



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

RADA NAUKOWA DYSCYPLINY ROLNICTWO I OGRODNICTWO

mgr inż. arch. kraj. Ariel Łangowski

Streszczenie rozprawy doktorskiej:

**WPŁYW PODPOWIERZCHNIOWEGO NAWADNIANIA
KROPLOWEGO 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

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

2. METODYKA BADAŃ

2.1 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). Szkołka zlokalizowana była ok. 2 km na południowy zachód od granic miasta Bydgoszcz. Miejsowość Białe Błota położona była w centralnej części powiatu bydgoskiego w województwie kujawsko-pomorskim, na obszarze zwanym Pradolina Toruńsko-Eberswaldzką, w pobliżu Kanału Noteckiego. Rejon Bydgoski należał do strefy największej celowości stosowania nawodnień ze względu na kryterium klimatyczne. Teren badawczy znajdował się w tzw. Krainie Wielkich Dolin i charakteryzował się stosunkowo niewielką ilością opadów. Długość termicznego okresu wegetacyjnego wynosiła średnio na tym obszarze 221 dni [Żarski i in. 2012]. Rejon Bydgoszczy ponadto charakteryzował się deficytem wodnym na glebach o niskich zdolnościach retencyjnych [Żarski 2011].

2.2 Opis badań polowych oraz stosowanych metod badawczych

Badania przeprowadzono w dwuczynnikowym układzie split-plot w czterech kolejnych latach od 2019 do 2022 r. jako ściśle doświadczenie polowe. 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 posadzone z rozstawą 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.

W trakcie trwania doświadczenia prowadzono ciągły pomiar wilgotności gleby, przy użyciu czujników wilgotności gleby Watermark oraz dokonywano cyklicznych pomiarów parametrów wzrostu drzewa: wysokości (cm), średnicy pędu głównego w mm (na wysokości 5 cm od poziomu gruntu), ilości pędów bocznych (szt.), liczbę liści. Na zakończenie 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. 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 następowało w I dekadzie kwietnia, a zakończenie procesu nawadniania w III dekadzie września.

Wodę do kroplowego nawadniania podpowierzchniowego czerpano z ujęcia wody gruntowej mieszczącej się na terenie szkółki w Białych Błotach.

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 kroplowego 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*).

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

Polowe zużycie wody, obliczono dla surmii w wariantach W1 (-40 kPa) oraz W2 (-20 kPa) 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).

W oparciu o krzywe pF 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 t·ha⁻¹ na mm H₂O.

Do obliczenia ewapotranspiracji wskaźnikowej posłużono się modelem Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena. Obliczenia dokonano według wzoru:

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

gdzie:

ET_o – 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.

Dane uzyskane z wartości S oraz ET_o posłużyły do obliczenia współczynnika roślinnego k_c w celu określenia ewapotranspiracji potencjalnej gatunków surmii w miesiącach okresu nawodnieniowego. Wartości współczynników k_c obliczono z wzoru:

$$k_c = S/ET_o$$

gdzie:

k_c – współczynnik roślinny do obliczenia ET_p,
S – połowe zużycie wody
ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa (mm).

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.

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 Drukę [1976]:

$$P_e = P \geq ET_o$$

gdzie:

- P_e – opad efektywny [$\text{mm} \cdot \text{doba}^{-1}$],
 P – opad naturalny [$\text{mm} \cdot \text{doba}^{-1}$],
 ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa [$\text{mm} \cdot \text{doba}^{-1}$].

3. WYNIKI

Dobowe zużycie wody zależało głównie od wariantów wodnych zastosowanych w doświadczeniu oraz roku wzrostu surmii. 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. Najwyższe różnice pomiędzy wariantami doświadczenia stwierdzono w roku 2020 w miesiącach czerwcu i sierpniu. Średnia różnica kształtowała się na poziomie 0,29 mm.

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.

Ewapotranspirację potencjalną gatunków surmii obliczona na podstawie kryterium klimatycznego tj. uwzględniającą specyficzny współczynnik roślinny k_c , opisujący określony gatunek rośliny oraz jej fazę rozwoju. 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 oby wariantach wodnych. Średnia wartość ewapotranspiracji potencjalnej obliczona według modelu Hargreavesa^{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 wariacie 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).

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. 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 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.

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 polowego zużycia wody wyniósł on 103%. Obliczone procentowe wskaźniki pokrycia potrzeb wodnych potwierdzają istotną rolę nawadniania kropłowego w zaspakajaniu potrzeb wodnych roślin. 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 28,5 cm. Dla wariantu nawodnieniowego W1 o 33,3 cm oraz w wariantcie W2 wzrósł o 82,6 cm. 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%.

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 wariantcie 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.

4. WNIOSKI

1. Potrzeby wodne identyfikowane z polowym 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 E_{tp} 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 wariacie 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.

5. 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] Antolak M., 2017. Analiza i waloryzacja krajobrazu gminy wiejskiej Ostróda. Studia Obszarów Wiejskich, T. 45, s. 141-155.
- [5] Chiesura A. 2004. The role of urban parks for the sustainable city. Landscape and Urban Planning 68 (1), s.129-138.
- [6] Dobrzyńska N., Dembek W., 2020. Gospodarowanie wodą w rolnictwie w obliczu susz. Departament Komunikacji i Promocji MRiRW, s. 1-19.
- [7] Drozd J., Nowak L., 2006. Gospodarka wodna gleby. [W:] Nawadnianie roślin (red.) L. Nowak, S. Karczmarczyk, PWRiL Poznań, s. 27–65.
- [8] Drupka S., 1980. Deszczownie i deszczowanie. Wyd. PWRiL, Warszawa
- [9] Fortuna-Antoszkiewicz B., 2019. Roślinność w kompozycji przestrzennej – wartości i zachowanie dziedzictwa. Wydawnictwo SGGW.

- [10] Janiak J., 2021. Architektura zintegrowana z zielenią. Szpalery drzew liściastych jako ochrona przeciwsłoneczna budynków. Politechnika Gdańska, s. 1-197.
- [11] 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.
- [12] Leśny J., Juszcak R., 2005. Klimatyczny bilans wodny terenów rolniczych i leśnych. Water-Environment-Rural areas, T. 5, z. 2, s. 53-65.
- [13] 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.
- [14] Nyc K., 1996. Ekonomiczne systemy nawadniające. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 438, s. 125-132.
- [15] 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.
- [16] Rolbiecki R., 2021. Nawadniać czy nie nawadniać, dylemat współczesnego rolnictwa. Współczesne uwarunkowania i wyzwania gospodarowania wodą w rolniczej przestrzeni produkcyjnej Wielkopolski, s. 59-69.
- [17] 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
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Sositko S., 2019. Ocena potrzeb wodnych i nawodnieniowych brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* roth.) oraz lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.) w nasadzeniach fitomelioracyjnych na gruncie porolnym. Rozprawa doktorska nr 110, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Van Dijk A., Keenan R.J., 2007. Planted Forests and Water in Perspective. Forest Ecology and Management, vol. 251, s. 1-9.
- [24] Vermeiren L., Jobling G.A., 1984. Localized irrigation. FAO Irrigation and Drainage Paper 36, s. 198
- [25] 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.
- [26] Żarski J., 2011. Tendencje zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 5, s. 29-37.
- [27] Żarski J., Kuśmerek-Tomaszewska R., Dudek S., 2012. Tendencje zmian termicznych okresów rolniczych w rejonie Bydgoszczy. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3/I, s. 7-17.