – stwierdzono w każdym z siedmiu rozpatrywanych miesięcy okresu wegetacji dla scenariusza RCP8.5. Najwyższe wartości współczynnika zmienności Etp maliny – dla obu badanych scenariuszy – stwierdzono w kwietniu i październiku.

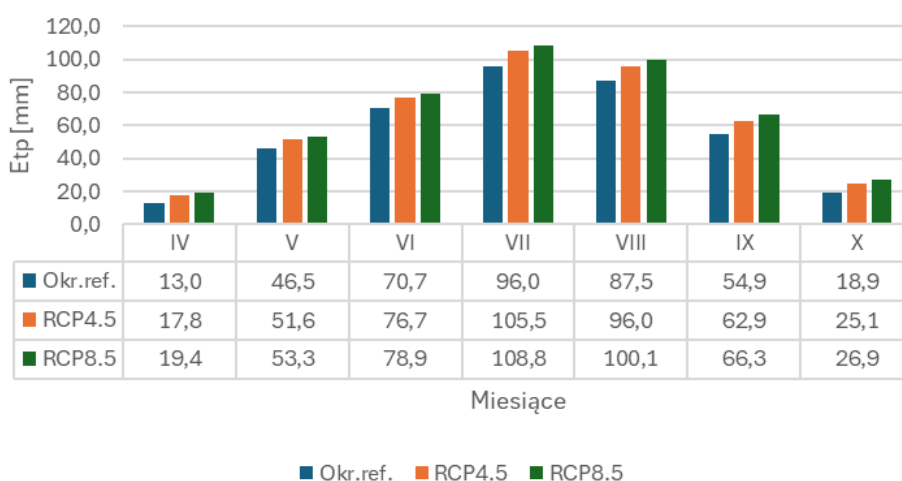
Na rysunku 1 przedstawiono dobowe potrzeby wodne truskawki – średnio dla każdego miesiąca wegetacji. Można zauważyć, że w okresie prognozowanym (2021-2100) – będą one wyższe w każdym miesiącu od tychże potrzeb w okresie referencyjnym. Porównanie dwóch uwzględnionych scenariuszy zmian klimatycznych wskazuje także na to, że wyższe potrzeby wodne truskawki wystąpią dla scenariusza RCP8.5. W lipcu, miesiącu charakteryzującym się największymi potrzebami wodnymi, dobowe zapotrzebowanie na wodę u maliny wzrośnie z poziomu 3,10 mm w okresie referencyjnym do poziomu 3,40 mm dla scenariusza RCP4.5 i do 3,51 mm dla scenariusza RCP8.5.



Rysunek 1. Dzielne sumy potrzeb wodnych maliny (Etp; mm) – w zależności od scenariusza zmian klimatycznych i w odniesieniu do okresu porównawczego (referencyjnego)

Figure 1. Daily values of raspberry water needs (Etp; mm) – depending on the climate change scenario and in relation to the comparative reference period

W przypadku miesięcznych sum potrzeb wodnych maliny występuje ta sama prawidłowość, jak dla dobowego zapotrzebowania na wodę (rys. 2).

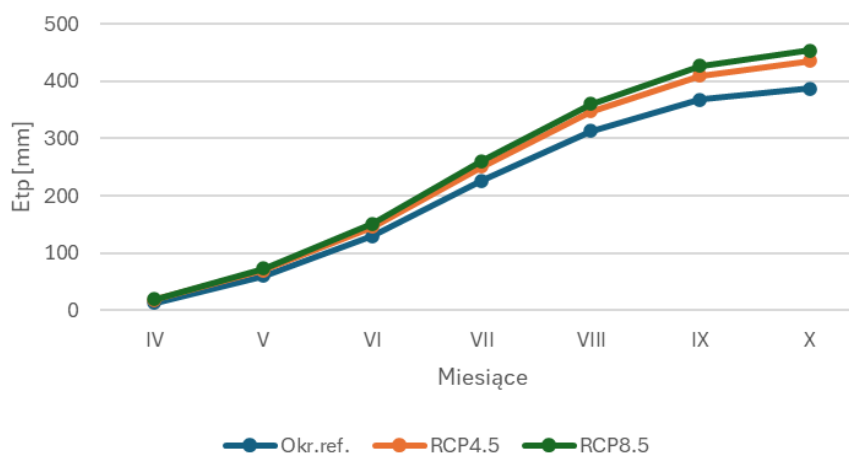


Rysunek 2. Miesięczne sumy potrzeb wodnych maliny (Etp; mm) – w zależności od scenariusza zmian klimatycznych i w odniesieniu do okresu porównawczego (referencyjnego)

Figure 2. Monthly values of raspberry water needs (Etp; mm) – depending on the climate change scenario and in relation to the comparative reference period

Zatem, przewidywane zmiany klimatyczne spowodują wzrost potrzeb wodnych maliny. Wyższe sumy potrzeb wodnych wystąpią w przypadku każdego miesiąca dla scenariusza RCP8.5. W lipcu miesięczna suma zapotrzebowania na wodę dla maliny – odpowiednio w okresach referencyjnym i prognozowanym dla scenariusza RCP4.5 oraz RCP8.5 – kształtuje się na poziomie 96,0 mm, 105,5 mm oraz 108,8 mm.

Z przebiegu krzywych sumowych – przedstawionych na rysunku 3 – dla trzech porównywanych w niniejszej analizie przypadków (okres referencyjny, okres prognozowany wg scenariusza RCP4.5 i RCP8.5) wynika, że sumowane miesięczne potrzeby wodne w całym sezonie wegetacyjnym maliny (IV-X) będą największe w okresie prognozowanym – dla scenariusza RCP8.5.



Rysunek 3. Sumowane miesięczne potrzeby wodne maliny (Etp; mm) – w zależności od scenariusza zmian klimatycznych i w odniesieniu do okresu porównawczego (referencyjnego)

Figure 3. Cumulated sum curve of raspberry water needs (Etp; mm) – depending on the climate change scenario and in relation to the comparative reference period

W tabeli 3 przedstawiono porównanie potrzeb wodnych maliny 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 maliny. Spodziewany wzrost potrzeb wodnych maliny w okresie wegetacji (IV-X) według scenariusza RCP4.5 wyniesie około 48 mm (tj. około 12 %), a według scenariusza RCP8.5 około 66 mm (tj. około 17 %).

Z kolei z porównania potrzeb wodnych maliny dla okresu referencyjnego z jej potrzebami wodnymi w ostatniej dekadzie okresu prognozowanego (2091-2100) wynika, że spodziewany wzrost potrzeb wodnych maliny może – odpowiednio dla scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 – wynieść 61 mm (16 %) i 105 mm (27 %).

Tabela 3. Porównanie potrzeb wodnych maliny w powiecie chojnickim w okresie referencyjnym i prognozowanym zależnie od scenariusza zmian klimatu

Table 3. Comparison of water needs of raspberries 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	mm	387	355	254	96
(porównawczy)	%	100	100	100	100
Okres prognozowany (2021-2100)	mm	436	393	278	106
wg scenariusza RCP 4.5	%	112	110	109	110
Okres prognozowany (2021-2100)	mm	454	407	288	109
wg scenariusza RCP 8.5	%	117	115	113	113
Ostatnia dekada okresu	mm	448	403	285	109
prognozowanego (2091-2100)	%	116	113	112	114
wg scenariusza RCP 4.5					
Ostatnia dekada okresu	mm	492	440	308	116
prognozowanego (2091-2100)	%	127	124	121	121
wg scenariusza RCP 8.5					

Tabela 4 zawiera z kolei zestawienie wartości współczynników korelacji Pearsona oraz wielkość trendu czasowego potrzeb wodnych maliny (dla dziesięciu lat) w okresie prognozowanym – według scenariusza RCP4.5. W okresie prognozowanym (2021-2100) – w świetle tego scenariusza – wystąpi istotna dodatnia korelacja pomiędzy potrzebami wodnymi maliny w każdym z siedmiu miesięcy jej wegetacji i kolejnymi dziesięcioleciami (dekadami) okresu prognozowanego. Z równań regresji liniowej wynika bowiem, że w każdym dziesięcioleciu – w świetle scenariusza RCP4.5 – potrzeby wodne maliny będą wzrastać w okresie wegetacji (IV-X) o 4,0 mm.

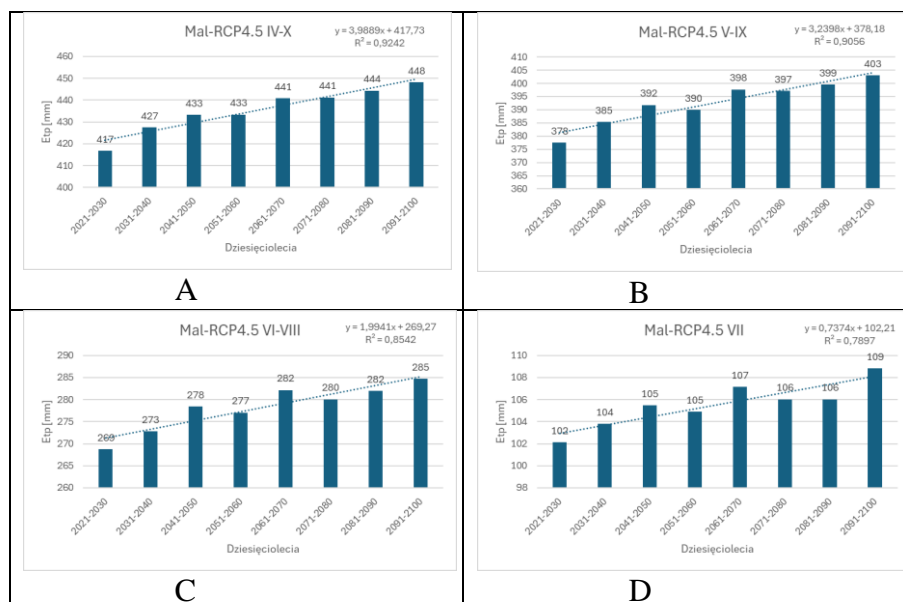
Tabela 4. Wartości współczynników korelacji liniowej dla trendów czasowych potrzeb wodnych maliny w powiecie chojnickim w różnych okresach zależnie od scenariusza zmian klimatu RCP4.5

Table 4. Values of linear correlation coefficients for time trends in raspberry 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*	0,4
2	Maj	0,909*	0,8
3	Czerwiec	0,902*	0,7
4	Lipiec	0,889*	0,7
5	Sierpień	0,895*	0,7
6	Wrzesień	0,915*	0,4
8	Październik	0,931**	0,4
9	Kwiecień-Październik	0,961**	4,0
10	Maj-Wrzesień	0,952**	3,2
11	Czerwiec-Sierpień	0,924*	2,0

*, ** - istotność odpowiednio dla poziomu ufności $\alpha=0,01$ i $\alpha=0,001$ dla $n=8$; liczby stopni swobody $j=6$ (gdzie $j=n-2$); dekada=10 lat

Przedstawione – na rysunku 4 – wykresy równań regresji liniowej pokazują trend czasowy potrzeb wodnych maliny dla scenariusza RCP4.5 w czterech wybranych okresach w czasie jej wegetacji: kwiecień–październik (IV-X), maj–wrzesień (V-IX), czerwiec–sierpień (VI-VIII) oraz lipiec (VII). Zamieszczono także równania regresji prostoliniowej i współczynniki determinacji (R^2). Z wyprowadzonych równań obliczono zamieszczone w tabeli 4 wielkości zmian trendu czasowego potrzeb wodnych maliny.



Rysunek 4. Trend czasowy potrzeb wodnych maliny w świetle zmian klimatu wg scenariusza RCP4.5 w okresach: IV-X (A), V-IX (B), VI-VIII (C) i VII (D)

Figure 4. Time trend of raspberry water needs in the light of climate change according to the RCP4.5 scenario in the periods: April-October (A), May-September (B), June-August (C) and July (D)

Z przedstawionych na rysunku 4 wykresów wynika, iż największe potrzeby wodne maliny wystąpią w ostatnim dziesięcioleciu okresu prognozowanego (2091-2100). W całym analizowanym okresie wegetacji maliny (IV-X) sezonowe zapotrzebowanie na wodę we wspomnianym dziesięcioleciu – według scenariusza RCP4.5 – wyniesie 448 mm.

Zestawienie wartości współczynników korelacji Pearsona oraz wielkość trendu czasowego potrzeb wodnych maliny (wyznaczone dla dekady tj. 10 lat) dla okresu prognozowanego w świetle scenariusza RCP8.5 zamieszczono w tabeli 5. Z analizy korelacji wynika, że w okresie prognozowanym (2021-2100) wystąpi istotna dodatnia korelacja pomiędzy potrzebami wodnymi maliny w każdym miesiącu jej wegetacji, a kolejnymi dekadami (dziesięciolecia) tego okresu. Z równań regresji liniowej wynika, że w każdym dziesięcioleciu – w świetle scenariusza RCP8.5 – potrzeby wodne maliny będą wzrastać w okresie wegetacji (kwiecień-październik) o 10,5 mm, a w okresie maj-wrzesień o 8,8 mm.

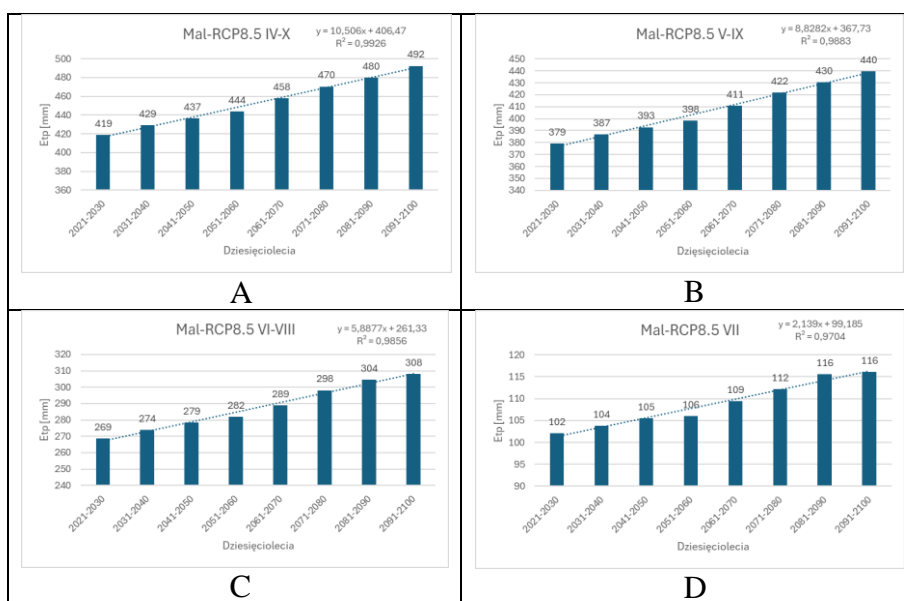
Tabela 5. Wartości współczynników korelacji liniowej dla trendów czasowych potrzeb wodnych maliny w powiecie chojnickim w różnych okresach zależnie od scenariusza zmian klimatu RCP8.5

Table 5. Values of linear correlation coefficients for time trends in raspberry water needs in Chojnice County in different periods depending on the RCP8.5 climate change scenario

L.p.	Okres	Wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona (r)	Trend czasowy potrzeb wodnych (mm-dekada ⁻¹)
1	Kwiecień	0,986**	0,7
2	Maj	0,943**	1,1
3	Czerwiec	0,992**	1,4
4	Lipiec	0,985**	2,1
5	Sierpień	0,991**	2,4
6	Wrzesień	0,994**	1,9
8	Październik	0,986**	1,0
9	Kwiecień-Październik	0,996**	10,5
10	Maj-Wrzesień	0,944**	8,8
11	Czerwiec-Sierpień	0,993**	5,9

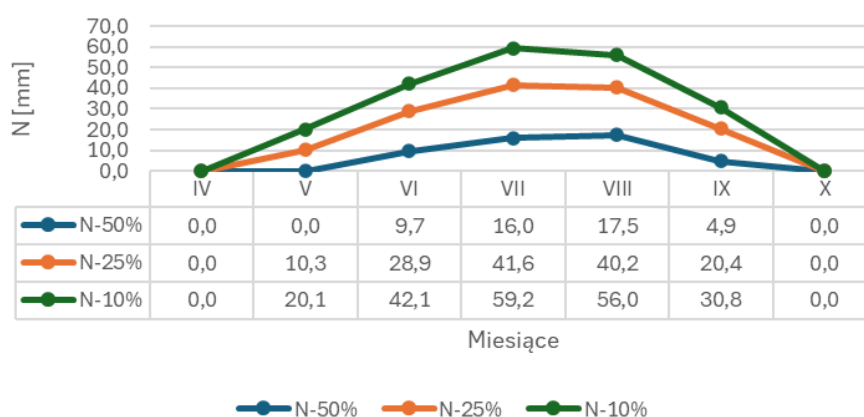
** - istotność dla poziomu ufności $\alpha=0.001$; liczby stopni swobody $j=6$ ($j=n-2$); $n=8$; dekada=10 lat

Wykresy równań regresji liniowej – obrazujące trend czasowy potrzeb wodnych maliny według scenariusza RCP8.5 – w czterech wybranych okresach: kwiecień-październik, maj-wrzesień, czerwiec-sierpień, lipiec przedstawiono na rysunku 5. Dodatkowo, poza równaniami regresji prostoliniowej, zamieszczono także współczynniki determinacji (R^2). Z przedstawionych równań obliczono – zamieszczone w tabeli 5 – wielkości zmian trendu czasowego według scenariusza RCP8.5 potrzeb wodnych maliny. Z przedstawionych na rysunku 5 wykresów wynika, że – według scenariusza RCP8.5 – największe potrzeby wodne maliny wystąpią w ostatniej dekadzie okresu prognozowanego (2091-2100). W całym przyjętym okresie wegetacji maliny (IV-X) sezonowe zapotrzebowanie na wodę w tym dziesięcioleciu wyniesie 492 mm, w okresie maj-wrzesień (V-IX) będzie to 440 mm, a w okresie największego zapotrzebowania na wodę (VI-VIII) 308 mm.



Rysunek 5. Trend czasowy potrzeb wodnych maliny w świetle zmian klimatu wg scenariusza RCP8.5 w okresach: IV-X (A), V-IX (B), VI-VIII (C) i VII (D)
Figure 5. Time trend of raspberry water needs in the light of climate change according to the RCP8.5 scenario in the periods: April-October (A), May-September (B), June-August (C) and July (D)

Wielkość niedoborów opadu u maliny w okresie porównawczym (referencyjnym) przedstawiono na rysunku 6. Z zamieszczonych danych wynika, że w uprawie maliny w powiecie chojnickim zarówno w kwietniu, jak i w październiku nie występują niedobory opadu we wszystkich trzech wyodrębnionych – pod względem posuszości – kategoriach lat tj. w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym. A analizy wynika również, że w roku średnim (z prawdopodobieństwem występowania 50 % tj. przeciętnie 1 raz na 2 lata) niedobory opadu nie występują także w maju. Największe niedobory opadu występują natomiast w lipcu i – odpowiednio dla roku średniego, średnio suchego i bardzo suchego – wynoszą 16,0 mm, 41,6 mm i 59,2 mm. W sierpniu także występują duże niedobory opadu – odpowiednio wynoszące 17,5 mm, 40,2 mm i 56,0 mm.

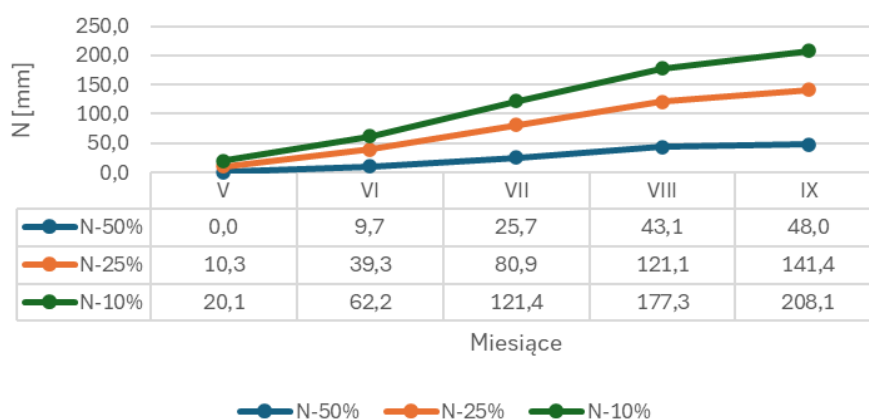


Rysunek 6. Niedobór opadu (N) u maliny w powiecie chojnickim w okresie porównawczym (referencyjnym) w poszczególnych miesiącach wegetacji w roku średnim (N_{50%}), średnio suchym (N_{25%}) i bardzo suchym (N_{10%})

Figure 6. Rainfall deficiency (N) for raspberries 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%})

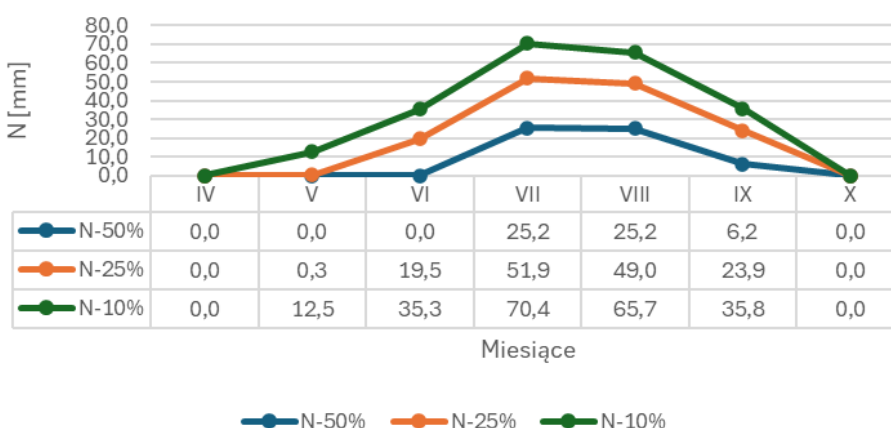
Sumowane w kolejnych miesiącach niedobory opadu u maliny w okresie referencyjnym (porównawczym) przedstawiono na rysunku 7. Z analizy przedstawionych danych wynika, że w uprawie maliny w powiecie chojnickim łączne niedobory w okresie wegetacji – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wynoszą 48,0 mm, 141,4 mm i 208,1 mm.

Niedobór opadu u maliny w okresie prognozowanym według scenariusza RCP4.5 przedstawiono na rysunku 8. Analogicznie do okresu porównawczego, w uprawie maliny w powiecie chojnickim zarówno w kwietniu, jak i w październiku – według scenariusza RCP4.5 – nie wystąpią niedobory opadu we wszystkich trzech (pod względem posuszności) kategoriach lat – w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym oraz dodatkowo – w maju i czerwcu w roku średnim. Największe niedobory opadu wystąpią w lipcu i – odpowiednio dla roku średniego, średnio suchego i bardzo suchego – wyniosą 25,2 mm, 51,9 mm i 70,4 mm. W sierpniu także w uprawie maliny należy się spodziewać dużych niedoborów opadu. Będą się one kształtować na poziomie odpowiednio 25,2 mm, 49,0 mm i 65,7 mm.



Rysunek 7. Krzywa sumowa niedoboru opadu (N) u maliny 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%})

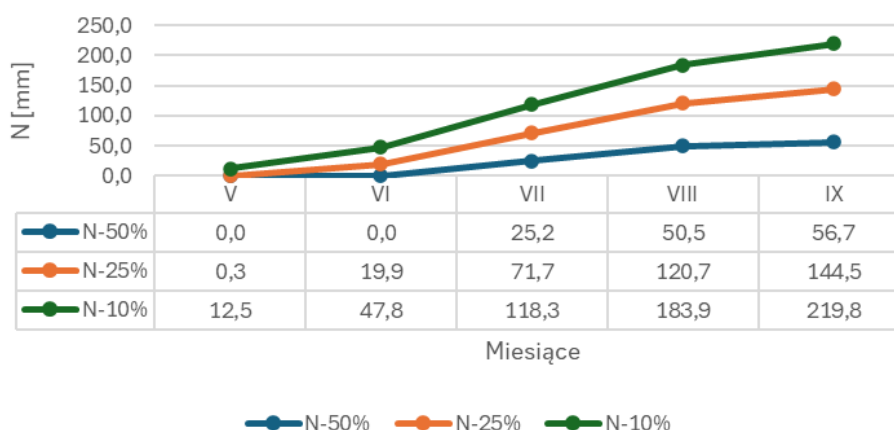
Figure 7. Cumulated sum curve of the rainfall deficiency (N) for raspberries in the Chojnice County in the reference period for individual months of the growing season in a normal year (N_{50%}), a medium dry year (N_{25%}) and a very dry year (N_{10%})



Rysunek 8. Niedobór opadu (N) u maliny w powiecie chojnickim w okresie prognozowanym według scenariusza RCP4.5 w poszczególnych miesiącach wegetacji w roku średnim (N_{50%}), średnio suchym (N_{25%}) i bardzo suchym (N_{10%})

Figure 8. Rainfall deficiency (N) for raspberries in the Chojnice County in the forecast period according to the RCP4.5 scenario 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%})

Sumowane w kolejnych miesiącach niedobory opadu u maliny w okresie prognozowanym według scenariusza RCP4.5 przedstawiono na rysunku 9. Dane te wskazują, że – w świetle scenariusza RCP4.5 – w uprawie maliny w powiecie chojnickim łączne niedobory w okresie wegetacji – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wyniosą 56,7 mm, 144,5 mm i 219,8 mm.

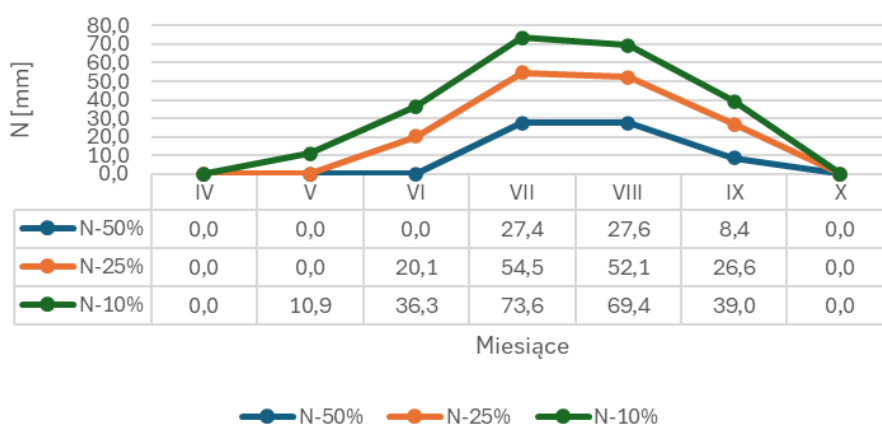


Rysunek 9. Krzywa sumowa niedoboru opadu (N) u maliny w powiecie chojnickim w okresie prognozowanym według scenariusza RCP4.5 w poszczególnych miesiącach wegetacji w roku średnim ($N_{50\%}$), średnio suchym ($N_{25\%}$) i bardzo suchym ($N_{10\%}$)

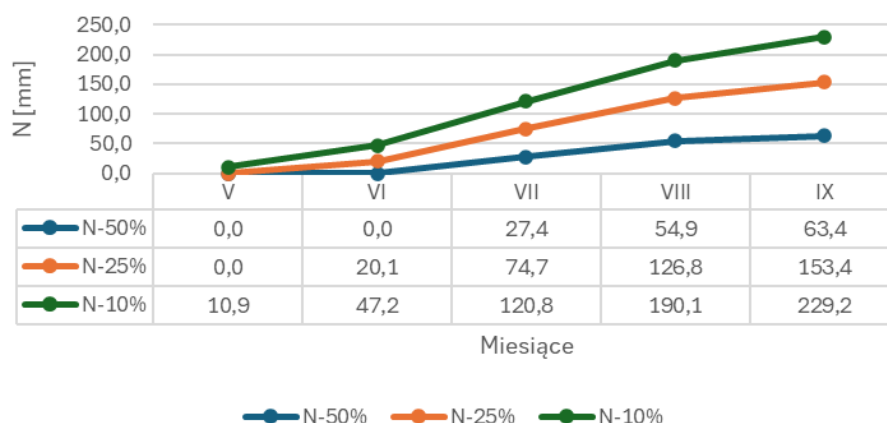
Figure 9. Cumulated sum curve of the rainfall deficiency (N) for raspberries in the Chojnice County in the forecast period according to the RCP4.5 scenario for individual months of the growing season in a normal year ($N_{50\%}$), a medium dry year ($N_{25\%}$) and a very dry year ($N_{10\%}$)

Niedobór opadu u maliny w okresie prognozowanym według scenariusza RCP8.5 przedstawiono na rysunku 10. Tak, jak to było w okresach porównawczym i prognozowanym według scenariusza RCP4.5, w uprawie maliny w powiecie chojnickim zarówno w kwietniu, jak i w październiku – według scenariusza RCP8.5 – nie wystąpią niedobory opadu we wszystkich trzech (pod względem posuszości) kategoriach lat – w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym oraz dodatkowo – w maju i czerwcu w roku średnim. Największe niedobory opadu wystąpią w lipcu i – odpowiednio dla roku średniego, średnio suchego i bardzo suchego – wyniosą 27,4 mm, 54,5 mm i 73,6 mm. Także w sierpniu w uprawie maliny należy spodziewać się dużych niedoborów opadu – na poziomie odpowiednio 27,6 mm, 52,1 mm i 69,4 mm.

Sumowane w kolejnych miesiącach niedobory opadu u maliny w okresie prognozowanym według scenariusza RCP8.5 zamieszczono na rysunku 11. W świetle tych danych w uprawie maliny w powiecie chojnickim – wg scenariusza RCP8.5 – łączne niedobory w okresie wegetacji maliny – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – mogą wynieść 63,4 mm, 153,4 mm i 229,2 mm.



Rysunek 10. Niedobór opadu (N) u maliny w powiecie chojnickim w okresie prognozowanym według scenariusza RCP8.5 w poszczególnych miesiącach wegetacji w roku średnim (N_{50%}), średnio suchym (N_{25%}) i bardzo suchym (N_{10%})
Figure 10. Rainfall deficiency (N) for raspberries in the Chojnice County in the forecast period according to the RCP8.5 scenario 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%})



Rysunek 11. Krzywa sumowa niedoboru opadu (N) u maliny w powiecie chojnickim w okresie prognozowanym według scenariusza RCP8.5 w poszczególnych miesiącach wegetacji w roku średnim (N_{50%}), średnio suchym (N_{25%}) i bardzo suchym (N_{10%})
Figure 11. Cumulated sum curve of the rainfall deficiency (N) for raspberries in the Chojnice County in the forecast period according to the RCP8.5 scenario 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%})

DYSKUSJA

Potrzeby wodne maliny uprawianej w powiecie chojnickim w okresie porównawczym (referencyjnym) – odpowiednio w miesiącach IV-X i V-IX – wyniosły 387 mm i 355 mm. Natomiast łączne niedobory opadu w okresie wegetacji maliny w powiecie chojnickim – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wynosiły 48 mm, 141 mm i 208 mm.

Dla porównania, znacznie wyższe zapotrzebowanie na wodę u maliny wystąpiło w rejonie Bydgoszczy. Opierając się na metodzie opracowanej przez Drupkę (1976), Rzekanowski i in. (2001) przeprowadzili ocenę potrzeb i niedoborów wodnych krzewów jagodowych w latach 1971–1995 w rejonie

Bydgoszczy. Obliczone tą metodą potrzeby wodne maliny – w okresie od 1 kwietnia do 30 września – wyniosły w roku średnim, na glebach o podłożu związłym, 436 mm, a o podłożu piaszczystym – 511 mm. Natomiast wyznaczone na tej podstawie niedobory wodne maliny kształtowały się w tym rejonie na poziomie odpowiednio 117 i 192 mm. Znacznie większe potrzeby wodne (470 mm bądź 542 mm) wystąpiły w latach suchych (z 25% prawdopodobieństwem ich wystąpienia). Niedobory wodne maliny zwiększyły się wtedy do 292 mm, a nawet do 364 mm. Z kolei w badaniach Rolbieckiego i in. (2005) potrzeby wodne w okresie wegetacji maliny (IV–IX), oszacowane metodą Drupki (1976), średnio w pięciu latach badań (1999–2003) wyniosły 508 mm, wahając się w poszczególnych latach od 493 do 522 mm. Spośród sześciu rozpatrywanych miesięcy okresu wegetacji, największe potrzeby wodne, wynoszące średnio 121 mm, wystąpiły w lipcu. Niedobory wodne w okresie wegetacji, w latach 1999–2003, wyniosły przeciętnie 213 mm. Największe (304 mm) wystąpiły w roku 2003, najmniejsze (119 mm) w roku 2001. Największe średnie niedobory wody analizowanego pięciolecia (59 mm) wystąpiły w sierpniu.

Przewidywane w powiecie chojnickim zmiany klimatu ujęte w scenariuszu RCP 4.5 – w okresie kwiecień–październik (w odniesieniu do okresu referencyjnego) – spowodują wzrost potrzeb wodnych maliny o 49 mm (tj. o 12 %), natomiast według scenariusza RCP8.5 wzrost zapotrzebowania na wodę u maliny może wynieść około 67 mm (tj. 17 %).

Zachodzące zmiany klimatyczne – potwierdzone rezultatami tego opracowania dotyczącego maliny oraz wiele innych (prognozowanych w przyszłości) – mogą spowodować zwiększenie potrzeb wodnych roślin (Bąk i Łabędzki, 2014a,b; Jagosz i in., 2020, 2021). Powstaje w związku z tym uzasadniona potrzeba podejmowania szeregu działań adaptacyjnych np. prowadzenia nawodnień w uprawie roślin jagodowych (Rolbiecki, 2003; Rolbiecki i in., 2002a,b). Wielu autorów wyraża opinie, że wraz z nasilaniem się niekorzystnych zmian klimatycznych w Polsce będzie wzrastać znaczenie nawodnień, zwłaszcza w Polsce centralnej (Grabarczyk i in., 1990; 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). Będzie to jednak zależało przede wszystkim od przyjętej strategii rozwoju i warunków ekonomicznych rolnictwa, zaś z pewnością w znacznie mniejszym zakresie od klimatycznych uwarunkowań produkcji rolniczo-ogrodniczej (Łabędzki, 2009b).

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 pluwiotermicznych z okresu porównawczego (referencyjnego) – wynika, że łączne niedobory opadu w okresie wegetacji maliny w powiecie chojnickim – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – wyniosły 48 mm, 141 mm i 208 mm.
2. W okresie porównawczym (referencyjnym) największy miesięczny deficyt opadu w sezonie wegetacyjnym maliny w powiecie chojnickim występował w lipcu. Wielkość niedoboru opadu – odpowiednio w roku

- średnim, średnio suchym i bardzo suchym – w przybliżeniu wynosiła 16 mm, 42 mm i 59 mm. W okresie prognozowanym największe miesięczne deficyty opadu w czasie wegetacji maliny będą miały miejsce również w lipcu. Te deficyty opadu według scenariusza RCP 4.5 – odpowiednio w roku średnim, średnio suchym i bardzo suchym – będą w przybliżeniu wynosić 25 mm, 52 mm i 70 mm. Z kolei w świetle scenariusza RCP 8.5 deficyty opadu w lipcu będą jeszcze wyższe i mogą one w przybliżeniu kształtować się na poziomie odpowiednio 27 mm, 55 mm i 74 mm.
3. Na podstawie analizy danych pluwi-termicznych okresu prognozowanego można stwierdzić, że w latach 2021-2100 oczekiwać należy zwiększenia zapotrzebowania na wodę u maliny. Jeśli zmiany klimatu będą przebiegały według scenariusza RCP 4.5, to wzrost ten w okresie kwiecień-październik (w odniesieniu do okresu referencyjnego) może wynieść 49 mm (tj. 12 %), natomiast według scenariusza RCP8.5 wzrost zapotrzebowania na wodę u maliny może wynieść około 67 mm (tj. o 17 %).
 4. Zapotrzebowanie na wodę u maliny 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 105 mm (tj. o 27 %). Natomiast w świetle scenariusza RCP 4.5 wzrost zapotrzebowania na wodę u maliny dla tego przypadku może wynieść około 61 mm (tj. 16 %).
 5. W miesiącach kwiecień i październik nie wystąpią deficyty opadu w uprawie maliny. Największy deficyt opadu w okresie wegetacji maliny (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 220 mm i 229 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 145 mm i 153 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 57 mm i 63 mm.
 6. Z wyznaczonych dla okresu prognozowanego (2021-2100) równań regresji liniowej wynika, że – odpowiednio dla scenariuszy RCP4.5 i RCP8.5 – potrzeby wodne maliny będą w każdym dziesięcioleciu wzrastać w okresie wegetacji (IV-X) o 4,0 mm i o 10,5 mm.

LITERATURA

1. 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.
2. 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.
3. Drupka, S. (1976). Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni. Warszawa, PWRiL ss. 312.
4. Grabarczyk, S., Peszek, J., Rzekanowski, C., Żarski, J. (1990). Rejonizacja potrzeb deszczowania w Krainie Wielkich Dolin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 387, 73-87.

5. 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
6. 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>
7. 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.
8. 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.
9. Kuchar, L., Iwański, S. (2011). Rainfall simulation for the prediction of crop irrigation in future climate. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 2011/5, 7–18.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Łabędzki, L. (2009a). Foreseen climate changes and irrigation development in Poland. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 3, 7-18.
14. Łabędzki, L. (2009b). Expected development of irrigation in Poland in the context of climate change. *Journal of Water and Land Development*, 13b, 17-29.
15. 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.
16. Makosz, E. (1988). Rośliny jagodowe. Warszawa: PWRiL ss. 193.
17. Mazur, J. (1987). Wymagania wodne roślin jagodowych. W: Sadownictwo w Wielkopolsce. Pr. zbior. pod red. T. Hołubowicza, Poznań, PWRiL, s. 256–260.
18. Peszek, J. (1987). Podstawy klimatyczne nawadniania roślin w regionie bydgoskim. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 314, 65-80.
19. Peszek, J. (1996). Uwarunkowania klimatyczno-przyrodnicze produkcji rolniczej w regionie bydgoskim. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 438, 19-32.
20. Platt, C. (1978). Problemy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej PWN, Warszawa, ss. 377.

21. Rolbiecki, S. (2003). Reakcja trzech gatunków roślin jagodowych uprawianych na bardzo lekkiej glebie na mikronawodnienia. *Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy*, Rozprawy, 108, 1-89.
22. Rolbiecki, S. (2018). O szacowaniu potrzeb wodnych drzew owocowych w Polsce na podstawie temperatury powietrza. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, II/1, 393-406.
23. Rolbiecki, S., Rolbiecki, R., Rzekanowski, C. (2002a). Response of black currant (*Ribes nigrum* L.) cv. 'Titania' to micro-irrigation under loose sandy soil conditions. *Acta Horticulturae* 585(2), 649-652.
24. Rolbiecki, S., Rolbiecki, R., Rzekanowski, C. (2002b): Effect of micro-irrigation on the growth and yield of raspberry (*Rubus idaeus* L.) cv. 'Polana' grown in very light soil. *Acta Horticulturae* 585(2), 653-657.
25. Rolbiecki, S., Rolbiecki, R., Rzekanowski, C. (2005). Nawadnianie jako czynnik przeciwdziałający skutkom posuch w uprawie maliny na glebie piaszczystej. *Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie*, 5(14), 243-260.
26. 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.
27. Romer, E. (1962). Regiony klimatyczne Polski. W: Wybór prac, t. III, PWN Warszawa, 453-471.
28. Rudnicki, F. (red.). (1992). Doświadczalnictwo rolnicze. Wydawnictwa Uczelniane ATR. Bydgoszcz, ss. 1-210.
29. 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.
30. 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.
31. Tabaszewski, J. (1980). Elementy inżynierii wodnej. Dział Wyd. ART. Olsztyn, ss.189.
32. Treder, W. (1996). Badania nad efektywnością nawadniania roślin sadowniczych w Polsce. 34. Ogólnopolska Nauk. Konf. Sad. Skierniewice: ISK s. 53–70.
33. Zaliwski, S. (1984). Intensywna produkcja owoców jagodowych i leszczynowych. PWN, Warszawa, ss. 560.
34. Żakowicz, S., Hewelke, P. (2002). Podstawy inżynierii środowiska. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 140
35. Żakowicz, S., Hewelke, P., Gnatowski T. (2009). Podstawy infrastruktury technicznej w przestrzeni produkcyjnej. Wyd. SGGW, Warszawa, ss. 192.
36. Żarski, J., Dudek, S. (1999). Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w gminach województwa bydgoskiego. *Zesz. Nauk. ATR* 217, Rolnictwo 43, 43-51.
37. 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.
38. <https://klimada2.ios.gov.pl/klimat-scenariusze-portal/>
39. <http://www.nawadnianie.inhort.pl/eto/26-eto-temp>

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

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

Wpłynęło: 30.09.2024 r.
Zwrócono po recenzji: 04.12.2024 r,
Zaakceptowano: 05.12.2024 r,