



UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH  
W BYDGOSZCZY

## **ROZPRAWY NR 162**

Roman Rolbiecki

**OCENA POTRZEB I EFEKTÓW  
MIKRONAWODNIENÍ  
SZPARAGA (*Asparagus officinalis* L.)  
NA OBSZARZE SZCZEGÓLNIIE  
DEFICYTOWYM W WODĘ**

BYDGOSZCZ – 2013

REDAKTOR NACZELNY  
prof. dr hab. inż. Józef Flizikowski

REDAKTOR DZIAŁOWY  
prof. dr hab. inż. Małgorzata Zalewska

OPINIODAWCY  
prof. dr hab. Stanisław Kaniszewski  
prof. dr hab. inż. Czesław Przybyła

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE  
mgr Aleksandra Górka, mgr Patrycja Fereni-Morzyńska

© Copyright  
Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego  
Bydgoszcz 2013

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany  
ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych,  
kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody  
posiadacza praw autorskich.

ISBN 978-83-61314-35-6  
ISSN 0209-0597

Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego  
ul. Ks. A. Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz, tel. 52 3749482, 3749426  
e-mail: [wydawucz@utp.edu.pl](mailto:wydawucz@utp.edu.pl)    <http://www.wu.utp.edu.pl>

---

Wyd. I. Nakład 150 egz. Ark. aut. 6,0. Ark. druk. 6,5. Zamówienie nr 2/2013  
Oddano do druku i druk ukończono w marcu 2013  
Uczelniany Zakład Małej Poligrafii UTP Bydgoszcz, ul. Ks. A. Kordeckiego 20

*Żonie i dzieciom*

## Spis treści

Wykaz skrótów i symboli.....	5
1. WSTĘP I CEL BADAŃ.....	6
1.1. Wprowadzenie do problemu badawczego.....	6
1.2. Hipoteza badawcza i cel badań.....	9
2. MATERIAŁ I METODY.....	10
2.1. Lokalizacja doświadczenia.....	10
2.2. Charakterystyka gleby pola doświadczalnego.....	10
2.3. Opis badań polowych oraz stosowanych metod badawczych.....	12
2.4. Potrzeby wodne szparaga.....	17
2.4.1. Połowe zużycie wody (S).....	17
2.4.2. Ewapotranspiracja wskaźnikowa ( $ET_o$ ).....	19
2.4.2.1. Modele Grabarczyka oraz Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena.....	19
2.4.2.2. Współczynniki roślinne ( $k_c$ ).....	20
2.4.3. Ewapotranspiracja potencjalna ( $ET_p$ ).....	21
2.5. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania.....	22
2.6. Analiza ekonomiczna nawadniania.....	22
3. WARUNKI METEOROLOGICZNE DOŚWIADCZENIA.....	24
4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA.....	32
4.1. Potrzeby wodne i nawodnieniowe szparaga.....	32
4.1.1. Charakterystyka warunków wilgotnościowych gleby.....	32
4.1.2. Potrzeby wodne szparaga.....	41
4.1.2.1. Połowe zużycie wody (S).....	41
4.1.2.2. Ewapotranspiracja wskaźnikowa ( $ET_o$ ).....	52
4.1.2.3. Współczynniki roślinne ( $k_c$ ).....	55
4.1.2.4. Ewapotranspiracja potencjalna ( $ET_p$ ).....	56
4.1.3. Niedobory wody oraz potrzeby nawodnieniowe szparaga.....	61
4.2. Wpływ mikronawodnień na wzrost pędów asymilacyjnych szparaga.....	67
4.3. Wpływ mikronawodnień na plon handlowy szparaga.....	71
4.4. Efektywność ekonomiczna nawadniania szparaga.....	77
5. WNIOSKI.....	81
LITERATURA.....	83
STRESZCZENIA.....	91
ANEKS.....	95

## Wykaz skrótów i symboli – List of abbreviations and symbols

- WŁD – woda łatwo dostępna – available water content;
- SPI – standaryzowany wskaźnik opadowy – Standardized Precipitation Index;
- $S_M$  – połowe zużycie wody na poletkach mikrozaszanych – field water consumption at microsprinkled plots;
- $S_K$  – połowe zużycie wody na poletkach nawadnianych kropłowo – field water consumption at drip irrigated plots;
- $ET_o^G$  – ewapotranspiracja wskaźnikowa obliczona modelem Grabarczyka – reference evapotranspiration calculated by Grabarczyk's formula;
- $ET_o^{HDA}$  – ewapotranspiracja wskaźnikowa obliczona modelem Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena – reference evapotranspiration calculated by Hargreaves's in modification of Droogers and Allen formula;
- $k_c^G$  – współczynnik roślinny dla modelu Grabarczyka – crop coefficient for Grabarczyk's formula;
- $k_c^{HDA}$  – współczynnik roślinny dla modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena – crop coefficient for Hargreaves's in modification of Droogers and Allen formula;
- $k_r^{FG}$  – współczynnik redukcyjny wg Freemana i Garzolego – reduction coefficient acc. Freeman and Garzoli;
- PP – współczynnik pokrycia powierzchni gleby przez rośliny – coefficient of soil area covering by plants;
- $ET_p^G$  – ewapotranspiracja potencjalna obliczona modelem Grabarczyka – crop evapotranspiration calculated by Grabarczyk's formula;
- $ET_p^{HDA}$  – ewapotranspiracja potencjalna obliczona modelem Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena – crop evapotranspiration calculated by Hargreaves's in modification of Droogers and Allen formula;
- $ET_{pK}^G$  – ewapotranspiracja potencjalna obliczona modelem Grabarczyka przy ograniczonej powierzchni zwilżania (nawadnianie kropłowe) – crop evapotranspiration calculated by Grabarczyk's formula by the limited wetting area (drip irrigation);
- $ET_{pK}^{HDA}$  – ewapotranspiracja potencjalna obliczona modelem Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena przy ograniczonej powierzchni zwilżania (nawadnianie kropłowe) – crop evapotranspiration calculated by Hargreaves's in modification of Droogers and Allen formula by the limited wetting area (drip irrigation);
- $Q_M$  – potrzeby wodne na poletkach mikrozaszanych – water needs at the microsprinkled plots;
- $Q_S$  – potrzeby wodne na poletkach nawadnianych kropłowo – water needs at the drip irrigated plots;

Warianty doświadczenia – experimental variants:

- O – poletka bez nawadniania (kontrola) – non irrigated plots (control);
- K – poletka nawadniane kropłowo – drip irrigated plots;
- M – poletka mikrozaszane – microsprinkled plots;

Mięszkość gleby – soil thickness:

- A – 0-33 cm;
- B – 33-60 cm.

# 1. WSTĘP I CEL BADAŃ

## 1.1. Wprowadzenie do problemu badawczego

Areal gleb lekkich i bardzo lekkich stanowi w Polsce ok. 47% gruntów przeznaczonych pod uprawę [Pierzgalski i Jeznach 2006]. 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 te czynniki obniżają ich produktywność oraz ograniczają wprowadzenie do uprawy roślin intensywnych [Grabarczyk 1983, Dzieżyc i Trybała 1989, Rzekanowski i in. 2011].

W warunkach klimatycznych Polski największe deficyty opadów atmosferycznych, wybitnie niekorzystne bilanse wodne oraz zwiększone częstotliwości występowania długotrwałych okresów bezopadowych występują w środkowej części kraju, tzw. Krainie Wielkich Dolin (na obszarze szczególnie deficytowym w wodę), do której zalicza się również region bydgoski [Żakowicz i Hewelke 1990, Rzekanowski 2010, Łąbędzki i in. 2011, Rzekanowski i in. 2011, Żarski 2011]. Udział gleb kompleksów słabych w tym rejonie jest znaczny i wynosi 37,5% [Grabarczyk i in. 1990a]. Po to, aby zwiększyć produktywność tych gleb, należy uzupełnić występujące częste niedobory wody. Z tego względu powinno się stosować nawadnianie [Grabarczyk i in. 1994, Żarski i in. 2004, Żarski i Dudek 2009]. 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 wzmaga 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, Pierzgałski i Jeznach 2006, Kundzewicz 2007, Łąbędzki 2009]. Występowanie takich czynników środowiskowych powoduje zwiększenie potrzeb wodnych roślin i niedoborów wody oraz wskazuje na potrzebę ich ograniczania poprzez stosowanie wodooszczędnych 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, Pierzgałski i Jeznach 1993, Rzekanowski i Rolbiecki 1996, Jeznach 2009, Łąbędzki 2009, Lipiński 2010, Treder i in. 2011]. Systemy te spełniają wymogi tzw. rolnictwa precyzyjnego. Poprzez bardzo dużą energo- i zasobooszczędność (niskie zużycie wody pod niskim ciśnieniem) oraz miejscowe zaopatrywanie roślin w wodę pozwalają na tworzenie precyzyjnych układów przyrodniczo-techniczno-ekonomicznych, harmonijnie wkomponowanych 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 [Przybyła 1994, Treder i in. 2010, Payero i in. 2011, Źarski i in. 2011]. Podstawowym celem nawadniania w warunkach klimatycznych Polski jest utrzymywanie zapasu wody w warstwie penetrowanej przez większą część systemu korzeniowego w przedziale wody łatwo dostępnej dla roślin [Rzekanowski i in. 2011]. Zasada ta jest spełniona, gdy sterowanie nawadnianiem prowadzone jest prawidłowo, co z kolei związane jest z właściwym wyznaczeniem terminu nawadniania [Źarski i in. 2011]. Termin nawadniania może być wyznaczony na podstawie różnych kryteriów: roślinnych [Jones i in. 1996, Michelakis 1996], glebowych – za pomocą sond i tensjometrów [Kaniszewski 2005a, Treder i Klamkowski 2008] bądź klimatycznych [Allen i in. 1998, Sentelhas i in. 2010], opartych na założeniu, iż zużycie wody przez rośliny determinowane jest przebiegiem warunków pogodowych oraz fazą rozwojową rośliny. Według Źarskiego i in. [2011], najważniejsze jest określenie po stronie przychodów efektywnych opadów naturalnych po stronie rozchodów – ewapotranspiracji wyznaczonej za pomocą modeli wymagających pełnego lub ograniczonego dostępu do danych meteorologicznych. Według zaleceń FAO do wyznaczenia ewapotranspiracji wskaźnikowej zalecany jest wzór Penmana-Monteitha [Allen i in. 1998, Łabędzki i in. 2011]. W warunkach Polski zastosowanie go w praktyce do określania potrzeb wodnych jest często ograniczone ze względu na dużą ilość danych potrzebnych do jego obliczenia [Treder i in. 2010, Źarski i in. 2011]. Dlatego występuje potrzeba zaadaptowania do praktyki modeli bazujących na prostych pomiarach meteorologicznych, takich jak temperatura i wilgotność powietrza. Warunek taki spełniają dwa modele: Grabarczyka [1976] i Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena [Hargreaves i Samani 1985]. Ich przydatność do określania ewapotranspiracji wskaźnikowej w warunkach klimatycznych Polski potwierdził Treder i in. [2010].

Zastosowanie do szacowania potrzeb wodnych roślin modeli pozwalających na obliczenie ewapotranspiracji wskaźnikowej wymaga wyznaczenia współczynników roślinnych  $k_c$ , zależnych od gatunku oraz fazy rozwojowej rośliny [Allen 1986, Grabarczyk i Źarski 1992]. W polskiej literaturze naukowej brak jest jednoznacznej informacji na temat obliczania potrzeb wodnych szparaga oraz technologii prowadzenia nawadniania tej rośliny. Tylko dwa doniesienia autora [Rolbiecki i in. 2001, Rolbiecki i Rolbiecki 2008] traktują o wpływie mikronawodnień na wzrost i plon szparaga na plantacji plonującej i stanowią jedyne jak dotąd informacje dotyczące mikronawadniania szparaga w Polsce. Dostępne doniesienia innych autorów są w większości ogólne oraz bazują na wynikach doświadczeń zagranicznych, głównie z deszczowaniem [Knaflewski 1995, 2005, Kaniszewski 2005a, b i 2006] bądź dotyczą produkcji karp szparaga [Knaflewski 1987]. Fakt ten skłonił autora do podjęcia się kompleksowego oszacowania potrzeb wodnych szparaga na podstawie połowego zużycia wody oraz dwóch prostych modeli, dla których wyznaczono współczynniki roślinne  $k_c$  i na ich podstawie obliczono ewapotranspirację potencjalną szparaga w okresie nawodnieniowym. Uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w bilansowej metodzie sterowania nawodnieniami w warunkach centralnej Polski. Znajomość przebiegu ewapotranspiracji roślin w zależności od wilgotności gleby jest, jak podaje Mosiej [1999], bardzo istotna w procesie sterowania nawodnieniami na obszarach rolniczych. Metodę tę jako przydatną do sterowania nawadnianiem szparaga przedstawili Paschold i in. [2002] jako porównywalną do metody tensjometrycznej i z powodzeniem wykorzystywaną w sterowaniu nawodnieniami szparaga w warunkach Niemiec.

Badania naukowe, które prowadzone są w rejonie Bydgoszczy od ponad 30 lat, wykazały dużą celowość zastosowania nawadniania jako podstawowego czynnika plonotwórczego na glebach o małej zdolności retencyjnej. Osiągany pod wpływem tego zabiegu wzrost plonów był znacznie wyższy niż na glebach o większej zawartości części spławialnych. Umożliwił on również wprowadzenie do zmianowania na tych glebach roślin intensywnych, których uprawa w tych warunkach byłaby niemożliwa, m.in. roślin sadowniczych i warzywniczych [Grabarczyk i in. 1994, Rolbiecki 2003, 2007, Żarski i in. 2004, Rolbiecki i in. 2005, Rzekanowski i in. 2011]. W odróżnieniu od wcześniejszych badań wykonywanych w ramach prac nad doбором roślin i gatunków na nawadniane gleby bardzo lekkie zainteresowano się uprawą szparaga, który jest rośliną predestynowaną do uprawy na tego typu glebie [Knaflowski 1995, 2005, Paschold i in. 1999]. Przesłanką do tego skłaniającą była możliwość zastosowania systemów mikronawodnień w intensyfikacji produkcji szparaga na glebie bardzo lekkiej z uwagi na fakt, iż w literaturze zagranicznej występują dane na ten temat. Najbardziej przydatne informacje pochodzą z Niemiec, gdzie w podobnych warunkach klimatyczno-glebowych zastosowane nawadnianie pozbiorowe, tak kropłowe, jak i deszczowniane, skutkowało wzrostem plonu handlowego wypustek szparaga [Hartmann 1981a, b, Hartmann i in. 1990, Paschold i in. 1996, 1999, 2004, 2008].

Wzrost znaczenia gospodarczego szparaga jest związany z możliwością eksportu wypustek do krajów Unii Europejskiej (głównie Niemiec), jak również wzrostem popytu na to cenne warzywo wśród konsumentów krajowych, u których obserwuje się zmiany w sposobie odżywiania. Podstawowe gatunki – tzw. warzywa „ciężkie” – zamieniane są na gatunki o niskiej kaloryczności, wysokiej wartości biologicznej i smakowej. Producent zainteresowany jest jasną i wyczerpującą instrukcją uprawy szparaga. Interesują go czynniki plonotwórcze, z których ważnym – ze względu na wieloletni charakter uprawy, warunkującym uzyskanie wysokich plonów o bardzo dobrej jakości – jest dobór właściwej odmiany uprawnej szparaga. Trwają intensywne prace hodowlane, w wyniku których obok starych, znanych i sprawdzonych już od wielu lat odmian pojawiają się nowe, wymagające sprawdzenia w polskich warunkach klimatyczno-glebowych [Knaflowski 2005]. Wiele z nich (jak podają hodowcy) to odmiany bardzo plenne, o wysokich wymaganiach glebowych i wodnych. Dlatego aby osiągnąć maksymalne efekty produkcyjne danej odmiany, należy stworzyć jej optymalne warunki wzrostu i rozwoju w trakcie sezonu wegetacyjnego. Można to osiągnąć poprzez stosowanie nawożenia (organicznego i mineralnego) dostosowanego do potrzeb rośliny oraz zapewnienie optymalnych warunków wilgotnościowych za pomocą nawodnień uzupełniających niedobory opadów atmosferycznych. Z racji specyficznego sposobu uprawy (zbioru wypustek wczesną wiosną) wysokość i jakość plonu wypustek uzależnione są od ilości składników zmagazynowanych w karpach szparaga podczas sezonu wegetacyjnego roku poprzedniego. Nawadnianie szparaga w roku bieżącym po zbiorach (nawadnianie pędów asymilacyjnych), jak podaje literatura [Hartmann 1981a, b, Paschold i in. 1996, 2008], powoduje przyrost wysokości pędów, ich liczby z jednej karpki oraz średnicy i wpływa pozytywnie na wzrost plonu wypustek w roku następnym. Wstępne badania z zastosowaniem mikronawodnień w uprawie odmian niemieckich oraz uzyskane wyniki [Rolbiecki i in. 2001] skłoniły autora do założenia i przeprowadzenia długoletniego eksperymentu polowego z zastosowaniem nawadniania kropłowego oraz mikrozaszrania, który stanowi podstawę pracy.



## 1.2. Hipoteza badawcza i cel badań

Hipoteza badawcza zakładała, że zastosowanie nowoczesnej technologii mikronawodnień w uprawie rośliny wieloletniej (szparaga) mogłoby przyczynić się do zwiększenia wykorzystania ciepłych gleb piaszczystych (jako alternatywa zalesiania bądź ugorowania) poprzez osiągnięcie lepszych efektów produkcyjnych w uprawie szparaga na tego typu glebie.

Celem podjętych badań była ocena możliwości produkcyjnych gleby bardzo lekkiej – na przykładzie szparaga poprzez zastosowanie nawadniania kropłowego oraz mikrozaszrania – w rejonie o obniżonych opadach w okresie wegetacji (na obszarze szczególnie deficytowym w wodę). Ze względu na brak danych dotyczących technologii nawadniania szparaga w warunkach Polski założono następujące cele szczegółowe:

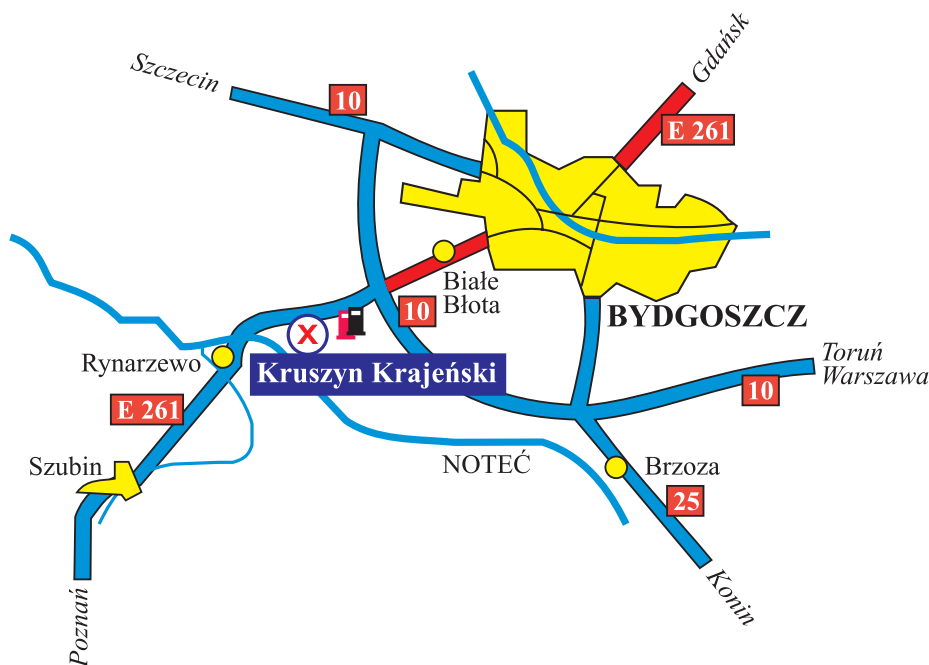
- określenie potrzeb wodnych – polowego zużycia wody ( $S$ ) szparaga uprawianego na glebie bardzo lekkiej w warunkach prowadzonych mikronawodnień,
- ocena przydatności modeli Grabarczyka oraz Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena do obliczania ewapotranspiracji referencyjnej ( $ET_0$ ),
- wyznaczenie współczynników roślinnych  $k_c$  dla wzorów Grabarczyka i Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena oraz określenie potrzeb wodnych szparaga na podstawie kryterium klimatycznego ( $ET_p$ ),
- określenie niedoborów wody oraz potrzeb nawodnieniowych szparaga na glebie bardzo lekkiej w rejonie Bydgoszczy (na obszarze szczególnie deficytowym w wodę),
- sprawdzenie reakcji różnych odmian szparaga uprawianych na bielone wypustki na nawadnianie kropłowe i mikrozaszrania w warunkach gleby bardzo lekkiej,
- próba określenia efektywności ekonomicznej zastosowanych systemów nawadniania w uprawie szparaga na glebie bardzo lekkiej.

## 2. MATERIAŁ I METODY

### 2.1. Lokalizacja doświadczenia

Ścisłe badania polowe z zastosowaniem mikronawodnień (nawadniania kropłowego i mikrozaszrania), jako czynnika zwiększającego produktywność gleby bardzo lekkiej poprzez zapewnienie jej optymalnej wilgotności w uprawie intensywnej rośliny wieloletniej (szparaga) przeprowadzono w latach 2000-2008 na polu doświadczalnym Katedry Melioracji i Agrometeorologii Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Doświadczenie zostało przeprowadzone na obszarze szczególnie deficytowym w wodę, charakteryzującym się glebą o bardzo małych zdolnościach retencyjnych (bardzo lekka) oraz bardzo niskimi opadami atmosferycznymi w sezonie wegetacyjnym.

Obiekt doświadczalny położony jest we wsi Kruszyn Krajeński w odległości ok. 12 km od Bydgoszczy w kierunku południowo-zachodnim (szerokość geograficzna 53°05', długość geograficzna 17°52', wysokość 70 m npm) (rys. 1). Obiekt był wyposażony w instalację do mikronawodnień, składającą się z urządzeń produkcji izraelskiej firmy NAAN.



Rys. 1. Lokalizacja pola doświadczalnego [www.google.maps]

Fig. 1. Localisation of the experimental field

### 2.2. Charakterystyka gleby pola doświadczalnego

Badania polowe przeprowadzono na czarnej ziemi glejowej, wytworzonej z piasku aluwialnego. Gleba zakwalifikowana została do VI klasy bonitacyjnej, kompleksu żytniego bardzo słabego. Charakteryzowała się niską gęstością właściwą wynoszącą 2,29-

-2,74 Mg·m<sup>-3</sup> w warstwie 0-60 cm (tab. 1). Porowatość kształtowała się w zakresie od 39,7% dla skały macierzystej do 42,2% dla poziomu orno-próchnicznego.

Tabela 1. Wybrane właściwości fizyczne gleby w Kruszyńce Krajeńskim

Table 1. Chosen physical properties of soil in Kruszyn Krajenski

Głębokość Depth [cm]	Poziom genetyczny Genetic horizon	Uziarnienie Texture	Gęstość właściwa Specific density [Mg·m <sup>-3</sup> ]	Porowatość Porosity [%]
0-33	Ap	piasek słabo gliniasty	2,29	42,2
33-60	AC	piasek luźny	2,68	40,6
>60	C	piasek luźny	2,74	39,7

Ze względu na ograniczoną pojemność wodną (113,1 mm w 1,5-metrowej warstwie przy stanie połowej pojemności wodnej) gleba pola doświadczalnego charakteryzowała się słabą zdolnością do ciągłego zaopatrywania roślin w wodę (tab. 2). Nie stwierdzono kapilarnego podsiąku wody gruntowej, stąd też możliwości jej magazynowania były bardzo ograniczone. Zwierciadło wód gruntowych zalegało w sezonie wegetacyjnym bardzo głęboko (poniżej 1,5 m) i nie miało wpływu na gospodarkę wodną warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu. Na polu doświadczalnym występowała tzw. opadowa gospodarka wodna gleby.

Efektywna retencja użyteczna w warstwie 0-150 cm wynosiła 48 mm, z czego na warstwę o kontrolowanym uwilgotnieniu 0-60 cm przypadało 27,3 mm. Ocenę cech fizycznych oraz wodnych gleby wykonano na podstawie odkrywek glebowych w laboratoriach Katedry Gleboznawstwa i Ochrony Gleb UWM w Olsztynie. Szczegółowa metodyka oraz charakterystyka gleby doświadczalnej została przedstawiona we wcześniejszej pracy Rolbieckiego i in. [2007].

Glebę charakteryzował dobrze rozwinięty poziom orno-próchniczny o średniej zawartości próchnicy i składników pokarmowych, będący zapewne rezultatem długoletniego nawożenia obornikiem (tab. 3). Odczyn gleby był lekko kwaśny do obojętnego (pH w H<sub>2</sub>O wynosiło 5,5). Średnia zawartość próchnicy w warstwie 0-60 cm wyniosła 1,35%, natomiast zawartości wybranych składników pokarmowych kształtowały się następująco: P – 52,5 mg·dm<sup>-3</sup> gleby, K – 71,25 mg·dm<sup>-3</sup> gleby, Mg – 59,0 mg·dm<sup>-3</sup> gleby. Oznaczenia chemiczne wykonano w Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej na próbkach zbiorczych pobieranych z warstw 0-30 i 31-60 cm z wariantów doświadczalnych. Zawartości poszczególnych składników określono za pomocą metod: P i K – Egnera-Riehma, Mg – Schachtschabela, pH – potencjometryczną, próchnicy – Tiurina.

Tabela 2. Wybrane właściwości wodne gleby doświadczalnej w Kruszyńce Krajeńskim [mm]

Table 2. Chosen water properties of the experimental soil in Kruszyn Krajenski [mm]

Głębokość Depth [cm]	Zapas wody przy stanie – Water reserves in state [mm]			Retencja użyteczna Use water retention [mm]	Efektywna retencja użyteczna Effective use water retention [mm]
	połowej pojemności wodnej field water capacity	wilgotności krytycznej critical moisture	wilgotności trwałego wiednięcia permanent wilting point		
0-33	57,8	38,9	25,7	32,0	19,5
33-60	14,9	7,0	3,2	11,6	7,8
60-150	40,5	19,8	9,0	31,5	20,7
0-150	113,1	65,8	38	75,1	48,0

Tabela 3. Wybrane właściwości chemiczne gleby doświadczalnej w Kruszynie Krajeńskim

Table 3. Chosen chemical properties of the experimental soil in Kruszyn Krajeński

Wyszczególnienie – Specification	Warstwa profilu – Soil layer [cm]	
	0-30	30-60
pH w H <sub>2</sub> O	5,5 (5,2-5,8)	5,2 (4,9-5,5)
P (mg·100 g <sup>-1</sup> )	62,5 (45-80)	42,5 (30-55)
K (mg·100 g <sup>-1</sup> )	87,5 (45-130)	55 (30-80)
Mg (mg·dm <sup>-3</sup> )	70,5 (45-96)	47,5 (22-73)
Próchnica – Humus (%)	1,5 (1,3-1,67)	1,1 (0,91-1,30)

### 2.3. Opis badań polowych oraz stosowanych metod badawczych

Eksperyment polowy z zastosowaniem nawadniania kropłowego oraz mikrozaszrania w uprawie szparaga – wieloletniej rośliny intensywnej, mogącej podwyższyć produktywność gleby bardzo lekkiej – przeprowadzono w latach 2000-2008. Doświadczenie założono i przeprowadzono w dwuczynnikowym układzie zależnym split-plot losowanych podbloków.

Czynnik I rzędu stanowiło nawadnianie zastosowane w następujących wariantach wodnych:

- O – bez nawadniania (kontrola),
- K – nawadnianie kropłowe,
- M – mikrozaszranie.

Czynnik II rzędu stanowiły trzy męskie odmiany uprawne szparaga:

- Gijnlim,
- Ramos,
- Vulkan.

Doświadczenie przeprowadzono w czterech powtórzeniach, co obejmowało 36 poletek, każde o powierzchni do zbioru 14,5 m<sup>2</sup>. Testowaną rośliną był szparag prowadzony na bielone wypustki. Rośliny uprawiano w rzędach odległych od siebie o 1,8 m, natomiast w rzędzie 23 rośliny wysadzono co 0,35 m. Pomędzy wariantami wodnymi doświadczenia zadanie pasów ochronnych spełniały dodatkowe rzędy szparaga. Schemat doświadczenia przedstawiono w tabeli 4.

Do powierzchniowego nawadniania kropłowego pędów asymilacyjnych (nawadniania pozbiorowego) użyto taśmy kroplującej (emitera liniowego) typu 'T-Tape', na której odległości pomiędzy kropłownikami wynosiły 20 cm. Wydatek z 1 mb przewodu nawadniającego wynosił ok. 5 dm<sup>3</sup>·mb<sup>-1</sup>. Zabieg mikrozaszrania przeprowadzono za pomocą mikrozaszraczy produkcji izraelskiej typu 'HADAR', przy ciśnieniu roboczym 1 bar o wydatku 50-60 dm<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>. W celu ochrony emiterów przed niedrożnością zastosowano zarówno w systemie kropłowym, jak i mikrozaszranianiu izraelskie filtry dyskowe typu 'Arkal'.

Terminy wykonywania nawodnień ustalano na podstawie ciśnienia ssącego gleby określanego za pomocą tensjometrów glebowych, zgodnie z proponowanymi zaleceniami Instytutu w Geisenheim (Niemcy) [Paschold i Weithaler 2000]. W sezonie nawodnieniowym nie dopuszczano do spadku potencjału wodnego gleby poniżej -50 kPa. Wartość ta wyniosła pF 2,7, co odpowiadało wyczerpaniu 50-60% WŁD. Sączki ten-

sjometrów były umieszczone na głębokości 25 i 50 cm. Pomiarów ciśnienia ssącego gleby dokonywano co 2-3 dni. Dodatkowo dokonywano również uzupełniającej, bieżącej obserwacji wyglądu roślin oraz organoleptycznej oceny wilgotności gleby.

Zabieg nawadniania kropłowego wykonywano z większą częstotliwością niż zabieg mikrozaszania. Związane to było z podawaniem mniejszych dawek wody. Jednorazowe dawki wody przy nawadnianiu kropłowym wynosiły 4-10 mm, a w przypadku mikrozaszania 10-20 mm. Sumaryczne dawki w ujęciu pentadowym przeliczone na wysokość warstwy opadu zawierały się – w zależności od warunków opadowych i termicznych poszczególnych okresów wegetacji oraz roku użytkowania plantacji – w zakresach od 55 do 163 mm w przypadku nawadniania kropłowego oraz od 90 do 195 mm przy mikrozaszaniu (tab. 5).

Okres nawodnieniowy obejmował termin rozpoczynający się po zbiorach szparaga (III dekada czerwca) i trwał do końca sierpnia, zgodnie z proponowanymi zaleceniami [Hartmann 1981a, Paschold i in. 2002]. Okres ten obejmował najintensywniejszy wzrost pędów asymilacyjnych szparaga oraz gromadzenie substancji pokarmowych [Knaflowski 2005]. Najwyższe sumaryczne dawki wody zastosowano w latach 2000, 2003 i 2005, w których wystąpiły najniższe opady.

Wodę do nawodnień czerpano z Kanału Kruszyńskiego (zasilanego przez Kanał Górnonotecki), oddalonego o ok. 600 metrów od pola doświadczalnego. Źródło ciśnienia stanowiła pompa spalinowa (IRIDIM-50), która tłoczyła wodę ( $800 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ) wężem polietylenowym na teren doświadczeń.

Podstawowe parametry jakościowe wody użytej do nawodnień określono w Państwowym Zakładzie Higieny oraz Katedrze Chemii Środowiska WRiB UTP w Bydgoszczy i zestawiono w tabeli 6. Analiza przedstawionych wskaźników fizykochemicznych wody pozwala stwierdzić, iż na podstawie większości parametrów można zakwalifikować ją do I, II i III klasy czystości, zgodnie z normatywnymi wskaźnikami wyznaczonymi przez obowiązującą klasyfikację zamieszczoną w Rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska z dnia 11 lutego 2004 (Dz.U. Nr 32, poz. 284). Obliczony wskaźnik zasolenia SAR (Sodium Adsorption Ratio), wynoszący 10, mieścił się w normie (8-18) [Kaniszewski 1987].

Wskaźnik SAR obliczono, korzystając ze wzoru [Ostromięcki 1973, Żakowicz i Hewelke 2002, Żakowicz i in. 2009]:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Przedstawione w tabeli 6 wielkości niektórych wskaźników w analizowanej wodzie mieściły się w granicach wskazanych we wcześniejszych doniesieniach różnych autorów, którzy próbowali określić przydatność wód powierzchniowych i podziemnych do nawodnień upraw polowych i warzywnych [Rijtema 1981, Kaniszewski 1987, Kuteira 1995, Przybyła i in. 1996, Kowalczyk i Kaniszewski 1999].

Tabela 4. Schemat doświadczenia polowego szparagarni założonej w roku 2000

Table 4. Scheme of field experiment of the cultivated asparagus established at year 2000

Powtórzenie Replication	Nr poletka Plot number	Wariant wodny Water variant	Odmiana Cultivar
I	1	O	Gijnlim
	2	O	Ramos
	3	O	Vulkan
	Bufor – Buffer		
	4	K	Vulkan
	5	K	Ramos
	6	K	Gijnlim
	Bufor – Buffer		
	7	M	Vulkan
II	8	M	Gijnlim
	9	M	Ramos
	10	M	Ramos
	11	M	Gijnlim
	12	M	Vulkan
	Bufor – Buffer		
	13	K	Ramos
	14	K	Vulkan
	15	K	Gijnlim
III	Bufor – Buffer		
	16	O	Vulkan
	17	O	Ramos
	18	O	Gijnlim
	19	O	Vulkan
	20	O	Gijnlim
	21	O	Ramos
	Bufor – Buffer		
	22	K	Ramos
IV	23	K	Gijnlim
	24	K	Vulkan
	Bufor – Buffer		
	25	M	Ramos
	26	M	Vulkan
	27	M	Gijnlim
	28	M	Ramos
	29	M	Vulkan
	30	M	Gijnlim
IV	Bufor – Buffer		
	31	K	Gijnlim
	32	K	Vulkan
	33	K	Ramos
	Bufor – Buffer		
	34	O	Vulkan
	35	O	Ramos
36	O	Gijnlim	

O, K i M – odpowiednio: kontrola (bez nawadniania), nawadnianie kropłowe i mikrozaszanie

O, K and M – control (without irrigation), drip irrigation and microsprinkler irrigation, respectively

Tabela 5. Pentadowe oraz sezonowe dawki wody zastosowanej na poletkach nawadnianych kroplowo i mikrozaszanych w mm

Table 5. Pentade and seasonal doses of water used for irrigation on the drip and microsprinkled plots in mm

Wariant wodny Water variant	Rok Year	Miesiąc – Month															Sezono- wa daw- ka na- wodnie- niowa Seasonal irrigation dose			
		VI					VII					VIII								
		Pentady – Pentads																		
K	2000						4						6	16	13	16			55	
	2001						5				5	16	21	16	18	16	16	16	129	
	2002					5				7		12	8	8	16	16	20	33	125	
	2003									10			24	26	18	16	18	16	128	
	2004									8	17	22			8	13			68	
	2005						16	14	22	8			8	8	16	19	28	24	163	
	2006						16	16		24	26	28						16	126	
	2007									16		8	16	16		21		8	85	
	<b>średnia mean</b>	<b>110</b>																		
M	2000				15			20						35		20			90	
	2001							15				20		20	20	25	25	30	165	
	2002					20				15		20		20	15	20	35	30	175	
	2003									15			20	30	20	30	20	20	155	
	2004									20	15	20			15	20			90	
	2005						30	20	20	20			15	30		20	20	20	195	
	2006						20	20	20		40	20	40						180	
	2007										20		10	20	15	15	30		20	130
	<b>średnia mean</b>	<b>148</b>																		

K i M – odpowiednio: nawadnianie kroplowe i mikrozaszanie

K and M – drip irrigation and microsprinkler irrigation, respectively

Tabela 6. Wartości wybranych wskaźników jakości wody użytej do nawadniania średnio z lat badań 2000-2007

Table 6. Values of chosen parameters of water quality used for irrigation, mean values in 2000-2007

Nazwa wskaźnika Name of parameter	Jednostka Unit	Oznaczone stężenia Measured concentrations	Norma dla klasy czystości Norm for the class of clearness				
			I	II	III	IV	V
pH	–	6,94	6,5-8,5	6,0-8,5	6,0-9,0	5,5-9,0	< 5,5 lub/or > 9,0
Przewodnictwo Conductivity	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	840	500	1000	15 00	2000	> 2000
Zawiesiny ogólne Total suspensions	$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$	60	15	25	50	100	> 100
Azot azotanowy Nitrate nitrogen	$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$	3,5	2,5	5	10	20	> 20
Fosforany Phosphates	$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	> 1

Doświadczenie zostało założone w roku 2000. Jednoroczne karpy szparaga wyhodowane w Niemczech (Spargelvermehrungsbetrieb, OT Almstorf, D-29584 Himbergen) zostały wysadzone do gruntu 1 maja 2000 r. Do doświadczenia wybrano odmiany męskie o wysokim potencjale plonowania, odpowiednie do intensywnej uprawy [Knaflowski 1995, 2005]. W roku poprzedzającym założenie doświadczenia przeprowadzono analizy gleby, aby określić niedobory nawozowe oraz zastosowano obornik w dawce  $60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Przed założeniem eksperymentu w celu podwyższenia pH gleby zastosowano wapno magnezowe w dawce  $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Zabiegi agrotechniczne zastosowane przed założeniem doświadczenia, jak i w trakcie jego prowadzenia były zgodne z ogólnie przyjętymi zasadami zaproponowanymi przez Knaflowskiego [1995, 2005].

Nawożenie fosforowo-potasowe ustalano w zależności od zawartości składników w glebie:  $100\text{-}120 \text{ kg P}_2\text{O}_5$  oraz  $200\text{-}250 \text{ kg K}_2\text{O}$ . Nawożenie azotowe ( $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), zastosowano w trzech równych dawkach po  $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Do nawożenia mineralnego zastosowano: saletrę amonową (34%), sól potasową (55%), superfosfat potrójny granulowany (46%).

Uprawa prowadzona była na białe wypustki. Przed rozpoczęciem zbiorów wały zostały uformowane obsypnikiem lemieszowym. W trakcie trwania zbiorów wały okrywano folią dwubarwną (czarno-białą) w celu podwyższania lub obniżania temperatury w wale, jak również w celu ograniczenia liczby zbiorów (zbiór bez folii – średnio 2 razy dziennie). Okrycie wałów folią skutkowało również ograniczeniem zachwaszczenia. Zbiory wypustek odbywały się średnio raz dziennie lub raz na dwa dni, w zależności od warunków pogodowych i temperatury (im wyższa średnia dobową temperatura, tym zbioru dokonywano częściej). Początek zbiorów odbywał się zależnie od roku uprawy w III dekadzie kwietnia lub I maja, natomiast zakończenie zbiorów przypadało z reguły na koniec II bądź początek III dekady czerwca. Podczas każdego zbioru wykonywano pomiary masy plonu handlowego z poletka, liczby wypustek i średnicy wypustek na podstawie PN/R-75504.

Po zakończeniu sezonu wegetacyjnego w każdym kolejnym roku badań wykonywano pomiary podstawowych parametrów pędów asymilacyjnych szparaga, tj. wysokości [cm], liczby pędów asymilacyjnych z jednej rośliny [szt.] i średnicy pędu [mm] na wysokości 3-5 cm od powierzchni gruntu.

W celu zobrazowania warunków meteorologicznych w czasie prowadzenia doświadczenia połowego wykorzystano klimatogramy Waltera [Walter 1976], które przedstawiają krzywą temperatur powietrza w analizowanym okresie oraz krzywą opadów i obniżoną krzywą opadów. Obszar wyznaczony przez krzywą opadów poniżej krzywej temperatur ( $10^\circ\text{C} = 20 \text{ mm}$ ) wyznacza okres suchy, natomiast obszar wyznaczony przez obniżoną krzywą opadów poniżej krzywej temperatur powietrza ( $10^\circ\text{C} = 30 \text{ mm}$ ) – okres półsuchy. Charakteryzując warunki opadowe okresu doświadczalnego, posłużono się dodatkowo standaryzowanym wskaźnikiem opadowym SPI (Standardized Precipitation Index) [McKee i in. 1993]. W celu obliczenia SPI wykorzystano formułę:

$$\text{SPI} = \frac{f(\text{P}) - \mu}{\sigma}$$

gdzie:

- SPI – wskaźnik standaryzowanego opadu,
- $f(\text{P})$  – przekształcona suma opadu w badanym okresie,
- $\mu$  – średnia wartość znormalizowanego ciągu historycznego opadu,
- $\sigma$  – średnie odchylenie standardowe znormalizowanego ciągu historycznego opadu.



Klasyfikację okresów ze względu na wartość wskaźnika standaryzowanego opadu przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Wartości wskaźnika SPI [McKee i in. 1993]

Table 7. SPI coefficient values [McKee et al. 1993]

SPI	Okres – Period
$\leq -2,0$	ekstremalnie suchy – extremely dry
-1,99 do -1,5	bardzo suchy – very dry
-1,49 do -1,0	umiarkowanie suchy – moderately dry
-0,99 do 0,99	normalny – normal
1,0 do 1,49	umiarkowanie mokry – moderately wet
1,5 do 1,99	bardzo mokry – very wet
$\geq 2,0$	ekstremalnie mokry – extremely wet

Dodatnie wartości SPI wskazują na opady większe od wartości medialnej (średkowej), a ujemne – na opad mniejszy od mediany. Wartości opadu są standaryzowane, dlatego wskaźnik SPI może być pomocny w ocenie i porównaniu opadów w różnych warunkach klimatycznych i w różnych okresach, co wykorzystano w doświadczeniu własnym.

Obliczenia statystyczne wykonano za pomocą pakietu obliczeniowego ANALWAR-5FR, wykorzystując test Fishera-Snedecora w celu stwierdzenia istotności działania czynników doświadczenia oraz test Tukeya dla porównania otrzymanych różnic. Przeprowadzono również odpowiednie analizy korelacji i regresji, wykorzystując program kalkulacyjny EXCEL z pakietu Microsoft Office w celu oceny stopnia zależności niektórych cech od opadów bądź dawek nawodnieniowych oraz temperatur powietrza.

## 2.4. Potrzeby wodne szparaga

### 2.4.1. Polowe zużycie wody (S)

Jedną z miar potrzeb wodnych roślin uprawnych jest polowe zużycie wody (S), przy założeniu utrzymywania się zapasu wody w glebie w przedziale wody łatwo dostępnej dla roślin. W takiej sytuacji polowe zużycie wody traktowane jest jako  $ET_p$  zmierzone dla konkretnej rośliny uprawnej. Taki stan musi trwać przez cały okres, dla którego oblicza się polowe zużycie wody. W doświadczeniu własnym warunki optymalnego uwilgotnienia uzyskano na obiektach nawadnianych kropłowo, jak i mikrozaszanych. Polowe zużycie wody, obliczono dla obu ww. systemów nawadniania, jednakże do późniejszego obliczenia współczynników roślinnych  $k_c$  wybrano warianty mikrozaszane z uwagi na zwilżanie całej powierzchni gleby.

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].

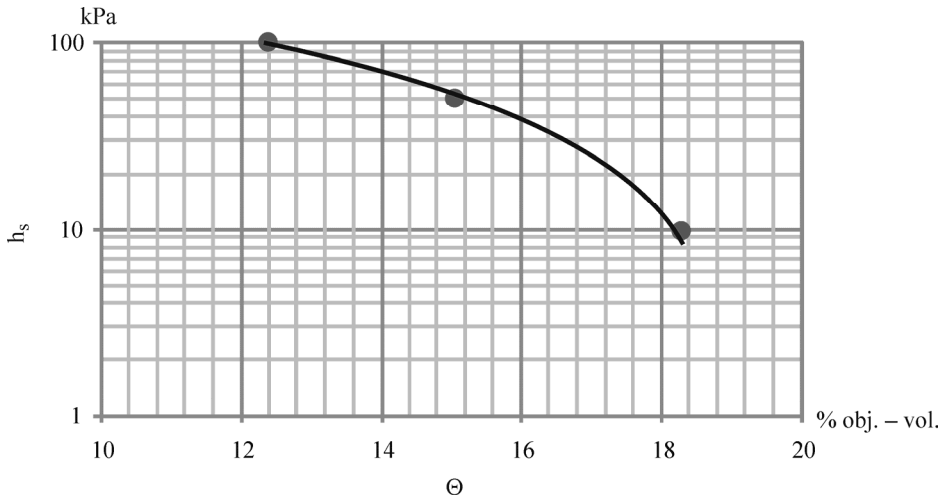
Wilgotność początkową ( $W_p$ ) oraz końcową ( $W_k$ ) określono na podstawie odczytów ciśnienia ssącego gleby z tensjometrów glebowych w kPa, dla dwóch poziomów glebowych: 0-33 cm oraz 33-60 cm, czyli warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu, w której znajduje się ponad 80% systemu korzeniowego [Drupka 1976, Drost 1996]. Z krzywych retencyjności gleby w zakresie wody łatwo dostępnej (rys. 2 i 3) określono wilgotność w % objętościowych [ $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ]. Dysponując wilgotnością podłoża w % obj., obliczono zawartość wody dla każdego poziomu z formuły [Drozd i Nowak 2006]:

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

gdzie:

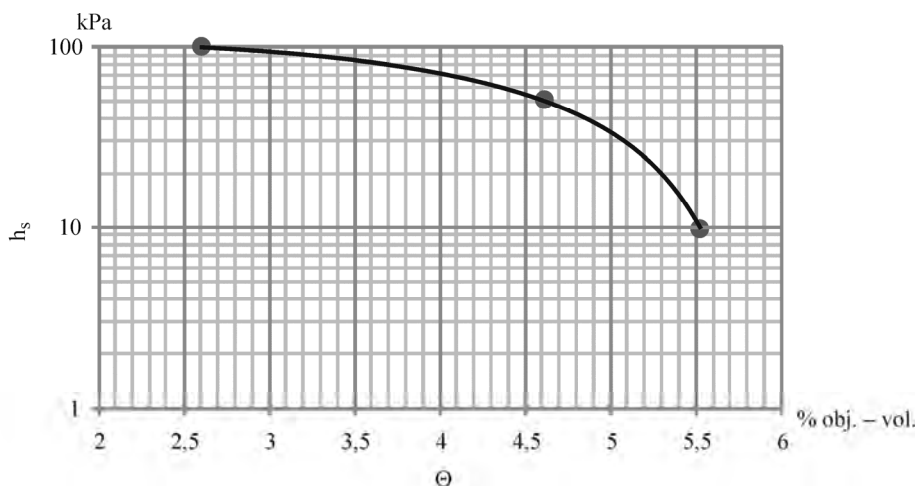
- Q – zapas wody [mm],
- $W_a$  – wilgotność w % objętościowych,
- h – miąższość warstwy gleby [cm],
- 10 – przelicznik wody na mm.

Na podstawie wyników uzyskanych z ww. formuły obliczono połowe zużycie wody dla okresu nawodnieniowego (od czerwca do sierpnia) z warstwy o kontrolowanym uwilgotnieniu (0-60 cm), co umożliwiło określenie zapotrzebowania na wodę w okresie największych wzrostu i rozwoju szparaga. Bilansowano zużycie wody w okresach pentadowych. Następnie obliczono zużycie dekadowe, miesięczne oraz roczne przy różnych wariantach wodnych. Obliczono również średnie dobowe zużycie wody w miesiącach okresu nawodnieniowego.



Rys. 2. Krzywa retencyjności gleby w zakresie WŁD dla warstwy 0-33 cm

Fig. 2. Curve of soil retention in range of EWC for the 0-33 cm layer



Rys. 3. Krzywa retencyjności gleby w zakresie WŁD dla warstwy 33-60 cm

Fig. 3. Curve of soil retention in range of EWC for the 33-60 cm layer

## 2.4.2. Ewapotranspiracja wskaźnikowa (ET<sub>o</sub>)

### 2.4.2.1. Modele Grabarczyka i Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena

Do obliczenia ewapotranspiracji wskaźnikowej posłużono się dwoma następującymi modelami obliczeniowymi:

1) formułą Grabarczyka [1976]:

$$ET_o = 0,32(\Sigma d + 1/3\Sigma T)$$

gdzie:

- ET<sub>o</sub> – ewapotranspiracja wskaźnikowa [mm],
- d – średni dobowy niedosyt wilgotności powietrza [hPa],
- T – średnia dobową temperatura powietrza [°C];

2) formułą Hargreavesa [Hargreaves i Samani 1985] w modyfikacji Droogersa i Allena [Treder i in. 2010]:

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

gdzie:

- HC – współczynnik empiryczny autorów = 0,0025,
- Ra – radiacja ponad atmosferą [mm·dzień<sup>-1</sup>],
- T<sub>max</sub> – temperatura maksymalna powietrza [°C],
- T<sub>min</sub> – temperatura minimalna powietrza [°C],
- HE – współczynnik empiryczny autorów = 0,5,
- HT – współczynnik empiryczny autorów = 16,8.

Wartości ET<sub>o</sub> obliczono, posługując się ww. modelami, ponieważ można je powszechnie wykorzystywać w praktyce rolniczej do określania potrzeb wodnych roślin

oraz sterowania nawodnieniami. Oba modele stanowią alternatywę w określaniu  $ET_0$  dla modelu Penmana-Monteitha [Allen 1986, 1993, Allen i in. 1998, Łabędzki i in. 2011]. Największą ich zaletą jest łatwość obliczeń oraz niewielka ilość potrzebnych danych. Wystarczy bowiem dysponować tylko pomiarami temperatury i wilgotności powietrza w przypadku wzoru Grabarczyka bądź dobową temperaturą minimalną i maksymalną dla formuły Hargreavesa. Przydatność tych modeli do obliczania  $ET_0$  w warunkach Polski potwierdzili m.in. Grabarczyk i Żarski [1992] oraz Treder i in. [2010].

Wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczono dla poszczególnych dób okresu nawodnieniowego. Następnie bilansowano uzyskane wartości  $ET_0$  dla okresów dekadowych, miesięcznych i rocznych. Dane meteorologiczne do obliczeń pochodziły z pomiarów posterunku meteorologicznego Katedry Melioracji i Agrometeorologii Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego zlokalizowanego w Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii w Mochełku pod Bydgoszczą.

#### 2.4.2.2. Współczynniki roślinne ( $k_c$ )

Na podstawie uzyskanych wartości  $S$  oraz  $ET_0$  obliczono współczynniki roślinne  $k_c$  w celu określenia ewapotranspiracji potencjalnej szparaga w okresie nawodnieniowym. Wartości współczynników  $k_c$  obliczono z ilorazu [Grabarczyk i in. 1990b, Żarski 1993]:

$$k_c = S/ET_0$$

gdzie:

- $k_c$  – współczynnik roślinny do obliczenia  $ET_p$ ,
- $S$  – połowe zużycie wody – ewapotranspiracja obliczona rośliny ( $ET_p$ ) w warunkach optymalnej wilgotności [mm],
- $ET_0$  – ewapotranspiracja wskaźnikowa [mm].

Wartości współczynników roślinnych ( $k_c$ ) obliczono dla modelu Grabarczyka oraz Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena [Treder i in. 2010]. Współczynniki wyznaczono oddzielnie dla dwóch okresów prowadzenia szparagarni (plantacja nieplonująca – 1. i 2. rok uprawy oraz plantacja plonująca – od 3. roku uprawy) oraz wyznaczono dla dwóch stadiów rozwojowych roślin obejmujących – zgodnie z wytycznymi dla klimatu umiarkowanego – trzy miesiące okresu nawodnieniowego [Allen i in. 1998, Paschold i in. 2002]:

- I) plantacja nieplonująca – 1. i 2. rok uprawy:
  - stadium 1 – od początku odrostu pędów asymilacyjnych,
  - stadium 2 – od pełnego wykształcenia gałęziaków do końca sierpnia;
- II) plantacja plonująca – od 3. roku uprawy:
  - stadium 1 – od zakończenia zbiorów,
  - stadium 2 – od pełnego wykształcenia gałęziaków do końca sierpnia.

Ze względów praktycznych, aby ułatwić obliczenie potrzeb wodnych na podstawie kryterium klimatycznego, współczynniki roślinne  $k_c$  dla roślin szparaga wyznaczono dla miesięcy okresu nawodnieniowego: czerwca, lipca i sierpnia na podstawie wartości średnich dla okresu badawczego. Opierając się na wieloletnich obserwacjach wzrostu pędów asymilacyjnych, dostosowano stadia rozwojowe szparaga do miesięcy okresu nawodnieniowego i przyjęto, iż stadium 1 przypada na czerwiec, a stadium 2 na lipiec i sierpień. Średnie wartości miesięczne współczynników  $k_c$  dla szparaga podają również m.in. Pardo i in. [1997], Żarski [1993] dla zbóż, Doorenbos i Pruitt [1977] dla sadów oraz Żakowicz [2010] dla zadrzewień na terenach rekultywowanych.

### 2.4.3. Ewapotranspiracja potencjalna ( $ET_p$ )

Po to, aby zweryfikować poprawność wyznaczonych współczynników roślinnych  $k_c$  dla szparaga w sezonie nawodnieniowym, obliczono ewapotranspirację potencjalną ( $ET_p$ ) na podstawie kryterium klimatycznego. W tym celu wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczone na podstawie wzorów Grabarczyka oraz Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena ( $ET_o$ ) [Treder i in. 2010] przemnożono przez wartości współczynników  $k_c$  dla ww. modeli, wyznaczonych dla czerwca, lipca i sierpnia. Wykorzystano formułę [Łabędzki 2006]:

$$ET_p = k_c \cdot ET_o$$

gdzie:

- $ET_p$  – ewapotranspiracja potencjalna [mm],
- $k_c$  – współczynnik roślinny,
- $ET_o$  – ewapotranspiracja wskaźnikowa [mm].

W celu porównania ewapotranspiracji potencjalnej obliczonej dla obiektów nawadnianych kropłowo (częściowo zwilżana powierzchnia gleby) z ewapotranspiracją obliczoną modelami Grabarczyka i Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena wykorzystano formułę [Vermeiren i Jobling 1984]:

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

gdzie:

- $ET_{pK}$  – ewapotranspiracja potencjalna dla obiektów nawadnianych kropłowo [mm],
- $k_r$  – współczynnik redukcyjny,
- $k_c$  – współczynnik roślinny,
- $ET_o$  – ewapotranspiracja wskaźnikowa [mm].

Współczynnik redukcyjny  $k_r$  określa się na podstawie procentowej wartości pokrycia powierzchni przez rośliny PP równej [Drupka 1986]:

$$PP = 100f_k/f_1$$

gdzie:

- PP – pokrycie powierzchni przez rośliny w uprawie rzędowej [%],
- $f_k$  – szerokość 1 mb rzędu [m],
- $f_1$  – rozstawa rzędów [m].

Na podstawie procentowej wartości pokrycia powierzchni przez rośliny (PP) przyjęto wartości współczynnika  $k_r$  wg Freemana i Garzolego [Smith 1992], zalecane przez IMUZ-ITP dla warunków Polski (tab. 8).

Tabela 8. Wartości współczynnika redukcyjnego  $k_r$  wg Freemana i Garzolego

Table 8. Values of the correction factor  $k_r$  acc. to Freeman and Garzoli

Pokrycie powierzchni [%] – Area covering [%]	Wartości współczynnika $k_r$ – Values of factor $k_r$
10	0,10
20	0,20
30	0,30
40	0,40
50	0,75
60	0,80
70	0,85
80	0,90
90	0,95
100	1

Uzyskane wartości ewapotranspiracji potencjalnej obliczonej z wykorzystaniem ww. formuł porównano z ewapotranspiracją potencjalną utożsamianą z połowym zużyciem wody na obiektach mikrozaszanych. Porównano również połowe zużycie wody na obiektach nawadnianych kropłowo z  $ET_p$  obliczonym dla ograniczonej powierzchni zwilżania, wykorzystując współczynnik  $k_r$ . Dla tych zależności wyznaczono współczynniki korelacji, wykorzystując arkusz kalkulacyjny Excel pakietu Microsoft Office. Rozkładu współczynników korelacji (wartości krytycznych) dokonano na podstawie tablic matematycznych [Platt 1978].

## 2.5. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania

Niedobory opadów (wody) w uprawie szparaga określono ze wzoru [Nyc 2006]:

$$N = E - P$$

gdzie:

- N – niedobory opadów (wody) [mm],
- E – potrzeby wodne ( $S, ET_p$ ) [mm],
- P – opady efektywne [mm].

Do wyznaczenia opadów efektywnych wykorzystano zależność zaproponowaną przez Drukę [1976]:

$$P_e = P \geq ET_0$$

gdzie:

- $P_e$  – opad efektywny [ $mm \cdot doba^{-1}$ ],
- P – opad naturalny [ $mm \cdot doba^{-1}$ ],
- $ET_0$  – ewapotranspiracja wskaźnikowa [ $mm \cdot doba^{-1}$ ].

Obliczone wartości niedoborów wody posłużyły do określenia potrzeb nawadniania szparaga dla miesięcy i lat prowadzenia doświadczenia z zastosowaniem różnych systemów nawadniania (nawadnianie kropłowe i mikrozaszanie).

Obliczono również dwa wskaźniki pokrycia potrzeb wodnych szparaga – w okresie nawodnieniowym oraz latach badań – przez opady oraz sumę opadów i dawek nawodnieniowych. Pierwsze obliczono z ilorazu opadów atmosferycznych efektywnych i potrzeb wodnych, drugi natomiast poprzez podzielenie sumy opadów i dawek nawodnieniowych przez potrzeby wodne szparaga [Rolbiecki 2003].

## 2.6. Analiza ekonomiczna nawadniania

Próbie oszacowania opłacalności nawadniania szparaga przeprowadzono, wykorzystując uproszczoną metodę tzw. nadwyżki bezpośredniej [Grabarczyk 1987]:

$$\Delta D = \Delta P - (Kd + \Delta Kr)$$

gdzie:

- $\Delta D$  – nadwyżka bezpośrednia [ $zł \cdot ha^{-1}$ ],
- $\Delta P$  – wartość dodatkowej produkcji pozyskanej dzięki nawadnianiu [ $zł \cdot ha^{-1}$ ],
- $Kd$  – koszty nawadniania [ $zł \cdot ha^{-1}$ ],
- $\Delta Kr$  – przyrost kosztów związanych z uzyskaniem dodatkowej produkcji [ $zł \cdot ha^{-1}$ ].

Za podstawowy wskaźnik efektywności ekonomicznej nawadniania przyjęto nadwyżkę bezpośrednią, uzyskaną w wyniku zastosowania tego zabiegu. Obliczono ją z różnicy przyrostu wartości produkcji oraz kosztów nawadniania i przyrostu kosztów ogólnorolniczych, związanych z uzyskaniem dodatkowej produkcji. Przyrost wartości produkcji określono, mnożąc średnie wieloletnie efekty produkcyjne nawadniania uzyskane w przeprowadzonym doświadczeniu ścisłym przez jednostkową cenę wypustek szparaga [ $\text{zł}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]. Przyjęto średnie hurtowe ceny szparaga na WGRO S.A. w Poznaniu w latach 2004-2010 w wysokości  $5,80 \text{ zł}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Trzęsowski 2011].

Do analizy opłacalności nawadniania szparaga przyjęto 5 wariantów nawadnianych powierzchni: 1, 2, 5, 10 i 20 ha, odpowiadających potencjalnym powierzchniom uprawy szparaga w Polsce. Obliczenia kosztów instalacji nawodnieniowej oraz nawadniania oparto na danych firmy nawodnieniowej 'Łukomet' [Łuszczuk 2009]. Analizę efektywności ekonomicznej przeprowadzono dla systemu nawodnień kropłowych oraz deszczowania. W kalkulacji uwzględniono wskaźnikowo amortyzację 6,65%, co wynikało z przyjętego 15-letniego okresu użytkowania instalacji nawadniającej [Marcilonek 1994]. Oprocentowanie kapitału ustalono na 5%, a koszty napraw i materiałów na 2% kosztów inwestycji. Do zapewnienia ciśnienia użyto pompy o napędzie spalinowym, uwzględniając koszty paliwa, opierając się na jednostkowym jego zużyciu (ilość litrów na 1 mm) oraz średniej cenie zakupu oleju napędowego. W kalkulacji uwzględniono koszty wody, przyjmując  $0,20 \text{ zł}\cdot\text{m}^{-3}$ . Przyrost kosztów ogólnorolniczych związany z uzyskaniem dodatkowej produkcji potraktowano wskaźnikowo, zakładając, iż w warunkach poprawnych relacji ekonomicznych wynosi on 30% wartości dodatkowo uzyskanej produkcji.

### 3. WARUNKI METEOROLOGICZNE DOŚWIADCZENIA

Graficzną charakterystykę warunków meteorologicznych w latach 2000-2008 przedstawiono na klimatogramach Waltera (rys. 4, 5 i 6). Warunki opadowo-termiczne w okresach nawodnieniowych we wszystkich sezonach wegetacyjnych charakteryzowały się znaczną zmiennością. Najdłuższe okresy suche (krzywa opadów poniżej krzywej temperatur) oraz półsuche (obniżona krzywa opadów poniżej krzywej temperatur) stwierdzono dla lat: 2000, 2003, 2004, 2005 (rys. 4A i 5A, B, C). W tych samych latach stwierdzono również najniższe opady atmosferyczne. Sezony te charakteryzowały się największymi potrzebami nawodnieniowymi.

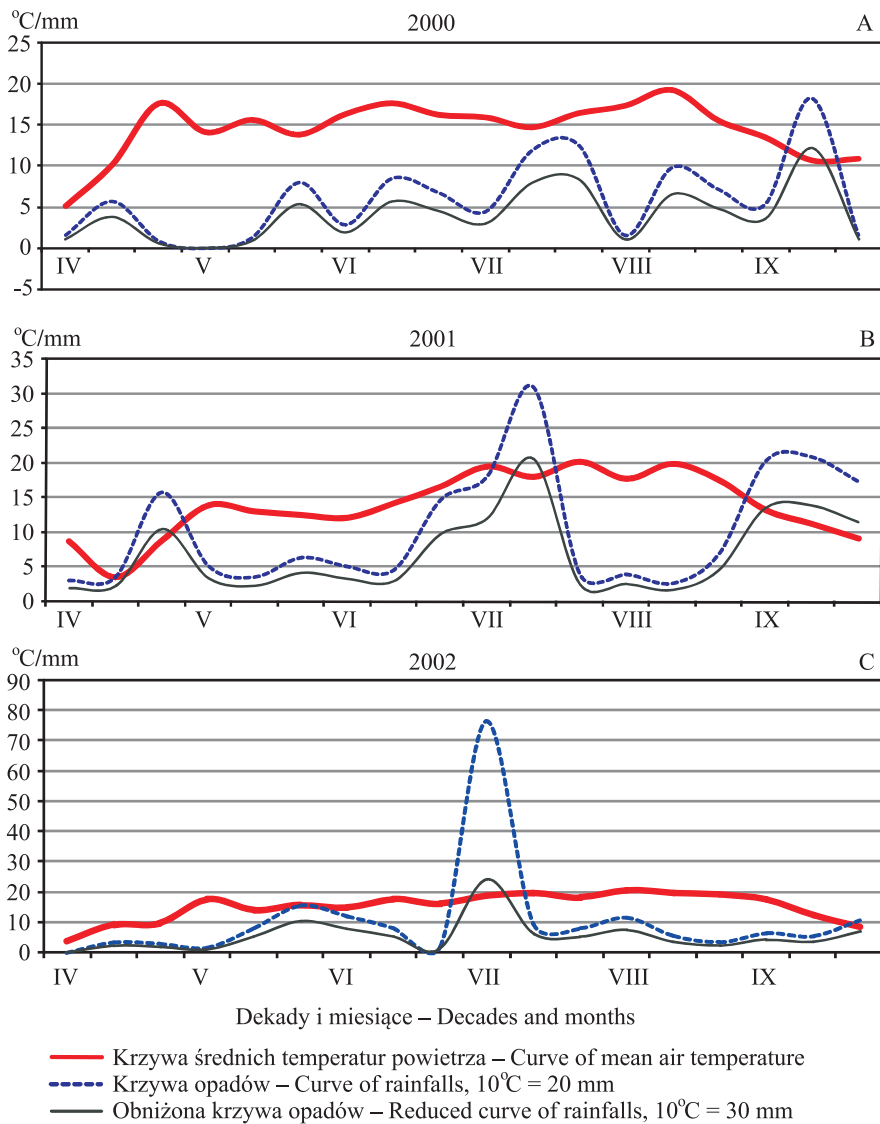
Okresy te trwały przez cały sezon nawodnieniowy w badanych latach (od II dekady czerwca do końca sierpnia). W latach 2001, 2002 oraz 2007 najbardziej wilgotny (krzywa opadów powyżej krzywej temperatur powietrza) okazał się lipiec, natomiast w miesiącach czerwcu i sierpniu stwierdzono okresy suche. W sezonie nawodnieniowym 2006 roku czerwiec i lipiec były suche, a sierpień był wilgotny (rys. 4BC i 6A, B). Najniższe potrzeby nawadniania stwierdzono w sezonach 2001 i 2007, gdy opady w miesiącach letnich znacząco przekraczały wartości średnie z wielolecia.

Warunki termiczne analizowanego okresu badawczego charakteryzowały się dużą zmiennością (tab. 9). Najwyższą średnią temperaturą w sezonie wegetacyjnym charakteryzował się rok 2002 – 15,2°C (+ 0,7°C w odniesieniu do średniej z wielolecia 1981-2010). Nieco niższe temperatury występowały w latach 2006 (15,1°C), 2003 (14,9°C) oraz 2007 (14,8°C). Lata te również charakteryzowały się najwyższymi sumami temperatur powietrza. Średnie temperatury miesięczne w okresie badawczym były zbliżone do wartości z wielolecia ( $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ).

Okres badawczy 2000-2008 cechował się średnio niższymi opadami w odniesieniu do wielkości średnich z wielolecia 1981-2010 (tab. 10). Średnia suma opadów w sezonie wegetacyjnym dla okresu badawczego wyniosła 269 mm i była o 13 mm niższa od średniej za lata 1981-2010. Najuboższy w deszcz okazał się rok 2003, w którym opady wyniosły 178 mm w okresie od czerwca do września, co stanowiło tylko 63% normy dla wielolecia.

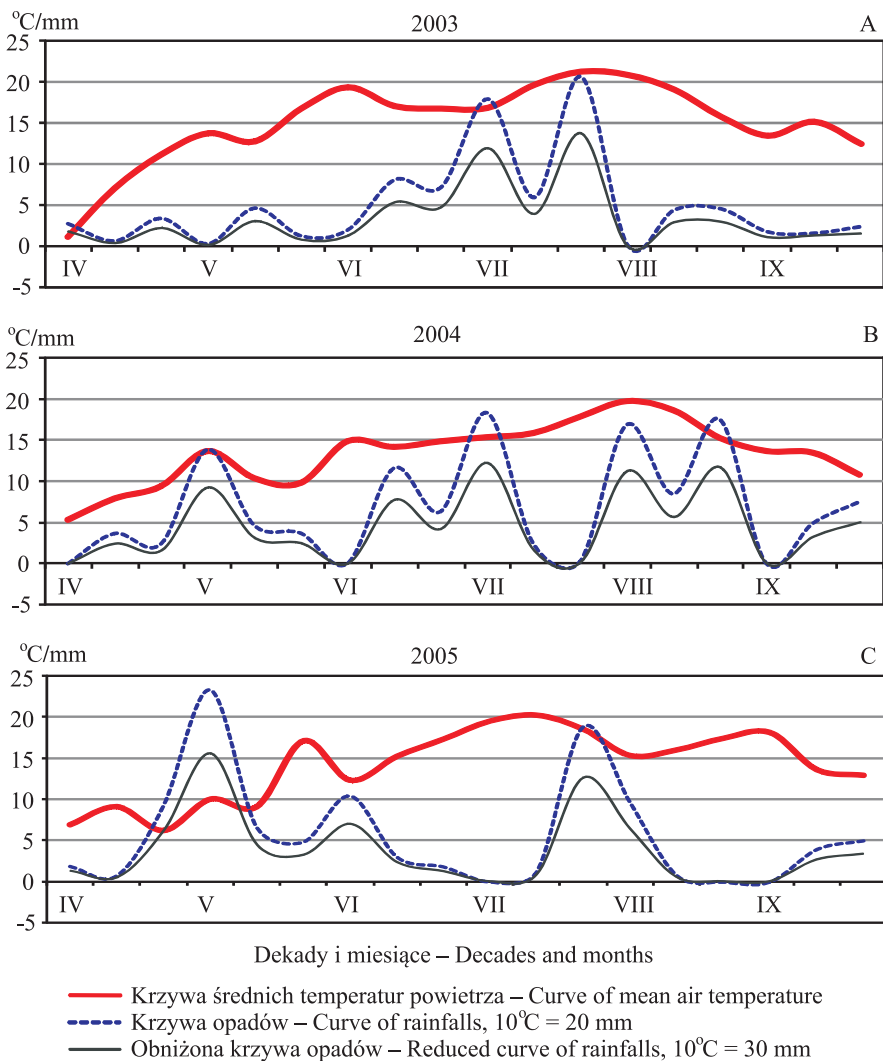
Obliczone wartości standaryzowanego wskaźnika opadowego SPI odzwierciedlały rzeczywiste warunki opadowe, które wystąpiły w analizowanych przedziałach czasowych (tab. 11). Potwierdziły również tendencje przedstawione na klimatodiagramach Waltera.





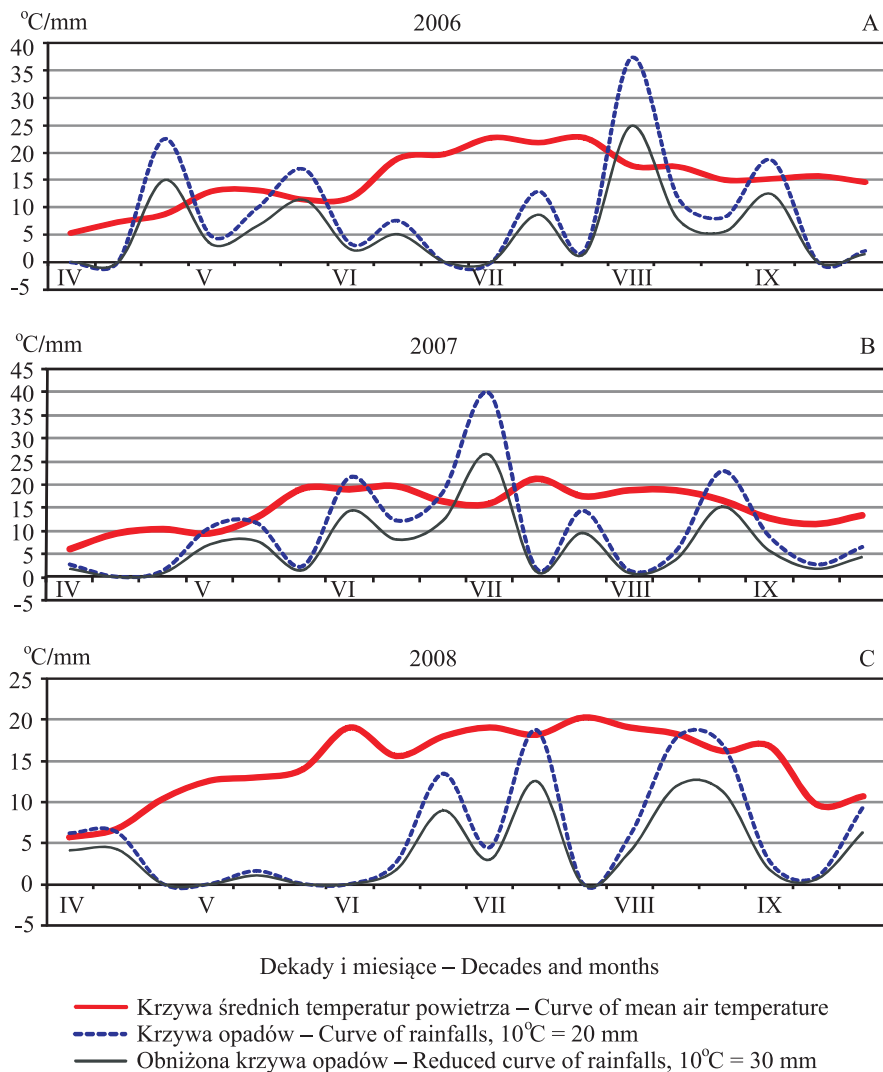
Rys. 4. Klimatodiagramy Waltera dla warunków meteorologicznych okolic Bydgoszczy w latach badań: 2000, 2001 i 2002

Fig. 4. Climatic diagram for the conditions of vicinity of Bydgoszcz in the experimental years: 2000, 2001 and 2002



Rys. 5. Klimatodiagramy Waltera dla warunków meteorologicznych okolic Bydgoszczy w latach badań: 2003, 2004 i 2005

Fig. 5. Climatic diagram for the conditions of vicinity of Bydgoszcz in the experimental years: 2003, 2004 and 2005



Rys. 6. Klimatodiagramy Waltera dla warunków meteorologicznych okolic Bydgoszczy w latach badań: 2006, 2007 i 2008

Fig. 6. Climatic diagram for the conditions of vicinity of Bydgoszcz in the experimental years: 2006, 2007 and 2008

Bardzo ważnym elementem pogody w uprawie szparaga, mającym bezpośredni wpływ na wielkość plonu, jest wysokość temperatury powietrza w czasie zbiorów wypustek (od III dekady kwietnia do III dekady czerwca). Analizując przebieg temperatur w latach zbiorów, można stwierdzić, iż najkorzystniejsze warunki termiczne w okresie zbiorów wystąpiły w latach 2002-2004 oraz w roku 2008 (tab. 9; rys. 4C, 5B i C oraz 6C). Najmniej korzystne okazały się lata 2005, 2006 i 2007 (tab. 9; rys. 5C, 6A, B).

Tabela 9. Temperatury powietrza w sezonie wegetacyjnym w latach prowadzenia badań na tle średnich z wielolecia w rejonie Bydgoszczy\* [°C]

Table 9. Air temperatures in the vegetation season in the experimental years according to the multi year mean in the vicinity of Bydgoszcz\* [°C]

Okres Period Rok – Year	Dekada Decade	Miesiąc – Month						Średnia Mean	Suma Sum
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX	IV-IX
<b>1981-2010</b>	<b>I-III</b>	<b>7,8</b>	<b>13,3</b>	<b>16,1</b>	<b>18,6</b>	<b>17,9</b>	<b>13,1</b>	<b>14,5</b>	<b>2654</b>
2000	I	5,2	14,1	16,3	15,9	17,3	13,5		
	II	10,2	15,6	17,6	14,7	19,2	10,7		
	III	17,6	13,8	16,2	16,4	15,5	10,9		
	<b>I-III</b>	<b>11,0</b>	<b>14,5</b>	<b>16,7</b>	<b>15,7</b>	<b>17,3</b>	<b>11,7</b>	<b>14,5</b>	<b>2654</b>
2001	I	8,7	13,9	12,1	19,5	17,7	13,2		
	II	3,5	13,0	14,2	18,0	19,9	11,2		
	III	8,8	12,5	16,6	20,2	17,5	9,1		
	<b>I-III</b>	<b>7,0</b>	<b>13,1</b>	<b>14,3</b>	<b>19,3</b>	<b>18,3</b>	<b>11,2</b>	<b>13,9</b>	<b>2546</b>
2002	I	3,6	17,6	15,0	18,7	20,5	17,6		
	II	9,2	13,9	17,6	19,7	19,9	12,5		
	III	9,7	15,7	16,2	18,3	19,3	8,7		
	<b>I-III</b>	<b>7,5</b>	<b>15,7</b>	<b>16,3</b>	<b>18,9</b>	<b>19,9</b>	<b>12,9</b>	<b>15,2</b>	<b>2790</b>
2003	I	1,1	13,7	19,3	16,8	20,8	13,4		
	II	7,0	12,7	17,0	19,6	19,0	15,1		
	III	11,1	16,7	16,7	21,2	15,7	12,4		
	<b>I-III</b>	<b>6,4</b>	<b>14,4</b>	<b>17,6</b>	<b>19,2</b>	<b>18,4</b>	<b>13,6</b>	<b>14,9</b>	<b>2740</b>
2004	I	5,3	13,7	14,9	15,4	19,8	13,7		
	II	7,9	10,4	14,2	15,9	18,7	13,5		
	III	9,4	9,8	14,9	17,9	15,3	10,8		
	<b>I-III</b>	<b>7,5</b>	<b>11,3</b>	<b>14,7</b>	<b>16,4</b>	<b>17,9</b>	<b>12,7</b>	<b>14,0</b>	<b>2460</b>
2005	I	6,9	10,0	12,3	19,5	15,3	18,1		
	II	9,1	9,1	15,2	20,2	16,0	13,6		
	III	6,2	17,1	17,3	18,5	17,4	12,9		
	<b>I-III</b>	<b>7,4</b>	<b>12,2</b>	<b>14,9</b>	<b>19,4</b>	<b>16,3</b>	<b>14,8</b>	<b>14,2</b>	<b>2598</b>
2006	I	5,3	12,9	11,8	22,7	17,6	15,2		
	II	7,3	13,1	18,9	21,8	14,4	15,7		
	III	8,7	11,4	19,7	22,7	15,0	14,6		
	<b>I-III</b>	<b>7,1</b>	<b>12,5</b>	<b>16,8</b>	<b>22,4</b>	<b>16,6</b>	<b>15,2</b>	<b>15,1</b>	<b>2787</b>
2007	I	5,9	9,3	18,8	15,7	18,6	12,6		
	II	9,3	12,7	19,5	21,1	18,6	11,3		
	III	10,2	19,0	16,2	17,3	16,4	13,2		
	<b>I-III</b>	<b>8,5</b>	<b>13,8</b>	<b>18,2</b>	<b>18,0</b>	<b>17,8</b>	<b>12,4</b>	<b>14,8</b>	<b>2710</b>
2008	I	5,7	12,6	19,1	19,1	19,1	16,8		
	II	6,7	13,0	15,6	18,2	18,3	9,7		
	III	10,4	14,0	18,0	20,3	16,2	10,7		
	<b>I-III</b>	<b>7,6</b>	<b>13,2</b>	<b>17,6</b>	<b>19,2</b>	<b>17,8</b>	<b>12,4</b>	<b>14,6</b>	<b>2684</b>
<b>2000-2008</b>	<b>średnia mean</b>	<b>7,8</b>	<b>13,4</b>	<b>16,3</b>	<b>18,7</b>	<b>17,8</b>	<b>13,0</b>	<b>14,5</b>	<b>2660</b>
<b>Różnica – Difference</b>		<b>0</b>	<b>+0,1</b>	<b>+0,2</b>	<b>+0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>0</b>	<b>+6</b>

\* Mochełek

Tabela 10. Opady atmosferyczne okresu wegetacyjnego w latach prowadzenia badań w rejonie Bydgoszczy\* na tle średnich z wielolecia [mm]

Table 10. Rainfalls in the vegetation period in the experimental years in the vicinity of Bydgoszcz\* according to the multi year mean [mm]

Okres Period Rok – Year	Dekada Decade	Miesiąc – Month						Suma Sum
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	
<b>1987-2008</b>	<b>I-III</b>	<b>27</b>	<b>39</b>	<b>54</b>	<b>65</b>	<b>53</b>	<b>44</b>	<b>282</b>
2000	I	3	0	6	9	3	11	<b>216</b>
	II	11	3	17	24	20	36	
	III	2	16	13	25	14	3	
	$\Sigma$	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>36</b>	<b>58</b>	<b>37</b>	<b>50</b>	
2001	I	6	10	10	36	8	41	<b>374</b>
	II	7	7	9	62	5	42	
	III	32	13	29	8	14	35	
	$\Sigma$	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>48</b>	<b>106</b>	<b>27</b>	<b>118</b>	
2002	I	0	3	24	73	23	13	<b>301</b>
	II	7	16	16	19	11	11	
	III	6	31	4	16	7	21	
	$\Sigma$	<b>13</b>	<b>50</b>	<b>44</b>	<b>108</b>	<b>41</b>	<b>45</b>	
2003	I	5	1	4	36	0	3	<b>178</b>
	II	1	9	16	12	9	3	
	III	7	2	14	41	9	5	
	$\Sigma$	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>34</b>	<b>90</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	
2004	I	0	28	0	37	34	0	<b>245</b>
	II	7	9	23	5	17	10	
	III	5	7	13	1	35	15	
	$\Sigma$	<b>12</b>	<b>44</b>	<b>36</b>	<b>43</b>	<b>86</b>	<b>25</b>	
2005	I	4	47	21	0	19	0	<b>203</b>
	II	2	13	6	3	2	8	
	III	19	10	4	38	0	10	
	$\Sigma$	<b>25</b>	<b>70</b>	<b>31</b>	<b>40</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	
2006	I	0	10	7	0	75	37	<b>317</b>
	II	0	20	15	26	23	0	
	III	45	34	0	5	17	4	
	$\Sigma$	<b>45</b>	<b>64</b>	<b>22</b>	<b>31</b>	<b>115</b>	<b>42</b>	
2007	I	5	21	43	79	3	18	<b>367</b>
	II	0	23	24	4	11	5	
	III	3	5	36	29	46	13	
	$\Sigma$	<b>8</b>	<b>49</b>	<b>103</b>	<b>112</b>	<b>60</b>	<b>36</b>	
2008	I	12	0	0	9	12	5	<b>215</b>
	II	13	3	5	38	36	2	
	III	0	0	27	0	34	19	
	$\Sigma$	<b>25</b>	<b>3</b>	<b>32</b>	<b>47</b>	<b>82</b>	<b>26</b>	
<b>2000-2008</b>	<b>I-III</b>	<b>22</b>	<b>38</b>	<b>43</b>	<b>71</b>	<b>54</b>	<b>41</b>	<b>269</b>
<b>Różnica – Difference</b>		<b>-5</b>	<b>-1</b>	<b>-11</b>	<b>+6</b>	<b>+1</b>	<b>-3</b>	<b>-13</b>

\* Kruszyn Krajeński

Tabela 11. Wskaźniki SPI dla dekad, miesięcy i lat okresu badawczego 2000-2008

Table 11. SPI coefficients for decades, months and years of the experimental period 2000-2008

Rok Year	Dekada Decade	Miesiąc – Month						Okres Period
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	
2000	I	-0,50	-1,82	-0,56	-0,16	-0,56	0,14	
	II	0,57	-0,62	0,19	-0,01	0,54	1,19	
	III	-0,46	0,47	0,08	0,56	0,22	-0,56	
	<b>I-III</b>	<b>-0,63</b>	<b>-0,91</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,66</b>	<b>1,22</b>	<b>0,42</b>	<b>-0,86</b>
2001	I	0,06	0,15	-0,19	1,04	-0,12	1,37	
	II	0,20	-0,09	-0,27	1,19	-0,40	1,35	
	III	1,62	0,27	0,71	-0,31	0,20	1,46	
	<b>I-III</b>	<b>1,38</b>	<b>-0,33</b>	<b>-0,03</b>	<b>0,97</b>	<b>-1,34</b>	<b>1,88</b>	<b>0,91</b>
2002	I	-2,75	-0,52	0,53	1,89	0,67	0,28	
	II	0,18	0,46	0,14	-0,24	0,06	0,02	
	III	0,20	1,18	-0,64	0,18	-0,21	0,90	
	<b>I-III</b>	<b>-0,99</b>	<b>0,36</b>	<b>-0,19</b>	<b>0,75</b>	<b>0,58</b>	<b>0,26</b>	<b>0,17</b>
2003	I	-0,07	-1,10	-0,78	1,03	-1,99	-0,56	
	II	-0,82	0,06	0,15	-0,68	-0,10	-0,80	
	III	0,27	-0,86	0,12	1,05	-0,07	-0,33	
	<b>I-III</b>	<b>-0,95</b>	<b>-1,34</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,51</b>	<b>0,25</b>	<b>-1,35</b>	<b>-1,43</b>
2004	I	-2,75	0,91	-2,34	1,05	1,03	-2,06	
	II	0,21	0,07	0,47	-1,34	0,40	-0,07	
	III	0,06	-0,17	0,03	-1,43	0,92	0,57	
	<b>I-III</b>	<b>-1,10</b>	<b>0,18</b>	<b>-0,48</b>	<b>0,83</b>	<b>0,40</b>	<b>-0,53</b>	<b>-0,49</b>
2005	I	-0,37	1,42	0,40	-2,17	0,52	-2,06	
	II	-0,72	0,31	-0,54	-1,70	-0,98	-0,23	
	III	1,07	0,03	-0,68	0,95	-1,81	0,21	
	<b>I-III</b>	<b>0,04</b>	<b>0,88</b>	<b>-0,69</b>	<b>1,57</b>	<b>0,14</b>	<b>-0,89</b>	<b>-1,05</b>
2006	I	-2,75	0,10	-0,48	-2,17	1,95	1,27	
	II	-2,07	0,64	0,10	0,08	0,69	-2,35	
	III	2,03	1,28	-2,07	-0,63	0,31	-0,40	
	<b>I-III</b>	<b>1,38</b>	<b>0,73</b>	<b>-1,11</b>	<b>0,38</b>	<b>0,37</b>	<b>0,14</b>	<b>0,34</b>
2007	I	-0,09	0,68	1,13	2,00	-0,69	0,53	
	II	-2,07	0,77	0,51	-1,49	0,06	-0,49	
	III	-0,25	-0,50	0,92	0,68	1,17	0,42	
	<b>I-III</b>	<b>-1,68</b>	<b>0,33</b>	<b>1,26</b>	<b>0,92</b>	<b>-1,17</b>	<b>-0,07</b>	<b>0,84</b>
2008	I	0,79	-1,82	-2,34	-0,16	0,14	-0,31	
	II	0,68	-0,52	-0,62	0,52	1,12	-1,08	
	III	-1,71	-2,38	0,63	-2,17	0,89	0,79	
	<b>I-III</b>	<b>0,15</b>	<b>-2,35</b>	<b>-0,63</b>	<b>-0,22</b>	<b>1,97</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,90</b>

Sezony pozawegetacyjne (od października do marca) okresu badawczego (2000-2008) charakteryzowały się średnimi temperaturami na poziomie temperatur średnich z wielolecia (1,7°C). Opady atmosferyczne w latach badań 2000-2008 były wyższe średnio o 22 mm w odniesieniu do średniej wartości opadu za okres wieloletni 1987-2008 (tab. 12 i 13).

Tabela 12. Temperatury powietrza w sezonie pozawegetacyjnym w latach badań na tle średnich z wielolecia w rejonie Bydgoszczy\* [°C]

Table 12. Air temperatures in the out of the vegetation season in the experimental years according to the multi year mean in the vicinity of Bydgoszcz\* [°C]

Okres – Period Rok – Year	Miesiąc – Month						Średnia Mean
	X	XI	XII	I	II	III	X-III
<b>1981-2010</b>	<b>8,2</b>	<b>2,9</b>	<b>-0,6</b>	<b>-1,8</b>	<b>-0,9</b>	<b>2,5</b>	<b>1,7</b>
2000/2001	10,8	5,3	1,2	-0,9	-0,8	1,1	2,8
2001/2002	10,0	2,4	-2,9	-0,4	2,7	3,7	2,6
2002/2003	6,2	2,4	-6,1	-3,1	-4,9	1,5	-0,7
2003/2004	4,7	4,2	0,8	-5,4	-0,3	2,9	1,2
2004/2005	8,8	2,8	1,1	0,4	-2,9	-0,4	1,6
2005/2006	8,7	2,7	-0,3	-8,1	-2,9	-1,5	-0,2
2006/2007	9,6	5,2	3,7	2,7	-1,0	5,0	4,2
2007/2008	6,9	1,3	0,3	0,5	2,8	3,0	2,5
<b>2000-2008</b>	<b>8,2</b>	<b>3,3</b>	<b>-0,3</b>	<b>-1,8</b>	<b>-0,9</b>	<b>1,9</b>	<b>1,7</b>
<b>Różnica – Difference</b>	<b>0</b>	<b>+0,4</b>	<b>+0,3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-0,6</b>	<b>0</b>

\* Mochełek

Tabela 13. Opady atmosferyczne okresu pozawegetacyjnego w latach badań w rejonie Bydgoszczy\* na tle średnich z wielolecia [mm]

Table 13. Rainfalls in the out of the vegetation period in the experimental years in the vicinity of Bydgoszcz\* according to the multi year mean [mm]

Okres – Period Rok – Year	Miesiąc – Month						Średnia Mean
	X	XI	XII	I	II	III	X-III
<b>1981-2010</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>27</b>	<b>21</b>	<b>32</b>	<b>178</b>
2000/2001	7	46	43	19	14	56	185
2001/2002	20	32	20	39	52	38	201
2002/2003	112	24	8	19	6	12	181
2003/2004	34	23	26	20	61	36	200
2004/2005	64	36	50	38	29	23	244
2005/2006	15	21	72	3	19	27	157
2006/2007	12	34	31	76	28	48	229
2007/2008	20	22	36	48	16	61	203
<b>2000-2008</b>	<b>36</b>	<b>30</b>	<b>36</b>	<b>32</b>	<b>28</b>	<b>38</b>	<b>200</b>
<b>Różnica – Difference</b>	<b>+4</b>	<b>-2</b>	<b>+2</b>	<b>+5</b>	<b>+7</b>	<b>+6</b>	<b>+22</b>

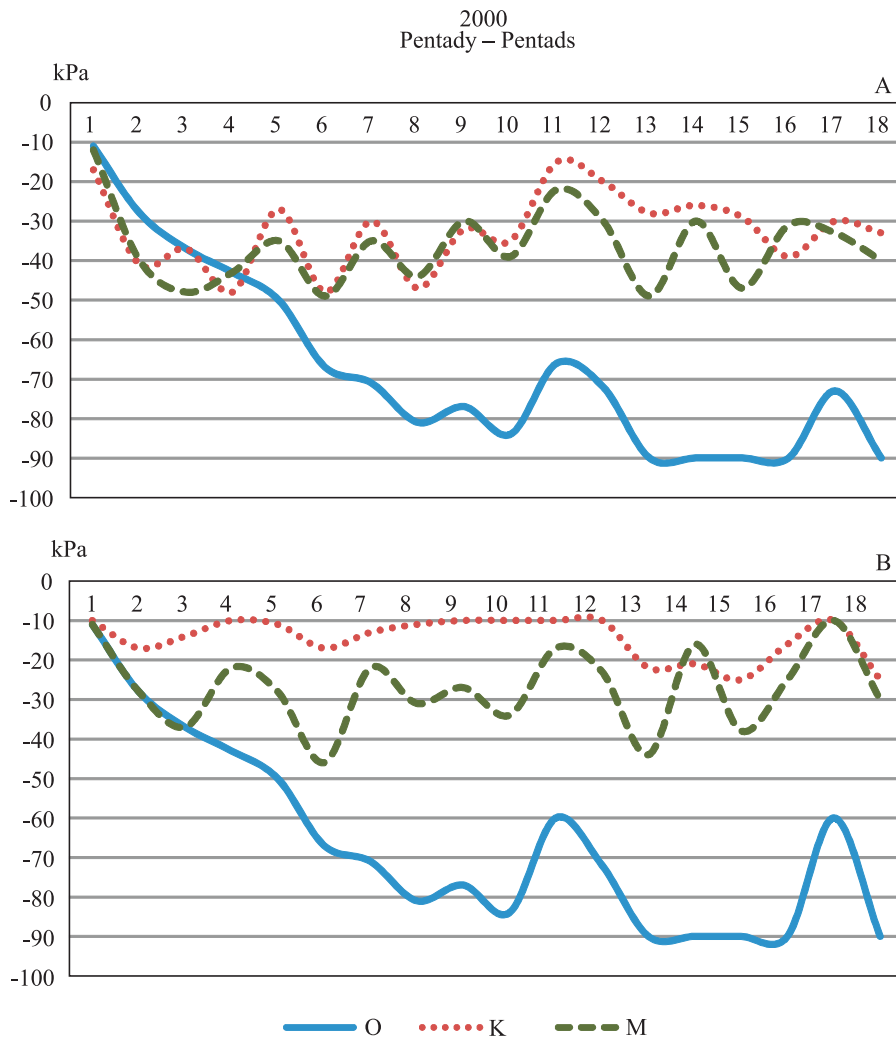
\* Mochełek

## 4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

### 4.1. Potrzeby wodne i nawodnieniowe szparaga

#### 4.1.1. Charakterystyka warunków wilgotnościowych gleby

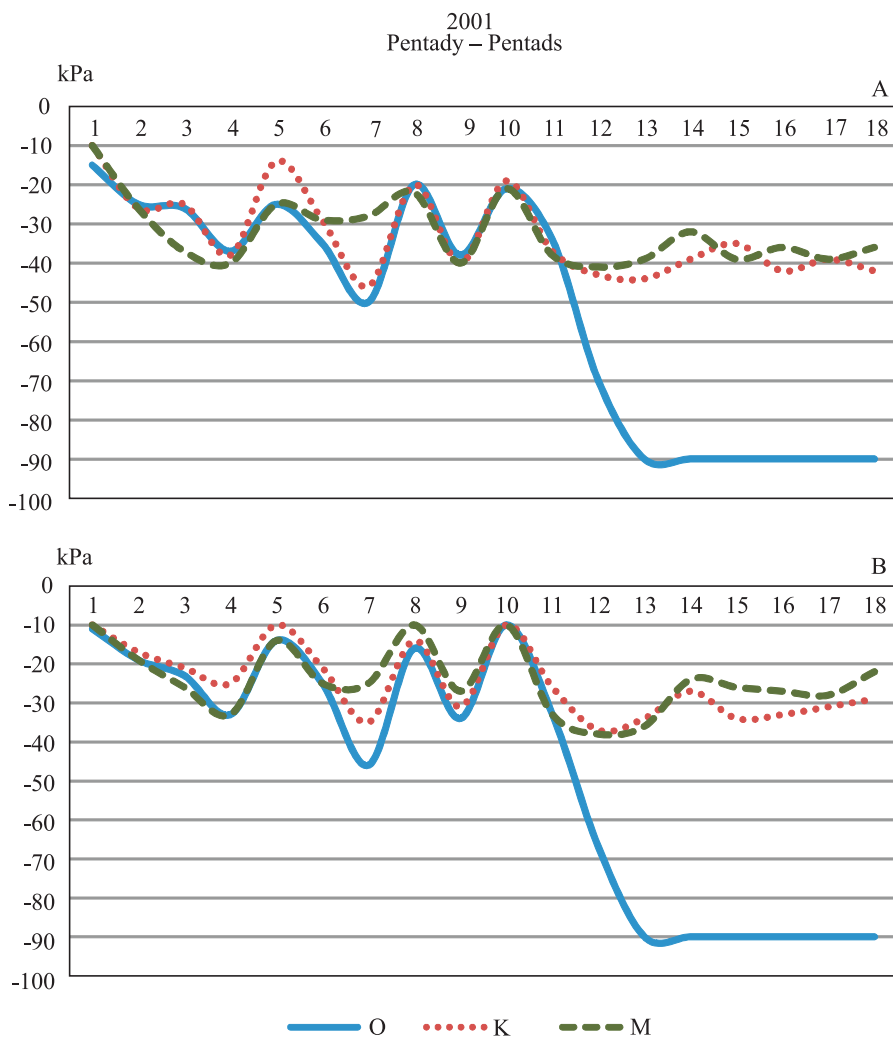
Potencjał wodny gleby bardzo lekkiej na obiektach nienawadnianych (O) w trzech pierwszych latach prowadzenia szparagarni wykazywał dużą zmienność i zależał ściśle od warunków opadowych w okresie prowadzenia nawadniania (rys. 7, 8 i 9).



Rys. 7. Potencjał wodny gleby w kPa dla różnych wariantów wodnych: O, K, M, dwóch poziomów głębokości gleby: 0-33 cm (A) i 33-60 cm (B) w roku 2000

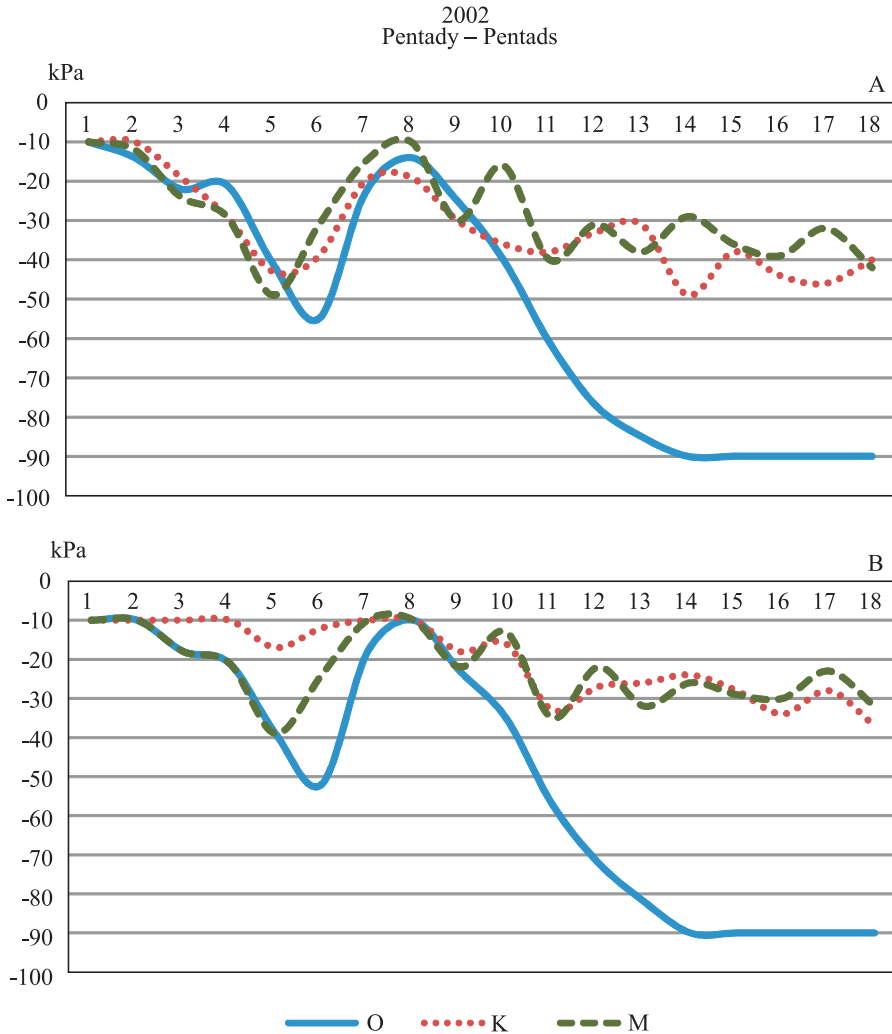
Fig. 7. Soil water potential in kPa for different water variants: O, K, M, two levels of soil depth: 0-33 cm (A) and 33-60 cm (B) in the year 2000





Rys. 8. Potencjał wodny gleby w kPa dla różnych wariantów wodnych: O, K, M, dwóch poziomów głębokości gleby: 0-33 cm (A) i 33-60 cm (B) w roku 2001

Fig. 8. Soil water potential in kPa for different water variants: O, K, M, two levels of soil depth: 0-33 cm (A) and 33-60 cm (B) in the year 2001



Rys. 9. Potencjał wodny gleby w kPa dla różnych wariantów wodnych: O, K, M, dwóch poziomów głębokości gleby: 0-33 cm (A) i 33-60 cm (B) w roku 2002

Fig. 9. Soil water potential in kPa for different water variants: O, K, M, two levels of soil depth: 0-33 cm (A) and 33-60 cm (B) in the year 2002

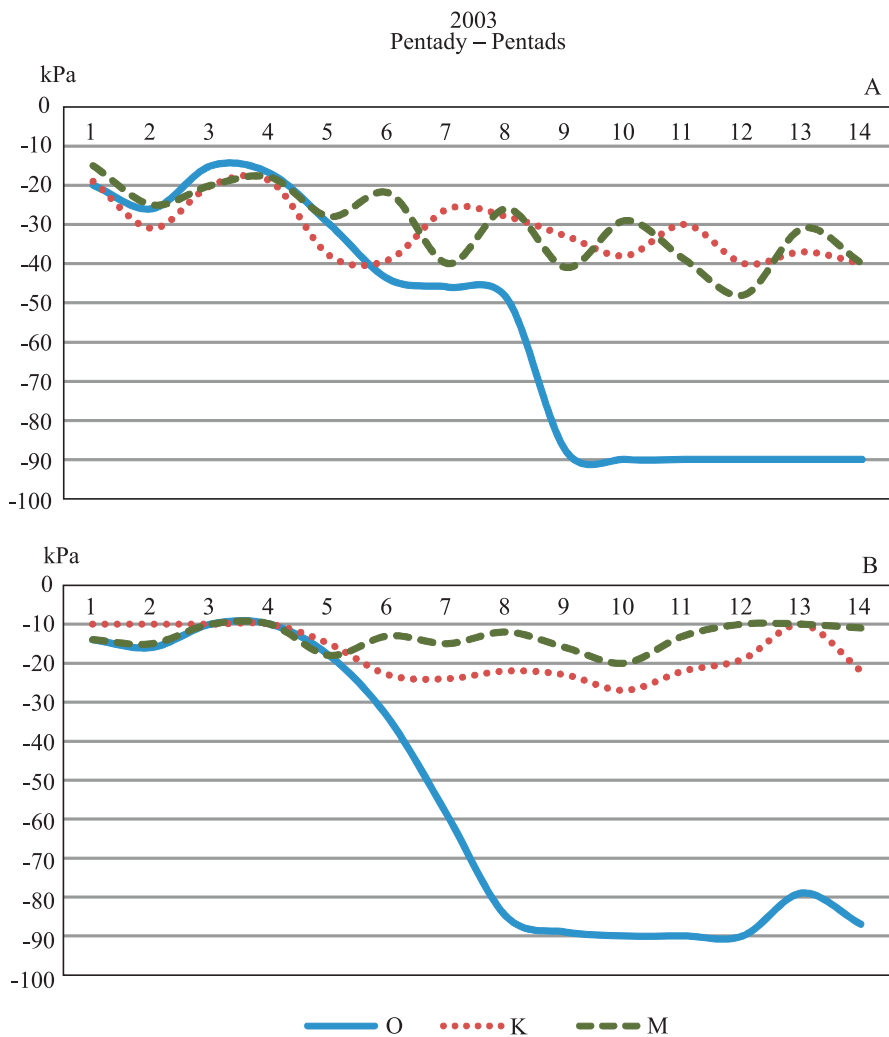
Największy deficyt wody glebowej stwierdzono w roku 2000 (rys. 7). Spadek potencjału wodnego gleby poniżej przyjętego dopuszczalnego poziomu wilgotności gleby (-50 kPa) w warstwie ornej (0-33 cm) nastąpił już pod koniec czerwca, a na początku sierpnia przekroczył poziom (-90 kPa), co oznaczało wyczerpanie zapasu wody łatwo dostępnej. W pozostałych dwóch latach (2001 i 2002) potencjał wodny gleby przekraczał założony optymalny poziom wilgotności pod koniec lipca, a wyczerpanie zapasu wody łatwo dostępnej nastąpiło w I dekadzie sierpnia (rys. 8 i 9). Wartości potencjału wodnego gleby w warstwie podornej kształtowały się na obiektach kontrolnych podobnie jak w warstwie ornej (rys. 7-9).

Pomiar potencjału wodnego gleby w warstwie ornej i podornej na obiektach nawadnianych kropłowo (K) oraz mikrozaszanych (M) w trzech pierwszych latach prowadzenia szparagarni potwierdził, iż prowadzony zabieg nawadniania był skuteczny i przeprowadzony prawidłowo (rys. 7-9). Przez cały okres prowadzenia nawadniania potencjał wodny gleby nie przekroczył poziomu  $-50$  kPa, co zapewniło optymalne uwilgotnienie w czasie wzrostu pędów asymilacyjnych szparaga. Nieznacznie wyższe wartości potencjału wodnego gleby w trzech pierwszych latach uprawy stwierdzono na poletkach nawadnianych kropłowo niż na mikrozaszanych na obu poziomach głębokości.

Podobne tendencje w kształtowaniu się potencjału wodnego gleby w warunkach kontrolnych oraz prowadzonych nawodnień zwilżających zaobserwowali m.in. Knaflewski [1987] w przypadku rozsadnika szparaga oraz Pacholak [1986] w sadzie.

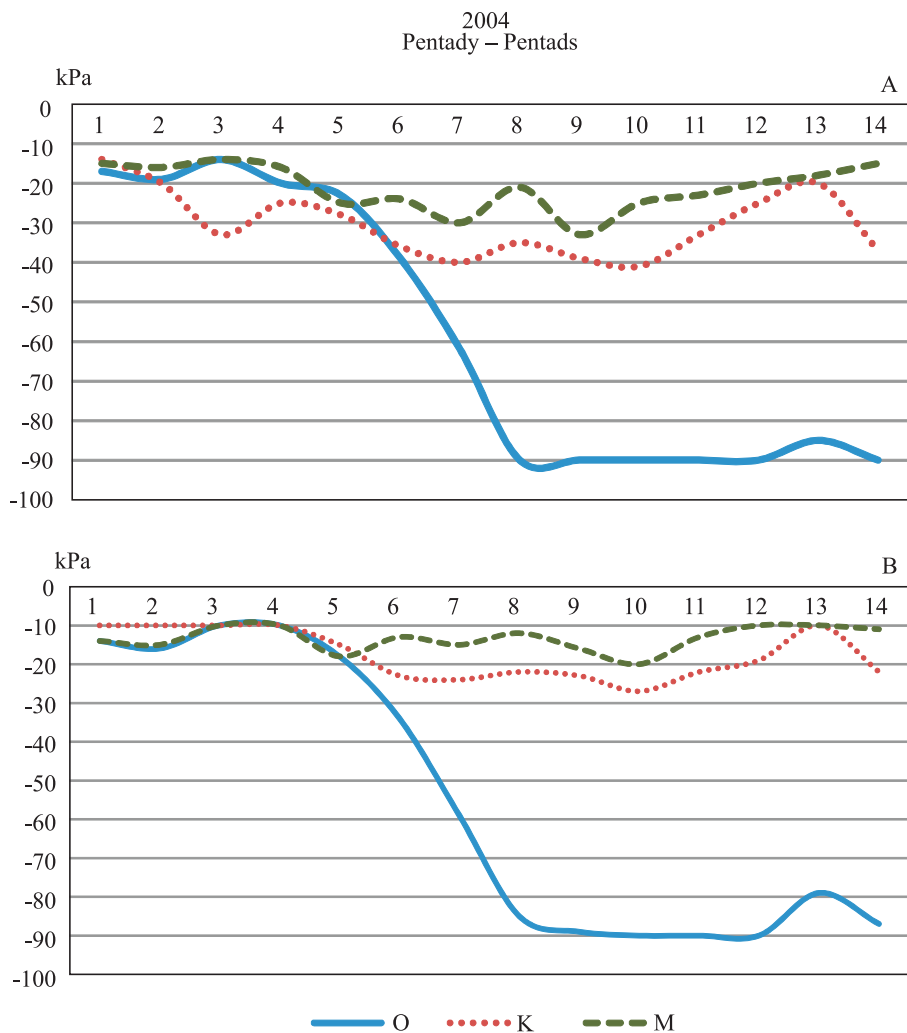
Na plantacji plonującej zmiany potencjału wodnego gleby odczytywanego z tensjometrów na poletkach nienawadnianych (O) tak jak w przypadku plantacji nieplonującej zależały głównie od warunków opadowych w czasie wzrostu pędów asymilacyjnych szparaga (rys. 10-14). Największy deficyt wody glebowej wystąpił w roku 2005 (rys. 12). Niezależnie od głębokości umieszczenia sączka tensjometru (w warstwie ornej bądź podornej), potencjał wodny gleby przekroczył wartość optymalnego uwilgotnienia ( $-50$  kPa), już na początku okresu nawodnieniowego (III dekada czerwca). W I dekadzie lipca potencjał wodny gleby przekroczył wartość  $-90$  kPa, co oznaczało wyczerpanie się zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin i stan ten utrzymywał się do końca sierpnia. Żakowicz [1986] podaje, iż poniżej tej wartości następuje obniżanie się ewapotranspiracji. Bardzo zbliżone warunki wilgotnościowe gleby stwierdzono w roku 2006 (rys. 13). W pozostałych sezonach nawodnieniowych warunki wilgotnościowe na obiektach nienawadnianych przedstawiały się bardzo podobnie i przekroczenie przyjętego optymalnego uwilgotnienia gleby następowało w II bądź III dekadzie lipca (rys. 10, 11 i 14).

Na poletkach nawadnianych kropłowo i mikrozaszanych potencjał wodny gleby w żadnym z sezonów nawodnieniowych nie przekroczył przyjętej za optymalną granicy  $-50$  kPa (rys. 10-14). Największe deficyty wilgoci w glebie stwierdzono w roku 2005 tak na obiektach nawadnianych kropłowo, jak i mikrozaszanych (rys. 12), co znalazło potwierdzenie w sumarycznej ilości wody zastosowanej do nawadniania (tab. 5). W roku tym bowiem zastosowano najwyższe sumaryczne dawki nawodnieniowe wynoszące 163 i 195 mm, odpowiednio dla nawadniania kropłowego i mikrozaszania.



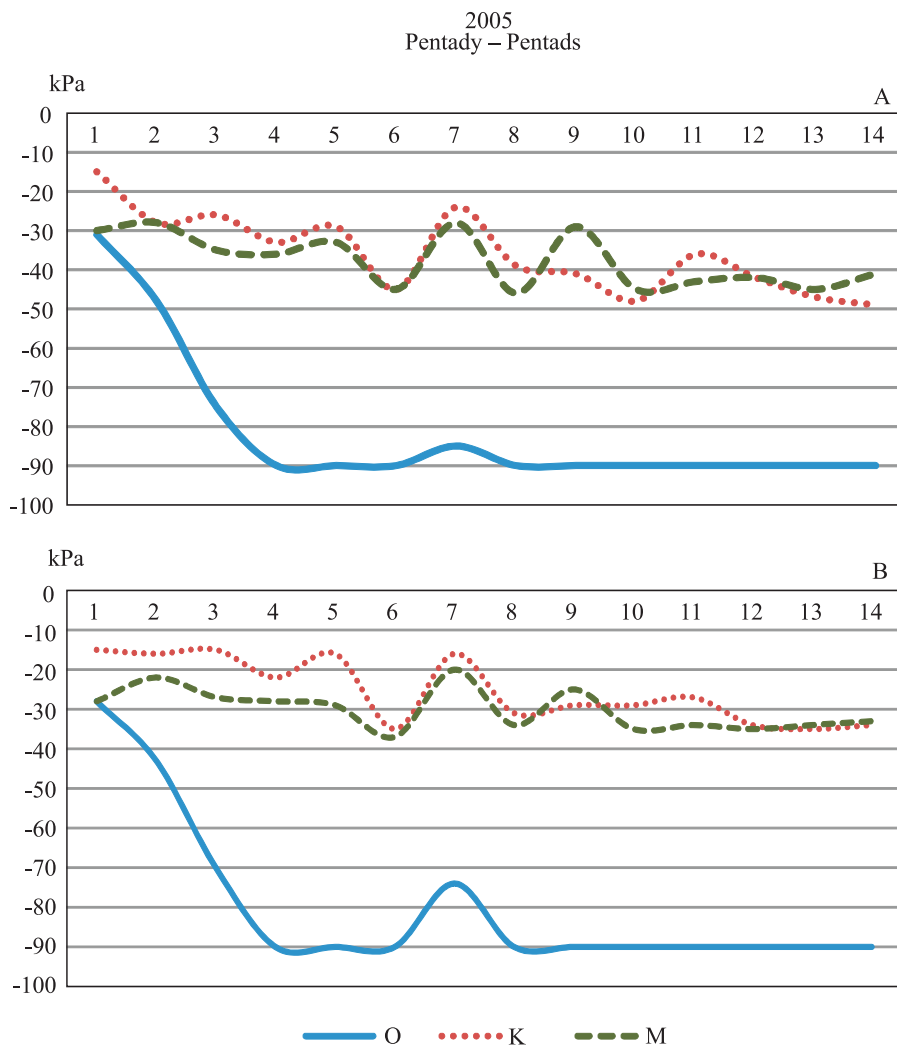
Rys. 10. Potencjał wodny gleby w kPa dla różnych wariantów wodnych: O, K, M, dwóch poziomów głębokości gleby: 0-33 cm (A) i 33-60 cm (B) w roku 2003

Fig. 10. Soil water potential in kPa for different water variants: O, K, M, two levels of soil depth: 0-33 cm (A) and 33-60 cm (B) in the year 2003



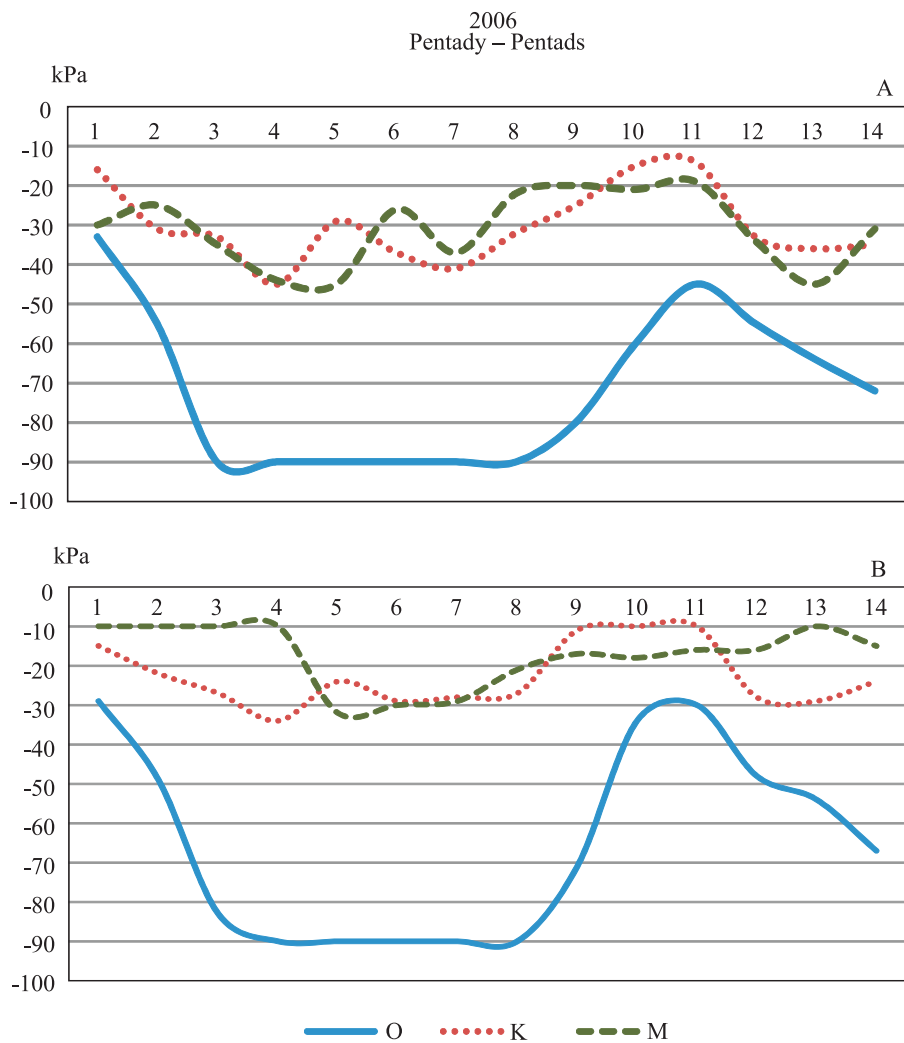
Rys. 11. Potencjał wodny gleby w kPa dla różnych wariantów wodnych: O, K, M, dwóch poziomów głębokości gleby: 0-33 cm (A) i 33-60 cm (B) w roku 2004

Fig. 11. Soil water potential in kPa for different water variants: O, K, M, two levels of soil depth: 0-33 cm (A) and 33-60 cm (B) in the year 2004



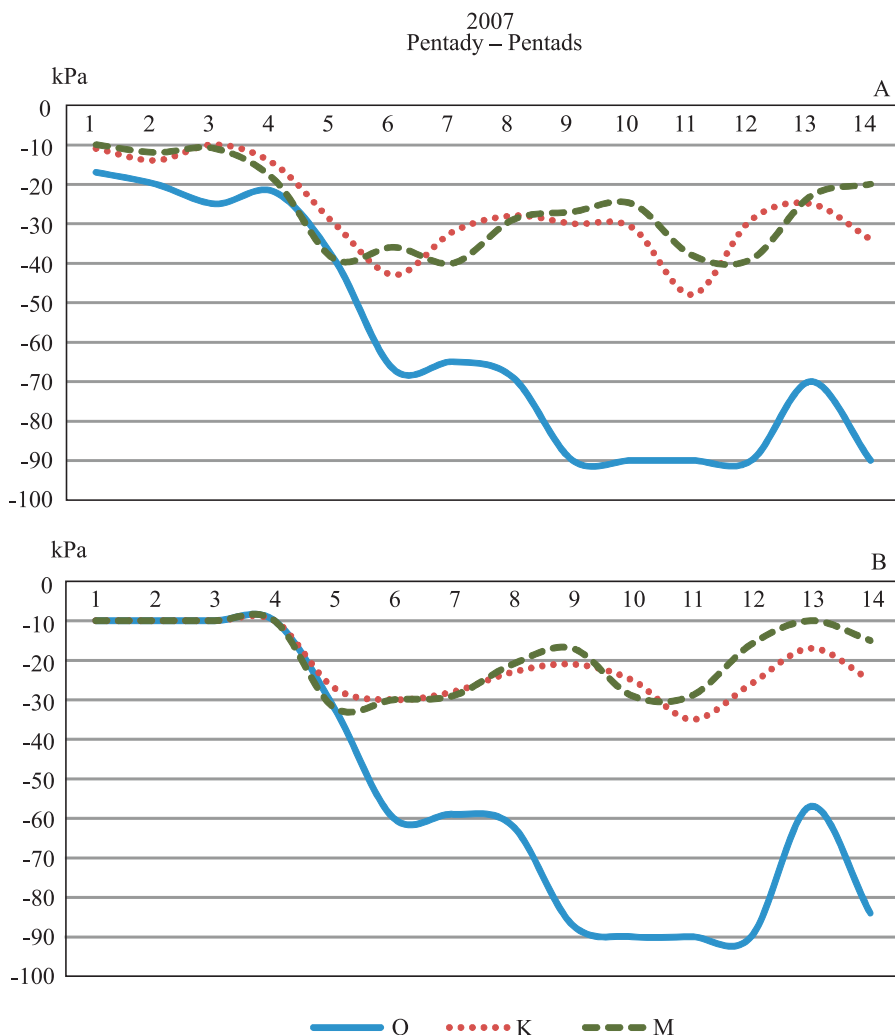
Rys. 12. Potencjał wodny gleby w kPa dla różnych wariantów wodnych: O, K, M, dwóch poziomów głębokości gleby: 0-33 cm (A) i 33-60 cm (B) w roku 2005

Fig. 12. Soil water potential in kPa for different water variants: O, K, M, two levels of soil depth: 0-33 cm (A) and 33-60 cm (B) in the year 2005



Rys. 13. Potencjał wodny gleby w kPa dla różnych wariantów wodnych: O, K, M, dwóch poziomów głębokości gleby: 0-33 cm (A) i 33-60 cm (B) w roku 2006

Fig. 13. Soil water potential in kPa for different water variants: O, K, M, two levels of soil depth: 0-33 cm (A) and 33-60 cm (B) in the year 2006



Rys. 14. Potencjał wodny gleby w kPa dla różnych wariantów wodnych: O, K, M, dwóch poziomów głębokości gleby: 0-33 cm (A) i 33-60 cm (B) w roku 2007

Fig. 14. Soil water potential in kPa for different water variants: O, K, M, two levels of soil depth: 0-33 cm (A) and 33-60 cm (B) in the year 2007

W pozostałych latach zmierzone wartości potencjału wodnego gleby na obiektach nawadnianych (K i M) wskazują, iż sterowanie nawadnianiem za pomocą metody tensjometrycznej było i jest metodą zapewniającą właściwy monitoring wilgotności gleby, warunkujący skuteczność nawadniania. Do podobnych wniosków doszli Pogue i Dooley [1985], Pacholak [1986], Sterrett i in. [1990] oraz Paschold i Wiethaler [2000]. Kunzelmann i Paschold [1998a, b] oraz Paschold i Kunzelmann [2002] w zaleceniach nawadniania roślin warzywnych w uprawie polowej zalecają stosowanie metody tensjometrycznej w sterowaniu mikronawodnieniami, głównie nawadnianiu kropłowym.



Uzyskane wartości, jak również tendencje zmian potencjału wodnego gleby na obiektach bez nawadniania (szybkie wykorzystanie zapasu wody łatwo dostępnej) potwierdzają ściśle uzależnienie produkcji roślinnej na glebach bardzo lekkich od warunków opadowych. Przebieg wilgotności gleby na obiektach nawadnianych potwierdza natomiast przydatność mikronawodnień (nawadniania kropłowego i mikrozaszania) w utrzymywaniu optymalnej wilgotności gleby bardzo lekkiej. Wykazywały to również prace m.in. Rzekanowskiego i in. [1994], Rzekanowskiego i Rolbieckiego [1996], Rolbieckiego [2004, 2007], Żarskiego i in. [2004].

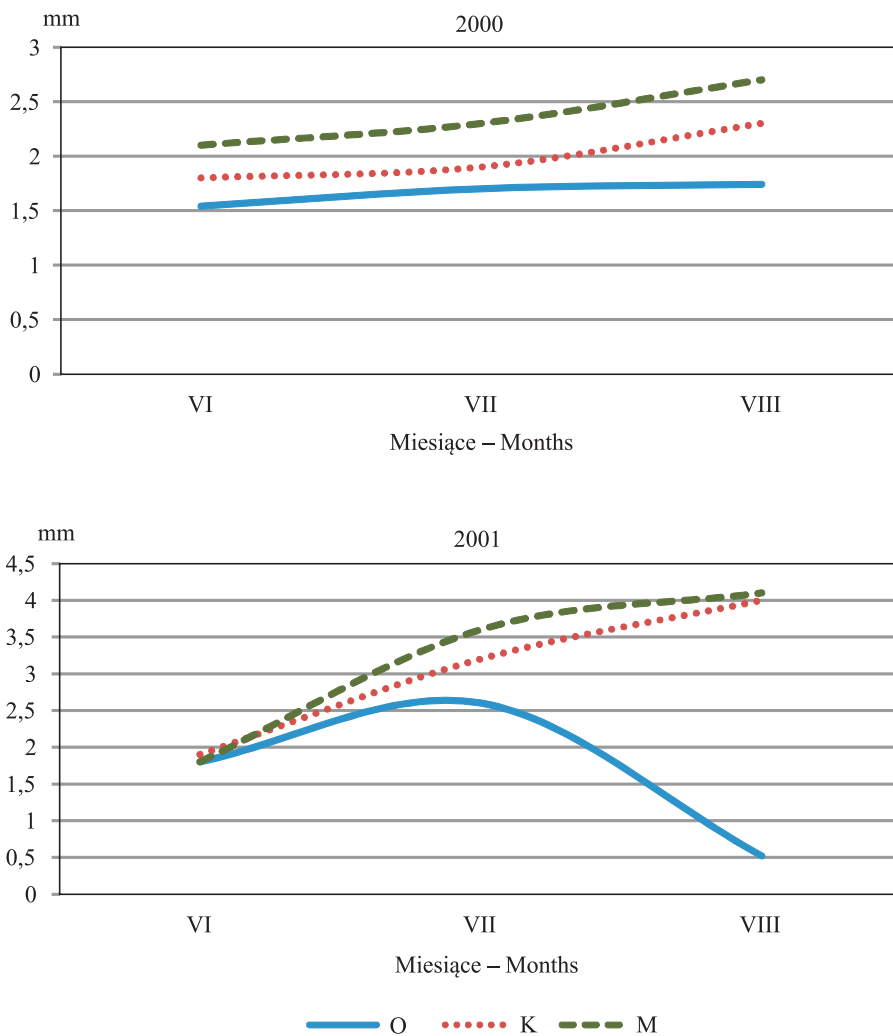
## 4.1.2. Potrzeby wodne szparaga

### 4.1.2.1. Polowe zużycie wody (S)

Wartości dobowego zużycia wody zależały głównie od wariantów wodnych zastosowanych w doświadczeniu (rys. 15-19). Zużycie wody na poletkach nawadnianych kropłowo lub mikrozaszanych w miesiącach okresu nawodnieniowego poszczególnych lat kształtowało się na podobnym poziomie, a różnica nie przekraczała 1 mm. Wyższe wartości dobowego zużycia wody stwierdzono na poletkach mikrozaszanych niż nawadnianych kropłowo. Najwyższe wartości zużycia wody stwierdzono w latach 2002 oraz 2003 w sierpniu oraz 2006 w lipcu, kiedy średnie dobowe zużycie wody wyniosło ponad 5 mm (rys. 16, 17 i 18). Średnia dobowo wartość zużycia wody w latach badań na poletkach nawadnianych wzrastała w poszczególnych miesiącach prowadzenia nawadniania – odpowiednio dla nawadniania kropłowego i mikrozaszania – i wyniosła: w czerwcu 1,7 i 2,2 mm; w lipcu 3,5 i 4,1 mm i w sierpniu 3,9 i 4,4 mm (rys. 19).

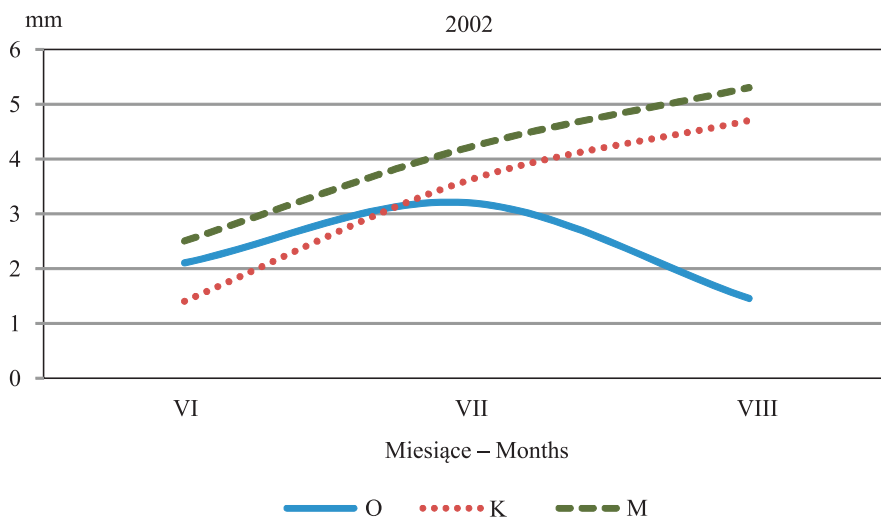
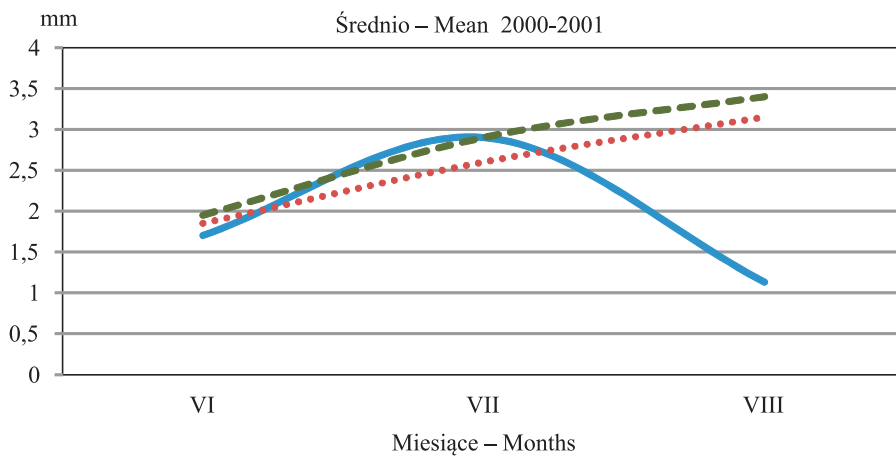
Na poletkach nienawadnianych, na których poziom wilgotności zależał tylko od opadów naturalnych, dobowe zużycie wody ulegało natomiast bardzo dużym wahaniom, zależnie od warunków opadowych w poszczególnych latach (rys. 15-19). Dobowe wartości zużycia wody w sezonach wilgotnych, np. w roku 2007 (rys. 19) były o ponad 2 mm na dobę wyższe niż w latach posuchy, np. w roku 2005 (rys. 18). W większości sezonów nawodnieniowych zaobserwowano tendencję do wzrostu zużycia wody w miesiącach czerwcu i lipcu oraz obniżania się średniego dobowego zużycia wody w sierpniu. Wyjątek stanowiły tylko lata 2004 i 2006, w których stwierdzono wzrost zużycia wody w sierpniu (rys. 17 i 18). Były to miesiące charakteryzujące się wysokimi opadami. Średnia wartość dobowego zużycia wody wyniosła na poletkach nienawadnianych 2,1 mm; 2,5 mm oraz 1,7 mm, odpowiednio w czerwcu, lipcu i sierpniu. Podobne tendencje w kształtowaniu się polowego zużycia zależnie od wielkości opadów stwierdzili Gilewska i in. [1995] dla roślin rolniczych.

Obliczone wartości oraz tendencje dobowego zużycia wody w doświadczeniu własnym są bardzo zbliżone do wyników otrzymanych przez Pascholda i in. [2004]. Uzyskane przez nich w warunkach lizymetrycznych wartości dobowego zużycia wody (ET<sub>c</sub>) w pierwszym roku uprawy wyniosły na wariantach nawadnianych kropłowo średnio: 1,6 mm w czerwcu, 2 mm w lipcu oraz 3 mm w sierpniu. Wartości uzyskane na wariantach bez nawadniania zawierały się natomiast w zakresie od 1,4 mm (czerwiec) do 1,8 mm (sierpień). Pardo i in. [1997] w 4. i 5. roku prowadzenia szparagarni uzyskali średnie wartości dobowego zużycia wody (ET) na poziomie 4,6 mm·doba<sup>-1</sup>. Grabarczyk [1976] wykazał natomiast ścisłą korelację pomiędzy polowym zużyciem wody a ewapotranspiracją nad łanem roślin ( $r = 0,97$ ) w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby.



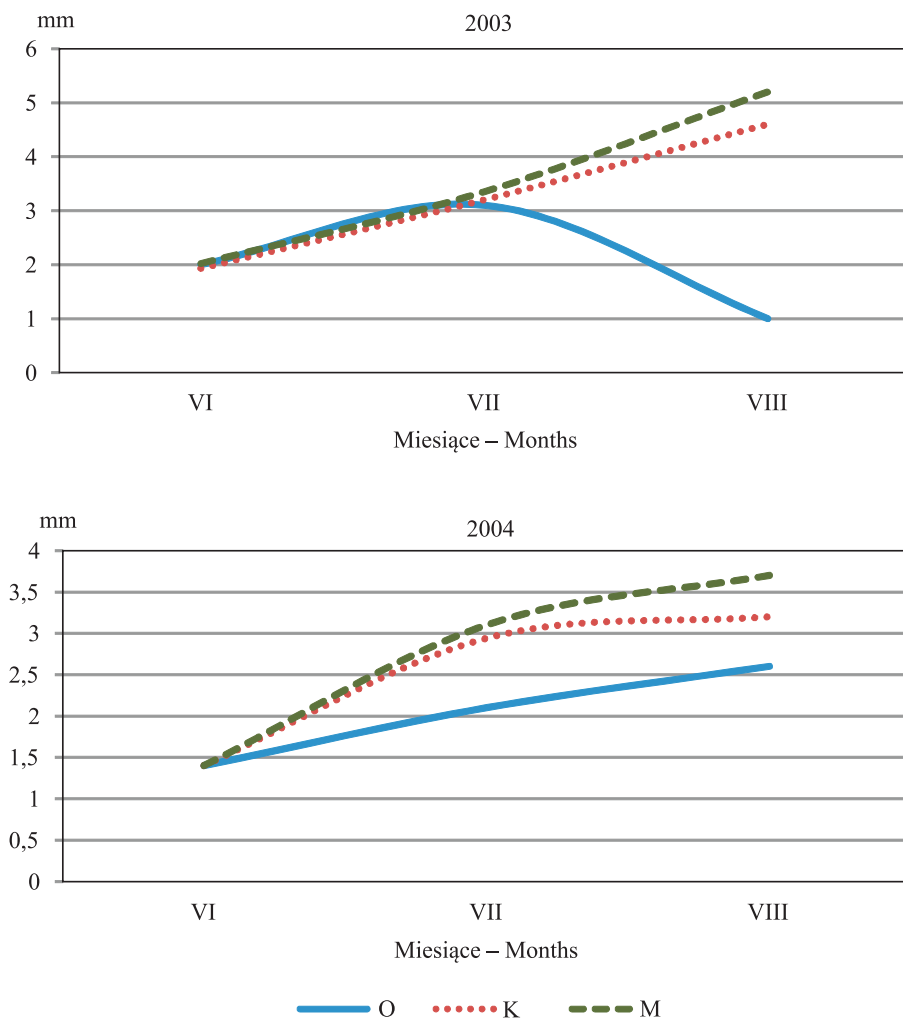
Rys. 15. Dobowe zużycie wody [mm] przez rośliny szparaga w różnych wariantach wodnych (O, K, M) w miesiącach nawodnieniowych (VI-VIII) w latach 2000 i 2001

Fig. 15. Daily water consumption [mm] of the asparagus plants at different water variants (O, K, M) in irrigation months (VI-VIII) in the years 2000 and 2001



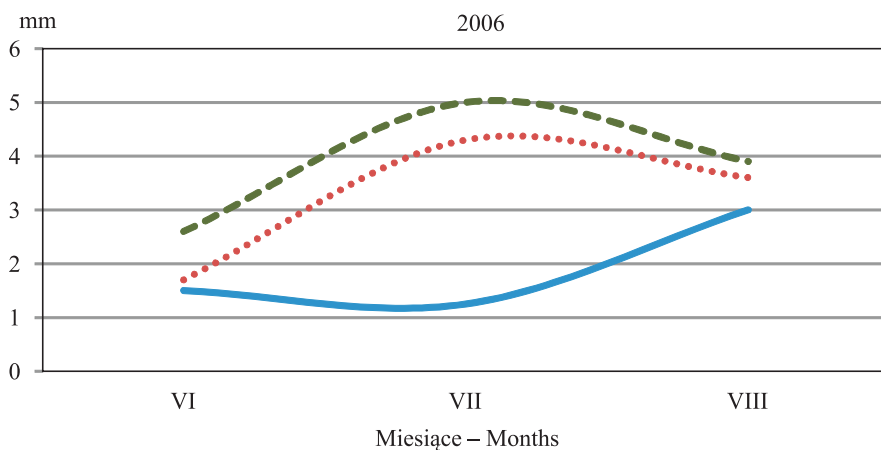
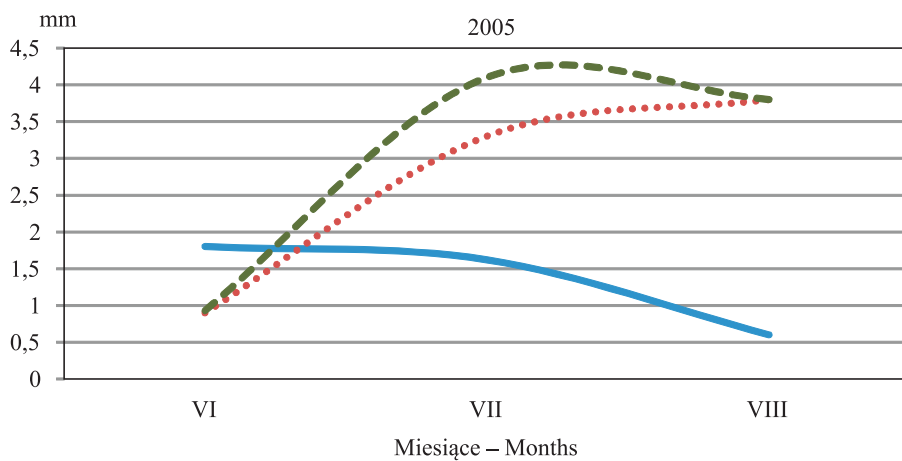
Rys. 16. Dobowe zużycie wody [mm] przez rośliny szparaga w różnych wariantach wodnych (O, K, M) w miesiącach nawodnieniowych (VI-VIII) oraz średnio w latach 2000-2001 i w roku 2002

Fig. 16. Daily water consumption [mm] of the asparagus plants at different water variants (O, K, M) in irrigation months (VI-VIII) and mean in the years 2000-2001 and in 2002



Rys. 17. Dobbowe zużycie wody [mm] przez rośliny szparaga w różnych wariantach wodnych (O, K, M) w miesiącach nawodnieniowych (VI-VIII) w latach 2003 i 2004

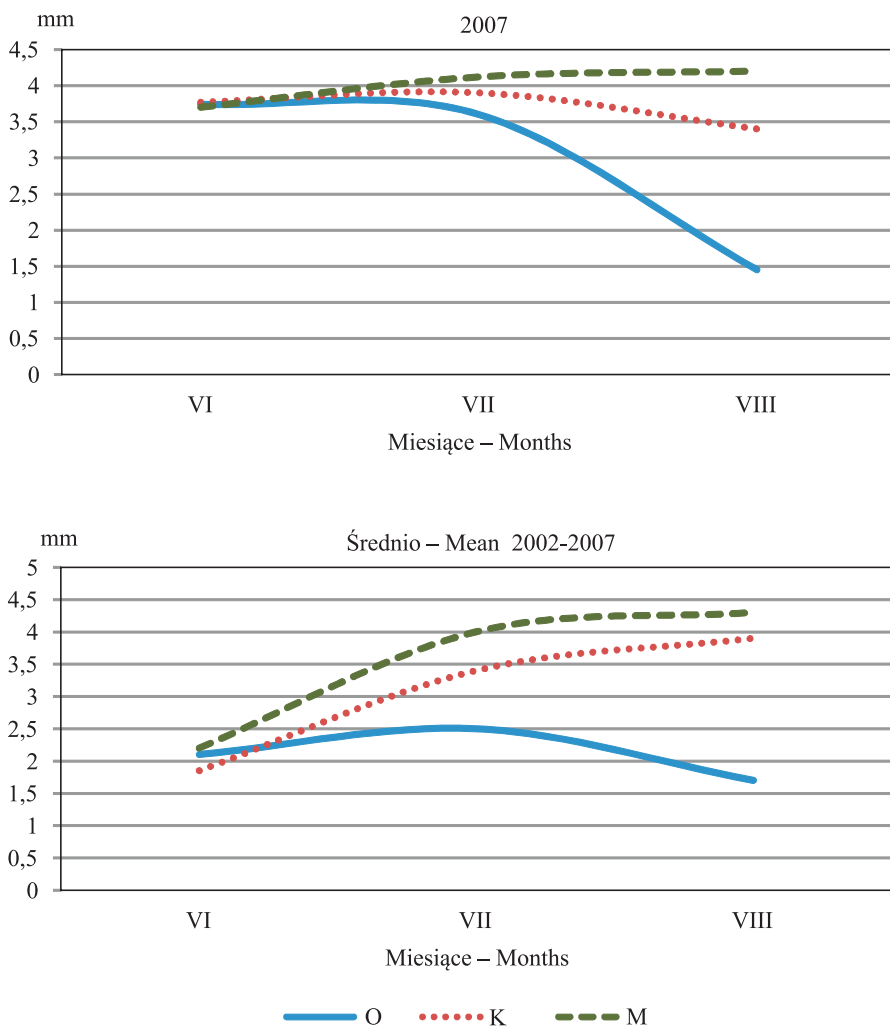
Fig. 17. Daily water consumption [mm] of the asparagus plants at different water variants (O, K, M) in irrigation months (VI-VIII) in the years 2003 and 2004



— O    ..... K    - - - M

Rys. 18. Dobowe zużycie wody [mm] przez rośliny szparaga w różnych wariantach wodnych (O, K, M) w miesiącach nawodnieniowych (VI-VIII) w latach 2005 i 2006

Fig. 18. Daily water consumption [mm] of the asparagus plants at different water variants (O, K, M) in irrigation months (VI-VIII) in the years 2005 and 2006



Rys. 19. Dobbowe zużycie wody [mm] przez rośliny szparaga w różnych wariantach wodnych (O, K, M) w miesiącach nawodnieniowych (VI-VIII) w roku 2007 oraz średnio w latach 2002-2007

Fig. 19. Daily water consumption [mm] of the asparagus plants at different water variants (O, K, M) in irrigation months (VI-VIII) in 2002 and mean in the years 2002-2007

Obliczone miesięczne i roczne wartości polowego zużycia wody na różnych wariantach wodnych przedstawiono w tabeli 14. Wynika z niej, iż niezależnie od roku badań wyższe wartości polowego zużycia wody stwierdzono na poletkach mikrozaszanych. Sumaryczne średnie wartości wyniosły 256 mm na plantacji nieplonującej oraz 280 na plonującej. W odniesieniu do poletek nawadnianych kropłowo różnice te wyniosły średnio 24 mm w pierwszych dwóch latach prowadzenia szparagarni oraz 33 mm na plantacji plonującej.

W latach prowadzenia badań potrzeby wodne na obiektach nawadnianych wahały się na poziomie 205-272 mm oraz 226-320 mm, odpowiednio na poletkach nawadnianych

kroplowo i mikrozaszanych. Analizując miesięczne wartości zużycia wody na obiektach nawadnianych, można stwierdzić, iż prawie we wszystkich latach badań wyższe wartości przypadają na sierpień. Wyjątek stanowił rok 2006, w którym zużycie wody było wyższe w lipcu. Wynikało to zapewne z wystąpienia bogatego w opady naturalne sierpnia (tab. 14).

Tabela 14. Sumaryczne zużycie wody przez rośliny szparaga w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach prowadzenia doświadczenia

Table 14. Total water consumption of asparagus plants in irrigation period (VI-VIII) during the experimental years

Rok badań Experimental year	Wariant wodny Water variant	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma zużycia wody Total water consumption [mm]
		VI	VII	VIII	
2000	O	46,1*	51,5	54,1	151,7
	K	53,3*	58,5	70,4	182,2
	M	62,5*	72,6	83,9	219,0
2001	O	52,5*	82,0	16,4	150,9
	K	58,2*	99,0	124,9	282,1
	M	54,2*	110,7	127,4	292,3
<b>Średnia 2000-2001 Mean 2000-2001</b>	<b>O</b>	<b>49,3*</b>	<b>66,7</b>	<b>35,2</b>	<b>151,3</b>
	<b>K</b>	<b>55,7*</b>	<b>78,7</b>	<b>97,6</b>	<b>232,0</b>
	<b>M</b>	<b>58,3*</b>	<b>91,7</b>	<b>105,6</b>	<b>255,6</b>
2002	O	19,9**	98,4	45,2	163,5
	K	13,8**	112,0	146,3	272,1
	M	24,8**	129,5	166,1	320,4
2003	O	20,5**	95,5	30,9	146,9
	K	19,3**	98,6	131,5	249,4
	M	20,2**	103,9	152,8	276,9
2004	O	14,4**	66,5	82,0	162,9
	K	13,6**	91,3	100,3	205,2
	M	14,4**	95,6	115,6	225,6
2005	O	18,2**	50,3	19,0	87,5
	K	8,8**	102,2	113,6	224,6
	M	9,3**	126,9	119,3	255,5
2006	O	15,2**	38,7	91,9	145,8
	K	16,6**	132,8	111,5	260,9
	M	25,9**	156,1	120,5	302,5
2007	O	37,4**	113	45,2	195,6
	K	37,7**	121,3	104,7	263,7
	M	36,8**	127,9	131,5	296,2
<b>Średnia 2002-2007 Mean 2002-2007</b>	<b>O</b>	<b>21,0**</b>	<b>77,1</b>	<b>52,4</b>	<b>150,5</b>
	<b>K</b>	<b>18,3**</b>	<b>109,7</b>	<b>118,0</b>	<b>246,0</b>
	<b>M</b>	<b>21,9**</b>	<b>123,3</b>	<b>134,3</b>	<b>279,5</b>

O – poletka bez nawadniania – non irrigated plots

K – poletka nawadniane kroplowo – drip irrigated plots

M – poletka mikrozaszane – microsprinkled plots

\* – cały miesiąc – whole month

\*\* – III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Zużycie wody na zasilanych tylko przez opady naturalne obiektach nienawadnianych charakteryzowało się bardzo dużymi wahaniami. Różnice w sumarycznym zużyciu wody pomiędzy poszczególnymi latami były bardzo duże i ściśle skorelowane z opadami atmosferycznymi. Najniższe zużycie wody stwierdzono w roku 2005 (87,5 mm), charakteryzującym się niskimi opadami. Najwyższe wartości natomiast stwierdzono w roku 2007 (195,6 mm), kiedy wystąpiły wysokie opady, a sezon zaliczono do wilgotnego. Średnie zużycie wody tak na plantacji nieplonującej, jak i plonującej wyniosło ok. 151 mm.

Na obiektach nawadnianych zaobserwowano wzrost zużycia wody, który wyniósł średnio dla plantacji nieplonującej 84,2 i 105 mm, odpowiednio dla nawadniania kropłowego i mikrozaszrania. W przypadku plantacji plonującej wartości te wahały się między 95 mm (nawadnianie kropłowe) a 129 mm (mikrozaszranie). Paschold i in. [2004] podają, że wielkość zużycia wody na plantacji nieplonującej oraz obiektach nawadnianych kropłowo kształtowała się na poziomie 91 mm.

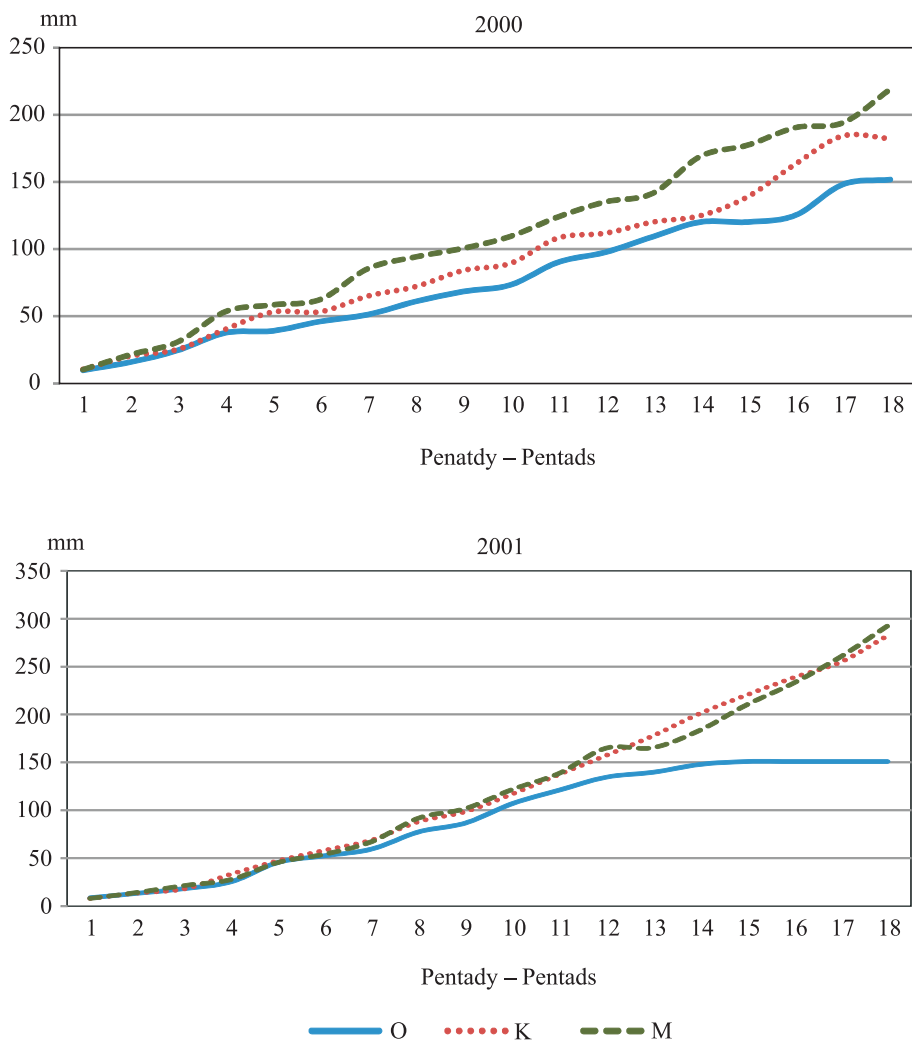
Dynamikę polowego zużycia wody na różnych wariantach wodnych przedstawiono na rysunkach 20-23. Wzrost zużycia wody na obiektach nawadnianych był jednostajny i prostoliniowy, niezależnie od warunków meteorologicznych panujących w analizowanym okresie nawodnieniowym. Nawadnianie stabilizowało warunki wodne w warstwie o kontrolowanym uwilgotnieniu, co wpływało na optymalny wzrost pędów asymilacyjnych szparaga oraz zwiększało ewapotranspirację. Na obiektach nienawadnianych natomiast zużycie wody było ściśle skorelowane z warunkami opadowymi. Zużycie wody wzrastało proporcjonalnie do ilości opadów atmosferycznych. W odniesieniu do obiektów nawadnianych ewapotranspiracja (zużycie wody) w większości sezonów nawodnieniowych wyraźnie zmniejszała się od drugiej połowy lipca. Jednakże w latach 2005 i 2006 zużycie wody spowodowane brakiem opadów (bądź ich niewielką ilością) zmniejszało się już na początku lipca (rys. 22 i 23). Sytuacje takie mogą występować, jak podaje Koźmiński [1986], w środkowej części kraju (w Krainie Wielkich Dolin) w lipcu i sierpniu w 20-30% analizowanych lat.

Zaobserwowane w doświadczeniu własnym tendencje do dużych wahań polowego zużycia wody na obiektach nienawadnianych potwierdzają wcześniejsze badania m.in. Pacholaka [1986]. Żarski [1993] podaje, iż polowe zużycie wody na poletkach nienawadnianych jest niemal równe opadom atmosferycznym. Odnotowane w doświadczeniu własnym średnie wartości polowego zużycia wody na obiektach nawadnianych, czyli w warunkach optymalnej wilgotności, były zbliżone do uzyskanych przez Pascholda i in. [2001] w podobnych warunkach klimatyczno-glebowych. Wyniki ich badań wskazują, iż potrzeby wodne w okresie od 20 czerwca do 1 września wynoszą 150-241 mm. Hartmann [1981a] szacuje potrzeby wodne zależnie od warunków opadowych na 179-240 mm. Według Pardo i in. [1997] sezonowe zużycie wody przez rośliny szparaga w warunkach lizymetrycznych wynosiło 274-294 mm.

W innych badaniach Pascholda i in. [2004] zużycie wody przez rośliny szparaga uprawiane w warunkach lizymetrycznych wynosiło 266-292 mm na obiektach nawadnianych i wzrastało wraz z utrzymywaniem większej wilgotności gleby. W badaniach własnych również stwierdzono wyższe zużycie wody na obiektach mikrozaszraniach, na których zastosowano większe dawki nawodnieniowe. W warunkach kontrolnych (bez nawadniania) polowe zużycie wody było natomiast ściśle uzależnione od wysokości opadów atmosferycznych.

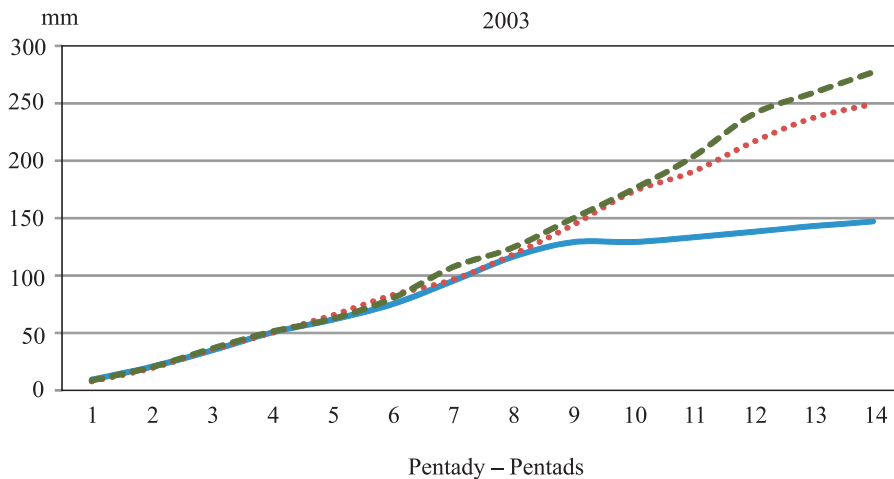
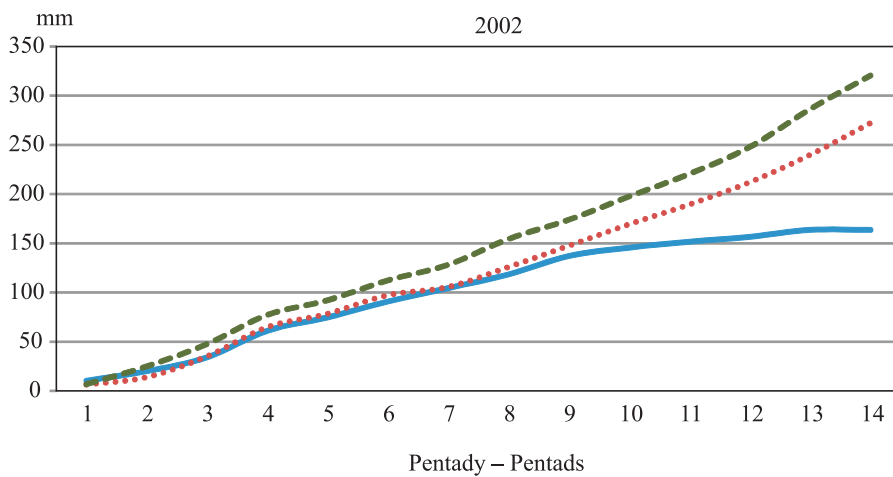
Znacznie wyższe sumaryczne wartości potrzeb wodnych dla szparaga uprawianego w odmiennych warunkach klimatycznych podają Cannell i Takatori [1970] dla północnej Kalifornii, Robinson i in. [1984] oraz Roth i Gardner [1989] dla warunków klimatycznych Arizony.





Rys. 20. Kumulatywne zużycie wody [mm] przez rośliny szparaga w różnych wariantach wodnych (O, K, M) w miesiącach nawodnieniowych (VI-VIII) w okresach pentadowych w latach 2000 i 2001

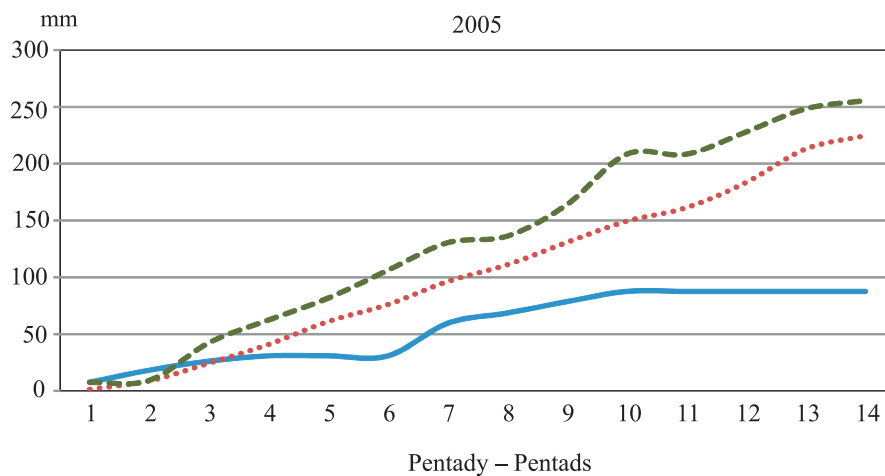
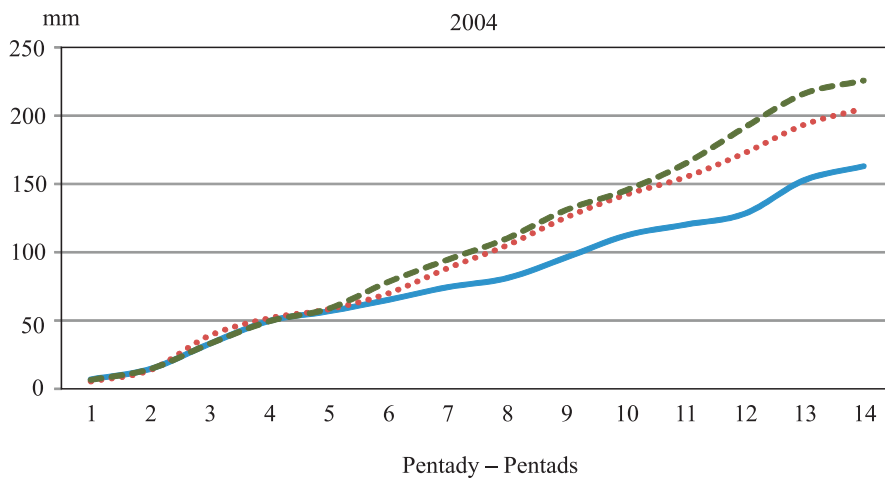
Fig. 20. Cumulative water consumption [mm] of the asparagus plants at different water variants (O, K, M) in irrigation months (VI-VIII) in pentads in the years 2000 and 2001



— O    ..... K    - - - M

Rys. 21. Kumulatywne zużycie wody [mm] przez rośliny szparaga w różnych wariantach wodnych (O, K, M) w miesiącach nawodnieniowych (VI-VIII) w okresach pentadowych w latach 2002 i 2003

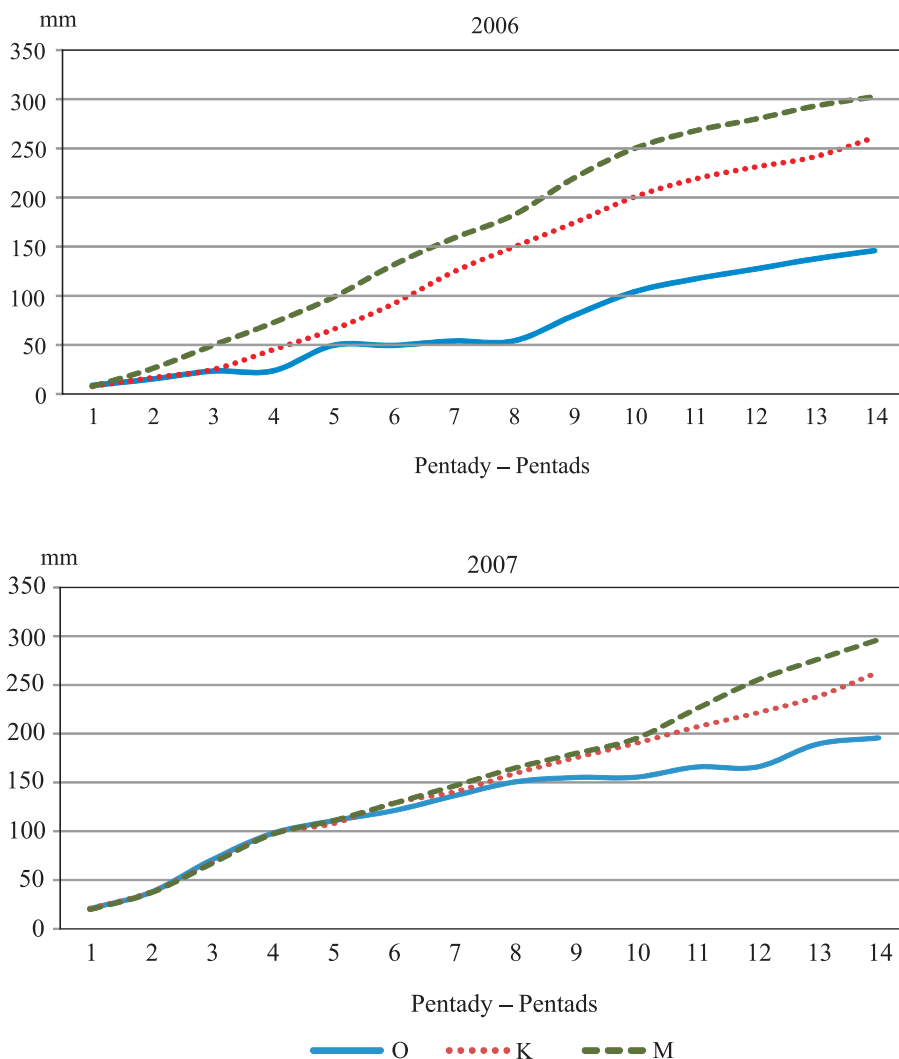
Fig. 21. Cumulative water consumption [mm] of the asparagus plants at different water variants (O, K, M) in irrigation months (VI-VIII) in pentads in the years 2002 and 2003



— O    ..... K    - - - M

Rys. 22. Kumulatywne zużycie wody [mm] przez rośliny szparaga w różnych wariantach wodnych (O, K, M) w miesiącach nawodnieniowych (VI-VIII) w okresach pentadowych w latach 2004 i 2005

Fig. 22. Cumulative water consumption [mm] of the asparagus plants at different water variants (O, K, M) in irrigation months (VI-VIII) in pentads in the years 2004 and 2005



Rys. 23. Kumulatywne zużycie wody [mm] przez rośliny szparaga w różnych wariantach wodnych (O, K, M) w miesiącach nawodnieniowych (VI-VIII) w okresach pentadowych w latach 2006 i 2007

Fig. 23. Cumulative water consumption [mm] of the asparagus plants at different water variants (O, K, M) in irrigation months (VI-VIII) in pentads in the years 2006 and 2007

#### 4.1.2.2. Ewapotranspiracja wskaźnikowa ( $ET_0$ )

Do obliczenia ewapotranspiracji wskaźnikowej ( $ET_0$ ) w miesiącach prowadzenia nawodnień szparaga (czerwcu, lipcu, sierpniu) wykorzystano dwa modele: Grabarczyka ( $ET_0^G$ ) oraz Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena ( $ET_0^{HDA}$ ), bazujące na prostych pomiarach meteorologicznych (temperatury oraz wilgotności powietrza). Średnie obliczone wartości  $ET_0$  ze wzoru Grabarczyka (tab. 15) oraz Hargreavesa<sub>DA</sub> (tab. 16) dla miesięcy, w których prowadzono nawadnianie, wyniosły dla plantacji nieplonującej

odpowiednio 348 i 410 mm. Wyższe wartości parowania stwierdzono w każdym analizowanym miesiącu w przypadku modelu Hargreaves<sub>DA</sub>. Największe różnice obliczonych wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej wystąpiły w czerwcu i lipcu (ponad 25 mm), natomiast mniejsze w sierpniu (11 mm).

Tabela 15. Sumaryczna ewapotranspiracja wskaźnikowa ( $ET_o^G$ ) w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach prowadzenia doświadczenia, obliczona według modelu Grabarczyka

Table 15. Total reference evapotranspiration ( $ET_o^G$ ) in irrigation period (VI-VIII) during the experimental years, calculated by Grabarczyk's formula

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma $ET_o^G$ Total $ET_o^G$ [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	132*	88	106	326
2001	95*	138	137	370
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>113,5*</b>	<b>113,0</b>	<b>121,5</b>	<b>348</b>
2002	42**	150	164	356
2003	44**	135	148	327
2004	32**	104	105	241
2005	51**	172	132	355
2006	53**	232	91	376
2007	31**	116	109	256
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>42,2**</b>	<b>151,5</b>	<b>124,8</b>	<b>318,5</b>

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Tabela 16. Sumaryczna ewapotranspiracja wskaźnikowa ( $ET_o^{HDA}$ ) w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach prowadzenia doświadczenia, obliczona według modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena

Table 16. Total reference evapotranspiration ( $ET_o^{HDA}$ ) in irrigation period (VI-VIII) during the experimental years, calculated by Hargreaves's formula in modification of Droogers and Allen

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma $ET_o^{HDA}$ Total $ET_o^{HDA}$ [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	150,1*	121,1	132,4	403,6
2001	127,1*	155,2	133,0	415,3
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>138,6*</b>	<b>138,2</b>	<b>132,7</b>	<b>409,5</b>
2002	47,5**	151,3	143,6	342,4
2003	46**	144,0	130,6	320,6
2004	45,9**	147,2	106,5	299,6
2005	54,2**	165,5	124,5	344,2
2006	55,4**	191,8	105,7	352,9
2007	43,5**	141,6	123,8	308,9
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>48,7**</b>	<b>156,9</b>	<b>122,4</b>	<b>328,0</b>

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Średnia wartość ewapotranspiracji wskaźnikowej w czasie prowadzenia plantacji plonującej wyniosła 319 i 328 mm, odpowiednio dla modelu Grabarczyka oraz Hargreavesa<sub>DA</sub> (tab. 15 i 16). W przypadku obu modeli najwyższe wartości odnotowano w tym okresie w lipcu. Jednakże w przypadku modelu Hargreavesa<sub>DA</sub> średnia wartość  $ET_o$  w tym miesiącu była o 5 mm wyższa (157 mm) niż dla modelu Grabarczyka (152 mm). Odwrotną sytuację stwierdzono w sierpniu, w którym wyższe wartości  $ET_o$  stwierdzono dla modelu Grabarczyka (125 mm) niż Hargreavesa<sub>DA</sub> (122 mm). Średnie parowanie w III dekadzie czerwca w okresie prowadzenia szparagarni plonującej było wyższe o blisko 7 mm dla modelu Hargreavesa<sub>DA</sub> (49 mm), niż Grabarczyka (42 mm). Zaobserwowano również bardzo ciekawą prawidłowość: występowanie wyższych wartości parowania w latach suchych w przypadku modelu Grabarczyka, natomiast w latach wilgotnych u Hargreavesa<sub>DA</sub>. Prawdopodobnie wynikało to z tego, iż składową modelu Grabarczyka są niedosyty wilgotności powietrza, które w latach o obniżonych opadach atmosferycznych i wyższych temperaturach były znaczne. Ekstremalna sytuacja wystąpiła w lipcu 2006 roku, gdy niedosyty wilgotności powietrza wynosiły 16 hPa. Był to ewenement, który wystąpił ostatnio przed 60 laty.

Obliczone średnie miesięczne wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej dla lat w doświadczeniu własnym wykazywały bardzo duże podobieństwo do wyników uzyskanych i przedstawionych przez Łabędzkiego i in. [2011] dla warunków występujących w Polsce, obliczonych na podstawie wzoru Penmana-Monteitha. Maksymalne wartości  $ET_o$  w lipcu wyniosły 157 mm, a w sierpniu 123 mm, czyli tyle samo, ile obliczono formułą Hargreavesa<sub>DA</sub> dla tych miesięcy w latach prowadzenia badań w doświadczeniu własnym. Uzyskane wartości  $ET_o$  obliczone według wzoru Grabarczyka były również bardzo podobne do  $ET_o$  podanych przez Łabędzkiego i in. [2011], jednakże od nich niższe. Potwierdzają to badania Grabarczyka i Żarskiego [1992], którzy również otrzymali niższe wartości  $ET_o$  obliczonej formułą Grabarczyka w porównaniu z wartościami obliczonymi na podstawie wzoru Penmana-Monteitha. Widmoser [2009] podaje, iż w niektórych warunkach meteorologicznych ewapotranspiracja wyznaczona metodą zalecaną przez FAO i ICID (czyli Penmana-Monteitha) może być obciążona błędem rzędu 30% w porównaniu z innymi metodami. Wartości  $ET_o$  obliczone za pomocą obu modeli Grabarczyka i Hargreavesa<sub>DA</sub> utrzymywały się na poziomie maksymalnych wartości  $ET_o$  Penmana-Monteitha [Łabędzki i in. 2011], co wynikało zapewne z tego, iż doświadczenie zlokalizowane było w regionie o wysokim wskaźniku ewapotranspiracji referencyjnej oraz o bilansie wodnym niższym od -200 mm [Kožmiński 1986, Rojek 2001, Łabędzki i in. 2011]. Treder i in. [2010] również uzyskali podobne wartości średnich dobowych  $ET_o$  do otrzymanych w doświadczeniu własnym. Wykazali także bardzo dużą korelację pomiędzy  $ET_o$  obliczoną z równania Penmana-Monteitha a  $ET_o$  ze wzoru Hargreavesa<sub>DA</sub> ( $r = 0,78$ ) oraz dla modelu Grabarczyka ( $r = 0,72$ ). Jeszcze wyższą korelację ( $r = 0,97$ ) pomiędzy  $ET_o^{PM}$  a  $ET_o^H$  stwierdzili Tabari i in. [2011]. Grabarczyk i in. [1990b] otrzymali natomiast współczynniki korelacji pomiędzy  $ET_o$  obliczoną wzorem Grabarczyka a Penmana na poziomie  $r = 0,86$ .

Wartości  $ET_o$  uzyskane w obliczeniach własnych za pomocą modeli Grabarczyka i Hargreavesa<sub>DA</sub> oraz ich duża zgodność i podobieństwo do  $ET_o$  obliczonych ze wzoru Penmana-Monteitha pozwalają na stwierdzenie, iż można by je zastosować w praktyce do określania  $ET_o$  jako alternatywę do skomplikowanej metody Penmana-Monteitha. Treder i in. [2010] wnioskuje, iż na podstawie wstępnej oceny można w polskich warunkach klimatycznych w przypadku ograniczonej dostępności danych meteorologicznych (tylko  $T_{min}$  i  $T_{max}$ ) zastosować model obliczeniowy Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena.

#### 4.1.2.3. Współczynniki roślinne ( $k_c$ )

Określanie potrzeb wodnych rośliny w odniesieniu do kryterium klimatycznego oparte jest na założeniu, iż zużycie wody przez roślinę determinowane jest głównie przebiegiem warunków meteorologicznych oraz fazą rozwojową rośliny [Ley i in. 1994, Łabędzki 2006, Sentelhas i in. 2010]. Dlatego aby prawidłowo określić ewapotranspirację potencjalną danej rośliny ( $ET_p$ ) za pomocą ewapotranspiracji wskaźnikowej ( $ET_o$ ), stosuje się metodę współczynników roślinnych ( $k_c$ ) [Łabędzki 1996, 2006; Paschold i in. 2002]. W badaniach własnych w celu określenia potrzeb wodnych szparaga na podstawie kryterium klimatycznego obliczono współczynniki roślinne ( $k_c$ ) dla modeli Grabarczyka i Hargreaves<sub>DA</sub> (tab. 17). Wyznaczone współczynniki w doświadczeniu własnym określono dla okresu nawadniania pędów asymilacyjnych szparaga. Dla plantacji nieplonującej był to okres od początku czerwca do końca sierpnia, natomiast dla plantacji plonującej – warunkach Polski od trzeciego roku uprawy – okres od zakończenia zbiorów (III dekady czerwca) do końca sierpnia.

Wartości współczynników dla plantacji nieplonującej różniły się zależnie od modelu użytego do obliczenia  $ET_o$ . W przypadku modelu Grabarczyka wartości obliczonego współczynnika  $k_c$  wyniosły dla czerwca 0,5; lipca 0,8; sierpnia 0,9. W przypadku modelu Hargreaves<sub>DA</sub> wartości współczynników roślinnych były o 0,1 niższe dla każdego miesiąca okresu nawodnieniowego na plantacji nieplonującej w stosunku do modelu Grabarczyka. Wartości te wyniosły bowiem dla czerwca 0,4; lipca 0,7 i sierpnia 0,8. Dla miesiący okresu nawodnieniowego plantacji plonującej wartości współczynników  $k_c$  dla obu zastosowanych modeli były takie same i wyniosły dla czerwca 0,5; lipca 0,8 i sierpnia 1,1.

Tabela 17. Współczynniki roślinne  $k_c$  dla miesięcy okresu nawodnieniowego do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej roślin szparaga wzorami Grabarczyka i Hargreaves<sub>DA</sub>

Table 17. Crop coefficients  $k_c$  for months of irrigation period for calculation of asparagus crop evapotranspiration according to Grabarczyk's and Hargreaves<sub>DA</sub>'s formulas

$ET_o$	Rok uprawy Cultivation year	$k_c$ dla miesiąca okresu nawodnieniowego $k_c$ for month of irrigation period		
		VI	VII	VIII
Grabarczyk	1. i 2. rok – 1 <sup>st</sup> i 2 <sup>nd</sup> year	0,5	0,8	0,9
	od 3. roku – from 3 <sup>rd</sup> year	0,5	0,8	1,1
Hargreaves <sub>DA</sub>	1. i 2. rok – 1 <sup>st</sup> i 2 <sup>nd</sup> year	0,4	0,7	0,8
	od 3. roku – from 3 <sup>rd</sup> year	0,5	0,8	1,1

Współczynniki roślinne  $k_c$  wyznaczone dla szparaga w warunkach optymalnej wilgotności dla warunków meteorologicznych centralnej Polski stanowią pierwszą próbę obliczenia potrzeb wodnych roślin szparaga na podstawie kryterium klimatycznego. Porównanie wyznaczonych wartości współczynników dla dwóch zastosowanych modeli obliczania  $ET_o$  (Grabarczyk i Hargreaves<sub>DA</sub>) z wielkościami współczynników wyznaczonych przez innych autorów przedstawiono w tabeli 18. Wartości współczynników roślinnych dla różnych modeli pozwalających na obliczenie  $ET_o$  były bardzo podobne jak w obliczeniach własnych. Wartości współczynników podane przez Pascholda i in. [2002] dla  $ET_o$  obliczonej za pomocą modelu Penmana-Monteitha były niemal takie same, co potwierdza poprawność zastosowanych metod obliczeniowych w badaniach własnych. Niewielkie różnice w wartościach współczynników  $k_c$  dla szparaga stwierdzono w przypadku  $ET_o$  uzyskanej z równania Penmana-Monteitha [Battilani 1997, Allen i in. 1998] oraz otrzymanej przez Doorenbosa i Pruittta [Pardo i in. 1997].

Tabela 18. Współczynniki roślinne  $k_c$  dla szparaga w okresie nawodnieniowymTable 18. Crop coefficients  $k_c$  for asparagus during the irrigation period

Źródło Source	$ET_0$	Plantacja Plantation	$k_c$ dla stadiów rozwojowych pędów asymilacyjnych szparaga $k_c$ for stages of development of asparagus summer stalks	
			stadium 1 – stage 1	stadium 2 – stage 2
Paschold i in. [2002]	Penman- -Monteith	*	0,5	0,7-0,8
		**	0,6	0,8-1,1
Allen i in. [1998]	Penman- -Monteith	**	0,5	0,9-1,0
Pardo i in. [1997]	Doorenbos i Pruitt	**	0,4	0,9-1,1
Battilani [1997]	Penman- -Monteith	**	0,6	0,8-1,1
Badania własne tab. 16 Own testing tab. 16	Grabarczyk	*	0,5	0,8-0,9
		**	0,5	0,8-1,1
	Hargreaves <sub>DA</sub>	*	0,4	0,7-0,8
		**	0,5	0,8-1,1

\* plantacja nieplonująca – unyielded plantation

\*\* plantacja plonująca – yielded plantation

#### 4.1.2.4. Ewapotranspiracja potencjalna ( $ET_p$ )

Wartości określające ewapotranspirację potencjalną szparaga, obliczone na podstawie kryterium klimatycznego, czyli uwzględniające specyficzny dla określonego gatunku rośliny i jego fazy rozwojowej współczynnik roślinny  $k_c$ , przedstawiono w tabelach 19 i 20. Wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczonej za pomocą modeli Grabarczyka oraz Hargreaves<sub>DA</sub> przemnożono przez wyznaczone współczynniki  $k_c$  dla tych formuł. Średnia ewapotranspiracja potencjalna szparaga w latach prowadzenia plantacji plonującej wyniosła odpowiednio dla modelu Grabarczyka i Hargreaves<sub>DA</sub> 280 mm i 285 mm. Wyższe średnie wartości parowania w latach suchych stwierdzono w przypadku modelu Grabarczyka (tab. 19). W latach o wyższych opadach w sezonie nawodnieniowym wyższe wartości ewapotranspiracji stwierdzono natomiast w przypadku modelu Hargreaves<sub>DA</sub> – lata 2004 i 2007 (tab. 20). Różnice w wartościach obliczonego parowania i transpiracji roślin szparaga w latach suchych pomiędzy zastosowanymi modelami wahały się w granicach 10-20 mm na korzyść Grabarczyka. W latach o wyższych niż średnia z wielolecia opadach wartości obliczone wzorem Hargreaves<sub>DA</sub> były o ponad 40 mm wyższe w porównaniu z wartościami wyznaczonymi wzorem Grabarczyka.



Tabela 19. Ewapotranspiracja potencjalna szparaga w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach badań, obliczona według modelu Grabarczyka ( $ET_p^G = ET_o^G \cdot k_c^G$ ) w warunkach mikrozaszrania

Table 19. Crop evapotranspiration of asparagus plants in irrigation period (VI-VIII), during the experimental years, calculated acc. to Grabarczyk's formula ( $ET_p^G = ET_o^G \cdot k_c^G$ ) in conditions of microsprinkler irrigation

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma $ET_p$ roślin Total $ET_p$ crop [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	66*	70,4	84,8	221,2
2001	47,5*	110,4	123,3	281,2
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>56,8*</b>	<b>90,4</b>	<b>109,4</b>	<b>256,6</b>
2002	21**	120	180,4	321,4
2003	22**	108	162,8	292,8
2004	16**	83,2	115,5	214,7
2005	25,5**	137,6	145,2	308,3
2006	26,5**	185,6	100,1	312,2
2007	15,5**	92,8	119,9	228,2
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>21,1**</b>	<b>121,2</b>	<b>137,3</b>	<b>279,6</b>

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Tabela 20. Ewapotranspiracja potencjalna szparaga w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach badań, obliczona według modelu Hargreaves<sub>DA</sub> ( $ET_p^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA}$ ) w warunkach mikrozaszrania

Table 20. Crop evapotranspiration of asparagus plants in irrigation period (VI-VIII), during the experimental years, calculated acc. to Hargreaves<sub>DA</sub>'s formula ( $ET_p^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA}$ ) in conditions of microsprinkler irrigation

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma $ET_p$ roślin Total $ET_p$ crop [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	60,0*	84,8	105,9	250,7
2001	50,8*	108,6	106,4	265,8
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>55,4*</b>	<b>96,7</b>	<b>106,2</b>	<b>258,3</b>
2002	23,8**	121	158	302,8
2003	23,0**	115,2	143,7	281,9
2004	23**	117,8	117,2	258
2005	27,1**	132,4	137	296,5
2006	27,7**	153,4	116,3	297,4
2007	21,8**	113,3	136,2	271,3
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>24,4**</b>	<b>125,5</b>	<b>134,7</b>	<b>284,6</b>

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

W okresie nawodnieniowym wyższe średnie wartości ewapotranspiracji potencjalnej szparaga w optymalnych warunkach wilgotnościowych uzyskano w czerwcu (24 mm) i lipcu (126 mm) w przypadku formuły Hargreaves<sub>DA</sub>. Różnice w odniesieniu do wartości obliczonych formułą Grabarczyka wynosiły 3-4 mm. W sierpniu natomiast wyższą średnią wartość parowania szparaga stwierdzono dla formuły Grabarczyka (ok. 3 mm). Wyniosła ona średnio 137 mm.

Uzyskane wartości  $ET_p$  dla szparaga obliczone za pomocą współczynników roślinnych odpowiadały tendencjom oraz wartościom uzyskanym przez innych autorów, m.in. Battilaniego [1997] i Pascholda i in. [2001 i 2004], dla współczynników  $k_c$  wyznaczonych dla  $ET_o$  obliczonej ze wzoru Penmanna-Monteitha oraz Pardo i in. [1997] dla otrzymanej przez Doorenbosa i Pruittta. Wartości ewapotranspiracji potencjalnej dla szparaga na podstawie współczynników  $k_c$  wyznaczonych w doświadczeniu własnym pozwalają na stwierdzenie, iż zastosowana metodyka oraz wykonane obliczenia są prawidłowe. Potwierdzają to także wyznaczone zależności pomiędzy  $ET_p$  obliczonym a połowym zużyciem wody.

Wartości ewapotranspiracji potencjalnej szparaga, obliczone za pomocą modeli do obliczania  $ET_o$  oraz współczynników  $k_c$ , były w dużym stopniu zgodne z uzyskanymi wartościami połowego zużycia wody. Współczynniki korelacji przedstawiono w tabeli 21. Wyniosły one dla lipca 0,843 i 0,778, odpowiednio dla modelu Grabarczyka oraz Hargreaves<sub>DA</sub>. Dla sierpnia natomiast wartości współczynnika  $r$  kształtowały się na poziomie 0,849 (Grabarczyk) i 0,879 (Hargreaves<sub>DA</sub>). Istotność współczynnika korelacji uzyskano dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ .

Tabela 21. Współczynniki korelacji ( $r$ ) pomiędzy połowym zżyciem wody na obiektach mikrozaszanych ( $S_M$ ) a ewapotranspiracją potencjalną obliczoną wzorem Grabarczyka ( $ET_p^G = ET_o^G \cdot k_c^G$ ) i Hargreaves<sub>DA</sub> ( $ET_p^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA}$ ) w miesiącach VII i VIII w warunkach mikrozaszania

Table 21. Correlation coefficients ( $r$ ) between field water consumption on mikrosprinkled plots ( $S_M$ ) and crop evapotranspiration calculated by the Grabarczyk's ( $ET_p^G = ET_o^G \cdot k_c^G$ ) and Hargreaves<sub>DA</sub> ( $ET_p^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA}$ ) formulas in months VII and VIII in conditions of mikrosprinkler irrigation

Wyszczególnienie – Specification	$S_M$	
	VII	VIII
$ET_o^G \cdot k_c^G$ ( $ET_p^G$ )	0,843*	0,849*
$ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA}$ ( $ET_p^{HDA}$ )	0,778*	0,879*

$S_M$  – połowe zużycie wody na poletkach mikrozaszanych – field water consumption at mikrosprinkled plots

\* poziom istotności  $\alpha = 0,05$

Wysoką wartość współczynnika korelacji w przypadku innych gatunków roślin uprawnych pomiędzy połowym zużyciem wody a ewapotranspiracją potencjalną obliczoną według wzoru Grabarczyka stwierdzili Grabarczyk i in. [1990a]. Wartość współczynnika korelacji wyniosła dla okopowych 0,87.

Wartości ewapotranspiracji potencjalnej roślin szparaga na poletkach nawadnianych kropłowo na podstawie kryterium klimatycznego obliczono na podstawie współczynników korekcyjnych  $k_r$  zaproponowanych przez Freemana i Garzolego [Smith 1992]. Wartości współczynników zostały wyznaczone dla miesięcy i lat prowadzenia szparagarni na podstawie wieloletnich obserwacji i pomiarów pędów asymilacyjnych szparaga na własnej plantacji doświadczalnej (tab. 22). Wartości współczynników ko-

rekcyjnych zmieniały się w miesiącach okresu nawodnieniowego oraz latach prowadzenia szparagarni. Najniższe współczynniki wyznaczono dla pierwszego roku uprawy szparaga, co było związane z niewielką powierzchnią pokrycia międzyrzędzi przez pędy asymilacyjne szparaga. Wartości współczynników zwiększały się wraz ze wzrostem pędów szparaga w sezonie nawodnieniowym. Najniższe wartości wyznaczono w czerwcu po zakończeniu zbiorów, a najwyższe, równe jedności, w sierpniu, gdy pędy asymilacyjne osiągnęły pełnię wzrostu i rozwoju. Od 4. roku uprawy zaproponowano przyjęcie współczynników: w czerwcu 0,3; w lipcu 0,8-0,95 oraz sierpniu 1,0 (tab. 22).

Tabela 22. Współczynniki korekcyjne  $k_r$  wg Freemana i Garzolego dla miesięcy okresu nawodnieniowego, do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej szparaga przy ograniczonej powierzchni zwilżania (nawadnianie kropłowe) – opracowanie własne

Table 22. Correction coefficients  $k_r$  acc. Freeman and Garzoli for months of irrigation period, to computing crop evapotranspiration for asparagus at the limited wetting area (drip irrigation) – own preparation

Współczynniki Coefficients	Rok uprawy Cultivation year	$k_r$ dla miesiąca okresu nawodnieniowego $k_r$ for month of irrigation period		
		VI	VII	VIII
Freeman i Garzoli Freeman and Garzoli	1. rok – 1 <sup>st</sup> year	0,4	0,5	0,75
	2. rok – 2 <sup>nd</sup> year	0,75	0,8	0,85
	3. rok – 3 <sup>rd</sup> year	0,4	0,8-0,85	1
	od 4. roku – from 4 <sup>th</sup> year	0,3	0,8-0,95	1

Wartości ewapotranspiracji potencjalnej szparaga w warunkach ograniczonej powierzchni zwilżania (na obiektach nawadnianych kropłowo), obliczone za pomocą modeli Grabarczyka oraz Hargreavesa<sub>DA</sub>, były w dużym stopniu zbliżone (tab. 23 i 24). Średnie potrzeby wodne na obiektach kropłowych na plantacji plonującej, obliczone na podstawie modelu Hargreavesa<sub>DA</sub> (251 mm), okazały się wyższe niż wartości otrzymane za pomocą modelu Grabarczyka (248 mm). Różnice te jednak były niewielkie (3 mm). Potrzeby wodne okazały się ściśle uzależnione od warunków meteorologicznych w okresie wzrostu pędów asymilacyjnych szparaga. Wyższe wartości ewapotranspiracji potencjalnej uzyskano w latach o opadach niższych od średniej z wielolecia, zaklasyfikowanych jako sezony posuszne, a niższe w sezonach wilgotnych. Podczas sezonów posusznych w przypadku stosowania nawadniania kropłowego zanotowano większe potrzeby wodne szparaga, posługując się modelem Grabarczyka niż dla modelu Hargreavesa<sub>DA</sub> (tab. 23). Wartości te wahały się między 263 mm (w roku 2003) a 287 mm (w roku 2002). W przypadku lat wilgotnych wartości te wyniosły 193 mm (w roku 2004) oraz 205 mm (w roku 2007). Dla modelu Hargreavesa<sub>DA</sub> tendencje były odwrotne (tab. 24). W latach posuchy obliczone potrzeby wodne szparaga na obiektach kropłowych były niższe niż dla modelu Grabarczyka i wyniosły od 251 mm (w roku 2003) do 267 mm (w roku 2002). W latach wilgotnych wartości te były wyższe niż obliczone za pomocą modelu Grabarczyka i wyniosły odpowiednio 227 mm w roku 2004 i 241 mm w roku 2007. Analizując wartości ewapotranspiracji potencjalnej w poszczególnych miesiącach sezonu nawodnieniowego, można stwierdzić, iż potrzeby wodne szparaga wzrastały wraz z długością sezonu nawodnieniowego. Średnie wartości  $ET_p$  na plantacji plonującej wyniosły w trzeciej dekadzie czerwca: 7 i 8 mm; w lipcu: 104 i 108 mm oraz w sierpniu: 137 i 135 mm, odpowiednio dla modelu Grabarczyka i Hargreavesa<sub>DA</sub>.

Tabela 23. Ewapotranspiracja potencjalna szparaga w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach badań, obliczona według modelu Grabarczyka ( $ET_{pK}^G = ET_o^G \cdot k_c^G \cdot k_r^{FG}$ ) dla ograniczonej powierzchni zwilżania (nawadnianie kropłowe)

Table 23. Crop evapotranspiration of asparagus plants in irrigation period (VI-VIII), during the experimental years, calculated acc. to Grabarczyk's formula ( $ET_{pK}^G = ET_o^G \cdot k_c^G \cdot k_r^{FG}$ ) for limited wetting area (drip irrigation)

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma $ET_p$ roślin Total $ET_p$ crop [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	26,4*	35,2	71,6	133,2
2001	35,6*	88,3	104,8	229
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>31*</b>	<b>90,4</b>	<b>88,2</b>	<b>210</b>
2002	8,4**	98,4	180,4	287
2003	6,6**	94	162,8	263
2004	4,8**	72,4	115,5	193
2005	7,7**	120	145,2	273
2006	8**	161,5	100,1	270
2007	4,7**	80,7	119,9	205
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>6,7**</b>	<b>104,2</b>	<b>137,3</b>	<b>248</b>

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Tabela 24. Ewapotranspiracja potencjalna szparaga w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach badań, obliczona według modelu Hargreaves<sub>DA</sub> ( $ET_{pK}^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA} \cdot k_r^{FG}$ ) dla ograniczonej powierzchni zwilżania (nawadnianie kropłowe)

Table 24. Crop evapotranspiration of asparagus plants in irrigation period (VI-VIII), during the experimental years calculated acc. to Hargreaves<sub>DA</sub>'s formula ( $ET_{pK}^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA} \cdot k_r^{FG}$ ) for limited wetting area (drip irrigation)

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma $ET_p$ roślin Total $ET_p$ crop [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	30*	48,4	89,4	168
2001	47,7*	99	101,7	248
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>38,8*</b>	<b>73,7</b>	<b>95,5</b>	<b>208</b>
2002	9,52**	99,2	158	267
2003	6,9**	100,2	143,7	251
2004	6,9**	102,5	117,2	227
2005	8,1**	115,2	137	260
2006	8,3**	133,5	116,3	258
2007	6,5**	98,6	136,2	241
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>7,7**</b>	<b>108,2</b>	<b>134,7</b>	<b>251</b>

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Obliczone wartości potrzeb wodnych szparaga na obiektach o ograniczonej powierzchni zwilżania były istotnie zbieżne z połowym zużyciem wody na obiektach nawadnianych kropłowo (tab. 25). Wyższe współczynniki korelacji stwierdzono w przypadku zastosowania modelu Grabarczyka niż Hargreavesa<sub>DA</sub>. Wyniosły one odpowiednio w lipcu: 0,888 i 0,778 oraz sierpniu – 0,886 i 0,874.

Uzyskane wartości  $ET_{pK}$  szparaga w sezonie nawodnieniowym są zbieżne z uzyskanymi wartościami ewapotranspiracji potencjalnej obliczonej przez Pascholda i in. [2001, 2002]. Potrzeby wodne szparaga wyniosły 150-241 mm zależnie od sezonu wegetacji. Wykorzystywanie zastosowanego sposobu obliczania potrzeb wodnych roślin z wykorzystaniem współczynnika redukcyjnego jest zalecane także przez innych autorów, m.in Allena i in. [1998], Drukę [1986], Smitha [1992].

Tabela 25. Współczynniki korelacji (r) pomiędzy połowym zużyciem wody na obiektach nawadnianych kropłowo ( $S_K$ ) a ewapotranspiracją potencjalną obliczoną wzorem Grabarczyka ( $ET_{pK}^G = ET_o^G \cdot k_c^G \cdot k_r^{FG}$ ) i Hargreavesa<sub>DA</sub> ( $ET_{pK}^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA} \cdot k_r^{FG}$ ) w miesiącach VII i VIII dla ograniczonej powierzchni zwilżania (nawadnianie kropłowe)

Table 25. Correlation coefficients (r) between field water consumption on drip irrigated plots ( $S_K$ ) and crop evapotranspiration calculated by the Grabarczyk's ( $ET_{pK}^G = ET_o^G \cdot k_c^G \cdot k_r^{FG}$ ) and Hargreaves<sub>DA</sub> ( $ET_{pK}^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA} \cdot k_r^{FG}$ ) formulas in months VII and VIII for limited wetting area (drip irrigation)

Wyszczególnienie – Specification	$S_K$	
	VII	VIII
$ET_o^G \cdot k_c^G \cdot k_r^{FG}$ ( $ET_{pK}^G$ )	0,888*	0,886*
$ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA} \cdot k_r^{FG}$ ( $ET_{pK}^{HDA}$ )	0,778*	0,874*

$S_K$  – połowe zużycie wody na poletkach nawadnianych kropłowo – field water consumption at drip irrigated plots

\* poziom istotności  $\alpha = 0,05$

#### 4.1.3. Niedobory wody oraz potrzeby nawodnieniowe szparaga

Można uzyskać bardzo istotne informacje wynikające z określenia potrzeb wodnych, wyznaczając wartości określające niedobory wody oraz potrzeby nawodnieniowe. Obliczone wartości niedoborów wody dla roślin szparaga w odniesieniu do połowego zużycia wody oraz ewapotranspiracji potencjalnej obliczonej za pomocą modeli Grabarczyka i Hargreavesa<sub>DA</sub> dla różnych sposobów nawadniania (mikrozraszania i nawadniania kropłowego) przedstawiono w tabelach 26-31. Wielkość niedoborów wody w sezonie nawodnieniowym była ściśle uzależniona od przebiegu warunków opadowo-termicznych, niezależnie od sposobu wyznaczania potrzeb wodnych.

Średnie niedobory wody obliczone w odniesieniu do połowego zużycia wody na obiektach mikrozaszanych były wyższe od niedoborów wody na poletkach nawadnianych kropłowo, niezależnie od roku prowadzenia szparagarni. Wartości te wyniosły 113 i 148 mm, odpowiednio dla plantacji nieplonującej i plonującej (tab. 26 i 27). W przypadku obiektów nawadnianych kropłowo niedobory wody wyniosły na plantacji nieplonującej 90 mm, a na plonującej 114 mm. Najwyższe potrzeby nawodnieniowe stwierdzono w roku 2005 tak na poletkach mikrozaszanych, jak i nawadnianych kropłowo. Wartości te wyniosły odpowiednio 192 oraz 161 mm.

Tabela 26. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania szparaga w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach badań obliczone na podstawie polowego zużycia wody ( $S_M$ ) w warunkach mikrozaszrania

Table 26. Water deficiency and irrigation water needs of asparagus in irrigation period (VI-VIII), during the experimental years calculated on the base of field water consumption ( $S_M$ ) in conditions of microsprinkler irrigation

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma niedoborów wody Potrzeby nawodnieniowe Total water deficiency Irrigation needs [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	26,5*	14,6	46,9	88
2001	6,2*	31,7	100,4	138,3
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>16,3*</b>	<b>23,1</b>	<b>73,6</b>	<b>113,1</b>
2002	20,8**	26,5	125,1	172,4
2003	6,2**	13,9	134,8	155,0
2004	1,4**	53,6	29,6	84,6
2005	5,3**	86,9	100,3	192,5
2006	25,9**	125,1	16,0	167,0
2007	0,8**	30,3	82,5	113,6
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>10,2**</b>	<b>56,0</b>	<b>81,4</b>	<b>148,0</b>

$S_M$  – zużycie wody na poletkach mikrozaszraniach – water consumption at microsprinkled plots

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Tabela 27. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania szparaga w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach badań, obliczone na podstawie polowego zużycia wody ( $S_K$ ) w warunkach nawadniania kropłowego

Table 27. Water deficiency and irrigation water needs of asparagus in irrigation period (VI-VIII), during the experimental years calculated on the base of field water consumption ( $S_K$ ) in conditions of drip irrigation

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma niedoborów wody Potrzeby nawodnieniowe Total water deficiency Irrigation needs [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	17,3*	1,0	33,4	51,7
2001	10,2*	20,0	97,9	128,1
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>13,7*</b>	<b>10,5</b>	<b>65,6</b>	<b>89,8</b>
2002	9,8**	9,0	105,3	124,1
2003	5,3**	8,6	113,5	127,4
2004	1,0**	49,3	14,3	64,6
2005	4,8**	62,2	94,6	161,6
2006	16,6**	101,8	7,0	125,4
2007	1,7**	23,7	55,7	81,1
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>6,5**</b>	<b>42,4</b>	<b>66,7</b>	<b>114,0</b>

$S_K$  – zużycie wody na poletkach nawadnianych kropłowo – water consumption at drip irrigated plots

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Najniższe potrzeby nawodnieniowe natomiast stwierdzono w roku 2004, w którym wyniosły one 85 mm na poletkach mikrozaszanych oraz 65 mm na nawadnianych kroploво. Różnice te wynikały głównie z wielkości i rozkładu opadów atmosferycznych w tych dwóch sezonach wegetacyjnych. Rok 2005 charakteryzował się nierównomiernym rozkładem czasowym opadów: w ciągu 5 dekad nawodnieniowych wystąpiło bowiem tylko 9 mm opadu (tab. 10). W roku 2004 natomiast w miesiącach, w których prowadzono nawadnianie, występował dobry rozkład czasowy opadów.

Niezależnie od wariantu nawodnieniowego największe niedobory wody stwierdzono w lipcu i sierpniu na plantacji plonującej. Wyniosły one średnio: dla lipca 42 i 56 mm oraz sierpnia 67 i 81 mm, odpowiednio dla nawadniania kropłowego i mikrozaszania. W czerwcu (III dekada) potrzeby nawodnieniowe były z reguły minimalne i nie przekraczały średnio kilkunastu milimetrów.

Potrzeby nawodnieniowe, obliczone dla obiektów mikrozaszanych ( $ET_o \cdot k_c$ ) na podstawie kryterium klimatycznego (za pomocą modeli Grabarczyka oraz Hargreavesa<sub>DA</sub>), były zbliżone do wartości obliczonych na podstawie połowego zużycia wody (tab. 28 i 29). W przypadku modelu Grabarczyka wyniosły przeciętnie tyle samo (148 mm), natomiast w przypadku modelu Hargreavesa<sub>DA</sub> potrzeby były nieznacznie wyższe i wyniosły 153 mm. Największe różnice w niedoborach wody pomiędzy połowym zużyciem wody a obliczoną ewapotranspiracją potencjalną szparaga stwierdzono w roku posuszonym 2005, gdy różnica wielkości niedoborów wody wyniosła ponad 40 mm w przypadku modelu Hargreavesa<sub>DA</sub> (233 mm) i 50 mm – Grabarczyka (245 mm). Było to efektem wysokiej ewapotranspiracji wskaźnikowej ( $ET_o$ ) obliczonej za pomocą obu modeli w sierpniu. W poszczególnych miesiącach okresu nawodnieniowego stwierdzono różnice w odniesieniu do połowego zużycia wody nie przekraczały kilku milimetrów.

Tabela 28. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania szparaga w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach badań, obliczone według modelu Grabarczyka ( $ET_p^G = ET_o^G \cdot k_c^G$ ) w warunkach mikrozaszania

Table 28. Water deficiency and irrigation water needs of asparagus in irrigation period (VI-VIII), during the experimental years calculated acc. to Grabarczyk's formula ( $ET_p^G = ET_o^G \cdot k_c^G$ ) in conditions of microsprinkler irrigation

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma niedoborów wody Potrzeby nawodnieniowe Total water deficiency Irrigation needs [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	30*	12,4	47,8	90,2
2001	-0,5*	31,4	96,3	127,2
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>14,7*</b>	<b>21,9</b>	<b>72,0</b>	<b>108,6</b>
2002	17,0**	17,0	139,4	173,4
2003	8,0**	18,0	144,8	170,8
2004	3,0**	41,2	29,5	73,7
2005	21,5**	97,6	126,2	245,3
2006	26,5**	154,6	-4,4	176,7
2007	-20,5**	-4,8	70,9	45,6
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>9,2**</b>	<b>53,9</b>	<b>84,4</b>	<b>147,5</b>

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Tabela 29. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania szparaga w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach badań, obliczone według modelu Hargreaves<sub>DA</sub> ( $ET_p^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA}$ ) w warunkach mikrozraszania

Table 29. Water deficiency and irrigation water needs of asparagus in irrigation period (VI-VIII), during the experimental years calculated acc. to Hargreaves<sub>DA</sub>'s formula ( $ET_p^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA}$ ) in conditions of microsprinkler irrigation

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma niedoborów wody Potrzeby nawodnieniowe Total water deficiency Irrigation needs [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	24,0*	26,8	68,9	119,7
2001	2,8*	29,6	79,4	111,8
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>13,4*</b>	<b>28,2</b>	<b>74,1</b>	<b>115,7</b>
2002	19,8**	18,0	117,0	154,8
2003	9,0**	25,2	125,7	159,9
2004	10**	75,8	31,2	117,0
2005	23,1**	92,4	118,0	233,5
2006	27,7**	122,4	11,8	161,9
2007	-14,2**	15,7	87,2	88,7
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>12,6**</b>	<b>58,2</b>	<b>81,8</b>	<b>152,6</b>

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Przeciętne niedobory wody w warunkach nawadniania kropłowego szparaga, obliczone na podstawie kryterium klimatycznego, wyniosły dla plantacji plonującej 116 i 119 mm, odpowiednio dla modelu Grabarczyka i modelu Hargreaves<sub>DA</sub> (tab. 30 i 31). Różnice w odniesieniu do polowego zużycia wody mieściły się w zakresie kilku milimetrów. Analizując poszczególne miesiące okresu wegetacyjnego, w których prowadzono nawadnianie pędów asymilacyjnych szparaga, najmniejsze różnice stwierdzono w lipcu (1-5 mm), zależnie od zastosowanego modelu. Największe różnice zanotowano natomiast w sierpniu i czerwcu.

Zgodnie z zastosowanymi modelami obliczeniowymi w czerwcu wykazano brak potrzeb nawodnieniowych w odniesieniu do polowego zużycia wody. Sytuacja ta prawdopodobnie wystąpiła dlatego, iż przyjęte współczynniki korekcyjne dla tego miesiąca były bardzo niskie i znacznie zaniżały obliczoną ewapotranspirację potencjalną szparaga. Nie były to jednak różnice znaczące, gdyż niedobory wody obliczone na podstawie polowego zużycia wody wyniosły tylko 6,5 mm (tab. 27).

Zbliżone liczbowo wartości niedoborów wody do otrzymanych w doświadczeniu własnym (przy różnych sposobach ich określania) dla szparaga podają inni autorzy, m.in. Kaufmann [1977]. Autor ten wielkość potrzeb nawodnieniowych szacował dla warunków klimatycznych centralnej Europy w granicach 20-160 mm, zależnie od miejsca lokalizacji uprawy. Paschold i in. [2001] podają natomiast na podstawie wieloletnich doświadczeń przeprowadzonych w Instytucie Ogrodniczym w Geisenheim (Niemcy), iż potrzeby nawodnieniowe szparaga na plantacji plonującej zlokalizowanej na glebie piaszczystej kształtują się w zależności od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych na poziomie 48-153 mm. Hartmann [1981b] szacuje potrzeby nawodnie-



niowe szparaga na 72 mm. W doświadczeniu przeprowadzonym przez Pascholda i in. [2004] ustalono wartości 110-136 mm dla plantacji nieplonującej. Kaniszewski [2005b, 2006] podaje, iż potrzeby nawadniania szparaga wynoszą 100-150 mm. Knaflewski [1987] na podstawie doświadczenia z deszczowaniem rozsadnika szparaga określił średnie wegetacyjne potrzeby nawodnieniowe w latach prowadzenia doświadczenia na 55 mm. Dlatego też uzyskane w doświadczeniu własnym średnie wartości niedoborów wody za pomocą modeli klimatycznych oraz ich niewielkie różnice w odniesieniu do polowego zużycia wody, jak również zbieżności z wynikami doświadczeń Pascholda świadczą o ich wiarygodności oraz poprawności przeprowadzonych obliczeń.

Juan i in. [1999] określają potrzeby nawodnieniowe szparaga w zakresie od 132 do 242 mm, natomiast Pardo [1997] na poziomie 284 mm. Zdaniem Thicoipe'a i in. [1976] dla warunków południowej Europy potrzeby nawodnieniowe szparaga wynoszą 80-240 mm. Autorzy wyznaczyli te potrzeby w warunkach lizymetrycznych. Batilani [1997] podaje, iż potrzeby nawodnieniowe szparaga kształtują się w zakresie od 107 do 342 mm, zależnie od poziomu wilgotności gleby. Zaznaczyć jednak trzeba, iż wartości te wyznaczono dla warunków klimatycznych Hiszpanii, Francji i Włoch, różniących się znacznie od panujących w Niemczech i w Polsce.

Tabela 30. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania szparaga w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach badań, obliczone według modelu Grabarczyka ( $ET_{pK}^G = ET_o^G \cdot k_c^G \cdot k_r^{FG}$ ) dla ograniczonej powierzchni zwilżania (nawadnianie kropłowe)

Table 30. Water deficiency and irrigation water needs of asparagus in irrigation period (VI-VIII), during the experimental years calculated acc. to Grabarczyk's formula ( $ET_{pK}^G = ET_o^G \cdot k_c^G \cdot k_r^{FG}$ ) for limited wetting area (drip irrigation)

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma niedoborów wody Potrzeby nawodnieniowe Total water deficiency Irrigation needs [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	-9,6*	-22,8	34,6	2,2
2001	-12,4*	9,3	77,5	74,4
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>-11*</b>	<b>-6,7</b>	<b>56,0</b>	<b>38,3</b>
2002	4,4**	-4,6	139,4	139,2
2003	-7,4**	4,0	144,8	141,4
2004	-8,2**	30,4	29,5	51,7
2005	3,7**	80,0	126,2	209,9
2006	8**	130,5	-4,4	134,1
2007	-31,3**	-16,9	70,9	22,7
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>-5,1**</b>	<b>37,2</b>	<b>84,4</b>	<b>116,5</b>

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Tabela 31. Niedobory wody oraz potrzeby nawadniania szparaga w okresie nawodnieniowym (VI-VIII) w latach badań, obliczone według modelu Hargreaves<sub>DA</sub> ( $ET_{pK}^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA} \cdot k_r^{FG}$ ) dla ograniczonej powierzchni zwilżania (nawadnianie kropłowe)

Table 31. Water deficiency and irrigation water needs of asparagus in irrigation period (VI-VIII) during the experimental years, calculated acc. to Hargreaves<sub>DA</sub>'s formula ( $ET_{pK}^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA} \cdot k_r^{FG}$ ) for limited wetting area (drip irrigation)

Rok badań Experimental year	Miesiąc okresu nawodnieniowego Month of the irrigation period			Suma niedoborów wody Potrzeby nawodnieniowe Total water deficiency Irrigation needs [mm]
	VI	VII	VIII	
2000	-6,0*	-9,6	52,4	36,8
2001	-0,3*	20,0	74,7	94,4
<b>Średnia – Mean 2000-2001</b>	<b>-3,1*</b>	<b>5,2</b>	<b>63,5</b>	<b>65,6</b>
2002	5,5**	-3,8	117,0	118,7
2003	-7,1**	10,2	125,7	128,8
2004	-6,1**	60,5	31,2	85,6
2005	4,1**	75,2	118,0	197,3
2006	8,3**	102,5	11,8	122,6
2007	-29,5**	1,0	87,2	58,7
<b>Średnia – Mean 2002-2007</b>	<b>-4,1**</b>	<b>40,9</b>	<b>81,8</b>	<b>118,6</b>

\* cały miesiąc – whole month

\*\* III dekada – 3<sup>rd</sup> decade

Wyznaczone wskaźniki pokrycia potrzeb wodnych szparaga przedstawiono w tabeli 32. Opady naturalne nie pokrywały w pełni potrzeb wodnych szparaga niezależnie od metody ich wyznaczania i roku badań. Przeciętnie w latach badań pokrywały ok. 50% potrzeb wodnych. Znaczne różnice w wartościach wskaźników pokrycia potrzeb wodnych w latach badań wynikały głównie z wielkości i rozkładu naturalnych opadów deszczu w sezonie wegetacyjnym. Najbardziej korzystne warunki wilgotnościowe na obiektach nienawadnianych zapewniały opady deszczu w roku 2004 i 2007. Najbardziej niekorzystne warunki wodne wystąpiły natomiast w roku 2005, gdy wskaźnik pokrycia potrzeb wodnych zawierał się w przedziale 0,2-0,28, zależnie od metody jego określania (20-28% potrzeb).

Pełne pokrycie potrzeb wodnych było możliwe tylko poprzez zastosowanie uzupełniającego niedobory wody nawadniania. Obliczone wartości współczynników pokrycia zapotrzebowania na wodę wskazują, iż nawadnianie kropłowe i mikrozaszanie zapewnia optymalne warunki wilgotnościowe gleby, pozwalające na wykorzystanie potencjału produkcyjnego testowanej rośliny (szparaga).

Tabela 32. Wskaźniki pokrycia potrzeb wodnych szparaga dla różnych metod ich wyznaczenia w sezonie nawodnieniowym, średnio dla lat badań

Table 32. Indices of covering the water needs of asparagus for different methods their estimation in irrigation period, mean for studied years

Wskaźnik Index	Rok badań – Studied year									Średnia Mean **
	2000	2001	Średnia Mean *	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
S										
P/Q <sub>K</sub>	0,72	0,54	0,61	0,54	0,49	0,69	0,28	0,52	0,69	0,53
P/Q <sub>M</sub>	0,60	0,53	0,56	0,46	0,42	0,62	0,25	0,49	0,61	0,47
P+K/Q <sub>K</sub>	1,02	1,00	1,01	1,00	1,00	1,01	1,01	1,04	1,01	1,02
P+M/Q <sub>M</sub>	1,01	1,09	1,05	1,01	1,00	1,02	1,01	1,00	1,05	1,02
$ET_p^G = ET_o^G \cdot k_c^G$										
P/Q <sub>M</sub>	0,59	0,55	0,57	0,46	0,41	0,65	0,20	0,43	0,80	0,47
P+M/Q <sub>M</sub>	0,99	1,13	1,06	1,00	0,95	1,07	0,84	1,01	1,40	1,02
$ET_p^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA}$										
P/Q <sub>M</sub>	0,52	0,58	0,55	0,49	0,43	0,55	0,21	0,45	0,67	0,46
P+M/Q <sub>M</sub>	0,88	1,27	1,07	1,06	0,98	0,89	0,87	1,06	1,15	1,00
$ET_{pK}^G = ET_o^G \cdot k_c^G \cdot k_r^{FG}$										
P/Q <sub>K</sub>	0,98	0,67	0,82	0,51	0,46	0,73	0,23	0,50	0,89	0,53
P+K/Q <sub>K</sub>	1,40	1,23	1,31	0,95	0,95	1,08	0,83	0,97	1,30	0,99
$ET_{pK}^{HDA} = ET_o^{HDA} \cdot k_c^{HDA} \cdot k_r^{FG}$										
P/Q <sub>K</sub>	0,78	0,62	0,70	0,55	0,49	0,62	0,24	0,52	0,75	0,52
P+K/Q <sub>K</sub>	1,11	1,14	1,12	1,02	0,99	0,92	0,87	1,01	1,10	0,99

\* plantacja nieplonująca – unyielded plantation

\*\* plantacja plonująca – yielded plantation

## 4.2. Wpływ mikronawodnień na wzrost pędów asymilacyjnych szparaga

Zastosowane systemy nawodnieniowe istotnie wpłynęły na wysokość pędów asymilacyjnych szparaga (tab. 33) zarówno na plantacji nieplonującej, jak i plonującej. Średnia wysokość pędów w latach badań na poletkach nawadnianych plantacji plonującej wyniosła 181 cm. Przyrost wysokości pędu pod wpływem stosowanego nawadniania wyniósł średnio dla lat badań i odmian 11 cm w porównaniu z nienawadnianym obiektem kontrolnym, na którym wysokość pędów kształtowała się na poziomie 170 cm. Zaobserwowano różnice w wartościach tej cechy wzrostu w poszczególnych latach w zależności od zastosowanego systemu nawadniania. Były to jednak różnice nieistotne. Na obiektach kontrolnych wysokość pędów asymilacyjnych zależała głównie od wielkości opadów atmosferycznych, np. w charakteryzującym się niskimi opadami naturalnymi roku 2005 pędy asymilacyjne były najniższe (155,2 cm). Spośród trzech testowanych odmian istotnie najwyższe pędy asymilacyjne zmierzono u odmiany Gijnlim, niezależnie od wariantu wodnego. Przyrost wysokości dzięki zastosowanym systemom nawodnieniowym wyniósł średnio dla lat i systemów blisko 15 cm. Nie stwierdzono istotnej zależności pomiędzy zastosowanymi czynnikami doświadczenia.

Istotny wpływ nawadniania na wysokość pędów asymilacyjnych w roku poprzedzającym zbiory wykazali również inni autorzy, m.in. Drost i Wilcox-Lee [1997], Hartmann [1981a, b], Pardo i in. [1997], Rolbiecki i in. [2001], Paschold i in. [2004]. Sterrett in [1990] uzyskali w 3. i 4. roku uprawy średni przyrost wysokości pędów asymilacyjnych wynoszący 14 cm w porównaniu z nienawadnianą kontrolą. Rolbiecki i in. [2001] otrzymali zbliżone wyniki w doświadczeniu z niemieckimi rodami i odmianami (Ap, Gr i Schweitzinger Meisterschuss).

Tabela 33. Wysokość pędów asymilacyjnych szparaga w latach badań

Table 33. Height of the asparagus summer stalks in the experimental years

Wariant wodny Water variant	Odmiana Cultivar	Rok badań – Studied year								Średnia Mean **
		2000*	2001*	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
<b>O</b>	Gijnlim	90,0	147,5	162,0	197,3	188,8	161,3	171,4	176,2	176,2
	Ramos	77,8	131,8	155,5	196,3	172,5	157,0	162,8	169,6	169,0
	Vulkan	75,0	137,3	158,0	189,2	170,3	147,2	157,2	161,1	163,8
	$X_{sr}/X_{mean}$	<b>80,9</b>	<b>138,9</b>	<b>158,5</b>	<b>194,3</b>	<b>177,2</b>	<b>155,2</b>	<b>163,8</b>	<b>169,0</b>	<b>169,7</b>
<b>K</b>	Gijnlim	103,8	160,7	184,0	211,0	195,5	178,9	190,2	195,7	192,6
	Ramos	103,6	149,8	158,5	199,5	175,1	158,8	177,4	183,2	175,4
	Vulkan	94,0	146,7	160,0	212,8	177,5	151,2	170,1	177,5	174,9
	$X_{sr}/X_{mean}$	<b>100,5</b>	<b>152,4</b>	<b>167,5</b>	<b>207,8</b>	<b>182,7</b>	<b>163,0</b>	<b>179,2</b>	<b>185,5</b>	<b>180,9</b>
<b>M</b>	Gijnlim	97,8	152,6	191,5	205,6	190,1	164,0	192,8	191,8	189,3
	Ramos	96,5	144,6	167,0	191,2	178,2	160,8	183,2	179,4	176,6
	Vulkan	95,1	134,3	162,5	207,3	176,7	167,3	169,7	176,1	176,6
	$X_{sr}/X_{mean}$	<b>96,5</b>	<b>143,8</b>	<b>173,7</b>	<b>201,4</b>	<b>181,7</b>	<b>164,0</b>	<b>181,9</b>	<b>182,4</b>	<b>180,8</b>
Różnica Difference	<b>K-O</b>	<b>19,6</b>	<b>13,5</b>	<b>9,0</b>	<b>13,5</b>	<b>5,5</b>	<b>7,8</b>	<b>15,4</b>	<b>16,5</b>	<b>11,2</b>
	<b>M-O</b>	<b>15,6</b>	<b>4,9</b>	<b>15,2</b>	<b>7,1</b>	<b>4,5</b>	<b>8,8</b>	<b>18,1</b>	<b>13,4</b>	<b>11,1</b>
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> Nawadnianie (I) Irrigation (I)		12,653	11,033	6,912	9,601	5,026	6,781	10,482	7,941	5,279
Odmiana (II) Cultivar (II)		4,481	10,226	8,779	9,556	10,384	9,715	8,369	5,642	4,741
Interakcja: Interaction:										
(IxII)		ni – ns					ni – ns			
(IIxI)		ni – ns					ni – ns			

ni – ns – nieistotne – non-significant

\* plantacja nieplonująca – unyielded plantation

\*\* plantacja plonująca – yielded plantation

Zastosowanie mikronawodnień istotnie zwiększyło liczbę pędów asymilacyjnych na jednej roślinie (tab. 34). Średnia liczba pędów na obiektach nawadnianych wyniosła 5 szt. na roślinie i w stosunku do nienawadnianej kontroli przyrost wyniósł średnio dla odmian 1 szt. na roślinie. Zaobserwowane różnice w liczbie pędów na roślinie w latach badań były w większości nieistotne. Istotnie większą liczbę pędów asymilacyjnych stwierdzono na roślinach z poletek mikrozaszanych tylko w roku 2002. Spośród uprawianych w doświadczeniu odmian istotnie większą liczbą pędów asymilacyjnych cechowała się odmiana Gijnlim, najmniejszą natomiast ‘Vulkan’. Nie stwierdzono, tak jak w przypadku wysokości pędów, interakcji czynników doświadczalnych w kształto-

waniu tej cechy. Wskazują na to też badania odmianowe przeprowadzone w Holandii w ramach 3<sup>rd</sup> IACT, z których wynika, że odmiana Gijnlim charakteryzowała się największą liczbą pędów spośród 41 testowanych odmian [Mulder i Lavrijsen 2008].

Tabela 34. Liczba pędów asymilacyjnych szparaga w latach badań

Table 34. Number of the asparagus summer stalks in the experimental years

Wariant wodny Water variant	Odmiana Cultivar	Rok badań – Studied year								Średnia Mean **
		2000*	2001*	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
<b>O</b>	Gijnlim	2,9	4,3	4,9	4,9	3,7	3,6	4,8	5,1	4,5
	Ramos	2,7	4,7	3,4	3,9	2,1	3,0	4,1	4,8	3,6
	Vulkan	2,7	4,4	3,4	3,5	3,0	3,0	3,9	4,5	3,6
	<b>X<sub>śr</sub>/X<sub>mean</sub></b>	<b>2,8</b>	<b>4,5</b>	<b>3,9</b>	<b>4,1</b>	<b>2,9</b>	<b>3,2</b>	<b>4,3</b>	<b>4,8</b>	<b>3,9</b>
<b>K</b>	Gijnlim	5,1	5,9	7,2	4,9	4,1	4,1	6,2	6,6	5,5
	Ramos	3,7	4,9	5,2	4,6	2,8	3,9	5,4	5,9	4,6
	Vulkan	3,5	4,4	5,2	4,2	3,4	3,2	5,5	5,2	4,5
	<b>X<sub>śr</sub>/X<sub>mean</sub></b>	<b>4,1</b>	<b>5,1</b>	<b>5,9</b>	<b>4,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,7</b>	<b>5,7</b>	<b>5,9</b>	<b>4,9</b>
<b>M</b>	Gijnlim	4,0	5,4	8,3	4,7	3,8	4,1	6,4	6,8	5,7
	Ramos	3,5	5,6	5,7	5,1	2,9	3,2	5,7	5,5	4,7
	Vulkan	3,6	5,0	5,4	4,6	3,1	3,2	5,0	5,1	4,4
	<b>X<sub>śr</sub>/X<sub>mean</sub></b>	<b>3,7</b>	<b>5,3</b>	<b>6,5</b>	<b>4,8</b>	<b>3,3</b>	<b>3,5</b>	<b>5,7</b>	<b>5,8</b>	<b>4,9</b>
Różnica Difference	<b>K–O</b>	<b>1,3</b>	<b>0,6</b>	<b>2,0</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,0</b>
	<b>M–O</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>2,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>1,4</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> Nawadnianie (I) Irrigation (I)		0,625	0,542	0,547	0,695	0,331	0,352	0,631	0,872	0,709
Odmiana (II) Cultivar (II)		0,314	0,421	0,335	0,546	0,449	0,487	0,371	0,573	0,369
Interakcja: Interaction: (IxII)		ni – ns		0,722		ni – ns				
(IIxI)		ni – ns		ni – ns		ni – ns				

ni – ns – nieistotne – non-significant

\* plantacja nieplonująca – unyielded plantation

\*\* plantacja plonująca – yielded plantation

Pozytywny wpływ nawadniania kropłowego na wzrost liczby pędów asymilacyjnych przedstawili – w warunkach Niemiec, najbardziej zbliżonych do polskich – Hartmann [1981b], Hartmann i in. [1990] i Paschold i in. [2004]. Drost [1999] podaje, iż w warunkach klimatu suchego obniżanie wilgotności gleby piaszczystej poniżej -50 kPa powoduje zmniejszenie liczby oraz wysokości pędów w porównaniu z wariantami nawadnianymi. Sterrett i in. [1990] uzyskali wzrost liczby pędów dzięki nawadnianiu średnio o 4 szt. na roślinie, a Battilani [1997] na poziomie 1 szt. na roślinie. Pacholak i in. [1995] odnotowali również wysoką efektywność systemu kropłowego w uprawie wieloletnich upraw sadowniczych.

W doświadczeniu własnym stwierdzono istotny wpływ zastosowanych systemów nawodnieniowych na wzrost średnicy pędów asymilacyjnych (tab. 35). Na poletkach nawadnianych średnica pędów wzrosła średnio o 2 mm i wyniosła blisko 16 mm. Nie stwierdzono istotnych różnic w obrębie testowanych odmian. Zanotowano różnice w wartościach

tej cechy w latach badań, jednak różnice te były nieistotne. Istotny wpływ nawadniania kropowego na średnicę pędu zaobserwowali także inni autorzy m.in. Sterrett i in. [1990], Contador [1991], Rubio [1992] i Battilani [1997].

Tabela 35. Średnica pędów asymilacyjnych szparaga w latach badań

Table 35. Diameter of the asparagus summer stalks in the experimental years

Wariant wodny Water variant	Odmiana Cultivar	Rok badań – Studied year								Średnia Mean **
		2000*	2001*	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
<b>O</b>	Gijnlim	4,5	12,8	16,0	14,0	15,3	13,6	14,5	15,6	14,8
	Ramos	3,7	12,2	17,1	15,4	15,1	13,1	13,4	15,2	14,9
	Vulkan	4,8	11,9	16,9	14,4	14,9	12,8	13,8	13,9	14,4
	$X_{sr}/X_{mean}$	<b>4,3</b>	<b>12,3</b>	<b>16,3</b>	<b>14,6</b>	<b>15,1</b>	<b>13,2</b>	<b>13,9</b>	<b>14,9</b>	<b>14,7</b>
<b>K</b>	Gijnlim	7,4	15,6	16,3	16,3	15,7	14,6	15,2	16,8	15,8
	Ramos	5,4	13,6	17,5	15,0	15,9	13,4	14,9	16,4	15,5
	Vulkan	5,2	13,1	17,9	15,2	15,7	13,8	15,1	15,9	15,6
	$X_{sr}/X_{mean}$	<b>6,0</b>	<b>14,1</b>	<b>17,2</b>	<b>15,5</b>	<b>15,8</b>	<b>13,9</b>	<b>15,1</b>	<b>16,4</b>	<b>15,6</b>
<b>M</b>	Gijnlim	7,2	14,7	15,2	17,1	16,4	14,3	15,5	16,4	15,8
	Ramos	6,8	13,8	17,2	15,2	16,4	14,5	16,2	15,9	15,9
	Vulkan	6,2	13,6	17,8	16,2	15,3	14,9	15,4	16,2	16,0
	$X_{sr}/X_{mean}$	<b>6,7</b>	<b>14,0</b>	<b>16,7</b>	<b>16,2</b>	<b>16,0</b>	<b>14,6</b>	<b>15,7</b>	<b>16,2</b>	<b>15,9</b>
Różnica Difference	<b>K-O</b>	<b>1,7</b>	<b>1,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>0,9</b>
	<b>M-O</b>	<b>2,4</b>	<b>1,7</b>	<b>0,4</b>	<b>1,6</b>	<b>0,9</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> Nawadnianie (I) Irrigation (I)		1,548	1,030	ni – ns	1,425	ni – ns	1,130	1,167	1,261	0,555
Odmiana (II) Cultivar (II)		ni – ns		ni – ns		ni – ns				
Interakcja: Interaction:										
(IxII)		ni – ns		0,841		ni – ns				
(IIxI)		ni – ns		ni – ns		ni – ns				

ni – ns – nieistotne – non-significant

\* plantacja nieplonująca – unyielded plantation

\*\* plantacja plonująca – yielded plantation

Według wielu autorów nawadnianie istotnie wpływa na wzrost pędów asymilacyjnych, a w konsekwencji – na plon wypustek szparaga w roku następnym [Kaufmann 1977, Bussell 1985, Hartmann 1985, Jerez 1990, Kaufmann 1990, Ferreyra i in. 1995, Paschold i in. 1999]. Rolbiecki i Rolbiecki [2008] na podstawie wyników doświadczenia odmianowego założonego w roku 2003 (przeprowadzonego w ramach 3<sup>rd</sup> IACT), w którym porównywano 31 odmian szparaga, stwierdzili istotny wpływ nawadniania kropowego na kształtowanie się pędów asymilacyjnych oraz plon w pierwszym roku zbiorów. Wpływ nawadniania przejawiał się zwiększoną akumulacją węglowodanów w karpach szparagowych roślin rosnących w optymalnych warunkach wilgotnościowych, które roślina wykorzystuje w sezonie wiosennym roku zbiorów [Downtown i Torokfalvy 1975, Wilcox-Lee 1987, Pressman i in. 1989, 1994, Martin i Hartmann 1990, Roth i Gardner 1990, Sterrett i in. 1990, Drost 1996, 1999].

W tabeli 36 przedstawiono współczynniki korelacji pomiędzy sumą opadów i dawek nawodnieniowych a analizowanymi cechami wzrostu pędów asymilacyjnych. Najwyższe wartości współczynnika korelacji stwierdzono pomiędzy sumą opadów i dawek nawodnieniowych od czerwca do lipca a liczbą pędów asymilacyjnych szparaga ( $r = 0,716$ ). W pozostałych analizowanych okresach zależności były również wysokie w przypadku tej cechy wzrostu. Niższe, aczkolwiek również wysokie wartości, stwierdzono w przypadku średnicy pędów. Najniższe były natomiast wartości współczynnika korelacji pomiędzy warunkami wodnymi w sezonie nawodnieniowym a wysokością pędów asymilacyjnych. Istotną zależność w tym przypadku znaleziono tylko dla sumy opadów i dawek nawodnieniowych w okresie od czerwca do sierpnia ( $r = 0,404$  przy  $\alpha = 0,1$ ).

Tabela 36. Współczynniki korelacji pomiędzy sumą opadów i dawek nawodnieniowych (P+D) a wybranymi parametrami wzrostu pędów asymilacyjnych szparaga średnio dla odmian

Table 36. Correlation coefficients between sum of rainfall and irrigation rates (P+D) and chosen parameters of summer stalks growth, average values for cultivars

Wyszczególnienie Specification	P+D				
	VII	VIII	VI-VII	VII-VIII	VI-VIII
Wysokość pędów asymilacyjnych Height of summer stalks	0,252	0,333	0,324	0,342	0,404***
Liczba pędów asymilacyjnych Number of summer stalks	0,651*	0,474**	0,716*	0,635*	0,689*
Średnica pędów asymilacyjnych Diameter of summer stalks	0,528**	0,524**	0,592*	0,604*	0,649*

P+D – opad i dawka wody – rainfall and irrigation water rate

\*  $r_{kryt.0,01}/r_{crit.0,01} = 0,589$

\*\*  $r_{kryt.0,05}/r_{crit.0,05} = 0,468$

\*\*\*  $r_{kryt.0,1}/r_{crit.0,1} = 0,400$

### 4.3. Wpływ mikronawodnień na plon handlowy szparaga

Wielkość plonu handlowego na poletkach kontrolnych (bez nawadniania) kształtowała się na poziomie  $5,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (tab. 37). Zastosowanie mikronawodnień na glebie bardzo lekkiej wpłynęło istotnie na wysokość plonu handlowego bielonych wypustek szparaga. Wielkość plonu na obiektach nawadnianych kropłowo wyniosła  $8,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , natomiast na obiektach mikrozaszanych –  $8,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Nawadnianie spowodowało istotny przyrost plonu handlowego średnio dla lat i odmian o  $2,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (51%) w przypadku nawadniania kropłowego oraz o  $2,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (49%) dla mikrozaszania. Nie stwierdzono istotnych różnic w wielkościach plonu w zależności od zastosowanego w doświadczeniu systemu mikronawodnień. Również nieistotne różnice w plonie handlowym wystąpiły w różnych latach badań. Otrzymane wyniki są zbieżne z rezultatami badań autorów zagranicznych. Hartmann [1981a, b] w warunkach Niemiec uzyskał dzięki nawadnianiu kropłowemu w doświadczeniu na glebie piaszczystej przyrost plonu na poziomie 50% i 25% na piasku gliniastym. Paschold i in. [1996, 1999, 2008] natomiast, przeprowadzając doświadczenie odmianowe z zastosowaniem nawadniania kropłowego, najwyższe plony handlowe zanotowali u odmiany Gijnlim. W doświadczeniu własnym najwyższe plony tak na obiektach kontrolnych (bez nawadniania), jak i na obiektach nawadnianych uzyskano również w przypadku odmiany Gijnlim. Plon handlowy tej odmiany na polet-

kach nawadnianych wyniósł średnio  $10,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , osiągając w niektórych latach poziom  $11 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  na poletkach nawadnianych kropłowo (przyrost plonu pod wpływem nawadniania wyniósł średnio ponad  $4,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Niższe plony stwierdzono u dwóch pozostałych odmian: Ramos i Vulkan. Pinkau i Grutz [1985] uzyskali znacznie niższe przyrosty plonu handlowego wypustek – średnio na poziomie 12,4%. Jednak najwyższe przyrosty plonu stwierdzili w latach suchych. Mulder i Lavrijsen [2008] w doświadczeniu przeprowadzonym w Holandii w warunkach nawadniania deszczownianego uzyskali najwyższe plony w uprawie odmiany Gijnlim, wynoszące w pierwszym roku zbiorów  $4,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , a w drugim już  $12,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . W doświadczeniu własnym w tych samych latach uzyskano  $5,0$  i  $11,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  na poletkach mikrozaszanych. Odnotowana w doświadczeniu własnym i innych autorów istotna pozytywna reakcja na nawadnianie u odmiany Gijnlim (bardzo wysoki plon handlowy wypustek) pozwala na stwierdzenie, iż ta odmiana jest szczególnie zalecana do uprawy w optymalnych warunkach wilgotnościowych.

Tabela 37. Plon handlowy bielonych wypustek szparaga w latach badań

Table 37. Marketable yield of the asparagus white spears in the experimental years

Wariant wodny Water variant	Odmiana Cultivar	Rok badań – Studied year							Średnia Mean **
		2002*	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
<b>O</b>	Gijnlim	3,0	7,7	6,2	6,5	6,4	6,0	6,1	6,5
	Ramos	2,2	6,2	5,2	5,8	5,1	5,3	5,0	5,4
	Vulkan	2,4	5,7	5,0	5,6	4,8	4,9	4,1	5,0
	$X_{\text{sr}}/X_{\text{mean}}$	<b>2,5</b>	<b>6,5</b>	<b>5,5</b>	<b>6,0</b>	<b>5,4</b>	<b>5,4</b>	<b>5,1</b>	<b>5,7</b>
<b>K</b>	Gijnlim	4,7	10,3	9,5	9,3	8,9	11,5	11,1	10,9
	Ramos	3,4	7,8	8,0	7,6	7,5	8,5	8,8	8,0
	Vulkan	3,1	7,4	7,5	7,0	7,3	8,1	7,6	7,4
	$X_{\text{sr}}/X_{\text{mean}}$	<b>3,7</b>	<b>8,5</b>	<b>8,3</b>	<b>8,0</b>	<b>7,9</b>	<b>9,4</b>	<b>9,2</b>	<b>8,6</b>
<b>M</b>	Gijnlim	5,1	11,2	9,5	9,0	8,8	10,5	10,8	10,0
	Ramos	3,9	8,2	7,7	8,2	7,6	8,7	9,1	8,2
	Vulkan	3,5	7,9	7,2	6,9	7,0	7,8	7,5	7,4
	$X_{\text{sr}}/X_{\text{mean}}$	<b>4,2</b>	<b>9,1</b>	<b>8,1</b>	<b>8,0</b>	<b>7,8</b>	<b>9,0</b>	<b>9,1</b>	<b>8,5</b>
Różnica Difference	<b>K–O</b>	<b>1,2</b>	<b>2,0</b>	<b>2,8</b>	<b>2,0</b>	<b>2,5</b>	<b>4,0</b>	<b>4,1</b>	<b>2,9</b>
	<b>M–O</b>	<b>1,7</b>	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>	<b>2,0</b>	<b>2,4</b>	<b>3,6</b>	<b>4,0</b>	<b>2,8</b>
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> Nawadnianie (I) Irrigation (I)		0,672	0,678	0,981	0,448	0,761	0,646	0,322	0,730
Odmiana (II) Cultivar (II)		0,472	0,356	0,490	0,602	0,785	0,685	0,477	0,311
Interakcja: Interaction: (IxII)		ni – ns	0,841	ni – ns	ni – ns	ni – ns	ni – ns	0,746	0,851
(IIxI)		ni – ns	ni – ns	ni – ns	ni – ns	ni – ns	ni – ns	0,826	0,539

ni – ns – nieistotne – non-significant

\* pierwszy krótki zbiór (3 tygodnie) – first short harvest (3 weeks)

\*\* plantacja plonująca – yielded plantation

Warunki takie zapewnią – co udowodniono we wcześniejszych rozdziałach pracy – nawadnianie tak kropłowe, jak i mikrozaszanie. Schaller i Paschold [2009] podają, iż odmiana Gijnlim jest bardzo wrażliwa na stres suszy (drought stress), co może tłumaczyć bardzo pozytywną reakcję na nawadnianie w postaci wysokiego plonu wypustek.



W doświadczeniach odmianowych przeprowadzonych w rejonie Wielkopolski przez Knaflewskiego i in. [1998, 2007, 2008] najwyższy plon handlowy bez nawadniania – w wielkości od 1,8 do 7,5 t·ha<sup>-1</sup>, zależnie od wieku plantacji – stwierdzono również dla odmiany Gijnlim. Osiągnięty przez cytowanych autorów plon handlowy w przypadku odmiany Ramos wyniósł 5,1 t·ha<sup>-1</sup> [Knaflewski i in. 2008]. Plony handlowe wypustek uzyskane w doświadczeniu własnym na obiektach kontrolnych były bardzo zbliżone do podawanych przez Knaflewskiego i in. [2008] i kształtowały się dla odmiany Gijnlim na poziomie 3-7,7 t·ha<sup>-1</sup>, a dla ‘Ramos’ 2,2-6,2 t·ha<sup>-1</sup>.

Wielu innych autorów przedstawia także istotny wpływ nawadniania na wzrost plonu wypustek szparaga uprawianego w odmiennych od polskiej strefach klimatycznych [Roth i Gardner 1990, Sterrett i in. 1990, Drost i Wilcox-Lee 1997, Drost 1999].

Wielkość plonu handlowego szparaga uzyskanego w doświadczeniu własnym była efektem zwiększonej masy pojedynczej wypustki, jak również ich liczby z jednej karpny (tab. 38 i 39).

Tabela 38. Średnia masa wypustek szparaga w latach badań

Table 38. Mean weight of the asparagus spears in the experimental years

Wariant wodny Water variant	Odmiana Cultivar	Rok badań – Studied year							Średnia Mean **
		2002*	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
<b>O</b>	Gijnlim	19,8	34,4	24,8	26,7	20,2	24,1	23,2	25,6
	Ramos	13,8	34,4	30,9	30,0	25,8	27,5	24,3	28,8
	Vulkan	14,4	30,2	27,9	24,8	20,8	23,3	21,4	24,7
	<b>X<sub>śr</sub>/X<sub>mean</sub></b>	<b>16,0</b>	<b>33,0</b>	<b>27,9</b>	<b>27,2</b>	<b>22,3</b>	<b>25,0</b>	<b>23,0</b>	<b>26,4</b>
<b>K</b>	Gijnlim	27,4	37,7	30,0	30,1	26,3	34,2	33,5	32,0
	Ramos	20,2	38,3	33,5	33,0	28,5	31,4	32,7	32,9
	Vulkan	18,0	35,4	30,9	28,6	25,0	30,6	31,1	30,3
	<b>X<sub>śr</sub>/X<sub>mean</sub></b>	<b>21,9</b>	<b>37,1</b>	<b>31,5</b>	<b>30,6</b>	<b>26,6</b>	<b>32,1</b>	<b>32,4</b>	<b>31,7</b>
<b>M</b>	Gijnlim	31,2	37,8	25,9	28,8	25,6	34,1	34,0	31,0
	Ramos	23,4	39,2	33,7	30,8	27,8	32,6	33,1	32,8
	Vulkan	21,4	36,7	31,0	28,3	25,2	31,0	32,6	30,8
	<b>X<sub>śr</sub>/X<sub>mean</sub></b>	<b>25,3</b>	<b>37,9</b>	<b>30,2</b>	<b>29,3</b>	<b>26,2</b>	<b>32,6</b>	<b>33,2</b>	<b>31,5</b>
Różnica Difference	<b>K-O</b>	<b>5,9</b>	<b>4,1</b>	<b>3,6</b>	<b>3,4</b>	<b>4,3</b>	<b>7,1</b>	<b>9,4</b>	<b>5,3</b>
	<b>M-O</b>	<b>9,3</b>	<b>4,9</b>	<b>2,3</b>	<b>2,1</b>	<b>3,9</b>	<b>7,6</b>	<b>10,2</b>	<b>5,1</b>
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> Nawadnianie (I) Irrigation (I)		4,535	3,257	2,930	3,419	1,726	5,629	6,476	2,753
Odmiana (II) Cultivar (II)		3,175	2,102	3,008	2,604	1,685	1,472	1,136	1,284
Interakcja: Interaction:									
(IxII)		ni – ns				ni – ns			
(IIxI)		ni – ns				ni – ns			

ni – ns – nieistotne – non-significant

\* pierwszy krótki zbiór (3 tygodnie) – first short harvest (3 weeks)

\*\* plantacja plonująca – yielded plantation

Średnia masa jednej wypustki wyniosła na obiektach kontrolnych 26 g (tab. 38). Masa wypustki zmieniała się w latach badań. Wypustkami o największej masie charakteryzowała się odmiana Ramos (29 g), nieznacznie lżejszymi ‘Gijnlim’ (26 g), a najlżejszymi odmiana Vulkan (25 g).

Tabela 39. Średnia liczba wypustek szparaga w latach badań

Table 39. Mean number of the asparagus spears in the experimental years

Wariant wodny Water variant	Odmiana Cultivar	Rok badań – Studied year							Średnia Mean **
		2002*	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
<b>O</b>	Gijnlim	5,5	14,9	12,8	11,6	10,6	12,1	12,4	12,4
	Ramos	3,5	10,8	8,1	8,4	7,9	10,5	10,2	9,3
	Vulkan	4,1	11,9	9,2	8,6	9,2	11,0	10,6	10,0
	$X_{sr}/X_{mean}$	<b>4,4</b>	<b>12,5</b>	<b>10,0</b>	<b>9,5</b>	<b>9,2</b>	<b>11,2</b>	<b>11,1</b>	<b>10,6</b>
<b>K</b>	Gijnlim	6,1	18,2	12,9	13,4	12,2	16,5	16,2	14,9
	Ramos	4,0	11,9	9,4	10,3	10,0	13,2	13,7	11,4
	Vulkan	4,2	12,4	9,6	9,9	9,0	14,7	13,5	11,5
	$X_{sr}/X_{mean}$	<b>4,8</b>	<b>14,2</b>	<b>10,6</b>	<b>11,2</b>	<b>10,4</b>	<b>14,8</b>	<b>14,5</b>	<b>12,6</b>
<b>M</b>	Gijnlim	6,7	17,9	14,2	13,5	12,5	16,3	16,1	15,1
	Ramos	4,5	12,0	9,9	10,0	11,5	14,2	13,8	11,9
	Vulkan	4,7	11,8	10,0	9,2	8,9	13,6	13,0	11,1
	$X_{sr}/X_{mean}$	<b>5,3</b>	<b>13,9</b>	<b>11,4</b>	<b>10,9</b>	<b>11,0</b>	<b>14,7</b>	<b>14,3</b>	<b>12,7</b>
Różnica Difference	<b>K-O</b>	<b>0,4</b>	<b>1,7</b>	<b>0,6</b>	<b>1,7</b>	<b>1,2</b>	<b>3,6</b>	<b>3,4</b>	<b>2,0</b>
	<b>M-O</b>	<b>0,9</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>3,5</b>	<b>3,2</b>	<b>2,1</b>
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub> Nawadnianie (I) Irrigation (I)		0,592	1,286	0,919	1,059	1,261	2,351	2,659	1,061
Odmiana (II) Cultivar (II)		0,492	1,098	0,731	0,927	1,820	1,873	1,748	0,689
Interakcja: Interaction: (IxII)		ni – ns					ni – ns		
(IIxI)		ni – ns					ni – ns		

ni – ns – nieistotne – non-significant

\* pierwszy krótki zbiór (3 tygodnie) – first short harvest (3 weeks)

\*\* plantacja plonująca – yielded plantation

Zastosowane systemy nawadnieniowe istotnie zwiększyły masę jednej wypustki. Średnio wyniosła ona 31,7 i 31,5 g, odpowiednio dla nawadniania kropkowego i mikro-zraszania. Średni przyrost masy wyniósł zatem 5 g, niezależnie od zastosowanego systemu nawadniania. Różnice w przyrostach masy pojedynczej wypustki wahały się w latach badań. Największe różnice tych wartości w zależności od tego, czy szparagi były uprawiane na poletkach kontrolnych czy nawadnianych stwierdzono w roku 2008 oraz 2007, kiedy dla pochodzących z poletek nawadnianych wyniosły średnio 9,8 i 7,4 g. Stwierdzone różnice powstałe na skutek zastosowanego systemu nawadniania były nieistotne. Wypustkami o największej masie charakteryzowała się średnio w latach badań odmiana Ramos, nieznacznie lżejsze wypustki uzyskano u odmiany Gijnlim. Knaflewski i in. [2008] w badaniach odmianowych uzyskali wypustki odmiany Gijnlim o masie na poziomie 30,9 g, a odmiany Ramos – 29,4 g. Doświadczenie to było jednak przeprowadzone na lepszej glebie. Wyniki innego doświadczenia Knaflewskiego i in. [1998] wskazują, iż masa pojedynczej wypustki w pierwszym roku wyniosła 20,2 oraz 19,5 g, odpowiednio dla odmiany Gijnlim i Vulkan. Były to wartości zbliżone do masy wypustek uzyskanych w tym samym roku zbiorów w doświadczeniu własnym bez nawadniania.

Masa wypustek odmiany Gijnlim w doświadczeniach przeprowadzonych przez Muldera i Lavrijsena [2008] w warunkach nawodnień wyniosła ok. 40 g. Paschold i in. [2008] uzyskali natomiast zbliżone wartości jak autor w badaniach własnych – na poziomie 35 g, a Sterrett i in. [1990] w 5. roku uprawy wypustki o masie 25 g.

Na skutek nawadniania zwiększyła się liczba wypustek z jednej karpy średnio dla lat badań, odmian oraz systemów nawadniania o 2 szt na roślinie (tab. 39). Średnio w latach badań uzyskano 10,6; 12,6 i 12,7 szt. na roślinie, odpowiednio na poletkach kontrolnych, nawadnianych kropłowo i mikrozaszanych. Największą liczbę wypustek uzyskano u odmiany Gijnlim, średnio dla lat badań 15 szt. na roślinie. W odniesieniu do obiektu kontrolnego (bez nawadniania) różnica wyniosła 3 szt. na roślinie. Zwiększenie liczby wypustek szparagowych pod wpływem nawadniania kropłowego uzyskali również Hartmann [1981b] oraz Paschold i in. [1996].

Wielkość plonu uzyskanego w sezonie wiosennym była ściśle uzależniona od warunków termicznych panujących w czasie zbioru. Stwierdzono istotne zależności pomiędzy sumą temperatur w okresie od trzeciej dekady kwietnia do drugiej dekady czerwca a parametrami plonu oraz samym plonem handlowym wypustek szparaga (tab. 40).

Tabela 40. Współczynniki korelacji pomiędzy sumą temperatur w okresie zbiorów ( $\Sigma t_{3dIV-2dVI}$ ) a wybranymi parametrami plonu szparaga

Table 40. Correlation coefficients between sum of temperatures during the harvest season ( $\Sigma t_{3dIV-2dVI}$ ) and chosen features of yield

Wyszczególnienie – Specification	Odmiana – Cultivar			
	Gijnlim	Ramos	Vulkan	Wszystkie odmiany All cultivars
Plon handlowy Marketable yield	0,689**	0,540***	0,812*	0,814*
Masa 1 wypustki Weight of the single spear	0,814*	0,459	0,281	0,681**
Liczba wypustek z 1 rośliny Number of the spears from 1 plant	0,872*	0,820*	0,844*	0,910*

\*  $r_{kryt.0,01}/r_{crit.0,01} = 0,707$

\*\*  $r_{kryt.0,05}/r_{crit.0,05} = 0,658$

\*\*\*  $r_{kryt.0,1}/r_{crit.0,1} = 0,497$

Suma temperatur w czasie zbioru była istotnie skorelowana z liczbą wypustek, ich masą oraz plonem handlowym. Najwyższy współczynnik korelacji ( $r = 0,910$  przy  $\alpha = 0,01$ ) stwierdzono dla liczby wypustek oraz plonu handlowego dla wszystkich odmian. W obrębie uprawianych odmian najwyższe wartości współczynnika korelacji stwierdzono dla masy pojedynczej wypustki oraz ich liczby dla odmiany Gijnlim. Knaflewski i Spizewski [1999] stwierdzili, iż wahania temperatury w czasie zbioru powodowały zmiany w wielkości plonu.

W tabeli 41 przedstawiono wartości współczynników korelacji pomiędzy liczbą pędów asymilacyjnych a liczbą wypustek szparagowych uzyskanych w czasie zbioru. Najwyższe wartości stwierdzono również w przypadku odmiany Gijnlim. Przy poziomie istotności  $\alpha = 0,01$  wartości współczynnika korelacji wyniosły 0,938 oraz 0,892, odpowiednio dla liczby wypustek i plonu handlowego. Knaflewski [1994] oraz Knaflewski i in. [2007] podają wartości współczynnika korelacji dla tej samej zależności  $r = 0,30$  oraz w zakresie od 0,46 do 0,92, zależnie od liczby testowanych odmian i poziomu istotności.

Tabela 41. Współczynniki korelacji pomiędzy liczbą pędów asymilacyjnych a wybranymi parametrami plonu szparaga

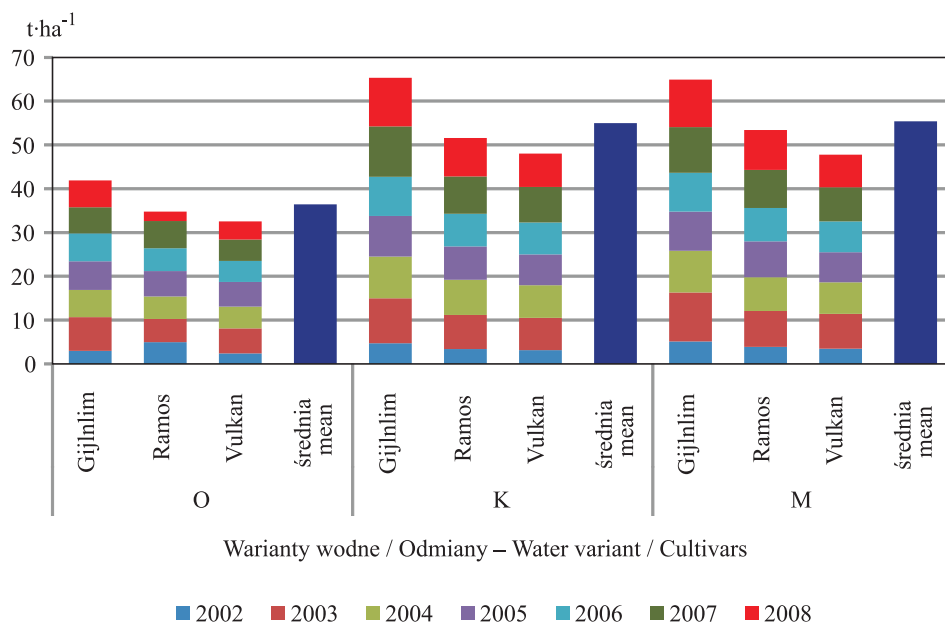
Table 41. Correlation coefficients between summer stalks number and chosen yield parameters

Wyszczególnienie Specification	Odmian – Cultivar			
	Gijnlim	Ramos	Vulkan	Wszystkie odmiany All cultivars
Plon handlowy Marketable yield	0,892*	0,639***	0,839*	0,884*
Liczba wypustek z 1 rośliny Number of the spears from 1 plant	0,938*	0,672**	0,880*	0,883**

\*  $r_{kryt.0,01}/r_{crit.0,01} = 0,707$ \*\*  $r_{kryt.0,05}/r_{crit.0,05} = 0,658$ \*\*\*  $r_{kryt.0,1}/r_{crit.0,1} = 0,497$ 

Uzyskane w doświadczeniu własnym istotne i wysokie wartości współczynnika korelacji pomiędzy porównywanymi cechami pędów asymilacyjnych a plonem handlowym świadczą o tym, iż zapewniając optymalne warunki wilgotnościowe na glebie bardzo lekkiej w czasie wzrostu pędów asymilacyjnych (nawadnianie kropłowe lub mikrozaszanie), można spodziewać się wysokiego plonu w roku zbiorów.

Zastosowanie nawadniania kropłowego oraz mikrozaszania zapewniało optymalne warunki wilgotnościowe w czasie wzrostu pędów asymilacyjnych szparaga. Efektem tego było uzyskiwanie stabilnych i wysokich plonów w latach. Najwyższe sumaryczne plony wypustek w okresie prowadzenia doświadczenia stwierdzono na obiektach nawadnianych (rys. 11) – wyniosły one średnio  $55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W odniesieniu do poletek nienawadnianych uzyskano o  $14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  wypustek więcej. Najplenniejszą okazała się odmiana Gijnlim, której sumaryczny plon handlowy z 7 lat zbiorów w warunkach optymalnego uwilgotnienia wyniósł  $65 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Rys. 24. Sumaryczny plon handlowy wypustek szparaga w latach 2002-2008 ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ )Fig. 24. Sum of marketable yield of asparagus spears in years 2002-2008 ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

Uzyskane wyniki potwierdzają jednoznacznie wysokie możliwości produkcyjne gleby bardzo lekkiej w warunkach optymalnej wilgotności, kształtowanej przez precyzyjne systemy mikronawodnień. Wskazują nadto, iż najbardziej predestynowana do uprawy na nawadnianych glebach bardzo lekkich jest odmiana Gijnlim.

#### **4.4. Efektywność ekonomiczna nawadniania szparaga**

Według przyjętych założeń minimalny koszt inwestycji w przypadku nawadniania kropłowego wyniósł w zależności od założonej powierzchni 13000, 8000, 5000, 4000 oraz 3250 zł·ha<sup>-1</sup>, natomiast w przypadku deszczowania (przyjęto koszty zakupu i eksploatacji deszczowni szpulowej) 20000, 12500, 7000, 5000 oraz 4000 zł·ha<sup>-1</sup>. Z analizy kosztów nawadniania kropłowego i deszczownianego szparaga przedstawionych w tabeli 42 wynika, iż wyraźnie wyższe nakłady trzeba ponieść na instalację deszczownianą na areale zajmującym powierzchnię do 5 ha. Gdy powierzchnia jest większa, koszty inwestycji w przeliczeniu na 1 ha są zbliżone do kosztów instalacji kropłowej. Roczne koszty eksploatacji systemu nawadniającego były niższe, gdy zastosowano system kropłowy, niezależnie od powierzchni.

Największa różnica kosztów rocznych dotyczyła powierzchni do 5 ha, gdzie niższe nakłady na prowadzenie nawadniania stwierdzono dla systemu kropłowego. Różnice w kosztach stosowania różnych systemów nawadniania na powierzchniach większych niż 5 ha były minimalne.

Najwyższą nadwyżkę bezpośrednią obliczono dla instalacji kropłowej zastosowanej w uprawie odmiany Gijnlim na wszystkich powierzchniach przyjętych do obliczeń, wahała się ona między 15265 (1 ha) a 16600 zł·ha<sup>-1</sup> (20 ha). Wzrastała wprost proporcjonalnie do wielkości nawadnianej powierzchni (tab. 43). Na powierzchniach deszczowanych najwyższą nadwyżkę bezpośrednią również otrzymano również dla tej odmiany. Lepsze efekty ekonomiczne w przypadku odmiany Gijnlim były rezultatem bardzo wysokich przyrostów plonu pod wpływem zastosowanych systemów nawadniających. Nawadnianie deszczowniane okazało się bardziej opłacalne na powierzchniach powyżej 5 ha (nadwyżka bezpośrednia: 9311-9720 zł·ha<sup>-1</sup>) tylko w przypadku odmiany Ramos.

Tabela 42. Koszty nawadniania szparaga [ $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]Table 42. Irrigation costs of asparagus [ $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]

Koszty nawadniania kropłowego – Drip irrigation costs					
Powierzchnia nawadniana Irrigated area [ha]	1*	2*	5*	10*	20*
Całkowity koszt inwestycji All costs of investment [zł]	13000	16000	25000	40000	65000
Koszt inwestycji Investment costs [ $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	13000	8000	5000	4000	3250
Koszty roczne – Yearly costs [ $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]					
Amortyzacja Decapitation [6,65%]	864	532	332	266	216
Oprocentowanie kapitału Interest of capital [5%]	650	400	250	200	162
Koszty napraw i materiałów Spare parts and repairs costs [2%]	260	160	100	80	65
Koszty wody Water costs [zł]	220	220	220	220	220
Koszty paliwa Fuel oil costs [zł]	605	605	605	605	605
Razem roczne koszty nawadniania All of yearly irrigation costs	<b>2599</b>	<b>1917</b>	<b>1507</b>	<b>1371</b>	<b>1268</b>
Koszty nawadniania deszczownianego – Sprinkler irrigation costs					
Powierzchnia nawadniana Irrigated area [ha]	1	2	5	10	20
Całkowity koszt inwestycji All costs of investment [zł]	20000	25000	35000	50000	80000
Koszt inwestycji Investment costs [ $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	20000	12500	7000	5000	4000
Koszty roczne – Yearly costs [ $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]					
Amortyzacja Decapitation [6,65%]	1330	831	465	332	266
Oprocentowanie kapitału Interest of capital [5%]	1000	625	350	250	200
Koszty napraw i materiałów Spare parts and repairs costs [2%]	400	250	140	100	80
Koszty wody Water costs [zł]	294	294	294	294	294
Koszty paliwa Fuel oil costs [zł]	808	808	808	808	808
Razem roczne koszty nawadniania All of yearly irrigation costs	<b>3832</b>	<b>2808</b>	<b>2057</b>	<b>1784</b>	<b>1648</b>

\* nawadniane powierzchnie – irrigated areas

Tabela 43. Efektywność ekonomiczna nawadniania szparaga średnio dla lat badań  
 Table 43. Costeffectiveness of asparagus irrigation average for studied years

Odmiana Cultivar	$\Delta$ [t·ha <sup>-1</sup> ]	$\Delta P$ [zł·ha <sup>-1</sup> ]	Kd [zł·ha <sup>-1</sup> ]					$\Delta Kr$ [zł·ha <sup>-1</sup> ]	$\Delta D$ [zł·ha <sup>-1</sup> ]				
			1	2	5	10	20		1	2	5	10	20
Nawadnianie kropłowe – Drip irrigation													
Gijnlim	4,4	25520						7656	15265	15947	16357	16493	16596
Ramos	2,6	15080	2599	1917	1507	1371	1268	4524	7957	8639	9049	9185	9288
Vulkan	2,4	13920						4176	7145	7827	8237	8373	8476
Nawadnianie deszczowniane – Sprinkler irrigation													
Gijnlim	3,5	20300						6090	10378	11402	12153	12462	12562
Ramos	2,8	16240	3832	2808	2057	1784	1648	4872	7536	8560	9311	9620	9720
Vulkan	2,4	13920						4176	5912	6936	7687	7960	8096

$\Delta$  – przyrost plonu pod wpływem nawadniania – yield increase influenced by irrigation [t·ha<sup>-1</sup>]

$\Delta D$  – nadwyżka bezpośrednia – increase of agricultural income [zł·ha<sup>-1</sup>]

$\Delta P$  – wartość dodatkowej, pozyskanej dzięki nawadnianiu produkcji – value of additional produce, resulting by irrigation [zł·ha<sup>-1</sup>]

Kd – koszty nawadniania – irrigation costs [zł·ha<sup>-1</sup>]

$\Delta Kr$  – przyrost kosztów związanych z uzyskaniem dodatkowej produkcji – an increase in agricultural costs resulting from additional produce [zł·ha<sup>-1</sup>]

Uzyskane w doświadczeniu własnym wartości nadwyżki bezpośredniej oraz tendencje jej wzrostu świadczą o przydatności systemu kropłowego w polowych uprawach rzędowych. Najwyższe wartości nadwyżki bezpośredniej odnotowano dla największych powierzchni – zarówno deszczowanych, jak i nawadnianych kropłowo. Potwierdzają to badania Żarskiego i in. [1999, 2001], zdaniem których im większa powierzchnia (powyżej 10 ha) jest nawadniana, tym wyższy jest dochód. Szparag jest rośliną, której zbiór wykonywany jest ręcznie. Koszty zbioru stanowią około 80% kosztów prowadzenia szparagarni [Knaflowski 2005]. Jankowiak i Rzekanowski [2006] podają, iż istnieje funkcyjna zależność kosztów zbioru od wysokości plonów w odniesieniu do większości roślin uprawnych. Dlatego w kalkulacji przyjęto wskaźnikowo wzrost kosztów związany z uzyskaniem dodatkowej produkcji na poziomie 30%. Jankowiak i Rzekanowski [2006] informują, że ten poziom kosztów może dotyczyć tylko roślin ogrodniczych, których zbiór jest pracochłonny i kosztowny. Zaznaczyć trzeba, iż poprawna ocena ekonomicznych efektów nawadniania jest bardzo trudna, na co zwracają uwagę Dobek [1995] oraz Żarski i in. [2001]. Źródłem takiego stanu jest z jednej strony brak wypracowanej metodyki obliczeń, z drugiej natomiast spore trudności związane z oszacowaniem kosztów nawadniania oraz właściwym ustaleniem cen warzyw, które ze względu na niestabilizowaną i chwiejną politykę ekonomiczno-gospodarczą w sektorze rolnym są bardzo zmienne.



## 5. WNIOSKI

1. Potrzeby wodne utożsamiane z połowym zużyciem wody szparaga (S) uprawianego na glebie bardzo lekkiej w warunkach optymalnej wilgotności gleby w sezonie nawodnieniowym były zmienne i zależały od przebiegu warunków opadowych w kolejnych sezonach wegetacyjnych.
2. Połowe zużycie wody w warunkach nawadniania kropłowego ( $S_K$ ) wyniosło średnio na plantacji nieplonującej 232 mm, natomiast na plonującej 246 mm. W warunkach mikrozaszrania ( $S_M$ ) sumaryczne zużycie wody wyniosło średnio 256 mm na plantacji nieplonującej oraz 280 mm na plonującej.
3. Dobbowe zużycie wody rosło wraz ze wzrostem pędów asymilacyjnych szparaga w sezonie nawodnieniowym od czerwca do sierpnia.
4. Średnia wartość ewapotranspiracji referencyjnej ( $ET_o$ ) dla okresu nawodnieniowego szparaga obliczonej za pomocą modelu Grabarczyka była niższa od uzyskanej przy użyciu modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena.
5. Wartości współczynników roślinnych ( $k_c$ ) dla modelu Grabarczyka ( $k_c^G$ ) wyniosły w miesiącach okresu nawodnieniowego plantacji nieplonującej: w czerwcu – 0,5; lipcu – 0,8; sierpniu – 0,9, natomiast dla modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena ( $k_c^{HDA}$ ): w czerwcu – 0,4; lipcu – 0,7; sierpniu – 0,8. Współczynniki roślinne ( $k_c$ ) w okresie nawodnieniowym plantacji plonującej wyniosły dla modelu Grabarczyka ( $k_c^G$ ): w czerwcu – 0,5; lipcu – 0,8; sierpniu – 1,1, a dla modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena ( $k_c^{HDA}$ ): w czerwcu – 0,5; lipcu – 0,8; sierpniu – 1,1.
6. Ewapotranspiracja potencjalna szparaga obliczona na podstawie modelu Grabarczyka ( $ET_p^G$ ) wyniosła średnio w warunkach mikrozaszrania na plantacji nieplonującej 257 mm, natomiast na plonującej 279 mm. W warunkach nawadniania kropłowego sumaryczne zużycie wody kształtowało się średnio na poziomie 210 mm na plantacji nieplonującej oraz 248 mm na plantacji plonującej.
7. Ewapotranspiracja potencjalna szparaga obliczona na podstawie modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena ( $ET_p^{HDA}$ ) wyniosła średnio w warunkach mikrozaszrania na plantacji nieplonującej 258 mm, natomiast na plonującej 285 mm. W warunkach nawadniania kropłowego sumaryczne zużycie wody kształtowało się średnio na poziomie 208 mm na plantacji nieplonującej oraz 251 mm na plantacji plonującej.
8. Średnie potrzeby nawadniania szparaga na plantacji nieplonującej kształtowały się, zależnie od metody obliczenia potrzeb wodnych, na poziomie od 38 do 90 mm dla nawadniania kropłowego oraz od 108 do 116 mm dla mikrozaszrania, natomiast w przypadku plantacji plonującej: od 114 do 119 mm dla nawadniania kropłowego oraz od 147 do 153 mm dla mikrozaszrania.
9. Nawadnianie kropłowe oraz mikrozaszranie istotnie wpłynęło na wzrost pędów asymilacyjnych szparaga oraz istotnie zwiększyło plon handlowy bielonych wypustek. Średnie przyrosty plonu pod wpływem zastosowania nawadniania kropłowego wyniosły  $2,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $2,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  przy mikrozaszranu. Spośród uprawianych odmian najlepszą reakcję na nawadnianie stwierdzono dla odmiany Gijnlim, bowiem przyrost jej plonu handlowego pod wpływem nawadniania wyniósł średnio  $4,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Odmiana ta również cechowała się najwyższym potencjałem plonotwórczym w warunkach stosowania nawodnień na glebie bardzo lekkiej, średni plon handlowy wyniósł  $10,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

10. Nawadnianie kropłowe było efektywniejszym systemem nawadniania szparaga niż mikrozaszanie. Rośliny szparaga uprawiane na poletkach nawadnianych kropłowo charakteryzowały się mniejszym zużyciem wody oraz potrzebami nawodnieniowymi. Uzyskane przyrosty plonów pod wpływem zastosowania tego systemu nie różniły się istotnie od uzyskanych z obiektów mikrozaszanych, chociaż zastosowane średnie sumaryczne dawki wody przy systemie kropłowym były o 26% niższe.
11. Zastosowanie nawadniania było efektywne ekonomicznie. Najwyższe wartości nadwyżki bezpośredniej uzyskano dla nawadniania kropłowego oraz odmiany Gijnlim.
12. Zastosowanie nowoczesnej technologii nawadniania kropłowego i mikrozaszania zwiększa możliwości produkcyjne gleby bardzo lekkiej poprzez zapewnienie optymalnych warunków wilgotnościowych gleby, pozwalających osiągać wysokie efekty plonotwórcze szparagów.

## LITERATURA

- Allen R.G., 1986. Penman for all seasons. Proc. ASCE. J. of Irrigation and Drainage Eng. 112, 348-368.
- Allen R.G., 1993. New approaches to estimating crop evapotranspiration. Acta Horticulturae (ISHS) 335, 287-294.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 300.
- Battilani A., 1997. Response of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) to post-harvesting irrigation. Acta Horticulturae (ISHS) 449(1), 181-187.
- Bussell W.T., 1985. Asparagus – irrigation and establishment methods. Asparagus Res. Newsletter 3, 1-21.
- Cannell G.H., Takatori F.H., 1970. Irrigation-nitrogen studies in asparagus and the measurement of soil moisture changes by the neutron method. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34, 501-506.
- Contador F.F., 1991. Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) response to different irrigation regimes and nitrogen fertilization levels. Second year after planting. Chile Univ. Santiago. Esc. de Agronomia, Thesis, 92.
- Dobek T., 1995. Ocena efektywności stosowania urządzeń do deszczowania. Mat. VII Międzynarodowej Sesji Nauk. Technika rolnicza i jej rola w kształtowaniu środowiska rolniczego, Szczecin, 123-125.
- Doorenbos J., Pruitt W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Rome, 144.
- Downtown W.J.S., Torokvalvy W., 1975. Photosynthesis in developing asparagus plants. Aust. J. Plant Physiol. 2, 367-375.
- Döll P., 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. Climatic Change 54, 269-293.
- Drost D.T., 1996. Irrigation budget and plant growth of asparagus. Acta Horticulturae (ISHS) 415, 343-350.
- Drost D.T., 1999. Soil water deficits reduce growth and yield of asparagus. Acta Horticulturae (ISHS) 479, 383-390.
- Drost D.T., Wilcox-Lee D., 1997. Soil water deficits and asparagus: Bud size and subsequent spear growth. Scientia Horticulturae 70, 145-153.
- Drozd J., Nowak L., 2006. Gospodarka wodna gleby. [W:] Nawadnianie roślin, red. L. Nowak, S. Karczmarczyk, PWRiL Poznań, 27-65.
- Drupka S., 1976. Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni. PWRiL Warszawa.
- Drupka S., 1986. Technologia nawodnień kropłowych. [W:] Podstawy melioracji rolnych. T. 1, red. P. Prochal, PWRiL Warszawa, 608-616.
- Dzieżyc J., Trybała M., 1989. Rola wody w intensyfikacji produkcji roślinnej na glebach lekkich. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 377, 179-192.

- Ferreyra E.R., Peralta A.J.M., van Selles S.G., Fritsch F.N., Contador F.F., 1995. Asparagus crop (*Asparagus officinalis* L.) response to different water regimes during the first two establishment seasons. *Agricultura Tecnica* 55(1), 1-8.
- Gilewska M., Przybyła C., Stachowski P., 1995. Wpływ rolniczej eksploatacji gruntów pogórnich i ich zdolności retencyjnych na wielkość ewapotranspiracji rzeczywistej i plonowanie. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 266, 343-351.
- Grabarczyk S., 1976. Połowe zużycie wody a czynniki meteorologiczne. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 181, 495-511.
- Grabarczyk S., 1983. Melioracje rolne. [W:] *Podstawy agrotechniki*, red. W. Niewiadomski, PWRiL Warszawa, 79-129.
- Grabarczyk S., 1987. Oplacalność inwestycji deszczownianych w gospodarstwach indywidualnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 326, 449-456.
- Grabarczyk S., Dudek S., Grzelak B., Peszek J., Rzekanowski C., Żarski J., 1994. Możliwości produkcyjne gleb bardzo lekkich w warunkach deszczowania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 414, 145-152.
- Grabarczyk S., Peszek J., Rzekanowski C., Żarski J., 1990a. Rejonizacja potrzeb nawadniania w Krainie Wielkich Dolin. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 387, 73-88.
- Grabarczyk S., Żarski J., 1992. Próba statystycznej weryfikacji niektórych wzorów określających ewapotranspirację potencjalną. *Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rolnictwo* 32, 169-175.
- Grabarczyk S., Żarski J., Dudek S., 1990b. Porównanie ewapotranspiracji potencjalnej obliczonej różnymi formułami z połowym zużyciem wody. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 191, 23-30.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. Agric.* 1(2), 96-99.
- Hartmann H.D., 1981a. Die Bewässerung bei Spargel und ihre Auswirkung auf die Pflanze. *Archiv für Gartenbau* 29(4), 167-175.
- Hartmann H.D., 1981b. The influence of irrigation on the development and yield of asparagus. *Acta Horticulturae (ISHS)* 119, 309-316.
- Hartmann H.D., 1985. Possibility of predicting asparagus yields in central Europe. *Proc. of the 6<sup>th</sup> Int. Asparagus Symp.*, Guelph, Canada, 318-323.
- Hartmann H.D., Hermann G., Kirchner-Ness R. 1990. Effect of weather during the vegetative period on the yield of asparagus in the following year. *Gartenbauwissenschaft* 55(1), 30-34.
- Hewelke P., 1993. *Podstawy regulowania wilgotności gleby za pomocą nawodnień kroplowych*. Wyd. SGGW, Rozprawy i monografie 184.
- Jankowiak J., Rzekanowski C., 2006. Ekonomiczne efekty nawadniania. [W:] *Nawadnianie roślin*, red. L. Nowak, S. Karczmarczyk, PWRiL Poznań, 461-479.
- Jerez B.J.A., 1990. Differential irrigation in two-year old asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Univ. de Concepcion (Chile). Fac. de Agropecuarias y Forestales*, Thesis, 115.
- Jeznach J., 2009. Aktualne trendy w rozwoju mikronawodnień. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 6, 83-94.

- Jones H.G., Aikman D., Mc Burney T.A., 1996. Improvements to infra-red thermometry for irrigation scheduling in humid climate. *Acta Horticulturae (ISHS)* 449(1), 259-265.
- Juan de J.A., Trjuelo J.M., Ortega J.F., Valiente M., Carrion P., 1999. Management of water consumption in agriculture. A Model for the economic optimisation of water use: application to a sub-humid area. *Agricultural Water Management* 40, 303-313.
- Kaniszewski S., 1987. Nawadnianie warzyw. PWRiL Warszawa.
- Kaniszewski S., 2005a. Nawadnianie warzyw polowych. PlantPress Kraków.
- Kaniszewski S., 2005b. Technologia nawadniania warzyw. Mat. konf. Nawadnianie warzyw w uprawach polowych, Skierniewice, 5-19.
- Kaniszewski S., 2006. Nawadnianie warzyw. [W:] Nawadnianie roślin, red. L. Nowak, S. Karczmarczyk, PWRiL Poznań, 295-332.
- Kaufmann F., 1977. Intensivierung der Spargelproduktion durch Bewasserrung. *Gartenbau* 24(3), 73-74.
- Kaufmann F., 1990. Principles of plant density for green asparagus harvested by different methods. *Acta Horticulturae (ISHS)* 271, 227-233.
- Knaflewski M., 1987. Wpływ czynników agrotechnicznych na plon i jakość karp szparaga (*Asparagus officinalis* L.). *Rocz. AR w Poznaniu, Rozprawy* 167.
- Knaflewski M., 1994. Yield prediction of asparagus cultivars on the basis of the summer stalk characteristics. *Acta Horticulturae (ISHS)* 371, 161-168.
- Knaflewski M., 1995. Szparag. Ha-Ka Komorniki.
- Knaflewski M., 2005. Uprawa szparaga. Hortpress Warszawa.
- Knaflewski M., Kałużewicz A., Kamińska B., Spizewski T., 1998. Plonowanie i jakość zielonych wypustek piętnastu odmian szparaga (*Asparagus officinalis* L.). *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 333(57), 153-157.
- Knaflewski M., Kałużewicz A., Krzesiński W., Zaworska A., 2008. Przydatność 21 odmian szparaga do uprawy na zielone wypustki w Polsce. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 527, 173-177.
- Knaflewski M., Kałużewicz A., Niezborala., Zaworska A., 2007. Zmienność cech morfologicznych 28 odmian szparaga lekarskiego (*Asparagus officinalis* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 517, 361-368.
- Knaflewski M., Spizewski T., 1999. Plonowanie dziesięciu odmian szparaga na bielone wypustki. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 466, 129-134.
- Kowalczyk W., Kaniszewski S., 1999. Water quality for irrigation of vegetable crops. Book of abstracts of 3<sup>rd</sup> Int. Symp. Irrigation of Horticultural Crops, Estoril, Portugal, 149.
- Koźmiński C., 1986. Przestrzenny i czasowy rozkład okresów bezopadowych trwających ponad 15 dni na terenie Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 268, 17-36.
- Kundzewicz Z., 2007. Projekcje zmian klimatu – ekstrema hydrometeorologiczne. I Polska Konf. ADAGIO, Poznań.
- Kunzelmann G., Paschold P.J., 1998a. Bewertung von Bewässerungstechniken für den Spargelbau – Teil I. *Gemüse* 34(7), 417-420.
- Kunzelmann G., Paschold P.J., 1998b. Bewertung von Bewässerungstechniken für den Spargelbau – Teil II. *Gemüse* 34(10), 571-574.

- Kutera J., 1995. Ocena jakości wód do nawodnień. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu 266, 173-179.
- Ley T.W., Hill R.W., Jansen D.T., 1994. Errors in Penman – Wright alfaalfa reference evapotranspiration estimates: I. Model sensitivity analyses. Transactions of the ASAE 37(6), 1853-1861.
- Lipiński J., 2010. Analiza stanu nawodnień w Polsce. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie 2, 51-57.
- Łabędzki L., 1996. Ewapotranspiracja upraw rolniczych – Terminologia, definicje, metody obliczania. Mat. Inf. 33 Falenty, 1-16.
- Łabędzki L., 2006. Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, Rozprawy 17, 1-107.
- Łabędzki L., 2009. Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 3, 7-18.
- 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. [In:] Evapotranspiration, ed. L. Łabędzki, InTech, Rijeka, 1-446.
- Łuszczak K., 2009. Nakłady na nawadnianie plantacji roślin towarowych. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 6, 303-315.
- Marcilonek S., 1994. Eksploatacja urządzeń melioracyjnych. Wyd. AR Wrocław.
- Martin S., Hartmann H.D., 1990. The content and distribution of carbohydrates in asparagus. Acta Horticulturae (ISHS) 271, 443-446.
- McKee T.B., Doesken J.N., Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, 179-184.
- Michelakis N., 1996. Daily system radius variation as indicators to optimize olive tree irrigation scheduling. Acta Horticulturae (ISHS) 449(1), 297-304.
- Mosiej J., 1999. Przyrodniczo-techniczne uwarunkowania gospodarowania wodą w dolinie rzeki Ner. Wyd. SGGW, Rozprawy i monografie 222.
- Mulder J.H., Lavrijsen P., 2008. First results of the “ Third International Asparagus Cultivar Trial” planted in Horst, the Netherlands. Acta Horticulturae (ISHS) 776, 367-372.
- Nyc K., 1996. Ekonomiczne systemy nawadniające. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 438, 125-132.
- Nyc K., 2006. Wprowadzenie systemów nawadniających. [W:] Nawadnianie roślin, red. L. Nowak, S. Karczmarczyk, PWRiL Poznań 157-174.
- Ostromecki J., 1973. Podstawy melioracji nawadniających. PWN Warszawa.
- Pacholak E., 1986. Wpływ nawożenia i nawadniania na wzrost i plonowanie jabłoni odmiany James Grieve. Roczn. AR w Poznaniu, Rozprawy 160.
- Pacholak E., Przybyła C., Stachowski P., 1995. Wpływ eksploatacji nawodnień deszczownianych, podkoronowych i kropłowych na efektywność produkcyjną sadów jabłoniowych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu 266, 335-342.
- Pardo A., Arbizou J., Suso M.L., 1997. Evapotranspiration and crop coefficients in white asparagus. Acta Horticulturae (ISHS) 449(1), 187-192.

- Paschold P.J., Artelt B., Hermann G., 2004. The water need of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) determined in a lysimeter station. *Acta Horticulturae* (ISHS) 664, 529-536.
- Paschold P.J., Artelt B., Hermann G., 2008. Comparison of white asparagus cultivars (*Asparagus officinalis* L.) in Germany. *Acta Horticulturae* (ISHS) 776, 379-385.
- Paschold P.J., Eckes U., Löbmeier F.J., Hoppmann D., 2001. Untersuchungen zur Ermittlung des langjährigen Wasser und Berednungsbedarfs bei ausgewählten Gemüsearten, unveröff. Arbeitsbericht, Forschungsanstalt Geisenheim.
- Paschold P.J., Hermann G., Artelt B., 1996. Comparison of international asparagus cultivars under Rhine-Valley conditions in Germany. *Acta Horticulturae* (ISHS) 415, 257-262.
- Paschold P.J., Hermann G., Artelt B., 1999. Asparagus varieties tested over 6 years. *Gemüse* 35(4), 261-266.
- Paschold P.J., Kleber J., Mayer N., 2002. Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2002. *Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft* 37, 5-15.
- Paschold P.J., Kunzelmann G., 2002. Umweltschonender und effizienter Bewässerungseinsatz im Gemüseanbau. *Praktische Empfehlungen zur Bewässerungssteuerung und Bewässerungstechnik im Hessischen Ried. Wasserversorgung – Grundwasserschutz*, 1-23.
- Paschold P.J., Weithaler A., 2000. Eignung von Sensoren zum Steuern der Bewässerung bei Freilandgemüse. *Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft* 35(1), 51-62.
- Payero J., Singh D., Harris G., Vriesema S., Hare J., Pendergast L., Chauhan Y., 2011. Application of a new Web-Based Tool (CropWaterUse) for determining evapotranspiration and irrigation requirements of major crops at three locations in Queensland [In:] *Evapotranspiration*, ed. L. Łabędzki, InTech Rijeka, 1-446.
- Pierzgalski E., Jeznach J., 1993. Stan i kierunki rozwoju mikronawodnień. [W:] *Współczesne problemy melioracji*, red. C. Somorowski, Wyd. SGGW Warszawa, 35-42.
- Pierzgalski E., Jeznach J., 2006. Measures fo soil water control in Poland. *J. Water and Land Development* 10, 79-89.
- Pinkau H., Grutz E.M., 1985. Effect of nitrogen, sprinkler irrigation and length of harvesting period on the yield and quality of green asparagus. *Archive fur Gartenbau* 33(4), 177-189.
- Platt C., 1978. *Problemy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej*. Wyd. Nauk. PWN Warszawa.
- Pogue W.R., Dooley S.G., 1985. Tensiometer management of soil water. *Drip/trickle irrigation in action. Amer. Soc. Agr. Eng. II*, 761-766.
- Pressman E., Schaffer A.A., Compton D., Zamski E., 1989. The effect of low temperature and drought on carbohydrate content of asparagus. *J. Plant Physiol.* 134, 209-213.
- Pressman E., Schaffer A.A., Compton D., Zamski E., 1994. Carbohydrate content of young asparagus plants as affected by temperature regimes. *J. Plant Physiol.* 143, 621-624.
- Przybyła C., 1994. Ewapotranspiracja rzeczywista w sterowaniu nawodnieniami deszczownianymi. *Rocz. AR w Poznaniu* 257, 255-262.
- Przybyła C., Kozaczyk P., Stachowski P., 1996. Jakość wód dyspozycyjnych do nawodnień deszczownianych jezior Wysoczyzny Poznańskiej. *Przegl. Nauk. Wydz. Melior. i Inż. Środ. SGGW w Warszawie* 11, 103-110.

- Rijtema P., 1981. Quality standards for irrigation waters. Technical Bulletin ICW 4, 3-15.
- Robinson R.E., Thomas T.R., Scherer D.J., Berry W.L., 1984. Yield potential of asparagus irrigated with geothermal and ground water on Imperial East Mesa Desert, California. HortSci. 19, 407-408.
- Rojek M., 2001. Klimatyczny bilans wodny ( $P - E_0$ ). [W:] Atlas klimatycznego ryzyka upraw i roślin w Polsce, red. C. Koźmiński i B. Michalska, Wyd. AR w Szczecinie.
- Rolbiecki R., 2004. Efekty mikronawodnień wybranych odmian dyni olbrzymiej (*Cucurbita maxima* Duch. F.) uprawianych na glebie bardzo lekkiej. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus 3(1), 37-45.
- 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, 325-329.
- Rolbiecki R., Ehlers R., Rolbiecki S., 2001. Comparison of the response of chosen German asparagus (*Asparagus officinalis* L.) cultivars to microirrigation on the very light soil. Preliminary study on two-year old plantation. Folia Horticulturae (PTO) 13(1A), 381-385.
- Rolbiecki R., Rolbiecki S., 2008. Effect of surface drip irrigation on asparagus cultivars in central Poland. Acta Horticulturae (ISHS) 776, 45-50.
- Rolbiecki S., 2003. Reakcja trzech gatunków roślin jagodowych uprawianych na glebie bardzo lekkiej na mikronawodnieniu. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rozprawy 108.
- Rolbiecki S., Długosz J., Orzechowski M., Smólczyński S., 2007. Uwarunkowania glebowo-klimatyczne nawodnień w Kruszynie Krajeńskim koło Bydgoszczy. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 2, 89-102.
- Rolbiecki S., Rolbiecki R., Rzekanowski C., 2005. Nawadnianie jako czynnik przeciwdziałający skutkom posuch w uprawie maliny na glebie piaszczystej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 5(14), 243-261.
- Roth R.L., Gardner B.R., 1989. Asparagus yield response to water and nitrogen. Trans. Amer. Soc. Agric. Engr. 32, 105-112.
- Rubio F.A.H., 1992. Irrigation and nitrogenous fertilization during the first establishment year of an asparagus plantation. Chile Univ. Santiago. Esc. de Agronomia, Thesis, 105.
- Rzekanowski C., 2010. Perspektywy rozwoju nawodnień w Polsce. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie 2, 55-58.
- Rzekanowski C., Rolbiecki S., 1996. Efekty produkcyjne stosowania nawodnień kropłowych w regionie bydgoskim. Przegl. Nauk. Wydz. Mel. i Inż. Środ. SGGW w Warszawie 11, 323-329.
- Rzekanowski C., Rolbiecki S., Grabarczyk S., 1994. Nawadniane plantacje czarnej porzeczki i truskawki jako alternatywa zalesiania gleby bardzo lekkiej. Mat. konf. Przyrodnicze i techniczne problemy kształtowania środowiska rolniczego, Poznań, 162-170.
- Rzekanowski C., Źarski J., Rolbiecki S., 2011. Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę. Post. Nauk Rol. 1, 51-63.
- Schaller J., Paschold J.P., 2009. Stoma characteristics and responses to soil drought indicating a cultivar specific drought stress susceptibility in asparagus. European J. Hort. Sci. 74(4), 145-151.



- Sentelhas P.C., Gillespie T.J., Santos E.A., 2010. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management* 97(5), 635-644.
- Smith M., 1992. CROPWAT a computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper 46, Rome, 132.
- Sterrett S.B., Ross B.B., Savage C.P. Jr., 1990. Establishment and yield of asparagus as influenced by planting and irrigation method. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(1), 29-33.
- Tabari H., Grismer M.E., Trajkovic S., 2011. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*. Springer-Verlag London, 271-295.
- Thicoipe I.P., Adam D., Zuang H., 1976. Influence de l'irrigation et de la fumure azotée minérale sur une aspergeraie. *INVUFLEC Balandran*, 19-370.
- Treder W., Klamkowski K., 2008. Ocena przydatności sond drenażu glebowego do prowadzenia diagnostyki nawadniania i fertygacji roślin sadowniczych. *Zesz. Nauk. Inst. Sad. i Kw. w Skierniewicach* 16, 192-200.
- 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* 5, 61-70.
- 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* 18, 143-153.
- Trzęsowski M., 2011. Sytuacja ekonomiczna produkcji szparaga. *Mat. XVII Konf. Szparagowej*, Sielinko, 5-9.
- Vermeiren L., Jobling G.A., 1984. Localized irrigation. FAO Irrigation and Drainage Paper 36, Rome, 198.
- Walter H., 1976. Strefy roślinności a klimat. PWRiL Warszawa.
- Widmoser P., 2009. A discussion on alternative to the Penman-Monteith equation. *Agricultural Water Management* 96, 711-721.
- Wilcox-Lee D., 1987. Soil matrices potential, plant water relations and growth in asparagus. *HortSci.* 22, 22-24.
- Żakowicz S., 1986. Wpływ wilgotności gleby i warunków ewapotranspiracji na przebieg procesu transpiracji roślin. *Fragmenta Agronomica* 2, 21-28.
- Żakowicz S., 2010. Podstawy technologii nawadniania rekultywowanych składowisk odpadów komunalnych. *Wyd. SGGW, Rozprawy i monografie* 362.
- Żakowicz S., Hewelke P., 1990. Analiza susz atmosferycznych i glebowych jako kryterium potrzeby nawodnień w danym regionie kraju. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 387, 193-198.
- Żakowicz S., Hewelke P., 2002. Podstawy inżynierii środowiska. *Wyd. SGGW Warszawa*.
- Żakowicz S., Hewelke P., Gnatowski T., 2009. Podstawy infrastruktury technicznej w przestrzeni rolniczej. *Wyd. SGGW Warszawa*.
- Żarski J., 1993. Reakcja zbóż jarych na deszczowanie i nawożenie azotowe w warunkach gleby bardzo lekkiej. *Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rozprawy* 59.

Żarski J., 2011. Tendencje zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 5, 29-37.

Żarski J., Dudek S., 2009. Zmienność czasowa potrzeb nawadniania wybranych roślin w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 3, 141-151.

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, 187-203.

Żarski J., Rolbiecki S., Rzekanowski C., Rolbiecki R., Dudek S., Grzelak B., 2001. Cost-effectiveness of sprinkler irrigation of field crops and vegetables in central Poland. *Przeł. Nauk. Wydz. Inż. i Kszt. Środ. SGGW w Warszawie* 22, 375-382.

Żarski J., Rzekanowski C., Dudek S., Rolbiecki S., 1999. Cost-effectiveness of overhead irrigation of field crops cultivated in the vicinity of Bydgoszcz. *Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rolnictwo* 44, 315-320.

Żarski J., Treder W., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., 2011. Ustalanie terminów nawadniania na podstawie prostych pomiarów meteorologicznych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 6, 101-108.

# OCENA POTRZEB I EFEKTÓW MIKRONAWODNIENÍ SZPARAGA (*Asparagus officinalis* L.) NA OBSZARZE SZCZEGÓLNIIE DEFICYTOWYM W WODĘ

## Streszczenie

Ścisły eksperyment polowy z zastosowaniem mikronawodnień (nawadniania kropowego i mikrozaszania) jako czynnika zwiększającego produktywność gleby bardzo lekkiej poprzez zapewnienie jej optymalnej wilgotności w uprawie szparaga (intensywnej rośliny wieloletniej) przeprowadzono w latach 2000- 2008 na polu doświadczalnym Katedry Melioracji i Agrometeorologii Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Doświadczenie zostało przeprowadzone na obszarze szczególnie deficytowym w wodę, charakteryzującym się glebą o bardzo małych zdolnościach retencyjnych (bardzo lekką) oraz bardzo niskimi opadami atmosferycznymi w sezonie wegetacyjnym.

Przeprowadzone badania miały na celu:

- określenie potrzeb wodnych – polowego zużycia wody (S) szparaga uprawianego na glebie bardzo lekkiej w warunkach prowadzonych mikronawodnień,
- ocenę przydatności modeli Grabarczyka oraz Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena do obliczania ewapotranspiracji referencyjnej ( $ET_0$ ),
- wyznaczenie współczynników roślinnych ( $k_c$ ) dla wzorów Grabarczyka i Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena oraz określenie potrzeb wodnych szparaga na podstawie kryterium klimatycznego ( $ET_p$ ),
- określenie niedoborów wody oraz potrzeb nawodnieniowych szparaga na obszarze szczególnie deficytowym w wodę,
- sprawdzenie reakcji różnych odmian szparaga uprawianych na bielone wypustki na nawadnianie kropowe i mikrozaszanie w warunkach gleby bardzo lekkiej,
- próbę określenia efektywności ekonomicznej zastosowanych systemów nawadniania w uprawie szparaga na glebie bardzo lekkiej.

Potrzeby wodne utożsamiane z polowym zużyciem wody (S) szparaga uprawianego na glebie bardzo lekkiej w warunkach optymalnej wilgotności gleby w sezonie nawodnieniowym były zmienne i zależały od przebiegu warunków opadowych w kolejnych sezonach wegetacyjnych. Polowe zużycie wody ( $S_K$ ) w warunkach nawadniania kropowego wyniosło średnio na plantacji nieplonującej 232 mm, natomiast na plonującej 246 mm. W warunkach mikrozaszania ( $S_M$ ) sumaryczne zużycie wody wyniosło średnio 256 mm na plantacji nieplonującej oraz 280 mm na plonującej. Dobowe zużycie wody rosło wraz ze wzrostem pędów asymilacyjnych szparaga w sezonie nawodnieniowym od czerwca do sierpnia. Średnia wartość ewapotranspiracji referencyjnej ( $ET_0$ ) dla okresu nawodnieniowego szparaga obliczonej za pomocą modelu Grabarczyka była niższa od uzyskanej przy użyciu modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena.

Wartości współczynników roślinnych ( $k_c$ ) dla modelu Grabarczyka ( $k_c^G$ ) wyniosły dla miesiącach okresu nawodnieniowego plantacji nieplonującej: w czerwcu – 0,5; lipcu – 0,8; sierpniu – 0,9, natomiast dla modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena ( $k_c^{HDA}$ ): w czerwcu – 0,4; lipcu – 0,7; sierpniu – 0,8. Współczynniki roślinne ( $k_c$ ) w okresie nawodnieniowym plantacji plonującej wyniosły dla modelu Grabarczyka ( $k_c^G$ ): w czerwcu – 0,5; lipcu – 0,8; sierpniu – 1,1, a dla modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena ( $k_c^{HDA}$ ): w czerwcu – 0,5; lipcu – 0,8; sierpniu – 1,1.

Ewapotranspiracja potencjalna szparaga obliczona na podstawie modelu Grabarczyka ( $ET_p^G$ ) wyniosła średnio w warunkach mikrozaszrania na plantacji nieplonującej 257 mm, natomiast na plonującej 279 mm. W warunkach nawadniania kropłowego sumaryczne zużycie wody równało się średnio 210 mm na plantacji nieplonującej oraz 248 mm na plantacji plonującej. Ewapotranspiracja potencjalna szparaga obliczona na podstawie modelu Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena ( $ET_p^{HDA}$ ) równała się średnio w warunkach mikrozaszrania na plantacji nieplonującej 258 mm, natomiast na plonującej 285 mm. W warunkach nawadniania kropłowego sumaryczne zużycie wody wynosiło średnio 208 mm na plantacji nieplonującej oraz 251 mm na plantacji plonującej.

Średnie potrzeby nawadniania szparaga na plantacji nieplonującej kształtowały się, zależnie od metody obliczenia potrzeb wodnych, na poziomie od 38 do 90 mm dla nawadniania kropłowego oraz od 108 do 116 mm dla mikrozaszrania. W przypadku plantacji plonującej potrzeby te wynosiły 114-119 mm dla nawadniania kropłowego oraz 147-153 mm dla mikrozaszrania.

Nawadnianie kropłowe oraz mikrozaszranie istotnie wpłynęło na wzrost pędów asymilacyjnych szparaga oraz istotnie zwiększyło plon handlowy bielonych wypustek. Średnie przyrosty plonu pod wpływem zastosowania nawadniania kropłowego wyniosły  $2,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $2,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  przy mikrozaszranianiu. Spośród uprawianych odmian najlepszą reakcję na nawadnianie stwierdzono dla odmiany Gijnlim, bowiem przyrost jej plonu handlowego pod wpływem nawadniania wyniósł średnio  $4,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Odmiana ta również cechowała się najwyższym potencjałem plonotwórczym w warunkach stosowania nawodnień na glebie bardzo lekkiej (średni plon handlowy  $10,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Zastosowanie nawadniania było efektywne ekonomicznie. Najwyższe wartości nadwyżki bezpośredniej uzyskano dla nawadniania kropłowego oraz odmiany Gijnlim.

Nawadnianie kropłowe było efektywniejszym systemem nawadniania szparaga niż mikrozaszranie. Rośliny szparaga uprawiane na poletkach nawadnianych kropłowo charakteryzowały się mniejszym zużyciem wody oraz potrzebami nawodnieniowymi. Uzyskane przyrosty plonów pod wpływem zastosowania tego systemu nie różniły się istotnie od uzyskanych z obiektów mikrozaszrzanych, chociaż zastosowane średnie sumaryczne dawki wody przy systemie kropłowym były o 26% niższe.

Zastosowanie nowoczesnej technologii mikronawodnień (nawadniania kropłowego i mikrozaszrania) zwiększa możliwości produkcyjne gleby bardzo lekkiej poprzez zapewnienie optymalnych warunków wilgotnościowych, pozwalających osiągać wzrost plonów uprawianych roślin na obszarze szczególnie deficytowym w wodę.

**EVALUATION OF REQUIREMENTS AND RESULTS  
OF MICROIRRIGATION  
OF ASPARAGUS (*Asparagus officinalis* L.)  
ON THE AREA OF DISTINCT WATER DEFICITS**

Summary

Field experiment on the use of microirrigation (drip irrigation and microsprinkler irrigation) – as the factor increasing the productivity of the very light soil (by securing optimum moisture conditions of the soil) at the plantation of the intensive asparagus – was carried out in 2000-2008 in the experimental field of the Department for Land Reclamation and Agrometeorology of the University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz. The experiment was conducted on the area characterized by distinct water deficits – the soil of the limited retention ability and the very low amount of rainfall during the vegetation period.

The aims of the experiment were the following:

- the estimation of water needs – field water consumption ( $S$ ) of the asparagus grown on the very light soil under conditions of microirrigation,
- the evaluation of the usefulness for models of Grabarczyk and Hargreaves (in modification of Droogers and Allen) for the estimation of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ),
- the determination of crop coefficients ( $k_c$ ) for formulas of Grabarczyk and Hargreaves (in modification of Droogers and Allen),
- the estimation of the water needs for the asparagus on the base of climate criterion ( $ET_p$ ),
- the determination of water deficits and irrigation needs for the asparagus on the area characterized by distinct water deficits,
- verification of the response of various asparagus cultivars grown for white spears to drip irrigation and microsprinkler irrigation under conditions of the very light soil,
- the attempt to determine the cost-effectiveness of the irrigation systems used on the asparagus plantation on the very light soil.

Water needs (field water consumption) of the asparagus cultivated on the very light soil under optimum soil moisture conditions were variable in the irrigation period and they were depended on the course of rainfall conditions in the consecutive vegetation periods. Field water consumption ( $S_k$ ) in the conditions of drip irrigation – on average – amounted 232 mm and 246 mm, for unyielded and the yielded plantation, respectively. Total water consumption under microsprinkler irrigation ( $S_M$ ) amounted 256 mm and 280 mm, for unyielded and the yielded plantation, respectively. Daily water consumption was increasing during the growth of asparagus assimilation shoots in the irrigation season from June to August. The mean value of the reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) for the irrigation period of asparagus was lower in case of Grabarczyk's formula in comparison to that calculated with the use of Hargreaves' formula (in modification of Droogers and Allen). Values of crop coefficients ( $k_c$ ) for unyielded plantation were the following – ( $k_c^G$ ): VI – 0.5, VII – 0.8; VIII – 0.9 and ( $k_c^{HDA}$ ): VI – 0.4; VII – 0.7; VIII – 0.8 for the Grabarczyk and Hargreaves (in modification of Droogers and Allen) model, respectively. Crop coefficients ( $k_c$ ) for the irrigation period of yielded plantation were the following: VI – 0.5; VII – 0.8; VIII – 1.1 for Grabarczyk's model and VI – 0.5;

VII – 0.8; VIII – 1.1 for Hargreaves (in modification of Droogers and Allen) model. Potential evapotranspiration of asparagus crop under microsprinkler irrigation calculated on the basis of Grabarczyk's formula ( $ET_p^G$ ) amounted 257 mm and 279 mm, for the unyielded and the yielded plantation, respectively. Total water consumption under drip irrigation conditions amounted 210 mm and 248 mm, for the unyielded and the yielded plantation, respectively. Potential evapotranspiration of asparagus crop under microsprinkler irrigation calculated on the base of Hargreaves' formula (in modification of Droogers and Allen) ( $ET_p^{HDA}$ ) amounted 258 mm and 285 mm, for the unyielded and the yielded plantation, respectively. Total water consumption under drip irrigation conditions amounted 208 mm and 251 mm, for the unyielded and the yielded plantation, respectively. Mean irrigation requirements of unyielded asparagus crop ranged from 38 to 90 mm for drip irrigation and from 108 to 116 mm for microsprinkler irrigation. In case of the yielded plantation, the irrigation requirements ranged 114-119 mm and 147-153 mm, for drip irrigation and microsprinkler irrigation, respectively. Both drip irrigation as well as microsprinkler irrigation influenced on the growth of the asparagus summer stalks as well as significantly increased the marketable yield of white spears. The mean yield increases caused by irrigation amounted  $2.9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  and  $2.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , under drip irrigation and microsprinkler irrigation conditions, respectively. From among the tested cultivars, the Gijnlim was characterized by the best response to irrigation. The marketable yield increase caused by irrigation amounted on average  $4.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . This cultivar was also characterized by the highest yielding potential under irrigation conditions on the very light soil – the mean marketable yield amounted  $10.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . The usage of irrigation was cost-effective. The highest values of the direct surplus were obtained for the drip irrigation and the Gijnlim cultivar. The drip irrigation system was more effective than microsprinkler irrigation. The asparagus plants cultivated at the drip irrigated plotys was characterized by the lower water use and irrigation needs. Yield increases thanks to drip irrigation were not significant differ to microsprinkler but, mean water doses were close to 26% lower.

The usage of modern technology of microirrigation (drip irrigation and microsprinkler irrigation) increases the productive potential of a very light soil by securing optimum soil moisture conditions and because of this it is possible to obtain high yields of crops cultivated on the area characterized by distinct water deficits.

## ANEKS



Fot. 1. Nawadnianie kroplowe szparaga w I roku uprawy  
Phot. 1. Drip irrigation of asparagus in the 1<sup>st</sup> year of cultivation



Fot. 2. Kroplowe nawadnianie pędów asymilacyjnych szparaga na plantacji plonującej  
Phot. 2. Drip irrigation of asparagus summer stalks on the yielded plantation





Fot. 3. Mikrozaszanie pędów asymilacyjnych szparaga na plantacji plonującej  
Phot. 3. Microsprinkler irrigation of asparagus summer stalks on the yielded plantation



Fot. 4. Nienawadniane pędy asymilacyjne szparaga w czasie wegetacji  
Phot. 4. Non irrigated asparagus summer stalks during the vegetation





Fot. 5. Kroplowo nawadniane pędy asymilacyjne szparaga w czasie wegetacji  
Phot. 5. Drip irrigated asparagus summer stalks during the vegetation



Fot. 6. Widok plantacji doświadczalnej w czasie wegetacji  
Phot. 6. View of experimental plantation during the vegetation



Fot. 7. Widok maszyny do formowania wałów

Phot. 7. View of the machine to the form of ridges



Fot. 8. Uformowane wały przed zbiorem szparaga

Phot. 8. Shaped ridges before the harvest





Fot. 9. Wały okryte folią czarno – białą w czasie zbiorów

Phot. 9. Ridges covered by black-white plastic during the harvest time



Fot. 10. Wypustka szparaga gotowa do zbioru

Phot. 10. Asparagus spear ready to harvest



Fot. 11. Widok wypustek szparaga w czasie zbioru

Phot. 11. View of the asparagus spears during the harvest time





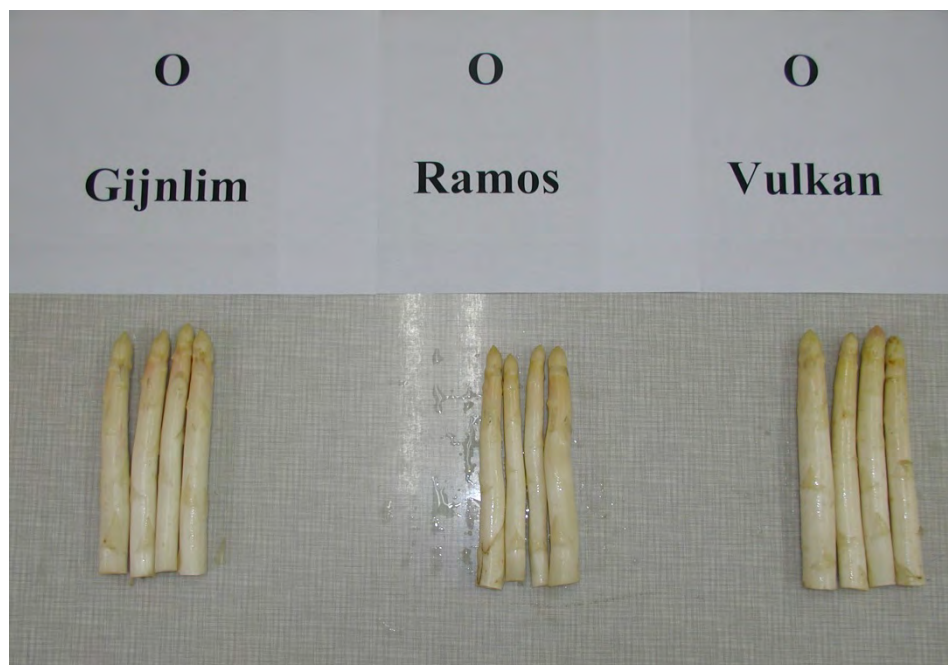
Fot. 12. Wycięte wypustki szparaga w dniu zbioru

Phot. 12. Cuted asparagus spears during the harvest day



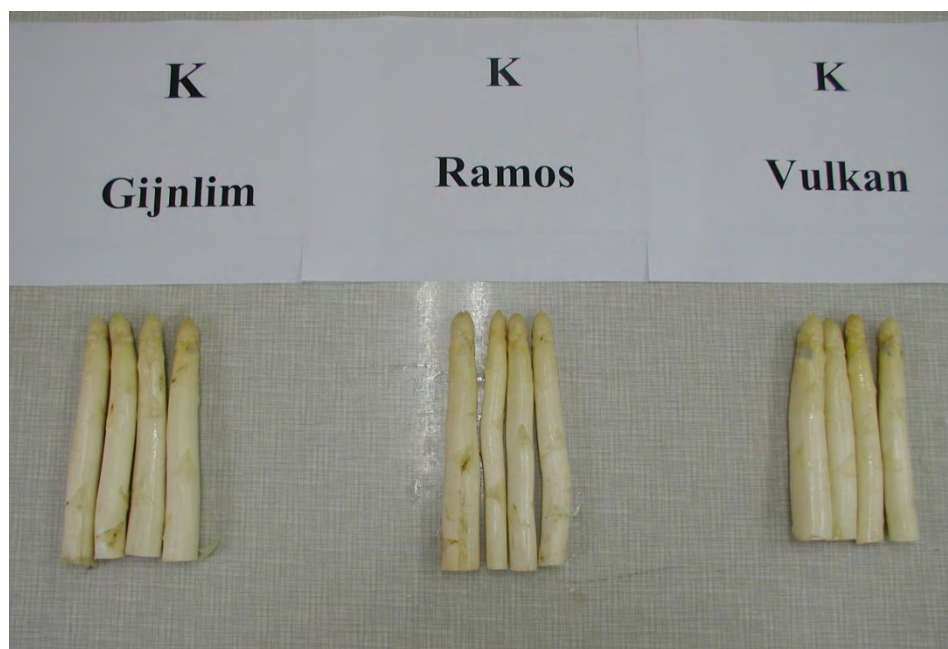
Fot. 13. Wycięte wypustki odmiany Gijnlim po zbiorze

Phot. 13. Cuted spears of cv. Gijnlim after the harvest



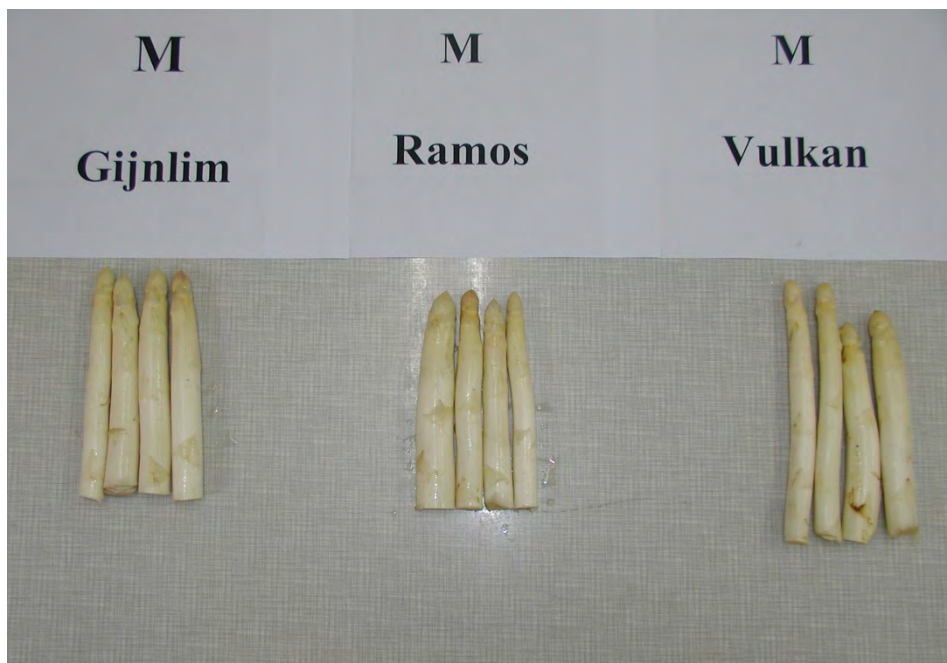
Fot. 14. Wypustki szparaga z poletek nienawadnianych

Phot. 14. Spears of asparagus from non-irrigated plots



Fot. 15. Wypustki szparaga z poletek nawadnianych kroplowo

Phot. 15. Spears of asparagus from drip irrigated plots



Fot. 16. Wypustki szparaga z poletek mikrozaszanych  
Phot. 16. Spears of asparagus from microirrigated plots



UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH  
W BYDGOSZCZY

## **ROZPRAWY NR 158**

Tomasz Paczkowski

**SYMULACJA KOMPUTEROWA  
OBRÓBKI ELEKTROCHEMICZNEJ  
POWIERZCHNI KRZYWOLINIOWYCH  
ELEKTRODĄ ROBOCZĄ  
O ZŁOŻONYM RUCHU TRANSLACYJNYM**

BYDGOSZCZ – 2012