INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

2025, Vol. 20(1), 155–165
e-ISSN: 2956-7971, License CC-BY 4.0

DOI: https://doi.org/10.14597/infraeco.2025.011

ZASTOSOWANIE METODY PROFILU GLEBOWEGO W OCENIE ROZMIESZCZENIA SYSTEMU KORZENIOWEGO GATUNKÓW SURMII W WARUNKACH PODPOWIERZCHNIOWEGO NAWADNIANIA KROPLOWEGO W NASADZENIACH SZPALEROWYCH NA GLEBIE LEKKIEJ

APPLICATION OF THE SOIL PROFILE METHOD IN ASSESSING THE DISTRIBUTION OF THE ROOT SYSTEM OF CATALPA SPECIES UNDER SUBSURFACE DRIP IRRIGATION IN ROW PLANTINGS ON LIGHT SOIL

Ariel ŁANGOWSKI [1]

STRESZCZENIE

Celem pracy była ocena rozmieszczenia systemu korzeniowego dwóch gatunków surmii – Catalpa bignonioides i Catalpa ovata – uprawianych w nasadzeniach szpalerowych na glebie lekkiej, w warunkach podpowierzchniowego nawadniania kroplowego. Do analizy wykorzystano metodę profilu glebowego Oskampa, umożliwiającą określenie pionowego i poziomego rozmieszczenia korzeni według klas średnic. Badania przeprowadzono w układzie dwuczynnikowym, obejmującym dwa poziomy wilgotności gleby (W1 – nawadnianie przy spadku wilgotności do –40 kPa; W2 – do –20 kPa) oraz gatunek drzewa, a wyniki porównano z wariantem kontrolnym (W0). Stwierdzono, że dla obu gatunków zdecydowana większość systemu korzeniowego koncentrowała się w warstwie 0–30 cm, jednak Catalpa ovata wykazywała większy zasięg pionowy, szczególnie w wariancie W2, w którym korzenie występowały do głębokości 60 cm. Intensywniejsze nawadnianie wpływało na wzrost liczby korzeni, zwłaszcza drobnych (<1 mm), które dominowały w strukturze systemu korzeniowego stanowiąc ponad 60% ich ogólnej liczby. Oba gatunki wykazały wyraźną reakcję na zastosowane warianty nawadniania, przy czym silniejszy efekt stwierdzono u Catalpa ovata. Wyniki potwierdzają, że podpowierzchniowe nawadnianie kroplowe sprzyja rozwojowi korzeni w warstwie przypowierzchniowej oraz zwiększa ogólną masę korzeniową, co może wspierać przeżywalność i stabilność drzew w warunkach gleb lekkich i niedoborów wody.

Słowa kluczowe: *Catalpa, system korzeniowy, metoda profilu glebowego, nawadnianie podpowierzchniowe*

[1] *Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Bydgoszcz, Polska*

ABSTRACT

The aim of the study was to assess the root system distribution of two Catalpa species – Catalpa bignonioides and Catalpa ovata – grown in row plantings on light soil under subsurface drip irrigation. The soil profile method by Oskamp was used to analyse the vertical and horizontal root system structure, including root diameter classes. The experiment was conducted in a split-plot design with two irrigation treatments (W1 – irrigation at −40 kPa soil water tension; W2 – at −20 kPa) and compared with a non-irrigated control (W0). For both species, most roots were located within the 0–30 cm soil layer; however, C. ovata developed a deeper root system, reaching 60 cm under intensive irrigation (W2). Irrigation increased the number of fine roots (<1 mm), which dominated the root structure and accounted for more than 60% of all roots. Both species showed a clear response to the applied irrigation variants, with a stronger effect observed in C. ovata. The results confirm that subsurface drip irrigation promotes root development in the surface layer and increases the total number of roots, which may support tree survival and stability in light soils and water-deficient conditions.

Keywords*: Catalpa, root system, soil profile method, subsurface drip irrigation*

WSTĘP

System korzeniowy drzew odgrywa kluczową rolę w ich wzroście, stabilności oraz zdolności do pobierania składników pokarmowych i retencjonowania wody. W przypadku drzew ozdobnych stosowanych w nasadzeniach szpalerowych, takich jak gatunki z rodzaju *Catalpa*, znajomość rozmieszczenia przestrzennego korzeni jest istotna zarówno dla prawidłowego planowania nasadzeń, jak i optymalizacji zabiegów pielęgnacyjnych, w tym nawadniania. W ostatnich latach coraz większą uwagę skupia się na wpływie precyzyjnych technologii irygacyjnych na architekturę systemów korzeniowych, ponieważ mogą one modyfikować przestrzenny układ korzeni w odpowiedzi na zmienną dostępność wody (Svoboda i in., 2023; Deng i in., 2017).

Surmia bignoniowa (*Catalpa bignonioides*) oraz surmia żółtokwiatowa (*Catalpa ovata*) są gatunkami szeroko stosowanymi w zieleni miejskiej i nasadzeniach liniowych ze względu na walory dekoracyjne, odporność na warunki siedliskowe oraz zdolność adaptacji do środowisk antropogenicznych. Surmie cechują się szczególnie intensywnym rozwojem części nadziemnej oraz istotnym udziałem systemu korzeniowego w stabilizacji drzew w warunkach stresu wodnego, co jest ważne w kontekście ich stosowania w przestrzeniach zurbanizowanych (Wei, 2008; Kurbaniyazov, 2021; Quan i in., 2022; Mir i in., 2014). Właściwości fizjologiczne tych gatunków, w tym tolerancja na zanieczyszczenia, zasolenie i zmienne warunki środowiskowe (Sheng i in., 2020; Qihua i in., 2011), wskazują na ich przydatność do nasadzeń w warunkach ograniczonej dostępności wody, a więc także do analiz dotyczących funkcjonowania systemu korzeniowego w zmieniających się warunkach uwilgotnienia.

W kontekście przewidywanych zmian klimatycznych w Polsce, obejmujących wzrost temperatury w okresie wegetacyjnym i nasilające się niedobory wody w glebie, rośnie znaczenie efektywnych metod nawadniania drzew, zwłaszcza w uprawach prowadzonych na glebach lekkich (Döll, 2002;

Pierzgalski i Jeznach, 2006; Kundzewicz, 2007; Łabędzki, 2009). W takich warunkach nawadnianie podpowierzchniowe odgrywa szczególną rolę, gdyż umożliwia doprowadzanie wody bezpośrednio do strefy korzeniowej, zmniejszając straty wynikające z parowania czy odpływu powierzchniowego. Podpowierzchniowe nawadnianie kroplowe pozwala na precyzyjne sterowanie dostępnością wody oraz prowadzenie fertygacji w sposób ukierunkowany na najbardziej aktywną część profilu korzeniowego (Camp, 1998; Elnemr, 2021; Patel i Rajput, 2007; Montazar i in., 2017).

Dotychczas brakuje badań porównujących przestrzenne rozmieszczenie systemów korzeniowych gatunków *Catalpa* w warunkach podpowierzchniowego nawadniania kroplowego, zwłaszcza na glebach lekkich, które charakteryzują się niską pojemnością wodną. Analiza taka jest istotna w projektowaniu nasadzeń szpalerowych, gdzie przewidywalność reakcji systemu korzeniowego na wilgotność gleby wpływa na stabilność i żywotność drzew.

Celem pracy było zastosowanie metody profilu glebowego do oceny rozmieszczenia systemu korzeniowego dwóch gatunków surmii – *Catalpa bignonioides* oraz *Catalpa ovata* uprawianych w warunkach podpowierzchniowego nawadniania kroplowego na glebie lekkiej w nasadzeniach szpalerowych.

MATERIAŁ I METODY

Badania były realizowane na terenie szkółki leśnej Nadleśnictwa Bydgoszcz w Białych Błotach. Rejon Bydgoski należy do strefy największej celowości stosowania nawodnień ze względu na kryterium klimatyczne. Teren badawczy znajduje się w tzw. Krainie Wielkich Dolin i charakteryzuje się stosunkowo niewielką ilością opadów. Długość termicznego okresu wegetacyjnego wynosi średnio na tym obszarze od 221 dni (Żarski i in., 2012). Rejon Bydgoszczy ponadto charakteryzuje się deficytem wodnym na glebach o niskich zdolnościach retencyjnych (Żarski, 2011). Dane meteorologiczne pozyskano z stacji meteorologicznej Politechniki Bydgoskiej zlokalizowanej w Mochełku. Na podstawie procentowej zawartości frakcji granulometrycznych dla obu wariantów doświadczenia należy zaliczyć badaną glebę do grupy granulometrycznej piasku, a podgrupy piasku gliniastego (PTG, 2009). Gleba zawierała średnio 78.8% frakcji piaskowej, 19,7% frakcji pyłowej oraz 1,5% frakcji iłowej. Analizując procentową zawartość frakcji <0,02 mm w warstwie 0–30 cm zaklasyfikowano glebę pola doświadczalnego do kategorii agronomicznej gleb lekkich, natomiast w warstwie 30-60 cm do bardzo lekkich. W przygotowanych próbkach (wysuszonych i przesianych przez sito o średnicy 2,0 mm) oznaczono skład granulometryczny metodą dyfrakcji laserowej.

W latach 2019–2022 warunki termiczno-opadowe charakteryzowały się znaczną zmiennością. Średnie temperatury sezonu wegetacyjnego wahały się od 14,8°C (2020–2021) do 15,9°C (2019), przy czym wartości z kwietnia i maja były przeważnie niższe od średnich z wielolecia, natomiast od czerwca do września przekraczały normę, osiągając największe odchylenia w czerwcu (+3,2°C) i lipcu (+3,3°C). Opady atmosferyczne w analizowanym okresie również różniły się od średnich wieloletnich. Średnia suma opadów sezonu wegetacyjnego wyniosła 307,8 mm, co stanowiło wartość niższą o 16,6 mm od normy z lat 1991–2020. Najniższe opady odnotowano w 2021 roku (260,7 mm), a najwyższe w 2020 roku (435,5 mm). Szczególnie intensywne

opady wystąpiły w maju 2020 roku (153,9 mm), stanowiąc ponad jedną trzecią sumy sezonowej w tym roku.

Badanie przeprowadzono w dwuczynnikowym układzie split-plot w czterech kolejnych latach od 2019 do 2022 r. jako ścisłe doświadczenie polowe. Badanie obejmowało uprawę surmii w nasadzeniu szpalerowym. Doświadczenie prowadzone było w 7 powtórzeniach. Powtórzenie stanowiło pojedyncze drzewo. Analizie podlegało 5 powtórzeń - dane dotyczące drzew skrajnie położonych w obrębie wariantów pominięto z powodu efektu brzegowego. Drzewa posadzono z rozstawą rzędów 3,0 m, odległość między pojedynczymi powtórzeniami w rzędzie wynosiła 1,5 m.

Czynnikami doświadczenia było podpowierzchniowe nawadnianie kroplowe: W1 – nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa oraz W2 – nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa. Drugim czynnikiem był gatunek: surmia bignoniowa (*Catalpa bignonioides*) oraz surmia żółtokwiatowa (*Catalpa ovata*).

Dawki wody oraz terminy realizacji nawodnień ustalano na podstawie siły ssącej gleby kontrolowanej czujnikami Watermark. Nawadnianie wykonywane było za pomocą linii kroplującej Eurodrip o wydajności kroplowników na poziomie 2 l/h. Odległość pomiędzy kroplownikami na linii wynosiła 30 cm i ułożonej podpowierzchniowo na głębokości 15 cm. Drzewa nawadniane były przy sile ssącej gleby – 40 kPa i – 20 kPa. Jednorazowe dawki wody podpowierzchniowego nawadniania obu gatunków surmii kształtowały się w przedziale 3–12 mm. Okres nawodnieniowy obejmował pełny sezon wegetacyjny. Uruchomienie podpowierzchniowych linii kroplujących nastąpiło w I dekadzie kwietnia, a zakończenie procesu nawadniania w III dekadzie września.

Do oceny rozmieszczenia systemu korzeniowego zastosowano metodę profilu glebowego Oskampa, opisaną szczegółowo przez Böhma (1985). W ostatnim roku badań wykonano pionową odkrywkę glebową w pobliżu badanego drzewa, prostopadle do rzędu roślin. Odkrywkę wykonano przy jednym reprezentatywnym drzewie na wariant. Profil miał szerokość 1,2 m i głębokość 60 cm, co umożliwiło objęcie głównej strefy występowania korzeni surmii. Odkrywkę wykonano w warunkach stabilnej wilgotności gleby, po ostatnim cyklu nawadniającym w sezonie 2022. Po wykonaniu wykopu ścianę profilu dokładnie oczyszczono i wygładzono w celu odsłonięcia korzeni przecinających powierzchnię przekroju. Profil podzielono na sześć poziomych sektorów o wysokości 10 cm, co jest zgodne z zaleceniami metodycznymi dla tej techniki (Böhm 1985). W każdym sektorze zliczano wszystkie korzenie przecinające płaszczyznę profilu, klasyfikując je według trzech kategorii średnic: <1 mm, 1–3 mm, >3 mm.

Takie podejście pozwala na rozróżnienie korzeni absorpcyjnych, drobnych oraz stabilizujących, co zwiększa wartość diagnostyczną metody. Zastosowana technika umożliwiła uzyskanie ilościowej i przestrzennej charakterystyki systemu korzeniowego surmii bignoniowej i żółtokwiatowej, szczególnie pod względem pionowego rozmieszczenia korzeni w odpowiedzi na różne warunki wilgotności gleby. Profil glebowy jest metodą rekomendowaną w badaniach wpływu nawadniania kroplowego na rozwój korzeni, ponieważ pozwala precyzyjnie wskazać strefy największej aktywności korzeniowej w obrębie profilu wilgotnościowego gleby (Searles, 2009; Deng i in., 2017; Svoboda i in., 2023).

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 przedstawiono wyniki analizy systemu korzeniowego dla każdego wariantu doświadczenia w ujęciu pionowym i poziomym dla trzech grup korzeni tj.: poniżej 1 mm, 1-3 mm oraz powyżej 3 mm.

Przeprowadzona ocena systemu korzeniowego surmii bignoniowej pozwala stwierdzić, iż dla wszystkich wariantów doświadczenia największa liczba korzeni występowała w warstwie 0–30 cm; średnio stanowiła ona 94,8% ogółu korzeni. W ujęciu ilościowym najmniej korzeni zanotowano w wariancie kontrolnym W0 – 129 szt., a najwięcej w wariancie nawadnianym W2 – 196 szt. Korzenie o średnicy mniejszej niż 1 mm stanowiły średnio 70,1% wszystkich korzeni dla każdego wariantu surmii bignoniowej natomiast najmniejszą grupę stanowiły korzenie powyżej 3 mm stanowiąc średni udział na poziomie 10,4%. W wariancie W0 oraz W2 korzenie zanotowano do poziomu 40 cm natomiast w wariancie W1 do poziomu 50 cm. Analiza systemu korzeniowego surmii żółtokwiatowej pozwala zauważyć, że największa liczba korzeni dla wszystkich wariantów doświadczenia znajduje się na głębokości 0–30 cm, w której średnio znajduje się 92,8% wszystkich korzeni. W ujęciu ilościowym najmniejszą ilość korzeni zaobserwowano w wariancie kontrolnym W0 – 108 szt., natomiast największą w wariancie nawodnieniowym W2 – 207 sztuk. Korzenie o średnicy mniejszej niż 1 mm stanowiły średnio 62,4% wszystkich korzeni dla każdego wariantu surmii żółtokwiatowej natomiast najmniejszą grupę stanowiły korzenie powyżej 3 mm stanowiąc średni udział na poziomie 10,5%. W wariancie W0 oraz W1 korzenie zanotowano do poziomu 40 cm natomiast w wariancie W2 do poziomu 60 cm.

Porównując rozmieszczenie systemów korzeniowych surmii bignoniowej i surmii żółtokwiatowej można zauważyć wyraźny wzrost liczby korzeni w wariantach nawodnieniowych w stosunku do kontroli: dla surmii bignoniowej w wariancie W1 wzrósł o 25,5%, dla W2 wzrósł o 51,9%. Surmia żółtokwiatowa cechowała się większymi wzrostami liczby korzeni w wariantach nawodnienowych w stosunku do kontroli: w wariancie W1 wzrost wyniósł 36,1% natomiast w W2 wynosił 91,7%. Oba gatunki cechowały się największym przyrostem korzeni poniżej 1 mm w warstwie 0–30 cm. Oba gatunki utrzymują podobny poziom występowania korzeni na głębokości do 40-50 cm (wyjątkiem jest wariant W2 surmii żółtokwiatowej której korzenie dochodziły do głębokości 60 cm).

Profil pionowy systemu korzeniowego obu analizowanych gatunków surmii (rys.1 oraz rys.2) wykazał, że główna masa korzeni koncentruje się w warstwie 0–30 cm niezależnie od wariantu nawadniania. *C. bignonioides* charakteryzowała się wyraźnym spadkiem liczby korzeni wraz z głębokością i reakcją na nawadnianie podpowierzchniowe, szczególnie w wariancie W2, w którym liczba korzeni w strefie 0–20 cm była wyraźnie najwyższa. W głębszych warstwach gleby (powyżej 40 cm) obserwowany był minimalny udział korzeni, co wskazuje na płytki charakter systemu korzeniowego tego gatunku (rys. 1). *Catalpa ovata* wykazała podobny, ogólny układ rozmieszczenia korzeni, jednak z większym zasięgiem pionowym. Wariant W2 cechował się wzrostem liczby korzeni w warstwie przypowierzchniowej, ale również większą obecnością korzeni w przedziale 40–60 cm, co nie występowało w takim stopniu u surmii bignoniowej (rys. 2). Takie rozmieszczenie korzeni surmii żółtokwiatowej może sugerować wyższą zdolność adaptacyjną w warunkach kontrolowanego nawadniania na glebach lekkich.

Tabela 1. Liczba korzeni surmii przypadającą na 0,6 m^2 w ujęciu pionowym i poziomym dla trzech grup korzeni (poniżej 1 mm, 1-3 mm oraz powyżej 3 mm) [szt.]
Table 1. *Number of surmia roots per 0.6 m² in vertical and horizontal terms for three root groups (below 1 mm, 1-3 mm, and above 3 mm) [pcs.]*

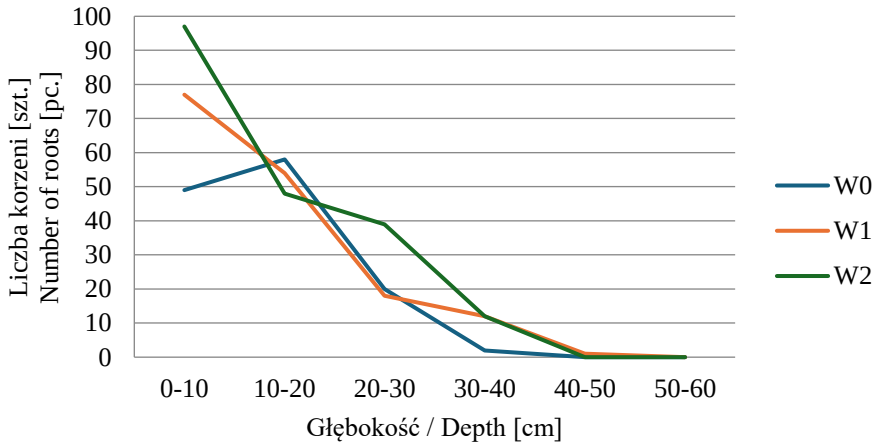
Gatunek *Species*	**Wariant** *Variant*	**Głębokość** *Depth*	**Grupy korzeni** *Root groups*			
			<1mm	**1-3mm**	**>3mm**	**Razem** *Total*
Surmia bignoniowa	W0	0-10	29	16	4	49
		10-20	33	17	8	58
		20-30	10	9	1	20
		30-40	1	1	0	2
		40-50	0	0	0	0
		50-60	0	0	0	0
	W1	0-10	66	9	2	77
		10-20	29	11	14	54
		20-30	13	4	1	18
		30-40	7	4	1	12
		40-50	1	0	0	1
		50-60	0	0	0	0
	W2	0-10	58	28	11	97
		10-20	31	12	5	48
		20-30	27	7	5	39
		30-40	10	2	0	12
		40-50	0	0	0	0
		50-60	0	0	0	0
Surmia żółtokwiatowa	W0	0-10	34	7	0	41
		10-20	21	10	2	33
		20-30	12	9	4	25
		30-40	7	2	0	9
		40-50	0	0	0	0
		50-60	0	0	0	0
	W1	0-10	26	14	4	44
		10-20	38	14	12	64
		20-30	24	4	4	32
		30-40	7	0	0	7
		40-50	0	0	0	0
		50-60	0	0	0	0
	W2	0-10	46	11	4	61
		10-20	33	17	9	69
		20-30	36	16	8	60
		30-40	3	2	1	6
		40-50	4	1	1	6
		50-60	3	1	1	5

Źródło: opracowanie własne / own elaboration

Rozmieszczenie systemu korzeniowego w doświadczeniu własnym jest właściwe dla upraw drzew w warunkach utrzymywania optymalnego uwilgotnienia przy użyciu systemów nawadniających. Podobne wyniki uzyskał Żakowicz (2010) dla nawadnianych upraw na terenach rekultywowanych. Szewczuk i in. (2009) stwierdził, iż największe przestrzenne rozmieszczenie korzeni drzew owocowych na obiektach o kontrolowanej wilgotności wystąpiło w warstwie do 40 cm. Potwierdzają to wyniki badań przeprowadzonych przez Sositko (2019) z brzozą brodawkowatą i lipą drobnolistną, który również stwierdził największe rozmieszczenie korzeni w tej warstwie. Badania prowadzone na drzewach sadowniczych wykazały, że nawadnianie kroplowe znacząco modyfikuje rozmieszczenie korzeni, zwłaszcza w warstwach przypowierzchniowych. Svoboda i in. (2023) stwierdzili, że u jabłoni nawadnianych kroplowo

dochodzi do zwiększenia długości i zagęszczenia żywych korzeni, szczególnie korzeni drobnych odpowiedzialnych za pobieranie wody. Podobnie Deng i in. (2017) wykazali u drzew oliwnych, że największa koncentracja korzeni znajduje się w warstwie 0–20 cm – tj. w strefie intensywnego zwilżania przez system kroplowy. Efekt koncentracji korzeni w górnych warstwach gleby potwierdzają badania Searles i in. (2009), którzy zauważyli najwyższą gęstość długości korzeni w zasięgu emitera kroplowego, natomiast udział korzeni w głębszych warstwach był znacząco niższy. Z kolei Mohamadzade i in. (2021), analizując system korzeniowy dorosłych drzew oliwnych w środowisku miejskim, wykazali, że precyzyjne nawadnianie nie tylko zwiększa liczbę korzeni drobnych, ale także wpływa na ich kierunkową orientację w glebie, dostosowaną do stref dopływu wody, co ma znaczenie dla stabilności drzew w warunkach ograniczonej przestrzeni glebowej.

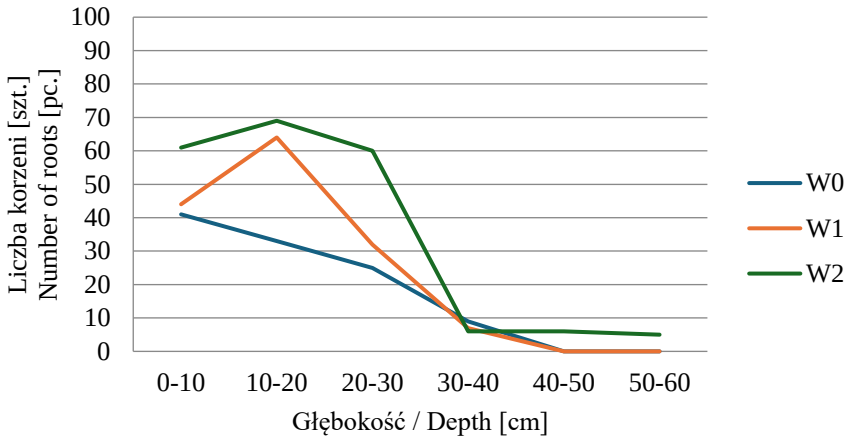
Na podstawie danych przedstawionych w tabeli 1 sporządzono rys. 3, ukazujący udział klas średnic korzeni w wariantach wilgotności gleby. U obu gatunków dominują korzenie najdrobniejsze (<1 mm), jednak ich udział zmienia się wraz ze wzrostem wilgotności gleby. W przypadku surmii bignoniowej wariant W1 charakteryzuje się wyraźnym zwiększeniem udziału korzeni <1 mm oraz zmniejszeniem udziału korzeni średnich (1–3 mm). U surmii żółtokwiatowej obserwuje się systematyczny wzrost udziału korzeni <1 mm od W0 do W2, przy jednoczesnym stabilnym udziale pozostałych klas średnic.



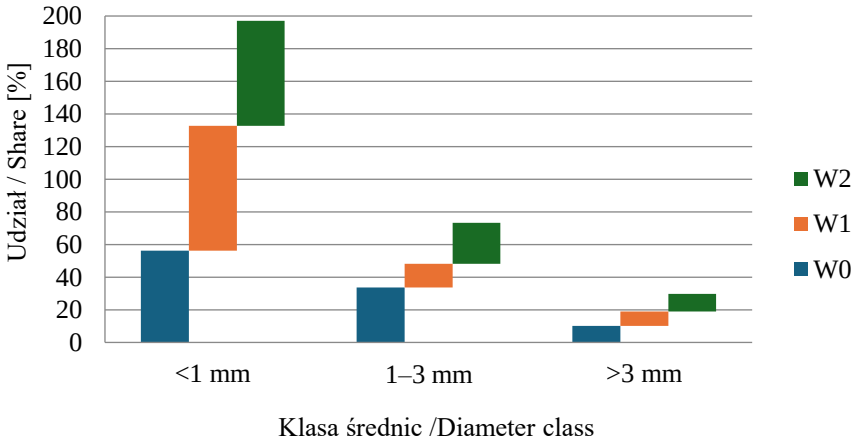
Rysunek 1. Profil pionowy systemu korzeniowego *Catalpa bignonioides* w zależności od wariantu nawadniania (W0,W1,W2)

Figure 1. *Vertical profile of the root system of Catalpa bignonioides depending on the irrigation variant (W0,W1,W2)*

Źródło/Source: opracowanie własne / own elaboration



Rysunek 2. Profil pionowy systemu korzeniowego *Catalpa ovata* w zależności od wariantu nawadniania (W0,W1,W2)
Figure 2. *Vertical profile of the root system of Catalpa ovata depending on the irrigation variant (W0,W1,W2)*
Źródło / Source: opracowanie własne / own elaboration.



Rysunek 3. Udział klas średnic korzeni (<1 mm, 1–3 mm, >3 mm) w wariantach wilgotności gleby (W0, W1, W2) dla *Catalpa bignonioides* i *Catalpa ovata*
Figure 3. *Share of root diameter classes (<1 mm, 1–3 mm, >3 mm) in soil moisture variants (W0, W1, W2) for Catalpa bignonioides and Catalpa ovata*
Źródło / Source: opracowanie własne / own elaboration.

OGRANICZENIA BADANIA

W pracy zastosowano pojedynczą odkrywkę glebową dla każdego wariantu wilgotności gleby, dlatego uzyskane wyniki należy traktować jako analizę opisową struktury systemów korzeniowych. Metoda profilu glebowego uwzględnia wyłącznie korzenie przecinające płaszczyznę przekroju i nie odzwierciedla ich długości ani biomasy. Mimo tych ograniczeń wyniki dostarczają istotnych informacji o badanych gatunkach zróżnicowanych wariantach nawadniania podpowierzchniowego.

WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych analiz sformułowano następujące wnioski:

1. Zastosowanie podpowierzchniowego nawadniania kroplowego zwiększyło liczbę korzeni obu gatunków surmii, szczególnie drobnych (<1 mm), które dominowały w strukturze systemu korzeniowego w warstwie 0–30 cm.
2. Największą koncentrację korzeni stwierdzono w górnym profilu glebowym (0–30 cm) niezależnie od gatunku i wariantu nawodnienia, co potwierdza silną zależność aktywności korzeni od strefy zwilżania podpowierzchniowego nawadniania kroplowego.
3. Surmia żółtokwiatowa (*Catalpa ovata*) wykazała większą głębokość systemu korzeniowego niż *Catalpa bignonioides*, szczególnie w wariancie W2, gdzie korzenie dochodziły do 60 cm, co świadczy o jej wyższej plastyczności adaptacyjnej do warunków wilgotnościowych gleb lekkich.
4. Zwiększenie dostępności wody skutkowało wzrostem łącznej liczby korzeni w wariantach W1 i W2, przy czym silniejszą reakcję na nawadnianie wykazała *C. ovata*, w której liczba korzeni w W2 wzrosła aż o 91,7% względem kontroli.
5. Uzyskane wyniki potwierdzają potencjalną przydatność podpowierzchniowego nawadniania kroplowego w nasadzeniach szpalerowych drzew ozdobnych oraz w planowaniu głębokości instalacji podpowierzchniowego nawadniania w nasadzeniach szpalerowych drzew ozdobnych, szczególnie na glebach lekkich, gdzie poprawa dostępności wody znacząco wspiera rozwój systemu korzeniowego i udatność nasadzeń.

LITERATURA

1. Böhm, W. (1985). *Metody badania systemów korzeniowych*. PWRiL, Warszawa
2. Camp, C. (1998). *Subsurface drip irrigation: A review*. Transactions of the ASAE, 41(5), 1353–1367.
3. Deng, S.; Yin, Q.; Zhang, S.; Shi, K.; Jia, Z.; Ma, L. (2017). *Drip Irrigation Affects the Morphology and Distribution of Olive Roots.* HortScience, 52(9), 1298–1306.
4. Döll, P. (2002). *Impact of Climate Change and Variability on Irrigation Requirements: A Global Perspective*. Volume 54, 269–293
5. Elnemr, M. (2021). *Integration of subsurface irrigation and organic mulching with deficit irrigation to increase water use efficiency of drip irrigation.* INMATEH, 64, 215–226.
6. Kundzewicz, Z. (2007). *Projekcie zmian klimatu – ekstrema hydrometeorologiczne*. I Polska Konf. ADAGOP, Poznań.
7. Kurbaniyazov, B.; Berdimuratov, G.; Kholova, S.H; Safarov A.; Safarov, K. (2021). *Importance of catalpa groups in cultural city greening in the case of Uzbekistan*. E3S Web Conf. 258, 1–7.
8. Łabędzki, L. (2009). *Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3, 7–18.
9. Mir, R.; Sofi, P.A.; Khan, P.; Singh, A.; Gatto, A.; Parrey, A.; Lone, B. (2014). *Propagation of Indian bean tree (Catalpa bignonioides)*

through seed and cuttings in North Western Kashmir Himalayas. Eco. Env. & Cons 20, 255–259.
10. Mohamadzade, F.; Gheysari, M.; Kiani, M. (2021). *Root adaptation of urban trees to a more precise irrigation system: Mature olive as a case study*. Urban Forestry & Urban Greening, 60, 1–9
11. Montazar, A.; Zaccaria, D.; Bali, K.; Putnam, D. (2017). *A model to assess the economic viability of alfalfa production under subsurface drip irrigation in California*. Irrigation and Drainage, 66(1), 90–102.
12. Patel, N.; Rajput, T.B.S. (2007). *Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato*. Agricultural Water Management, 88, 209–223.
13. Pierzgalski, E.; Jeznach, J. (2006). *Measures for soil water control in Poland*. Journal of Water and Land Development. 10, 79–89.
14. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, (2009). *Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych*. PTG 2008. Roczniki Gleboznawcze 60(2), 5–16.
15. Qihua, S.; Xianhu, L.; Jianfeng, Z.; Guangcai, Ch.; Shenggang, L.; Pingxuan, Z.; Ying, W. (2011). *Analysis on the tolerance of four ecotype plants against copper stress in soil. Procedia Environmental Sciences*, 10(B), 1802–1810.
16. Quan, J.; Ruoyi, N.; Yange, W.; Jiajia, S.; Mingyue, M.; Huitao, B. (2022). *Effects of different growth regulators on the rooting of Catalpa bignonioides softwood cuttings*. Life 12(8), 1231.
17. Searles, P.S.; Saravia, D. A.; Rousseaux, M. C. (2009). *Root length density and soil water distribution in drip-irrigated olive orchards in Argentina under arid conditions*. *Crop & Pasture Science*, 60 (3), 280–288.
18. Sheng, X.; Xing-Yuan, H.; Zhong, D.; Wei, Ch.; Bo, L.; Yan, L.; Mai-He, L.; Marcus, S. (2020). *Tropospheric ozone and cadmium do not have interactive effects on growth, photosynthesis and mineral nutrients of Catalpa ovata seedlings in the urban areas of Northeast China*. Science of The Total Environment, 704, 135307.
19. Sositko, S. (2019). *Ocena potrzeb wodnych i nawodnieniowych brzozy brodawkowatej (Betula pendula roth.) oraz lipy drobnolistnej (Tilia cordata Mill.) w nasadzeniach fitomelioracyjnych na gruncie porolnym*. Rozprawa doktorska nr 110, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.
20. Svoboda, P.; Haberle, J.; Moulik, M.; Raimanová, I.; Kurešová, G.; Mészáros, M. (2023). *The Effect of Drip Irrigation on the Length and Distribution of Apple Tree Roots*. Horticulturae, 9(3), 405.
21. Szewczuk, A.; Dereń, D.; Gudarowska, E. (2009). *Wpływ nawadniania kroplowego na rozmieszczenie korzeni drzew jabłoni sadzonych tradycyjnie i „w redliny”* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2009/3, 151–158.
22. Wei, Z.P. (2008). *Evaluation, screening and propagation characteristics of garden plants in Hohhot*. Inner Mongolia Agricultural University. Hohhot. China.

23. Żakowicz, S. (2010). *Podstawy technologii nawadniania rekultywowanych składowisk odpadów komunalnych*. Rozprawy i monografie 362.Wyd. SGGW, Warszawa.
24. Żarski, J. (2011). *Tendencje zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2011/5, 29–37.
25. Żarski, J.; Kuśmierek-Tomaszewska, R.; Dudek, S. (2012). *Tendencje zmian termicznych okresów rolniczych w rejonie Bydgoszczy*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2012/3/I, 7–17.

Autor korespondencyjny: Ariel Łangowski
ORCID: 0000-0002-3459-8990
E-mail: ariel.langowski@pbs.edu.pl
Katedra Biogeochemii, Gleboznawstwa i Melioracji Wodnych
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
ul. Kaliskiego 7, 85-790 Bydgoszcz

Otrzymano: 03.12.2025
Zwrócono po recenzji: 13.12.2025
Opublikowano: 15.12.2025