



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY ROLNICTWO I
OGRODNICTWO**

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. arch. kraj. Ariel Łangowski

**WPŁYW PODPOWIERZCHNIOWEGO
NAWADNIANIA KROPIOWEGO NA WZROST
SURMII (*Catalpa scop.*)
W NASADZENIACH SZPALEROWYCH**

**Impact of subsurface drip irrigation on growth
of catalpa (*Catalpa scop.*) in row plantings**

DZIEDZINA: Nauki rolnicze
DYSCYPLINA: Rolnictwo i ogrodnictwo

PROMOTOR

Prof. dr hab. inż. Roman Rolbiecki
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Bydgoszcz, 2024

Pragnę złożyć najszczerze podziękowania promotorowi prof. dr hab. inż. Romanowi Rolbieckiemu za poświęcony czas, cenne uwagi i wskazówki na każdym etapie tworzenia poniższej rozprawy doktorskiej.

Chciałbym również podziękować całej mojej rodzinie, gronie przyjaciół, znajomym oraz wszystkim innym, którzy przyczynili się do powstania mojej rozprawy doktorskiej. Dzięki ciężkiej pracy, wytrwałości i dążeniu do celu oddaję czytającym fragment mojego nawodnieniowego życia kierując się słowami:

„Nie chowaj się w porcie. Płyn tam, gdzie postanowiłeś. Po prostu ustaw odpowiednio żagle.”
Jacek Walkiewicz

Spis treści

1. WSTĘP I CEL BADAŃ	7
1.1. Cel badań.....	8
1.2. Hipoteza badawcza.....	9
2. PRZEGLĄD LITERATURY	10
2.1. Drzewa – rola w życiu człowieka.....	10
2.2. Możliwości wykorzystania gleb piaszczystych dla upraw szpalerowych w warunkach nawadniania	12
2.3. Charakterystyka gatunków	15
2.3.1. Surmia bignoniowa	15
2.3.2. Surmia żółtokwiatowa.....	17
2.4. Nasadzenia szpalerowe jako element krajobrazu człowieka.....	18
2.5. Potrzeby nawadniania roślin.....	20
2.5.1. Powierzchniowe i podpowierzchniowe nawadnianie kropłowe ..	22
3. METODYKA BADAŃ	27
3.1. Lokalizacja pola doświadczalnego	27
3.2. Charakterystyka gleby pola doświadczalnego	28
3.3. Opis badań polowych oraz stosowanych metod badawczych.....	30
3.4. Potrzeby wodne surmii.....	37
3.4.1. Połowe zużycie wody (S)	37
3.4.2. Ewapotranspiracja wskaźnikowa (ET _o).....	39
3.4.3. Ewapotranspiracja potencjalna (ET _p).....	39
3.4.4. Niedobory opadów oraz potrzeby nawadniania	40
4. WARUNKI METEOROLOGICZNE DOŚWIADCZENIA	42
5. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA	48
5.1. Charakterystyka warunków wilgotnościowych gleby.....	48
5.2. Potrzeby wodne i nawodnieniowe surmii	53
5.2.1. Połowe zużycie wody	53
5.2.2. Ewapotranspiracja potencjalna (ET _p).....	60
5.2.3. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania.....	64
5.3. Ocena parametrów wzrostu oraz powierzchni transpiracyjnej surmii...	68
5.4. Ocena rozmieszczenie systemów korzeniowych surmii	76
6. WNIOSKI	84
BIBLIOGRAFIA.....	86
SPIS RYSUNKÓW	102
SPIS TABEL	104
STRESZCZENIE	106
ABSTRACT	108

Wykaz skrótów i symboli

(r)	–	współczynniki korelacji
ET_o	–	ewapotranspiracja wskaźnikowa obliczona modelem Hargreavesa
ET_p^{HDA}	–	ewapotranspiracja potencjalna obliczona modelem Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena
k_c^{HDA}	–	współczynnik roślinny dla modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena
k_r	–	współczynnik korekcyjny/poprawkowy wg Tredera
N	–	niedobory opadów (wody) [mm]
P_e	–	opad efektywny [mm·doba ⁻¹]
Q	–	potrzeby wodne [mm]
RPI	–	wskaźnik względnego opadu [%]
S	–	polowe zużycie wody na obiektach nawadnianych podpowierzchniowym systemem kroplowym
WLD	–	woda łatwo dostępna

Warianty doświadczenia:

W0 – bez nawadniania (kontrola)

W1 – nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa

W2 – nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa

1. WSTĘP I CEL BADAŃ

Woda jest ważnym czynnikiem plonotwórczym, pozwalającym na szybki rozwój współczesnej gospodarki związanej z produkcją polową, dlatego odpowiedzialne gospodarowanie nią oraz ochrona jej zasobów powinny stać się priorytetowym celem działalności społeczeństwa [Leśny i Juszcak 2005].

Ze względu na nasilające się ograniczone zasoby wodne (wód powierzchniowych i podpowierzchniowych) do nawadniania zaleca się wdrożenie w uprawach ogrodniczych, rolniczych, szkółkarskich szczegółowych metod określania potrzeb wodnych materiału roślinnego oraz wdrożenie nowoczesnych systemów automatycznego nawadniania (alternatywnie z udziałem fertygacji). Kluczowym warunkiem jest określenie opadów naturalnych (po stronie przychodów) oraz ewapotranspiracji (po stronie rozchodów). Według zaleceń Food and Agriculture Organization do wyznaczenia ewapotranspiracji wskaźnikowej zalecany jest wzór Penmana-Monteitha [Allen 1986, Allen i in. 1998, Allen i in. 2005, Walter i in. 2001]. W praktyce do określenia potrzeb wodnych, w warunkach Polski zastosowanie wzoru Penmana-Monteitha wiąże się z przygotowaniem dużej ilości danych potrzebnych do ich obliczenia. W związku z powyższym istnieje potrzeba zaadaptowania prostych modeli obliczeniowych wykorzystujących dostępne dane meteorologiczne (głównie wilgotności i temperatury powietrza). Wybrany w pracy model Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena spełnia zalecane kryteria [Treder i in. 2010, Rolbiecki 2013, Sositko 2019].

Powszechnie wiadomo jak ważną rolę odgrywa zieleń, zwłaszcza w celu usuwania zanieczyszczeń powietrza i obniżenia temperatury powietrza w warunkach miejskich a także jako czynnik społeczny i psychologicznych korzyści dla społeczeństwa [Nowak i in. 2018, Chiesura 2004, Rötzer i in. 2021]. W kontekście kształtowania krajobrazu miejskiego, zwłaszcza osi widokowych, w wielu przypadkach nasadzenia szpalerowe lub alejowe wpływają pozytywnie na jakość krajobrazu [Antolak 2017]. Drzewa w nasadzeniach szpalerowych stanowią ważne siedlisko dla życia i rozwoju flory i fauny poprzez zwiększenie bioróżnorodności oraz ograniczenie erozji [Tomaszkiewicz i in. 2017, Van Dijk i Keenan 2007]. Szpalery występują jako formy zadrzewień (w miejskiej przestrzeni), które najczęściej tworzone są w postaci formowanej jako formy topiaryczne lub nieformowanej o naturalnym, nieregularnym pokroju korony [Fortuna-Antoszkiewicz 2019, Janiak 2021].

Z dostępnych systemów nawadniających do nasadzeń szpalerowych najczęściej wykorzystuje się nawodnienia kropłowe, które zaliczane są do wodooszczędnych systemów nawadniających. Ich wysoka efektywność (sięgająca 95%) oraz niskie koszty instalacji oraz eksploatacji pozytywnie wpływają na czynnik ekonomiczny nawodnień [Dobrzyńska i Dembek 2020, Nyc 1996]. Dzięki niewielkiemu zużyciu wody pod niskim ciśnieniem a także precyzyjnemu podawaniu dawek wody wprost do strefy korzeniowej drzew,

zasoby wodne wykorzystane są efektywniej. [Rzekanowski i in. 2011, Nyc 1996, Rolbiecki 2021].

W pierwszych latach po nasadzeniu niedobór wody wykazuje negatywny wpływ dla wzrostu sadzonek drzew i krzewów. Z badań wynika, że udatność nasadzeń drzew i krzewów bez zapewnienia odpowiednich warunków wilgotnościowych jest bardzo niska. W nasadzeniach szpalerowych ważnym aspektem jest zapewnienie optymalnej wilgotności podłoża. Kluczowe znaczenie ma to w okresie od maja do sierpnia ze względu na częste niedobory wody występujące w tych miesiącach okresu wegetacyjnego.

Surmia jest uprawiana z głównym przeznaczeniem do zagospodarowania publicznych terenów zieleni, parków, skwerów oraz ogrodów przydomowych. Jest rośliną predestynowaną do nasadzeń w miejscach zacienionych [Kurbaniyazov i in. 2021]. W ostatnich latach obserwuje się zainteresowanie surmią jako drzewem do nasadzeń soliterowych i szpalerowych w miastach. Najczęściej wykorzystuje się do nasadzeń 3-letnie drzewa, których wysoka udatność jest możliwa tylko w warunkach prowadzonych nawodnień [Salmukhanbetova i in. 2024].

W literaturze naukowej obecnie brakuje informacji dotyczących wielkości potrzeb wodnych w nasadzeniach szpalerowych drzew z rodzaju *Catalpa*. Stąd też w niniejszej pracy podjęto próbę oszacowania potrzeb wodnych surmii w pierwszych 4 latach po posadzeniu. Uzyskane wyniki badań pomogą w stworzeniu zaleceń nawodnieniowych surmii uprawianych na glebach lekkich na obszarach szczególnie deficytowych w wodę.

1.1. Cel badań

Celem badań jest określenie wpływu podpowierzchniowego nawadniania kropłowego na kształtowanie się wielkości potrzeb wodnych surmii oraz jego wpływu na parametry wzrostu.

Ze względu na nieliczne dane literaturowe dotyczące technologii nawadniania surmii przyjęto następujące cele szczegółowe:

1. Określenie potrzeb wodnych – polowego zużycia wody (S) surmii uprawianych w nasadzeniach szpalerowych w warunkach prowadzonych nawodnień podpowierzchniowych,
2. Ocena przydatności modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena do obliczania ewapotranspiracji potencjalnej (ET_p),
3. Wyznaczenie współczynników roślinnych k_c dla wzoru Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena oraz określenie potrzeb wodnych surmii na podstawie kryterium klimatycznego (ET_p),
4. Określenie niedoborów wody oraz potrzeb nawodnieniowych surmii na glebie lekkiej,
5. Określenie optymalnych dawek nawodnieniowych dla surmii w pierwszych czterech latach uprawy szpalerowej,

6. Określenie wpływu nawadniania podpowierzchniowego na parametry wzrostu surmii w nasadzeniu szpalerowym.

1.2. Hipoteza badawcza

Hipoteza badawcza zakłada, że zastosowanie podpowierzchniowego nawadniania kropłowego surmii pozwoli na określenie optymalnych potrzeb wodnych, jak również umożliwi kompleksową ocenę parametrów wzrostu badanych drzew.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. Drzewa – rola w życiu człowieka

Drzewa od zarania dziejów wzbudzały zainteresowanie ludzi. W przeszłości, najokazalsze stawały się przedmiotem adoracji, wierzeń, kultu czy składania ofiar. Uważano, że zadrzewienia były mieszkaniem bóstw. Wierzono w nadprzyrodzoną siłę drzew, wydobywającą się z nich uzdrawiającą energię. W latach współczesnych, korzystając z dostępu do nowoczesnych technik pomiarowych, mamy możliwość dogłębnej analizy wpływu drzew w życiu człowieka. Najczęściej podkreślamy korzyści ekonomiczne, przyrodnicze a także estetyczne.

W kontekście przyrodniczym drzewa są naturalnym środowiskiem życia zwierząt, zwłaszcza w przestrzeniach zurbanizowanych, gdzie zwiększają bioróżnorodność, poprawiają jakość powietrza, a także niwelują negatywne skutki miejskiej wyspy ciepła [McPherson i in. 2001]. Drzewa w przestrzeni zdominowanej przez powierzchnie szklane i betonowe mogą obniżyć temperaturę otoczenia w zakresie od 6-15° C (w porównaniu z terenami pozbawionymi drzew) [Kosmala 2005]. Istotną zaletą drzewostanu jest efektywne tłumienie hałasu. Odbywa się to poprzez odcięcie fali akustycznej i absorpcji przez części składowe drzew, które działają jak rezonatory. Gatunki o gęstym ulistnieniu i nisko osadzonej koronie o szerokości pasa 7–8 metrów zmniejszają hałas o 10–13 dB [Kawoń i Żmuda 1977]. Niewątpliwą zaletą drzew jest kształtowanie korzystnego mikroklimatu (zwłaszcza w warunkach miejskich) i wspomaganie w leczeniu rozmaitych dolegliwości (fizycznych i psychicznych). Oddziałują one na nasze zmysły tj. wzrok, węch, dotyk czy smak, pozwalając jednocześnie na stwarzanie więzi emocjonalnych mających wpływ na sferę psychiczną człowieka. Drzewa przyczyniają się do dobrego samopoczucia. Wywierają w człowieku pozytywne emocje i odczucia. Pozwalają się odprężyć oraz pomagają w osiągnięciu wewnętrznej harmonii i zadowolenia [Shanahan i in. 2015, Kosmala 2005, Schmid 2001].

Ponadto, sadząc większą ilość drzew retencjonujemy wodę i wilgoć w glebie. Drzewa filtrują wodę biogeochemicznie przez co oddziałują biologicznie, fizycznie i chemicznie na jakość wody [Ryszkowski i in. 1990]. Takie działanie zmniejsza presję na systemy kanalizacji deszczowej i pozwala odnowić zasoby wód gruntowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że 100 dojrzałych drzew zatrzymuje rocznie około 450 tys. litrów wody opadowej, dzięki czemu zarządcy miejscy mogą ponosić mniejsze środki finansowe na budowę i eksploatację kanalizacji deszczowej [McPherson i in. 1999].

Dla wielu gatunków zwierząt tereny zurbanizowane są miejscem nieprzyjnym. Do odmiennych warunków życia zaadaptowały się jednak gatunki ptaków żyjąc w bezpośrednim związku z drzewami nasadzonymi wzdłuż

ciągów komunikacyjnych, na cmentarzach czy w parkach, które tworzą siedlisko zbliżone do naturalnych obszarów leśnych [Bocheński i in. 2013].

Aspektem ekonomicznym wartym podkreślenia jest fakt, że zgodnie z badaniami tereny usług oraz handlu obsadzone m.in. drzewami stwarzają korzystniejsze warunki do prowadzenia działalności gospodarczej [Wolf 1999]. Wartość nieruchomości obsadzonych drzewami może wzrosnąć od 5 do nawet 30% (średnio o 15–20%) w zależności od gatunku, wieku, stanu zachowania i lokalizacji w porównaniu do analogicznych działek bez drzewostanu [Schroeder i Cannon 1983, Kosmala 2005]. Obecność każdego dużego drzewa rosnącego w obrębie elewacji frontowej budynku podnosi jego cenę o 1%. Jak wyliczają agencje nieruchomości, mieszkania znajdujące się w dzielnicach z dużą ilością zieleni szybciej znajdują nabywców niż w okolicach z mniejszą ilością zadrzewień. Lokale mieszkalne i powierzchnie biurowe w obszarach zadrzewionych są wynajmowane szybciej i po wyższych stawkach czynszowych [Anderson i Cordell 1988].

Drzewa w terenach miejskich dostarczają usług ekosystemowych, które możemy rozumieć jako ogół korzyści, których środowisko dostarcza gospodarce i społeczeństwu. Zgodnie z raportem Millennium Ecosystem Assessment usługi ekosystemowe podzielono na cztery główne kategorie: produkcyjne (żywność, surowce, środki medyczne, dostarczanie wody), regulujące (regulacja ekstremów klimatu i cykli ekologicznych, poprawa jakości powietrza i wody, zapobieganie erozji i wylewów, retencja gleby), podtrzymujące (utrzymywanie różnorodności biologicznej, rozkład materii), kulturowe (nauka i edukacja, więzi społeczne, sztuka, duchowość) [MEA 2005]. W każdym z wymienionych typów usług ekosystemowych drzewa dostarczają więcej korzyści, które są przeliczane na wartości pieniężne przy uwzględnieniu nakładów poniesionych na utrzymanie drzew rosnących w środowisku miejskim [Szczepanowska 2015].

Istotnym z punktu widzenia gospodarki zastosowaniem drzew jest ich szerokie wykorzystanie w przemyśle budowlanym, meblarskim, do produkcji papieru, opału oraz biomasy. Kolejną zaletą drzew jest przedłużenie kondycji (żywności) infrastruktury technicznej w tym nawierzchni asfaltowych poprzez cieniowanie przez korony drzew. Dzięki temu lepiszczka asfaltowa nie nagrzewają się i nie odkształcają do wysokich temperatur. Jest to szczególnie istotne, ponieważ nie uwalniają się związki ropopochodne, co pozostawiłoby kruszywa bez dodatkowej ochrony. Jednocześnie cieniowanie wydłuża trwałość powierzchni asfaltowych z 7–10 lat do 20–25 lat [Kosmala 2005]. Zacienienie miejsc parkingowych wraz z parkującymi pojazdami ogranicza parowanie węglowodorów z rozgrzanych silników spalinowych [Suchocka 2013].

Estetyka drzew łagodzi betonową strukturę urbanistycznego i ruralistycznego krajobrazu stając się łącznikiem między twardą architekturą (budynkami) a miękką architekturą (terenami zieleni). Drzewa – dawniej jak i współcześnie – wpływają na podnoszenie walorów architektonicznych budowli, jednocześnie ukrywając nieatrakcyjne widoki krajobrazowe [Durlak i in. 2015]. Drzewa w miastach przesadzane są z różnych warunków siedliskowych.

Dla rozwoju drzew miejskie warunki mogą być nawet korzystniejsze niż w krajobrazie otwartym ponieważ sprzyjają wzrostowi wielu drzew z uwagi na celowe zaprawianie miejsc sadzenia żyzną ziemią ogrodową, torfem, kompostem i wzbogacenie nawozami mineralnymi. Może to w połączeniu z łagodniejszymi warunkami mikroklimatycznymi (zwłaszcza zimą) wpływać na korzystniejszą kondycję drzewostanów (pod warunkiem stałej pielęgnacji) i w konsekwencji spotęgować dekoracyjny efekt wizualny [Bojarczuk 1980].

Korzyścią społeczną drzew jest dostarczanie okazji do poprawy sprawności fizycznej i wzbogacenia powietrza w substancje lotne, posiadające właściwości bakterio- i grzybobójcze. Poprzez obniżenie poziomu stresu mieszkańcy zadrzewionych dzielnic rzadziej zgłaszają dolegliwości zdrowotne. Brak kontaktu z terenami zadrzewionymi może powodować (szczególnie w grupie dzieci i młodzieży) brak poszanowania dla natury, problemy z koncentracją, słabsze wyniki w nauce, otyłość i wady wzroku [Suchocka 2013].

2.2. Możliwości wykorzystania gleb piaszczystych dla upraw szpalerowych w warunkach nawadniania

Gleby zaliczane do kompleksów glebowo-rolniczych żytni słaby i żytni bardzo słaby zajmują w Polsce powierzchnię około 4,2 mln hektarów, co w przybliżeniu stanowi około 22,6% ogólnego arealu gruntów ornyc. Gleby uprawne sklasyfikowane do kategorii agronomicznej gleb bardzo lekkie i lekkich w niewielkiej części wykorzystywane są w Polsce do produkcji rolnej lub szkółkarskiej [Baran i in. 1993, Grabarczyk i in. 1994, Terelak i in. 2001, Skłodowski i Bielska 2009, Kuś i Kopiński 2012]. Główną cechą gleb piaszczystych jest niewielki procentowy udział frakcji iłowej (<0,002 mm) w składzie granulometrycznym. Charakteryzują się one zazwyczaj niską zawartością próchnicy wynoszącą od 10 g·kg⁻¹ do 20 g·kg⁻¹. Wpływa to na zmniejszenie retencji wodnej oraz pogorszenie właściwości sorpcyjnych i buforowych tych gleb.

Interpretując wpływ parametrów glebowych na plonowanie roślin należy określić przede wszystkim właściwości fizyczne i chemiczne gleb, co w warunkach kontrolowanego ich nawadniania pozwala na pełną ocenę plonotwórczą uprawianych roślin. Na glebach nawadnianych należących do kategorii agronomicznej gleb bardzo lekkich i lekkich uzyskuje się zbliżone plonowanie roślin jak na glebach należących do gleb średnich bez zastosowanego nawadniania. W związku z powyższym, nawadnianie gleb piaszczystych jest zabiegiem zalecanym, ponieważ poprawia to ich potencjalną produktywność [Rzekanowski i in. 2011]. Wielkość plonów na glebach lekkich zależy w dużej mierze od warunków meteorologicznych, a szczególności od ilości i rozkładu opadów atmosferycznych w okresie wegetacyjnym w uprawie różnych gatunków roślin [Zarski 2006, Rzekanowski i in. 2011, Rolbiecki 2013, Żarski i in. 2013, Rolbiecki i in. 2020, Rolbiecki i in. 2021, Rolbiecki 2021].

W Polsce gleby lekkie stanowią prawie 50% gruntów przeznaczonych pod uprawę [Pierzgalski i Jeznach 2006, Rolbiecki 2021]. Do ich głównych wad, jak podają Dzieżyc i Trybała [1989], należy zaliczyć niekorzystne właściwości wodne, takie jak: zbyt duża przepuszczalność, słaby podsiąk, mała retencja wodna, krótkotrwałe zapasy wody łatwo dostępnej dla roślin, szybkie wysychanie gleby, częste, dłuższe i groźniejsze dla roślin okresy posuszne w porównaniu do gleb średnich i ciężkich. Ograniczenia te są tym silniejsze, im luźniejszy jest skład granulometryczny gleby, niższy poziom wody gruntowej (z reguły poza zasięgiem systemu korzeniowego) oraz niskie i źle rozłożone opady atmosferyczne w sezonie wegetacyjnym. Głównie to właśnie te czynniki obniżają ich produktywność oraz ograniczają wprowadzenie do uprawy roślin intensywnych [Rzekanowski i in. 2011, Rolbiecki 2021]. W celu zwiększenia produktywności tych gleb, należy uzupełnić występujące częste niedobory wody. Z tego względu powinno się stosować nawadnianie [Grabarczyk i in. 1994, Żarski i in. 2004, Rolbiecki 2013, Rolbiecki 2021].

W Polsce najbardziej rozpowszechnionym sposobem nawadniania w uprawach polowych jest nawadnianie deszczowniane, którego stosowanie wiąże się z dostarczeniem dużej ilości wody pod wysokim ciśnieniem, co podnosi koszty produkcji, a przez to jest czynnikiem ograniczającym wprowadzenie deszczowania do szerokiej praktyki rolniczej [Rzekanowski i in. 2011].

W kontekście przewidywanych w Polsce zmian klimatycznych obserwuje się wzrost zapotrzebowania na wodę do nawadniania ze względu na coraz większe jej niedobory w glebie w okresie letnim. Spowodowane jest to wzrostem temperatur w okresie wegetacji, który wzmacnia ewapotranspirację. Nawadnianie jest w tej sytuacji podstawowym czynnikiem kształtującym stosunki wodne w glebie w czasie występowania długotrwałych okresów bezopadowych, które będą się jeszcze nasilać [Döll 2002, Pierzgalski i Jeznach 2006, Kundzewicz 2007, Łabędzki 2009]. Występowanie takich czynników środowiskowych powoduje zwiększenie potrzeb wodnych roślin i niedoborów wody oraz wskazuje na potrzebę ich ograniczania poprzez stosowanie wodoszczędnych systemów nawadniających (mikronawodnień). Takie systemy nawodnień stają się coraz bardziej powszechne w intensywnym warzywnictwie polowym oraz sadownictwie ze względu na ich wysoką efektywność, zmniejszające się koszty inwestycyjne oraz małe (w porównaniu z innymi systemami) koszty eksploatacyjne [Hewelke 1993, Pierzgalski i Jeznach 1993, Rzekanowski i Rolbiecki 1996, Jeznach 2009, Łabędzki 2009, Lipiński 2010, Treder i in. 2011, Rolbiecki i in. 2015, Rolbiecki i in. 2020, Rolbiecki i in. 2021]. Systemy te spełniają wymogi tzw. rolnictwa precyzyjnego. Poprzez bardzo dużą energo- i zasobooszczędność (niewielkie zużycie wody pod niskim ciśnieniem) oraz miejscowe zaopatrywanie roślin w wodę pozwalają na tworzenie precyzyjnych układów przyrodniczo-techniczno-ekonomicznych, które są harmonijnie wkomponowywane w środowisko rolnicze [Nyc 1996, Rzekanowski i in. 2011].

W celu zwiększenia efektywności wykorzystania ograniczonych zasobów wodnych do nawadniania, należy wprowadzić do praktyki rolniczej precyzyjne

metody określania potrzeb wodnych roślin, potrzeb nawadniania oraz sterowania nawadnianiem [Rolbiecki 2013].

W celu podniesienia żyzności gleb lekkich należy skupić się na jednoczesnej poprawie ich właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych przy jednoczesnym zwiększeniu pojemności wodnej [Dzieżyc i Trybała 1989, Gonet 2007]. Utrzymanie wysokiej produktywności gleb lekkich wymaga stosowania nawozów nieorganicznych i organicznych oraz ich nawadniania [Kraft i in. 2012, Huang i Hartemink 2020]. Intensywne użytkowanie gleb piaszczystych związane z zastosowaniem wysokich dawek nawozów mineralnych powodować może degradację środowiska glebowego oraz eutrofizację wód powierzchniowych [Siuta i Żukowska-Wieszczeck 1990]. Przeciwdziałania temu racjonalne zastosowanie nawozów w zależności od warunków glebowo-klimatycznych oraz potrzeb pokarmowych uprawianych roślin [Baran i in. 1993].

Główną rolę w poprawie żyzności gleb lekkich odgrywa próchnica, której zawartość i zapas determinowane są poprzez wybór systemu uprawy, zmianowanie oraz zastosowane nawożenie [Baran i in. 1998, Żukowska 2000, Bielińska i Żukowska 2002, Kobierski i in. 2020]. Nawozy naturalne takie jak obornik, gnojówka, gnojowica są optymalnym źródłem, zarówno makroelementów, jak i mikroelementów w glebie. Skład chemiczny tych nawozów zależy od rodzaju zwierząt hodowlanych oraz sposobu ich żywienia, a także od technologii przechowywania nawozu [Kuś i Kopiński 2012, Nowak i in. 2014]. Nawożenie obornikiem wpływa korzystnie na właściwości gleby, w tym na jej odczyn oraz zawartość węgla organicznego oraz skład frakcyjny próchnicy [Kubat i in. 2002, Jaskulska i Jaskulski 2003, Tester 1990]. Coraz częściej w tym celu wykorzystywane są osady ściekowe, które charakteryzują się wysoką zasobnością w składniki pokarmowe, głównie azot i fosfor. Ważnym aspektem, z punktu widzenia ochrony środowiska glebowego, jest ocena składu chemicznego osadów ściekowych. Zaleca się nie tylko systematyczne monitorowanie zawartości metali ciężkich, ale także wykonanie badań mikrobiologicznych [Gostkowska i in. 1989, Baran i in. 1999]. Alternatywnym źródłem składników pokarmowych mogą być mieszanki odpadów z ubojni drobiu i pomiotu kurzego, które są stosowane do nawożenia gleb [Skowrońska 2005, Szychaj-Fabisiak i in. 2007].

Wobec naturalnych uwarunkowań związanych z zakwaszaniem gleb – szczególnie dotyczy to gleb lekkich – zalecanym zabiegiem agrotechnicznym jest zastosowanie środków wapnujących, dzięki którym tworzone są lepsze warunki bytowania mikroorganizmów. Powyższe sprzyja optymalizacji procesu mineralizacji i humifikacji materii organicznej (bilans próchnicy w glebie) oraz poprawie pobierania składników pokarmowych przez rośliny [Nowak i in. 2014].

2.3. Charakterystyka gatunków

Surmia bignoniowa (*Catalpa bignonioides*) oraz surmia żółtokwiatowa (*Catalpa ovata*) pochodzą z rodziny Bignoniaceae. Rodzaj *Catalpa* obejmuje osiem gatunków naturalnych i dwie hybrydy. W Polsce uprawia się 3 gatunki surmii: bignoniową, żółtokwiatową i wielkokwiatową [Mirek i in. 2020].

Cechami charakterystycznymi drzew z rodzaju *Catalpa* są liście całobrzegie (czasami z nielicznymi kłapami) naprzeciwległe, zebrane w okółkach po 3, długoogonkowe, pojedyncze i dużych rozmiarów. Ich kwiatostany są obupłciowe, zygomorficzne o kształcie dzwinkowatym a kwiaty miododajne. Owoce są długie w formie strąkokształtnej torebki. System korzeniowy cechuje się grubymi i mięsistymi, słabo rozgałęzionymi korzeniami [Seneta i Dolatowski 2012]. Podstawowym sposobem rozmnażania są nasiona oraz sadzonki korzeniowe [Ośta 2021].

Drzewa z rodzaju *Catalpa* cechują się dużą tolerancją w stosunku do warunków glebowych (od gleb lekkich do ciężkich). W naszym klimacie preferowane jest sadzenie surmii na gruntach suchych z powodu szybszego drewnienia pędów (co zabezpiecza je przed przemarzaniem w okresie zimowym).

W Polsce surmie uprawiane są jako solitery o egzotycznym wyglądzie ze względu na ich atrakcyjne cechy morfologiczne tj. duże sercowate liście (10-20 cm), pojawiające się w okresie letnim kwitnienie w kolorach bieli, żółci, różu oraz okazałe owoce w kształcie strąków zwisające z gałęzi jeszcze w okresie wiosennym [Wysokińska i Świątek 1995].

Rodzina Bignoniaceae od dekad przyciąga uwagę badaczy jako źródło farmakologicznych substancji czynnych. Liczne badania fitochemiczne wykazały, że ekstrakty roślinne z gatunków rodziny Bignoniaceae zawierają metabolity wtórne, alkaloidy, flawonoidy, chinony, triterpeny, steroidy i garbniki. Działają one m.in. w sposób przeciwzapalny, przeciwdrobnoustrojowy, przeciwbiegunkowy, przeciwutleniający a nawet przeciwnowotworowy [Cragg i Newman 2005, Choudhury i in. 2011, De Abreu i in. 2014]. Wszystkie odmiany z rodzaju *Catalpa* są ważnym źródłem surowców medycznych takich jak: kwasy fenolowe, flawonoidy czy naftochinony [Okuda i in. 1975, Inouye i in. 1975]. Stąd też, m.in. surmię bignoniową, żółtokwiatową, wielkokwiatową oraz Bungego, z powodzeniem wykorzystuje się w przemyśle medycznym [Tütüncü 2017]. Owoce drzew z rodzaju *Catalpa* są głównym składnikiem jednego z leków moczopędnych na rynku japońskim [Wysokińska i Świątek 1995].

2.3.1. Surmia bignoniowa

Catalpa bignonioides (Walter)– surmia bignoniowa z powodzeniem może być uprawiana we wszystkich umiarkowanych klimatach świata. Naturalny zasięg gatunku obejmuje jednak tereny północnej Florydy, południowej Georgii,

południowej Alabamy, południowego Missisipi, południowej Luizjany oraz najbardziej wysuniętego na wschód krańca Teksasu i południowego krańca Arkansas [Olsen i Kirkbride 2017]. Surmie bignoniowe, znane są również pod nazwami potocznymi jako surmia zwyczajna, drzewo cygarowe (*cigartree*) lub drzewo fasoli indyjskiej (*indian bean tree*).

W warunkach polskich drzewo dorasta do 15–20 m wysokości oraz posiada szeroką i nisko osadzoną koronę. Ma liście kształtu szerokojajowatego o wymiarach 10-20 cm, zwykle bez kłap, które na szczycie są krótkozastrzone. Ich roztrarcie wyzwala nieprzyjemny zapach. W początkowej fazie rozwoju liście są koloru brązowego. Wiechowate kwiatostany surmii (do 20 cm lub większe) pojawiają się w okresie od lipca do sierpnia i osiągają średnice 4-5 cm. Są koloru białego, wewnątrz fioletowo nakrapiane z żółtymi smugami. Surmia bignoniowa tworzy strąki cienkościenne o długości 20-40 cm i 5-8 mm średnicy utrzymujące się w okresie zimowym [Seneta i Dolatowski 2012, Quan i in. 2022].

Surmia bignoniowa jest atrakcyjnym gatunkiem drzew o pozytywnym wpływie na architekturę krajobrazu. Posiada przy tym pożądane cechy wizualne drzew ozdobnych: w okresie wiosennym i wczesnoletnim ozdobna z liści, zaś w okresie letnim ozdobna z kwiatów, w okresie jesiennym ozdobna z okazałych owoców w kształcie strąków [Wei 2008; Kurbaniyazov 2021; Quan i in. 2022]. Gatunek stosowany jest również z przeznaczeniem do nasadzeń w przestrzeniach miejskich, w pobliżu ciągów komunikacyjnych, a także arteriach o umiarkowanym natężeniu ruchu. Liście mają bowiem zdolność intensywnego pochłaniania cząstek i metali ciężkich, takich jak ołów i kadm [Olsen i Kirkbride 2017; Quan i in. 2022]. Ze względu na rozbudowany system korzeniowy może być wykorzystywana do obsadzania skarp i osuwisk celem stabilizacji gruntu [Mir i in. 2014].

Drzewa te nie są wystarczająco tolerancyjne na działanie niskich temperatur (zwłaszcza w pierwszych okresach wzrostowych), dlatego nie rekomendowane jest sadzenie surmii w miejscach potencjalnie wietrznych i chłodnych [Borowski i Latocha 2006, Bąbelewski 2019]. Surmia wymaga więc stanowisk osłoniętych od wiatrów, słonecznych a w początkowej fazie wzrostu również zimowego zabezpieczenia przed przemarzaniem. Drzewa surmii podatne są na występowanie grzyba mączniaka prawdziwego (*Erysiphe elevata*). Choroba prowadzi do wysychania liści i wczesnego ich opadania (już we wrześniu). W związku z tym ważnym punktem kontrolnym nasadzeń jest ich regularna kontrola fitosanitarna. [Milevoj 2004, Ośta 2021]. W Europie *Erysiphe elevata* została potwierdzona po raz pierwszy w 2002 roku na Węgrzech. Od tego czasu następowała ekspansja na inne kraje Europy takie jak: Bułgaria, Czechy, Francja, Niemcy, Polska, Słowacja czy Szwajcaria [Chinan i Mánzu 2018].

Zastosowanie surowców z surmii bignoniowej wraz z innymi preparatami zielarskimi działa uspokajająco. Wywaru z strąków i nasion wykazuje łagodne działania narkotyczne przy leczeniu chorób górnych i dolnych dróg oddechowych, a w szczególności krztuśca, kaszlu krztuszącego u niemowląt, astmy [Felter i Lloyd 1989]. Udowodniono skuteczność w leczeniu wrzodów

a także posiada właściwości przeciwutleniające. Pomimo korzyści medycznych nadal brakuje eksperymentalnych badań w celu wdrożenia ekstraktów z surmii bignoniowej w obrocie rynku lekowego (Munoz-Mingarro i in. 2003, Dvorska i in. 2007).

Surowiec z tego drzewa na kontynencie amerykańskim i azjatyckim cechuje się wysoką jakością i stosowany jest z powodzeniem w budownictwie, przemyśle stolarskim, budowie statków i elementów wyposażenia okrętowego, instrumentach muzycznych oraz rzeźbiarstwie [Dong 2022]. Włókna celulozowe jako materiał pozyskiwany z surmii bignoniowej może być również zrównoważoną i ekologiczną alternatywą dla wielu gałęzi przemysłu, takich jak produkcja tekstyliów. Stosowany jest również w izolacjach cieplnych czy materiałach absorbujących dźwięk [Bozaci i Tagaç 2022].

2.3.2. Surmia żółtokwiatowa

Catalpa ovata (G. Don) – surmia żółtokwiatowa występuje naturalnie na obszarze środkowych i północnych Chin. Gatunek uprawiany jest od ponad dwóch tysięcy lat (zwłaszcza w Chinach i Japonii) a także w Ameryce Północnej, Europie i innych obszarach o klimacie umiarkowanym [Dong i in. 2022, Gabsik i in. 2013].

W warunkach klimatycznych Polski drzewo dorasta do 10–15 m wysokości, posiada relatywnie szeroką koronę. Tworzy szerokojajowate liście o wymiarach 10–20 cm z 1–2 parami bocznych kłap, które szczytowo są krótkozastrzone. Liście z wierzchu są krótko owłosione, zaś spodem nagie. Posiada kwiaty o średnicy 2–3 cm zebrane w kształcie wiechy wielokwiatowej o długości do 20 cm. Kwiaty są koloru kremowego lub żółtawego, wewnątrz nakrapiane z wyraźnymi smugami. Surmia żółtokwiatowa podobnie jak surmia bignoniowa tworzy strąki cienkościenne o długości 20–40 cm i 5–8 mm średnicy, które utrzymują się w okresie zimowym [Seneta i Dolatowski 2012]. Pod względem wizualnym jest najmniej dekoracyjna ze względu na niewielkie brudnobiałe i żółtawe kwiaty. Z uprawianych gatunków surmii cechuje się największą odpornością na niskie temperatury i przymrozki [Olsen i Kirkbride 2017]. Wysiew nasion jest tradycyjnym sposobem rozmnażania (rzadziej stosuje się sadzonki korzeniowe). Coraz częściej stosuje się również z powodzeniem techniki hodowli *in vitro*. Poprzez zastosowanie mikrorozmnażania można zapewnić dużą liczbę odpornych na choroby sadzonek [Lisowska i Wysokińska 2000; Wysokińska i in. 2002].

Surmia żółtokwiatowa jest stosowana jako soliterowe drzewo ozdobne w ogrodach, parkach, terenach uprzemysłowionych oraz typowych przestrzeniach miejskich. Posiada zdolność do pochłaniania kadmu [Sheng i in. 2020]. Gatunek jest wysoce tolerancyjny na dwutlenek siarki, osadzanie się kurzu oraz zasolenie [Qihua i in. 2011].

Ekstrakt z kory surmii żółtokwiatowej ze względu na zawartość naftochinonów oraz irydoidów jest stosowany w tradycyjnej chińskiej medycynie w dolegliwościach, takich jak świąd czy świerzb skórny [Śliwa i in. 2016]. Wyciąg z owoców surmii wspomaga leczenie atopowego zapalenia skóry oraz działa przeciwnowotworowo, przeciwzapalnie, przeciwutleniająco [Gabsik i in. 2013, Fujiwara i in. 1998, Liuqiang i in. 2023]. Zarówno owoce jak i liście mają właściwości moczopędne oraz wspomagają gojenie rany. Stosuje się je również w leczeniu astmy, kaszlu [Lisowska i Wysokinska 2000], a także przewlekłego zapalenia nerek i obrzęków [Park i in. 2010]. W aspekcie gospodarczym i przemysłowym jest uprawiana w celach uzyskania drewna opałowego, surowca do produkcji instrumentów muzycznych, klocków drukarskich, słupków ogrodzeniowych, podkładów kolejowych [Li 2007, Grimshaw i Olsen 2011].

2.4. Nasadzenia szpalerowe jako element krajobrazu człowieka

Szpalery to drzewa lub krzewy posadzone w szeregu jedno przy drugim, strzyżone lub w formie kształtów geometrycznych, naturalnych o wysokości powyżej przeciętnego wzrostu człowieka [Majdecki 1987]. Historia stosowania szpalerów jako elementu zieleni publicznej związana jest z historią rozwoju publicznych przestrzeni miejskich. Już w I w. p. n.e. rzymski architekt Marcus Vitruvius Pollio podkreślał znaczenie sadzenia rzędów drzew celem tworzenia cienia na drogach i chodnikach [Marcinková 2016]. W Ameryce Północnej w okresie urbanistycznego planowania nowych miast (np. Waszyngton D.C.) opracowano zasady budowania przestrzeni miejskiej, włączając szpalery drzew w przestrzeń ulic [Lawrence 2008]. W europejskich miastach nowe dzielnice planowano z szerokimi ulicami i bulwarami, na których wykonywano nasadzenia pojedynczych drzew i szpalerów. Obecność drzew miała za zadanie poprawić walory przestrzenne i estetyczne przestrzeni miejskiej. W ciągu dróg zielen szpalerowa ma istotne znaczenie w eliminowaniu negatywnych skutków oddziaływań transportu na środowisko [Marcinková 2016]. Nasadzenia łagodzą skutki bardzo silnych mrozów, odgrywając rolę osłon przeciwwietrznych, co stanowi korzyść dla budynków oraz ich użytkowników. Wykonanie nasadzeń w odpowiedni sposób (tzn. w odległości 2-3 metrów od budynków) spowoduje powstanie tzw. kieszeni powietrznej, która pozwoli obniżyć koszty ogrzewania o 10–12% w ciągu roku [Kujawa i in. 2017]. Zadrzewienia rzędowe, posadzone prostopadle do kierunku wiatru, zmniejszają prędkość wiatru oraz tempo osuszania się gleby. Dzięki temu poprawiają warunki wilgotnościowe, zamieniając spływ powierzchniowy na spływ wglębny, co pozwala z większą efektywnością retencjonować wodę w glebie.

Brak wody na terenie kraju jest odczuwalny w wielu regionach i w długoterminowej strategii projekcji klimatu powinien być stale monitorowany [Szwed i in. 2010]. Gęsto zabudowane przestrzenie miejskie utrudniają gromadzenie wód opadowych ze względu na powszechnie stosowane

nieprzepuszczalnych lub nisko przepuszczalnych materiałów budowlanych. Szpalery drzew przyczyniają się więc do zwiększenia powierzchni biologicznie czynnej, na której wody opadowe (zwłaszcza po gwałtownych opadach burzowych) mogą wsiąkać w głąb podłoża [Kujawa i in. 2017]. Nasadzenia szpalerowe w miastach są jednym z elementów składowych projektu urbanistycznego. Ważnym aspektem w zakładaniu szpalerów jest przygotowanie podłoża wraz z doбором odpowiedniego systemu pozwalającego na długoletnie utrzymanie sadzonych drzew. Dobrym rozwiązaniem może być zastosowanie dostępnych na rynku gotowych modułów retencyjno-rozsączających. Metoda ta zwiększa koszty inwestycji, ale w dłuższej perspektywie przynosi korzyści i oszczędności wynikające z usług ekosystemowych. Również zastosowanie podwieszanych systemów chodnikowych z mieszanką podłoży umiejscawianych w obrębie strefy korzeniowej drzew pozwoli na ograniczenie odpływu wody opadowej i zapewni optymalne nawodnienie drzew. Ewentualny nadmiar wód zostanie przetransportowany do komory przelewowej, a następnie skierowany do systemu kanalizacji miejskiej [Burszta-Adamiak 2017, Crabtree 2014].

Stosowanie szpalerów w agroleśnictwie polega na umieszczaniu drzew na polach uprawnych, co jest szczególnie atrakcyjne dla producentów zainteresowanych wielogatunkową uprawą roślin na tym samym areale. Podstawową korzyścią stosowania szpalerów w agroleśnictwie jest zmniejszenie erozji wietrznej i wodnej, zwiększona wilgotność gleby i powietrza, zmniejszone prawdopodobieństwo występowania chorób i szkodników upraw. Szpalery te są siedliskami owadów zapylających, ograniczają wypłukiwanie azotanów (poprzez ich pobieranie przez głęboki system korzeniowy) oraz wpływają na zwiększenie żyzności gleby poprzez domieszkę ściółki liściowej. Uprawy alejowe z udziałem szpalerów wykorzystują korzystne interakcje między uprawami (rolnymi i ozdobnymi). W rezultacie plony z uprawy mogą być znacznie większe niż z przypadku upraw monokulturowych [MacFarland 2017, Beule i Karlovsky 2021]. Liczne koncepcje agroleśne mają na celu zwiększenie produktywności przy zachowaniu drzew w stabilnym ekosystemie [Wilson i in. 1986].

Zadrzewienia tras komunikacyjnych podkreślają linearność krajobrazu, ograniczają przenikanie hałasu drogowego do zabudowań, tworzą izolację przeciwwietrzną, chronią osiedla mieszkaniowe przed zanieczyszczeniami transportowymi [Tomaszewska i Kopcza 2008]. Drzewa mogą więc być przydatne do celów ograniczania prędkości wiatru [Renterghem i Botteldooren 2002]. Na terenie Polski częstym widokiem są szpalery drzew rosnących przy drogach, spełniając jednocześnie wiele funkcji, np. sanitarne – jako swoisty ekran akustyczny [Gruszecki 2017].

Szpalery i aleje drzew z ustawionymi w punktach ich zbiegu dominantami (krajobrazowymi, architektonicznymi) mogą tworzyć dynamiczny układ przestrzenny miasta. W układach osiowych ciągów komunikacyjnych nasadzone drzewa mogą podkreślać rytm architektoniczny budynków, ale także dokonać ujednolicenia przy zróżnicowanej zabudowie [Janik 2021]. Nasadzenia

szpalerowe występujące wzdłuż ciągów komunikacyjnych spełniają cel społeczny, którym jest świadome kształtowanie krajobrazu i ochrona przyrody. Rodzaj zadrzewień w terenach rolniczych (śródpolnych, uprawy alejowej) przyczynia się do wzbogacenia różnorodności biologicznej i poprawy funkcjonowania ekosystemów [Tyszko-Chmielowiec 2012].

Miejskie nasadzenia drzew są zazwyczaj zdominowane przez kilka gatunków drzew o krótkich okresach kwitnienia co skutkuje ograniczonym bytowaniem owadów zapylających. Pszczoły, które potrzebują dużej ilości nektaru i pyłków przez cały okres aktywności kolonii (kwiecień-wrzesień), mogą być szczególnie dotknięte niedoborem lub małą dostępnością składników odżywczych [Somme i in. 2016]. Stosowanie szpalerów z drzew miódodajnych w okresie od lipca do sierpnia (takich jak drzewa z rodzaju *Catalpa*) może być ważnym źródłem składników odżywczych dla pszczół w okresie letnim i jesiennym.

2.5. Potrzeby nawadniania roślin

Źródłem wody dla roślin uprawianych w warunkach Polski są przede wszystkim opady atmosferyczne. Polska na tle Europy ma jeden z najgorszych bilansów wodnych. Powodem takiej sytuacji są niskie opady roczne (średnio dla całego kraju ok. 600 mm oraz dla Polski centralnej w granicach 500-550 mm), niewielki udział dopływu rzecznoego spoza powierzchni Polski (13%) oraz wysoka ewapotranspiracja (ok. 450 mm). W przyszłości ograniczone zasoby wód mogą powodować zahamowanie rozwoju gospodarczo-społecznego, co skutkować będzie pogorszeniem stanu środowiska naturalnego. Zakłada się, że przy obecnych prognozach szybkiego wzrostu światowej populacji, zapotrzebowanie na wodę będzie wzrastać w takim samym tempie [Treder 2022]. W przyszłości należy spodziewać się pogorszenia aktualnego bilansu wodnego ze względu na prawdopodobieństwo wzmożenia częstotliwości okresów posusznych a także wzrostu temperatury powietrza i ewapotranspiracji [Kuchar i in. 2015].

W latach 1960-2000 z powodu zwiększenia nawadnianych powierzchni uprawowych zużycie wody w skali światowej wzrosło dwukrotnie. W związku z rozwojem sytuacji gospodarczo-społecznej wydaje się konieczne stworzenie procedur na rzecz racjonalnego wykorzystania wody, jej gromadzenia oraz ochrony. W związku z intensyfikacją działań w obszarze wykorzystania wody w sektorze rolniczym i zminimalizowaniem jej strat konieczne jest wprowadzenie metod integrowanego nawadniania. Istotą tego działania jest nawadnianie, które przyniosłoby oczekiwane efekty poprawy wysokości plonów oraz ich jakości. Ważnym czynnikiem w eliminowaniu błędnych decyzji nawodnieniowych jest zastosowanie systemów automatycznego nawadniania [Treder i in. 2021]. W Polsce, odmiennie do krajów położonych w cieplejszych

strefach klimatycznych, nawadnianie roślin ma zasadniczo charakter interwencyjny.

W produkcjach szkółkarskich największe znaczenie w sezonie wegetacyjnym przypisuje się dostępności wody łatwo dostępnej dla roślin. Szczególnie krytycznym jest okres maj- sierpień, w którym mogą występować niedobory wody i wysokie temperatury powietrza. Okres ten jest kluczowy dla kiełkowania nasion i prac związanych z szkółkowaniem siewek. Woda staje się dostępna dla roślin w zależności od siły ssącej gleby. Wyróżniamy więc wodę łatwo oraz trudno dostępną. Woda łatwo dostępna występuje w przedziale od połowej pojemności wodnej (PPW) do początku hamowania wzrostu roślin. W większości gleb odpowiada to zakresowi 2,0-2,7 pF. Woda przy wartości pF powyżej 2,7 staje się coraz trudniejsza do wykorzystania a przy wartości pF 4,2 możliwości poboru ustają [Pierzgalski i in. 2002]. Uprawa w warunkach szkółkarskich na gruntach piaszczystych jest więc bardziej narażona na okresowe niedobory wody. Szczególne znaczenie w tego typu produkcjach ma więc stała kontrola wilgotności gleby do poziomu optymalnego, zapewniającego prawidłowy rozwój rozsady szkółkarskiej [Babiński i Bialkiewicz 1999].

Celem stosowania nawodnień jest utrzymanie zapasu wody łatwo dostępnej w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu i uzupełnienie okresowych niedoborów wód opadowych w stosunku do wymagań uprawowych. Niedobory w ujęciu średnim wieloletnim wynikają z małej ilości opadów w porównaniu z zapotrzebowaniem uprawianych roślin liczonych za pomocą wskaźników ewapotranspiracji lub opadów optymalnych [Rzekanowski i in. 2011]. W warunkach klimatycznych Polski niekorzystny bilans wodny, większe prawdopodobieństwo występowania okresów posusznych oraz największy deficyt opadowy występuje w tzw. Krainie Wielkich Dolin (teren zajmujący pas nizin środkowopolskich z południowo – wschodnim skrawkiem Niziny Środkowomazowieckiej, Niziny Południowopodlaskiej i częściowo Polesia Wołyńskiego) [Rzekanowski 2010, Łabędzki i in. 2011, Żarski 2011]. Do tego terenu zaliczamy region bydgoski, w którym prowadzono badania własne będące przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej. Obecnie stosowanie nawodnień jest w niektórych regionach kraju konieczne, stanowiąc nierzadko podstawowy czynnik kształtujący stosunki wodne w glebie do uzyskania efektów uprawowych, między innymi ze względu na występujące okresy posuszne, zwiększenie liczby lat z niedoborem opadów a także zwiększenie częstotliwości występowania lat suchych [Trygiel-Gać i Treder 2017, Żarski i in. 2013, Pierzgalski i Jeznach 2006, Łabędzki 2009]. Celem zapobiegania skutkom suszy w prowadzonych uprawach jest więc nawadnianie, które gwarantuje prawidłowy rytm wzrostu i rozwoju roślin oraz intensyfikuje procesy fizjologiczne. Ostatecznie skutkiem tych działań jest wzrost plonu i jego jakości [Dzieżyc i Nowak 1993, Rolbiecki i in. 2000, Lipiński 2012].

W polskich warunkach wyróżnia się trzy zasadnicze kryteria stosowania nawodnień: klimatyczne, glebowe i ekonomiczne. Zgodnie z kryterium klimatycznym należy wykorzystywać systemy nawadniania na obszarach

cechujących się największymi deficytami opadów atmosferycznych w okresie sezonu wegetacyjnego. Kryterium glebowe dotyczy możliwości retencyjnych gleb, a w szczególności gleb kompleksu żytanego dobrego, słabego i bardzo słabego. Ostatnim kryterium decydującym o podjęciu decyzji instalacyjnej jest kryterium ekonomiczne. Zgodnie z tym kryterium nawadnianie ma skutkować uzyskaniem takiego przyrostu plonu, który zrekompensuje nakłady poniesione w celu uzyskania lepszego jakościowo plonu oraz dodatkowo przyniesie zysk zarządzającemu. Działanie zmierzające do efektywnego oszczędzania wody w produkcji roślinnej jest nie tylko oznaką proekologicznych zachowań, ale również wpływa na sytuację ekonomiczną. Należy więc oszczędnie gospodarować zasobami wodnymi, a wodę z ujęć pobierać tylko zgodnie z regulacjami opisanymi w Prawie Wodnym. Oszczędzanie wody powinno być rutynowym działaniem nie tylko w produkcji rolno-ogrodniczej, ale również w życiu codziennym [Treder i in. 2019].

Najlepsze efekty jakościowe uzyskujemy nawadniając rośliny ogrodnicze oraz warzywne [Rolbiecki 2021]. Najwyższą wydajność i wodooszczędność oferują mikronawodnienia. Wykorzystywanie takich systemów staje się coraz bardziej powszechne w intensywnym warzywnictwie polowym, szkółkarstwie i sadownictwie z powodu wysokiej efektywności, małych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych [Hewelke 1992, Treder i in. 2011].

2.5.1. Powierzchniowe i podpowierzchniowe nawadnianie kropłowe

Nawadnianie kropłowe z definicji możemy przedstawić jako sposób zwilżania wodą gleby poprzez podanie precyzyjnie dobranych dawek wody w postaci kropel lub stróżek wody w określonych miejscach. Woda dostarczana jest punktowo wybranym roślinom za pomocą przewodów elastycznych z wbudowanymi kroploownikami (tzw. emiterami kropel). Przewody elastyczne układa się na powierzchni gleby lub zakopuje pod powierzchnią gruntu w taki sposób, aby dozowana dawka wody kierowana była bezpośrednio do strefy korzeniowej roślin [Kaniszewski 2005; Pływaczyk 2006]. Woda w nawodnieniach kropłowych podawana jest przez kroploowniki (emitery) charakteryzujące się niewielkim, jednostkowym wydatkiem (w zakresie od 0,5 - do kilku litrów/h). Kroploowniki mogą występować w kilku wariantach: liniowe- montowane między poszczególnymi odcinkami przewodu polietylenowego, guzikowe- montowane bezpośrednio do przewodu w określonym przez użytkownika miejscu, zatapiane- występujące w materiałach nawodnieniowych takich jak linie i taśmy kroplujące, gdzie kroploowniki zostały trwale umieszczone w konstrukcji przewodu podczas procesu produkcyjnego [Treder i in. 2019]. Typowy system nawadniania kropłowego składa się z następujących elementów: ujęcia wody (np. woda z ujęcia publicznej sieci wodociągowej, studzienna lub ze zbiorników napowierzchniowych), urządzenia pompującego wodę do rurociągów głównych

(pompy głębinowe, hydroforowe, zanurzeniowe), urządzenia kontrolne i sterujące (zawory ręczne, elektrozawory, manometry, wodomierze), urządzenia do uzdatniania wody (filtry mechaniczne, węglowe i żywiczne, odżelaziacze, odmanganiacze, lampy bakteriobójcze), dozowniki nawozów mineralnych (dozowniki inżektorowe, dozowniki proporcjonalnego mieszania Dosatron), rurociągi doprowadzające wodę oraz elastyczne przewody liniowe wyposażone w emitory [Drupka 1980; Kaniszewski 2005, Rolbiecki 2021].

Technologie nawodnień kropłowych mają wiele zalet w porównaniu z innymi sposobami nawadniania: miejscowe podawanie dawek wody (precyzyjnie w miejsce rozmieszczenia systemu korzeniowego), minimalizowanie strat spowodowanych parowaniem (zmniejszona powierzchnia zwilżania zmniejsza straty wody), likwidacja strat wody na terenach pobliskich, nieprzeznaczonych do nawadniania (woda nie jest dozowana poza bezpośredni obszar linii kropłującej), dostosowanie do każdej przestrzeni niezależnie od kształtu, wielkości czy ukształtowania terenu, zmniejszenie zachwaszczenia (poprzez ograniczenie nawadnianego obszaru minimalizujemy warunki do kiełkowania i rozwoju chwastów jednorocznych i wieloletnich), możliwość połączenia nawadniania z nawożeniem (jednoczesne stosowanie roztworu z wody i składników odżywczych w formie tzw. pożywki oszczędza siłę roboczą oraz park maszynowy potrzebny do aplikacji nawozów), możliwości zastosowania systemów automatyzacji i kontroli nawadniania (montaż automatycznych sterowników nawadniania umożliwia łatwy i nierzadko zdalny dostęp do nawadniania kropłowego uprawy), zastosowanie w trudnodostępnych terenach (możliwość udanego stosowania na stromych zboczach, płytkich i ubitych rodzajach gleb o zmniejszonej infiltracji i gleb o małej zdolności do zatrzymywania wody), montaż systemów kropłowych nie koliduje z innymi pracami pielęgnacyjnymi upraw w trakcie sezonu wegetacyjnego (brak punktów kolizyjnych np. w trakcie wykonywania oprysków, cięcia czy zbioru owoców), brak zakłóceń nawodnieniowych podczas porywistych wiatrów (w przeciwieństwie do nawadniania zraszacami), niewielkie zapotrzebowanie na energię (niskie ciśnienie robocze ogranicza zużycie energii elektrycznej w stosunku do zmechanizowanych systemów), zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia chorób grzybowych (nawadnianie kropłowe nie powoduje zwilżania ulistnienia), wysoki współczynnik wykorzystania wody (w granicach 90-85% a w przypadku zastosowania deszczowni w granicach 70-80%), stosunkowo niskie koszty eksploatacji w porównaniu z instalacją deszczowni [Moshe 2005].

Do wad nawadniania kropłowego możemy zaliczyć: znaczącą wrażliwość na jakość wody (podczas procesu nawadniania zagrożeniem są zanieczyszczenia mechaniczne oraz chemiczne np. wytrącające się tlenki żelaza i manganu, które powodują zatykanie kropłowników), ograniczone optymalne ciśnienie robocze (system działa prawidłowo w zakresie od 0,1-2,0 MPa, a każda znacząca zmiana powodująca podwyższenie ciśnienia będzie skutkować nieprawidłowościami w pracy, zwłaszcza przy określeniu faktycznej dawki polewowej z kropłownika)

[Jurczak 2020; Pływaczyk 2006]. W przypadku zastosowania nawadniania z nawożeniem (fertygacji) istnieje prawdopodobieństwo zatkania emiterów kroplujących wskutek odparowania wody z roztworu pożywkowego. Zapobieganie temu zjawisku wymaga każdorazowo po aplikowaniu fertygacji zastosowanie przepłukania całego systemu czystą wodą [Leciejewski 2011]. Kolejną wadą jest podatność na uszkodzenia powierzchniowe linii kroplujących przez zwierzęta (cienkościenne taśmy i małe kroplozniki mogą być podatne na uszkodzenia przez gryzonie, szczury, krety, dziki i dzięcioły), niewielki wpływ na kształtowanie mikroklimatu uprawy (brak zwiększonego parowania podczas upału), ograniczenie objętości systemu korzeniowego (częste stosowanie nawadniania kropłowego na ograniczonej powierzchni prowadzi do zmniejszenia powierzchni strefy korzeniowej i w konsekwencji może prowadzić do sytuacji stresowych podczas upałów wraz z zmniejszeniem odporności na uszkodzenia mechaniczne powstałe w wyniku nagłego, bocznego podmuchu wiatru) [Moshe 2005].

W Polsce nawadnianie kropłowe stosowane jest głównie do nawadniania m.in. upraw warzywnych takich jak burak ćwikłowy, dynia olbrzymia, dynia zwyczajna (odmiana botaniczna cukinia), fasola szparagowa, marchew jadalna, rzodkiewka, sałata krucha [Rolbiecki i in. 2002]. System nawadniania kropłowego z powodzeniem stosowany jest również w uprawach chmielu [Skromna 2015], borówki wysokiej [Reszka i in. 2017] czy szparagów [Rolbiecki 2013]. W takich krajach jak USA, Australia, Izrael nawadnianie kropłowe stosowane są także do nawadniania upraw rolniczych (np. kukurydzy) [El-Hendawy i in. 2008].

Aby wspomóc procesy decyzyjne w polskim ogrodnictwie Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach opracował stronę internetową pt. „*Internetowa platforma wspomagania decyzji nawodnieniowych*” z którą użytkownicy bez opłat mogą zaplanować nawadnianie i metody szacowania potrzeb wodnych roślin sadowniczych i ogrodniczych. Baza posiada budowę modułową, co pozwala na stopniową rozbudowę serwisu i uzupełnianie jego elementów o nowe składniki zwiększające atrakcyjność nawodnień. Serwis zawiera aktualne i historyczne dane meteorologiczne mierzone przez kilka automatycznych stacji pomiarowych rozlokowanych w województwach w kraju, narzędzia do wyznaczania bilansu klimatycznego, słownik pojęć nawodnieniowych, bazę aktualnych artykułów związanych z tematyką nawodnieniową. Bardzo ważnym elementem serwisu są także aplikacje pomocne przy wyznaczaniu potrzeb wodnych oraz dawek nawodnieniowych. Opracowane kalkulatory umożliwiają szacowanie potrzeb wodnych na podstawie pomiarów parametrów meteorologicznych oraz ewapotranspiracji [Treder i in. 2013].

Nawadnianie podpowierzchniowe to metoda stosowania wody do nawadniania bezpośrednio w strefę korzeniową profilu glebowego za pomocą przewodu irygacyjnego [Camp 1998]. Podpowierzchniowe nawadnianie kropłowe ma tę zaletę, że oszczędza wodę w porównaniu z powierzchniowym nawadnianiem kropłowym. Zastosowanie podpowierzchniowego nawadniania

kropłowego wspomaga proces produkcji roślinnej z wieloma korzyściami, takimi jak stosowanie wody i składników pokarmowych w najbardziej wrażliwej części strefy korzeniowej [Elnemr 2021; Patel i Rajput, 2007]. Ponadto istotna zaleta systemów nawadniania podpowierzchniowego zmniejsza straty - takie jak parowanie i powierzchniowe odpływy w porównaniu z nawadnianiem powierzchniowym [Montazar i in. 2017].

W nawadnianiu kropłowym ważnym aspektem jest siła kapilarna wpływająca na rozkład wody w glebie. W procesie infiltracji, który polega na grawitacyjnym przemieszczaniu się wód powierzchniowych lub opadowych wyróżniamy dwie zasadnicze fazy: nasycania gleby wodą oraz przemieszczania jej w głąb profilu glebowego [Koszański i in. 1985]. Sposób dystrybucji wody w glebie różni się od siebie przy zastosowaniu nawadniania powierzchniowego i podpowierzchniowego systemu nawadniania. Wymiary infiltracji zależą od rodzaju gleby i natężenia przepływu emitera (kroploznika). Na glebie piaszczystej infiltracja jest niewielkich rozmiarów. W glebach o cięższej strukturze średnica infiltracji jest większa. Przepływ wody w glebie przebiega zgodnie z trójwymiarowym schematem, w porównaniu z jednowymiarowym widzianym z powierzchni gleby. W przypadku podpowierzchniowego nawadniania nawilżenie przybiera inny kształt – woda porusza się w dół, na boki, a także w górę, podczas gdy w nawadnianiu powierzchniowym obserwujemy tylko ruch w dół i na boki. W przypadku zakładania upraw schemat dystrybucji wody będzie miał wpływ na kształtowanie się strefy korzeniowej rośliny uprawnej, dlatego wybór techniki nawadniania zasadniczo wpływa na parametry jakościowe materiału roślinnego [Reinders i in. 2012].

Nawadnianie kropłowe wymaga okresowej kontroli i konserwacji składowych systemu. Podczas prac konserwacyjnych należy zwrócić szczególną uwagę na: kroplozniki (wąskie kanały w kroploznikach są podatne na zatykanie), ciśnienie robocze układu (niskie ciśnienie instalacji sprawia, że jest ona bardzo wrażliwa na nagłe skoki ciśnienia), filtry (zanieczyszczone filtry mogą zmniejszać wydajność i ciśnienie układu), osady (zewnętrzne w okolicach kroplozników które wymagają czyszczenia lub płukania). Najlepszą praktyką konserwacyjną jest okresowa i szczegółowa inspekcja instalacji nawodnieniowej. Odstępy czasowe między kolejnymi przeglądami powinny być uzależnione od dostępnej jakości wody, która jest kluczowym warunkiem bezproblemowego działania. W sprzyjających warunkach inspekcje mogą odbywać się z tygodniowymi i miesięcznymi interwałami. Monitorowanie wydajności nie jest łatwym zadaniem zwłaszcza przy podpowierzchniowych systemach kropłowych ze względu na brak wizualnej kontroli (umieszczenie kroplozników pod powierzchnią gruntu). Niemniej jednak istnieją procedury, które dają możliwość oszacowania prawidłowego działania instalacji. Zasadniczym krokiem będzie sprawdzenie godzinowego natężenia przepływu w wodomierzu głównym i porównanie odczytów z projektowanym przepływem. Znaczne odchylenie od projektowanego przepływu jest oznaką awarii. Natężenie przepływu, które jest niższe może wskazywać na zatkane kroplozniki, natomiast wyższe przepływy

mogą świadczyć o rozszczelnieniach połączeń i pęknięciach w obrębie rurociągów doprowadzających lub kroplowników [Moshe 2005].

Obecnie trwają badania nad wprowadzeniem usprawnień w podpowierzchniowych systemach nawadniających poprzez wprowadzanie materiałów membranowych, emiterów ceramicznych, nowych materiałów do produkcji rur podpowierzchniowych, emiterów na bazie gumy [Alrubaye i Yusuf 2021].

Podsumowując, zastosowanie nawadniania kropłowego (napowierzchniowego lub podpowierzchniowego) przyczynia się do znacznego ograniczenia zużycia wody w uprawach szpalerowych dzięki wysokiej energooszczędności i punktowemu dawkowaniu do systemu korzeniowego [Nyc 1996].

3. METODYKA BADAŃ

3.1. Lokalizacja pola doświadczalnego

Badania były realizowane na terenie szkółki leśnej Nadleśnictwa Bydgoszcz w Białych Błotach (współrzędne: 53°06'45.9"N 17°56'29.8"E) (Rys. 1). Szkołka zlokalizowana jest ok. 2 km na południowy zachód od granic miasta Bydgoszcz. Miejscowość Białe Błota położona jest w centralnej części powiatu bydgoskiego w województwie kujawsko-pomorskim, na obszarze zwanym Pradolina Toruńsko-Eberswaldzką, w pobliżu Kanału Noteckiego. 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].



Rys. 1. Lokalizacja pola doświadczalnego (opracowanie własne)

3.2. Charakterystyka gleby pola doświadczalnego

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 badaną glebę w warstwie 0-30 cm zaklasyfikowano do kategorii agronomicznej gleba lekka, natomiast w warstwie 30-60 cm jako bardzo gleba lekka. W przygotowanych próbkach (wysuszonych i przesianych przez sito o średnicy 2,0 mm) oznaczono skład granulometryczny metodą dyfrakcji laserowej analizatorem MS 2000 firmy MALVERN. Określono wartości wskaźnika pH – potencjometrycznie na pH-metrze (w roztworze soli 1 M KCl). Standardową zawiesinę dla próbek mineralnych sporządzono w stosunku gleby do roztworu 1:2,5. Oznaczono zawartość form P i K przyswajalnych dla roślin – metodą Egnera-Riehma oraz zawartość Mg przyswajalnego dla roślin – metodą Schachtschabela. Zawartość węgla organicznego i azotu ogółem określono na analizatorze Vario Max CN. Przewodnictwo elektrolityczne roztworu glebowego oznaczono metodą konduktometryczną – aparatem Elmetron EPC-551. Oznaczono całkowitą zawartość Zn, Cu, Mn i Fe po mineralizacji w mieszaninie kwasów HF i HClO₄ oraz wykonano oznaczenia zawartości ich form przyswajalnych dla roślin w roztworze 1 M HCl. Zawartość K, Mg, Zn, Cu, Mn i Fe oznaczono aparatem ASA Thermo Solaar S4. Fosfor przyswajany dla roślin oznaczono spektrofotometrem. Zawartości badanych metali porównano z liczbami granicznymi.

Badania właściwości fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych próbek glebowych wykonano w laboratoriach Katedry Biogeochemii i Gleboznawstwa Politechniki Bydgoskiej. Średnie procentowe zawartości poszczególnych frakcji granulometrycznych przedstawiono w tabeli 1. Pozostałe parametry glebowe zawarte są tabeli 2.

Tabela 1. Zawartość frakcji granulometrycznych (%) według PTG 2008 [PTG 2009]

Gatunek	Głębokość (cm)	Procentowy udział frakcji granulometrycznych			Podgrupa granul.	Kategoria agronomiczna
		2,0-0,05 mm	0,05-0,002 mm	< 0,002 mm		
Surmia bignoniowa	0-30	74,6	23,7	1,5	Piasek gliniasty	lekka
Surmia żółtokwiatowa		72,6	25,9	1,4	Piasek gliniasty	lekka
Średnia		73,6	24,8	1,5	-	

Surmia bignoniowa	30-60	84,8	13,7	1,4	Piasek gliniasty	Bardzo lekka
Surmia żółtokwiatowa		83,2	15,1	1,6	Piasek gliniasty	Bardzo lekka
Średnia		84,0	14,4	1,5	-	

Gleba pobrana z pola doświadczalnego w warstwie powierzchniowej i podpowierzchniowej charakteryzowała się bardzo niską zasobnością w przyswajalne dla roślin formy fosforu i potasu. Zawartość przyswajalnego magnezu w obu warstwach wskazywała na średnią klasę zawartości w magnez przyswajalny dla roślin. Odczyn gleby w warstwie 0-30 cm był obojętny, w warstwie 30-60 cm lekko kwaśny. Pomiar wskaźnika pH w roztworze 1M KCl wykazał zbędną potrzebę wapnowania. Całkowita zawartość cynku, miedzi, manganu i żelaza nie wskazała, że są to gleby zanieczyszczone tymi metalami. W warstwie powierzchniowej stwierdzono wysoką klasę zawartości cynku przyswajalnego dla roślin i średnią w warstwie podpowierzchniowej. Stwierdzono niską klasę zawartości miedzi w obu warstwach glebowych, średnią klasę zawartości manganu w obu warstwach. Zawartość żelaza w warstwie powierzchniowej wskazywała na średnią klasę zawartości, natomiast w warstwie podpowierzchniowej na niską. Gleba była relatywnie zasobna w węgiel organiczny, ponieważ odnotowano średnią zawartość wynoszącą 24,10 g·kg⁻¹.

Tabela 2. Podstawowe parametry glebowe

Parametr	Warstwa 0-30 cm	Warstwa 30-60 cm
pH w 1M KCl	6,6 ± 0,28	6,5 ± 0,26
C organiczny (g·kg ⁻¹ s.m.)	24,10 ± 0,50	7,3 ± 0,37
N ogólny (g·kg ⁻¹ s.m.)	1,82 ± 0,45	0,41 ± 0,15
C:N	13,5 ± 1,25	6,5 ± 0,76
P ₂ O ₅ * (mg·kg ⁻¹ s.m.)	38,0 ± 2,57	30,0 ± 1,97
K ₂ O* (mg·kg g ⁻¹ s.m.)	54,3 ± 3,95	34,9 ± 2,14
Mg* (mg·kg g ⁻¹ s.m.)	35,20 ± 4,51	29,0 ± 3,00
Zn _c (mg·kg ⁻¹ s.m.)	31,4 ± 3,90	20,1 ± 4,13
Cu _c (mg·kg ⁻¹ s.m.)	6,20 ± 1,28	4,8 ± 0,82
Mn _c (mg·kg ⁻¹ s.m.)	161,0 ± 18,2	94,0 ± 8,81
Fe _c (g·kg ⁻¹ s.m.)	4,21 ± 0,17	2,94 ± 0,14
Zn _a (mg·kg ⁻¹ s.m.)	10,4 ± 2,42	2,8 ± 0,52
Cu _a (mg·kg ⁻¹ s.m.)	0,62 ± 0,19	0,28 ± 0,04

Mn _a (mg·kg ⁻¹ s.m.)	86,45 ± 15,53	36,5 ± 2,05
Fe _a (mg·kg ⁻¹ s.m.)	1151 ± 189,0	688 ± 75,1
EC-przewodnictwo elektrolityczne (μS·cm ⁻¹)	39,4 ± 6,42	35,1 ± 10,11

a – przyswajalne formy pierwiastków, c – całkowita zawartość pierwiastków,

* – zawartość przyswajalna dla roślin

Biorąc pod uwagę skład granulometryczny do głębokości 0,6 m glebę zakwalifikować można do II kategorii podatności na suszę. Gleby tej kategorii charakteryzują się ograniczoną pojemnością wodną tj. woda ogólnie dostępna dla roślin mieści się w zakresie 127,5-169,9 mm [Doroszewski i in. 2012].

Niska pojemność wodna pola doświadczalnego wpływa na słabą zdolność do zaopatrywania roślin w wodę. Zwierciadło wody gruntowej terenu szkółki znajdowało się w sezonie wegetacyjnym poniżej 1,5 m głębokości i nie miało to wpływu na gospodarkę wodną. Obszar badań charakteryzował się opadową gospodarką wodną gleby.

Ze względu na ograniczoną pojemność wodną, gleba charakteryzowała się słabą zdolnością do ciągłego zaopatrywania roślin w wodę. Efektywna retencja użyteczna w warstwie o kontrolowanym uwilgotnieniu 0-60 cm wynosiła 50,9 mm (tabela 3).

Tabela 3. Wybrane właściwości wodne gleby na terenie szkółki leśnej Nadleśnictwa Bydgoszcz [mm]

Głębokość (cm)	Zapas wody (mm)			Retencja użyteczna (mm)	Efektywna retencja użyteczna (mm)
	połowej pojemności wodnej	wilgotności krytycznej	wilgotności trwałego więdnięcia		
0-30	60,00	30,10	11,25	48,75	29,90
30-60	42,00	21,00	5,10	36,90	21,00
0-60	102,00	51,10	16,35	85,65	50,90

3.3. Opis badań polowych oraz stosowanych metod badawczych

Badanie przeprowadzono w dwuczynnikowym układzie split-plot w czterech kolejnych latach od 2019 do 2022 r. jako ściśle doświadczenie polowe (Rys. 2). Badanie obejmowało uprawę surmii w nasadzeniu szpalerowym. Czynnikiem doświadczenia były:

I czynnik – podpowierzchniowe nawadnianie kropłowe:

- W0: kontrola, brak podpowierzchniowego nawadniania kropłowego

- W1: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa
- W2: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa

II czynnik – gatunek:

- Surmia bignoniowa (*Catalpa bignonioides*)
- Surmia żółtokwiatowa (*Catalpa ovata*)

Doświadczenie prowadzone było w 7 powtórzeniach w każdej z 6 kombinacji. Powtórzenie stanowiło pojedyncze drzewo. Analizie podlegało 5 powtórzeń - dane dotyczące drzew skrajnie położonych w obrębie wariantów pominięto z powodu efektu brzegowego. Drzewa posadzono z rozstawem rzędów 3,0 m, odległość między pojedynczymi powtórzeniami w rzędzie wynosiła 1,5 m. Do nasadzeń szpalerowych wykorzystano dwuletnie sadzonki wyprodukowane w szkółce leśnej Białe Błota. Szczegółowy schemat nasadzeń szpalerowych przedstawiam (Rys. 2).

W trakcie trwania badania prowadzono ciągły pomiar wilgotności gleby, przy użyciu czujników wilgotności gleby Watermark oraz dokonywano cyklicznych (co 30 dni) pomiarów parametrów wzrostu drzewa: wysokości (cm), średnicy pędu głównego w mm (na wysokości 5 cm od poziomu gruntu), ilości pędów bocznych (szt.), liczbę liści (co 30 dni). W końcowym okresie każdego sezonu wegetacyjnego dokonywano pomiaru szerokości nasadzeń szpalerowych w celu określenia wskaźnika pokrycia powierzchni k_r .

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 2l/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. Pentadowe oraz sezonowe dawki wody zastosowanej na wariantach W1 oraz W2 przedstawiono w tabelach 4 i 5. Jednorazowe dawki wody podpowierzchniowego nawadniania obu gatunków surmii kształtowały się w przedziale 3-12 mm. Sumaryczne dawki w ujęciu pentadowym przeliczone na wysokość warstwy opadu zawierały się w zależności od warunków atmosferycznych w zakresie od 3 do 12 mm. Najwyższe dawki wody w ujęciu miesięcznym (niezależnie od wariantu nawadniania) stosowano od czerwca do sierpnia (od 21 do 46 mm). Najniższe dawki w latach badań zastosowano w roku 2020 obfitującym w opady atmosferyczne. Sumaryczne wyższe dawki wody zastosowano na wariantach W2 i wyniosły one średnio 142,8 mm. Na wariantach W1 dawki te średnio wyniosły w latach badań 106,5 mm.

Okres nawodnieniowy obejmował pełny sezon wegetacyjny (z wyjątkiem września w roku 2019). Uruchomienie podpowierzchniowych linii kroplujących nastąpiło w I dekadzie kwietnia, a zakończenie procesu nawadniania w III dekadzie września.

Wodę do kropłowego nawadniania podpowierzchniowego czerpano z ujęcia wody gruntowej mieszczącego się na terenie szkółki w Białych Błotach. Parametry wody przedstawia tabela 6.

Na podstawie przebiegu wilgotności gleby określona została zawartość wody w warstwie o kontrolowanym uwilgotnieniu (0-60 cm) przy różnych potencjałach wilgotności gleby. Dzięki czemu obliczone zostały potrzeby wodne utożsamiane w warunkach optymalnego uwilgotnienia z połowym zużyciem wody. Na podstawie analizy opadów atmosferycznych oraz potrzeb wodnych obliczone zostały niedobory wody oraz potrzeby kropłowego nawadniania podpowierzchniowego surmii.

W ostatnim roku przeprowadzania badania wykonano analizę przekroju systemu korzeniowego każdego wariantu doświadczenia. Zastosowano metodę profilu glebowego, opracowaną przez Oskampa, a opisaną przez Böhma [1985], dającą obraz rozmieszczenia korzeni drzew rosnących w rzędach. Analizę przeprowadzono na profilu o szerokości 1,2 m i głębokości 60 cm. Badany profil podzielono na pasy o wysokości 10 cm, w których określono liczebność korzeni w trzech typach grubości tj. < 1 mm, 1-3 mm, > 3 mm. Dane przedstawiono w tabelach przedstawiając liczebność korzeni w przeliczeniu na 0,6 m² profilu korzeniowego.

Określono wskaźnik powierzchni liści (LAI- *leaf area index*). Wskaźnik ten definiowany jest jako stosunek sumarycznej powierzchni wszystkich liści (tylko jednej ich strony) do powierzchni gleby, nad którą się znajdują. Wielkość ta odwzorowuje rozwój roślinności i jest powiązana z procesem m.in. fotosyntezy i ewapotranspiracji [Leśny i in., 2007]. LAI jest wielkością bezwymiarową opisaną wzorem (Scurlock i in. 2001):

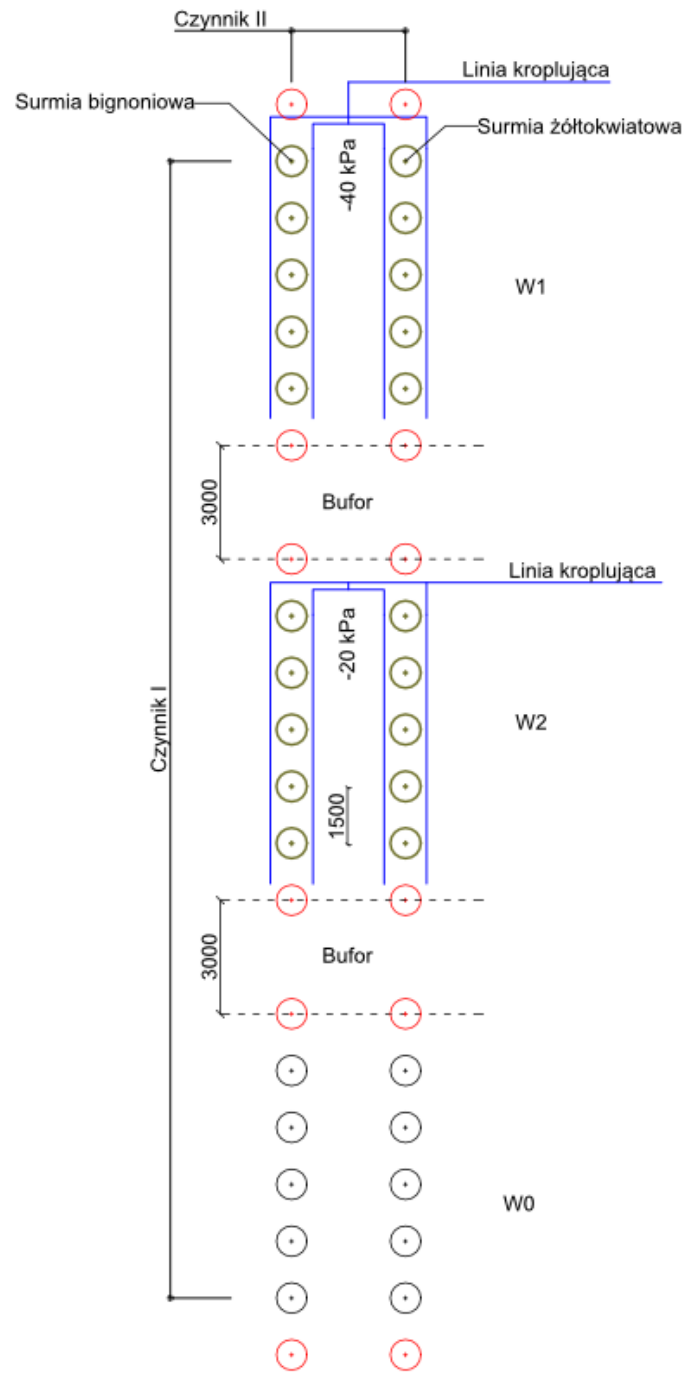
$$LAI = s/G \text{ [m}^2 \text{ m}^{-2}\text{]}$$

gdzie:

s – funkcjonalna powierzchnia liści

G – jednostka powierzchni terenu

Obliczenia statystyczne zostały wykonane za pomocą pakietu obliczeniowego ANALWAR-5FR, wykorzystując test Fishera-Snedecora w celu stwierdzenia istotności działania czynników doświadczenia oraz test Tukeya dla porównania otrzymanych różnic na poziomie istotności P = 0,05. Przy użyciu arkusza kalkulacyjnego EXCEL wyznaczono współczynniki korelacji.



Rys. 2. Schemat nasadzeń szpalerowych (opracowanie własne)

Tabela 4. Pentadowe oraz sezonowe dawki wody zastosowanej na wariantach W1 (mm)

Okres	Pentada	Miesiąc						Suma
Rok		IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
2019	I	-	-	-	-	-	-	
	II	-	6	6	6	6	-	
	III	-	-	-	3	-	-	
	IV	-	-	9	3	-	-	
	V	-	-	-	-	6	-	
	VI	9	3	9	6	6	-	
	I-VI	9	9	24	18	18	0	78
2020	I	-	-	3	3	-	-	
	II	-	3	-	-	-	-	
	III	-	6	-	-	6	6	
	IV	6	3	-	-	3	-	
	V	-	-	-	-	-	-	
	VI	6	6	-	3	-	-	
	I-VI	12	18	3	6	9	6	54
2021	I	-	-	-	-	-	-	
	II	-	-	12	9	12	9	
	III	-	-	-	-	-	-	
	IV	-	12	9	-	9	-	
	V	-	-	-	6	-	9	
	VI	12	9	-	9	12	-	
	I-VI	12	21	21	24	33	18	129
2022	I	-	6	12	-	9	-	
	II	-	3	9	-	9	-	
	III	-	9	6	3	-	-	
	IV	-	-	-	9	6	12	
	V	9	3	12	-	9	-	
	VI	9	-	6	9	9	6	
	I-VI	18	21	45	21	42	18	165
2019-2022	Średnia	12,8	17,3	23,3	17,3	25,5	10,5	106,5

Tabela 5. Pentadowe oraz sezonowe dawki wody zastosowanej na wariantach W1 (mm)

Okres	Pentada	Miesiąc						Suma
Rok		IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
2019	I	-	3	6	6	-	-	
	II	-	-	3	3	6	-	
	III	6	-	-	6	3	-	
	IV	-	-	-	3	3	3	
	V	6	3	6	3	3	-	
	VI	3	3	6	6	6	-	
	I-VI	15	9	21	27	21	3	96
2020	I	-	3	3	6	-	-	
	II	6	6	-	-	3	-	
	III	3	-	-	-	3	6	
	IV	6	6	-	-	3	3	
	V	3	-	-	3	3	-	
	VI	3	6	-	3	-	-	
	I-VI	21	21	3	12	12	9	78
2021	I	-	-	6	3	9	9	
	II	9	-	6	6	6	6	
	III	-	-	6	6	9	-	
	IV	-	9	6	6	9	-	
	V	6	9	-	6	6	6	
	VI	3	9	6	6	3	3	
	I-VI	18	27	30	33	46	24	178
2022	I	-	6	9	3	9	6	
	II	3	6	9	6	9	6	
	III	6	6	9	6	3	6	
	IV	-	6	9	6	9	6	
	V	9	6	9	6	9	-	
	VI	6	3	9	6	9	3	
	I-VI	24	33	54	33	48	27	219
2019-2022	Średnia	19,5	22,5	27,0	26,3	31,8	15,8	142,8

Tabela 6. Parametry wody stosowanej do nawadniania w szkółce leśnej.

Lp.	Nazwa oznaczenia	Jednostka miary	Zawartość	Metoda badawcza
1	Odczyn (pH)	-	7,66	PN-C-04540-01:1990
2	Zasadowość HCO ₃ ⁻	mg/dm ³	189	PN-C-04540-03:1990 +Az1:2003
3	Twardość	mgCaCO ₃ /dm ³	195	PN-ISO 6059:1999
4.	Potas (K)	mg/dm ³	1,58	PN-ISO-9964-3:1994 + AK: 1997
5.	Sód (na)	mg/dm ³	6,68	PN-ISO-9964-3:1994 + AK: 1997
6.	Magnez (Mg)	mg/dm ³	7,78	PB 39 edycja 4 z dn. 06.12.2017 r.
7.	Wapń (Ca)	mg/dm ³	65,3	PN-ISO 6058:1999
8.	Chlorki (Cl ⁻)	mg/dm ³	18,9	PN-ISO 9297:1994
9.	Przewodnictwo EC	μS/cm	143	PN-EN 27888:1999
10	Azotany NO ₃ ⁻	mg/dm ³	2,78	Testy Macherey-Nagel
11.	NH ₄ ⁺	mg/dm ³	0,54	Testy Macherey-Nagel
12.	Azotany NO ₂ ⁻	mg/dm ³	0,07	PN-EN 26777:1999
13.	Mangan Mn. cał.	mg/dm ³	0,29	PB 50 edycja 3 z dn. 06.12.2017 r.
14.	Żelazo Fe cał.	mg/dm ³	1,70	PB 50 edycja 3 z dn. 06.12.2017 r.
15.	Fosforany PO ₄ ³⁻	mg/dm ³	1,29	Testy Macherey-Nagel
16.	Utlenialność	mgO ₂ / dm ³	8,02	PN-EN ISO 8467:2001
17.	Siarczany SO ₄ ²⁻	mg/dm ³	12,0	Testy Macherey-Nagel

3.4 Potrzeby wodne surmii

3.4.1 Polowe zużycie wody (S)

Polowe zużycie wody (S) jest jedną z podstawowych miar potrzeb wodnych, przy założeniu utrzymywania się zapasów wody w glebie, w przedziale wody łatwo dostępnej (WŁD) dla roślin.

W takim wypadku polowe zużycie wody możemy zakwalifikować jako ET_p zmierzone dla konkretnego gatunku. Taki stan musi trwać przez cały okres, dla którego oblicza się polowe zużycie wody. W doświadczeniu polowym z gatunkami surmii warunki optymalnego uwilgotnienia uzyskano na wszystkich obiektach nawadnianych systemem kropłowym. Polowe zużycie wody, obliczono dla surmii w wariantach W1 (-40 kPa) oraz W2 (-20 kPa).

Polowe zużycie wody obliczono z równania [Drozd i Nowak 2006]:

$$S = W_p + P - W_k$$

gdzie:

- S – polowe zużycie wody (mm),
- W_p – wilgotność początkowa (mm),
- W_k – wilgotność końcowa (mm),
- P – przychód wody (opady efektywne + nawadnianie) (mm).

Wilgotność początkowa (W_p) oraz wilgotność końcowa (W_k) określona została na podstawie odczytów ciśnienia ssącego gleby z czujników glebowych Watermark (odczyt w kPa), dla dwóch poziomów miąższości gleby: 0-30 cm oraz 30-60 cm, czyli warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu. W warstwie 0-60 cm najczęściej znajduje się ponad 80% systemu korzeniowego roślin [Drost 1996].

Z krzywych retencyjności gleby w zakresie wody łatwo dostępnej określono wilgotność w % objętościowych [$\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$]. Krzywa retencyjności gleby dla warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu została wykreślona na podstawie składu granulometrycznego gleby metodą pośrednią Varallyaya [Varallyay i Mironienko 1979].

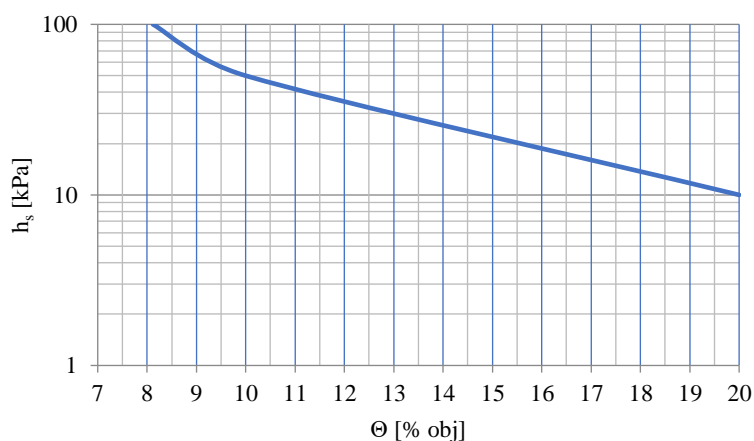
W oparciu o krzywe pF (rys. 3 i 4) dla gleby doświadczenia określono wilgotność gleby w % objętościowych i obliczono zawartość wody dla warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu [Drozd i Nowak 2006]:

$$Q = W_a \cdot h/10$$

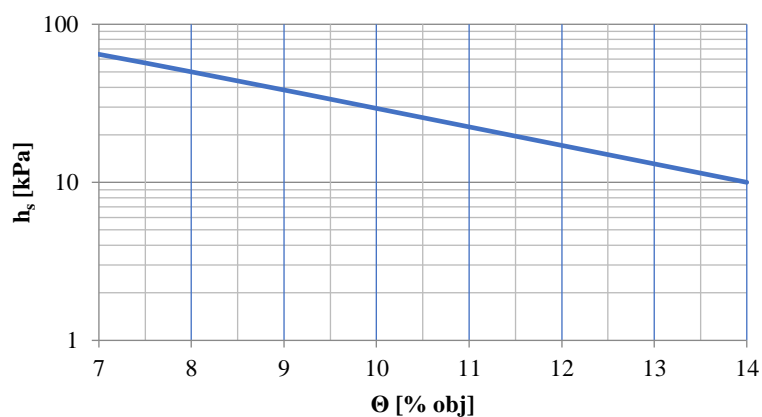
gdzie:

- Q – zapas wody (mm),
- W_a – wilgotność w % objętościowych,
- h – miąższość warstwy gleby (cm),
- 10 – przelicznik wody z $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ na $\text{mm H}_2\text{O}$.

Wynik z ww. formuły posłużył obliczeniu polowego zużycia wody dla okresu wegetacyjnego z warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu (do 60 cm głębokości). Umożliwiło to określenie zapotrzebowania na wodę w okresie wegetacyjnym surmii. Bilansowano zużycie wody w okresach pentadowych następnie obliczono zużycie dekadowe, miesięczne oraz sezonowe dla testowanych w doświadczeniu wariantów wodnych. Obliczono również średnie dobowe zużycie wody w miesiącach okresu wegetacyjnego.



Rys. 3. Krzywa retencyjności gleby w zakresie WŁD dla warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu (0-30 cm)



Rys. 4. Krzywa retencyjności gleby w zakresie WŁD dla warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu (30-60 cm)

3.4.2 Ewapotranspiracja wskaźnikowa (ET₀)

Model Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena stanowi alternatywę w określaniu ET₀ dla modelu Penmana-Monteitha, dla której zasadniczo potrzeba większej ilości danych wyjściowych [Allen i in. 1998]. Obliczenia dokonuje się według wzoru:

$$ET_0 = HC \cdot Ra (T_{max} - T_{min})^{HE} \cdot [(T_{max} + T_{min})0,5 + HT]$$

gdzie:

ET ₀	–	ewapotranspiracja wskaźnikowa (mm),
HC	–	współczynnik empiryczny autorów = 0,0025,
Ra	–	radiacja ponad atmosferą [mm·dzień ⁻¹],
T _{max}	–	temperatura maksymalna powietrza (°C),
T _{min}	–	temperatura minimalna powietrza (°C),
HE	–	współczynnik empiryczny autorów = 0,5,
HT	–	współczynnik empiryczny autorów = 16,8.

Ewapotranspirację wskaźnikową obliczono modelem Hargreavesa dla pojedynczej doby. Następnie bilansowano uzyskane wartości ET₀ dla okresów dekadowych, miesięcznych i rocznych. Dane meteorologiczne pozyskano z stacji meteorologicznej Pracowni Melioracji i Agrometeorologii Politechniki Bydgoskiej w Mochełku pod Bydgoszczą.

3.4.3 Ewapotranspiracja potencjalna (ET_p)

Dane uzyskane z wartości S oraz ET₀ posłużyły do obliczenia współczynnika roślinnego k_c w celu określenia ewapotranspiracji potencjalnej gatunków surmii w stosowanym okresie nawodnieniowym. Wartości współczynników k_c obliczono z wzoru:

$$k_c = S/ET_0$$

gdzie:

k _c	–	współczynnik roślinny do obliczenia ET _p ,
S	–	polowe zużycie wody
ET ₀	–	ewapotranspiracja wskaźnikowa (mm).

Wartości współczynników roślinnych (k_c) obliczono dla modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena. Współczynniki k_c wyznaczono dla testowanych gatunków surmii dla każdego miesiąca sezonu wegetacyjnego (okres kwiecień-wrzesień) od drugiego roku wegetacji czyli w okresie tworzenia i rozwoju pędów generatywnych.

Do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej na powierzchni o ograniczonym zwilżaniu (ET_{pK}) wykorzystano formułę [Vermeiren i Jobling 1984] ze wzoru:

$$ET_{pK} = ET_o \cdot k_c \cdot k_r,$$

gdzie:

ET_{pK} – ewapotranspiracja potencjalna dla obiektów nawadnianych kropłowo (mm),

k_r – współczynnik redukcyjny (poprawkowy)

k_c – współczynnik roślinny,

ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa (mm).

Na podstawie procentowej wartości zacienienia powierzchni gruntu przez rośliny przyjęto wartości współczynnika k_r wg Tredera [Treder 2021] (tab. 7).

Tabela 7. Wartości współczynnika poprawkowego k_r wg Tredera

Zacienienie gruntu (%)	Wartości współczynnika k_r
10	0,28
20	0,48
30	0,65
40	0,80
50	0,90
60	1,0

3.4.4 Niedobory opadów oraz potrzeby nawadniania

Niedobory opadów w uprawie surmii określono ze wzoru [Nyc 2006]:

$$N = E - P$$

gdzie:

N – niedobory opadów (mm),

E – potrzeby wodne (S , ET_p) (mm),

P – opady efektywne (mm).

Do wyznaczenia opadów efektywnych wykorzystano wzór zaproponowany przez Drupkę [1976]:

$$P_e = P \geq ET_o$$

gdzie:

P_e – opad efektywny [$mm \cdot doba^{-1}$],

P – opad naturalny [$mm \cdot doba^{-1}$],

ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa [$mm \cdot doba^{-1}$].

Potrzeby nawadniania surmii (w okresach miesięcznych oraz rocznych) wyznaczono z obliczonych wartości niedoborów wody.

Obliczono również dwa wskaźniki pokrycia potrzeb surmii w okresie wegetacyjnym (okres kwiecień-wrzesień) oraz latach 2019-2022 przez opady oraz sumę opadów i dawek nawodnieniowych.

4. WARUNKI METEOROLOGICZNE DOŚWIADCZENIA

Warunki opadowo-termiczne w okresie badania polowego cechowały się znaczną zmiennością. Najwyższa średnia temperatura w sezonie wegetacyjnym wystąpiła w roku 2019 – 15,9°C (+1,1°C w porównaniu do średniej z wielolecia 1991-2020). Najniższą średnią temperaturę w sezonie wegetacyjnym będącą równą średniej temperaturze z wielolecia 1991-2020 (14,8°C) odnotowano w 2020 i 2021 roku. W 4-letnim okresie badań, w pierwszych 2 miesiącach sezonu wegetacyjnego (z wyjątkiem kwietnia 2019) odnotowano niższe temperatury w odniesieniu do średniej z wielolecia, co w połączeniu ze zmiennymi opadami w tym okresie mogło nie sprzyjać wzrostowi w pierwszych miesiącach sezonów wegetacyjnych gatunków surmii (tab.8). Średnie temperatury miesięczne w badanym okresie wegetacyjnym były wyższe od wartości z wielolecia dla miesięcy czerwiec-wrzesień natomiast niższe w kwietniu i maju. Najwyższe różnice temperatur względem wielolecia stwierdzono w czerwcu (+3,2°C) i lipcu (+3,3°C).

Okres badawczy 2019-2022 cechował się niższymi opadami w odniesieniu do wielkości średnich z wielolecia z wyjątkiem 2020 roku. Średnia suma opadów w latach 2019-2022 dla sezonu wegetacyjnego wyniosła 307,8 mm i była o 16,6 mm niższa od średniej z wielolecia. Najniższy opad atmosferyczny zanotowano w 2021 roku, wyniósł 260,7 mm w okresie sezonu wegetacyjnego. Stanowiło to 80,3% opadów z wielolecia. Najwyższy opad atmosferyczny zaobserwowano w 2020 roku, wyniósł 435,5 mm co stanowiło 134,2% opadów z wielolecia. Miesięczny najwyższy opad odnotowano w maju 2020 roku, wyniósł 153,9 mm co stanowiło 35,3% sezonowej dawki wody w 2020 roku (tab.9).

Na rysunkach 5-8 zaprezentowano warunki meteorologiczne obejmujące temperatury i opady w postaci wykresów dla lat 2019-2022. Analizując wykresy (rys. 5-8) pod kątem występowania okresów o najwyższych potrzebach wodnych stwierdzono, że były one ściśle uzależnione od występowania opadów atmosferycznych. Najdłuższe okresy suszy w całym 4-letnim okresie wegetacyjnym stwierdzono dla miesięcy: czerwiec-sierpień w 2019 roku, czerwiec-wrzesień w 2021 roku, kwietniu-lipcu w roku 2022.

Charakteryzując warunki opadowe okresu doświadczalnego, posłużono się dodatkowo wskaźnikiem względnego opadu RPI [Kaczorowska 1962, Łabędzki 2006] (tab. 10). W celu obliczenia RPI wykorzystano formułę:

$$RPI = \frac{P}{\bar{P}} \cdot 100\%$$

gdzie:

RPI – wskaźnik względnego opadu (%);

P – suma opadu w danym okresie (np. miesiącu) (mm);

\bar{P} – wartość średnia z wielolecia sumy opadu w tym samym okresie (mm).

Klasyfikację okresów ze względu na wartość względnego wskaźnika opadu przedstawiono w tabeli 11.

Tabela 8. Temperatury powietrza w sezonach wegetacyjnych 2019-2022 wraz z odniesieniem do średniej z wielolecia w rejonie Bydgoszczy* (°C)

Okres	Dekada	Miesiąc						Średnia
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1991-2020	I-III	8,3	13,2	16,7	18,9	18,2	13,3	14,8
2019	I	7,6	8,8	21,4	16,0	18,7	15,8	
	II	6,5	12,3	22,8	18,0	19,0	12,0	
	III	13,7	15,0	21,6	21,6	21,2	12,7	
	I-III	9,3	12,1	21,9	18,6	19,7	13,5	15,9
2020	I	7,3	11,2	14,9	17,9	20,1	14,3	
	II	7,0	19,6	19,5	17,8	20,0	14,7	
	III	10,4	12,0	19,4	18,3	17,7	17,4	
	I-III	8,2	10,9	17,9	18,0	19,2	14,4	14,8
2021	I	3,7	8,8	17,8	19,8	17,9	14,3	
	II	7,3	15,1	20,4	21,2	18,3	14,4	
	III	6,0	11,8	21,2	20,7	15,0	12,2	
	I-III	5,7	11,9	19,8	20,6	17,0	13,6	14,8
2022	I	4,3	12,1	16,4	18,5	20,6	13,7	
	II	7,1	14,7	17,9	18,5	23,2	12,1	
	III	9,4	12,9	21,6	20,3	20,0	9,6	
	I-III	6,9	13,2	18,6	19,2	21,2	11,8	15,2
2019-2022	Średnia	7,5	12,0	19,6	19,1	19,3	13,3	15,1
Różnica do 1991-2020		-0,8	-1,2	+2,9	+0,2	+1,1	0	+0,3

*- stacja pomiarowa zlokalizowana w Mochelku.

Tabela 9. Opady atmosferyczne w sezonach wegetacyjnych 2019-2022 wraz z odniesieniem do średniej z wielolecia w rejonie Bydgoszczy* (°C)

Okres	Dekada	Miesiąc						Suma
Rok		IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
1991-2020	I-III	25,8	55,1	56,6	77,4	60,3	49,2	324,4
2019	I	0	9,3	0	14,7	27,3	57,2	
	II	0	56,4	16,2	2,0	4,2	9,9	
	III	1,5	23,5	1,5	5,7	6,2	31,4	
	Σ I-III	1,5	89,2	17,7	22,4	37,7	98,5	267,0
2020	I	0	16,4	63,0	32,5	32,7	32	
	II	0	11,0	33,5	47,1	3,2	0	
	III	0,7	7,2	57,4	5,5	54,1	39,2	
	Σ I-III	0,7	34,6	153,9	85,1	90,0	71,2	435,5
2021	I	7,6	30,2	5,2	23,3	13,9	0	
	II	16,9	21,7	8,8	17,4	8,2	30,5	
	III	5,9	17,6	19,8	0	28,5	5,2	
	Σ I-III	30,4	69,5	33,8	40,7	50,6	35,7	260,7
2022	I	11,5	3,6	11,4	34,1	6,0	26,0	
	II	10,9	7,5	22,7	5,4	49,0	11,4	
	III	0	16,5	8,1	7,8	14,0	21,8	
	Σ I-III	22,4	27,6	42,2	47,3	69,0	59,2	267,7
2019-2022	Średnia	13,8	55,2	61,9	48,9	61,8	66,2	307,7
Różnica do 1991-2020		-12,0	+0,1	+5,3	-28,5	-1,5	+17,0	-16,7

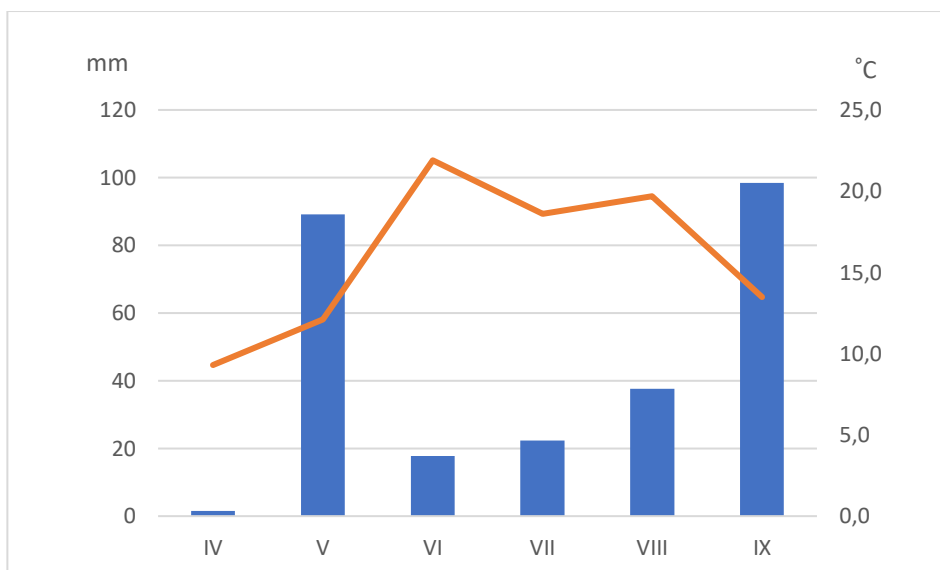
*- stacja pomiarowa zlokalizowana w Mochelku

Tabela 10. Normy wskaźników względnego opadu RPI dla miesięcy i sezonu wegetacyjnego [Kaczorowska 1962, Łabędzki 2006].

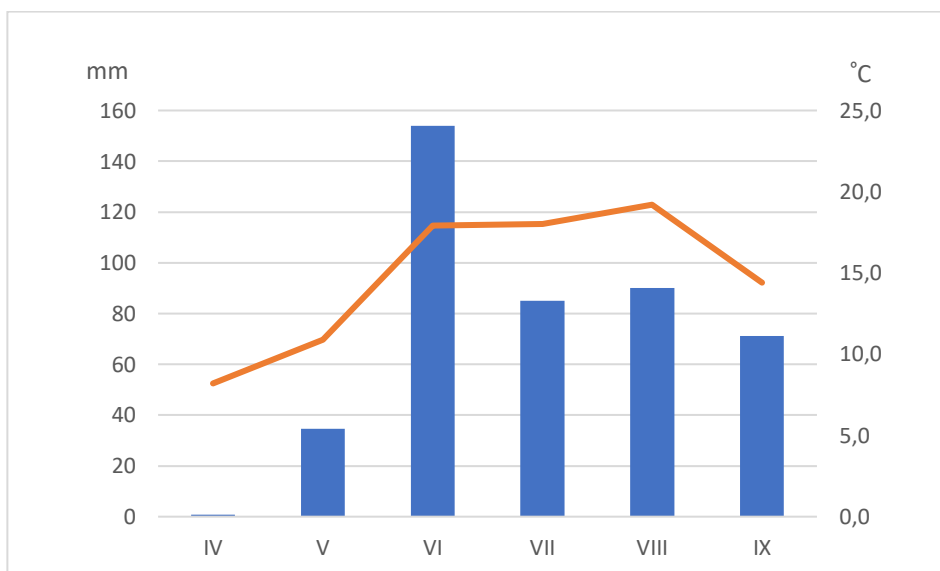
Norma dla miesiący	
RPI - % opadu normalnego	Okres
poniżej 25	skrajnie suchy
25 – 49	bardzo suchy
50 - 74	suchy
75 - 124	przeciętny
125- 149	wilgotny
150 – 200	bardzo wilgotny
powyżej 200	skrajnie wilgotny
Norma dla sezonu wegetacyjnego	
RPI - % opadu normalnego	Okres
poniżej 50	skrajnie suchy
50 - 74	bardzo suchy
75 - 89	suchy
90 - 110	przeciętny
111 - 125	wilgotny
126 – 150	bardzo wilgotny
powyżej 150	skrajnie wilgotny

Tabela 11. Klasyfikacja kategorii RPI wg zebranych danych ze stacji meteorologicznej w Mochełku w latach 2019-2022.

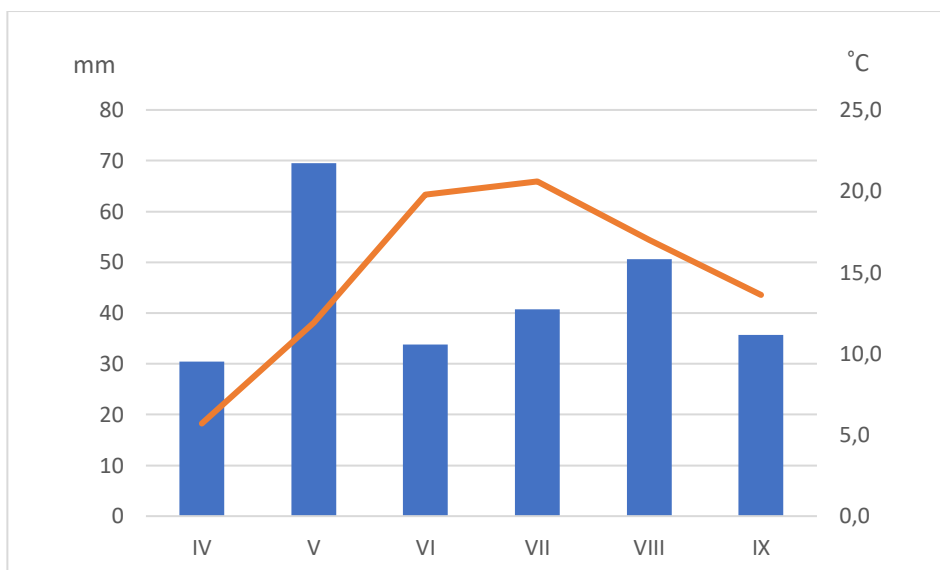
Okres wegetacji	Wartości RPI			
	2019	2020	2021	2022
IV	skrajnie suchy	skrajnie suchy	przeciętny	przeciętny
V	skrajnie wilgotny	suchy	wilgotny	suchy
VI	bardzo suchy	skrajnie wilgotny	suchy	suchy
VII	bardzo suchy	przeciętny	suchy	suchy
VIII	suchy	wilgotny	przeciętny	przeciętny
IX	skrajnie wilgotny	suchy	suchy	przeciętny
Sezon wegetacyjny IV-IX	suchy	bardzo wilgotny	suchy	suchy



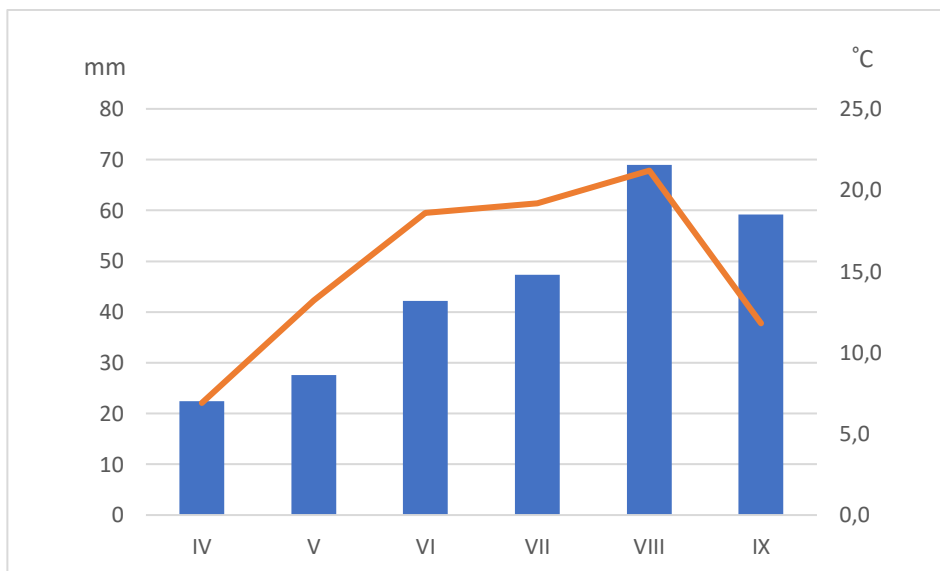
Rys. 5. Przebieg średnich temperatur powietrza i sum opadów atmosferycznych w miesiącach okresu wegetacji 2019 roku w rejonie Bydgoszczy



Rys. 6. Przebieg średnich temperatur powietrza i sum opadów atmosferycznych w miesiącach okresu wegetacji 2020 roku w rejonie Bydgoszczy



Rys. 7. Przebieg średnich temperatur powietrza i sum opadów atmosferycznych w miesiącach okresu wegetacji 2021 roku w rejonie Bydgoszczy



Rys. 8. Przebieg średnich temperatur powietrza i sum opadów atmosferycznych w miesiącach okresu wegetacji 2022 roku w rejonie Bydgoszczy

5. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

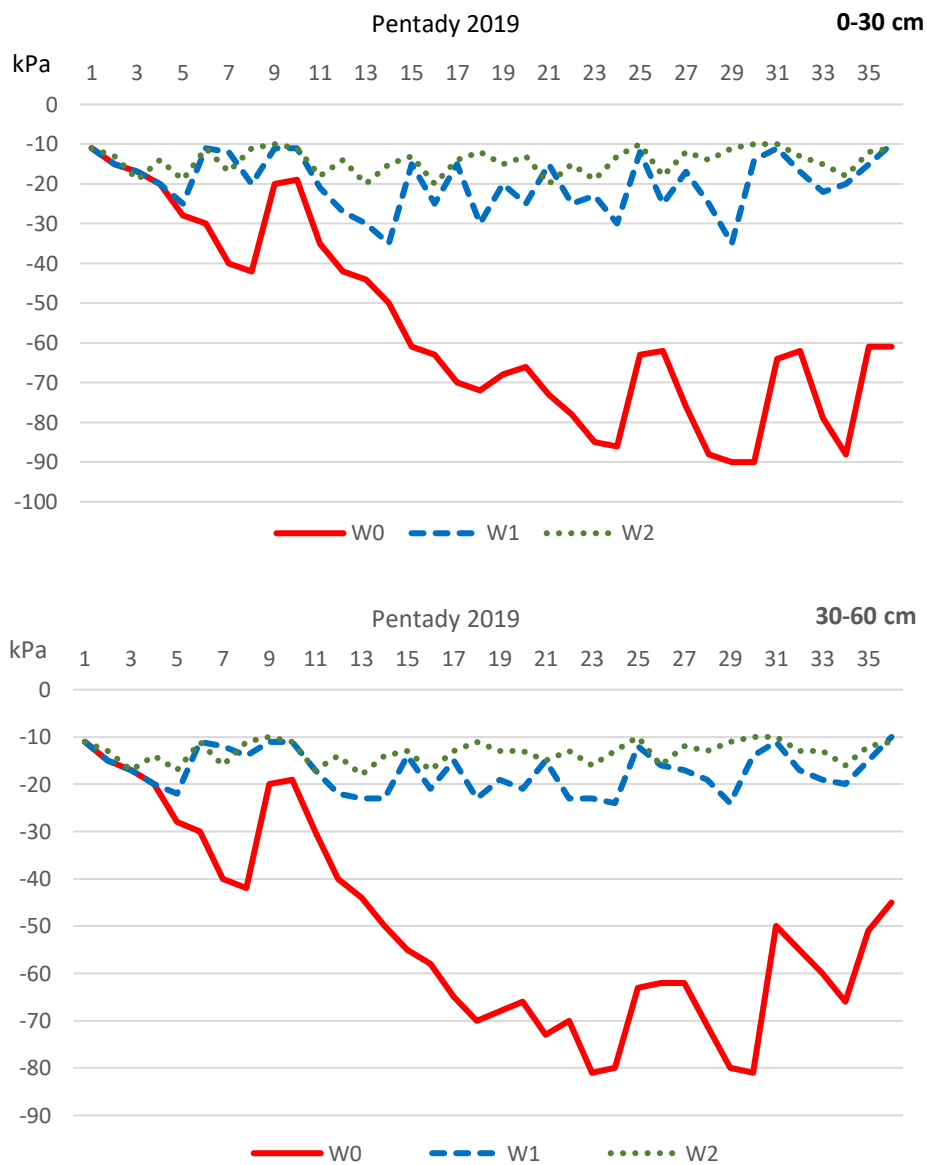
5.1 Charakterystyka warunków wilgotnościowych gleby

Potencjał wodny gleby doświadczalnej w okresie doświadczenia wykazywał zmienność i zależał ściśle od warunków gospodarki opadowej oraz dozowanych dawek nawodnieniowych podpowierzchniowo (rys. 9-12).

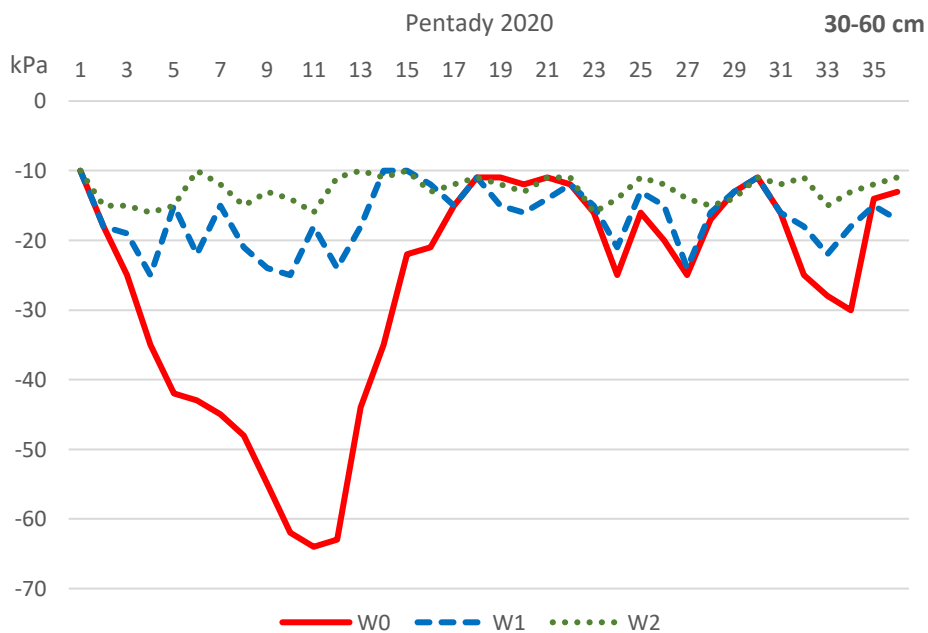
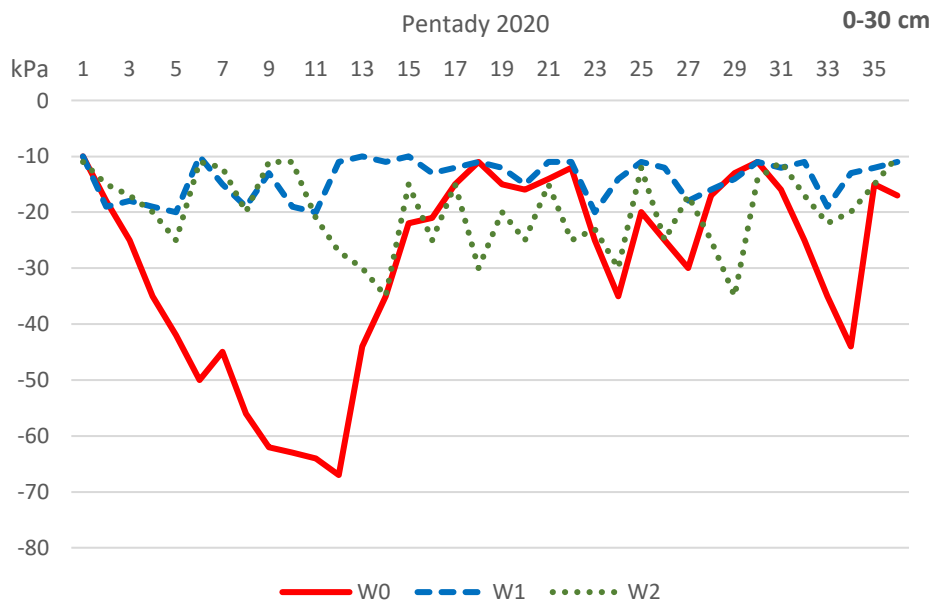
Analizując warunki wilgotnościowe doświadczenia dla warstw 0-30 cm oraz 30-60 cm można potwierdzić zasadność i prawidłowy przebieg stosowania nawodnień. Warianty nawodnieniowe W1 oraz W2 nie przekroczyły wartości granicznych potencjału wodnego – W1 do -40kPa, W2 do -20kPa. Zaobserwowano nieznaczne różnice potencjału wodnego gleby między warstwami miąższości w każdym roku prowadzenia badań. Dla warunków kontrolnych W0 potencjał wodny w glebie był ściśle uzależniony od warunków opadowych i charakteryzował się dużą zmiennością. Odnotowano w wariancie kontrolnym obniżanie się potencjału wodnego w trakcie trwania sezonu wegetacyjnego do poziomu -90 kPa co znacząco przekracza wartości krytyczne z wyjątkiem roku 2020 gdzie spadek potencjału występował jedynie w początkowym okresie sezonu wegetacyjnego a w dalszej jego części utrzymywał się na poziomie wody łatwo dostępnej dla roślin. Porównując potencjał wodny między warstwą gleby 0-30 cm i 30-60 cm można stwierdzić, iż większe wahania wilgotności występowały w warstwie powierzchniowej 0-30 cm. Największy deficyt wody zaobserwowano w roku 2021, a najmniejszy w 2020 roku.

Podobne tendencje, przebieg i wartości siły ssącej gleby w warunkach prowadzonych nawodnień wegetacyjnych w uprawach wieloletnich zaobserwowali m. in. Pacholak [1986] w sadzie, Żakowicz [2010] w nasadzeniach rekultywacyjnych, Rolbiecki [2013] w uprawie szparaga oraz Sositko [2019] w szpalerowych nasadzeniach fitomelioracyjnych lipy i brzozy.

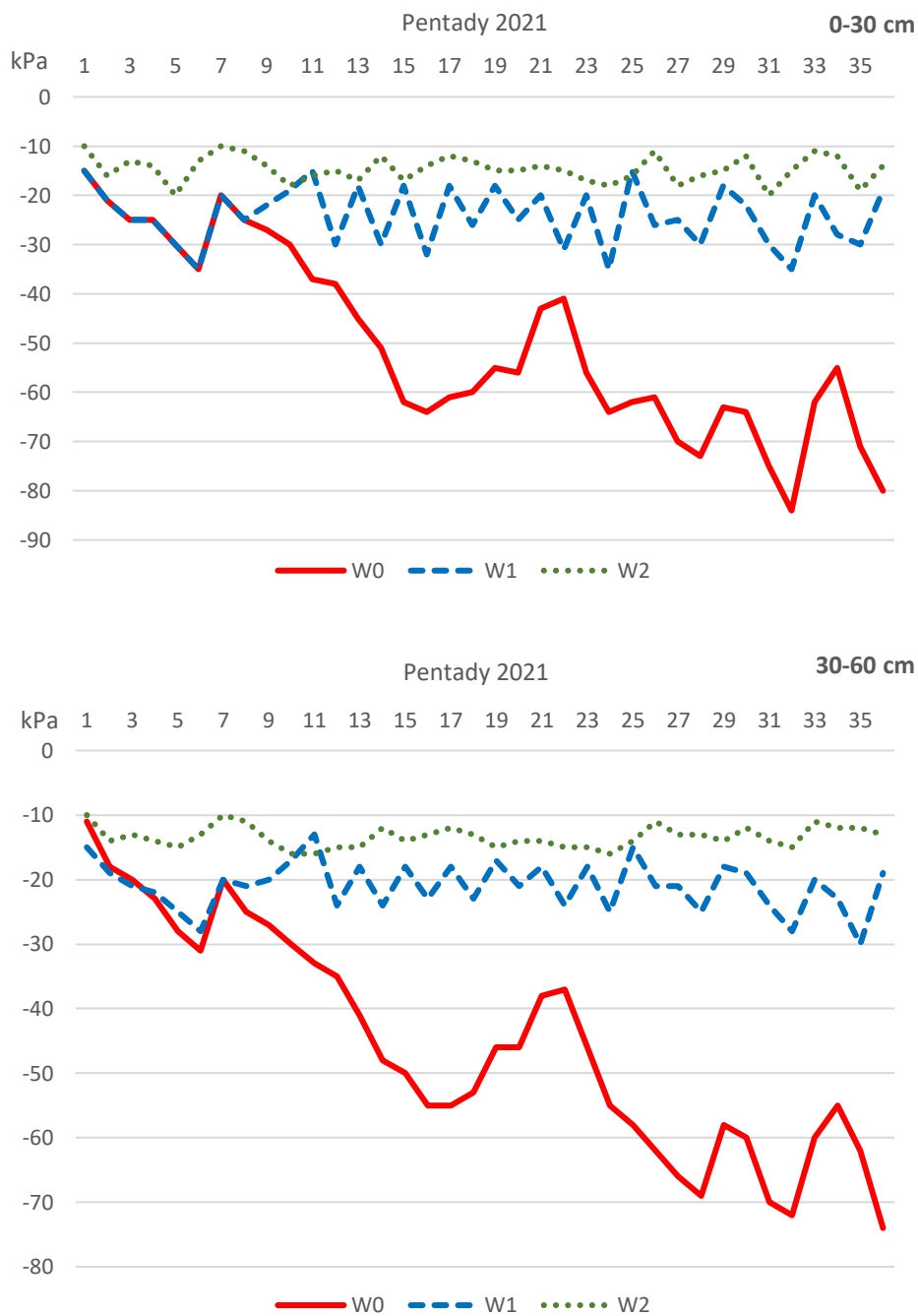
Przebieg warunków wilgotnościowych gleby dla obu wariantów doświadczenia W1 i W2 oraz gatunków surmii potwierdził przydatność instalacji podpowierzchniowego systemu nawadniania kropłowego w uprawach szpalerowych utrzymujących korzystne warunki wilgotnościowe na glebach lekkich i bardzo lekkich. Przydatność tego systemu nawadniania potwierdzają również doświadczenia z brzozą w warunkach szkółkarskich jak również z innymi gatunkami roślin, uprawianymi w warunkach gleby bardzo lekkiej m.in. przez Rolbieckiego [2004, 2007], Żarskiego i in. [2004], Klimka i in. [2008, 2009, 2013, 2020].



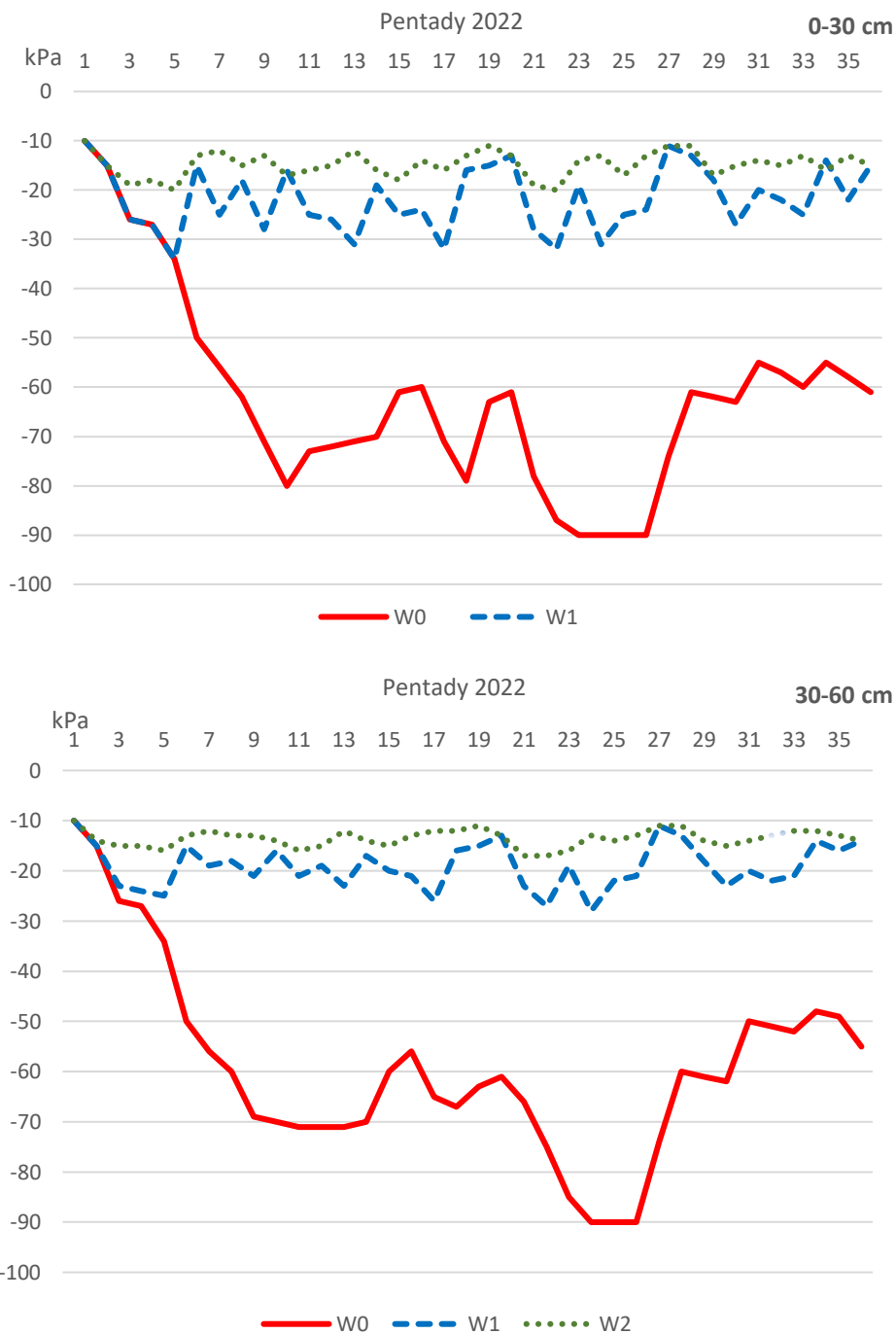
Rys. 9. Potencjał wodny gleby dla wariantów doświadczenia wyrażony w kPa dla dwóch poziomów miąższości gleby: 0-30 cm i 30-60 cm w roku 2019



Rys. 10. Potencjał wodny gleby dla wariantów doświadczenia wyrażony w kPa dla dwóch poziomów miąższości gleby: 0-30 cm i 30-60 cm w roku 2020



Rys. 11. Potencjał wodny gleby dla wariantów doświadczenia wyrażony w kPa dla dwóch poziomów miąższości gleby: 0-30 cm i 30-60 cm w roku 2021



Rys. 12. Potencjał wodny gleby dla wariantów doświadczenia wyrażony w kPa dla dwóch poziomów miąższości gleby: 0-30 cm i 30-60 cm w roku 2022

5.2 Potrzeby wodne i nawodnieniowe surmii

5.2.1 Polowe zużycie wody

Dobowe zużycie wody zależało głównie od wariantów wodnych zastosowanych w doświadczeniu oraz roku wzrostu surmii przedstawionych na rysunkach od 13 do 16 oraz w tabeli 12. Zużycie wody w miesiącach okresu wegetacyjnego kształtowało się dla wariantów doświadczenia na podobnym poziomie (różnice nie przekraczały 0,6 mm). Najwyższe wartości polowego zużycia wody odnotowano w latach 2021 i 2022 w lipcu. Średnie dobowe zużycie wody w tych miesiącach mieściło się w przedziale 3,38-3,45 mm (rys. 15 i 16). Najwyższe różnice pomiędzy wariantami doświadczenia stwierdzono w roku 2020 w miesiącach czerwcu i sierpniu. Średnia różnica kształtowała się na poziomie 0,29 mm (rys.13-16).

W sezonach wegetacyjnych 2019 i 2020 zauważono tendencje do wzrostu zużycia wody w miesiącach maj i sierpień. Natomiast w kolejnych latach badań tj. 2021 i 2022 w miesiącach maj i lipiec. Zmniejszane dobowego zużycia wody następowało od września w latach 2019 i 2020 oraz od sierpnia w latach 2021 i 2022.

Dobowe zużycie wody wzrastało wraz ze wzrostem surmii niezależnie od wariantu doświadczenia. W każdym roku prowadzenia doświadczenia wyższymi wartościami dobowego zużycia wody charakteryzowały się rośliny rosnące na wariantach W2.

W literaturze krajowej brak jest informacji dotyczących potrzeb wodnych surmii. Literatura zagraniczna jest nieliczna i odnosi się głównie do parametrów wzrostu tego gatunku. Dlatego w dyskusji wyników uzyskane i obliczone dane w doświadczeniu własnym będą porównywane do gatunków roślin liściastych o podobnych parametrach wzrostu.

Wartości oraz tendencje dobowego zużycia wody uzyskane w doświadczeniu własnym są bardzo zbliżone do wyników otrzymanych przez Grygoruka i in. [2011]. Obliczone przez nich wartości dobowego zużycia wody (ETc) dla zakrzaczeń brzożowych wyniosły 3,3 mm w sierpniu i 2,1 mm. Sositko [2019] w badaniach prowadzonych w nasadzeniach fitomelioracyjnych, oszacował natomiast najwyższe wartości dobowego zużycia wody dla lipy drobnolistnej w miesiącu lipcu (blisko 3 mm), natomiast dla brzozy w tym samym miesiącu blisko 3,5 mm. Żakowicz [2010] podaje natomiast, że ewapotranspiracja w miesiącu lipcu może wynieść nawet ponad 6 mm na dobę, a w sierpniu ponad 5 mm, zależnie od wysokości temperatury dobowej. Podobne wartości dobowego zużycia wody podają Bac i Ostrowski [1969]. Według nich dobowe zużycie wody przez brzożę brodawkowatą może wynieść nawet 6,6 mm na dobę, jednak trzeba zaznaczyć, iż dotyczy to drzew powyżej 5 m wysokości. Bastiaanssen i in. [2001] podają na podstawie swoich badań, że dobowe ewapotranspiracja drzew liściastych niezależnie od gatunku wynosi od 2 do 3

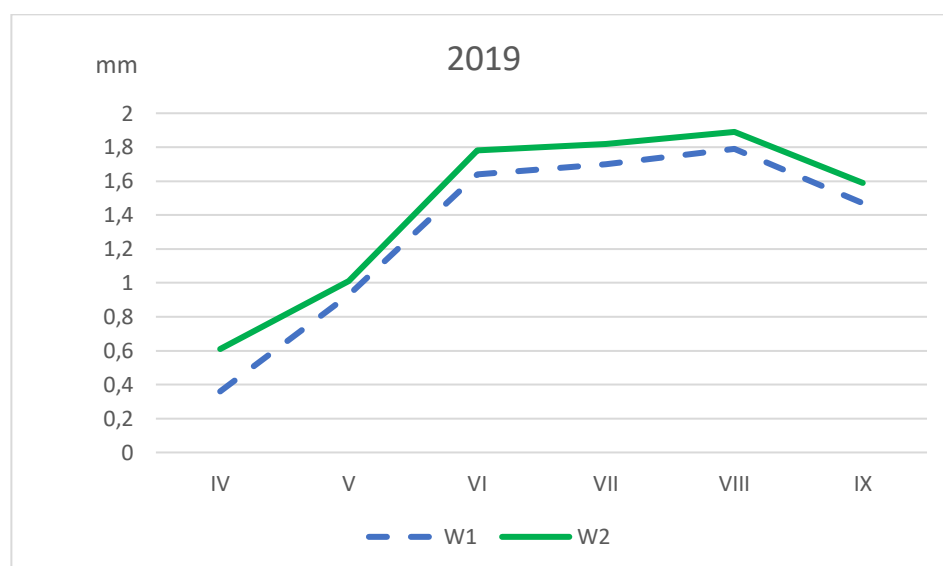
mm. Testi i in. [2004] podaje, że w przypadku 3 letnich drzew oliwki dobowe parowanie wyniosło 3 mm.

Tabela 12. Dienne zużycie wody przez surmię w sezonie wegetacyjnym (IV-IX) w latach badań 2019-2022

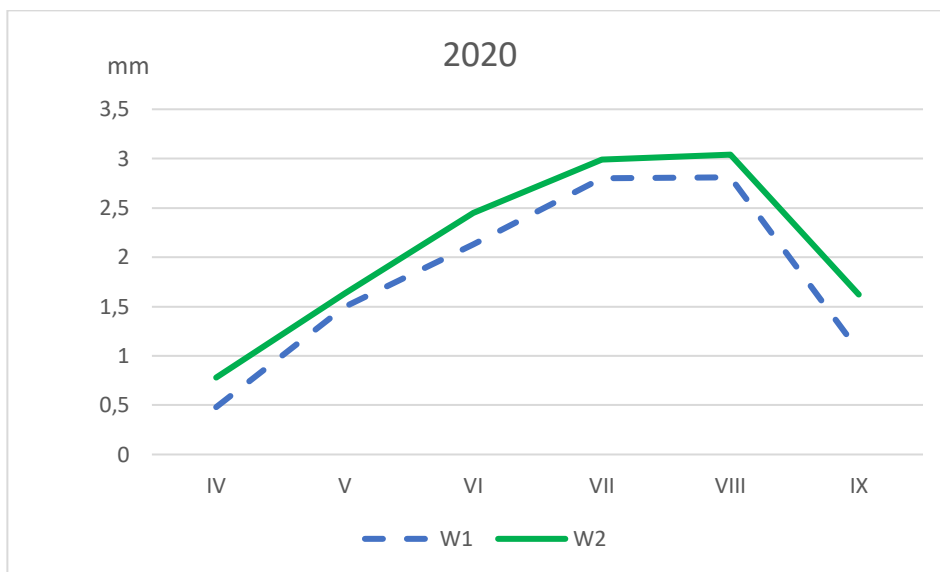
Rok badań	Wariant wodny	IV	V	VI	VII	VIII	IX
2019	W1	0,36	0,93	1,64	1,7	1,79	1,47
	W2	0,61	1,01	1,78	1,82	1,89	1,59
2020	W1	0,48	1,50	2,13	2,8	2,81	1,05
	W2	0,78	1,63	2,45	2,99	3,04	1,62
2021	W1	0,81	1,67	2,63	3,21	3,18	1,62
	W2	0,91	1,85	2,84	3,38	3,23	1,7
2022	W1	1,01	2,05	2,79	3,25	3,21	1,69
	W2	1,07	2,27	3,03	3,45	3,37	1,78

W1: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa

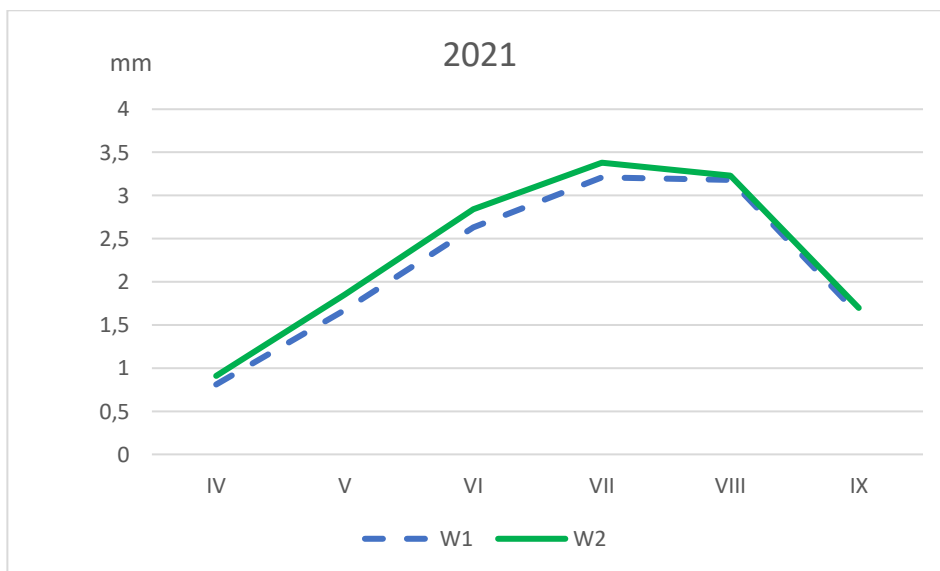
W2: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa



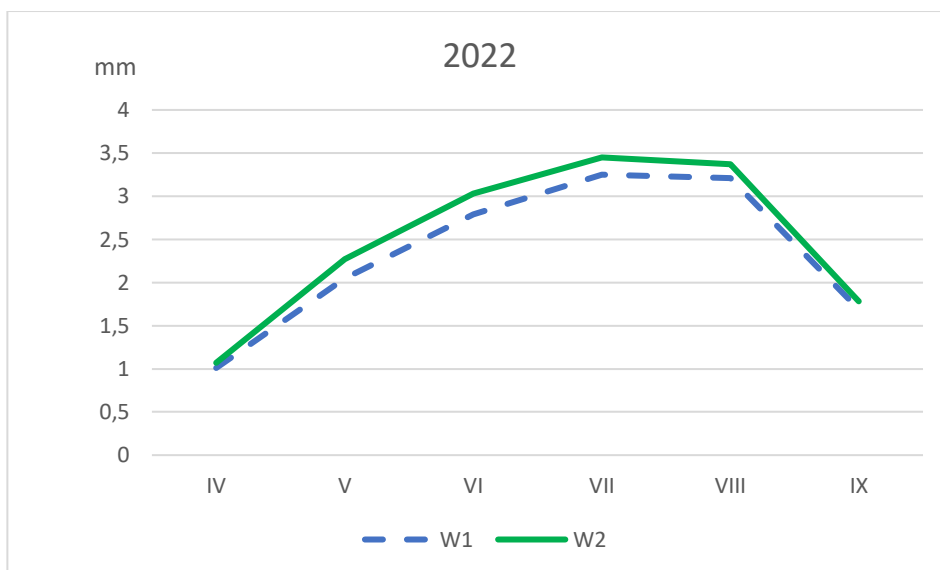
Rys. 13. Dobbowe zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2019.



Rys. 14. Dobowe zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2020.



Rys. 15. Dobowe zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2021.



Rys. 16. Dobowe zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2022.

W tabeli 13 przedstawiono sumaryczne zużycie wody przez surmię dla wariantów nawodnieniowych doświadczenia (w ujęciu miesięcznym i rocznym). Z danych wynika, iż zużycie wody na obiektach kontrolnych W0 charakteryzowało się znacznymi wahaniami w sezonie i było ściśle powiązane z występowaniem i rozkładem opadów atmosferycznych.

Dla wariantu nawodnieniowego W1 sumaryczne zużycie wody w sezonie wyniosło 241,3 mm (2019), 344,1 mm (2020), 401,9 mm (2021) oraz 428,7 mm (2022). Najwyższy roczny wzrost sumarycznego zużycia wody dla tego wariantu kształtował się w roku 2020 względem sezonu 2019 i wyniósł + 42,6%. W sezonie 2021 oraz 2022 średni wzrost sumarycznego zużycia wody wyniósł +11,7%. Dla wariantu nawodnieniowego W2 sumaryczne zużycie wody w sezonie wyniosło 266,05 mm (2019), 384,33 mm (2020), 426,2 mm (2021) oraz 458,8 mm (2022). Najwyższy roczny wzrost sumarycznego zużycia wody dla tego wariantu kształtował się w roku 2020 względem sezonu 2019 i wyniósł + 44,4%. W sezonie 2021 oraz 2022 średni wzrost sumarycznego zużycia wody wyniósł +9,2%. Porównując zużycie wody dla obu wariantów nawodnieniowych w czteroletnim okresie badań (rys. 17-20) możemy zauważyć podobne tendencje w uzyskanych wartościach zużycia wody. Niewielkie różnice między wariantami W1 i W2 odnotowano we wrześniu każdego roku badań i nie przekraczały one 4 mm.

Biorąc pod uwagę sumaryczne zużycie wody dla wariantów nawodnieniowych W1 i W2 (tab. 13), można stwierdzić, że najwyższe wartości zużycia wody odnotowano dla pierwszych dwóch lat badań [2019 i 2020]

w sierpniu natomiast w lipcu dla lat 2021 i 2022. Najmniejsze różnice w ujęciu miesięcznym między wariantami występowały na początku każdego sezonu wegetacyjnego.

Wzrost zużycia wody dla wariantów nawodnieniowych przedstawiony na rys. 17-20 cechował się jednostajnie prostoliniowym wzrostem, będącym niezależnym od warunków meteorologicznych w okresie badania. Wariant kontrolny był natomiast uzależniony od opadów atmosferycznych. Zastosowanie podpowierzchniowego nawadniania kropłowego umożliwiło optymalne uwilgotnienie warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu i wpłynęło na badane parametry oraz zwiększyło ewapotranspirację.

Tabela 13. Sumaryczne zużycie wody przez surmię w sezonie wegetacyjnym (IV-IX) w latach badań 2019-2022 w warstwie o kontrolowanym uwilgotnieniu 0-60 cm.

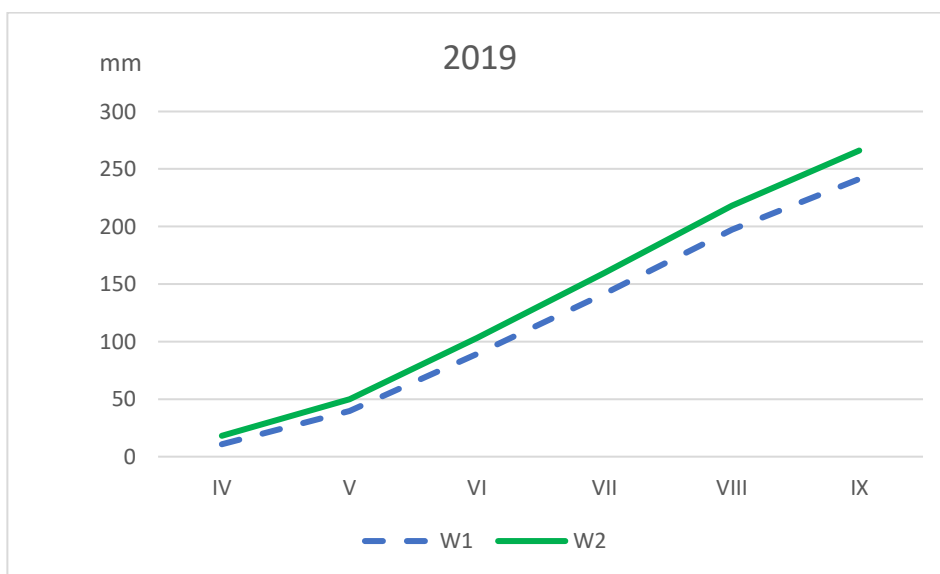
Rok badań	Wariant wodny	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Suma zużycia wody
2019	W1	10,80	28,9	49,4	52,70	55,40	44,12	241,32
	W2	18,15	31,6	53,3	56,60	58,70	47,7	266,05
2020	W1	14,50	46,70	63,8	86,90	87,10	45,15	344,15
	W2	23,50	50,80	74,0	92,90	94,50	48,63	384,33
2021	W1	24,20	51,80	78,9	99,6	98,70	48,71	401,91
	W2	27,40	57,35	85,2	104,75	100,3	51,20	426,2
2022	W1	30,50	63,70	83,60	100,8	99,4	50,70	428,7
	W2	32,30	70,60	90,95	106,90	104,6	53,45	458,8

W1: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa

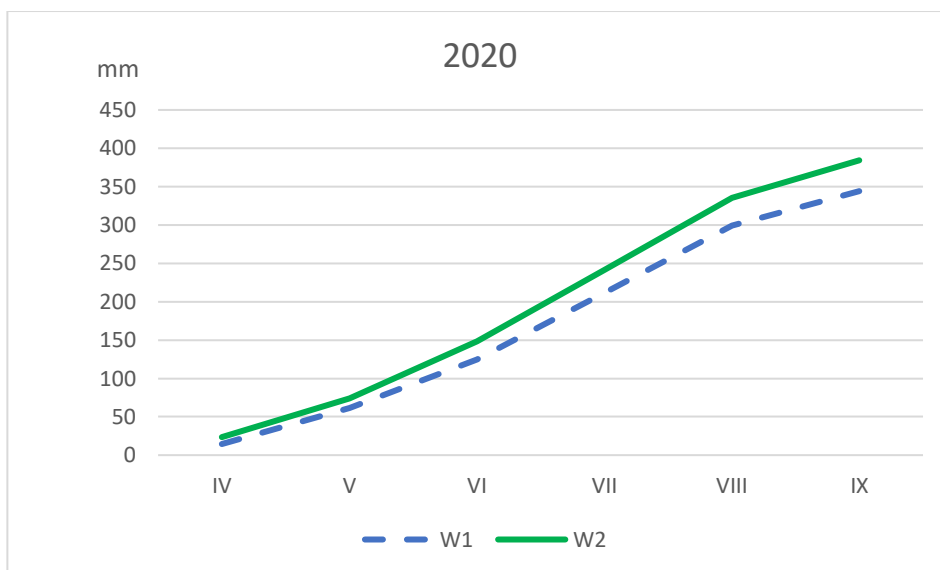
W2: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa

Obliczone w doświadczeniu własnym średnie sezonowe sumaryczne wartości połowego zużycia wody w warunkach optymalnego uwilgotnienia niezależnie od wariantu doświadczenia, były na podobnym poziomie do podawanych przez Lechnio [2005], który szacuje potrzeby wodne dla drzew liściastych w warunkach gleby bardzo lekkiej (piasek luźny) od 377 do 483 mm w sezonie wegetacyjnym, zależnie od warunków opadowo-termicznych. Nieco niższe wartości ewapotranspiracji (355 mm) podają Hall i Roberts [1990] dla buka. Żakowicz [2010], podaje wyższe wartości do uzyskanych w doświadczeniu własnym dla drzew liściastych w nasadzeniach

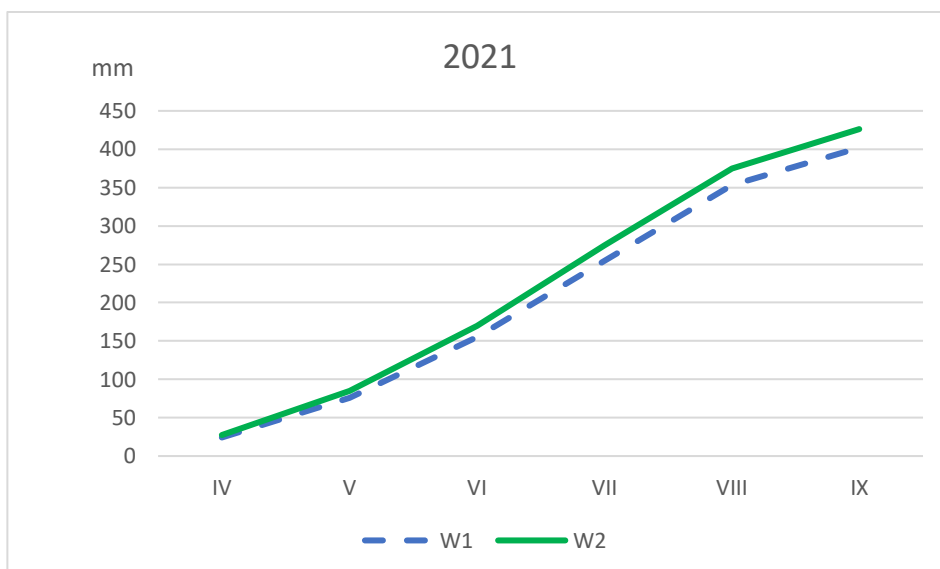
rekultywacyjnych. Wyniki jego badań wskazują, iż potrzeby wodne w okresie wegetacyjnym wynoszą w drugim etapie po rekultywacji (tzn. powyżej 3. roku wzrostu) ok. 500 mm. Znacznie wyższe sumaryczne wartości potrzeb wodnych dla drzew liściastych (klon jesionolistny) podaje Rolbiecki w pracy Rolbiecki i in. [2019] dla centralnej Polski w okresie IV-X. Wartości ewapotranspiracji potencjalnej dla drzew powyżej 3 roku wzrostu szacuje na ponad 600 mm. Zaistniałe różnice można tłumaczyć m.in. tym, że w badaniach Rolbieckiego i in. [2019] potrzeby wodne klonu jesionolistnego uwzględniały - poza półroczem letnim (IV-IX) - także miesiąc październik. Ponadto były one wyznaczone z wykorzystaniem ET_0 wg. Blaney-Criddle'a. W badaniach tych uwzględniono także inne regiony Polski oraz dłuższy okres (1981-2010). Sositko [2019] w doświadczeniach dotyczących określenia potrzeb wodnych lipy drobnolistnej oraz brzozy brodawkowatej w nasadzeniach szpalerowych na gruntach bardzo lekkich uzyskał bardzo podobne wartości do uzyskanych w doświadczeniu własnym, określił on wartość polowego zużycia wody w czwartym roku uprawy na 396 mm oraz 451 mm, odpowiednio dla lipy i brzozy.



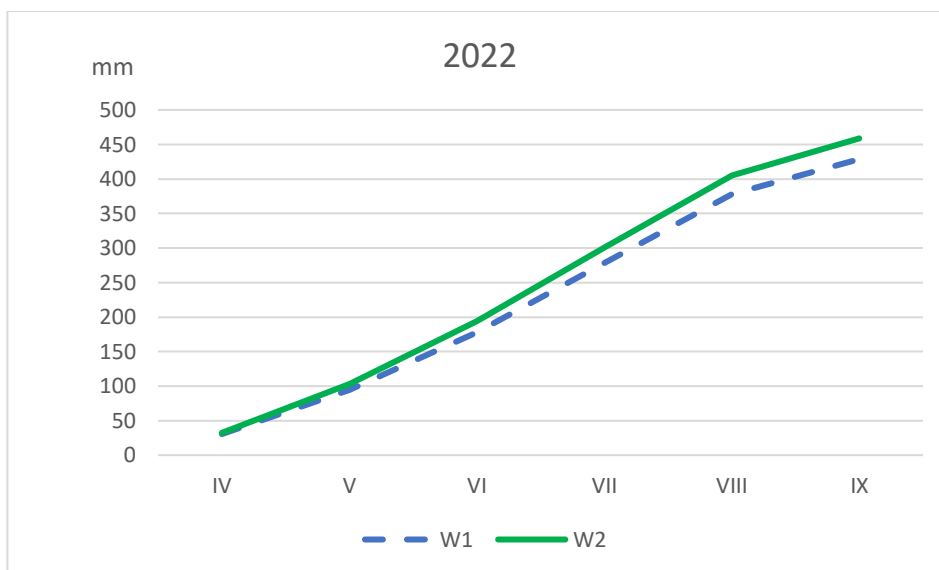
Rys. 17. Kumulatywne zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2019.



Rys. 18. Kumulatywne zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2020.



Rys. 19. Kumulatywne zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2021.



Rys. 20. Kumulatywne zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2022.

5.2.2 Ewapotranspiracja potencjalna (ET_p)

Ewapotranspirację potencjalną gatunków surmii obliczono na podstawie kryterium klimatycznego tj. uwzględniającą specyficzny współczynnik roślinny k_c (przedstawiony w tabeli 14), opisujący określony gatunek rośliny oraz jej fazę rozwoju. Wartość ewapotranspiracji wskaźnikowej (Et_0) obliczonej za pomocą modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena przemnożono przez uzyskane współczynniki k_c . Obliczone współczynniki określono dla miesięcy sezonu wegetacyjnego oraz badanych wariantów wodnych (W1, W2). Na podstawie badań Żakowicza [2010] uzyskane współczynniki k_c podzielono na dwa przedziały: do 3 lat po posadzeniu oraz powyżej 3 lat po posadzeniu. W badaniu własnym zastosowano współczynnik poprawkowy (k_r) wg Tredera [Treder 2021] określony na podstawie procentowej wartości zacienienia powierzchni gruntu przez rośliny (tab. 15) w celu obliczenia potrzeb wodnych w warunkach nawadniania kropłowego (dla ograniczonej powierzchni zwilżania). Analizując wartości współczynników modelu Hargreavesa ^{DA} dla pierwszych 3 lat po posadzeniu możemy zaobserwować nieznaczną różnicę wartości współczynnika między wariantami (na poziomie 0,1) w miesiącach kwiecień, czerwiec, lipiec, sierpień, natomiast w miesiącach maj i wrzesień przyjmowały te same wartości. W okresie powyżej 3 lat od posadzenia zaobserwowano wzrost współczynnika dla wariantu W2 o 0,1 dla kwietnia, maja i lipca natomiast w czerwcu, sierpniu oraz wrześniu był taki sam na obydwu wariantach wodnych.

Tabela 14. Współczynniki roślinne k_c dla miesięcy okresu wegetacyjnego do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej surmii wzorem Hargreavesa^{DA}

Rok badań	Wariant	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Pierwsze 3 lata po posadzeniu	W1	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
	W2	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6
Powyżej 3 lat po posadzeniu	W1	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
	W2	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7

W1: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa

W2: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa

Wartości współczynnika poprawkowego k_r (tab.15) zostały wyznaczone dla miesięcy i lat prowadzenia badań i wykazywały tendencję do zwiększania się wraz ze wzrostem surmii w kolejnych latach prowadzenia doświadczenia. Najmniejszy współczynnik wyznaczono dla pierwszego roku wzrostu co było przyczyną niskiego pokrycia powierzchniowego surmii natomiast najwyższy współczynnik zanotowano od 3 roku uprawy tj. połowy sezonu 2021, który na podobnym poziomie utrzymywał się do końca badań własnych.

Tabela 15. Wartości współczynnika poprawkowego k_r wg Tredera dla miesięcy okresu wegetacyjnego, do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej surmii, przy ograniczonej powierzchni zwilżania (podpowierzchniowe nawadnianie kroplowe)

Lata badań	W1					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
2019	0,55	0,55	0,55	0,55	0,6	0,7
2020	0,65	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
2021	0,9	0,95	0,95	1	1	1
2022	0,95	0,95	0,95	1	1	1
Lata badań	W2					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
2019	0,55	0,55	0,55	0,55	0,6	0,75
2020	0,75	0,85	0,85	0,95	0,95	0,95
2021	0,95	0,95	0,95	1	1	1
2022	0,95	0,95	0,95	1	1	1

Współczynniki roślinne k_c wyznaczone dla surmii w oparciu o połowe zużycie wody utożsamiane w warunkach optymalnej wilgotności gleby z ET_p rośliny, dla warunków meteorologicznych centralnej Polski stanowią pierwszą próbę obliczenia potrzeb wodnych dla tego gatunku na podstawie kryterium klimatycznego przy użyciu modelu Hargreaves^{DA}. W pracy współczynniki k_c przedstawiono dla miesięcy okresu wegetacyjnego co znajduje odzwierciedlenie w literaturze np. dla innych gatunków roślin m.in. drzew owocowych [Rolbiecki 2018], drzew liściastych [Sositko 2019], krzewów [Koniarski i in. 2016] czy roślin warzywnych np. szparag [Rolbiecki 2013]. Obliczone współczynniki roślinne k_c na podstawie doświadczenia własnego były zbliżone do współczynników obliczonych dla lipy drobnolistnej przez Montague i in. [2004] wyznaczonych na podstawie badań lizymetrycznych. Podają oni, iż wartości współczynników roślinnych mogą wahać się (w zależności od miesiąca sezonu wegetacyjnego) od 0,3 do 1,2. Pardossi i in. [2004] przedstawiają wartości współczynników k_c dla drzew liściastych m. in. lipy od 0,5 do 0,8 dla poszczególnych miesięcy sezonu wegetacyjnego. Żakowicz i Hewelke [2012] prezentują podobne współczynniki k_c dla wzoru Blaney-Criddla dla upraw drzew liściastych w nasadzeniach rekultywacyjnych, jak te uzyskane w doświadczeniu własnym. Lechnio [2005] natomiast podaje znacznie niższe współczynniki k_c niż obliczone na podstawie doświadczenia własnego, jednakże były one obliczone dla znacznie wyższych drzew. Doorenbos i Pruitt [1977] podając współczynniki k_c dla drzew sadowniczych dla miesięcy okresu wegetacyjnego wskazują, iż najwyższe wartości współczynników występują w miesiącach lipcu i sierpniu (od 0,75 do 1,25) zależnie od gatunku, rodzaju gleby oraz okresu wegetacyjnego. Pittenger i Shaw [2013] przedstawiają, iż wyznaczanie współczynników ma niezwykle istotne znaczenie w prowadzeniu nawodnień roślin wykorzystywanych do nasadzeń krajobrazowych. Meiresonne i in. [2003] podają wartości współczynników k_c dla sosny pomiędzy 0,71 a 0,97. Schaap i in. [1997] natomiast dla drzew liściastych od 0,75 do 1,0. W badaniach własnych współczynniki roślinne k_c wyznaczono w oparciu o połowe zużycie wody (S) w warstwie o kontrolowanym uwilgotnieniu gleby nawadnianej podpowierzchniowym systemem kropłowym. Możliwe jest także wyznaczanie współczynników k_c w badaniach lizymetrycznych [Łabędzki i in. 2011, Moutage i in. 2004]. Łykowski [1989] wskazuje, że oba te sposoby wyznaczania współczynnika k_c są właściwe. Za prawidłowością – przeprowadzonych w badaniach własnych – obliczeń przemawiają jeszcze dodatkowo niskie położenie zwierciadła wód gruntowych (brak podsiąku) oraz zastosowanie precyzyjnego systemu mikronawodnień (nawadnianie kropłowe) do utrzymania wilgotności gleby w zakresie wody łatwo dostępnej (WŁD).

Z danych w tabeli 16 wynika, że średnia wartość ewapotranspiracji potencjalnej obliczona według modelu Hargreaves^{DA} w latach prowadzenia badań wyniosła dla wariantu nawodnieniowego W1 331,55 mm natomiast dla wariantu W2 wynosiła 370,37 mm. Dla 4 letniego okresu badań wartość ewapotranspiracji potencjalnej dla wariantu W1 mieściła się w przedziale od

240,30 mm w pierwszym roku uprawy do maksymalnie 422,83 mm w ostatnim roku badań. Wariant W2 cechował się podobną tendencją - najmniejsza ewapotranspiracja wystąpiła w pierwszym roku (251,83 mm) a najwyższą wartość zanotowano w ostatnim roku uprawy (455,46 mm). Analizując warianty W1 oraz W2 na przestrzeni lat 2019-2022 może stwierdzić, iż wyższe wartości ewapotranspiracji stwierdzono na wariantcie W2 (wyższe w każdym roku średnio o 11,6%). Najwyższe wartości dla obu wariantów występowały w miesiącach czerwcu i sierpniu (od 48,44 do 102,20 mm).

Obliczone wartości ETp surmii w poszczególnych sezonach wegetacyjnych są zbieżne (bądź charakteryzują się podobnymi tendencjami) z uzyskanymi wartościami ewapotranspiracji potencjalnej obliczonej przez Żakowicza i Hewelke [2012] formułą Blaney-Criddla dla roślin liściastych wykorzystywanych do nasadzeń gruntów rekultywowanych (m. in. klon jesionolistny). Klon jesionolistny zaliczany jest do grupy roślin średnio odpornych na suszę tak jak lipa drobnolistna [Cerny i in. 2002]. Wykorzystywanie zastosowanego sposobu obliczania potrzeb wodnych roślin z wykorzystaniem współczynników roślinnych k_c jak i k_r jest zalecane także przez innych autorów, m.in Howell'a i in. [1998], Allena i in. [1998], Kjelgrena i in. [2016], Rashall'a [2016]. Klimek i in. [2009] podają, że średnie potrzeby wodne brzozy brodawkowatej obliczone metodą Drupki wynoszą w sezonie wegetacyjnym 497 mm i tak jak w doświadczeniu własnym najwyższe wartości ewapotranspiracji stwierdzono dla miesiąca lipca. Hall i Roberts [1990] podają roczną ewapotranspirację jesionu na poziomie 372 mm.

Tabela 16. Ewapotranspiracja potencjalna (ETp^{HDA}) surmii w sezonie wegetacyjnym (IV-IX) w latach badań 2019-2022, obliczona według modelu Hargreavesa^{DA}

Rok badań	Wariant	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Σ
2019	W1	14,34	28,62	50,21	49,33	48,44	28,91	240,30
	W2	17,92	28,63	60,23	57,56	56,51	30,98	251,83
2020	W1	16,54	42,40	56,08	78,89	73,51	43,16	310,58
	W2	23,86	45,05	71,50	97,15	90,52	45,56	373,64
2021	W1	18,07	50,64	76,26	91,50	70,80	45,2	352,47
	W2	23,84	50,65	91,51	106,75	82,60	45,2	400,55
2022	W1	26,11	58,94	92,28	93,88	102,21	49,41	422,83
	W2	31,33	70,72	92,28	109,52	102,20	49,41	455,46

W1: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa

W2: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa

Przykładowe współczynniki korelacji opisujące zależność pomiędzy PZW a ETp^{HDA} przedstawiono w tabeli 17. Zamieszczono korelacje dla całego okresu wegetacyjnego (IV-IX) oraz dla miesięcy, w których wystąpiło najwyższe natężenie ewapotranspiracji potencjalnej tzn. dla VI, VII i VIII. Analizując wartości obliczonych współczynników korelacji można stwierdzić, iż w miesiącu lipcu stwierdzono najwyższe wartości współczynnika korelacji dla obu wariantów wodnych (0,998). Niższe wartości stwierdzono dla czerwca i wyniosły one 0,944 i 0,936, odpowiednio dla W1 i W2. Najniższymi wartościami współczynnika korelacji charakteryzował się miesiąc sierpień, jednak i tak były one wysokie (0,819 – W1 i 0,934 – W2). Analizując obliczone współczynniki korelacji dla przykładowych okresów wzrostu surmii niezależnie od występujących różnic w wartościach współczynników należy stwierdzić, iż obliczone zależności charakteryzowały się bardzo wysoką istotnością. Potwierdza to poprawność przyjętej metodyki do oszacowania zużycia wody (ETp) surmii.

Tabela 17. Współczynnik korelacji (r) połowego zużycia wody (S) a ewapotranspiracją potencjalną metodą Hargreavesa dla wybranych okresów w sezonie wegetacyjnym.

Wyszczególnienie	Wariant wodny	
	W1	W2
S (Połowe zużycie wody) IV-IX		
ETp Hargreaves ^{DA}	0,961*	0,994*
S (Połowe zużycie wody) VI		
ETp Hargreaves ^{DA}	0,944*	0,963*
S (Połowe zużycie wody) VII		
ETp Hargreaves ^{DA}	0,998*	0,998*
S (Połowe zużycie wody) VIII		
ETp Hargreaves ^{DA}	0,819*	0,934*

*- istotność na poziomie $\alpha = 0,05$

5.2.3 Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania

Wyznaczone niedobory wody dla surmii w odniesieniu do połowego zużycia wody (S) oraz ewapotranspiracji potencjalnej (Etp) obliczonej modelem Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena dla dwóch wariantów nawadniania (W1, W2) umieszczono w tabeli 18 i 19. Wartości niedoborów wody były ściśle związane z występowaniem i rozkładem opadów w trakcie trwania sezonu wegetacyjnego w latach prowadzenia doświadczenia. W każdym roku prowadzenia doświadczenia zastosowanie dawki nawodnieniowej było warunkiem koniecznym do wyeliminowania niedoborów wody.

Wartość niedoboru obliczona w stosunku do polowego zużycia wody była wyższa w każdym roku doświadczenia dla wariantu W2 i kształtowała się w granicach 24,3-40,18 mm, co średnio dla lat badań wyniosło o 52% więcej niż w wariacie W1 (tab. 18). Drugi rok badań (2020) charakteryzował się najwyższymi opadami atmosferycznymi w trakcie całego sezonu co pozwoliło odnotować najmniejsze niedobory wody i potrzeby nawadniania. Najwyższe potrzeby nawadniania odnotowano w trzecim (2021) oraz czwartym (2022) roku prowadzenia doświadczenia. Różnica w odniesieniu do 2 pierwszych lat badań wyniosła średnio 263,5%.

Potrzeby i niedobory wody w odniesieniu do ewapotranspiracji potencjalnej obliczonej modelem Hargreavesa^{DA} były tożsame w porównaniu z wartościami uzyskanymi na podstawie polowego zużycia wody (tab. 19) dla ostatniego roku badań (2022). Dla pierwszych 3 lat (2019, 2020 i 2021) odnotowano różnicę w sumarycznym, sezonowym niedoborze wody. Średnia wartość różnicy wahała się od 10,7 mm do 50,6 mm co średnio stanowiło 35% niższe niedobory. Najniższe niedobory wody zaobserwowano w roku 2020 gdzie dla wariantu W1 zanotowano sumaryczne pokrycie potrzeb wodnych jedynie dzięki opadom atmosferycznym. Miesiącami, w których nawadnianie surmii charakteryzowało się najwyższymi niedoborami to okres czerwiec - sierpień.

Wyższe liczbowo wartości niedoborów wody od otrzymanych w doświadczeniu własnym (przy różnych sposobach ich określania) dla innych gatunków drzew liściastych podają inni autorzy, m.in. Klimek i in. [2009] dla brzozy brodawkowatej. Autorzy wielkość potrzeb nawodnieniowych szacują dla warunków klimatycznych centralnej Polski średnio 289 mm. Dla lipy drobnolistnej natomiast Fini i in. [2009] podają, że zależnie od warunków meteorologicznych w poszczególnych latach badań niedobory wyniosły od 280 do 365 mm w warunkach nawadniania. Autorzy tłumaczą to wysoką wartością transpiracji w warunkach nawadniania. Natomiast Żakowicz [2010] podaje natomiast na podstawie wieloletnich doświadczeń przeprowadzonych na gruntach rekultywowanych, iż niedobory opadu (potrzeby nawodnieniowe) dla drzew liściastych powyżej trzeciego roku wzrostu mogą wynieść od 257 do 288 mm. Rolbiecki i in. [2019] szacują niedobory opadu (potrzeby nawodnieniowe) m. in. dla klonu jesionolistnego od 121 do 289 mm zależnie od regionu Polski. White and Smith [2015] podają natomiast, iż niektóre gatunki liściaste m. in. brzoza dobrze reagują na uzupełnianie deficytów wodnych przez system nawadniający. Obliczone w doświadczeniu własnym średnie wartości niedoborów wody za pomocą modeli klimatycznych oraz ich wysokie skorelowanie z polowym zużyciem wody, świadczą o ich wiarygodności oraz poprawności przeprowadzonych obliczeń.

Tabela 18. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania surmii w sezonie wegetacyjnym (IV-IX) w latach badań 2019-2022, obliczone na podstawie połowego zużycia wody (S) dla dwóch wariantów W1, W2.

Rok badań	Wariant	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Σ
2019	W1	9,3	-0,4	31,7	30,3	17,7	-27,18	61,42
	W2	16,65	2,3	35,6	34,2	21	-23,6	86,15
2020	W1	13,8	12,1	-26,2	21,4	23,9	-14,85	30,15
	W2	22,8	16,2	-16	27,4	31,3	-11,37	70,33
2021	W1	-6,2	17,7	45,1	58,9	48,1	13,01	141,21
	W2	-3	-12,15	51,4	64,05	49,7	15,5	165,5
2022	W1	8,1	36,1	41,4	53,5	49,4	-8,5	180,00
	W2	9,9	43	48,75	59,6	54,6	-5,75	210,1

Tabela 19. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania surmii w sezonie wegetacyjnym (IV-IX) w latach badań 2019-2022, obliczone na podstawie ewapotranspiracji potencjalnej (ETp) wg modelu Hargreavesa^{DA} dla dwóch wariantów doświadczenia (W1 i W2).

Rok badań	Wariant	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Σ
2019	W1	12,84	-0,68	32,51	26,93	10,74	-42,39	39,95
	W2	16,42	-0,67	42,53	35,16	18,81	-40,32	71,93
2020	W1	15,84	7,8	-33,92	13,39	10,31	-16,84	-3,42
	W2	23,16	10,45	-18,5	31,65	27,32	-14,44	59,64
2021	W1	-12,33	-18,85	42,46	50,8	20,2	9,5	91,77
	W2	-6,56	-18,85	57,71	66,05	32	9,5	139,85
2022	W1	3,71	31,34	50,08	46,58	52,21	-9,79	174,13
	W2	8,93	43,12	50,08	62,22	52,20	-9,79	206,76

W1: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa
W2: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa

Procentowy wskaźnik pokrycia potrzeb wodnych przedstawiono w tabeli 20. Analiza danych wykazała, że same opady atmosferyczne w zdecydowanej długości trwania doświadczenia nie pokrywały potrzeb wodnych surmii. Wyjątkiem był 2 rok doświadczenia (2020), gdzie potrzeby wodne obliczone modelem Hargreaves_{DA} dla wariantu W1 pokryte były w 101% (wg połowego zużycia wody wskaźnik ten dla wariantu W1 wynosił 91%). Średnio wskaźnik pokrycia potrzeb wodnych uzyskany tylko przy opadach naturalnych wahał się od 54% w roku 2022 do 101% w 2020 roku. Natomiast niezależnie od wariantu doświadczenia wynosił 71%. Zaobserwowane różnice w kolejnych latach były wynikiem nierównomiernego rozkładu opadów w trakcie trwania sezonu wegetacyjnego.

Dzięki zastosowaniu podpowierzchniowego nawadniania kropłowego pokrycie potrzeb wodnych surmii zostało pokryte w całości na przestrzeni całego okresu badawczego, niezależnie od sposobu ich obliczania. Średnio potrzeby wodne zostały pokryte w całym okresie badawczym w 105%. Nieznacznie wyższe wskaźniki pokrycia potrzeb wodnych stwierdzono w przypadku ich obliczania przy pomocy modelu Hargreaves'a i wyniosły one średnio dla lat badań niezależnie od wariantu wodnego 108%. W przypadku połowego zużycia wody wyniósł on 103%.

Obliczone procentowe wskaźniki pokrycia potrzeb wodnych potwierdzają istotną rolę nawadniania kropłowego w zaspakajaniu potrzeb wodnych roślin.

Uzyskanie pełnego zaspokojenia potrzeb wodnych poprzez zastosowanie systemów nawadniających w uprawach różnych gatunków roślin znajdują potwierdzenie w literaturze m.in. w badaniach Rolbieckiego S. [2003] z roślinami jagodowymi oraz Rolbieckiego R. [2013] ze szparagiem.

Tabela 20. Procentowe wskaźniki pokrycia potrzeb wodnych surmii dla wariantów W1, W2 w czasie prowadzenia badań.

Wskaźnik pokrycia	Wariant wodny	2019	2020	2021	2022	Średnia
S (Połowe zużycie wody)						
Pe/Q	W1	74%	91%	65%	58%	72%
	W2	68%	82%	61%	54%	63%
Pe+K/Q	W1	106%	107%	97%	97%	102%
	W2	104%	102%	103%	102%	103%
ETp Hargreaves ^{DA}						
Pe/Q	W1	75%	101%	74%	58%	77%
	W2	71%	84%	65%	55%	69%

Pe+K/Q	W1	107%	118%	110%	97%	108%
	W2	110%	105%	110%	103%	107%

W1: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa

W2: nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa

Pe- opad efektywny

Q- potrzeby wodne

K- dawka nawodnieniowa

5.3 Ocena parametrów wzrostu oraz powierzchni transpiracyjnej surmii

Zastosowanie podpowierzchniowego nawadniania kropłowego w istotny sposób wpłynęło na wzrost obu badanych gatunków surmii. Przeprowadzone wyniki pomiarów dla każdego wariantu doświadczenia zaprezentowano w tabeli 21.

Średnia wysokość surmii dla całego okresu badań na wariantcie kontrolnym W0 wyniosła dla surmii bignoniowej 53,0 cm, dla surmii żółtokwiatowej 49,6 cm. W wariantcie z zastosowaniem nawadniania kropłowego wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa (W1) wyniosła dla surmii bignoniowej 113,6 cm natomiast dla surmii żółtokwiatowej 96,4 cm. Zabieg nawadniania kropłowego wykonywany przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa (W2) charakteryzował się średnim wzrostem dla surmii bignoniowej 149,2 cm natomiast dla surmii żółtokwiatowej 139,5 cm.

W okresie prowadzenia badań na przestrzeni lat 2019-2022 całkowity, średni przyrost wysokości gatunków surmii zwiększył się na wariantcie kontrolnym W0 o 28,5cm. Dla wariantu nawodnieniowego W1 o 33,3cm oraz w wariantcie W2 wzrósł o 82,6cm.

Zaobserwowano istotne różnice oraz interakcję czynników doświadczenia na wysokość we wszystkich latach badań. Oba gatunki surmii zwiększyły wysokość w każdym kolejnym roku badań. Analizując przyrosty w obrębie gatunku zaobserwowano, iż surmia bignoniowa w każdym z wariantów nawadniania i zastosowanego czynnika uzyskiwała średnio o 11,3% wyższe wartości wzrostu niż surmia żółtokwiatowa. Najwyższy sezonowy wzrost wysokości surmii bignoniowej nastąpił w sezonie wegetacyjnym 2022 wyniósł względem surmii żółtokwiatowej 28,3%.

Kurbaniyazov i in. [2021] w warunkach klimatycznych Uzbekistanu w nasadzeniach miejskich uzyskali bardzo wysokie przyrosty wysokości surmii bignoniowej już w pierwszych latach nasadzenia w warunkach optymalnego uwilgotnienia. Na istotny wpływ optymalnej wilgotności gleby na parametry wzrostu drzew liściastych wskazuje White and Smith [2015]. Żakowicz [2010] podaje, iż średnia wysokość roślin zależy również od podłoża glebowego oraz

wysokości potencjału wody glebowej. W przypadku dwuletnich roślin brzozy Klimek i in. [2009] odnotowali przyrosty na poziomie 45 cm na skutek stosowania nawożenia organicznego połączonego ze ściółkowaniem w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby zapewnianego przez nawadnianie.

Day i Harris [2007] w swoich badaniach stwierdzili istotny wpływ nawadniania kropkowego na wzrost wysokości drzew liściastych.

Rolbiecki i in. [2013] stwierdzili istotny wpływ ściółkowania próchnicą nadkładową z boru świeżego na wzrost wysokości i średnicy pnia lipy w uprawie szkółkarskiej prowadzonej w warunkach nawodnieniowych. Podobne tendencje dotyczące kształtowania się cech parametrów wzrostu drzew w optymalnych warunkach wilgotności potwierdzają również badania Klimka i in. [2013], Biniak-Pieróg i in. [2016], He i in. [2021] oraz Li i in. [2020]. Ci ostatni autorzy najlepsze efekty nawadniania w nasadzeniach szpalerowych topoli, uzyskali w 4 roku po posadzeniu. Najwyższe przyrosty wysokości stwierdzili na wariantach nawadnianych przy sile ssącej gleby wynoszącej -20 kPa. Odpowiada to uzyskanym wynikom w doświadczeniu własnym, w którym najwyższą wysokością charakteryzowały się drzewa na wariantach W2 (-20kPa).

Tabela 21. Wysokość gatunków surmii w latach 2019-2022 (cm).

Wariant wodny	Gatunek	Rok badań				Średnia
		2019	2020	2021	2022	
W0	Surmia bignoniowa	35,0	54,3	57,7	65,0	53,0
	Surmia żółtokwiatowa	35,0	44,3	56,0	63,0	49,6
	Średnia	35,0	49,3	56,8	64,0	51,3
W1	Surmia bignoniowa	86,0	112,6	122,7	133,0	113,6
	Surmia żółtokwiatowa	84,0	91,3	106,7	103,7	96,4
	Średnia	85,0	101,9	114,7	118,3	105,0
W2	Surmia bignoniowa	113,7	134,3	154,0	195,0	149,2
	Surmia żółtokwiatowa	107,7	112,7	153,0	191,7	139,5
	Średnia	110,7	123,5	153,5	193,3	144,3
Różnice	W1-0	50,0	52,6	57,9	54,3	53,7
	W2-0	75,7	74,2	96,7	129,3	93,0

NIR _{0,05}					
Cz. I	9,404	6,388	8,316	15,857	4,076
Cz. II	3,472	3,728	4,006	4,534	4,337
Interakcja:					
Czynnik II/I	6,013	6,458	6,938	7,853	3,923
Czynnik I/II	10,786	8,554	10,315	17,288	5,290

W0 – kontrola (bez nawadniania); W1 – nawadnianie kropłowe przy potencjale wodnym gleby -40kPa; W2 - nawadnianie kropłowe przy potencjale wodnym gleby - 20kPa;

Nawadnianie na wariantach W1 oraz W2 w istotny sposób wpłynęło na średnicę pnia obu badanych gatunków. Przeprowadzone wyniki pomiarów zaprezentowano w tabeli 22.

Średnica pnia surmii dla całego okresu badań kształtowała się średnio na wariacie kontrolnym W0 dla surmii bignoniowej na poziomie 11,8 mm, dla surmii żółtokwiatowej 10,7 mm. W wariacie nawodnieniowym W1 wyniosła dla surmii bignoniowej 21,9 mm natomiast dla surmii żółtokwiatowej 20,4 mm. Wariant W2 charakteryzował się średnim wzrostem średnicy pnia dla surmii bignoniowej 29,4 mm natomiast dla surmii żółtokwiatowej 20,4 mm. W okresie prowadzenia badań 2019-2022 całkowity przyrost średnicy pnia kształtował się średnio dla wariantu W0 o 9,5 mm, wariantu W1 o 17,1 mm oraz w wariacie W2 wzrósł o 16,4 mm.

Badane gatunki surmii pod wpływem zastosowanego nawadniania zwiększyły istotnie średnicę pnia w każdym kolejnym roku badań. Badając przyrosty w obrębie wariantów nawodnieniowych zaobserwowano 33% różnicę między wariantami W1 oraz W2 i średnio w obu wariantach nawodnieniowych o 104% względem wariantu kontrolnego W0. Największy przyrost średnicy zaobserwowano w sezonie wegetacyjnym roku 2022 (różnica między W2 a W0 wyniosła 26 mm). W większości lat badań nie zaobserwowano interakcji czynników doświadczenia.

Podobne tendencje do uzyskanych w doświadczeniu własnym potwierdzają badania innych Autorów. Buhler i in. [2006] w warunkach klimatycznych Danii stwierdzili, że zwiększenie średnicy pnia u lipy w nasadzeniach szpalerowych w mieście zależało od ilości wody dostarczonej poprzez system nawadniający. Największe przyrosty uzyskali przy dawkach od 280 do 320 l/drzewo. Największe przyrosty średnicy uzyskali w optymalnych warunkach wilgotnościowych w miesiącach VIII i IX. Day i Harris [2007] oraz Fini i in. [2009] w swoich badaniach stwierdzili istotny wpływ nawadniania kropłowego na wzrost parametrów wzrostu m.in. średnicy pędu.

Tabela 22. Średnica pnia gatunków surmii w latach 2019-2022* (mm).

Wariant wodny	Gatunek	Rok badań				Średnia
		2019	2020	2021	2022	
W0	Surmia bignoniowa	6,7	9,8	13,7	17,0	11,8
	Surmia żółtokwiatowa	7,0	8,0	12,3	15,7	10,7
	Średnia	6,8	8,9	13,0	16,3	11,2
W1	Surmia bignoniowa	14,0	19,3	21,3	33,0	21,9
	Surmia żółtokwiatowa	13,5	19,0	20,3	28,7	20,4
	Średnia	13,7	19,1	20,8	30,8	21,1
W2	Surmia bignoniowa	19,8	24,0	26,7	47,3	29,4
	Surmia żółtokwiatowa	18,7	21,3	26,0	37,7	20,4
	Średnia	19,2	22,6	26,3	42,5	24,9
Różnice	W1-0	6,9	10,2	7,8	14,5	9,9
	W2-0	12,4	13,7	13,3	26,2	13,7
NIR _{0,05}						
Cz. I		2,497	2,100	2,765	3,067	1,837
Cz. II		n.i.	1,244	0,902	1,632	0,853
Interakcja:						
Czynnik II/I		n.i.	n.i.	n.i.	2,826	n.i.
Czynnik I/II		n.i.	n.i.	n.i.	3,949	n.i.

*- pomiar na wysokości 5 cm od powierzchni gruntu.

W tabeli 23 przedstawiono liczbę liści badanych gatunków surmii. W latach badań 2019-2022 stwierdzono istotny wpływ zastosowanych wariantów nawadniania podpowierzchniowego (W1 i W2) na wzrost liczby liści co przekłada się bezpośrednio na powierzchnię transpiracyjną testowanych drzew. Nie zaobserwowano istotnych interakcji czynników doświadczenia. Średnia

liczba liści surmii nienawadnianych dla badanego okresu wyniosła 31 szt. W wariacie nawodnieniowym W1 średnio uzyskano 62 szt.. Wariant W2 charakteryzował się liczbą liści na poziomie 84.

W całym badanym okresie całkowity przyrost liczby liści między wariantem kontrolnym W0 a W1 różnił się o 100%. Biorąc do porównania wariant W1 z wariantem W2 uzyskano 36% różnicę na korzyść wariantu W2 wykazując średnio względem wariantu kontrolnego przyrost o 168%.

Każdy testowany gatunek surmii charakteryzował się zwiększającą liczbą liści, w każdym kolejnym roku badań niezależnie od wariantu doświadczenia. Największy wzrost liczby liści w wariacie kontrolnym zaobserwowano w roku wegetacyjnym 2021 natomiast dla wariantów nawadnianych kropłowo w sezonie 2020. Większą liczbą liści niezależnie od wariantu wodnego charakteryzowała się surmia bignoniowa.

Zaobserwowane w doświadczeniu własnym tendencje do większej liczby liści w warunkach optymalnego uwilgotnienia potwierdzają badania El-Shanhorey [2024]. W doświadczeniu z nawadnianiem drzew paulowni uzyskali oni największą liczbę liści przy nawadnianiu w od 80-100 PPW (od -20 kPa do -10 kPa). W doświadczeniu własnym największą liczbą liści charakteryzowały się drzewa z wariantu wodnego W2 (-20 kPa).

Tabela 23. Liczba liści gatunków surmii w latach 2019-2022 (szt.)

Wariant wodny	Gatunek	Rok badań				Średnia
		2019	2020	2021	2022	
W0	Surmia bignoniowa	18,0	25,0	41,3	48,3	33,6
	Surmia żółtokwiatowa	17,3	23,7	35,0	44,3	30,1
	Średnia	34,3	24,3	38,1	46,3	31,5
W1	Surmia bignoniowa	43,3	55,0	72,7	93,3	66,1
	Surmia żółtokwiatowa	41,3	42,3	64,3	84,3	58,1
	Średnia	42,3	48,6	68,5	88,8	62,0
W2	Surmia bignoniowa	57,6	75,0	96,7	122,7	88,0
	Surmia żółtokwiatowa	56,0	60,3	91,7	115,3	80,8
	Średnia	56,8	67,6	94,2	119,0	84,4
Różnica	W1-0	8,0	24,3	30,4	42,5	30,5

	W2-0	22,5	43,3	56,1	30,2	52,9
NIR _{0,05}						
Cz. I		4,702	6,134	3,067	17,756	3,373
Cz. II		n.i.	4,984	3,514	6,019	3,788
Interakcja:						
Czynnik II/I		n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Czynnik I/II		n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

Liczba pędów bocznych oraz ich długości przedstawiono w tabeli 24 i 25. W badanym okresie odnotowano istotny wpływ podpowierzchniowego nawadniania kropkowego na kształtowanie się tych cech parametrów wzrostu. Nie odnotowano istotnej interakcji czynników doświadczenia. W wariancie nawodnieniowym W1 średnia liczba pędów bocznych w okresie badania wyniosła 4 szt. Wariant W2 charakteryzował się średnim wzrostem liczby pędów do 6 szt. Porównując oba warianty nawodnieniowe W1 oraz W2 z wariantem kontrolnym W0 zanotowano zwiększenie liczby pędów bocznych o 150%. W okresie badania najwyższy roczny przyrost pędów bocznych zaobserwowano w 2022 roku dla wszystkich wariantów doświadczenia natomiast najniższe przyrosty średnio notowano w sezonach 2019-2020.

Tabela 24. Liczba pędów bocznych gatunków surmii w latach 2019-2022 (szt.)

Wariant wodny	Gatunek	Rok badań				Średnia
		2019	2020	2021	2022	
W0	Surmia bignoniowa	1,0	1,0	3,0	4,0	2,2
	Surmia żółtokwiatowa	1,0	1,0	2,7	3,3	2,0
	Średnia	1,0	1,0	2,8	3,6	2,1
W1	Surmia bignoniowa	2,0	3,3	6,7	6,7	4,7
	Surmia żółtokwiatowa	1,3	3,0	5,3	5,3	3,7
	Średnia	1,6	3,1	6	6	4,2
W2	Surmia bignoniowa	2,3	4,7	7,6	12,3	6,7
	Surmia żółtokwiatowa	1,7	3,7	6,0	9,7	5,3
	Średnia	2,0	4,2	6,8	11,0	6,0
Średnia	W1-0	0,6	2,1	3,2	2,4	2,1

	W2-0	1,0	3,2	4,0	7,4	3,9
NIR _{0,05}						
Cz. I		0,767	1,137	1,645	1,328	1,072
Cz. II		n.i.	n.i.	0,666	0,665	0,399
Interakcja:						
Czynnik II/I		n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Czynnik I/II		n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

W przypadku długości pędów bocznych zaobserwowano tą samą tendencję jak w przypadku innych parametrów wzrostu surmii tzn. większą długością pędów charakteryzowały się surmie bignoniowe z wariantu W2. Średnia długość pędu dla tego wariantu w latach badań wyniosła dla surmii bignoniowej 54,3 cm natomiast dla surmii żółtokwiatowej 44,2 cm. Wariant kontrolny w stosunku do wariantów nawodnieniowych osiągał średnio o 86,2% niższe wartości wzrostu długości pędów bocznych. W każdym roku wzrostu surmii zaobserwowano istotne różnice w kształtowaniu się tej cechy wzrostu pomiędzy wariantami doświadczenia. Nie zaobserwowano istotnej interakcji czynników doświadczenia. Najwyższy sezonowy wzrost w każdym z badanych wariantów odnotowano w 3. roku uprawy tj. 2021 roku (średnio o 28,4%).

Fini i in. [2009] stwierdzili istotny przyrost długości oraz średnicy pędu u drzew lipy drobnolistnej pod wpływem nawadniania. Średnia długość pędu wyniosła prawie 80 cm, co znacznie przekracza wartości uzyskane w doświadczeniu własnym. Klimek i in. [2009] odnotowali przyrosty na poziomie 45 cm na skutek stosowania nawożenia organicznego połączonego ze ściółkowaniem w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby zapewnianego przez nawadnianie, co odpowiada uzyskanym wynikom w doświadczeniu własnym.

Tabela 25. Długości pędów bocznych gatunków surmii w latach 2019-2022 (cm)

Wariant wodny	Gatunek	Rok badań				Średnia
		2019	2020	2021	2022	
W0	Surmia bignoniowa	13,0	16,7	32,3	41,0	25,7
	Surmia żółtokwiatowa	12,3	14,5	25,3	36,7	22,2
	Średnia	12,6	15,6	28,8	38,8	23,9
W1	Surmia bignoniowa	30,0	36,3	49,7	53,0	42,2
	Surmia żółtokwiatowa	27,7	36,0	39,3	47,3	37,5
	Średnia	28,8	36,1	44,5	50,1	39,8

W2	Surmia bignoniowa	49,0	45,0	57,7	65,7	54,3
	Surmia żółtokwiatowa	33,3	41,7	44,0	58,0	44,2
	Średnia	41,1	43,3	50,8	61,8	49,2
Średnia	W1-0	16,2	20,5	15,7	11,3	15,9
	W2-0	28,5	27,7	22,0	23,0	25,3
NIR _{0,05}						
Cz. I		23,200	6,457	6,333	4,144	8,631
Cz. II		5,007	1,648	2,565	1,246	2,576
Interakcja:						
Czynnik II/I		n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Czynnik I/II		n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

W pracy określono wielkość wskaźnika powierzchni liści (LAI), który jest wskaźnikiem architektury nasadzeń oraz miarą struktury roślin w ekosystemie (tab. 26). Na jego wartość wpływają nie tylko cechy genetyczne roślin, ale również czynniki siedliskowe i agrotechniczne [Biskupski i in. 2004]. Im wyższy wskaźnik LAI, tym większa powinna być produkcja biomasy i plonu rolniczego w przypadku roślin rolniczych [Czerednik i Nalborczyk 2000]. Według Szeleźnik [1991], prawidłowy rozkład roślin na jednostkę powierzchni wywiera silny wpływ na wielkość powierzchni asymilacyjnej roślin, która w wielkim stopniu decyduje o skuteczności właściwego wykorzystania promieniowania słonecznego a co za tym idzie ewapotranspiracji.

W doświadczeniu własnym wskaźnik LAI był różnicowany przez czynnik wodny. Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy gatunkami surmii. Drzewa wraz z upływem doświadczenia zwiększały wskaźnik LAI. Jego wielkość kształtowała się od 1,49 m² · m⁻² w pierwszym roku do 10,78 m² · m⁻². Średnia dynamika wzrostu wskaźnika LAI dla wariantów nawodnieniowych W1 wynosiła 29,5% natomiast dla W2 wyniosła 28%. Największe wartości wskaźnika LAI uzyskano w czwartym roku prowadzenia doświadczenia na wariantcie wodnym W2 (-20 kPa) co znajduje potwierdzenie w literaturze. Li i in. [2020] podaje, iż wskaźnik LAI był najwyższy dla topoli nawadnianej przy spadku potencjału wodnego gleby do -20 kPa, chociaż obliczony przez niego wskaźnik był niższy.

Tabela 26. Wielkość wskaźnika powierzchni liści surmii (LAI) w latach 2019-2022 (m² · m²)

Wyszczególnienie		Lata badań				Średnia
		2019	2020	2021	2022	
W0	Surmia bignoniowa	1,49	2,20	3,63	4,24	2,89
	Surmia żółtokwiatowa	1,72	2,35	3,48	4,40	2,99
W1	Surmia bignoniowa	3,63	4,83	6,39	8,20	5,76
	Surmia żółtokwiatowa	4,20	4,30	6,39	8,38	5,82
W2	Surmia bignoniowa	5,06	6,59	8,50	10,78	7,74
	Surmia żółtokwiatowa	4,80	5,17	7,86	9,88	6,93
Średnia		3,50	4,22	6,54	7,64	5,35
NIR _{0,05}						
Cz. I		0,887	0,753	1,103	0,951	1,350
Cz. II		n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.
Interakcja:						
Czynnik II/I		n.i.	0,471	0,387	0,411	0,486
Czynnik I/II		n.i.	0,821	0,291	1,352	1,415

5.4 Ocena rozmieszczenie systemów korzeniowych surmii

W tabelach 27-32 oraz wykresach 21-26 przedstawiono wyniki analizy systemu korzeniowego dla każdego wariantu doświadczenia. Tabele prezentują ilość korzeni 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 największa liczba korzeni dla wszystkich wariantów doświadczenia znajduje się na głębokości 0-30 cm, w której średnio znajduje się 94,8% wszystkich korzeni. W ujęciu ilościowym najmniejszą ilość korzeni zaobserwowano w wariantcie kontrolnym W0 – 129 szt., natomiast największą w wariantcie nawodnieniowym W2– 196 sztuk. Korzenie o średnicy mniejszej niż 1 mm stanowiły średnio 64,2% wszystkich korzeni dla każdego wariantu surmii bignoniowej natomiast najmniejszą grupę stanowiły korzenie powyżej 3 mm stanowiąc średni udział na poziomie 1,6% (rys. 21-26). W wariantcie W0

oraz W2 korzenie zanotowano do poziomu 40 cm natomiast w wariacie 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 wariacie kontrolnym W0 – 108 szt., natomiast największą w wariacie nawodnieniowym W2-197 sztuk. Korzenie o średnicy mniejszej niż 1 mm stanowiły średnio 65,5% wszystkich korzeni dla każdego wariantu surmii żółtokwiatowej natomiast najmniejszą grupę stanowiły korzenie powyżej 3 mm stanowiąc średni udział na poziomie 10,5%. W wariacie W0 oraz W1 korzenie zanotowano do poziomu 40 cm natomiast w wariacie W2 do poziomu 60 cm.

Porównując rozmieszczenie systemów korzeniowych surmii bignoniowej i surmii żółtokwiatowej można zauważyć istotny wzrost liczby korzeni w wariantach nawodnieniowych w stosunku do kontroli: dla surmi bignoniowej w wariacie W1 wzrósł o 25,5%, dla W2 wzrósł o 51,9%. Surmia żółtokwiatowa cechowała się większymi wzrostami liczby korzeni w wariantach nawodnieniowych w stosunku do kontroli: w wariacie W1 wzrost wyniósł 36,1% natomiast w W2 wyniósł 82,4%.

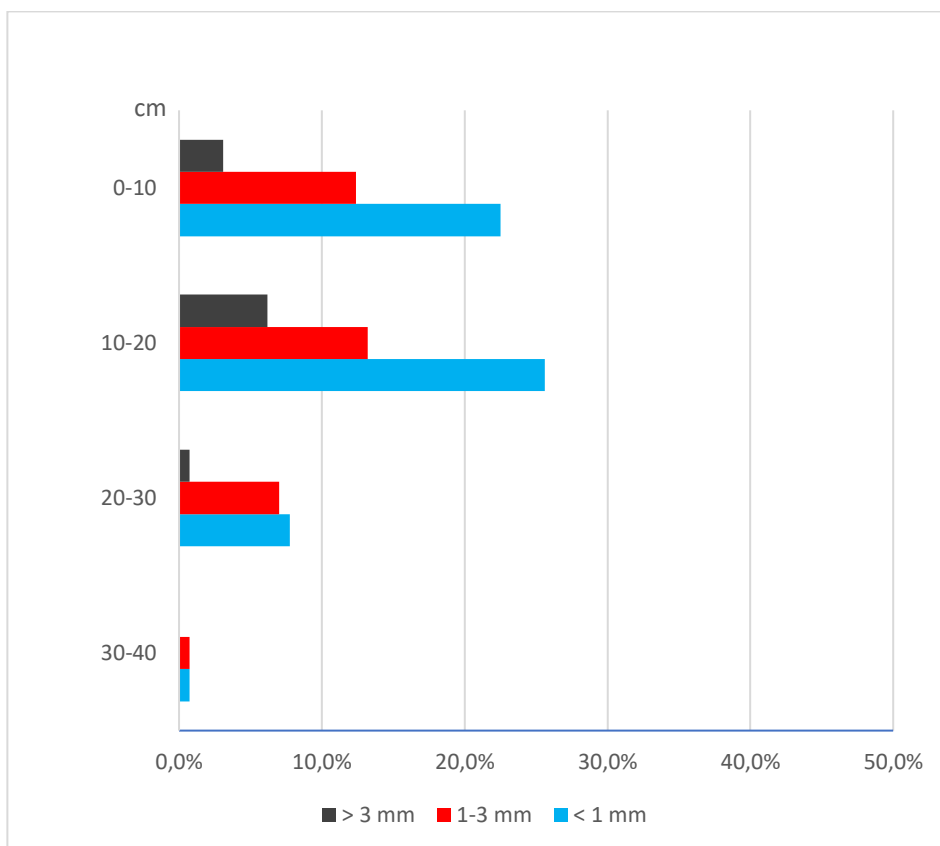
Oba gatunki cechowały się największym przyrostem korzeni poniżej 1 mm w warstwie 0-30 cm. Oba gatunki utrzymują podobny poziom występowania korzeni na głębokości do 40-50 cm (wyjątkiem jest wariant W2 surmii żółtokwiatowej której korzenie dochodziły do głębokości 60 cm).

Rozmieszczenie zdecydowanej większości systemu korzeniowego w każdym wariacie doświadczenia w przedziale 0-30 cm jest wynikiem zastosowania optymalnych warunków uwilgotnienia podpowierzchniowego kropłowego systemu nawadniania.

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.

Tabela 27. Liczba korzeni surmii bignoniowej (szt.) w wariancie W0

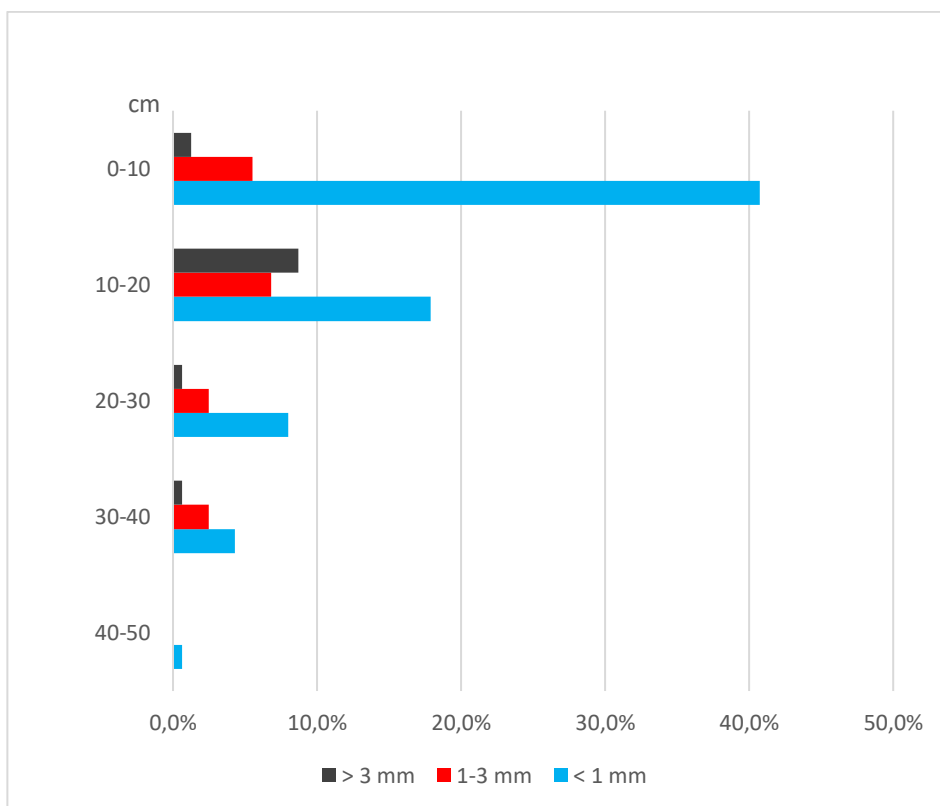
Poziom w cm	Liczba korzeni w (szt.) przypadająca na 0,6 m ²			
	< 1mm	1-3mm	> 3mm	razem
0 - 10	29	16	4	49
10-20	33	17	8	58
20-30	10	9	1	20
30-40	1	1	0	2
40-50	0	0	0	0
50-60	0	0	0	0
razem	73	43	13	129



Rys. 21. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii bignoniowej w wariancie W0.

Tabela 28. Liczba korzeni surmii bignoniowej (szt.) w wariancie W1

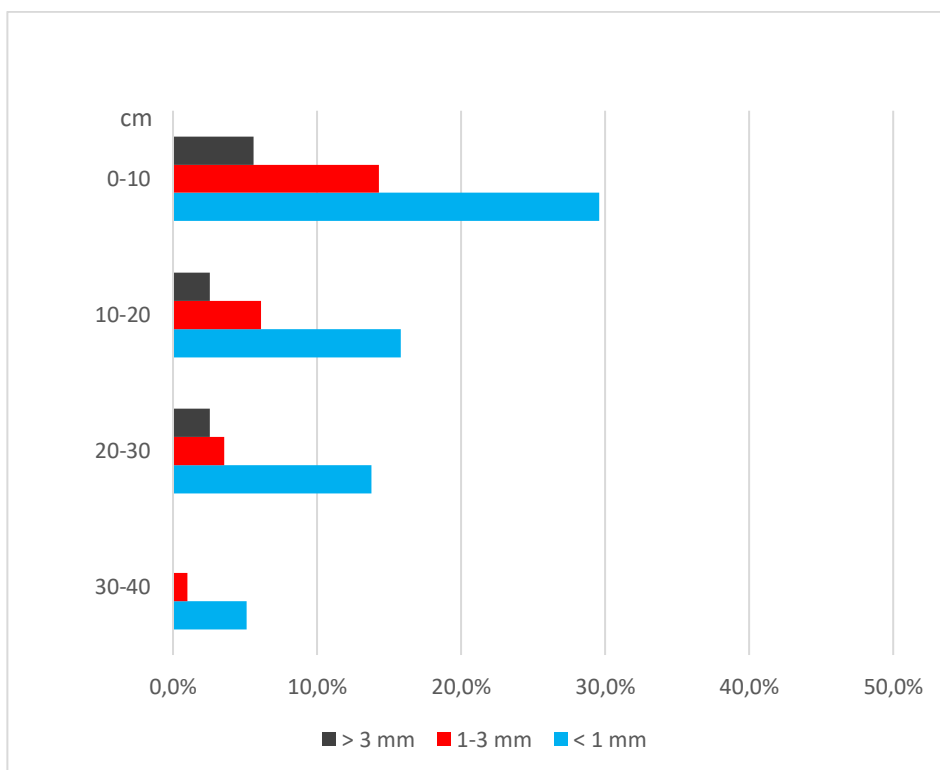
Poziom w cm	Liczba korzeni w (szt.) przypadająca na 0,6 m ²			
	< 1mm	1-3mm	> 3mm	razem
0 - 10	66	9	2	77
10-20	29	11	14	54
20-30	13	4	1	18
30-40	7	4	1	12
40-50	1	0	0	1
50-60	0	0	0	0
razem	116	28	18	162



Rys. 22. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii bignoniowej w wariancie W1.

Tabela 29. Liczba korzeni surmii bignoniowej (szt.) w wariancie W2

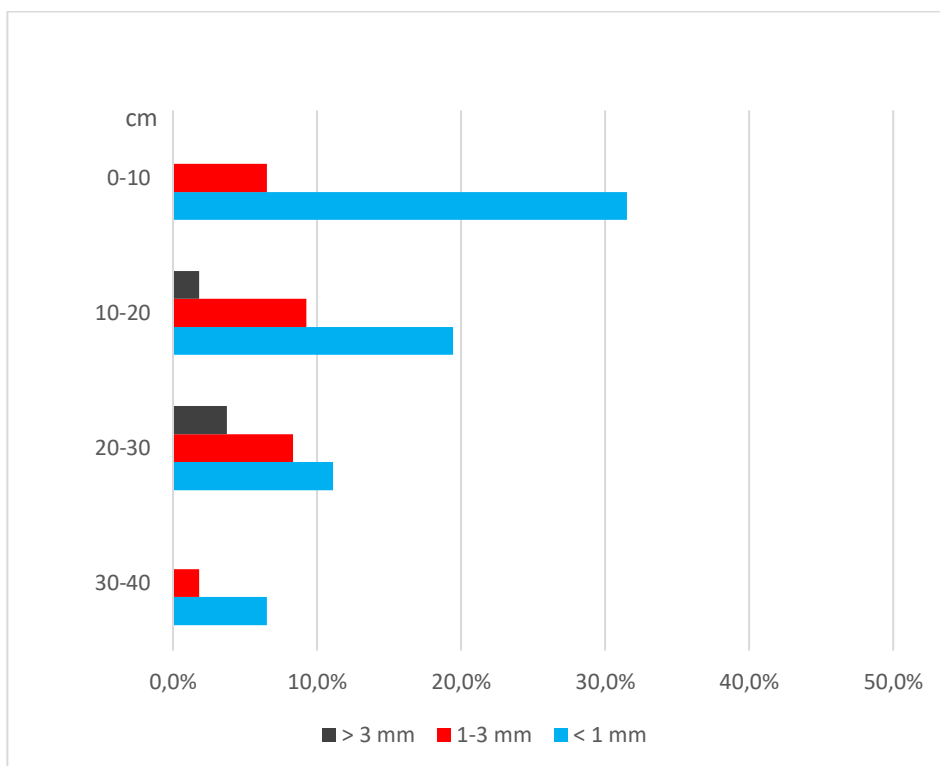
Poziom w cm	Liczba korzeni w (szt.) przypadająca na 0,6 m ²			
	< 1mm	1-3mm	> 3mm	razem
0 - 10	58	28	11	97
10-20	31	12	5	48
20-30	27	7	5	39
30-40	10	2	0	12
40-50	0	0	0	0
50-60	0	0	0	0
razem	126	49	21	196



Rys. 23. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii bignoniowej w wariancie W2.

Tabela 30. Liczba korzeni surmii żółtokwiatowej (szt.) w wariacie W0

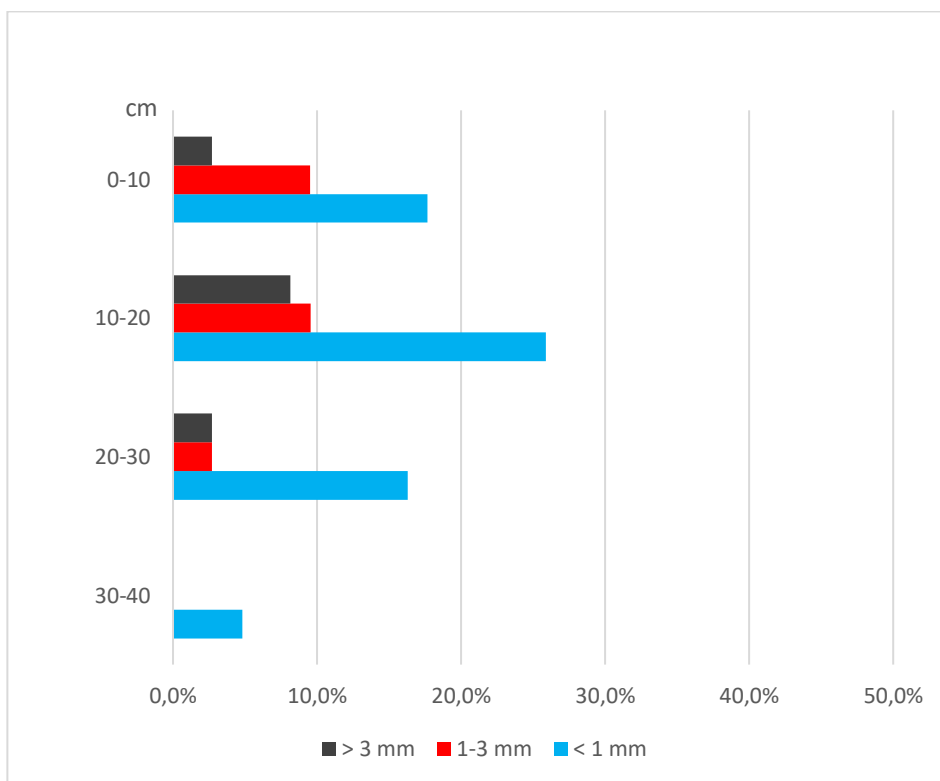
Poziom w cm	Liczba korzeni w (szt.) przypadająca na 0,6 m ²			
	< 1mm	1-3mm	> 3mm	razem
0 - 10	34	7	0	41
10-20	21	10	2	33
20-30	12	9	4	25
30-40	7	2	0	9
40-50	0	0	0	0
50-60	0	0	0	0
razem	74	28	6	108



Rys. 24. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii żółtokwiatowej w wariacie W0.

Tabela 31. Liczba korzeni surmii żółtokwiatowej (szt.) w wariancie W1

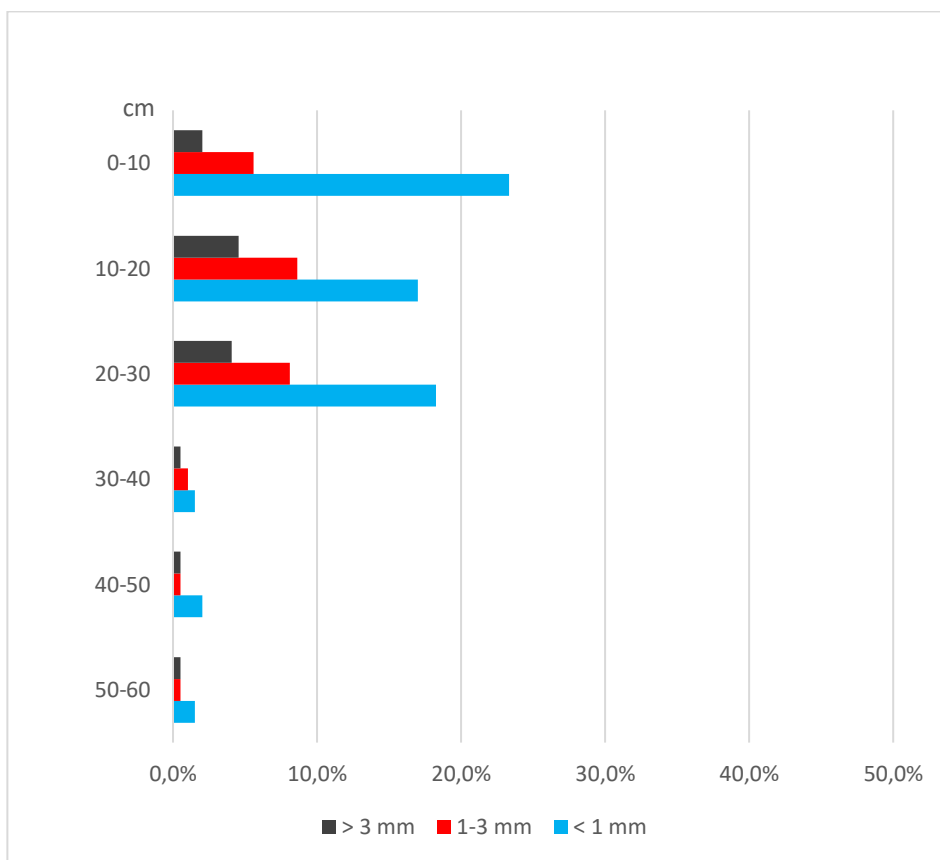
Poziom w cm	Liczba korzeni w (szt.) przypadająca na 0,6 m ²			
	< 1mm	1-3mm	> 3mm	razem
0 - 10	26	14	4	44
10-20	38	14	12	64
20-30	24	4	4	32
30-40	7	0	0	7
40-50	0	0	0	0
50-60	0	0	0	0
razem	95	32	20	147



Rys. 25. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii żółtokwiatowej w wariancie W1

Tabela 32. Liczba korzeni surmii żółtokwiatowej (szt.) w wariancie W2

Poziom w cm	Liczba korzeni w (szt.) przypadająca na 0,7 m ²			
	< 1mm	1-3mm	> 3mm	razem
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
razem	125	48	24	197



Rys. 26. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii żółtokwiatowej w wariancie W2.

6. WNIOSKI

1. Potrzeby wodne identyfikowane z połowym zużyciem wody (S) surmii w nasadzeniach szpalerowych na glebach lekkich, w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby, w badanym okresie wegetacyjnym były zmienne i zależały od wariantów doświadczenia: W1 (nawadniania wykonywanego przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa), W2 (nawadniania wykonywanego przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa) oraz przebiegu warunków opadowych.
2. Podpowierzchniowe nawadnianie kropłowe miało istotny wpływ na wysokość i średnicę pnia, liczbę liści, długości pędów bocznych. Największe istotne różnice stwierdzono na wariantach W2.
3. Stwierdzono, że w warunkach podpowierzchniowego nawadniania kropłowego sumaryczne zużycie wody w badanych sezonach wegetacyjnych dla wariantu W1 wyniosło w przedziale od 241,32 mm do 428,70 mm. Na obiektach W2 wartości sezonowego zużycia wody były wyższe i mieściły się w przedziale od 266,05 mm do 458,80 mm.
4. Dobowe zużycie wody wzrastało wraz ze wzrostem surmii niezależnie od wariantu doświadczenia. W każdym roku prowadzenia doświadczenia wyższymi wartościami dobowego zużycia wody charakteryzowały się surmie rosnące na wariantach W2.
5. Wartości współczynników roślinnych (k_c) dla modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena w pierwszych 3 latach po posadzeniu były wyższe przez większość miesięcy sezonu wegetacyjnego dla wariantu W2. Ta tendencja powtórzyła się w 4. roku po posadzeniu, co świadczy o istotnym znaczeniu tego wariantu nawodniownego w obliczaniu Etp wybranym modelem klimatycznym.
6. Ewapotranspiracja potencjalna (ET_p^{HDA}) surmii obliczona na podstawie formuły Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena w sezonie wegetacyjnym dla wariantu W1 mieściła się w przedziale od 240,30 mm do 422,83 mm. Wariant W2 cechował się wyższą ewapotranspiracją od W1 w każdym sezonie wegetacyjnym i wynosiła od 251,83 mm do 455,46 mm.
7. Stwierdzono, że optymalne dawki nawodnieniowe w sezonach wegetacyjnych na wariacie W1 kształtowały się w przedziale od 78 mm do 165 mm. Na obiektach wariantu W2 dawki nawodnieniowe były wyższe i wynosiły od 96 mm do 219 mm.
8. Niedobory i potrzeby nawadniania były ściśle związane z występowaniem i rozkładem opadów w trakcie trwania sezonu wegetacyjnego. W każdym roku prowadzenia doświadczenia zastosowane dawki nawodnieniowe były

warunkiem koniecznym do wyeliminowania niedoborów wody (z wyjątkiem roku 2020 w wariantcie W1).

9. Zaobserwowano istotny wzrost liczby korzeni w wariantach nawodnieniowych W1 i W2 dla grupy korzeni poniżej 1 mm w warstwie 0- 30 cm. Rozmieszczenie zdecydowanej większości systemu korzeniowego do głębokości 30 cm było wynikiem zastosowania optymalnych warunków wilgotnościowych.
10. Zastosowanie systemu podpowierzchniowego nawadniania kropłowego zwiększa udatność w nasadzeniach szpalerowych wybranych gatunków surmii, zapewniając im optymalne warunki wodne do niezakłóconego wzrostu i rozwoju.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Allen R. G., Walter, I., Elliot, R., Howell, T. 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Reston, Va.; American Society of Civil Engineers, s. 59.
- [2] Allen R.G., 1986. Penman for all seasons. Proc. ASCE, J. of Irrigation and Drainage Eng. 112, s. 348-368.
- [3] Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration – Guide-lines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, s. 300.
- [4] Alrubaye Y. L., Yusuf B., 2021. Former and current trend in subsurface irrigation systems. *Pertanika Journal of Science and Technology*, Volume 29, s. 1-30.
- [5] Anderson L.M., Cordell H.K., 1988. Residential property values improve by landscaping with trees. *Southern Journal of Applied Forestry*, nr 9, s. 162-166.
- [6] Antolak M., 2017. Analiza i waloryzacja krajobrazu gminy wiejskiej Ostróda. *Studia Obszarów Wiejskich*, T. 45, s. 141-155.
- [7] Babelewski P., 2019. Jak dbać o młode drzewa surmii bignoniowej. *Mój Piękny Ogród*, nr 7, s. 42.
- [8] Babiński S., Białkiewicz F., 1999. Deszczowanie szkółek, rozdział w pracy zbiorowej: *Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe*. Rozdział 7, s. 152-164.
- [9] Bac S., Ostrowski S., 1969. *Podstawy leśnych melioracji wodnych*. Warszawa Wyd. PWRiL.
- [10] Baran S., Bielińska E.J., Wiśniewski J., 1999. Wpływ osadu ściekowego i wrennikompostu z tego osadu na aktywność enzymatyczną gleby piaszczystej. *Ann. UMCS Lublin*, 54, 18, s. 145-151.
- [11] Baran S., Bielińska E.J., Wiśniewski J., 1998. Wpływ stosowania niekonwencjonalnych nawozów wieloskładnikowych na wybrane właściwości gleby lekkiej. *Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, Agricultura* 72, s. 11-20.
- [12] Baran S., Turski R., Flis-Bujak M., Martyn W., Kwiecień J., Uzar C. 1993. Możliwości zwiększania walorów produkcyjnych gleb lekkich przy zastosowaniu płonnych skał górniczych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 403, s. 83–88.
- [13] Bastiaanssen W.G.M, Pelgrum H., Roerink G, Soeterink K., 2001. Soil moisture conditions in the Netherlands during the summer of 1995 interpreted from satellite measurements, in: *GIS and remote sensing techniques in land and water management* edited by: van Dijk A., Bos M.G., Kluwer, Amsterdam, s. 69-86.

- [14] Beule L., Karlovsky P., 2021. Tree rows in temperate agroforestry croplands alter the composition of soil bacterial communities. *PLoS ONE* 16 (2), s. 1-20.
- [15] Bielińska E. J., Żukowska G., 2002. Protease and urease activity in the light soil, fertilised with the sewage sediment. *Acta Agroph.* nr 70, s. 41-47.
- [16] Biniak-Pieróg M., Żyromski A., Rolbiecki R., Rolbiecki S., Żyromski M., Żmuda R., 2016. Effect of thermal conditions and precipitation on growth rate of scots pine. *Journal of Ecological Engineering.* 17(5), s. 1-8.
- [17] Biskupski A., Kus A., Pabin J., Włodek S., 2004. Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na wskaźnikpowierzchni liści (LAI), średni kąt nachylenia liści (MTA) i plon wybranych odmian przynicy twardej. *Ann. UMCS, Sec. E* 59(2), s. 649-654.
- [18] Bocheński M., Clebiera O., Dolata P.T., Jerzak L., Zbyryt A. 2013. Ochrona ptaków w mieście. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Gorzowie Wielkopolskim, s. 31-32.
- [19] Bóhm W. 1985. Metody badania systemów korzeniowych. PWRiL, Warszawa
- [20] Bojarczuk T., Bugała W., Chylarecki H., 1980. Zrejonizowany dobór drzew i krzewów do uprawy w Polsce. *Arboretum kórnickie*, nr 25, s. 329-375.
- [21] Borowski J., Latocha P., 2006. Dobór drzew i krzewów do warunków przyulicznych Warszawy i miast centralnej Polski. *Rocznik Dendrologiczny*, nr 54. s. 83-93.
- [22] Bozaci E., Tağaç A. 2022. Extraction and characterization of new cellulosic fiber from *Catalpa bignonioides* fruits for potential use in sustainable products. *Polymers*, nr 15, s. 1-13.
- [23] Bühler O., Nielsen Ch.N., Kristoffersen P., 2006. Growth and phenology of established *Tilia cordata* street trees in response to different irrigation regimes. *Arboriculture and Urban Forestry*, s. 3-9.
- [24] Burszta-Adamiak E., 2017. Mała retencja w miastach. *Zieleń miejska* nr 4., s. 10-12.
- [25] Camp, C., 1998. Subsurface drip irrigation: A review. *Transactions of the ASAE*, 41(5), s. 1353-1367.
- [26] Cerny T., Kopp K., Johnson M., 2002. Efficient Irrigation of Trees and Shrubs. CWEL Extension Fact Sheets. s. 6.
- [27] Chiesura A. 2004. The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning* 68 (1), s.129-138.
- [28] Chinan V.C., Mânzu C.C., 2018. Distribution, incidence and severity of the *Catalpa* powdery mildew caused by *Erysiphe elevata* in North-Eastern Romania. *Notulae Scientia Biologicae*, s. 614-617.

- [29] Choudhury S., Datta S., Talukdar A.D., Choudhury, M.D. 2011. Phytochemistry of the family Bignoniaceae – a review. Assam University Journal of Science and Technology, s. 145-150.
- [30] Crabtree P., 2014. Trees in urban design. Conference material StormCon 2014 , Portland s.1-10.
- [31] Cragg G.M., Newman D.J. 2005. Plants as a source of anti-cancer agents. Journal of Ethnopharmacology, 100(1), s. 72-79.
- [32] Czerednik A., Nalborczyk E., 2000. Współczynnik wykorzystania napromieniowania fotosyntetycznie aktywnego (RUE)– nowy wskaźnik fotosyntetycznej produktywności roślin w łanie. Biul. IHAR 215, s. 13-22.
- [33] Day S., Harris R., 2007. Fertilization of red maple (*Acer rubrum*) and littleleaf linden (*Tilia cordata*) trees at recommended rates does not aid tree establishment. Arboriculture and Urban Forestry 2007. 33(2), s. 113–121.
- [34] De Abreu M.B., Temraz A., Vassallo A., Braca A., De Tommasi N. 2014. Phenolic glycosides from *Tabebuia argentea* and *Catalpa bignonioides*. Phytochemistry Letters, s. 85-88.
- [35] Dobrzyńska N., Dembek W., 2020. Gospodarowanie wodą w rolnictwie w obliczu susz. Departament Komunikacji i Promocji MRiRW, s. 1-19.
- [36] Doell P., 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: A Global perspective. Climatic Change, 54, s. 269-293.
- [37] Dong W., Liu Y., Li E., Xu C., Sun J., Li W., Zhou S., Zhang Z., Suo Z. 2022. Phylogenomics and biogeography of *Catalpa* (Bignoniaceae) reveal incomplete lineage sorting and three dispersal events. Mol Phylogenet Evol.
- [38] Doorenbos J., Pruitt W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Rome, s. 144.
- [39] Doroszewski A., Jadczyński J., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Mizak K., Łopatka A., Koza P., Górski T., Wróblewska E., 2012. Podstawy systemu monitoringu suszy rolniczej. Woda-Środowisko- Obszary Wiejskie, T. 12, z. 2, s. 77-91.
- [40] Drost D.T., 1996. Irrigation budget and plant growth of asparagus. Acta Horticulturae (ISHS) 415, s. 343–350.
- [41] Drozd J., Nowak L., 2006. Gospodarka wodna gleby. [W:] Nawadnianie roślin (red.) L. Nowak, S. Karczmarczyk, PWRiL Poznań, s. 27–65.
- [42] Drupka S., 1980. Deszczownie i deszczowanie. Wyd. PWRiL, Warszawa
- [43] Durlak W., Dudkiewicz M., Dąbski M., Kostrzewa E., 2015. Dendrological inventory and condition of the historic avenue of lime trees in Dratów. Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus. T. 14. s. 27-33.
- [44] Dvorská M., Žemlička M., Muselík J., Karafiátová J., Suchý V. 2007. Antioxidant activity of *Catalpa bignonioides*. Fitoterapia, nr 78, s. 437-439.

- [45] Dzieżyc J., Nowak L.: 1993. Deszczowanie. Rozdział w pracy zbiorowej „Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin” pod red. J. Dzieżycyca. PWN Warszawa-Wrocław, s. 329–352.
- [46] Dzieżyc J., Trybała M., 1989. Rola wody w intensyfikacji produkcji roślinnej na glebach lekkich. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych nr 377, s. 179-193.
- [47] El-Hendawy S. E., Abd El-Lattief E. A, Ahmed M.S., Schmidhalter U., 2008. Irrigation rate and plant density effects on yield and water use efficiency of drip-irrigated corn. *Agricultural Water Management*, Volume 95, Issue 7, s. 836-844.
- [48] Elnemr M., 2021. Integration of subsurface irrigation and organic mulching with deficit irrigation to increase water use efficiency of drip irrigation. *INMATEH*, vol. 64, s. 215-226.
- [49] El-Shanhorey N.A., Nashwa H. Mohamed N.H, 2024. Improving the efficiency of irrigation rates by using soil conditioners on the growth rates of paulownia hybrid seedlings planting in sandy soil. *Alex. J. Agric. Sci.*, vol. 69, nr. 3, s. 273-285.
- [50] Felter H.W., Lloyd J.U. 1989. Catalpa-Cigar Tree. King’s American Dispensatory. (https://plants.usda.gov/DocumentLibrary/plantguide/pdf/pg_cabi8.pdf) [Date accessed: August 2024].
- [51] Fini A., Ferrini F., Frangi P., Amoroso G., Piatti R., 2009. Withholding irrigation during the establishment phase affected growth and physiology of Norway maple (*Acer platanoides*) and Linden (*Tilia* spp.). *Arboriculture and Urban Forestry*, 35(5), s. 241–251.
- [52] Fortuna-Antoszkiewicz B., 2019. Roślinność w kompozycji przestrzennej – wartości i zachowanie dziedzictwa. Wydawnictwo SGGW.
- [53] Fujiwara A., Mori T., Lida A., Ueda S., Hano Y., Nomura T., Tokuda H., Nishino H, 1998. Antitumor-promoting naphthoquinones from *Catalpa ovata*. *Journal Nat. Prod.*, nr 61(5), s. 629-632.
- [54] Gabsik Y., Cheol-Han Ch., Kyungjin L., Mihwa L., Inhye H., Ho-Young Ch., 2013. Effects of *Catalpa ovata* stem bark on atopic dermatitis- like skin lesions in NC/Nga mice. *Journal of Ethnopharmacol.* Nr 145, s. 416–423.
- [55] Gonet S. 2007. Materia organiczna w tematycznej strategii ochrony gleb unii europejskiej. *Roczniki Gleboznawcze*, T.58, nr 3/4, s. 15-26.
- [56] Gostkowska K., Furczak J., Kornilowicz T., 1989. Wpływ różnych środków użyźniających na aktywność mikrobiologiczną gleby piaszczystej i gliniastej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, nr 370, s. 65-84.
- [57] Grabarczyk S., Dudek S., Grzelak S., Peszek J., Rzekanowski Cz., Żarski J., 1994. Możliwości produkcyjne gleby bardzo lekkiej w warunkach

- deszczowania. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 414, s. 145-152.
- [58] Grimshaw J., Olsen R.T. 2011. Tree of the year: Chinese species of *Catalpa Scop.* International Dendrology Society, Yearbook 2011, s 26-59.
- [59] Gruszecki K. 2017. Drzewa w pasie drogi publicznej. Zielen miejska nr 4., s. 57-58.
- [60] Grygoruk M., Mirosław-świętek D., Okruszko T., Batelaan O., Szatyłowicz J., 2011. Szacowanie ewapotranspiracji rzeczywistej zakrzaczeń brzożowych na torfowisku niskim na podstawie dobowych zmian stanów wód podziemnych. Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, s 121-136
- [61] Hal R., Roberts J.M., 1990. Hydrological aspects of new broadleaf plantations, *Seesoil*, 6, s. 2-38.
- [62] He Y., Xi B., Li G., Wang Y., Jia L., Zhao D., 2021. Influence of drip irrigation, nitrogen fertigation, and precipitation on soil water and nitrogen distribution, tree seasonal growth and nitrogen uptake in young triploid poplar (*Populus tomentosa*) plantations, *Agricultural Water Management*, vol. 243, s. 1-10.
- [63] Hewelke P., 1993. Podstawy regulowania wilgotności za pomocą nawodnień kropłowych. *Roczniki gleboznawcze T. 43 nr 3/4*, s. 5-18.
- [64] Howell, T. A., Evett, S. R., Schneider, A. D., Todd, R. W., Tolk, J. A., 1998. Evapotranspiration of irrigated fescue grass in a semi-arid environment. *ASAE Paper no. 982117*.
- [65] Huang J., Hartemink A.E., 2020. Soil and environmental issues in sandy soils, *Earth-Science Reviews*, v. 208, s. 1-22.
- [66] Inouye H., Okuda T., Hayashi, T. 1975. Quinones and related compounds in higher plants. II. Naphthoquinones and related compounds from *Catalpa* wood. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 23(2), s. 384-391.
- [67] Janiak J., 2021. Architektura zintegrowana z zielenią. Szpalery drzew liściastych jako ochrona przeciwsłoneczna budynków. *Politechnika Gdańska*, s. 1-197.
- [68] Jaskulska I., Jaskulski D., 2003. Wpływ wieloletniego nawożenia na kształtowanie właściwości gleby. *Postępy Nauk Rolniczych T. 50*, s. 21-35.
- [69] Jeznach J., 2009. Aktualne trendy w rozwoju mikronawodnień. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Kraków Wyd. PAN, nr 6, s. 83-94.
- [70] Jurczak M., 2020. Zarządzanie wodą w gospodarstwach ogrodniczych. *Warmińsko-Mazurski Ośrodek Doradztwa Rolniczego*, s. 1-14.
- [71] Kaczorowska Z., 1962. Opady w Polsce w przebiegu wieloletnim. *Prace Geograf.*, PAN, s. 33.

- [72] Kaniszewski S., 2005. Nawadnianie warzyw polowych. Plantpress Kraków, s. 1-85.
- [73] Kawoń K., Żmuda S., 1977. Rola zieleni w kształtowaniu środowiska człowieka regionów przemysłowo-miejskich. Studia nad ekonomiką regionu. T. 8, s. 181-200.
- [74] Kjelgren R., Beeson R. C., Pittenger D. R., Montague D. T., 2016. Simplified landscape irrigation demand estimation: Slide rules. Applied Engineering in Agriculture, Vol. 32(4), s. 363-378.
- [75] Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Długosz J., Musiał M., 2013. Wykorzystanie kompostowanego osadu ściekowego i ektopróchnicy leśnej do wzbogacania gleb w uprawie szkółkarskiej lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.). Rocznik Ochrona Środowiska, 15, s. 2811–2828.
- [76] Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Gackowski G., Stachowski P., Jagosz B., 2020. The use of wood chips for revitalization of degraded forest soil on young Scots pine plantation. Forests, 11, 683, s. 1-13.
- [77] Klimek A., Rolbiecki St., Rolbiecki R., Hilszczańska D., Malczyk P., 2008. Impact of chosen bare root nursery practices in Scots pine seedling quality and soil mites (Acari). Polish J. of Environ. Stud. Vol. 17, no. 2, s. 247-255.
- [78] Klimek A., Rolbiecki St., Rolbiecki R., Malczyk P., 2009. Impact of chosen bare root nursery practices on white birch seedling quality and soil mites (Acari). Polish J. of Environ. Stud. Vol. 18, no 6, s. 1013-1020.
- [79] Kobierski M., Jaskulska I., Jaskulski D., Dębska B., 2020. Effect of a tillage system on the chemical properties of sandy loam soils. J. Elem., 25(4) s. 1463-1473.
- [80] Koniarski M., Matysiak B., Treder W., 2016. Ewapotranspiracja i współczynniki roślinne (k) dla czterech odmian różanecznika przy zastosowaniu regulowanego deficytu nawadniania. Zeszyty Naukowe Instytutu Ogrodnictwa, nr 24, s. 71-80
- [81] Kosmala M., 2005. Po co ludziom drzewa, czyli o roli i znaczeniu drzew w życiu człowieka. Zieleń miejska. Naturalne bogactwo miasta. Materiały Konferencyjne, s. 75-81.
- [82] Koszański Z., Laskowski S., Karczmarczyk S., 1985. Oznaczanie infiltracji wody w glebie. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 294, s. 91-96.
- [83] Kraft G.J., Clancy K., Mechenich D.J., Haucke J., 2012. Irrigation effects in the northern lake states: Wisconsin central sands revisited. Groundwater 50 (2), s. 308-318.
- [84] Kubat J., Cerhanova D., Novakova J., Lipavsky J., 2002. Soil Organic Matter Content and Quality in Polyfactorial Field Experiments. Archives of Agronomy and Soil Science, nr 48, s. 131-140.
- [85] Kuchar L., Iwański S., Diakowska E., Gąsiorek E., 2015. Symulacja warunków hydrotermicznych w północnej części centralnej Polski w perspektywie lat 2050-2060 dla potrzeb produkcji roślinnej i wybranych

- scenariuszy klimatycznych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr II, s. 319-334.
- [86] Kujawa K., Orczewska A., Kras M., Kujawa A, Nyka M., Bohdan A., 2017. Znaczenie drzew i krzewów na terenach nieleśnych. Czy wolno nam liberalizować zasady wycinki drzew i krzewów?. Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, s. 1-26.
- [87] Kundzewicz Z., 2007. Projekcie zmian klimatu – ekstrema hydrometeorologiczne. I Polska Konf. ADAGOP, Poznań.
- [88] 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, s. 1-7.
- [89] Kuś J., Kopiński J., 2012. Gospodarowanie glebową materią organiczną we współczesnym rolnictwie. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego* nr 68, s. 5-27.
- [90] Łabędzki L., 2009. Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 3, s. 7-18.
- [91] Łabędzki, L., Kanecka-Geszke E., Bąk B., Słowińska S., 2011. Estimation of reference evapotranspiration using the FAO Penman-Monteith method for climatic conditions of Poland. *Evapotranspiration. InTech*, s. 1-446.
- [92] Lawrence H. W., 2008. *City Trees: a historical geography from the renaissance through the Nineteenth Century.* University of Virginia Press, s. 336.
- [93] Lechnio J., 2005. Hydrologiczne warunki obiegu substancji w obrębie wariantów krajobrazu. [W]: Richling A., Lechnio J. (red.) *Z problematyki funkcjonowania krajobrazów nizinnych.* WGiSR UW, Warszawa.
- [94] Leciejewski P., 2011. Nawodnienia w szkółkach leśnych. *Biblioteczka leśniczego*, z. 330, s. 7-12.
- [95] Leśny J., Juszcak R., 2005. Klimatyczny bilans wodny terenów rolniczych i leśnych. *Water-Environment-Rural areas*, T. 5, z. 2, s. 53-65.
- [96] Leśny J., Szoszkiewicz K., Juszcza R., Olejnik J., Serba T. 2007. Wskaźnik ulistowienia LAI roślinności drzewiastej i krzewiastej terenów podmokłych. *Acta Agrophysica*, T. 9(3), s. 673-684.
- [97] Li D., Fernández J.E, Li X., Xi B., Jia L., Hernandez-Santana V., 2020. Tree growth patterns and diagnosis of water status based on trunk diameter fluctuations in fast-growing *Populus tomentosa* plantations. *Agricultural Water Management*, vol. 241, s. 1-10
- [98] Li Z.H. 2007. Distinguishing *Catalpa ovata* and *Catalpa bungei* in ancient China. *Journal of Beijing Forestry University (Social Sciences)*, nr 6(4), s. 20-24.

- [99] Lipiński J., 2010. Analiza stanu nawodnień w Polsce. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* 2, s. 51–57.
- [100] Lipiński J., 2012. Efekty produkcyjne i ekonomiczne nawadniania truskawek uprawianych na glebach lekkich. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*. nr 4, s. 180–183.
- [101] Lisowska K., Wysokinska H., 2000. In vitro propagation of *Catalpa ovata* G. Don. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 60, s. 171–176.
- [102] Liuqiang Z., Longlong W., Jingwen L., Kaixian Ch., Yiming L., 2023. Iridoids and derivatives from *Catalpa ovata* with their antioxidant activities. *Fitoterapia*, Volume 169.
- [103] Łykowski B., 1989. Warunki meteorologiczne zaopatrzenia roślin w wodę. (W:) *Potrzeby wodne roślin uprawnych*. (red.), PWN, s. 11-35
- [104] MacFarland K., 2017. Alley cropping: an agroforestry practice. USDA United States Department of Agriculture Materials, s. 1-6.
- [105] Majdecki L., 1978. *Historia ogrodów*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, s. 912.
- [106] Marcinková D., 2016. Street tree rows – as specific category in the system of management of public greenery. *Proceedings of International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, s. 699-706.
- [107] McPherson E.G., Simpson J.R., Peper P. i Xiao Q., 1999. *Tree Guidelines for San Joaquin Valley Communities*. Local Government Commission, s. 1-64.
- [108] McPherson E.G., Simpson J.R., Scott K.I., 2001. Actualizing microclimate and air quality benefits with parking lot tree shade ordinances. *Wetter und Leben*, nr 50, s. 353-369.
- [109] Meiresonne L. Sampson D.A., Kowalski A.S., Janssens I.A., Nadezhdina N., Cermák J., Van Slycken J., Ceulemans R., 2003. Water flux estimates from a Belgian Scots pine stand: a comparison of different approaches. *J. Hydrol.*, 270, s. 230-252.
- [110] Milevoj L., 2004. The occurrence of some pests and diseases on horse chestnut, plane tree and indian bean tree in urban areas of Slovenia. *Acta Agriculturae Slovenica*, nr 83, s. 297-300.
- [111] Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: opportunities and challenges for business and industry*, Washington, DC, World Resources Institute, s.1-36
- [112] 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, s. 255-259.
- [113] Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zając A., Zając M. 2020. *Vascular Plants of Poland. An annotated checklist*. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences. s. 54.

- [114] Montague, T., Kjelgren, R., Allen, R., & Wester, D., 2004. Water loss estimates for five recently transplanted landscape tree species in a semi-arid climate. *J. Environ. Hort.*, 22, s. 189-196.
- [115] 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), s. 90-102.
- [116] Moshe S., 2005. Drip irrigation second edition. Material of Ministry of Agriculture and Rural Development State of Israel, s. 1-134.
- [117] Munoz-Mingarro D., Acero N., Linares F., Pozuelo J.M., de Mera A.G., Vicenten J.A., Perez C. 2003. Biological activity of extracts from *Catalpa bignonioides* Walt. (Bignoniaceae). *Journal of Ethnopharmacology*, nr 87, s. 163-167.
- [118] Nowak D., Bilski Z., Kajdan-Zysnarska I., 2014. Metody wpływające na poprawę żyzności gleb. *Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie*, s. 1-14.
- [119] Nowak D.J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. 2018. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening* 29, s. 40-48.
- [120] Nyc K., 1996. Ekonomiczne systemy nawadniające. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, z. 438, s. 125-132.
- [121] Nyc K., 2006. Wprowadzenie systemów nawadniających. [W:] *Nawadnianie roślin*, (red.) L. Nowak, S. Karczmarczyk, PWRiL Poznań, s. 157–174.
- [122] Okuda, T., Yoshida, T., Ono I. 1975. Two new flavone glycosides from *Catalpa ovata*. *Phytochemistry*, nr 14, s. 1654- 1656.
- [123] Olsen R.T., Kirkbride J.H. 2017. Taxonomic revision of the genus *Catalpa* (Bignoniaceae). *Brittonia*, s.1-35.
- [124] Oşta D.S., Sándor R., Gocan T. M., 2021. Studies on the stimulation of *Catalpa bignonioides* Walt. seed germination. *Current Trends in Natural Sciences*. nr 10, s. 172-178.
- [125] Pacholak E., 1986. Wpływ nawożenia i nawadniania na wzrost i plonowanie jabłoni odmiany 'James Grieve'. *Rocz. AR w Poznaniu, Rozprawy*, 160, s. 1-79.
- [126] Pardossi A., Incrocci L., Marzioletti M., 2004. La razionalizzazione dell'irrigazione nel florovivaismo: una sintesi. In *ARSIA (Red.)*, *Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua*, Florence, Italy, s. 285.
- [127] Park B.M., Hong S.S., Lee C., Lee M.S, Kang S.J, Shin Y.S, Jung J.K, Hong J.T, Kim Y., Lee M.K, Hwang B.Y., 2010. Naphthoquinones from *Catalpa ovata* and their inhibitory effects on the production of nitric oxide. *Arch Pharm Res*. Vol. 33(3), s. 381-385.
- [128] Patel, N., Rajput, T. B. S., 2007. Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato. *Agricultural Water Management*, vol. 88, s. 209–223.

- [129] Pierzgalski E., Jeznach J., 1993. Stan i kierunki rozwoju mikronawodnień. [W:] Współczesne problemy melioracji, (red.) C. Somorowski, Wyd. SGGW Warszawa, s. 35–42.
- [130] Pierzgalski E., Jeznach J., 2006. Measures for soil water control in Poland. *Journal of Water and Land Development*. nr 10, s. 79-89.
- [131] Pierzgalski, E., Tyszka J., Boczoń A., Wiśniewski S., Jeznach J., Żakowicz S., 2002. Wytyczne nawadniania szkółek leśnych na powierzchniach otwartych. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa, 1-63.
- [132] Pittenger D. R., Shaw D. A., 2013. Making sense of ET adjustment factors for budgeting and managing landscape irrigation. *Proc. Irrigation Show and Education Conf.*, s. 369-379.
- [133] Pływaczyk A., 2006. Systemy i technologie nawadniania, rozdział w pracy zbiorowej: Nawadnianie roślin. PWRiL Rozdział 6, s. 121-156.
- [134] Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. PTG 2008. *Roczniki Gleboznawcze* 60(2), 5-16.
- [135] 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*, Volume 10, Part B, s. 1802-1810.
- [136] Quan J., Ruoyi N., Yange W., Jiajia S., Mingyue M., Huitao Bi. 2022. Effects of different growth regulators on the rooting of *Catalpa bignonioides* softwood cuttings. *Life* 12, nr 8, s. 1231.
- [137] Rashall, K., 2016. Water use of *Morus alba*. MS thesis. Logan: Utah State University. Department Plants, Soils, and Climate.
- [138] Reinders F.B, Grove B., Benade N., Van der Stoep I., Van Niekerk A.S., 2012. Technical aspects and cost estimating procedures of surface and sub-surface drip irrigation systems. *Water Research Commission Report No. TT524/12*, s. 1-137.
- [139] Renterghem T.V., Botteldooren D., 2002. Effect of a row of trees behind noise barriers in wind. *Acta Acustica United With Acustica*, nr 88, s. 869-878.
- [140] Reszka A., Lesiów T., Mońka J., 2017. Uwarunkowania ekonomiczne uprawy i przetwórstwa owoców borówki wysokiej w Polsce. *Nauki Inżynierskie i Technologie* 2(25), s. 46-68.
- [141] Rolbiecki R. 2021. Nawadniać czy nie nawadniać, dylematy współczesnego rolnictwa. Rozdział w monografii pod red. J. Bykowskiego pt. *Współczesne uwarunkowania i wyzwania gospodarowania wodą w rolniczej przestrzeni produkcyjnej Wielkopolski*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań, s. 59-69.

- [142] Rolbiecki R., 2004. Efekty mikronawodnień wybranych odmian dyni olbrzymiej (*Cucurbita maxima* Duch. F.) uprawianych na glebie bardzo lekkiej. *Acta Sci. Pol. Horto-rum Cultus* 3(1), s. 37–45.
- [143] Rolbiecki R., 2007. The effect of micro-irrigation on yields of zucchini (*Cucurbita pepo* L.) cultivated on sandy soil in Central Poland. *Acta Horticulturae (ISHS)* 729, s. 325–329.
- [144] Rolbiecki R., 2013. Ocena potrzeb i efektów mikronawodnień szparaga (*Asparagus officinalis* L.) na obszarze szczególnie deficytowym w wodę. Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, s. 1-103.
- [145] Rolbiecki R., 2021. Ciśnieniowe systemy nawadniające w uprawach polowych. Rozdział w monografii pod red. J. Bykowskiego pt. Współczesne uwarunkowania i wyzwania gospodarowania wodą w rolniczej przestrzeni produkcyjnej Wielkopolski. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań, s. 71-83.
- [146] Rolbiecki R., 2021. Nawadniać czy nie nawadniać, dylemat współczesnego rolnictwa. Współczesne uwarunkowania i wyzwania gospodarowania wodą w rolniczej przestrzeni produkcyjnej Wielkopolski, s. 59-69.
- [147] Rolbiecki R., Rolbiecki S., Figas A., Jagosz B., Stachowski P., Sadan H.A., Prus P., Pal-Fam F., 2021. Requirements and effects of surface drip irrigation of mid-early potato cultivar Courage on a very light soil in Central Poland. *Agronomy*, 11, 33, s. 1-13.
- [148] Rolbiecki R., Rolbiecki S., Figas A., Jagosz B., Wichrowska D., Ptach W., Prus P., Sadan H.A., Pal-Fam F., Stachowski P., Liberacki D., 2021. Effect of Drip Fertigation with Nitrogen on Yield and Nutritive Value of Melon Cultivated on a Very Light Soil. *Agronomy*, 11, 934, s. 1-11.
- [149] Rolbiecki R., Rolbiecki S., Piszczek P., Figas A., Jagosz B., Ptach W., Prus P., Kazula M., 2020. Impact of nitrogen fertigation on watermelon yield grown on the very light soil in Poland. *Agronomy*, 10, 213, s. 1-10.
- [150] Rolbiecki S., 2003. Reakcja trzech gatunków roślin jagodowych uprawianych na glebie bardzo lekkiej na mikronawodnienia. *Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rozprawy* 108.
- [151] Rolbiecki S., 2018. O szacowaniu potrzeb wodnych drzew owocowych w Polsce na podstawie temperatury powietrza. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 2/1, s. 393–406.
- [152] Rolbiecki S., Klimek A., Rolbiecki R., Długosz J., Musiał M., Ryterska H., 2013. Badania nad wykorzystaniem kompostowanego osadu ściekowego i ektopróchnicy do wzbogacania gleb w rocznym cyklu produkcji sadzonek lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.). *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus*, 12(3), s. 113-122.
- [153] Rolbiecki S., Rolbiecki R., Jagosz B., Kasperska-Wołowicz W., Ptach W., Stachowski P., Figas A., Grybauskiene V., Klimek A., Podsiadło C. 2019. Water Needs of the Ash-Leaved Maple (*Acer negundo* L.) at the

- Period over Three Years after Reclamation in Different Regions of Poland. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 20, s. 69–75
- [154] Rolbiecki S., Rolbiecki R., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Żarski J., Rzekanowski Cz., 2015. Requirements and effects of drip irrigation of mid-early potato on a very light soil in moderate climate. *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 24; no. 11b, s. 3895-3902.
- [155] Rolbiecki S., Żarski J., Grabarczyk S., 2000. Yield-irrigation relationships for field vegetable crops grown in central Poland. *Acta Horticulturae*, 537, s. 867–870.
- [156] Rolbiecki S., Rolbiecki R., Rzekanowski C., 2002. Efektywność nawadniania kropłowego i deszczownianego w uprawie wybranych roślin warzywnych na glebie bardzo lekkiej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, T. 2, z. 2 s. 87-94.
- [157] Rötzer T., Moser-Reischl A., Rahman M., Hartmann Ch., Paeth H., Pauleit S., Pretzsch H., 2021. Urban tree growth and ecosystem services under extreme drought. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 308-309, s. 1-13
- [158] Ryszkowski L., Bartoszewicz A., Marcinek J. 1990. Bariery biogeochemiczne. W: Ryszkowski L., Marcinek J., Kędziora A. (red.). *Obieg wody i bariery biogeochemiczne w krajobrazie rolniczym*. Wyd. UAM, s. 167-181.
- [159] Rzekanowski C., Rolbiecki S., 1996. Efekty produkcyjne stosowania nawodnień kropłowych w regionie bydgoskim. *Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW w Warszawie* 11, s. 323–329.
- [160] Rzekanowski C., Żarski J., Rolbiecki S., 2011. Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę. *Post. Nauk Rol.* 1, s. 51-63.
- [161] Rzekanowski Cz., 2010. Perspektywy rozwoju nawodnień. *Wiad. Mel. i Łąk.* nr 2, s. 55-58.
- [162] Salmukhanbetova Z., Zverev N., Dimeyeva L., Imanalinova A., 2024. Landscaping of settlements in the Aral Sea disaster zone (Kazakhstan). *BIO Web of Conferences*, vol.100, s. 1-7.
- [163] Schaap M.G., Bouten W., Verstraten J.M., 1997. Forest floor water content dynamics in a Douglas fir stand, *J. Hydrol.*, 201, s. 367-383.
- [164] Schmid A.W., 2001. The emerging role of visual resource assessment and visualisation in landscape planning in Switzerland. *Landscape and Urban Planning*, Volume 5, s. 213-221.
- [165] Schroeder H.W., Cannon W.N., 1983. The esthetic contribution of trees to residential streets in Ohio towns. *Journal of Arboriculture* 9 (9), s. 237-243.
- [166] Scurlock J., Asner G., Gower S., 2001. Worldwide historical estimates of Leaf Area Index, 1932–2000. *Oak Ridge National Laboratory*, s. 1-22.
- [167] Seneta W., Dolatowski J., 2012. *Dendrologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, s.464-467.

- [168] Shanahan D.F., Lin B.B., Gaston K.J., Bush R., Fuller R. A., 2015. What is the role of trees and remnant vegetation in attracting people to urban parks?. *Landscape Ecol.* 30, s. 153–165.
- [169] 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*, Volume 704.
- [170] Siuta J., Żukowska-Wieszczek D. 1990. Przyrodniczo-techniczne podstawy oczyszczania atmosfery i gleby. IOŚ Warszawa, s. 1-87.
- [171] Skłodowski P., Bielska A., 2009. Właściwości i urodzajność gleb polski - podstawą kształtowania relacji rolno-środowiskowych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, T. 9, z. 4, s. 203-214.
- [172] Skowrońska M., 2005. Skład frakcyjny glebowej substancji organicznej w warunkach stosowania odpadów organicznych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* nr 506, s. 383-389.
- [173] Skromra U., 2015. *Metodyka integrowanej ochrony chmielu*. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, s. 1-100.
- [174] Śliwa K., Sikora E., Ogonowski J., 2016. Ekstrakty roślinne w pielęgnacji skóry atopowej. *Przemysł Chemiczny*, T. 95, nr 10, s. 1956-1959.
- [175] Somme L., Moquet L., Quinet M., Vanderplanck M., Denis Michez D., Lognay G., Jacquemart A.L., 2016. Food in a row: urban trees offer valuable floral resources to pollinating insects. *Urban Ecosyst* 19, s. 1149–1161.
- [176] Sositko S., 2019. Ocena potrzeb wodnych i nawodnieniowych brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* roth.) oraz lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.) w nasadzeniach fitomielioracyjnych na gruncie porolnym. Rozprawa doktorska nr 110, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.
- [177] Spychaj-Fabisiak E., Kozera W., Majcherczak E., Ralcewicz M., Knapowski T., 2007. Oddziaływanie odpadów organicznych i obornika na żyzność gleby lekkiej. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, nr 6. s. 69-76.
- [178] Suchocka M., 2013. Drzewo jako element zielonej infrastruktury. *Problemy ekologii krajobrazu*, T. 36, s. 85-94.
- [179] Szczepanowska H.B., 2015. Drzewa w mieście - zielony kapitał wartości i usług ekosystemowych. *Człowiek i Środowisko*, T. 39, nr 2, s. 5-28.
- [180] Szeleźnik E., 1991. Kształtowanie się powierzchni liściowej kukurydzy w zależności od obsady roślin. *Fragm. Agronom. Zesz. Spec.* 2, s. 141-150.
- [181] Szewczuk A., Dereń D., Gudarowska E., 2009. Wpływ nawadniania kropłowego na rozmieszczenie korzeni drzew jabłoni sadzonych

- tradycyjnie i „w redliny”. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 3, s. 151–158.
- [182] Szwed M., Karg G., Pinskiwar I., Radziejewski M., Graczyk D., Kędzióra A., Kundzewicz Z.W. 2010. Climate change and its effect on agriculture, water resources and human health sectors in Poland. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10(8), s. 1725–1737.
- [183] Terelak H., Motowicka-Terelak T., Wróblewska E., Gawrysiak L., Pietruch C., 2001. Zawartość substancji organicznej w glebach użytków rolnych - mapa., Wyd. IUNG Puławy.
- [184] Tester C.F. 1990. Organic Amendment Effects on Physical and Chemical Properties of a Sandy Soil. *Soil Science Society of America Journal*, 54: s. 827- 831.
- [185] Testi L., Villalobos F., Orgaz F., 2003. Evapotranspiration of a young irrigated olive orchard in southern Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 121, s. 1-18.
- [186] Tomaszewska K., Kopcza A., 2008. Walory przyrodnicze, stan obecny i zagrożenia wybranych alei gminy Lubin. *Architektura krajobrazu* nr 1, s. 26-32.
- [187] Tomaszewicz M., Najm A., Zurayk R., El-Fadel M., 2017. Dew as an adaptation measure to meet water demand in agriculture and reforestation. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol 232, s. 411-421.
- [188] Treder W. 2022. Kodeks dobrych praktyk wodnych w ogrodnictwie. Instytut Ogrodnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, s. 1-153.
- [189] Treder W., 2021. Racjonalne nawadnianie roślin sadowniczych. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, s. 1-66.
- [190] Treder W., Klamkowski K., Tryngiel-Gać A., 2019. Techniczne i technologiczne możliwości oszczędzania wody do nawadniania roślin uprawnych. Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach, s.1-28.
- [191] Treder W., Klamkowski K., Tryngiel-Gać A., Sas D., Pych T., 2013. Serwis nawodnieniowy – internetowa platforma wspomagania decyzji związanych z nawadnianiem roślin sadowniczych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 2, s. 19–30
- [192] Treder W., Wójcik K., Tryngiel-Gać A., Krzewińska D., Klamkowski K. 2011. Rozwój nawodnień roślin sadowniczych w świetle badań ankietowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 5, s. 61-69.
- [193] Treder W., Wójcik K., Żarski J., 2010. Wstępna ocena możliwości szacowania potrzeb wodnych roślin na podstawie prostych pomiarów meteorologicznych. *Zesz. Nauk. Inst. Sad. i Kw. w Skierniewicach*, nr 18, s. 143-153.
- [194] Tryngiel-Gać A., Treder W., 2017. Efficiency of irrigation of highbush blueberry in Poland. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr III/2, s. 1099-1114.

- [195] Tütüncü K. S. 2017. An overview of pollen and anther wall development in *Catalpa bignonioides* Walter (Bignoniaceae). *Trakya University Journal of Natural Sciences*. nr 18(2), s. 123-132.
- [196] Tyszko-Chmielowiec P. 2012. Aleje – skarbnice przyrody. Praktyczny podręcznik ochrony drzew przydrożnych i ich mieszkańców. Fundacja EkoRozwoju, Wrocław. s. 1-160.
- [197] Van Dijk A., Keenan R.J., 2007. Planted Forests and Water in Perspective. *Forest Ecology and Management*, vol. 251, s. 1-9.
- [198] Varallyay G., Mironienko E.V., 1979. Soil water relationships in saline and alkali conditions. V.A. Kovda, I. Szabolcs (Eds). *Modeling of Salinization and Alkalization*. Agrokemia es Talatjan, 28, s. 33-82.
- [199] Vermeiren L., Jobling G.A., 1984. Localized irrigation. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 36, s. 198
- [200] Walter I.A., Richard A., Elliott R., Jensen M., Itenfisu D., Howell T., Snyder R.L., Brown P., Echings S., 2001. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Final Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration, s. 209-215.
- [201] Wei Z.P., 2008. Evaluation, screening and propagation characteristics of garden plants in Hohhot. Inner Mongolia Agricultural University. Hohhot.
- [202] White J.C. and Smith W.K., 2015. Seasonal variation in water sources of the riparian tree species *Acer negundo* and *Betula nigra*, southern Appalachian foothills, USA. *Botany*, 93, s. 519-528.
- [203] Wilson G. F., Kang B. T., Mulongoy K., 1986. Alley cropping: trees as sources of green-manure and mulch in the tropics. *Biological Agriculture & Horticulture*, Vol. 3, s. 251-267
- [204] Witek T., 1985. Potencjalne możliwości produkcyjne gleb uprawnych Polski. *Roczniki gleboznawcze* T. 80, s. 37-42.
- [205] Wolf K.L., 1999. Nature and Commerce: Human ecology in Business Districts [w] *Building Cities of Green: Proceedings of the 1999 National Urban Forest Conference*. Washington, s. 56-59.
- [206] Wysokińska H., Lisowska K., Floryanowicz – Czekalska K., 2002. Plantlets from encapsulated shoot buds of *Catalpa ovata* G. Don. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, Vol 71, No 3, s. 181-186.
- [207] Wysokińska H., Świątek L., 1995. *Catalpa bignonioides* Walt. (Indian Bean): In vitro culture, regeneration of plants, and the formation of iridoids and phenolic acids. *Medicinal and Aromatic Plants VIII, Biotechnology in Agriculture and Forestry*, vol 33. Springer.
- [208] Żakowicz S., 2010. Podstawy technologii nawadniania rekultywowanych składowisk odpadów komunalnych. *Wyd. SGGW, Rozprawy i monografie* 362.

- [209] Żakowicz S., Hewelke P., 2012. Technologia nawadniania roślin na rekultywowanych składowiskach odpadów komunalnych. Wyd. SGGW, s. 155.
- [210] Żarski J., 2006. Potrzeby i efekty nawadniania zbóż. Rozdział w pracy zbiorowej „Nawadnianie roślin” Red. Karczmarczyk S. i Nowak L. PWRiL Poznań, s. 383–403.
- [211] Żarski J., 2011. Tendencje zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 5, s. 29-37.
- [212] Żarski J., Dudek S., Kuśmierek-Tomaszewska R., Rolbiecki R., Rolbiecki S., 2013. Prognozowanie efektów nawadniania roślin na podstawie wybranych wskaźników suszy meteorologicznej i rolniczej. Rocznik Ochrony Środowiska, nr 15, s. 2185-2203.
- [213] Żarski J., Kuśmierek-Tomaszewska R., Dudek S., 2012. Tendencje zmian termicznych okresów rolniczych w rejonie Bydgoszczy. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3/I, s. 7-17.
- [214] Żarski J., Rolbiecki S., Dudek S., Rolbiecki R., Rzekanowski C., 2004. Potrzeby i efekty nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy. [W:] Bilanse wodne ekosystemów rolniczych, (red) M. Rojek, Współczesne Problemy Inżynierii Środowiska. T. III(11). Wyd. AR we Wrocławiu, s. 187-203.
- [215] Żarski J., Rolbiecki S., Dudek S., Rolbiecki R., Rzekanowski C., 2004. Potrzeby i efekty nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy. [W:] Bilanse wodne ekosystemów rolniczych, red. M. Rojek, Współczesne Problemy Inżynierii Środowiska. T. III(11). Wydawnictwo AR we Wrocławiu, s. 187-203.
- [216] Żukowska G., Flis-Bujak M., Baran S., 2000. Zmiany składu frakcyjnego próchnicy gleby lekkiej nawożonej osadami ściekowymi. Folia Univ. Agric. Stetinensis 211, s. 551-556.

SPIS RYSUNKÓW:

Rys. 1. Lokalizacja pola doświadczalnego (opracowanie własne)	27
Rys. 2. Schemat nasadzeń szpalerowych (opracowanie własne).....	33
Rys. 3. Krzywa retencyjności gleby w zakresie WŁD dla warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu (0-30 cm)	38
Rys. 4. Krzywa retencyjności gleby w zakresie WŁD dla warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu (30-60 cm)	38
Rys. 5. Przebieg średnich temperatur powietrza i sum opadów atmosferycznych w miesiącach okresu wegetacji 2019 roku w rejonie Bydgoszczy	46
Rys. 6. Przebieg średnich temperatur powietrza i sum opadów atmosferycznych w miesiącach okresu wegetacji 2020 roku w rejonie Bydgoszczy	46
Rys. 7. Przebieg średnich temperatur powietrza i sum opadów atmosferycznych w miesiącach okresu wegetacji 2021 roku w rejonie Bydgoszczy	47
Rys. 8. Przebieg średnich temperatur powietrza i sum opadów atmosferycznych w miesiącach okresu wegetacji 2022 roku w rejonie Bydgoszczy	47
Rys. 9. Potencjał wodny gleby dla wariantów doświadczenia wyrażony w kPa dla dwóch poziomów miąższości gleby: 0-30 cm i 30-60 cm w roku 2019	49
Rys. 10. Potencjał wodny gleby dla wariantów doświadczenia wyrażony w kPa dla dwóch poziomów miąższości gleby: 0-30 cm i 30-60 cm w roku 2020	50
Rys. 11. Potencjał wodny gleby dla wariantów doświadczenia wyrażony w kPa dla dwóch poziomów miąższości gleby: 0-30 cm i 30-60 cm w roku 2021	51
Rys. 12. Potencjał wodny gleby dla wariantów doświadczenia wyrażony w kPa dla dwóch poziomów miąższości gleby: 0-30 cm i 30-60 cm w roku 2022	52
Rys. 13. Dobowe zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2019	54
Rys. 14. Dobowe zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2020	55
Rys. 15. Dobowe zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2021	55
Rys. 16. Dobowe zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2022	56
Rys. 17. Kumulatywne zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2019	58

Rys. 18. Kumulatywne zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2020.....	59
Rys. 19. Kumulatywne zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2021.....	59
Rys. 20. Kumulatywne zużycie wody gatunków surmii dla wariantów doświadczenia W1, W2 w miesiącach sezonu wegetacyjnego w roku 2022.....	60
Rys. 21. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii bignoniowej w wariancie W0.	78
Rys. 22. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii bignoniowej w wariancie W1.	79
Rys. 23. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii bignoniowej w wariancie W2.	80
Rys. 24. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii żółtokwiatowej w wariancie W0.....	81
Rys. 25. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii żółtokwiatowej w wariancie W1.....	82
Rys. 26. Procentowy rozkład ilości korzeni na różnych głębokościach surmii żółtokwiatowej w wariancie W2.....	83

SPIS TABEL:

Tabela 1. Zawartość frakcji granulometrycznych (%) według PTG 2008 [PTG 2009]	28
Tabela 2. Podstawowe parametry glebowe	29
Tabela 3. Wybrane właściwości wodne gleby na terenie szkółki leśnej Nadleśnictwa Bydgoszcz [mm]	30
Tabela 4. Pentadowe oraz sezonowe dawki wody zastosowanej na wariantach W1 (mm)	34
Tabela 5. Pentadowe oraz sezonowe dawki wody zastosowanej na wariantach W1 (mm)	35
Tabela 6. Parametry wody stosowanej do nawadniania w szkółce leśnej.	36
Tabela 7. Wartości współczynnika poprawkowego k_r wg Tredera	40
Tabela 8. Temperatury powietrza w sezonach wegetacyjnych 2019-2022 wraz z odniesieniem do średniej z wielolecia w rejonie Bydgoszczy (°C)	43
Tabela 9. Opady atmosferyczne w sezonach wegetacyjnych 2019-2022 wraz z odniesieniem do średniej z wielolecia w rejonie Bydgoszczy (°C)	44
Tabela 10. Normy wskaźników względnego opadu RPI dla miesięcy i sezonu wegetacyjnego [Kaczorowska 1962, Łabędzki 2006]	45
Tabela 11. Klasyfikacja kategorii RPI wg zebranych danych ze stacji meteorologicznej w Mochełku w latach 2019-2022.	45
Tabela 12. Dzielne zużycie wody przez surmię w sezonie wegetacyjnym (IV-IX) w latach badań 2019-2022	54
Tabela 13. Sumaryczne zużycie wody przez surmię w sezonie wegetacyjnym (IV-IX) w latach badań 2019-2022 w warstwie o kontrolowanym uwilgotnieniu 0-60 cm.	57
Tabela 14. Współczynniki roślinne k_c dla miesięcy okresu wegetacyjnego do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej surmii wzorem Hargreavesa ^{DA}	61
Tabela 15. Wartości współczynnika poprawkowego k_r wg Tredera dla miesięcy okresu wegetacyjnego, do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej surmii, przy ograniczonej powierzchni zwilżania (podpowierzchniowe nawadnianie kropkowe)	61
Tabela 16. Ewapotranspiracja potencjalna (ET_p^{HDA}) surmii w sezonie wegetacyjnym (IV-IX) w latach badań 2019-2022, obliczona według modelu Hargreavesa ^{DA}	63

Tabela 17. Współczynnik korelacji (r) polowego zużycia wody (S) a ewapotranspiracją potencjalną metodą Hargreavesa dla wybranych okresów w sezonie wegetacyjnym.....	64
Tabela 18. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania surmii w sezonie wegetacyjnym (IV-IX) w latach badań 2019-2022, obliczone na podstawie polowego zużycia wody (S) dla dwóch wariantów W1, W2.....	66
Tabela 19. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania surmii w sezonie wegetacyjnym (IV-IX) w latach badań 2019-2022, obliczone na podstawie ewapotranspiracji potencjalnej (ETp) wg modelu Hargreavesa ^{DA} dla dwóch wariantów doświadczenia (W1 i W2).....	66
Tabela 20. Procentowe wskaźniki pokrycia potrzeb wodnych surmii dla wariantów W1, W2 w czasie prowadzenia badań.....	67
Tabela 21. Wysokość gatunków surmii w latach 2019-2022 (cm).....	69
Tabela 22. Średnica pnia gatunków surmii w latach 2019-2022 (mm).....	71
Tabela 23. Liczba liści gatunków surmii w latach 2019-2022 (szt.).....	72
Tabela 24. Liczba pędów bocznych gatunków surmii w latach 2019-2022 (szt.).....	73
Tabela 25. Długości pędów bocznych gatunków surmii w latach 2019-2022 (cm).....	74
Tabela 26. Wielkość wskaźnika powierzchni liści surmii (LAI) w latach 2019-2022 (m ² · m ²).....	76
Tabela 27. Liczba korzeni surmii bignoniowej (szt.) w wariacie W0.....	78
Tabela 28. Liczba korzeni surmii bignoniowej (szt.) w wariacie W1.....	79
Tabela 29. Liczba korzeni surmii bignoniowej (szt.) w wariacie W2.....	80
Tabela 30. Liczba korzeni surmii żółtokwiatowej (szt.) w wariacie W0.....	81
Tabela 31. Liczba korzeni surmii żółtokwiatowej (szt.) w wariacie W1.....	82
Tabela 32. Liczba korzeni surmii żółtokwiatowej (szt.) w wariacie W2.....	83

STRESZCZENIE

Wpływ podpowierzchniowego nawadniania kropłowego na wzrost surmii (*Catalpa scop.*) w nasadzeniach szpalerowych

mgr inż. arch. kraj. Ariel Łangowski

Słowa kluczowe: podpowierzchniowe nawadnianie kropłowe, surmia (*Catalpa*) potrzeby wodne, współczynniki roślinne, ewapotranspiracja potencjalna, nasadzenia szpalerowe

Badania były realizowane w latach 2019-2022 w oparciu o doświadczenie polowe, które przeprowadzono na terenie szkółki leśnej w Białych Błotach k. Bydgoszczy na glebie lekkiej. Do nasadzeń szpalerowych wykorzystano dwa gatunki surmii: bignoniowej (*Catalpa bignonioides*) oraz żółtokwiatowej (*Catalpa ovata*). Wybrane gatunki drzew są roślinami polecanymi do zadrzewień parkowych ze względu na atrakcyjny wygląd, kwitnienie, miłodajność oraz relatywnie dobrą odporność na warunki klimatyczne.

Celem badań było: określenie potrzeb wodnych – polowego zużycia wody (S) surmii w nasadzeniu szpalerowym na glebie lekkiej w warunkach podpowierzchniowego nawadniania kropłowego, ocena przydatności modelu klimatycznego Hargreavesa (w modyfikacji Droogersa i Allena) do obliczania ewapotranspiracji referencyjnej (ET_o), wyznaczenie współczynników roślinnych k_c dla wzoru Hargreavesa (w modyfikacji Droogersa i Allena) oraz określenie potrzeb wodnych surmii na podstawie kryterium klimatycznego (ET_p), określenie niedoborów wody oraz potrzeb nawodnieniowych na glebie lekkiej, ocena parametrów wzrostu i systemu korzeniowego w warunkach zastosowanego nawadniania podpowierzchniowego.

Potrzeby wodne utożsamiane z polowym zużyciem wody surmii (S) w nasadzeniach szpalerowych na glebie lekkiej w warunkach optymalnej wilgotności gleby, w okresie wegetacyjnym były zmienne i zależały od wariantów doświadczenia oraz przebiegu warunków opadowo-termicznych we wszystkich sezonach wegetacyjnych. Wartości sumarycznego zużycia wody surmii w sezonach wegetacyjnych wynosiły dla wariantu W1 (nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -40 kPa): 241,32 mm (2019), 344,15 mm (2020), 401,91 mm (2021) oraz 428,70 mm w roku 2022. Na obiektach W2 (nawadnianie wykonywane przy spadku wilgotności gleby do -20 kPa) wartości sezonowego zużycia wody były wyższe i wyniosły odpowiednio: 266,05 mm (2019), 384,33 mm (2020), 426,20 mm (2021) oraz w ostatnim roku doświadczenia 458,8 mm (2022).

Dobowe zużycie wody wzrastało wraz ze wzrostem surmii niezależnie od wariantu doświadczenia. W każdym roku prowadzenia doświadczenia wyższymi

wartościami dobowego zużycia wody charakteryzowały się surmie rosące na wariantach W2.

Zastosowane warianty doświadczenia istotnie wpływały na parametry wzrostu surmii, w każdym roku prowadzenia doświadczenia. Istotnie większy, pozytywny wpływ na parametry takie jak: wysokość drzew, średnicę pnia, długość pędów bocznych i ich liczbę oraz budowę systemu korzeniowego pod kątem ilościowym stwierdzono na wariantach nawodnieniowych W2.

W uprawie wybranych gatunków surmii, rosnących na glebach lekkich możliwe jest zastosowanie technologii podpowierzchniowego nawadniania kropłowego, które przy zapewnieniu optymalnych warunków wilgotnościowych gleby będzie pozwalało na niezakłócony wzrost i rozwój gatunków surmii w nasadzeniach szpalerowych.

ABSTRACT

mgr inż. arch. kraj. Ariel Łangowski

Impact of subsurface drip irrigation on growth of catalpa (*Catalpa scop.*) in row plantings

Key words: subsurface drip irrigation, surmia (*Catalpa*) water needs, plant coefficients, potential evapotranspiration, row plantings

The research was carried out in 2019-2022 on the basis of a field experiment, which was conducted at the Forest nursery in Białe Błota near Bydgoszcz on light soil. Two species of Catalpa: *Catalpa bignonioides* (*Catalpa bignonioides*) and yellow-flowered Catalpa (*Catalpa ovata*), were used for planting in rows. The selected tree species are plants recommended for park canopies due to their attractive appearance, flowering, moneymaking and relatively good resistance to climatic conditions.

The objectives of the study were: to determine the water needs - field water consumption (S) of surmia in row planting on light soil under subsurface drip irrigation conditions, to assess the suitability of the Hargreaves climate model (as modified by Droogers and Allen) for calculating reference evapotranspiration (ET_o), Determination of plant coefficients k_c for the Hargreaves formula (as modified by Droogers and Allen) and determination of water needs of catalpa based on the climatic criterion (ET_c), determination of water deficiency and irrigation needs on light soil, evaluation of growth and root system parameters under applied subsurface drip irrigation.

Water needs identified with catalpa field water consumption (S) in row plantings on light soil under conditions of optimal soil moisture, during the growing season were variable and depended on the variants of the experiment and the course of rainfall-thermal conditions in all growing seasons. The values of total catalpa water consumption in the growing seasons were for variant W1 (irrigation performed when soil moisture dropped to -40 kPa): 241.32 mm (2019), 344.15 mm (2020), 401.91 mm (2021) and 428.70 mm in 2022. On the W2 sites (irrigation performed with a drop in soil moisture to -20 kPa), the values of seasonal water consumption were higher and amounted to, respectively: 266.05 mm (2019), 384.33 mm (2020), 426.20 mm (2021) and in the last year of the experiment 458.8 mm (2022).

Daily water consumption increased with increasing catalpa regardless of the variant of the experiment. In each year of the experiment, higher values of daily water consumption were characterized by catalpa growing on W2 variants.

The variants of the experiment used significantly affected the growth parameters of catalpa, in each year of conducting the experiment. A significantly greater positive effect on parameters such as tree height, trunk diameter, length of lateral shoots and their number, as well as the structure of the root system in terms of quantity, was found on the W2 irrigation variants.

In the cultivation of selected catalpa species growing on light soils, it is possible to use subsurface drip irrigation technology, which, while ensuring optimal soil moisture conditions, will allow undisturbed growth and development of catalpa species in row plantings.