



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

# **ROZPRAWA DOKTORSKA**

**DYSCYPLINA: ROLNICTWO I OGRODNICTWO**

**mgr inż. Michał Kropkowski**

## **OCENA POTRZEB I EFEKTÓW NAWADNIANIA SOI (*Glycine max* (L.) Merrill) NA OBSZARZE DEFICYTOWYM W WODĘ**

***Assessment of needs and effects of irrigation in soybean  
(*Glycine max* (L.) Merrill) cultivation in an area of water  
deficits***

### **PROMOTOR**

prof. dr hab. inż. Jacek Żarski  
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

### **PROMOTOR POMOCNICZY**

dr inż. Stanisław Dudek  
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich



BYDGOSZCZ 2023

## 1. WSTĘP

Produkcja roślinna w Polsce jest narażona na klimatyczne ryzyko wynikające z częstego i nieregularnego występowania okresów posusznych, charakteryzujących się brakiem lub niedostateczną ilością opadów atmosferycznych. Z największą częstością okresy te występują w nizinnej, centralnej części Polski, stanowiącej główny obszar uprawy roślin. W rejonie Pomorza i Kujaw dużą intensywność i zasięg posuchy meteorologicznej oraz rolniczej obserwowano w wielu sezonach wegetacji, np. w roku 1989, 1992, 2000, 2003, 2008 i 2015. Istnieją doniesienia naukowe sygnalizujące nasilanie się występowania susz w ostatnich latach.

Wystąpienie posuchy rolniczej w okresie wzmożonych potrzeb wodnych roślin przyczynia się do pogorszenia plonowania, zarówno w aspekcie ilościowym, jak i jakościowym. Dotyczy to szczególnie roślin uprawianych na glebach lekkich i bardzo lekkich. Aktywnym sposobem łagodzącym negatywne skutki susz jest zastosowanie nawadniania. Według wielu badań zapewnia ono prawidłowy wzrost i rozwój roślin oraz intensyfikuje procesy fizjologiczne. W rezultacie powoduje wzrost ilości plonu i jego stabilizację w latach, a także korzystnie wpływa na jakość plonu.

W warunkach klimatycznych centralnej Polski nawadnianie ma charakter zabiegu interwencyjnego. Do czynników przyczyniających się do wzrostu powierzchni upraw nawadnianych, obok zapewnienia wyższych i stabilnych plonów o dobrej jakości, zaliczyć można potrzebę wzrostu nowoczesności i konkurencyjności gospodarstw rolniczych oraz prognozowane zmiany klimatyczne. Z prognoz tych wynika, że temperatura powietrza i ewapotranspiracja będzie wzrastać oraz zwiększy się wariacja opadów atmosferycznych prowadząca do wzrostu częstości występowania susz.

W ramach prac nad doborem gatunków i odmian roślin na nawadniane grunty orne, zainteresowano się uprawą soi. Ta jednoroczna roślina strączkowa jest jedną z najważniejszych w światowym rolnictwie. Łączna powierzchnia uprawy soi na świecie w 2020r. wynosiła około 127 mln hektarów. Według danych FAOSTAT, większą powierzchnię zajmowały tylko pszenica, kukurydza i ryż.

Plon roślin strączkowych, w tym soi, jest tanim źródłem ważnych składników odżywczych, takich jak białko i tłuszcz. To skład chemiczny soi determinuje jej znaczenie w światowej gospodarce. Ponadto uprawa roślin strączkowych wpływa pozytywnie na żyzność i strukturę gleby. Zwiększeniu ulega dostępność glebowej materii organicznej bogatej w azot. Soja jest uważana za roślinę uniwersalną i bardzo cenną, ze względu na szerokie zastosowanie i wykorzystanie w gospodarce, jej powierzchnia uprawy systematycznie rośnie. Coraz większy popyt na rośliny o dużej zawartości dobrego jakościowo białka oraz dodatkowo niemodyfikowanego genetycznie prowadzi do wzrastającego zainteresowania soją. Wielość zastosowań oraz zasięg światowego obszaru uprawy soi powoduje, iż roślina ta jest obiektem badań naukowych w szerokim zakresie. Prace badawcze prowadzą naukowcy z różnych regionów świata. W Polsce dotyczą one przede wszystkim prac hodowlanych nad odmianami przystosowanymi do krajowych warunków klimatycznych, a także zmian klimatycznego ryzyka uprawy soi, ekonomicznych aspektów uprawy soi, oddziaływania niektórych zabiegów agrotechnicznych na brodawkowanie soi.

W Polsce uprawa soi ma charakter innowacyjny, otwierający nowe możliwości przed krajowym rolnictwem. W związku z deficytem białka roślinnego w Polsce, soja może stać się ważnym ogniwem odbudowy krajowych zasobów tego kluczowego surowca.

Warunki klimatyczne w okresie wegetacji mają bardzo duży wpływ na plonowanie soi. Soja jest rośliną o dużych potrzebach wodnych. Panujące w danym okresie wegetacyjnym warunki pogodowe mają duży wpływ na plonowanie soi. Badacze potwierdzają zależność wysokości plonu nasion soi od warunków klimatycznych w danym okresie wegetacyjnym, takich jak na przykład wystąpienie suszy w okresie czerwiec-sierpień.

W dotychczasowych badaniach i analizach akcentowano przede wszystkim wysokie wymagania termiczne soi, mniejszą wagę przywiązując do oceny potrzeb wodnych. W warunkach klimatycznych Polski nie prowadzono szerszych badań polowych z nawadnianiem tego gatunku.

## CEL PRACY

Głównym celem przeprowadzonych badań jest określenie wpływu nawadniania oraz nawożenia azotowego, a także interakcji tych czynników na wysokość, strukturę i jakość plonu nasion dwóch odmian soi, uprawianych na glebie lekkiej w rejonie Bydgoszczy. Szczegółowe cele naukowe to:

- ocena efektów produkcyjnych i ekonomicznych nawadniania soi,

- powiązanie plonowania soi z warunkami agrometeorologicznymi w celu wyznaczenia opadów optymalnych i okresów wzmożonego zapotrzebowania na wodę badanych odmian soi,
- rozpoznanie potrzeb nawadniania soi na obszarze deficytowym w wodę (gleba lekka w strefie o obniżonych opadach atmosferycznych).

## **HIPOTEZA BADAWCZA**

Hipoteza badawcza zakłada, że zastosowanie nawadniania w technologii produkcji spowoduje wzrost oraz stabilizację plonów nasion badanych odmian soi, a także wpłynie korzystnie na ich jakość. Przeprowadzone badania pozwolą na lepsze rozpoznanie potrzeb opadowych i nawodnieniowych soi oraz ich określenie ilościowe.

## **2. MATERIAŁ I METODY**

### **2.1. INFORMACJE OGÓLNE**

Rozprawa doktorska została przygotowana na podstawie rezultatów ścisłych eksperymentów polowych z nawadnianiem deszczownianym oraz nawożeniem azotem soi, wykonanych w latach 2015-2018. Eksperymenty zrealizowano na polach doświadczalnych Stacji Badawczej (obecnie włączona do Rolniczy Zakład Doświadczalny Minikowo) Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy. Pola zlokalizowane są w miejscowości Mochełek.

### **2.2. CHARAKTERYSTYKA ODMIAN**

W prowadzonych doświadczeniach polowych w ramach rozprawy doktorskiej sprawdzono dwie odmiany soi: ‘Aldana’ oraz ‘Merlin’.

Odmiana ‘Aldana’ należy do grupy odmian wczesnych. Według danych COBORU charakteryzuje się zdolnością kiełkowania na poziomie 89%. Jak podają wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych COBORU prowadzonych w roku 2016, wysokość plonu nasion odmiany ‘Aldana’ wyniosła 25,1 dt·ha<sup>-1</sup>. Odmiana ta w roku badań 2016 charakteryzowała się wyższą w porównaniu do wzorca zawartością białka ogólnego (34,6% s.m.), tłuszczu surowego (24,0% s.m.) oraz włókna surowego (8,1% s.m.). Ponadto równomierniej dojrzewała (8,5 w skali 9°) oraz osiągnęła wyższą masę tysiąca nasion (181 g), w porównaniu ze wzorcem.

Odmiana ‘Merlin’ należy do grupy odmian średniowczesnych. Jak podają dane COBORU charakteryzuje się zdolnością kiełkowania na poziomie 92%. Według wyników porejestrowych doświadczeń odmianowych COBORU prowadzonych w roku 2017 wysokość plonu nasion odmiany ‘Merlin’ wyniosła 37,5 dt·ha<sup>-1</sup> i była to wartość wyższa niż wzorzec. Ponadto wyższe wartości niż wzorzec opisywana odmiana soi osiągała dla takich cech jak: zawartość tłuszczu surowego (23,7% s.m.) oraz włókna surowego (8,1% s.m.), a także równomierniej dojrzewała (8,2 w skali 9°).

### **2.3. CZYNNIKI DOŚWIADCZENIA**

Eksperymenty polowe w latach 2015-2018 przeprowadzono w czterech powtórzeniach metodą losowych podbloków w układzie zależnym split-plot. W doświadczeniach zastosowano dwa czynniki.

Jednym z dwóch czynników była woda, którą aplikowano badanym odmianom soi przy użyciu nawadniania deszczownianego. Czynniki ten zastosowano w dwóch wariantach:

- W<sub>0</sub> – bez deszczowania (obiekty kontrolne),
- W<sub>1</sub> – deszczowanie optymalne.

Na polkach Stacji Badawczej prowadzono stały monitoring wilgotności korzeniowej warstwy gleby za pomocą bilansowania zapasu wody łatwo dostępnej na podstawie parametrów meteorologicznych. Terminy nawadniania ustalano na podstawie uzyskanych wyników przy użyciu metody profesora Grabarczyka. Zastosowane deszczowanie było zabiegiem interwencyjnym, zależnym od warunków pogodowych i zapewniało w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu zapas wody łatwo dostępnej w całym okresie wegetacji soi. Poziom zaaplikowanej wody kształtował się następująco w badanych latach. W sezonie wegetacyjnym 2015 roku łącznie zastosowano 240 mm wody w 8 dawkach po 30 mm. Nawadnianie stosowano w miesiącach: czerwiec (3 i 10 dzień miesiąca), lipiec (1 i 17 dzień miesiąca) oraz sierpień (3, 12, 17 i 25 dzień miesiąca). Sezon wegetacyjny 2016 wymagał zastosowania 1 dawki wielkości 25 mm, którą zaaplikowano w dniu 12 sierpnia. Z kolei zgodnie z

pomiarami wilgotności strefy korzeniowej prowadzonych w sezonie wegetacyjnym roku 2017, zastosowano 1 dawkę w dniu 28 czerwca o wielkości 20 mm wody. Natomiast sezon wegetacyjny 2018 wymagał zastosowania 8 dawek o łącznej wielkości 210 mm wody. W czerwcu zastosowano 5 dawek: 4 dnia miesiąca 25 mm, 8 dnia miesiąca 25 mm, 15 dnia miesiąca 30 mm, 20 dnia miesiąca 25 mm oraz 29 dnia miesiąca 25 mm. W lipcu 2 dawki po 25 mm w dniach 4 i 9 lipca. W dniu 13 sierpnia zastosowano 30 mm wody. Do przeprowadzenia nawadniania deszczownianego użyto przenośnego systemu, który wykorzystuje niskociśnieniowe, sektorowe głowice typu Nelson o jednostkowej wydajności 200 l·h<sup>-1</sup>.

Drugim z czynników był azot, który aplikowano roślinom soi w postaci nawożenia mineralnego. Czynnik ten zastosowano w dwóch wariantach:

- N<sub>0</sub> – bez nawożenia (obiekty kontrolne),
- N<sub>1</sub> – nawożenie azotem.

W badanych latach 2015-2018 zastosowano każdego roku trwania eksperymentu polowego nawożenie azotem w dawce 30 kg N·ha<sup>-1</sup>. Azot zastosowano przedsięwzię jako dawkę startową w postaci saletry amonowej.

## **2.4. ZASTOSOWANE ZABIEGI AGROTECHNICZNE**

Jako przedplon w doświadczeniach polowych stosowano jęczmień jary. Przedsięwzię stosowano nawożenie fosforowo-potasowe w formie odpowiednio superfosfatu potrójnego oraz soli potasowej. Ponadto zastosowano zespół uprawek przedsięwzię, przygotowujących glebę pod uprawę soi.

Nasiona badanych odmian soi przed siewem zostały zaszczerpione nitraginą oraz wysiane w następujących terminach, w sezonie wegetacyjnym 2015 – 9 kwietnia, 2016 – 24 kwietnia, w 2017 – 24 kwietnia i w 2018 – 8 maja. W terminach siewu nasion zastosowano herbicyd. W czasie trwania doświadczeń prowadzono także mechaniczną eliminację zachwaszczenia poletek. W okresie wzrostu soi przeprowadzono zabiegi ochrony przed szkodnikami.

Zbiórów dokonano przy użyciu kombajnu poletkowego, w fazie dojrzałości pełnej nasion soi analizowanych odmian w następujących terminach, w sezonie wegetacyjnym 2015 – 17 września, w 2016 – 30 września, w 2017 – 19 października i w 2018 – 21 września.

## **2.5. METODYKA PROWADZONYCH BADAŃ**

### **Plon nasion oraz cechy biometryczne**

Przed zbiorem nasion soi analizowanych odmian ‘Aldana’ oraz ‘Merlin’ na poletkach doświadczalnych Stacji Badawczej dokonano oceny cech biometrycznych i elementów struktury plonu bezpośrednio na poletkach doświadczalnych oraz analizując pobrane próby materiału roślinnego. Ocena ta uwzględniała takie parametry jak: wysokość roślin [cm], wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie [cm], liczba strąków na jednej roślinie [szt.] i liczba nasion z jednej rośliny [szt.].

Po zbiorze omawianych odmian soi, analizie poddano plon nasion [t·ha<sup>-1</sup>] w przeliczeniu na 15% wilgotności oraz masę tysiąca nasion [g].

W Katedrze Przyrodniczych Podstaw Rolnictwa i Ogrodnictwa Politechniki Bydgoskiej przy pomocy programu komputerowego ANALWAR-5.1.FR dokonano analizy wariancji otrzymanych wyników plonu nasion, masy tysiąca nasion oraz składowych oceny biometrycznej materiału roślinnego.

Natomiast w laboratorium Politechniki Bydgoskiej wykonano analizy składu chemicznego nasion soi omawianych odmian w latach 2015-2017. Oznaczono następujące parametry składu chemicznego:

- białko ogólne – za pomocą metody kolorymetrycznej na kolorymetrze przepływowym,
- tłuszcz surowy – za pomocą metody Soxhleta.

### **Warunki klimatyczne**

Panujące w rejonie Bydgoszczy warunki klimatyczne w badanym okresie scharakteryzowano w oparciu o dane meteorologiczne dotyczące opadów atmosferycznych oraz temperatury powietrza w okresach wegetacji 2015-2018 oraz wielolecia 1990-2020. Dane te pochodziły z punktu pomiarowego zlokalizowanego w Mochełku, znajdującego się na terenie wcześniej opisanej Stacji Badawczej.

Warunki termiczne w latach 2015-2018 w rejonie Bydgoszczy opisano poprzez sklasyfikowanie poszczególnych okresów stosując metodę Lorenc, opartą o kryterium standaryzowanego odchylenia od średniej (11 klas).

Ponadto warunki termiczne w omawianych okresach wegetacji, a ściślej zasoby termiczne scharakteryzowano przy użyciu wskaźnika agroklimatycznego - sum efektywnych temperatur w okresie od siewu do zbioru soi w poszczególnych latach doświadczenia. Stopniodni wzrostu (GDD) zostały obliczone według poniższego wzoru. Jako progową temperaturę powietrza przyjęto zgodnie z literaturą wartość 6°C.

$$GDD = \left[ \frac{(T_{\max} + T_{\min})}{2} \right] - T_{\text{base}}$$

gdzie:

GDD – suma temperatur efektywnych [°C],

$T_{\max}$  – maksymalna dobowa temperatura powietrza [°C],

$T_{\min}$  – minimalna dobowa temperatura powietrza [°C],

$T_{\text{base}}$  – wartość progowa temperatury powietrza [°C].

W pracy dokonano także oceny warunków wodnych panujących w okresie 2015-2018 w rejonie Bydgoszczy. Jednym z parametrów była ocena ilości opadu w okresie prowadzenia doświadczeń polowych, którą wykonano przy użyciu wskaźnika RPI. Wykorzystano opartą na powyższym wskaźniku klasyfikację Kaczorowskiej.

Z kolei niedobory opadów wyliczono wykorzystując metodę Klatta. Przyjęto następujące wartości opadów optymalnych podane przez Klatta dla roślin strączkowych (bobik, bób, fasola): maj 60 mm, czerwiec 75 mm, lipiec 70 mm i sierpień 65 mm. Zastosowano poprawki związane z temperaturą powietrza – na każdy 1°C różnicy temperatury w stosunku do podawanej jako normatywna przez Klatta, opady zwiększano lub zmniejszano o 5 mm.

Ponadto przeprowadzono bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w latach prowadzenia doświadczeń polowych w okresie od 1 czerwca do 31 sierpnia, a więc w okresie wzmożonych potrzeb wodnych rośliny. Dobowe wartości zużycia wody z górnej warstwy gleby na parowanie przyjęto według pracy Drukpi.

Wykonano również analizę warunków wodnych w latach prowadzenia doświadczeń polowych pod kątem ciągów dni bezopadowych, czyli kolejnych dni okresu wegetacji, w których nie wystąpiły opady atmosferyczne. Na potrzeby pracy za znaczące przyjęto ciągi mające 5 i więcej dni bezopadowych. Omówieniu poddano okres od 1 czerwca do 31 sierpnia, czyli wzmożonych potrzeb wodnych soi.

### Ocena ekonomicznej efektywności deszczowania

W pracy analizie poddano także ocenę efektywności ekonomicznej nawadniania soi. Uzyskane w doświadczeniach polowych wyniki dotyczące efektywności produkcyjnej nawadniania rośliny posłużyły do opracowania oceny efektywności ekonomicznej nawadniania omawianych odmian soi przedstawionej w rozdziale wyniki badań. Na potrzeby opracowania przyjęto wielkość plonu nasion soi uzyskaną w poszczególnych latach doświadczeń polowych z poletek nienawadnianych i nawadnianych w wariancie z zastosowaną przedsięwzięciem dawką nawozu azotowego.

Do oceny ekonomicznej efektywności nawadniania wykorzystano metodę kalkulacji przyrostu nadwyżki bezpośredniej:

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

gdzie:

$\Delta D$  – przyrost nadwyżki bezpośredniej [zł·ha<sup>-1</sup>],

$\Delta P$  – wartość produkcji dodatkowej uzyskanej poprzez zastosowanie nawadniania deszczownianego [zł·ha<sup>-1</sup>],

$Kd$  – koszty nawadniania deszczownianego [zł·ha<sup>-1</sup>],

$\Delta Kr$  – dodatkowe koszty bezpośrednie, wynikające z uzyskania dodatkowej produkcji [zł·ha<sup>-1</sup>].

W obranej metodzie wartość przyrostu nadwyżki bezpośredniej uzyskanej w wyniku zastosowania nawadniania deszczownianego soi wyliczono poprzez odjęcie od przyrostu wartości produkcji, kosztów nawadniania oraz przyrostu kosztów bezpośrednich. Z kolei jako przyrost wartości produkcji przyjęto iloczyn efektów produkcyjnych nawadniania i średniej ceny skupu.

W analizie założono pięć wariantów powierzchni soi nawadnianych przy użyciu deszczowni: 1, 5, 10, 20 i 50 hektarów.

Na potrzeby badań cenę nasion soi przyjęto za lata 2019-2021 na podstawie danych pochodzących z Krajowego Zrzeszenia Producentów Rzepaku i Roślin Białkowych. W poszczególnych latach ceny nasion soi oscyływały w następujących wartościach netto: rok 2019 - 130,00 zł·dt<sup>-1</sup>, rok 2020 - 160,00 zł·dt<sup>-1</sup> i rok 2021 - 250,00 zł·dt<sup>-1</sup>.

W związku z panującą w 2021r. sytuacją geopolityczną oraz ekonomiczną na świecie, z której wynika znacząca różnica pomiędzy ceną nasion soi w roku 2021, a latami 2019-2020 przyjęto dwa warianty oceny efektywności ekonomicznej nawadniania soi. W I wariantcie jako cenę nasion soi przyjęto średnią z lat 2019-2021, tj. 180,00 zł·dt<sup>-1</sup>. Z kolei w II wariantcie przyjęto cenę nasion w roku 2021, tj. 250,00 zł·dt<sup>-1</sup>.

Do określenia kosztów instalacji nawadniającej oraz późniejszych kosztów nawadniania wykorzystano dane (pozyskane z firmy Łukomet) pochodzące z literatury. Na potrzeby pracy doktorskiej, biorąc pod uwagę zmieniające się okoliczności ekonomiczne ostatnich lat, wyżej wspomniane wartości zwiększono o 15%. Ponadto przyjęto 15-letni okres użytkowania instalacji nawadniającej (stopę amortyzacji założono na poziomie 6,67%), oprocentowanie kapitału na poziomie 5%, a koszty materiałów i napraw na poziomie 2% kosztów inwestycji. Według założeń w instalacjach nawodnieniowych wykorzystano pompy o napędzie spalinowym, zasilane olejem napędowym. Cenę paliwa – oleju napędowego ustalono na poziomie średniej za rok 2021r. – 5,35 zł·l<sup>-1</sup>. W ocenie uwzględniono także wzrost kosztów bezpośrednich spowodowanych przyrostem plonu. Przyjęto, iż wynosi on 30% wartości dodatkowo uzyskanej produkcji. W opracowaniu nie uwzględniono kosztów pracy oraz kosztów wody. Założono, iż pochodzi ona z własnego źródła - ujęcia powierzchniowego.

### **3. WARUNKI DOŚWIADCZENIA**

#### **3.1. WARUNKI GLEBOWE**

Poletka doświadczalna, na który prowadzono eksperymenty polowe dotyczące soi w omawianym okresie położone były na glebie płowej typowej, która została wytworzona z piasków fluwioglacjalnych na płytce zalegającej glinie średniej. Glebę tą zakwalifikowano do klasy bonitacyjnej IVa i kompleksu przydatności rolniczej żyniego bardzo dobrego.

#### **3.2. WARUNKI KLIMATYCZNE**

##### **Średnie temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018**

Powyższy okres charakteryzował się wyższą średnią temperatury powietrza w rejonie Bydgoszczy w przedziale IV-IX w porównaniu z latami 1991-2020. Wyższe średnie temperatury powietrza zanotowano dla miesięcy kwiecień, maj, czerwiec, sierpień oraz wrzesień w odniesieniu do lat 1991-2020. Analiza danych wykazała, iż średnia temperatura powietrza sezonu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy dla okresu wielolecia 1991-2020 wynosiła 14,8°C, a dla okresu badań polowych 15,3°C.

W okresie wegetacji 2015 średnia temperatura powietrza była identyczna jak w okresie wielolecia, tj. 14,8°C. W klasyfikacji według metody Lorenc, analizowany okres wegetacji został uznany za normalny. Najcieplejszym miesiącem w okresie wegetacji 2015 był sierpień z temperaturą 20,9°C, która była wyższa o 2,7°C od średniej temperatury dla wielolecia w tym miesiącu. W miesiącach kwiecień, maj, czerwiec oraz lipiec odnotowano niższą średnią temperaturę powietrza niż w wieloleciu. Z kolei w sierpniu oraz wrześniu w analizowanym okresie wegetacji odnotowano średnią temperaturę powietrza wyższą niż w latach 1991-2020. Według klasyfikacji metodą Lorenc kwiecień i czerwiec sklasyfikowano jako miesiące lekko chłodne. Maj, lipiec i wrzesień jako normalne, a sierpień jako bardzo ciepły. Natomiast analizując okres wegetacji 2015 roku w ujęciu dekadowym ustalono, iż najcieplejsze były I i II dekada sierpnia (22,6°C i 21,3°C).

W okresie wegetacji 2016 średnia temperatura powietrza sezonu wegetacyjnego była wyższa o 0,1°C niż w okresie wielolecia i wynosiła 14,9°C. W klasyfikacji według metody Lorenc, analizowany okres wegetacji uznano za normalny. Najcieplejszym miesiącem w okresie wegetacji 2016 był lipiec z temperaturą 18,3°C, która była niższa o 0,6°C w stosunku do średniej temperatury dla wielolecia w tym miesiącu. Również w sierpniu odnotowano niższą średnią temperaturę powietrza niż w wieloleciu. Z kolei w maju, czerwcu oraz wrześniu w roku 2016 odnotowano średnią temperaturę powietrza wyższą niż w latach 1991-2020. Według klasyfikacji metodą Lorenc miesiące maj, czerwiec i wrzesień zostały sklasyfikowane jako lekko ciepłe. Kwiecień i lipiec jako normalne, a sierpień jako chłodny. Analizując

okres wegetacji 2016 w ujęciu dekadowym ustalono, iż najcieplejsza była III dekada czerwca oraz lipca (19,8°C).

Z kolei w okresie wegetacji 2017 średnia temperatura powietrza była niższa o 0,6°C w stosunku do okresu wielolecia i wynosiła 14,2°C. Analizowany okres wegetacji został zakwalifikowany jako lekko chłodny według metody Lorenc. Najcieplejszymi miesiącami w tym okresie były lipiec i sierpień z temperaturą 17,7°C, która była niższa odpowiednio o 1,2°C oraz 0,5°C od średniej temperatury dla wielolecia w tych miesiącach. W miesiącach kwiecień, lipiec, sierpień, wrzesień odnotowano niższą średnią temperaturę powietrza niż w wieloleciu. Z kolei w maju oraz czerwcu w analizowanym okresie wegetacji odnotowano średnią temperaturę powietrza nieznacznie wyższą niż w latach 1991-2020. Według klasyfikacji metodą Lorenc kwiecień i lipiec sklasyfikowano jako lekko chłodne, a maj, czerwiec, sierpień i wrzesień jako normalne. Analizując okres wegetacji 2017 w ujęciu dekadowym ustalono, iż najcieplejsza była I dekada sierpnia (19,9°C). Przebieg temperatury był dość charakterystyczny, jednak od normy mocno odbiegała zwłaszcza niska temperatura w I dekadzie lipca.

W okresie wegetacji 2018 średnia temperatura powietrza wynosiła 17,2°C i była wyższa o 2,4°C niż w okresie wielolecia. W klasyfikacji według metody Lorenc, analizowany okres wegetacji został uznany za ekstremalnie ciepły. Najcieplejszym miesiącem w roku 2018 był lipiec z temperaturą 20,5°C, która była wyższa o 1,6°C od średniej temperatury dla wielolecia w tym miesiącu. We wszystkich miesiącach, tj. od kwietnia do września w analizowanym okresie wegetacji odnotowano średnią temperaturę powietrza wyższą niż w latach 1991-2020. Największą różnicę odnotowano w kwietniu i maju (3,7°C), z kolei najmniejszą w lipcu (1,6°C). Według klasyfikacji metodą Lorenc kwiecień i maj sklasyfikowano jako anomalnie ciepłe. Czerwiec i sierpień jako ciepłe, lipiec jako lekko ciepły, a sierpień jako bardzo ciepły. Analizując okres wegetacji 2018 w ujęciu dekadowym ustalono, iż najcieplejsza była I dekada sierpnia (23,3°C). Upalna okazała się także III dekada lipca.

### **Suma temperatur efektywnych w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018**

W okresie wegetacji 2015 od siewu soi, który nastąpił w dniu 9 kwietnia do zbioru w dniu 17 września zanotowano sumę temperatur efektywnych o wartości 1489,0°C. Bardzo zbliżoną wartość analizowanego wskaźnika zanotowano w roku 2016, gdy wyniósł on 1473,1°C. Siew miał miejsce w dniu 24 kwietnia, a zbiór 30 września. Jak stwierdzono powyżej lata te były w klasyfikacji Lorenc uznane za normalne. Z kolei w roku 2017 siew soi nastąpił również w dniu 24 kwietnia, ale plon zebrano w dniu 19 października, gdy suma temperatur efektywnych wynosiła 1593,5°C. Należy podkreślić, iż rok 2017 sklasyfikowano jako lekko chłodny. W okresie wegetacji 2018 siew wykonano w dniu 8 maja. Natomiast zbiór w dniu 21 września przy łącznej wartości temperatur efektywnych w tym okresie wynoszącej 1749,5°C, a rok został uznany za ekstremalnie ciepły. Opisane powyżej sumy temperatur efektywnych przy temperaturze progowej mieszczą się w przedziale temperatur dla soi wskazywanych przez innych badaczy.

### **Ilość opadów w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018**

Okres 2015-2018 w rejonie Bydgoszczy charakteryzował się niższą średnią sumą opadów atmosferycznych w przedziale IV-IX w porównaniu z latami 1991-2020. Wyższe średnie opady atmosferyczne zanotowano w kwietniu i lipcu badanego periodu w odniesieniu do wielolecia. Przeprowadzone analizy danych wykazały, iż średni, sumaryczny opad atmosferyczny w rejonie Bydgoszczy dla okresu wielolecia 1991-2020 wynosił 324,5 mm. W badanym czteroleciu (2015-2018) średnia suma opadów sezonu wegetacyjnego wyniosła 315,6 mm.

Okres wegetacji 2015 charakteryzował się łącznym opadem o wartości 193,3 mm. Jest to o 131,2 mm mniej niż średnia wielolecia. Zgodnie z klasyfikacją RPI według Kaczorowskiej okres ten należy zaliczyć do bardzo suchych. Według powyższej metody maj i sierpień były miesiącami bardzo suchymi. Miesiące kwiecień, czerwiec i lipiec sklasyfikowano jako suche, a wrzesień jako normalny. Najwyższe opady miały miejsce we wrześniu, gdy spadło 52,4 mm wody (106,5% normy). Z kolei w czerwcu odnotowano najniższe opady atmosferyczne o wartości 15,6 mm (60,5% normy). Zanotowano jedną dekadę bez opadów, tj. III dekada września. Niewielki opad, wynoszący 2,3 mm zanotowano w I dekadzie czerwca (okres wzmożonego zapotrzebowania soi na wodę) co skutkowało zastosowaniem deszczowania interwencyjnego. Natomiast największy opad w ujęciu dekadowym analizowanego okresu wegetacji wystąpił w I dekadzie września.

Prowadzone pomiary opadów wykazały, iż w okresie wegetacji 2016 spadło łącznie 386,7 mm wody, jest to o 62,5 mm więcej niż wynosi średnia wartość dla lat 1991-2020. Wyżej wspomniany okres

był według klasyfikacji Kaczorowskiej rokiem wilgotnym. Odnotowano jeden miesiąc bardzo suchy – wrzesień, trzy miesiące normalne – kwiecień, maj oraz sierpień oraz dwa bardzo wilgotne i były to czerwiec, a także lipiec. Najwyższy miesięczny opad miał miejsce w lipcu – 133,8 mm wody, co stanowiło 172,9% normy w stosunku do wielolecia. Zbliżony stosunek zanotowano także dla czerwca – 173,3% normy. Najniższy łączny opad wystąpił we wrześniu – 19,4 mm. W ujęciu dekadowym zanotowano dwie dekady bez opadów. Były to II i III dekada września. Skąpe opady odnotowano także w I dekadzie czerwca i II dekadzie sierpnia. W II dekadzie lipca wystąpił z kolei najwyższy opad atmosferyczny wysokości 63,9 mm.

Okres wegetacji 2017 był okresem bardzo wilgotnym w klasyfikacji RPI według Kaczorowskiej z sumarycznymi opadami atmosferycznymi wysokości 474,8 mm wody, tj. o 150,3 mm większymi niż średnia wielolecia. W omawianym okresie wystąpiły dwa miesiące sklasyfikowane według Kaczorowskiej jako normalne – maj i czerwiec. Ponadto kwiecień, lipiec i wrzesień były miesiącami bardzo wilgotnymi, a sierpień skrajnie wilgotnym. Sierpień był miesiącem z największą sumą opadów oraz % normy wielolecia, wynoszącymi odpowiednio 126,1 mm oraz 209,1%. Najniższe opady zanotowano w III dekadzie września – 4,9 mm. Z kolei największe wynoszące 64,2 mm w I dekadzie września.

Natomiast okres wegetacji 2018 został sklasyfikowany jako bardzo suchy z sumarycznymi opadami atmosferycznymi o wysokości 207,7 mm wody, tj. o 116,8 mm niższymi niż średnia wielolecia. W omawianym okresie maj, czerwiec, sierpień i wrzesień były miesiącami bardzo suchymi. Lipiec był miesiącem normalnym pod względem ilości opadów, a kwiecień okazała się bardzo wilgotny. Najwięcej opadów spadło w lipcu - łącznie 86,0 mm wody, natomiast najmniej w maju - 14,2 mm. Nie odnotowano opadów w II dekadzie czerwca. Z kolei największe, bardzo wysokie opady zanotowano w II dekadzie lipca – 74,9 mm.

#### **Ciągi dni bezopadowych w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018**

Analiza ciągów dni bezopadowych (5 i więcej dni) w miesiącach czerwiec-sierpień dla okresu prowadzenia doświadczeń polowych jednoznacznie wskazuje, iż lata 2015 i 2018 były latami o mniejszych opadach – gorszych warunkach wodnych niż lata 2016 i 2017. W roku 2015 wystąpiło 5 takich ciągów, a w roku 2018 aż 8. Natomiast w roku 2016 miały miejsce 4 takie przypadki (krótsze niż w 2015), a w 2017 tylko 1. Uzyskane wyniki są zbieżne z klasyfikacją RPI według Kaczorowskiej poszczególnych lat, gdzie lata 2015 i 2018 były latami bardzo suchymi. W tych latach zastosowano także nawadnianie o charakterze interwencyjnym w dawkach powyżej 200 mm wody.

## **4. WYNIKI BADAŃ**

### **4.1. POTRZEBY NAWADNIANIA ORAZ STEROWANIE ZABIEGIEM DESZCZOWANIA W UPRAWIE SOI W REJONIE BYDGOSZCZY W LATACH 2015-2018**

#### **Niedobory opadów w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018**

Na potrzeby pracy wyliczono średnie wartości dla okresu prowadzenia doświadczeń polowych (2015-2018). Największą średnią wartość opadów optymalnych oszacowano dla miesiąca czerwca (80,75 mm), a najmniejszą dla maja (66,75 mm). W maju zanotowano także najmniejsze (35,88 mm) opady rzeczywiste. Z kolei największe w lipcu (97,28 mm). W omawianym okresie badań niedobory opadów zanotowano w maju, czerwcu i sierpniu, odpowiednio o średnich wartościach: -30,88 mm, -27,80 mm i -17,28 mm. Natomiast dla miesiąca lipca wyliczono nadmiar opadów (23,53 mm).

Wysokości opadów optymalnych i ich rozkład w miesiącach V-VIII kształtowały się zróżnicowanie, w zależności od roku badań. Opady optymalne o bardzo zbliżonej wysokości ustalono dla 3 z 4 lat badań. W roku 2015, sklasyfikowanym według metody Lorenc jako normalny opady optymalne określono na poziomie 287,5 mm, w roku 2016 (lekko chłodny) na 285,5 mm, a w roku 2017, który był rokiem normalnym według powyższej klasyfikacji na 278,0 mm. Natomiast zdecydowanie najwyższe opady optymalne wyliczono dla roku 2018, który według klasyfikacji Lorenc należy uznać za ekstremalnie ciepły i wyniosły one sumarycznie 328,5 mm w omawianych miesiącach.

Opady rzeczywiste notowane w okresie prowadzenia doświadczeń polowych, tj. 2015-2018 wyraźnie wskazują, iż lata 2015 (łącznie w okresie V-VIII 125,3 mm) i 2018 (łącznie 150,3 mm) były latami o niskich opadach atmosferycznych - suchymi. Jest to zbieżne z zakwalifikowaniem tych lat jako



bardzo suche zgodnie z klasyfikacją RPI według Kaczorowskiej. Z kolei rok 2016 (łącznie 338,6 mm) i 2017 (łącznie 355,6 mm) zakwalifikowano odpowiednio jako wilgotny i bardzo wilgotny. Należy podkreślić, że w każdym z omawianych okresów wegetacji wysokie opady w odniesieniu do pozostałych miesięcy notowano w lipcu.

W roku 2015 w każdym z omawianych miesięcy (V-VIII) wystąpiły niedobory opadów w przedziale od -22,1 mm do -64,2 mm. Także 2018 był rokiem z negatywnym wynikiem bilansu opadów rzeczywistych do optymalnych, gdzie tylko w lipcu zanotowano niewielki nadmiar opadów (3,5 mm). Natomiast w pozostałych miesiącach notowano niedobory na poziomie od -55,8 mm do -65,3 mm. Z kolei w latach 2016 i 2017 w ogólnym bilansie zanotowano nadmiar opadów atmosferycznych, ale wystąpiły też miesiące z niedoborem opadów. Powyższe wyraźnie wskazuje, iż lata 2015 i 2018 były latami bardzo suchymi zgodnie z klasyfikacją RPI według Kaczorowskiej, z czego wynika interwencyjne zastosowanie zabiegu deszczowania w agrotechnice w tych sezonach wegetacji. W 2015 roku zastosowano łącznie 240 mm wody, a w roku 2018 210 mm wody. Z kolei w roku 2016 (wilgotnym) i 2017 (bardzo wilgotny) odpowiednio 25 mm i 20 mm wody deszczowniczej.

### **Bilans zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w rejonie Bydgoszczy w latach 2015-2018**

Z przeprowadzonego bilansu zapasu wody łatwo dostępnej wynika, iż w roku 2015 wystąpiło 48 dni z wyczerpanym zapasem wody. Kilkukrotnie odnotowano okresy suszy atmosferycznej, trwające nawet do 8 dni (2 krotnie – w czerwcu i sierpniu). Zanotowane opady atmosferyczne nie pokrywały potrzeb wodnych w analizowanym okresie. Wprowadzenie do agrotechniki deszczowania pozwoliło na zapewnienie zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin. Łącznie zastosowano 240 mm wody w 8 dawkach po 30 mm.

Bilans pokazuje, iż w roku 2016 wystąpiło 13 dni z wyczerpanym zapasem wody, która jest łatwo dostępna dla roślin. Sytuacja taka miała miejsce na początku czerwca oraz w ostatnich dniach sierpnia. Ponadto wystąpił jeden taki dzień w lipcu (26 lipca). Opady atmosferyczne w czerwcu i lipcu zapewniały stosunkowo korzystny poziom wody w glebie. Zastosowano nawodnienie w dawce 25 mm w dniu 12 sierpnia, co pozwoliło zatrzymać spadkową tendencję zapasu wody łatwo dostępnej dla rośliny w tamtym okresie.

Analizowany okres w 2017 roku charakteryzował się łącznie 11 dniami z wyczerpanym zapasem wody w glebie, z czego 10 zanotowano w czerwcu. Zastosowanie deszczowania w dniu 28 czerwca w dawce 20 mm pozwoliło wraz z występującymi w późniejszym okresie opadami atmosferycznymi na zapewnienie w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu zapasu wody łatwo dostępnej dla soi.

Z kolei w 2018 roku z bilansu zapasu wody łatwo dostępnej wynika, iż zanotowano łącznie 51 dni z wyczerpanym zapasem wody. Zanotowano kilka okresów suszy atmosferycznej, występujących w całym analizowanym okresie i trwających kilka dni. Opady atmosferyczne nie pokrywały potrzeb wodnych. Zastosowanie nawadniania interwencyjnego wydatnie poprawiało warunki wodne gleby, zapewniając zapas wody łatwo dostępnej dla roślin soi. Łącznie zastosowano 210 mm wody w 8 dawkach.

## **4.2. CECHY ILOŚCIOWE NASION SOI**

### **Plon nasion soi**

Średni plon nasion soi odmiany 'Aldana' w okresie 2015-2018 wyniósł  $2,20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W zależności od zastosowania nawadniania oraz dawki nawożenia azotem wahał się od  $1,60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na obiektach nienawadnianych i nawożonych do  $3,05 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na obiektach nawadnianych i nawożonych. Zastosowanie deszczowania spowodowało istotny wzrost plonu nasion o 57,3%, tj.  $0,98 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , z  $1,71 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $2,69 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Wynika z tego, iż 1 mm zastosowanej wody nawodnieniowej charakteryzował się średnią efektywnością na poziomie  $7,90 \text{ kg}$  nasion z hektara. Nawożenie azotem w omawianym okresie skutkowało tendencją wzrostu średniego plonu o  $0,26 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , tj. 12,6%. Zastosowanie 1 kg N skutkowało efektywnością na poziomie  $8,33 \text{ kg}$  nasion z hektara.

W poszczególnych latach badań, różniących się znacząco warunkami termiczno-opadowymi w okresie wegetacji soi, zarówno poziom plonów, jak i efektywność produkcyjna zastosowanych zabiegów były bardzo różne.

Rok 2015 cechował się średnim plonem nasion odmiany 'Aldana' na poziomie  $0,84 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  i była to najniższa wartość w okresie badań. W zależności od wariantu czynników wahał się w zakresie od  $0,35 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na poletkach nienawadnianych do  $1,62 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na poletkach nawadnianych i nawożonych

azotem. Deszczowanie było działającym istotnie czynnikiem, skutkowało wzrostem plonu o 282,9%, tj.  $0,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Zastosowanie 1 mm wody nawodnieniowej powodowało wzrost na poziomie  $4,13 \text{ kg}$  nasion z hektara. Również nawożenie azotem okazało się czynnikiem istotnie różnicującym plon. Zastosowanie zabiegu skutkowało wzrostem plonu nasion soi odmiany o 41,4%, tj.  $0,29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Uzyskane wyniki wskazują, iż 1 kg N charakteryzował się efektywnością na poziomie  $9,67 \text{ kg}$  nasion z hektara. Wyniki analizy statystycznej wykazały istotność interakcji czynników w kształtowaniu wysokości plonu nasion – zastosowana dawka nawożenia azotem prowadziła do wzrostu plonu tylko w warunkach deszczowania.

Wykonana analiza statystyczna wykazała, iż w roku 2016 zastosowane czynniki, deszczowanie oraz nawożenie azotem istotnie różnicowały plon nasion. Natomiast interakcja czynników doświadczenia była nieistotna. W omawianym roku soja odmiany ‘Aldana’ charakteryzowała się średnim plonem na poziomie  $2,38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Najniższy plon ( $2,09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) odnotowano na poletkach kontrolnych, a najwyższy ( $2,71 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) – podobnie jak w roku 2015 – na poletkach nawadnianych i nawożonych azotem. Zarówno zastosowanie nawadniania, jak i nawożenia zwiększyło plon nasion analizowanej odmiany w roku 2016. Według uzyskanych wyników 1 mm wody z deszczowni charakteryzował się efektywnością na poziomie  $17,2 \text{ kg}$  nasion z hektara. Zastosowanie nawadniania skutkowało wzrostem plonu nasion soi średnio o 20,0%, tj.  $0,43 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Także nawożenie azotem spowodowało wzrost plonu o  $0,19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (8,3%) w stosunku do kontroli. Efektywność jednostkowa 1 kg N wyniosła  $6,33 \text{ kg}$  nasion z hektara.

Rok 2017 charakteryzował się średnim plonem nasion soi powyższej odmiany na poziomie  $2,60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Najniższy ( $1,97 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) osiągnięto na poletkach nienawadnianych i nawożonych. Z kolei najwyższy plon ( $3,08 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) na poletkach nawadnianych i nawożonych. Zastosowanie deszczowania istotnie wpływało na plon nasion soi, powodując wzrost o 33,2% –  $0,74 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W roku tym osiągnięto najwyższą efektywność jednostkową nawadniania, stosując 1 mm wody uzyskano przyrost plonu wielkości  $37,0 \text{ kg}$  nasion z hektara. Przeprowadzona analiza nie wykazała istotności drugiego czynnika – nawożenia azotem.

Wyniki przeprowadzonego w roku 2018 doświadczenia wykazały, iż był to najlepszy (z czterech analizowanych) rok pod względem uzyskanego średniego plonu nasion ze wszystkich poletek, który wyniósł  $2,98 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Tak jak w roku 2015 zarówno deszczowanie, nawożenie jak i interakcja czynników istotnie wpływały na zróżnicowanie plonu. W zależności od wariantu doświadczenia zbierano plon w zakresie od  $1,85 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (poletka nienawadniane i nawożone) do  $4,80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (poletka nawadniane i nawożone). Wprowadzenie nawadniania do agrotechniki pozytywnie wpłynęło na plon nasion, powodując jego wzrost o  $1,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , tj. 83,8%. Zastosowanie 1 mm wody nawodnieniowej charakteryzowało się efektami na poziomie  $8,38 \text{ kg}$  nasion soi z hektara. Również nawożenie azotem miało istotny wpływ na uzyskany plon nasion rośliny omawianej odmiany. Na poletkach nawożonych był on wyższy o 26,6% –  $0,70 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w stosunku do poletek nienawożonych. Zastosowanie 1 kg N powodowało wzrost na poziomie  $23,3 \text{ kg}$  nasion z hektara.

W efekcie prowadzonych w latach 2015-2018 doświadczeń polowych uzyskano średni plon nasion soi odmiany ‘Merlin’ na poziomie  $3,38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Wahał się on od  $2,60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $4,19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w zależności od wariantu doświadczenia. Najniższy plon zanotowano na poletkach kontrolnych, a najwyższy na poletkach nawadnianych i nienawożonych azotem. Zastosowanie nawadniania skutkowało istotnym wzrostem średniego plonu nasion o 54,5%, tj.  $1,45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , z  $2,66 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $4,11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a 1 mm wody z deszczowni charakteryzował się efektywnością na poziomie  $11,69 \text{ kg}$  nasion z hektara. Zastosowane nawożenie azotem nie spowodowało istotnego zróżnicowania plonu nasion, nieistotna była również interakcja czynników doświadczenia w kształtowaniu omawianej cechy.

Podobnie jak w przypadku odmiany ‘Aldana’, również plon nasion odmiany ‘Merlin’ i jego zróżnicowanie pod wpływem zastosowanych w doświadczeniu czynników, cechowały się bardzo dużą zmiennością w poszczególnych latach badań.

W roku 2015 odnotowano najniższy, w stosunku do pozostałych lat z okresu badań, średni plon nasion rośliny powyższej odmiany, który wyniósł  $1,78 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Uzyskany plon wahał się w zależności od zastosowanego wariantu doświadczenia od  $0,77 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na obiektach nienawadnianych do  $2,80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na obiektach nawadnianych i nienawożonych. Nawadnianie istotnie zwiększyło plon nasion soi o  $2,03 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , co daje wzrost 263,6% w porównaniu do poletek nienawadnianych. 1 mm wody nawodnieniowej charakteryzował się efektywnością  $8,46 \text{ kg}$  nasion z hektara. Zarówno wpływ

nawożenia azotem, jak i interakcja zastosowanych czynników nie spowodowały istotnego zróżnicowania omawianej cechy.

Reakcja soi odmiany 'Merlin' na deszczowanie i nawożenie azotem była podobna w latach 2016 i 2017. Średni plon nasion odmiany 'Merlin' w roku 2016 wyniósł  $4,49 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  oraz  $3,65 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w roku 2017. W zależności od czynników doświadczenia wahał się na poszczególnych poletkach od  $4,13 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $4,84 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w roku 2016 i od  $3,38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $4,04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  w roku 2017. W omawianych latach najniższy plon odnotowano na poletkach nienawadnianych i nawożonych azotem, a najwyższy dla nawadnianych i nawożonych. Deszczowanie i nawożenie spowodowało istotne zróżnicowanie wysokości plonu nasion, jednak zastosowanie nawożenia powodowało spadek wielkości plonu nasion soi w obu latach. Z kolei nawadnianie deszczowniane zarówno w roku 2016, jak i 2017 skutkowało wzrostem plonu odpowiednio o 13,1% -  $0,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  oraz o 11,0% -  $0,38 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W roku 2016 efektywność produkcyjna 1 mm wody nawodnieniowej wynosiła 22,0 kg nasion na hektar, a w 2017 roku - 19,0 kg nasion na hektar. Interakcja czynników w omawianych latach nie wpływała istotnie na wysokość plonu nasion soi odmiany 'Merlin'.

W roku 2018 średni plon nasion ze wszystkich poletek wyniósł  $3,62 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W zależności od zastosowanego wariantu czynników doświadczenia uzyskano plon w zakresie od  $1,79 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na poletkach nienawadnianych i nienawożonych do  $5,09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na poletkach nawadnianych i nienawożonych. Zastosowanie nawadniania deszczownianego skutkowało istotnym wzrostem plonu nasion omawianej odmiany o  $2,84 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , tj. 129,1%. Zastosowanie 1 mm deszczowanej wody charakteryzowało się efektami wielkości  $13,52 \text{ kg}$  nasion soi z hektara. Zaznaczyła się tendencja do wzrostu plonu pod wpływem zastosowania nawożenia azotem. Na poletkach nawożonych plon soi był wyższy o 10,5% -  $0,36 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , w porównaniu do poletek nienawożonych. Zastosowanie 1 kg N powodowało jednostkowy wzrost plonu na poziomie  $12,0 \text{ kg}$  nasion z hektara.

### **Masa tysiąca nasion soi**

Średnia masa tysiąca nasion soi odmiany 'Aldana' w okresie trwania doświadczenia wyniosła 152,50 g. W zależności od kombinacji czynników doświadczenia średnia masa tysiąca nasion dla badanego okresu wahała się od 142,83 g na poletkach kontrolnych do 162,50 g na poletkach nawadnianych i nawożonych azotem. Pod wpływem zastosowania nawadniania zaznaczyła się tendencja do niewielkiego wzrostu, bo o 2,4% - 3,56 g średniej masy tysiąca nasion, w porównaniu z poletkami nienawadnianymi. Tendencję tę stwierdzono również pod wpływem nawożenia azotem. Nasiona roślin nawożonych cechowały się większą o 16,12 g (11,2%) masą tysiąca nasion, w porównaniu z nienawożonymi.

W roku 2015 masa tysiąca nasion soi odmiany 'Aldana' w zależności od kombinacji czynników doświadczenia wahała się od 108,40 g na poletkach kontrolnych do 150,52 g na poletkach nawadnianych i nawożonych azotem. Średnia masa tysiąca nasion wyniosła 129,42 g i była najniższa w 4-letnim okresie badań. Zastosowanie nawadniania okazało się istotnym czynnikiem i spowodowało wzrost o 36,8% - 40,23 g, w porównaniu z poletkami kontrolnymi. Działanie nawożenia azotem i jego współdziałanie z deszczowaniem w kształtowaniu masy tysiąca nasion było nieistotne.

Średnia masa tysiąca nasion omawianej odmiany soi na poletkach doświadczalnych w 2016 roku wyniosła 166,10 g. Była to najwyższa wartość w latach 2015-2018. Najniższą masę tysiąca nasion odnotowano na poletkach nienawadnianych i nienawożonych - 150,90 g, a najwyższą na poletkach nawadnianych i nawożonych - 181,30 g. Nawożenie azotem okazało się istotnym czynnikiem. Na poletkach nawożonych azotem masa tysiąca nasion była wyższa o 17,3% - 26,4 g niż na nienawożonych. Interakcja pomiędzy czynnikami oraz nawadnianie nie miały istotnego wpływu na omawianą cechę roślin, aczkolwiek na poletkach nawadnianych jej wartość była o 2,4% - 4,0 g wyższa niż na obiektach kontrolnych.

W roku 2017 średnia masa tysiąca nasion soi powyższej odmiany wyniosła 148,85 g. Najniższą masę tysiąca nasion uzyskano z poletek nawadnianych i nawożonych - 139,03 g. Natomiast najwyższą z poletek nienawadnianych i nawożonych - 164,28 g. Analiza wariancji wykazała, iż w roku tym żaden z czynników doświadczenia, a także ich interakcja nie miała istotnego wpływu na masę tysiąca nasion rośliny.

W roku 2018 średnia masa tysiąca nasion wyniosła 165,62 g. Najniższą wartość cechy zanotowano na poletkach nawadnianych i nienawożonych - 140,45 g, a najwyższą na poletkach nienawadnianych i

nawożonych – 182,65 g. Istotne było tylko działanie nawożenia azotem. Pod wpływem tego czynnika, masa tysiąca ziaren wzrosła średnio o 30,56g (20,3%).

Średnia dla lat 2015-2018 masa tysiąca nasion soi odmiany ‘Merlin’ wyniosła 149,10 g. W zależności od zastosowanego wariantu doświadczenia średnia wartość cechy w latach badań wahała się od 144,90 g na poletkach nawadnianych i nawożonych azotem do 151,35 g na poletkach kontrolnych. Zaznaczyła się tendencja do obniżonej wartości masy tysiąca nasion w wyniku zarówno nawadniania, jak i nawożenia azotem. Zastosowanie nawadniania spowodowało spadek o 1,5% - 2,29 g średniej masy tysiąca nasion w porównaniu z poletkami nienawadnianymi, a nawożenie azotem o 2,8% - 4,16 g, w porównaniu z nienawożonymi.

Średnia masa tysiąca nasion odmiany ‘Merlin’ w roku 2015 wyniosła 162,23 g. W zależności od kombinacji czynników doświadczenia wahała się od 150,50 g na poletkach nienawadnianych i nawożonych azotem do 173,50 g na poletkach nawadnianych i nawożonych. Zastosowanie nawadniania okazało się istotnym czynnikiem. Pod wpływem tego zabiegu nastąpił wzrost o 14,8% - 22,32 g masy tysiąca nasion w porównaniu z poletkami kontrolnymi. Nawożenie azotem, jak i interakcja pomiędzy czynnikami doświadczenia nie miały istotnego wpływu na omawianą cechę.

Z kolei w roku 2016 średnia masa tysiąca nasion soi omawianej odmiany wyniosła 165,12 g i była najwyższą w omawianym okresie 2015-2018. Najniższą masę tysiąca nasion odnotowano na obiektach kontrolnych – 156,90 g, a najwyższą na poletkach nawadnianych i nienawożonych 179,00 g. Tylko nawadnianie okazało się istotnym czynnikiem. Wprowadzenie do uprawy deszczowania skutkowało zwiększeniem masy tysiąca nasion o 9,5% - 15 g. Interakcja pomiędzy czynnikami oraz nawożenie azotem nie miały istotnego wpływu na masę tysiąca nasion.

Średnia masa tysiąca nasion powyższej odmiany w 2017 roku wyniosła 146,51 g. Najniższą masę tysiąca nasion uzyskano z poletek nawadnianych i nawożonych – 122,76 g, a najwyższą z poletek nienawadnianych i nienawożonych – 174,10 g. Nawadnianie oraz nawożenie azotem istotnie wpływały na masę tysiąca nasion soi. Na poletkach nawadnianych odnotowano niższą masę tysiąca nasion o 29,1% - 37,17 g niż na poletkach kontrolnych. Również na poletkach nawożonych azotem odnotowano niższą masę tysiąca nasion o 10,2% - 14,17 g niż na poletkach nienawożonych. Interakcja czynników nie miała istotnego wpływu na masę tysiąca nasion.

Średnia masa tysiąca nasion soi odmiany ‘Merlin’ w roku 2018 wyniosła 122,54 g i była najniższa w 4-letnim okresie badań. W zależności od wariantu zastosowanych czynników doświadczenia masa tysiąca nasion wahała się od 117,10 g na obiektach nawadnianych i nawożonych do 131,65 g na obiektach nienawadnianych i nawożonych azotem. Deszczowanie, nawożenie azotem jak i interakcja tych czynników nie miały istotnego wpływu na zróżnicowanie omawianej cechy.

### **Wysokość roślin soi**

Średnia wysokość roślin soi odmiany ‘Aldana’ w okresie 2015-2018 kształtowała się na poziomie 55,69 cm. Najniższą wartość odnotowano na poletkach kontrolnych i wynosiła 45,53 cm. Z kolei najwyższą, wynoszącą 64,50 cm na poletkach deszczowanych oraz nawożonych azotem. Zastosowanie w uprawie nawadniania istotnie wpłynęło na omawianą cechę, powodując wzrost wysokości o 28,3% - 13,79 cm w stosunku do roślin nienawadnianych. Nawożenie azotem miało pozytywny wpływ na wysokość roślin w postaci wzrostu o 9,8% - 5,19 cm.

W pierwszym roku badań, 2015 średnia wysokość roślin soi powyższej odmiany wyniosła 37,76 cm i była najniższa w 4-letnim okresie prowadzenia doświadczenia. W zależności od zastosowanego wariantu czynników wartości wahały się od 22,97 cm na poletkach nienawadnianych i nawożonych do 52,65 cm na poletkach nawadnianych i nawożonych. Deszczowanie miało istotny wpływ na wysokość roślin soi, powodując wzrost cechy o 103,1% - 25,69 cm. Nawożenie azotem jak i interakcja czynników nie były istotne.

W roku 2016 średnia wysokość roślin ze wszystkich obiektów wyniosła 71,76 cm i była najwyższa w omawianych latach. W zależności od kombinacji czynników doświadczenia wysokość roślin mieściła się w zakresie od 58,20 cm na poletkach kontrolnych do 87,40 cm na poletkach deszczowanych i nawożonych, co potwierdza istotność interakcji czynników doświadczenia. Analiza wariancji wykazała, iż deszczowanie, nawożenie azotem oraz interakcja czynników były istotne. Zarówno zastosowanie deszczowania, jak i nawożenia azotem skutkowało wzrostem analizowanej cechy, odpowiednio o 16,5% - 10,93 cm oraz 29,2% - 18,27 cm.

Na poletkach doświadczalnych w roku 2017 średnia wysokość roślin soi omawianej odmiany wyniosła 66,81 cm. Najniższą - 58,00 cm zanotowano na obiektach kontrolnych, a najwyższą – 74,08 cm na obiektach nienawadnianych oraz nawożonych. Żaden z badanych czynników nie miał istotnego wpływu na badaną cechę.

W roku 2018 średnia wysokość roślin powyższej odmiany wynosiła 46,42 cm. W zależności od kombinacji czynników cecha charakteryzowała się zakresem od 36,76 cm na poletkach nienawadnianych oraz nawożonych do 56,00 cm na poletkach nawadnianych i nawożonych. Na poletkach deszczowanych wysokość roślin była większa o 44,9% - 17,02 cm niż na niedeszczowanych.

Z kolei średnia wysokość roślin soi odmiany 'Merlin' w okresie prowadzenia doświadczenia polowego wyniosła 65,89 cm. Najniższą wartość zanotowano na obiektach kontrolnych i wynosiła 56,05 cm. Natomiast najwyższą na obiektach nawadnianych oraz nawożonych azotem - 79,24 cm. Na poletkach deszczowanych wysokość roślin soi była istotnie wyższa niż na niedeszczowanych o 25,2% - 14,74 cm. W przypadku zastosowania nawożenia azotem zaznaczyła się tendencja do wzrostu wysokości roślin na poletkach nawożonych o 13,7% - 8,46 cm.

W roku 2015 średnia wysokość roślin odmiany 'Merlin' wyniosła 43,85 cm i była najniższa w okresie 2015-2018. W zależności od zastosowanej kombinacji czynników wartości wahały się od 30,90 cm na poletkach nienawadnianych i nawożonych do 59,85 cm na poletkach nawadnianych i nawożonych. Nawadnianie miało istotny wpływ na powyższą cechę i skutkowało wzrostem wysokości roślin o 77,5% - 24,50 cm. Natomiast nawożenie azotem, jak i interakcja czynników nie miały istotnego wpływu.

W drugim roku prowadzenia doświadczeń polowych, średnia wysokość roślin wynosiła 100,29 cm. Była to największa wartość w badanym okresie. Najniższą wysokość roślin zanotowano na poletkach nawadnianych i nienawożonych – 90,20 cm, a najwyższą na poletkach nienawadnianych i nawożonych – 108,10 cm. Deszczowanie nie miało istotnego wpływu na wartość omawianej cechy soi. Natomiast nawożenie azotem miało istotny wpływ, skutkując wzrostem wysokości roślin o 12,7% - 11,98 cm. Podobnie jak deszczowanie, tak i interakcja czynników doświadczenia w kształtowaniu wysokości roślin soi odmiany 'Merlin', była nieistotna.

Średnia wysokość roślin soi omawianej odmiany w roku 2017 wynosiła 61,77 cm. W zależności od zastosowanej kombinacji czynników wahała się od 51,40 cm na obiektach kontrolnych do 79,62 cm na obiektach nawadnianych i nawożonych azotem. Zarówno nawadnianie, nawożenie azotem jak i interakcja czynników istotnie wpłynęły na wysokość roślin soi. Wraz z zastosowaniem deszczowania wartość powyższej cechy wzrosła o 29,4% - 15,84 cm. Także zastosowanie nawożenia azotem spowodowało istotny wzrost roślin o 22,3% - 12,38 cm.

Ostatni, 2018 rok, prowadzenia badań charakteryzował się średnią wysokością roślin soi na poziomie 57,65 cm. Najniższą wysokość – 42,10 cm zaobserwowano na obiektach kontrolnych, na najwyższą – 73,05 cm na obiektach nawadnianych i nawożonych azotem. Podobnie jak w roku 2017, nawadnianie i nawożenie miały istotny wpływ na wysokość roślin. Na poletkach deszczowanych rośliny były wyższe o 54,1% - 24,55 cm, w porównaniu do niedeszczowanych, natomiast na poletkach nawożonych azotem o 11,8% - 6,40 cm w porównaniu do nienawożonych.

### **Wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi**

W okresie prowadzenia badań, średnia wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi odmiany 'Aldana' wyniosła 10,16 cm. Analizowana cecha najniższą wartość osiągnęła na obiektach nienawadnianych i nawożonych azotem – 9,04 cm, natomiast najwyższą na poletkach nawadnianych i nawożonych – 11,86 cm. Zastosowanie nawadniania i nawożenia azotem nie spowodowało istotnego zróżnicowania wysokości osadzenia najniższego strąka na roślinie. Zaznaczyła się tendencja do wyższego osadzenia strąka, zarówno pod wpływem deszczowania, jak i nawożenia azotem.

W poszczególnych latach badań średnia wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie odmiany 'Aldana' była bardzo różna – od 6,06 cm w 2015 roku do 15,73 w 2018 roku. Działanie deszczowania było istotne tylko w ostatnim roku badań, przyczyniając się do wyższego osadzenia najniższego strąka. Wpływ nawożenia azotem nie był istotny w żadnym roku przeprowadzania eksperymentu polowego. W roku 2018 istotna okazała się interakcja czynników w kształtowaniu omawianej cechy. Na poletkach niedeszczowanych, nawożenie azotem przyczyniło się do niższego osadzenia najniższego strąka, podczas gdy w warunkach nawadniania spowodowało, że osadzenie to było wyższe.

W okresie 2015-2018 średnia wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie soi odmiany 'Merlin' wyniosła 11,32 cm. Najmniejszą wartość tej cechy osiągnięto na poletkach nawadnianych i nawożonych – 10,98 cm, a najwyższą na poletkach kontrolnych – 11,94 cm. Podobnie jak w przypadku odmiany 'Aldana', również w uprawie odmiany 'Merlin' czynniki doświadczenia oraz ich interakcja nie wpłynęły istotnie na zróżnicowanie analizowanej cechy.

W poszczególnych latach badań średnia wysokość osadzenia najniższego strąka na roślinie odmiany 'Merlin' była bardzo różna – od 7,74 cm w 2015 roku do 14,34 w 2016 roku. Działanie deszczowania było istotne tylko w 2017 roku, przyczyniając się do niższego osadzenia najniższego strąka. Wpływ nawożenia azotem był istotny w roku 2015 i 2018, powodując odpowiednio niższe albo wyższe osadzenie najniższego strąka. W ostatnim roku badań stwierdzono także istotny wpływ interakcji czynników na kształtowanie omawianej cechy. Nawożenie azotem wpłynęło na wyższe osadzenie najniższego strąka w większym stopniu na stanowiskach niedeszczowanych, w porównaniu z deszczowanymi.

### **Średnia liczba strąków i nasion z jednej rośliny soi**

Średnia w latach badań liczba strąków na jednej roślinie obu odmian soi była bardzo podobna i wynosiła 16,29 szt. u odmiany 'Aldana' oraz 16,45 szt. w przypadku odmiany 'Merlin'. Zbliżona była także średnia liczba nasion z pojedynczej rośliny, która kształtowała się na poziomie 29,44-30,92 szt. w zależności od odmiany. Spośród czynników doświadczenia, istotny był wpływ deszczowania na liczbę zarówno strąków, jak i nasion tylko w przypadku odmiany 'Merlin'. Rośliny deszczowane wykształciły więcej strąków średnio na jednej roślinie 6,79 szt.) oraz więcej nasion (średnio 17,93 szt.). W uprawie odmiany 'Aldana' zarsysowała się tendencja do większej liczby strąków i nasion pod wpływem deszczowania. Taka sama tendencja dotyczyła roślin obu odmian soi nawożonych azotem, w stosunku do nienawożonych. Nie stwierdzono istotnego wpływu współdziałania wody i azotu w kształtowaniu liczebności strąków i nasion na pojedynczej roślinie soi.

## **4.3. CECHY JAKOŚCIOWE NASION SOI**

### **Zawartość białka ogólnego w nasionach soi**

Średnia zawartość białka ogólnego w nasionach soi odmiany 'Aldana' w trzech pierwszych latach prowadzenia badań polowych, tj. 2015-2017 wyniosła 30,99% s.m. W zależności od zastosowanych czynników zawartość składnika utrzymywała się na poziomie od 30,24% s.m. na poletkach nawadnianych i nawożonych do 31,67% s.m. na poletkach kontrolnych. Zarówno zastosowanie deszczowania, jak i nawożenia azotem nie spowodowało zatem znaczącego zróżnicowania badanej cechy. Można stwierdzić, że zmniejszyło zawartość białka ogólnego w suchej masie w okresie badań odpowiednio o 0,36% s.m. oraz 1,06% s.m.

Z kolei średnia zawartość białka ogólnego w nasionach soi odmiany 'Merlin' w latach prowadzenia badań 2015-2017 wyniosła 29,40% s.m. Najniższą zanotowano dla poletek nawadnianych i nawożonych – 28,83% s.m., a najwyższą dla poletek kontrolnych - 30,56% s.m. Podobnie jak w przypadku odmiany 'Aldana', nawadnianie jak i nawożenie azotem spowodowało zmniejszenie zawartości białka ogólnego w nasionach odmiany 'Merlin' odpowiednio o 0,86% s.m. oraz 0,87% s.m.

### **Zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi**

Średnia zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi odmiany 'Aldana' w latach 2015-2017 wyniosła 15,53% s.m. Zależności od kombinacji czynników zawartość tłuszczu utrzymywała się na poziomie od 15,37% s.m. na poletkach kontrolnych oraz nawadnianych i nienawożonych do 15,86% s.m. na poletkach nienawadnianych i nawożonych. Czynniki doświadczenia nie spowodowały znaczącego zróżnicowania badanego składnika. Można zauważyć, że deszczowanie obniżyło jego zawartość w nasionach odmiany o 0,19% s.m. Natomiast nawożenie azotem zwiększyło zawartość tłuszczu surowego o 0,31% s.m.

Natomiast średnia zawartość tłuszczu surowego w nasionach soi odmiany 'Merlin' w latach 2015-2017 wyniosła 15,10% s.m. Zależnie od zastosowanych czynników zawartość omawianego składnika wahała się w zakresie od 14,42% s.m. na poletkach kontrolnych do 15,55% s.m. na poletkach nawadnianych i nienawożonych. Nawadnianie skutkowało zwiększeniem zawartości tłuszczu surowego w nasionach o 0,36% s.m. Także nawożenie azotem zwiększyło zawartość składnika o 0,23% s.m.

#### 4.4. PROGOZOWANIE EFEKTÓW DESZCZOWANIA SOI

Założono, że uzyskane w doświadczeniach polowych prowadzonych w latach 2015-2018 efekty produkcyjne deszczowania badanych odmian soi zależały od różnych warunków opadowych i termiczno-opadowych w poszczególnych sezonach wegetacji. Warunki te określono ilością opadów atmosferycznych w czterech okresach wzrostu i rozwoju roślin: V-VIII, VI-VIII, VI-VII i VII-VIII oraz wysokością niedoborów rzeczywistych opadów atmosferycznych w stosunku do opadów optymalnych określonych przez Klatta, w tych samych okresach. Ze względu na minimalną liczebność próby (N=4 lata badań) wartość krytyczna współczynnika korelacji na poziomie  $p=0,95$  wynosi 0,95, a determinacji 0,9025.

Jak wynika z przeprowadzonej analizy korelacji i regresji istotną statystycznie zależność uzyskano określając wysokość średnich dla zastosowanych wariantów nawozowych przyrostów plonów nasion odmiany 'Merlin' pod wpływem deszczowania w funkcji sumy niedoborów opadowych w okresie od maja do sierpnia (V-VIII). Efekty produkcyjne deszczowania odmiany 'Merlin' znacznie lepiej korelowały z warunkami meteorologicznymi, w porównaniu z osiągniętymi pod wpływem deszczowania odmiany 'Aldana'. Ponadto zwraca uwagę fakt, iż lepsza korelacja dotyczyła dłuższych okresów wzrostu i rozwoju (V-VIII) oraz (VI-VIII), w porównaniu z krótszymi (VI-VII oraz VII-VIII). Ogólnie wyższe współczynniki determinacji cechowały zależność efektów produkcyjnych deszczowania obu odmian soi od wysokości niedoborów opadów atmosferycznych, w porównaniu do zależności od wysokości samych opadów. Niedobory opadów stanowią bardziej kompleksowy wyróżnik warunków pogodowych bowiem zależą nie tylko od ilości opadów rzeczywistych, ale również od temperatury powietrza.

Istotna zależność przyrostów plonów nasion soi odmiany 'Merlin' od wysokości niedoborów opadów atmosferycznych w okresie V-VIII kształtowała się następująco. Z równania regresji liniowej wynika, że każdy 1 mm deficytu opadów w wymienionym okresie (w przedziale od -178,2 do 77,6 mm) powodował przyrost plonu nasion o 8,5 kg ha<sup>-1</sup>. Stwierdzona na podstawie badań istotna zależność upoważnia do modelowania efektów produkcyjnych deszczowania na podstawie znajomości wymienionego wskaźnika agrometeorologicznego, zgodnie z zależnością typu pogoda-plon. Zaprezentowany prosty, jednoczynnikowy model może służyć do prognozowania efektów deszczowania soi w różnych latach różniących się warunkami opadowymi (zmiennosc czasowa), jak i w różnych strefach opadowych (zmiennosc przestrzenna).

Warunki opadowe w okresie wegetacji soi (V-VIII) cechują się w rejonie Bydgoszczy wyjątkowo dużą zmiennością czasową. Średni niedobór opadów atmosferycznych w uprawie soi wynosi 35,7 mm, wahając się od maksymalnego niedoboru -217,6 mm w 1992 roku do maksymalnego nadmiaru opadów 83,6 mm w roku 2020. W analizowanym okresie normalnym wystąpiło 17 lat z niedoborami opadów w uprawie soi, w tym 4 (1992, 1994, 2015 i 2018) z niedoborami powyżej 150 mm i dalsze 4 (1995, 2003, 2008 i 2019) z niedoborami w zakresie od -100 do -150 mm. Niedobory przekraczające -50 mm, ale mniejsze od -100 mm stwierdzono w 6 sezonach wegetacji: 1993, 1999, 2000, 2005, 2006 i 2014. Można zatem przyjąć, że w rejonie Bydgoszczy bardzo duże potrzeby deszczowania soi (niedobory opadów co najmniej -150 mm) występują z częstością 13,3%, z taką samą częstością pojawiają się lata z dużymi potrzebami nawadniania (niedobory opadów w przedziale od -100 do -150 mm), a sezony o umiarkowanych potrzebach nawadniania (niedobory w zakresie od -50 do -100 mm) występują z częstością 20,0%. W analizowanym okresie normalnym 1991-2020 wystąpiło 13 lat z nadmiarami opadów atmosferycznych w uprawie soi, przy czym nadmiary przekraczające 50 mm stwierdzono w 6 latach: 1996, 2010, 2011, 2016, 2017 i 2020.

Zwraca uwagę fakt, iż cztery lata prowadzenia doświadczeń z deszczowaniem soi cechowały diametralnie różne warunki opadowe: sezony 2015 i 2018 charakteryzowały się bardzo dużymi potrzebami deszczowania, a w sezonach 2016 i 2017 wystąpiły znaczące (powyżej 50 mm) nadmiary opadów.

Na podstawie zależności przyrostów plonów nasion soi odmiany 'Merlin' od wysokości niedoborów opadów atmosferycznych w okresie V-VIII i znajomości niedoborów opadowych, możliwe było przedstawienie przyrostów plonów nasion soi odmiany 'Merlin' pod wpływem deszczowania. Średni wieloletni przyrost plonu w rejonie Bydgoszczy wynosi 1,31 t ha<sup>-1</sup>, maksymalny 2,86, a minimalny 0,30 t ha<sup>-1</sup>. W latach o bardzo dużych potrzebach deszczowania soi, można oczekiwać efektu

produkcyjnego przekraczającego  $2,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , w sezonach o dużych potrzebach zastosowania deszczowania –  $1,86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a w latach o umiarkowanych potrzebach nawodnieniowych –  $1,43 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

## **4.5. OCENA EKONOMICZNEJ EFEKTYWNOŚCI DESZCZOWANIA**

### **Koszty deszczowania soi**

Uzyskane wyniki pokazują, iż wraz ze wzrostem powierzchni nawadnianej przy użyciu deszczowni rosły całkowite koszty inwestycji. Odnotowano ponad 6-krotny wzrost z  $34.500,00 \text{ zł}$  dla powierzchni 1 hektara do  $212.750,00 \text{ zł}$  dla powierzchni 50 hektarów. W przypadku jednostkowych kosztów inwestycji w przeliczeniu na 1 hektar wystąpiła zależność odwrotna. Wraz ze wzrostem powierzchni nawadnianej z 1 do 50 hektarów koszty te spadały ponad 8-krotnie, z  $34.500,00 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  do  $4.255,00 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

W każdym z badanych wariantów nawadnianej powierzchni amortyzacja stanowiła największą część rocznych kosztów wynikających z użytkowania systemu deszczowni. Zaobserwowano ujemną korelację kosztów rocznych do powierzchni nawadniania. Najwyższe koszty roczne odnotowano dla powierzchni 1 hektara i wyniosły  $4.959,25 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ , z czego koszt amortyzacji stanowił 46% całości. Z kolei najniższe koszty zanotowano dla powierzchni 50 hektarów ( $830,81 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), a amortyzacja stanowiła 34% ogółu.

### **Efektywność produkcyjna deszczowania**

W badanym okresie średni wzrost plonu nasion soi odmiany ‘Aldana’ w wyniku wprowadzenia do agrotechniki zabiegu nawadniania deszczownianego wyniósł  $1,45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Była to zwyżka plonu rzędu 91%. Efektywność nawadniania zanotowano na poziomie  $11,7 \text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}$ . Na poletkach nienawadnianych zanotowano bardziej niestabilny plon, o czym świadczy współczynnik zmienności wynoszący 53,1%. Zastosowanie nawadniania zwiększyło stabilizację plonowania, jednak współczynnik zmienności nadal był wysoki i wyniósł 43,2%.

Natomiast w przypadku odmiany ‘Merlin’ zastosowanie nawadniania skutkowało 37-procentowym wzrostem średniego plonu nasion, tj. o  $1,30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Każdy 1 mm zaaplikowanej przy użyciu nawodnień wody spowodował wzrost plonu średnio o  $10,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Odmiana charakteryzowała się na poletkach nienawadnianych niestabilnym plonem. Cechował ją praktycznie taki sam współczynnik zmienności (53,0%) jak odmianę ‘Aldana’. Deszczowanie poletek spowodowało wyraźną stabilizację plonowania, gdyż wartość współczynnika zmienności spadła do 24,9%.

### **Efektywność ekonomiczna deszczowania**

Analiza efektywności ekonomicznej nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Aldana’ w wariancie I wykazała, iż poza powierzchnią 1 hektara ( $-3.132,25 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) uzyskano dodatnią wartość nadwyżki bezpośredniej, w przedziale od  $478,18 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  dla 5 hektarów do  $996,19 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  dla 50 hektarów.

Również w przypadku wariantu II zastosowanie nawadniania nie było ekonomicznie uzasadnione na powierzchni 1 hektara, gdyż skutkowało stratami ekonomicznymi o wartości  $-2.421,75 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Podobnie jak w przypadku wariantu I dodatnią wartość nadwyżki bezpośredniej uzyskano w przedziale od  $1.188,68 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  dla 5 hektarów do  $1.706,69 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  dla 50 hektarów.

Analogicznie jak wyżej wygląda ocena efektywności ekonomicznej nawadniania deszczownianego soi odmiany ‘Merlin’ w badanych wariantach. W wariancie I tylko nawadnianie powierzchni 1 hektara było ekonomicznie nieopłacane, gdyż uzyskano stratę wartości  $-3.321,25 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W pozostałych, analizowanych arealach uzyskano dodatnią wartość nadwyżki bezpośredniej, w przedziale od  $289,18 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  dla 5 hektarów do  $807,19 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  dla 50 hektarów.

Także w wariancie II deszczowanie nie było ekonomicznie opłacalne na powierzchni 1 hektara, gdyż skutkowało stratami ekonomicznymi o wartości  $-2.684,25 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Ponadto podobnie jak w wyżej analizowanych przypadkach dodatnią wartość nadwyżki bezpośredniej uzyskano w przedziale od  $926,18 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  dla 5 hektarów do  $1.444,19 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  dla 50 hektarów.

## **5. WNIOSKI**

Na podstawie wyników ścisłych doświadczeń polowych przeprowadzonych w sezonach wegetacyjnych 2015-2018 na glebie lekkiej w gospodarstwie należącym do Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Minikowo Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy,



zlokalizowanym w miejscowości Mochelek koło Bydgoszczy, sformułowano następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Doświadczenia polowe prowadzono w diametralnie różnych warunkach termiczno-opadowych. W sezonach wegetacji 2015 i 2018 wystąpiły bardzo duże potrzeby deszczowania soi wynikające z jednych z większych w wieloletnim, niedoborów opadów atmosferycznych. Z kolei w sezonach wegetacji 2016 i 2017 wystąpiły nadmiary opadów, a potrzeba jednorazowego deszczowania wynikała z nie w pełni równomiernego rozkładu opadów w poszczególnych fenofazach.
2. W sezonach wegetacji 2015-2018 wystąpiło odpowiednio: 48 dni, 13 dni, 11 dni i 51 dni z wyczerpanym zapasem wody łatwo dostępnej dla roślin. Zastosowanie deszczowania w technologii produkcji soi miało charakter interwencyjny.
3. Deszczowanie spowodowało istotny wzrost plonu nasion obu odmian soi w każdym sezonie wegetacji. Bezwzględne i względne przyrosty plonów pod wpływem zastosowania tego zabiegu były wyższe w latach suchych, a efektywność produkcyjna 1 mm wody nawodnieniowej – w latach wilgotnych.
4. Deszczowanie przyczyniło się do stabilizacji plonowania soi w poszczególnych sezonach wegetacji, szczególnie dotyczyło to ogólnie wyżej plonującej odmiany 'Merlin', w porównaniu z odmianą 'Aldana'.
5. Istotny wpływ nawożenia azotem na wysokość plonu nasion badanych odmian soi wykazano tylko w niektórych sezonach wegetacji. W uprawie odmiany 'Aldana' nawożenie azotem prowadziło do wzrostu, a w przypadku odmiany 'Merlin' do spadku plonu nasion.
6. Istotny, korzystny wpływ współdziałania deszczowania i nawożenia azotem w kształtowaniu plonu nasion soi stwierdzono tylko w doświadczeniu z odmianą 'Aldana' w suchych sezonach wegetacji.
7. Zróżnicowanie badanych cech biometrycznych i elementów struktury plonu pod wpływem deszczowania zależało od roku badań i odmiany. Rośliny deszczowane obu odmian były wyższe od niedeszczowanych, a w przypadku odmiany 'Merlin' posiadały istotnie większą liczbę strąków i nasion. Z kolei u roślin odmiany 'Aldana' zarysowała się pod wpływem deszczowania tendencja do wyższego osadzenia najniższego strąka.
8. Działanie nawożenia azotem i jego współdziałanie z deszczowaniem w kształtowaniu wybranych cech biometrycznych i elementów struktury plonu nasion było istotne tylko w niektórych sezonach wegetacji. Pod wpływem zastosowania nawożenia azotem zarysowała się tendencja do zwiększonej masy tysiąca nasion odmiany 'Aldana', większej liczby strąków i nasion na jednej roślinie oraz wysokości roślin.
9. Czynniki doświadczenia w niewielkim stopniu zróżnicowały zawartość białka ogólnego i tłuszczu surowego w nasionach soi. Zarysowała się tendencja do zmniejszonej zawartości białka ogólnego w nasionach roślin deszczowanych, w porównaniu z niedeszczowanymi.
10. Efekty produkcyjne deszczowania zależały od wysokości opadów atmosferycznych oraz wysokości niedoborów opadowych w okresie wegetacji. Istotna, prostoliniowa zależność typu pogoda-plon dotyczyła wpływu wysokości opadów w okresie V-VIII na wysokość przyrostów plonów nasion 'Merlin' pod wpływem deszczowania.
11. Potrzeby deszczowania soi w rejonie Bydgoszczy występują z częstością 46,6% lat, w 13,3% lat są to potrzeby bardzo duże (niedobory opadów powyżej 150mm), w 13,3% lat duże (niedobory opadów w przedziale 100-150mm), a w 20% lat potrzeby umiarkowane (niedobory opadów w przedziale 50-100mm).
12. W latach bardzo dużych, dużych i umiarkowanych potrzeb deszczowania, spodziewane przyrosty plonu nasion pod wpływem zastosowania tego zabiegu wynoszą odpowiednio, co najmniej 2,28 t ha<sup>-1</sup>, 1,86 t ha<sup>-1</sup> oraz 1,43 t ha<sup>-1</sup>.
13. Efektywność ekonomiczna deszczowania soi zależy od projektowanej powierzchni uprawy. Wraz ze wzrostem powierzchni malały koszty deszczowania w przeliczeniu na 1 ha.
14. Deszczowanie soi uprawianej na powierzchniach 5, 10, 20 i 50 ha było przedsięwzięciem efektywnym ekonomicznie. Wraz ze wzrostem projektowanej powierzchni, zwiększała się nadwyżka bezpośrednia w przeliczeniu na 1 ha. Przykładowo, deszczowanie soi odmiany 'Merlin' na powierzchni 10 ha, według cen nasion z 2021 roku, zapewniłoby nadwyżkę bezpośrednią rzędu 11 600 zł.