



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

**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY ROLNICTWO  
I OGRODNICTWO**

**ROZPRAWA DOKTORSKA**

**mgr inż. Remigiusz Kledzik**

**OCENA EFEKTYWNOŚCI DESZCZOWANIA,  
NAWOŻENIA AZOTOWEGO ORAZ  
ICH INTERAKCJI W UPRAWIE JĘCZMIENIA  
JAREGO W ASPEKCIE POPRAWY PRZYDATNOŚCI  
SŁODOWNICZEJ ZIARNA**

*Assessment of effectiveness of sprinkling  
irrigation, nitrogen fertilization and their  
interaction in cultivation of spring malting  
barley in the aspect of improvement of its end-  
use quality*

DZIEDZINA: NAUKI ROLNICZE  
DYSCYPLINA: ROLNICTWO I OGRODNICTWO

**PROMOTOR PRACY**  
PROF. DR HAB. INŻ. JACEK ŻARSKI

**Bydgoszcz, 2024**



*Dziękuję Panu prof. dr hab. inż. Jackowi  
Żarskiemu za wszelką pomoc przy  
realizacji niniejszej rozprawy doktorskiej*

*Dziękuję również Pani dr hab. inż. Renacie  
Kuśmierk-Tomaszewskiej za pomoc  
w trakcie realizacji rozprawy doktorskiej*



## SPIS TREŚCI

1. Wstęp.....	7
2. Przegląd literatury .....	10
2.1. Kierunki wykorzystania ziarna jęczmienia .....	10
2.2. Wpływ czynników klimatyczno-glebowych na wysokość i jakość plonu jęczmienia .....	13
2.3. Wpływ czynników agrotechnicznych .....	16
2.4. Nawadnianie jęczmienia.....	19
2.4.1. Źródła wody do nawodnień.....	22
2.4.2. Funkcje nawodnień.....	24
2.4.3. Systemy nawodnieniowe i elementy składowe systemu nawadniającego .....	24
2.5. Koszty nawadniania .....	26
2.6. Efekty ekonomiczne nawadniania jęczmienia browarnego.....	27
2.7. Postęp odmianowy w uprawie jęczmienia .....	28
3. Materiał i metody .....	30
3.1. Miejsce badań.....	30
3.2. Charakterystyka odmiany.....	32
3.3. Czynniki doświadczenia.....	33
3.4. Przeprowadzone zabiegi agrotechniczne .....	34
3.5. Zbiór i analiza ziarna .....	35
3.6. Metodyka analizy warunków klimatycznych.....	36
3.7. Efektywność ekonomiczna nawadniania jęczmienia browarnego ....	37
3.7.1. Nadwyżka bezpośrednia .....	38
3.7.2. Okres zwrotu inwestycji .....	39
4. Warunki doświadczenia .....	41
4.1. Warunki glebowe .....	41
4.2. Warunki meteorologiczne w latach 2015-2017.....	41
4.2.1. Warunki termiczne w latach 2015-2017.....	42
4.2.2. Warunki opadowe w latach 2015-2017 .....	45
4.2.3. Ciągi dni bezopadowych w latach 2015-2017.....	48
4.3. Fenofazy jęczmienia browarnego na tle sum temperatur efektywnych .....	49
5. Wyniki badań .....	52
5.1. Bilans wody łatwo dostępnej w uprawie jęczmienia browarnego.....	52
5.2. Niedobory opadów według norm Klatta .....	54
5.3. Plon ziarna jęczmienia browarnego .....	56
5.4. Zawartość białka w ziarnie jęczmienia.....	59
5.5. Masa tysiąca ziaren jęczmienia browarnego .....	61
5.6. Wyrównanie ziarna jęczmienia browarnego .....	63
5.6.1. Wyrównanie ziarna jęczmienia na sicie 2,8x2,5 mm .....	63
5.6.2. Wyrównanie ziarna jęczmienia na sicie 2,5x2,5 mm .....	65
5.7. Ekstraktywność ziarna według wzoru Bishopa.....	67

5.8. Efektywność ekonomiczna nawadniania jęczmienia browarnego ....	68
5.8.1. Koszty nawadniania deszczownianego .....	68
5.8.2. Efekty produkcyjne deszczowania .....	71
5.8.3. Kalkulacja nadwyżki bezpośredniej uzyskanej dzięki zastosowaniu nawadniania .....	72
5.8.4. Okres zwrotu inwestycji .....	74
6. Dyskusja wyników .....	77
7. Wnioski .....	95
SPIS LITERATURY .....	97
SPIS TABEL I RYSUNKÓW .....	110
STRESZCZENIE .....	113

## 1. WSTĘP

Umiarkowany, przejściowy klimat Polski odznacza się dużą zmiennością czasową warunków atmosferycznych. Trudne do przewidzenia warunki pogodowe sprawiają, że produkcja roślinna w Polsce obciążona jest znacznym ryzykiem klimatycznym. Roczna suma opadów w Polsce jest jedną z najmniejszych w środkowej i północnej Europie. Na obszarze Polski występuje ujemny bilans wodny podczas okresu wegetacji, sumaryczny opad atmosferyczny jest mniejszy od transpiracji. Uprawy muszą bazować na rezerwach wodnych zgromadzonych podczas półrocza chłodnego. Brak lub niedostateczna ilość opadów przyczyniają się do występowania okresów posusznych. Według prowadzonego w sposób ciągły przez IUNG-PIB monitoringu suszy w drugiej dekadzie XXI wieku następuje nasilenie występowania suszy na terenie Polski. Wyniki obserwacji wykazują na coroczne występowanie niedoborów opadów, jednak z różnym nasileniem w poszczególnych latach oraz na zmienność obszarową tego niekorzystnego zjawiska. Prowadzone na przestrzeni lat pomiary i badania wskazują, że największe niedobory opadów występują na obszarze nizin centralnej Polski, miejsce to określane jest jako obszar szczególne deficytowy w wodę.

Jednym z najważniejszych czynników ograniczających plonowanie roślin jest stres wodny. Przyczyną niedoboru wody łatwo dostępnej dla roślin może być brak wody w podłożu, susze atmosferyczne towarzyszące wysokim temperaturom, a także przewaga transpiracji nad adsorpcją wody. Niedobór wody, pełniący wiele ważnych funkcji w organizmie roślinnym, prowadzi do szeregu zmian morfologicznych, fizjologicznych i biochemicznych ograniczających jej wzrost i rozwój. Skutkiem niedoboru wody jest ilościowy spadek wielkości plonu. Pogorszeniu ulegają również cechy jakościowe uzyskanego plonu. Na niedobór wody łatwo dostępnej narażone są szczególnie rośliny uprawiane na glebach lekkich i bardzo lekkich o małej pojemności wodnej.

Negatywne skutki niedoboru wody mogą być niwelowane przez zastosowanie nawadniania. Pozwala ono zaopatrzyć rośliny w wodę w okresach jej niedoboru, zapobiegając niekorzystnym zmianom wywołanym stresem wodnym. Liczne badania wykazują na stabilizację w latach i wzrost wielkości plonu pod wpływem nawadniania oraz korzystny wpływ na jego cechy jakościowe. Nawodnianie roślin rozwinęło się przede wszystkim w strefach klimatycznych stale lub okresowo suchych. Występująca w warunkach klimatycznych Polski duża zmienność czasowa opadów atmosferycznych wpływa na nierównomierne zaopatrzenie roślin w wodę. Rzekanowski i in. [2011] stwierdzają, że Polsce nawadnianie ma charakter interwencyjny, mający na celu zaopatrzenie roślin w wodę w sytuacji niedoboru opadów atmosferycznych oraz wyczerpania jej zapasów w glebie. Korzystny wpływ zastosowania nawadniania na wielkość i jakość plonu oraz jego niezawodność jest najważniejszym czynnikiem mogącym przyczynić się do rozpowszechnienia

tego zabiegu w Polsce. Jako inny czynnik stymulujący rozwój nawodnień, można wskazać potrzebę wzrostu konkurencyjności i nowoczesności gospodarstw rolnych oraz prognozowane zmiany klimatu. Wiele prognoz wskazuje na wzrost temperatury powietrza oraz transpiracji, zwiększyć się może również wariancja opadów atmosferycznych, co w konsekwencji może doprowadzić do częstszego występowania susz atmosferycznych i rolniczych.

Jęczmień – roślina zbożowa należąca do rodziny wiechlinowatych - był jedną z pierwszych udomowionych roślin [Amabile i in. 2014, Cattivelli i in. 1994]. Współcześnie jęczmień nadal pozostaje rośliną o dużym znaczeniu gospodarczym, zarówno w Polsce jak i na świecie. Łączna powierzchnia uprawy jęczmienia na świecie w 2020 r. wynosiła około 52 mln hektarów, światowe zbiory w tym okresie wyniosły 156,86 mln ton. Wspomniana powierzchnia klasyfikuje jęczmień na piątym miejscu na świecie pod względem powierzchni upraw zaraz za pszenicą, kukurydzą, ryżem oraz soją. Według danych FAOSTAT największymi producentami jęczmienia w 2020 roku była Rosja 20,9 mln ton, Hiszpania 11,47 mln ton oraz Niemcy 10,77 mln ton. W 2020 roku w Polsce z powierzchni 676 tys. hektarów zebrano 2,95 mln ton. Ziarno jęczmienia ze względu na korzystny skład jest wykorzystywane przede wszystkim na cele paszowe [Noworolnik i in. 2009], ale również w przemyśle kaszarskim i browarniczym. W zależności od kierunku użytkowania, pożądane są odmienne cechy jakościowe [Wirkijowska i in. 2016], co wiąże się z ukierunkowaniem prac hodowlanych oraz zastosowaniem odpowiedniej agrotechniki. Jęczmień zwyczajny *Hordeum vulgare* L. występuje w formie ozimej oraz jarej. W krajach Europy Zachodniej bardziej rozpowszechniona jest forma ozima, odznaczająca się wysoką plennością potencjalną i większą odpornością na wiosenne niedobory opadów. W Polsce jeszcze do niedawna zdecydowanie większe znaczenie miała forma jara, dla przykładu według danych GUS w 2017 roku jęczmień jary uprawiany był na powierzchni 724,71 tys. hektarów natomiast powierzchnia zasiewów formy ozimej była około 4,5 razy mniejsza i wynosiła 159,98 tys. hektarów. Zgodnie z wcześniejszymi prognozami [Najewski 2006], otrzymanie odmian bardziej odpornych na niskie temperatury dzięki postępowi hodowlanemu przyczyniło się do wzrostu powierzchni uprawy ozimej formy jęczmienia. Obecnie powierzchnia uprawy formy jarej i ozimej jest zbliżona i wynosi odpowiednio 331,5 i 307,7 tys. hektarów.

Warunki meteorologiczne w okresie wegetacji, w dużym stopniu wpływają na plonowanie jęczmienia jarego. Jednym z najważniejszych czynników decydującym o wielkości i jakości plonów jest ilość i rozkład opadów. Jęczmień jest gatunkiem wrażliwym zarówno na niedobór, jak i nadmiar wody w glebie [Gąsiorowski 1997], reaguje największym spadkami plonowania, spośród podstawowych zbóż [Chmura i in. 2009]. W warunkach klimatycznych Polski uzyskanie ziarna jęczmienia browarnego o pożądanych parametrach jakościowych jest bardzo istotne, ale trudne. Występujące okresowo susze uniemożliwiają odpowiednie zaopatrzenie roślin w wodę, co skutkuje zmniejszeniem wielkości plonu oraz pogorszeniem cech jakościowych ziarna.



Ziarno uzyskane w warunkach niedoboru wody odznacza się gorszym wyrównaniem, mniejszą MTZ, ciemniejszą łuską i wyższą zawartością białka, co czyni je nieprzydatnym dla przemysłu browarniczego. Uprawa browarnego jęczmienia jarego na gruntach nawadnianych pozwoliłaby uzyskać surowiec o pożądanym cechach jakościowych. Dotychczasowe, nieliczne badania i analizy dotyczące nawadniania jęczmienia dotyczyły przede wszystkim jego wpływu na wielkość plonu i podstawowe cechy jakościowe. Niewiele jest badań dotyczących wpływu zastosowania nawadniania na cechy ziarna pod kątem jego przydatności jako surowca dla przemysłu browarniczego. Brakuje także analiz ekonomicznych przedsięwzięcia, których wyniki są kluczowe dla rozwoju nawadniania w Polsce.

## **CEL PRACY**

Celem badań jest ocena wpływu nawadniania i nawożenia azotem, na wielkość plonu oraz jakość ziarna jęczmienia jarego browarnego ze szczególnym uwzględnieniem cech jakościowych wpływających na przebieg i wydajność procesu słodowania.

Najważniejsze zadania:

- Analiza efektów nawadniania, nawożenia azotem oraz ich interakcji, ocena wpływu tych czynników na wielkość, strukturę i jakość plonu ziarna.
- Określenie optymalnej dawki nawożenia azotowego, która pozwoli zmaksymalizować wielkość plonu, przy jednoczesnym zachowaniu odpowiednich parametrów jakościowych ziarna.
- Określenie efektów ekonomicznych nawadniania.

## **HIPOTEZA BADAWCZA**

Hipoteza badawcza zakłada, że nawadnianie oraz nawożenie azotem, są czynnikami w istotny sposób modyfikującymi wielkość uzyskanego plonu oraz cechy jakościowe ziarna jęczmienia browarnego. Zakłada się, że zastosowanie nawadniania w korzystny sposób wpłynie zarówno na poprawę cech ilościowych, jak i jakościowych plonu ziarna jęczmienia. W warunkach nawadniania będzie możliwe stosowanie wyższych dawek nawożenia azotem, które przyczynią się do wzrostu plonu ziarna, a nie pogorszą jego przydatności browarnej.

## 2. PRZEGLĄD LITERATURY

### 2.1. KIERUNKI WYKORZYSTANIA ZIARNA JĘCZMIENIA

Ziarno jęczmienia wykorzystywane jest przede wszystkim jako pasza, jednak znaczna część zbiorów jest wykorzystywana w przemyśle browarniczym, który w Polsce ma duże znaczenie gospodarcze. Według danych GUS [2023], w latach 2020-2022 w Polsce produkowano 38,0-39,1 mln hl piwa otrzymywanego ze słodu. Eurostat podaje, że stanowiło to 11% całkowitej produkcji piwa w Unii Europejskiej oraz plasowało Polskę na 3 miejscu wśród krajów producentów, za Niemcami i Hiszpanią [źródło internetowe 1]. Aktualna produkcja piwa w Polsce w porównaniu do 2000-2005 jest wyższa o ok. 40%. Podobny wzrost dotyczy również produkcji słodu, którego w latach 2020-2022 produkujemy średnio rocznie 346-388 tys. t, a na początku XXI wieku była to produkcja o ok. 25% niższa. Wraz ze wzrostem produkcji piwa i słodu, w Polsce obserwuje się tendencję rosnącą spożycia piwa. Od roku 2006 wynosiło ono rocznie zawsze powyżej 90 l na mieszkańca, a największe odnotowano w latach 2012-2018 około 100 l na 1 mieszkańca [Malczewski i Jabłoński 2023].

Każdy kierunek użytkowania ziarna, wymaga określonych cech jakościowych [tabela 1], są one jednak szczególnie istotne przy wykorzystaniu ziarna do produkcji piwa. Jednym z najważniejszych warunków otrzymania wartościowej brzezki słodowej, a w efekcie finalnym piwa, jest wykorzystanie w procesie produkcyjnym wysokiej jakości słodu. Właśnie sód jest źródłem składników, ulegających fermentacji. Część z zawartych w słodzie substancji pozostaje niedofermentowana, nadając piwu szereg cech sensorycznych [Szwed i in. 2009]. Jakość słodu jest zależna od przebiegu procesu słodowania oraz jakości ziarna jęczmienia. Otrzymanie słodu browarnego, o pożądanym parametrach jakościowych, wymaga optymalizacji i dostosowania procesu, a także zastosowania ziarna jęczmienia spełniającego normy jakościowe. Wszystko to ma na celu uzyskanie słodu według wymagań konkretnych browarów [Baca i Gołębiewski 1997].

Tabela 1. Parametry jakościowe ziarna jęczmienia przeznaczonego dla przemysłu browarniczego

Kryterium jakości	Jęczmień browarny	Jęczmień paszowy	Jęczmień konsumpcyjny
Plewka	pożądana cienka i niepomarszczona	niepożądana	niepożądana
Zawartość białko ogółem	niska 9-11,8%	wysoka 11,5-13,3% s.m.	wysoka 11,5-13,3% s.m.
Lizyny	-	wysoka 3,9%	wysoka
Zawartość skrobi	wysoka 65%	wysoka	wysoka
Zawartość tłuszczów	-	wysoka 1,2-2,4% s.m	wysoka 1,2-2,4% s.m

<b>B-glukanów</b>	niska 2-4,5% s.m.	niska	wysoka powyżej 4,5% s.m.
<b>Związków fenolowych</b>	niska	-	-
<b>Aktywność enzymatyczna słołu</b>	wysoka	-	-
<b>Zdolność kiełkowania</b>	bardzo wysoka 98%	wysoka	wysoka

Opracowanie własne na podstawie Gąsiorowski [1997]

Punktem wyjścia do otrzymania słołu, a w konsekwencji piwa o pożądanym smaku i zapachu, jest uzyskanie ziarna jęczmienia. Do uzyskania pełnowartościowego słołu, ziarno jęczmienia musi spełniać szereg wyznaczników technologicznych [Gąsiorowski 1997, Klockiewicz-Kamińska 2005]. W warunkach klimatyczno-glebowych Polski, na cele browarne wykorzystywane jest przede wszystkim ziarno odmian browarnych jęczmienia jarego. Odmiany różnią się między sobą potencjałem plonowania, wysokością, długością okresu wegetacji, odpornością na choroby, ale również szeregiem cech wpływającym na przydatność do procesu słodowania: skłonność do akumulacji białka, potencjał enzymatyczny, liczba Kolbacha, siła diastatyczna oraz ekstraktywność słołu [Baxter 1976, Błażewicz 2004]. Kryteria jakościowe dotyczące ziarna jęczmienia przeznaczonego do produkcji słołu są szczegółowo określone. Przemysł oczekuje od rolnictwa stabilnych dostaw ziarna o określonych parametrach, co znajduje odzwierciedlenie we wzorach umów kontraktacyjnych [Szwed i in. 2009]. Pozyskiwanie surowca o odpowiednich cechach jakościowych, daje możliwość optymalizacji procesów technologicznych, uzyskanie produktu o pożądanej jakości, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów [Gołębiewski i in. 1997]. Dostarczenie dużych jednolitych partii, o jednolitych i właściwych parametrach jakościowych, jest zadaniem producentów.

Parametry jakościowe ziarna jęczmienia browarnego, określone są przez normy branżowe. Zgodnie z wymaganiami ogólnymi ziarno jęczmienia browarnego musi być zdrowe, dojrzałe dobrze wykształcone, czyste, wolne od sporyszu i szkodników, bez obcego zapachu, a pozostałości pestycydów, nie mogą przekraczać tolerancji ustalonych dla ziarna zbóż do przetwórstwa. Nie dopuszcza się ziarna zaprawionego do siewu. Ziarno jęczmienia dzieli się na klasy przydatności browarnej, biorąc pod uwagę zawartość białka, energię kiełkowania (żywołność ziarna) oraz wyrównanie [tabela 2]. Ocenie podane zostają również: barwa, łuska, zapach, wilgotność i zanieczyszczenia [tabela 3]. Ponadto wyróżnia się, szereg cech dyskwalifikujących ziarno jako surowiec przeznaczony dla browarnictwa: nieodpowiedni zapach, porażenie przez choroby, szkodniki, zawartość białka powyżej 13,5%, energia kiełkowania poniżej 85%, czy zanieczyszczenia. Normy obejmują również procesy pakowania, przechowywania i transportu [źródło internetowe 2].

Tabela 2. Klasy przydatności browarnej ziarna jęczmienia

Wyróżnik jakości	Wymagania			Metody badań wg
	klasy			
	I	II	III	
Zawartość białka ogólnego % s.m., nie więcej niż	11,0	12,0	13,0	PN-75/A-04018
Energia kielkowania%, nie mniej niż, dla: E <sub>I</sub> E <sub>II</sub>	95 95	90 95	90 95	BN-82/9131-03
Żywność ziarna %, nie mniej niż	95	95	95	
Wyrównanie %, nie mniej niż	90	85	75	BN-69/9131-02

Opracowanie własne na podstawie danych z normy branżowej [źródło internetowe 2]

Tabela 3. Podstawowe i minimalne wymagania dotyczące ziarna dla przemysłu piwowarskiego

Lp	Wyróżnik jakości	Wymagania podstawowe	Wymagania minimalne			Metoda badań wg
			w skupie i obrocie	w przetwórstwie	w eksporcie	
1	Barwa	jednolita, właściwa dla danego roku zbiorów			jednolita, typowa dla odmiany	PN-70/R-74013
2	Łuska	cienka, delikatna, pomarszczona				
3	Zapach	swoisty, magnezowy			swoisty	
4	Wilgotność %, nie więcej niż	15	18	16	15	PN-86/A-74011
5	Zanieczyszczenia, % nie więcej niż: -ogółem -nieużyteczne w tym: - mineralne - szkodliwe dla zdrowia - zawartość ziaren innych zbóż kłosowych, porośniętych, z uszkodzonym zarodkiem przez mikroflorę w zanieczyszczeniach użytecznych	3,0 1,0 0,5 0,3  1,0	9,0 3,0 0,5 0,5  1,0	6,0 2,0 0,5 0,5  1,0	3,0 1,0 0,3 0,3  0,5	PN-69/R-74016
6	Wyrównanie, % nie mniej niż	90	75		90	BN-69/9131-02

Opracowanie własne na podstawie danych z normy branżowej [źródło internetowe 2]

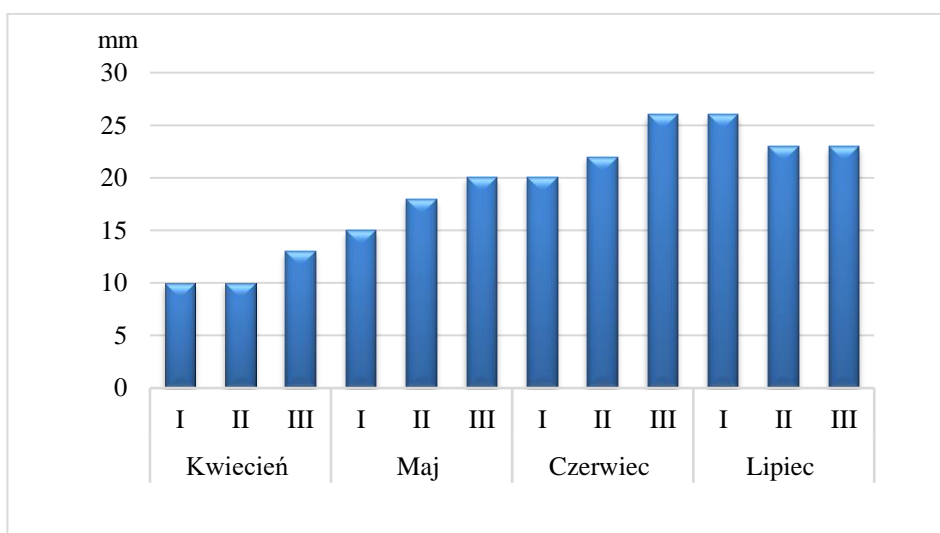
Molina-Cano [1987] podaje, że najważniejszymi parametrami technologicznymi określającymi przydatność ziarna jęczmienia do produkcji słodu są: zawartość białka ogólnego i rozpuszczalnego, kruchość słodu, ekstraktywność, liczba Kolbacha, siła diastatyczna, stopień ostatecznego odfermentowania, lepkość brzezki oraz zawartość w niej  $\beta$ -glukanu. Ziarno powinno się również charakteryzować wysoką celnością (średnica ziarniaka powyżej 2,5 mm). Jednym z najważniejszych kryteriów przydatności browarniczej jest ilość i rodzaj związków azotowych zawartych w sładzie [Narziss 1992, Kunze 1999, Michałowska 2017]. Za optymalny uznawana jest zawartość białka ogółem na poziomie od 10,0-11,5% s.m. [Anonim 1993, Moll 1996]. Nadmiernie wysoka zawartość białka w sładzie, zazwyczaj wiąże się z niską ekstraktywnością i nadmierną ilością związków azotowych w brzezce. To w konsekwencji doprowadza do zmniejszenia wydajności warzelnicy, pojawienia się osadu, zmętnień, pogorszenia trwałości [Kunze 1999]. W procesie produkcyjnym piwa oraz kształtowaniu jego cech udział biorą rozpuszczalne białka, które przeszły ze słodu do brzezki produkcyjnej [Michałowska 2017]. Przebieg procesów fermentacji, zależy nie tylko od ilości związków białkowych ale także od ich rodzaju [Ingledew i Patterson 1999, Lekkas i in. 2009]. Minimalna energia kiełkowania ziarna jęczmienia przeznaczonego do procesu słodowania nie może być niższa niż 85%, wyrównanie ziarna powinno być większe niż 75%. Ziarno powinno charakteryzować się jednolitością, typową dla danej odmiany i właściwą dla danego roku zbiorów barwą, delikatną, cienką, pomarszczoną łuską oraz swoistym zapachem, wyrównaniem i udziałem zanieczyszczeń poniżej 3% [źródło internetowe 2].

## **2.2. WPŁYW CZYNNIKÓW KLIMATYCZNO-GLEBOWYCH NA WYSOKOŚĆ I JAKOŚĆ PŁONU JĘCZMIENIA**

Na parametry jakościowe ziarna jęczmienia wpływa szereg czynników niezależnych, jak i zależnych od producentów. Na plon i jakość ziarna wpływają czynniki klimatyczno-glebowe takie jak wielkość i rozkład opadów, zasobność gleby w składniki pokarmowe - zwłaszcza azot, ale także zabiegi agrotechniczne oraz parametry siewu. Zabiegi agrotechniczne modyfikujące właściwości ziarna to nawożenie, ochrona przeciwko chorobom grzybowym, szkodnikom i chwastami [Baxter 1976, Szwed i in. 2009 ]

Jednym z czynników decydujących o wysokości i jakości plonu ziarna jęczmienia jest wysokość i rozkład opadów, których optymalne charakterystyki dekadowe zaprezentowano na rysunku 1. Jęczmień jest gatunkiem wrażliwym na niedobór, jak i nadmiar wody w glebie. Według badań Chmury i in. [2009], na występowanie opadów niższych od optymalnych reaguje największymi spadkami plonowania spośród podstawowych zbóż [tabela 4]. Występowanie suszy w okresach wymożonych potrzeb wodnych jęczmienia, przyczynia się do pogorszenia wielkości i jakości plonu [Żarski i in. 2013]. Niedobór wody wpływa na pobieranie związków azotowych z gleby, co w konsekwencji oddziałuje na

zawartość białka w ziarnie [Bertholdsson 1999]. Wystąpienie suszy podczas wzrostu wegetatywnego ogranicza pobieranie z gleby azotu, a w konsekwencji ogranicza potencjalny plon ziarna. Występowanie niedoboru wody łatwo dostępnej w glebie od fazy kłoszenia, a więc podczas rozwoju generatywnego, ogranicza syntezę węglowodanów oraz akumulację suchej masy w ziarniaku, w konsekwencji prowadzi do szybszego dojrzewania. Uzyskany plon jest niższy i gorszej jakości, w kontekście przydatności ziarna do produkcji piwa, szczególnie niepożądany jest wzrost zawartości białka. Liczne badania i obserwacje wskazują, że obniżenie w glebie zapasu wody łatwo dostępnej w fazach przed kwitnieniem jak i podczas, wypełnienia ziarna i prowadzi do pogorszenia właściwości browarnej [de Ruiter 1999, Halvorson i Reule 2007, Pecio 2002, Rzemieniuk 2007, Qureshi i Neibling 2009, Thompson i in. 2004].



Opracowanie własne na podstawie danych Dzieżyc i in. [1987]

Rys. 1. Przeciętne dekadowe potrzeby opadowe jęczmienia jarego

Tabela 4. Spadek plonu w warunkach opadów niższych bądź wyższych od optymalnych

Roślina	Zniżka plonu przy opadach mniejszych od optymalnych [%]	Opady optymalne [mm]	Zniżka plonu przy opadach wyższych od optymalnych [%]
Żyto	13-5	250-300	5-27
Pszenica ozima	21-10	200-350	9-21
Pszenica jara	19-11	200-350	3-17
Jęczmień jary	27-6	300-350	5-13
Owies	12-2	200-250	3-14

Opracowane własne na podstawie danych Chmura i in [2009]

Czynnikiem wpływającym na wzrost i rozwój roślin jest również temperatura. Odpowiednie uwilgotnienie w połączeniu z czynnikiem termicznym, decyduje o wzroście i rozwoju roślin na każdym etapie. Dostępność wody i wysoka temperatura po siewie, sprzyja szybkim i równomiernym wschodom. Słaboński [1985] podaje, że w fazie krzewienia opady atmosferyczne powinny być umiarkowane, a temperatura powietrza nie powinna przekraczać 18 °C. Autor uważa, że szczególnie istotne są warunki panujące podczas strzelania w źdźbło oraz kłoszenia, optymalne warunki w tym okresie pozwalają, na wytworzenie maksymalnie dużej powierzchni asymilacyjnej, co z kolei pozwala na osiągnięcie wysokich plonów ziarna o pożądanym cechach jakościowych. Podczas strzelania w źdźbło oraz kłoszenia, korzystna jest wysoka temperatura powietrza 17-19 °C i umiarkowane opady, natomiast po wykłoszeniu najlepsze warunki do przebiegu fotosyntezy i dobrego wypełnienia ziarna stwarza słoneczna i ciepła pogoda. Niedobów opadów w tym czasie prowadzi do wzrostu zawartości białka w ziarnie, co wpływa niekorzystnie na jakość ziarna pod kątem przydatności dla przemysłu piwowarskiego [Kozłowska i in. 2010, Pecio 2002].

W ścisłym związku z warunkami termicznymi i czynnikiem wodnym pozostają warunki glebowe. Gleba jest siedliskiem dla roślin, które czerpią z niej składniki mineralne oraz wodę. Potencjał plonotwórczy i żyzność gleby są zależne od jej właściwości fizyko-chemicznych oraz aktywności biologicznej [Myśków i in. 1986, Terlikowski 1956]. Rośliny są zakorzenione w glebie, a od jej właściwości zależy zasobność w składniki oraz ilość wody jaką może zmagazynować, co przekłada się na warunki wzrostu i rozwoju roślin. Lepsze, bardziej zasobne gleby są w stanie związać większą ilość wody i składników mineralnych, a w konsekwencji stworzyć lepsze warunki do wzrostu dla bardziej wymagających roślin. Potencjał plonowania roślin uprawianych na glebach żyznych jest wyższy. Uprawa roślin na glebach słabszych wiąże się z w większym ryzykiem. Gleby te nie są w stanie zmagazynować większej ilości wody i podczas dłuższych okresów bezopadowych nie ma wystarczającej ilości wody łatwo dostępnej, ponadto część składników zostaje wymyta w głąb profilu glebowego. Większość roślin daje większe plony na stanowiskach bardziej zasobnych, podobnie jest w przypadku jęczmienia. Jednak surowiec uprawiany z przeznaczeniem na cele browarnicze musi charakteryzować się odpowiednimi cechami jakościowymi. Uprawa na glebach zbyt zasobnych w azot może spowodować przekroczenie granicznej zawartości białka w ziarnie. W warunkach Polski często występującym problemem jest zbyt duża zawartość białka w ziarnie, mogąca wynikać z nadmiaru azotu w glebie [Szwed i in. 2009]. Wysokość i jakość uzyskanego plonu jest zależna przede wszystkim od cech genetycznych, ale pozostaje pod silnym wpływem warunków środowiska [Szmigiel i in. 2016, Żarski i in. 2011].

Innym problemem w uprawie jęczmienia browarnego jest zróżnicowanie glebowe występujące zwłaszcza na dużych obszarach, generujące różnice pod względem żyzności, wilgotności, odczynu, zawartości materii organicznej i innych właściwości [Pecio i Kubsik 2006]. Rośliny rosną w odmiennych

warunkach co powoduje, że uzyskane ziarno nie jest jednolite pod względem cech jakościowych. Plon ziarna i jakość ziarna, a co za tym idzie jego przydatność dla przemysłu browarniczego, jest różna [Burger i in. 1979]. Przemysł otrzymuje partie ziarna niejednolite pod względem masy tysiąca ziaren, celności, grubości i barwy łuski, energii i zdolności kiełkowania, zawartości białka i skrobi. Wszystko to utrudnia dobranie parametrów do procesu słodowania, otrzymany sód jest mniej ekstraktywny niż wyprodukowany z jednolitego i dorodnego ziarna [Pecio i Kubsik 2006].

### **2.3. WPLYW CZYNNIKÓW AGROTECHNICZNYCH**

Oddziaływanie czynników siedliskowych wpływa na wielkość i jakość plonu ziarna roślin uprawnych, warunki klimatyczne i glebowe są jednak trudne do modyfikacji. Kolejną grupę czynników stanowią czynniki agrotechniczne, związane ze sposobem uprawy. Czynniki te są znacznie łatwiejsze w planowaniu i kontroli. Do najważniejszych czynników agrotechnicznych należy zaliczyć dobór odmiany, termin i gęstość siewu, nawożenie - szczególnie azotowe, stosowanie herbicydów, nawadnianie. Czynniki te mogą być modyfikowane przez rolnika, jednak pozostają w związku z czynnikami środowiska.

Wielkość plonu ziarna jęczmienia jarego zależy od wielu cech. Duże znacznie ma zdolność wytworzenia odpowiedniej liczby kłosów oraz cechy związane z produktywnością kłosów. Reakcja roślin na czynniki agrotechniczne jest cechą odmianową [Noworolnik i Leszczyńska 2018]. Badania wykazują słabszą reakcję odmian silniej krzewiących się na wzrost gęstości siewu oraz poziomu nawożenia azotem [Conry 1998, Gozdowski i in. 2012, Noworolnik 2010]. Termin siewu jest czynnikiem wpływającym na obsadę, stopień rozkrzewiania, wytworzoną biomasę, a w konsekwencji plon ziarna. Jak podają Noworolnik i Leszczyńska [2018] w literaturze nie ma wielu informacji na temat reakcji odmian jęczmienia jarego na opóźniony termin siewu dotyczącej zróżnicowania cech morfologicznych oraz plonu ziarna. Trnka i in. [2004] zauważają z kolei, że wysiew jęczmienia w opóźnionym terminie jest zależny od czynników klimatycznych, które również wpływają na plon ziarna. Stwierdzono istotny wpływ terminu siewu na długość faz rozwojowych i tworzenie liści, co wpływa na wielkość plonu [Miralles i in. 2001]. Zastosowanie możliwe wczesnego terminu siewu może ograniczyć negatywny wpływ czynników siedliskowych na plonowanie, ponieważ wydłuża okres wegetacji, optymalizuje wykorzystanie wody, zwiększa liczbę kłosów, a także ich produktywność, co sprzyja większemu plonowaniu [Lauer i Partridge 1990].

Zwalczanie zachwaszczenia przez stosownie herbicydów w uprawie jęczmienia browarnego jest zabiegiem umożliwiającym roślinom prawidłowy dostęp do wody, składników mineralnych i dwutlenku węgla [Błażewicz i in. 2003]. Herbicydy mogą jednak wpływać na wartość użytkową ziarna. Reakcja roślin na stosowanie herbicydów jest cechą odmianową i może przybrać skrajne formy od stymulacji, po wyraźną obniżkę plonu [Adamczewski i in. 1995, Urban



2000]. Jęczmień jary należy do gatunków o małej konkurencyjności wobec chwastów [Adamiak i in. 2015]. Stosowanie herbicydów podnosi plonowanie od 1% do 21% [Boatman 1992, Noworolnik 2010, Urban i Grządka 2012, Miklaszewska i Kierzek 2013].

Nawożenie jest czynnikiem wpływającym w dużym stopniu na wielkość i jakość plonów roślin uprawnych. Uprawa jęczmienia na cele browarne ma na celu osiągnięcie dwóch pozornie sprzecznych rezultatów. Pierwszy to uzyskanie możliwe dużego plonu ziarna, a drugi to uzyskanie ziarna o odpowiednich parametrach jakościowych [Błażewicz 2004]. W uprawie jęczmienia browarnego szczególnie istotne jest nawożenie azotem. Zaopatrzenie roślin w azot wpływa na wielkość plonu, ale również na parametry jakościowe ziarna, niezwykle istotne w procesie słodowania. Stosowanie wysokich dawek azotu ma działanie plonotwórcze, jednak przez wzrost zawartości białka, może mieć ujemnie wpływać na jakość ziarna [Nasalski in. 2004, Noworolnik 1992], a ponadto jest czynnikiem sprzyjającym wyleganiu roślin [Błażewicz, i in. 2011]. Nawożenie azotem wpływa na silniejsze rozkrzewienie roślin i wzrost liczby kłosów produktywnych, co ma odzwierciedlenie w wielkości plonu ziarna [Kozłowska i in. 2010, Noworolnik 1992b]. Koziara i in. [1998] oraz Liszewski [2006] w swoich badaniach potwierdzają, że wielkość plonu ziarna jęczmienia zależy przede wszystkim od liczby kłosów na jednostce powierzchni, a Kozłowska i in. [2010] udowadniają, że zastosowanie nawożenia azotem do pewnego stopnia dodatkowo wpływa na tę cechę. Zgodnie z badaniami Górnego [2001] oraz Noworolnika i in. [2009] rośliny w różny sposób reagują na nawożenie azotem. Wzrost plonu ziarna i zawartości białka wraz ze zwiększeniem wielkości nawożenia azotem jest silniejszy u słabiej krzewiących się i odporniejszych na wyleganie odmian. Nawożenie azotem jest skorelowane z dorodnością ziarna, zawartością białka oraz masą tysiąca nasion [Liszewski 2006, Pecio 2002, Pecio i Bichoński 2003]. Błażewicz i Liszewski [2004] oraz Błażewicz i in. [2007] w swoich badaniach udowodnili istnienie zależności między ekstraktywnością teoretyczną obliczoną na podstawie wzoru Bishopa, a wskaźnikiem przydatności słodowniczej według Molina-Cano. Punktem wyjściowym do obliczania ekstraktywności według wzoru Bishopa, jest masa tysiąca ziaren (MTZ) oraz zawartości białka w ziarnie. Pośrednio można więc stwierdzić, że przydatność słodownicza ziarna jest zależna od nawożenia roślin jęczmienia azotem. Wraz ze wzrostem nawożenia powyżej  $40 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  z reguły wzrasta zawartość białka w ziarnie, przy jednoczesnym spadku dorodności ziarniaków, co przekłada się na spadek ekstraktywności [Pecio 2002, Pecio i Bichoński 2003]. Stosowanie dzielonych dawek nawożenia azotem może skutkować podwyższeniem zawartości białka powyżej norm dla ziarna przeznaczonego na cele browarne. Według wielu autorów, najkorzystniejsze jest zastosowanie całej dawki azotu przed siewem [Kozłowska i in. 2010, Liszewski i Błażewicz 2001]. Według [Pecio 2002] w uprawie jęczmienia na cele browarne, szczególnie ważne jest zaopatrzenie roślin w azot w kluczowych fazach a więc podczas krzewienia i strzelania w źdźbło, czemu sprzyja zastosowanie dzielonych dawek nawożenia.

Ten sposób nawożenia niesie jednak ryzyko przekroczenia dopuszczalnej zawartości białka [Kozłowska i in. 2010].

Planowanie nawożenia powinno być uzależnione od zawartości azotu mineralnego w glebie [Hector i in. 1996]. Punktem wyjścia powinno być więc oznaczenie zawartości azotu w glebie. Timmer i in. [1993] oznaczyli w swoich badaniach jako optymalną łączną ilość azotu dostępnego w warstwie gleby 0-60 cm oraz dostarczonego z nawozami mineralnymi na  $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Ilość dostępnego azotu na poziomie  $110 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  okazała się zbyt duża, a zastosowanie dzielonych dawek azotu spowodowało wzrost zawartości białka w ziarnie i nieznaczne przekroczenie normy.

Azot odgrywa istotną rolę w procesach wzrostu i rozwoju roślin, jest też związkiem mineralnym potrzebnym roślinom w największych ilościach [Kraiser i in. 2011, Krcek i in. 2008]. Azot jest składnikiem aminokwasów wchodzących w skład białek, stanowi również składową organicznych zasad azotowych. Zasady te budują nukleotydy, będące monomerami kwasów nukleinowych (DNA i RNA), ale służą również do przenoszenia energii (ATP, GTP), elektronów i kationów wodorowych (NADP, NADPH, FADH<sub>2</sub>), czy jak koenzym A reszt acylowych. Azot jest również składnikiem związków takich jak cytochromy, cytokininy, niektóre witaminy, a także niezbędnego dla roślin chlorofilu i niektórych metabolitów wtórnych. Pierwiastek ten bierze udział niemalże we wszystkich przemianach zachodzących w komórkach roślinnych [Ghosh i in. 2000, Xu i Yu 2006, Zboińska 2018]. Ze względu na tak istotną rolę w funkcjonowaniu organizmu roślinnego stanowi on często czynnik limitujący wzrost i rozwój [Elser i in. 2007, Kraiser i in. 2011]. Zwiększone zaopatrzenie roślin w azot wpływa na długotrwałość utrzymywania się liści, co decyduje o przyroście biomasy i w rezultacie o plonowaniu. Niedobór azotu wpływa na ekspresję genów, co w konsekwencji prowadzi do ograniczenia fotosyntezy [Appenroth i in. 2000]. W sytuacjach skrajnego niedoboru może dojść do dezintegracji chloroplastów [Kalaji i in. 2004].

Nawożenie azotem w największym stopniu decyduje o wielkości i jakości plonu jęczmienia browarnego. Jednak niezbędne jest zaopatrzenie roślin również w inne składniki pokarmowe, zarówno te podstawowe jak fosfor i potas, jak i inne makro i mikroelementy. Pełnią one funkcję regulacyjną wielu procesów biochemicznych przebiegających w roślinie, są składnikami lub aktywatorami wielu reakcji enzymatycznych [Barczak i Kozera 2003, Barczak i in. 2005]. Odpowiednie zaopatrzenie roślin w mikroelementy poprawia efektywność nawożenia makroelementami, wpływając na wielkość i jakość plonu. Niedobór mikroelementów może wpływać na cechy jakościowe ziarna, w szczególności na zawartość i jakość białka [Barczak i Kozera 2003]. Według licznych autorów [Kozłowska i Liszewski 2012, Podleśna 2002] jęczmień browarny jest najbardziej wrażliwy na niedobór manganu i miedzi. Według Barczak i in. [2005], właśnie te dwa mikroskładniki powodują największe przyrosty ziarna jęczmienia. Niedobór miedzi i manganu powoduje zmniejszenie intensywności fotosyntezy przy jednoczesnym zwiększeniu strat spowodowanych oddychaniem

[Kabata-Pendias, Pendias 1993], wszystko to ma wpływ co ostateczną wielkość polonu. Z badań Liszewskiego i Błażewicza [2015] wynika, że zastosowanie nawożenia miedzią i manganem wpływa na poprawę przydatności słodowniczej ziarna przez zmniejszenie ubytków naturalnych w trakcie produkcji słodów i wpływ na masę 1000 ziaren słodu. Prace licznych autorów, m.in. Barczak i Majcherczak [2008], Lipiński i in. [2003] wskazują także na zasadność nawożenia zbóż magnezem i siarką.

## 2.4. NAWADNIANIE JĘCZMIENIA

Plonowanie jęczmienia browarnego jest zależne w dużym stopniu od warunków klimatycznych i glebowych. Ilość wody jaką gleba może zmagazynować na dłuższy czas jest charakteryzowana przez połowę pojemność wodną i jest zależna od składu granulometrycznego gleby. Połowa pojemność przyjmuje wartości od 6% piasku luźnego do 35% dla iltu pylastego i gliny ciężkiej [Baranowska 2011, Trybała 1996]. Wielkość opadów atmosferycznych znajduje się poza kontrolą człowieka, może on natomiast w pewnym stopniu, przez zastosowanie odpowiednich procesów technologicznych, wpływać na zużycie wody w procesie produkcji oraz zdolność gleb do jej retencji. Jak podają Źarski in. [2011] najważniejszym czynnikiem ograniczającym produkcję jęczmienia jarego w Polsce jest czasowa zmienność opadów atmosferycznych, prowadząca do okresowego występowania suszy atmosferycznej i glebowej. Niedobór wody w okresie wegetacji wpływa ujemnie na wielkości i jakość plonów roślin uprawnych.

Będąca związkiem nieorganicznym woda, jest niezbędna do życia wszystkich organizmów i nie da się jej niczym zastąpić. Spełnia w organizmie roślinnym różne funkcje: jest rozpuszczalnikiem składników pokarmowych, bierze udział w ich transporcie, procesie fotosyntezy i oddychania, decyduje o ciśnieniu turgorowym, ma wpływ na termoregulację, przebieg procesów biochemicznych, w konsekwencji wpływa na wielkość i jakość plonów [Chmura i in. 2009, Ozturk i Aydin 2004]. Skutki stresu spowodowanego niedoborem wody zakłócają prawidłowe funkcjonowanie organizmu [Wasnik i in. 1988, Ratnayaka i Kincaid 2005]. Susza wywołuje szereg zmian morfologicznych, fizjologicznych i biochemicznych w organizmach roślin, ograniczając ich wzrost i rozwój [Kaur i Asthir 2017, Kocheva i in. 2014, Sourour i in. 2017]. Niekorzystne zmiany zachodzące u roślin to między innymi uszkodzenie błon komórkowych, czy uszkodzenie fotosystemów (zwłaszcza PSII) hamujące przebieg fotosyntezy, od przebiegu której zależy wielkość plonu [Olszewski i in. 2007, Starck i in. 1995]. Jak podaje Jakubowski [2009] zmienia się potencjał wodny w liściach, stężenie fitohormonów, ekspresja genów oraz skład plazmolemy, a podstawową zmianą jest zmiana potencjału wody w roślinie. Rośliny przystosowują się do stresu wodnego przez osmoregulację, polegającą na akumulacji substancji osmotycznie czynnych prowadzących do odzyskania turgoru i zdolności do wzrostu komórki, mimo niskiego potencjału wody

[Olszewski in. 2009, Pino i in. 2007, Steponkus 2005, Ozturk i Aydin 2004, Thomashow 2002].

Uprawa roślin w naturalnych warunkach nie pozwala na wyeliminowanie wpływu niekorzystnych czynników środowiska. Jednym z głównych abiotycznych czynników stresowych jest stres wodny [Grzesiuk i in. 1999, Starck i in. 1995]. Układ warunków środowiskowych, które doprowadzają do deficytu wody w roślinach w pojęciu rolniczym określa się mianem suszy. Przyczyną niedoboru wody jest brak wody dostępnej w podłożu oraz susza atmosferyczna towarzysząca często wysokim temperaturom, a także przewaga transpiracji nad absorpcją wody. Jako podłoże powstawania susz Kędziora i in. [2014] wskazują niekorzystne dla bilansu wodnego zakłócenia procesów meteorologicznych i hydrologicznych połączone ze zmianami szaty roślinnej i pokrywy glebowej. Autorzy uważają, że w od dłuższego czasu następuje pogarszanie się bilansu wodnego w krajobrazie rolniczym w krajach europejskich. Stwierdzenie to jest zbieżne z wynikami badań Dudka i in. [2009] prowadzonych w latach 1996-2005 w rejonie centralnej Polski (rejon w którym przeprowadzono doświadczenie będące podstawą do powstania niniejszej pracy). W badaniach tych stwierdzono, że w zależności od rodzaju gleby wystąpiło 13-15 posuch rolniczych w okresie wzmożonych potrzeb wodnych zbóż jarych uprawianych na glebie lekkiej. W okresie tym dominowały umiarkowane posuchy 7-13 dni braku wody łatwo dostępnej dla roślin w strefie korzeni. 21% ogólnej liczby posuch, stanowiły posuchy intensywne (ciąg 14-20 dni) i bardzo intensywne (ciąg powyżej 20 dni). Występowanie okresów posusznych prowadzi do powstawania stresu wodnego, a w konsekwencji ogranicza plony.

Zgodnie z wynikami badań ośrodka bydgoskiego [Rzekanowski i in. 2011, Żarski i in. 2011] potrzeby deszczowania jęczmienia jarego browarnego uprawianego na glebie lekkiej w rejonie centralnej Polski występują w 77,5% lat. W 12,5% lat, potrzeby określono jako duże, wymagające zastosowania co najmniej 120 mm wody do deszczowania, przyczyniającego się do wzrostu plonu co najmniej o 25 dt ha<sup>-1</sup>. Żarski i in. [2011] zauważają, że zabiegiem agromelioracyjnym przeciwdziałającym negatywnym skutkom posuch rolniczych, jest nawadnianie roślin, uważa zabieg ten jako przyszłościowy w Polsce, wskazując jednocześnie na trudności związane z uwarunkowaniami ekonomicznymi i dostępnością wody. Czynnikiem sprzyjającym rozwojowi nawodnień w Polsce, jest możliwość uzyskiwania wyższych i stabilnych plonów o pożądanym cechach jakościowych, a także potrzeba podnoszenia wzrostu konkurencyjności i nowoczesności gospodarstw. Również przewidywane zmiany klimatu mogą spowodować szybszy progres nawodnień [Łabędzki 2009, Rzekanowski i in. 2011]. Jak podają Chmura i in. [2009] nawadnianie przyczynia się do wzrostu plonu ziarna jęczmienia jarego w granicach od 16 do 40%, w zależności od ilości opadów [tabela 5]. Wzrost ten w odniesieniu do zbóż jarych wynika ze zwiększonej na stanowiskach nawadnianych liczby kłosów, liczby ziaren w kłosie oraz masy tysiąca ziaren [tabela 6]. W odniesieniu do jęczmienia browarnego, wprowadzenie deszczowania do technologii uprawy spowoduje nie

tylko wzrost wielkość plonu ziarna, ale przyniesie także korzystne zmiany jego jakości ziarna [Żarski i in. 2015]. Liczne badania potwierdzają korzystny wpływ deszczowania na zmniejszenie zawartości białka ogólnego w ziarnie, poprawę energii kiełkowania, a także innych parametrów jakościowych ziarna browarnych odmian jęczmienia [Błażewicz i in. 2011, Żarski 2009, Żarski i in. 2015]. Parametry jakościowe ziarna są zależne od wielu czynników, jednym w nich wpływającym na poprawę ich jakości jest nawadnianie, na co wskazuje wiele badań. Verma i in. [2003] stwierdzają, że w miejscach, w których nawadnianie ogrywa podstawową rolę plonotwórczą, zabieg ten korzystnie wpływa na cechy wartości przetwórczej ziarna.

Tabela 5. Efekty deszczowania jęczmienia jarego zależnie od wysokości opadów

Opady	Plon bez deszczowania [t·ha <sup>-1</sup> ]	Przyrost plonu	
		[t·ha <sup>-1</sup> ]	%
Poniżej	4,12	1,65	40
200-300	4,48	0,72	16
Powyżej	4,53	0,77	17

Opracowane własne na podstawie danych Chmura i in. [2009]

Nawodnienia odgrywają jednak znikomą rolę w gospodarce wodnej i rolnej Polski, nawadniana powierzchnia stanowi jedynie około 0,5 % ogólnej powierzchni gruntów rolnych [Stachowski i Markiewicz 2011]. Dla porównania na świecie według danych ICID (International on Irrigation and Drainage) nawadniane jest około 18% powierzchni przeznaczonej pod uprawy [Pierzgalski i Karczmarczyk 2006, Żarski i in. 2011]. Nawodnienia rozwinęły się przede wszystkim w strefach klimatycznych stale lub okresowo suchych, gdzie uprawa bez nawadniania byłaby niemożliwa. Rzekanowski i in. [2011] uważają, że w Polsce nawadnianie ma charakter interwencyjny, a jego zadaniem jest uzupełnienie okresowych niedoborów opadów atmosferycznych w stosunku do wymagań wodnych roślin uprawnych. Przewidywane przez Bąka i Łabędzkiego [2014a] zmniejszenie sumy opadów oraz wzrost średniej temperatury powietrza [Bąk i Łabędzki 2014b], może skutkować zwiększonymi potrzebami nawadniania. Piwowarczyk i in. [2012] uważają, że konieczne jest podjęcie działań mających na celu zwiększenie retencjonowania wody niezbędnej do nawadniania.

Tabela 6. Wpływ deszczowania na strukturę plonu zbóż jarych

Element	Bez deszczowania	Deszczowanie	Różnica [%]
Liczba kłosów na 1m <sup>2</sup>	445	542	+22
Liczba ziaren w kłosie	13,2	19,8	+50
Masa tysiąca ziaren [g]	33,3	39,5	+19
Plon ziarna [t ha <sup>-1</sup> ]	1,96	4,24	+116

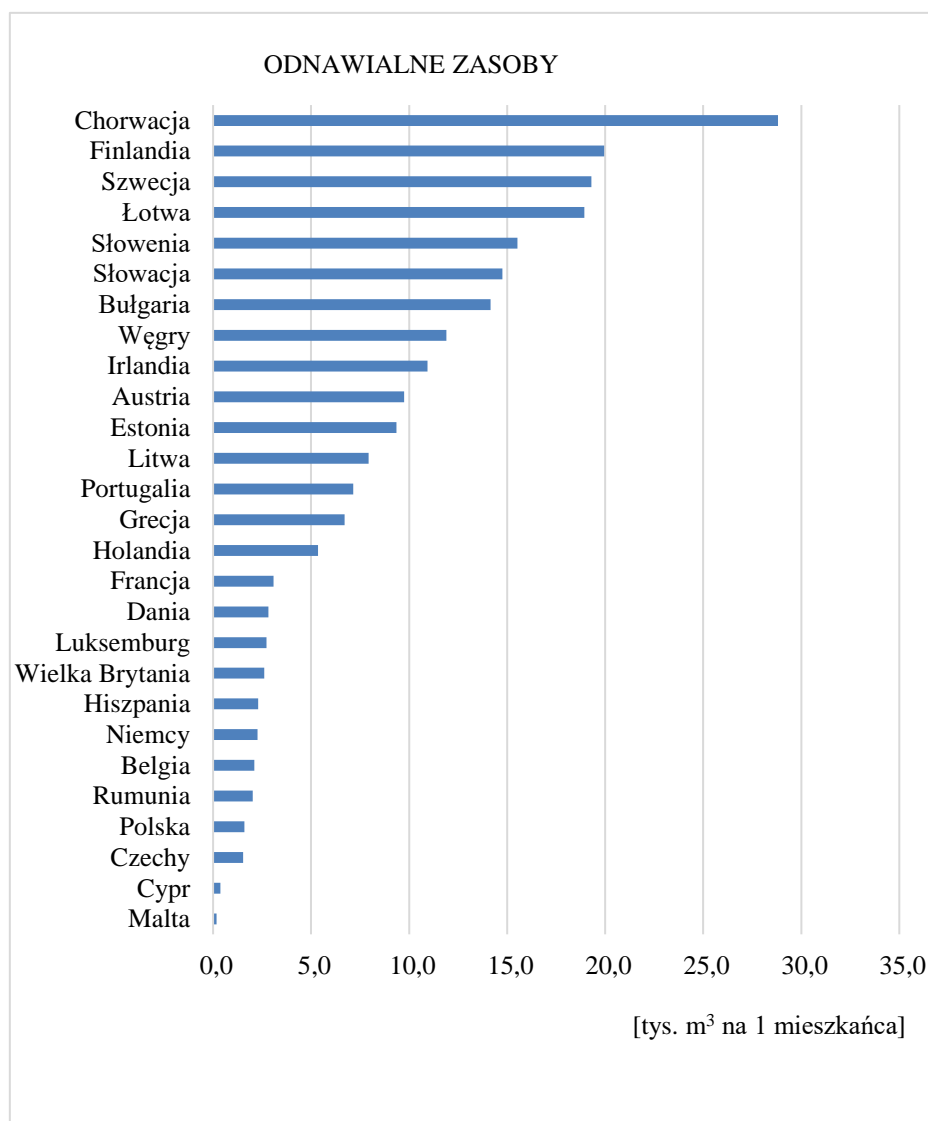
Opracowane własne na podstawie danych Żarski [2006]

#### 2.4.1. Źródła wody do nawodnień

Ewentualny rozwój nawodnień rolniczych w Polsce zależy jest od wielu czynników, obok uwarunkowań ekonomicznych, zachodzących zmian klimatu, decydujące znacznie mogą mieć braki i możliwość zwiększenia źródeł wody [Łabędzki 2009, Wawer 2020, Marszelewski i Piasecki 2021, Kuśmierk-Tomaszewska 2023 Rzekanowski 2023]. Zużycie wody w ujęciu gospodarki narodowej nieustannie wzrasta, wynika to z rozwoju przemysłu, wzrostu urbanizacji oraz intensyfikacji produkcji rolniczej. Zasoby wodne Polski są relatywnie niewielkie, ponadto odznaczają się zmiennością czasową i zróżnicowaniem obszarowym. Wielkość odnawialnych zasobów wody słodkiej przypadających na jednego mieszkańca Polski wynosi 1,6 tys. m<sup>3</sup> [rysunek 2]. Polska pod względem zasobów wodnych przypadających na 1 mieszkańca zajmuje 22 miejsce w Europie. Jak podaje GUS [źródło internetowe 3] w 2019 roku ogólne zużycie wody w Polsce wynosiło 8816039,8 dam<sup>3</sup>, podobnie jak w latach poprzednich największym konsumentem wody był przemysł 71% i sektor komunalny 19 % ogólnego zużycia wody. Pobór wody na potrzeby rolnictwa i leśnictwa wynosił w tym czasie 847407 dam<sup>3</sup>, co stanowiło 9,6% ogólnego zużycia wody. Zużycie wody na potrzeby rolnictwa i leśnictwa w latach 2009-2019 wahało się przedziale od 847407 dam<sup>3</sup> (rok 2019) do 1159257 dam<sup>3</sup> (rok 2009).

Najważniejszymi źródłami wody do nawodnień są wody powierzchniowe oraz gruntowe. Do wód powierzchniowych zalicza się duże zbiorniki wodne: jeziora, stawy oraz rzeki, zasoby te są bardzo nierównomiernie rozmieszczone na terenie kraju. Badania hydrologiczne wykazały, że w latach posłusznych, użyteczne zasoby wód powierzchniowych wynoszą 9-10 km<sup>3</sup>, a wód podziemnych 2 km<sup>3</sup>. Nadmierny odpływ wód opadowych oraz niedostateczna ilość i pojemność zbiorników retencyjnych są czynnikiem ograniczającym ilość wód powierzchniowych dostępnych dla rolnictwa. Jak podaje Trybała [1996] w Polsce zbierane jest 4-5% wód opadowych. Czynnikiem zmniejszającym przydatność wód powierzchniowych do celów nawadniania jest ich zanieczyszczenie, zwłaszcza metalami ciężkimi. Wody podziemne charakteryzują się dobrymi właściwościami użytkowymi i w pewnych wypadkach, mogą być wykorzystywane do nawadniania. Korzystanie z wód

podpowierzchniowych jest jednak bardziej kosztowne, a intensywna eksploatacja prowadzi do obniżenia ich poziomu.



Opracowane własne, na podstawie danych raportu GUS SDG - Polska na drodze zrównoważonego rozwoju – źródło internetowe 3

Rys. 2. Odnawialne zasoby wody słodkiej [tys. m<sup>3</sup> na 1 mieszkańca]

## 2.4.2. Funkcje nawodnień

Nawodnienia są najczęściej postrzegane jako zabieg techniczny, mający na celu dostarczenie wody roślinom, jest to jednak duże uproszczenie. Nawodnienia jako dział melioracji rolnych wpływają na obieg wody, powietrza, związków chemicznych w glebie, przyczyniając się do poprawy jej żyzności. Nawodnienia są stosowane nie tylko dla zwilżania i nawadniania roślin, ale także w celu:

- poprawy warunków dla wykonania zabiegów agrotechnicznych,
- dostarczania składników odżywczych (fertygacja),
- chemicznego zwalczania chorób i szkodników roślin (chemigacja),
- kształtowania warunków termicznych gleby i powietrza,
- odsolenia gleby.

## 2.4.3. Systemy nawodnieniowe i elementy składowe systemu nawadniającego

Poszczególne cele mogą być osiągnięte za pomocą odpowiednio dobranych systemów nawadniających, wśród których można wyróżnić: system deszczownic, mikronawodnienia (systemy nawodnień kroplowych i mikrodeszczowanie), nawodnienia powierzchniowe grawitacyjne (zalewowe, stokowe, bruzdowe) oraz zajmujące w Polsce największą powierzchnię - nawodnienia podsiąkowe.

Metodą najbardziej uniwersalną są deszczowniane systemy nawodnień, różnorodność rozwiązań technicznych pozwala na znalezienie rozwiązań korzystnych pod względem technicznym i ekonomicznym. Deszczownie charakteryzują się wysokim współczynnikiem wykorzystania wody oraz umożliwiają elastyczne gospodarowanie jej zasobami. System deszczownic składa się z następujących elementów [Drupka 1976]:

- powierzchniowe lub podziemne ujęcie wody,
- pompownia lub agregat pompowy,
- nadziemne lub podziemne rurociągi rozprowadzające wodę,
- urządzenia deszczujące ze zraszaczami.

Jak zauważa Łuszczuk [2009] ujęcie wody jest najistotniejszym i niekiedy najbardziej kosztownym elementem systemu nawadniającego. Wydajność ujęcia i pozwolenie na czerpanie wody, limituje powierzchnię nawadnianej plantacji. Najtańszym rozwiązaniem jest ujęcie powierzchniowe zlokalizowane w pobliżu nawadnianej plantacji, wymaga ono jednak uzyskania pozwolenia na czerpanie wody, pożądanym rozwiązaniem jest budowa przyczółka i czerpni, najczęściej przez osadzenie kręgów studni przy brzegu. Konieczność budowy jazów, zbiorników retencyjnych czy studni znacznie zwiększa koszty. Budowa studni głębinowej wiąże się również z trudnościami z uzyskaniem pozwolenia, często jest jednak jedynym rozwiązaniem.



### **Pompownia lub agregat pompowy**

Do czerpania wody z ujęcia wykorzystywane są ruchome agregaty pompowe lub pompownie stacjonarne. Drupka [2006] podaje, że w Polsce najczęściej wykorzystywanym rozwiązaniem są pompownie o napędzie elektrycznym. Jest to rozwiązanie uzasadnione ekonomicznie pod warunkiem istnienia odpowiedniej infrastruktury (linia zasilająca, transformator). Najtańszym rozwiązaniem są pompy głębinowe, a szerokie spektrum rozwiązań technicznych umożliwia optymalny ich dobór. W deszczownianych systemach nawadnieniowych najczęściej stosowane są pompy o działaniu odśrodkowym. Rozwiązaniem wykorzystywanym w przypadku braku możliwości zastosowania pompowni elektrycznych, są pompy ciągnikowe i spalinowe odpowiednio 2-3 tańsze i droższe od elektrycznych. Są one także znacznie bardziej kosztowne w eksploatacji [Drupka 2006].

### **Nadziemne lub podziemne rurociągi rozprowadzające wodę**

Jeżeli nawadniana plantacja nie znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie ujęcia wody, konieczne jest jej doprowadzenie za pomocą linii przesyłania wody. W sytuacji kiedy konieczne jest przesyłanie wody na znaczne odległości powyżej poziomu ujęcia wody, dochodzi do strat ciśnienia, co skutkuje koniecznością zastosowania pomp o większej mocy oraz większym zużyciem energii. Straty spowodowane oporami przepływu mogą być zredukowane przez zastosowanie rurociągów o dużym przekroju, co wiąże się jednocześnie ze wzrostem kosztów inwestycji. Wykorzystywane są PCV, węże PE, ocynkowane stalowe lub aluminiowe rury i węże płaskie o różnej średnicy [Łuszczak 2009].

### **Urządzenia deszczujące ze zraszaczami.**

Zadaniem zraszaczy jest równomierne rozprowadzenie wody w postaci kropeł po nawadnianej powierzchni. Wyróżnia się podstawowe urządzenia deszczujące [Pływaczyk 2006]:

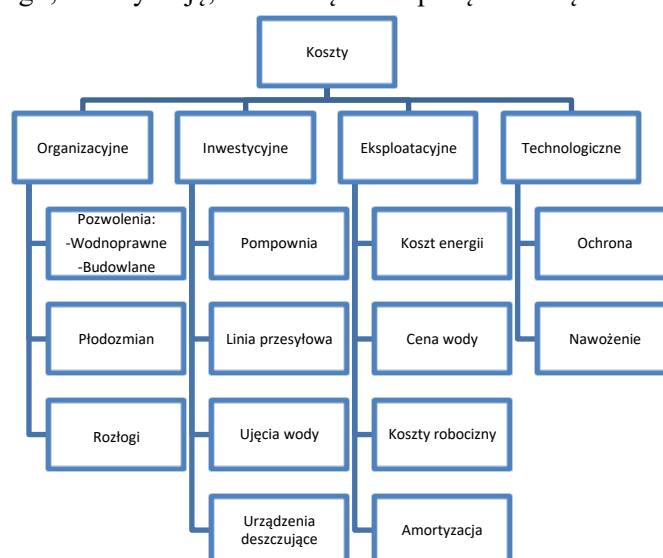
- przenośne rurociągi deszczujące,
- przeciągane rurociągi deszczujące,
- przetaczane rurociągi deszczujące,
- frontalne rurociągi deszczujące,
- obrotowe rurociągi deszczujące,
- nawijane rurociągi deszczujące
- wleczone węże rozwijane z bębna,
- mieszane instalacje deszczujące.

W warunkach umiarkowanego klimatu i rozdrobnionych gospodarstw Polski, najbardziej popularnym rozwiązaniem jest deszczownia szpulowa przewoźna. Na szpulę o poziomej osi obrotu zamocowaną na wózku, nawinięty jest poliuretanowy wąż zakończony mobilnym zraszaczem. Wózek ze zraszaczem jest transportowany ma miejsce najczęściej z wykorzystaniem ciągnika rolniczego, jednocześnie rozwijany jest wąż ze szpuli, zwijanie węża

następuje samoczynnie za pomocą przekładni napędzanej siłą przepływającej wody. Wypływająca pod ciśnieniem z działka woda, nawilża pas o szerokości do kilkudziesięciu metrów i maksymalnej długości nieco większej niż długość węża. Wielkość aplikowanej jednorazowo dawki polewowej jest regulowana bezstopniowo przez dobieranie prędkości zwijania węża. Długość węża powinna być dostosowana do długości zagonów, natomiast średnica wewnętrzna węża, powinna zapewnić wymaganą przepustowość wody. Na rynku są dostępne deszczownie szpulowe produkcji austriackiej, włoskiej i polskiej z węzłem długości od 110 do 750 m, średnicy od 40 do 140 mm i przepustowości od 3 do 140 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> [Łuszczuk 2009].

## 2.5. KOSZTY NAWADNIANIA

Podjmując decyzję o inwestycji w system nawadniania należy wziąć pod uwagę przychody i koszty z nią związane. Analizując koszty należy rozpatrzyć zarówno te poniesione podczas inwestycji, jak i późniejsze koszty eksploatacji. Mnogość rozwiązań technicznych umożliwia dostosowanie systemów nawadniania do potrzeb gospodarstwa, ma to jednak odzwierciedlenie w poniesionych na inwestycję kosztach [Łuszczuk 2008a 2008b]. Na koszty nawadniania składają się koszty organizacyjne, inwestycyjne, eksploatacyjne i technologiczne [rysunek 3]. Do kosztów inwestycji nawodnieniowej zaliczyć można wydatki poniesione na przygotowanie źródła wody, zakup pompowni, rurociągów, urządzeń deszczujących. W kosztach eksploatacji należy uwzględnić zużycie energii, amortyzację, robociznę oraz opłatę za wodę.



Opracowane własne, na podstawie [Łuszczuk 2009]

Rys. 3. Koszty nawadniania

## **2.6. EFEKTY EKONOMICZNE NAWADNIANIA JĘCZMIENIA BROWARNEGO**

Produktywność nakładów poniesionych w uprawie roślin zbożowych jest zróżnicowana, w zależności od warunków produkcyjnych i gatunku. Optymalizacja systemów zarządzania wymaga informacji o bieżących kosztach związanych z technologią. Taka charakterystyka zabiegów i środków produkcji pozwala w praktyce dobierać ich zestawy do konkretnych warunków ekologicznych przy określonym poziomie środków produkcji [Nasalski i in. 2004]. Badania wielu autorów wskazują na wymierne efekty produkcyjne nawadniania jęczmienia jarego. Jest to wzrost wielkości plonów, poprawa cech jakościowych ziarna, w rezultacie poprawa przydatności do przetworzenia przez przemysł piwowarski [Żarski i in. 2015]. Niewiele jest natomiast w literaturze informacji na temat opłacalności stosowania tego zabiegu w uprawie jęczmienia browarnego. Aspekt ekonomiczny odgrywa ważną rolę w podejmowaniu decyzji o uprawie, skali i technologii produkcji. W gospodarce rynkowej, efektywność ekonomiczna stanowi podstawowe kryterium zarządzania produkcją, a efektywne wykorzystanie czynników produkcji jest kwestią przesądzającą, o konkurencyjności gospodarstw rolniczych. Jak podaje Woś [1996] efektywność produkcji jest pojęciem kompleksowym, ponieważ uwzględnia nie tylko wszystkie czynniki i siły, jakie wpływają na efekt, ale także pozwala odpowiedzieć na pytanie: jakie czynniki i w jakich proporcjach należy zastosować w danych warunkach, aby ich produktywność była maksymalna. Opłacalność danej uprawy uzależniona jest od wydatków ponoszonych na uprawę gleby, a także od wielkości uzyskanego plonu, kosztów zbioru i ceny uzyskanej ze sprzedaży [Spurtacz i in. 2008]. Kisiel i Kaliszewicz [1996] jako najważniejsze koszty w produkcji jęczmienia browarnego wskazują: eksploatację maszyn, nawozy mineralne, środki ochrony roślin, materiał siewny, pracę, podatki i ubezpieczenia oraz inne koszty.

Do tej pory nieliczne są prace dotyczące opłacalności nawadniania roślin w Polsce. Literatura przedstawia wyniki badań dotyczących drzew owocowych [Brzozowski i Klimek 2010], truskawek [Lipiński 2012], ziemniaków [Lipiński 2015], kukurydzy [Kledzik i in. 2017] oraz różnych gatunków roślin polowych i warzyw [Żarski i in. 2001]. Problem oceny efektywności ekonomicznej nawadniania jęczmienia browarnego podniesiono w badaniach ośrodka bydgoskiego [Kledzik i in. 2015], przy czym wyniki analiz wykazały brak ekonomicznej efektywności przedsięwzięcia. W literaturze światowej problematyka samego nawadniania, jak i jego opłacalności jest poruszana znacznie częściej, ze względu na skalę praktycznego wykorzystania nawadniania w produkcji roślinnej. Badania dotyczące opłacalności nawadniania dotyczą miejsc rozmieszczonych w różnych częściach świata, różnych roślin, czy systemów nawadniania.

## 2.7. POSTĘP ODMIANOWY W UPRAWIE JĘCZMIENIA

Na plonowanie oraz parametry jakościowe ziarna jęczmienia browarnego wpływ ma szereg czynników: warunki siedliskowe, zaopatrzenie roślin w wodę, składniki pokarmowe, technologia uprawy. Szeroko rozumiany postęp jest w rolnictwie ważnym czynnikiem zmierzającym do poprawy efektywności gospodarowania. Jak zauważa Wicki [2017], w rolnictwie obecnie mamy do czynienia z drugą nowożytną rewolucją, której czwarty etap oparty jest na postępie biologicznym, w poprzednich dominował postęp mechanizacyjny i chemiczny. Postęp biologiczny oznacza dążenie do tworzenia i doskonalenia organizmów żywych, mającego na celu wykorzystanie podstawowych czynników wytwórczych oraz polepszenie jakości i zdrowotności produktów rolnych. Postęp biologiczny sprzyja również bardziej efektywnemu wykorzystaniu nakładów poniesionych na mechanizację i chemizację rolnictwa [Lisowska i in. 2013], jest uważany za wysoce skuteczny i stosunkowo tani czynnik wzrostu produkcji roślinnej i poprawy jakości produktów roślinnych [Duczmal 2003, Mackay i in. 2011, Rudnicki 2014]. Znaczenie postępu biologicznego obrazuje wzrost nakładów na prace badawczo-rozwojowe z zakresu hodowli roślin i biotechnologii rolniczej. Jak podaje Alston i in [2009] oraz Alston [2011] w latach 80 ubiegłego wieku stanowiły one około 5,5% nakładów na badania w rolnictwie, a w 2010 wzrosły do prawie 45%. Uważa się, że biotechnologia rolnicza może być wobec rosnącej presji szkodników i zmian warunków klimatycznych, głównym źródłem wzrostu produkcji rolniczej [Wicki 2018]. Prace badawcze z zakresu hodowli roślin prowadzone obecnie dwukierunkowo, dotyczą hodowli odmian tradycyjnych oraz modyfikowanych genetycznie. Postęp biologiczny w produkcji roślinnej w oparciu o tradycyjne metody hodowlane napotyka na liczne ograniczenia, źródłem materiału do uzyskania nowych odmian i przyspieszenia postępu biologicznego może stać się biotechnologia.

W skali świata nieprzerwanie rośnie znaczenie i powierzchnia upraw modyfikowanych genetycznie, w 2016 roku było to 185 mln ha, większość upraw znajduje się w krajach obu Ameryk. Graham i Barfoot [2017] stwierdzają, że uprawa roślin modyfikowanych genetycznie prowadzi w pierwszej kolejności do wzrostu wielkości plonów, a następnie do ograniczenia nakładów. Wicki [2017] zauważa że, w Europie uprawa roślin modyfikowanych genetycznie jest w zasadzie zabroniona, więc postęp biologiczny wiąże się z udoskonalaniem odmian tradycyjnych oraz wprowadzaniem odmian hybrydowych. Pożądanymi cechami wśród nowych odmian jest wysokie i stabilne plonowanie. Wykorzystanie potencjału wymaga odpowiedniego doboru odmian do warunków klimatyczno-glebowych [Filipiak 2008, 2014] oraz prowadzi do zmniejszenia ryzyka produkcyjnego Wicki [2016] uważa że, w Polsce poziom wykorzystania potencjału plonowania odmian w warunkach produkcyjnych wynosi tylko około 50% i od połowy lat 90 ubiegłego wieku wzrósł o 8 p.p.

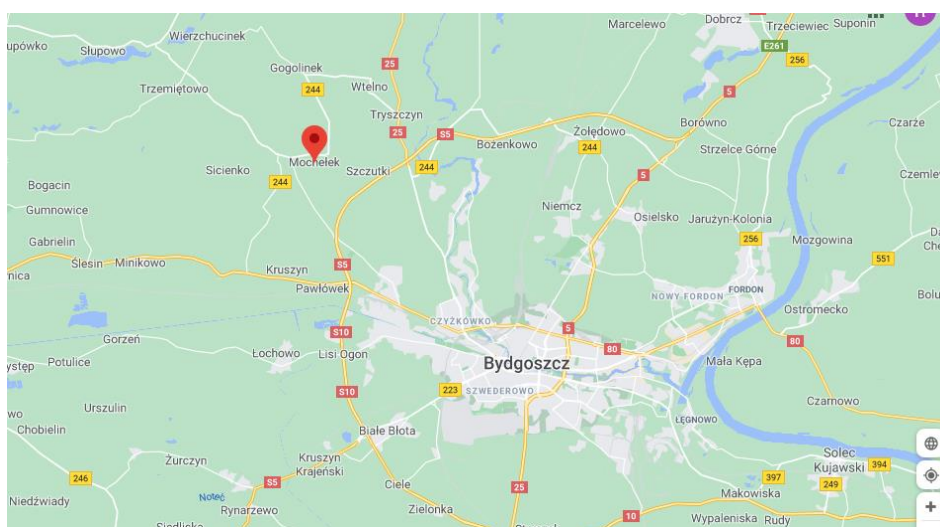
Nowe odmiany mogą lepiej wykorzystywać składniki pokarmowe, być bardziej tolerancyjne na stesy biotyczne i abiotyczne, co w konsekwencji przyczynia się do zwiększenia produktywności nakładów [Chotkowski i Stypa 2007]. W krajach z wysoko rozwiniętym rolnictwem, postęp biologiczny wpływa na 50% wzrost produktywności roślin uprawnych [Duvick 2005], w Polsce jest to poziom 10-22% [Grabiński 2001].

W przypadku odmian jęczmienia jarego przeznaczonych do uprawy dla przemysłu browarniczego najważniejsze są parametry ziarna oraz plon. Nowe odmiany poddawane są badaniom pod względem odrębności, wyrównania i trwałości, a także wartości gospodarczej. Wśród kryteriów oceny wartości gospodarczej odmian (WGO) jęczmienia do zasadniczych zalicza się jakość technologiczną ziarna jako surowca do przemysłu browarnego, plenność, stabilność plonowania, odporność na choroby, przystosowanie do różnych warunków uprawy. Postęp odmianowy w połączeniu z coraz doskonalszą agrotechniką pozwala na uzyskiwanie coraz większych plonów surowca o pożądanym cechach jakościowych. Wyniki uzyskane przez Wickiego [2018] pokazują, że postęp biologiczny odgrywa ważną rolę w zwiększaniu produktywności jęczmienia jarego. Wskazuje on na wzrost plonu jęczmienia o ponad 5 dt ha<sup>-1</sup> w ciągu 10 lat wynikający z wprowadzenia postępu biologicznego i ocenia wprowadzony postęp jako znaczący. Noworolnik [2013] uważa, że poziom plonowania nowych odmian browarnych nie jest niższy od odmian pastewnych. Niektóre odmiany browarne charakteryzują się większym od innych odmian wzrostem plonu ziarna, przy mniejszym wzroście zawartości białka w ziarnie pod wpływem zwiększenia nawożenia azotem [Noworolnik 2008, 2010, Noworolnik i Leszczyńska 2002, 2005, Weston i in. 1993]. Coraz lepiej poznane sposoby dziedziczenia, nowe źródła zmienności genetycznej cech warunkujących wysoką wartość użytkową oraz nowoczesne metody gwarantują osiągnięcie stałego postępu hodowlanego jęczmienia browarnego [Rae i in. 2007, Anioł 2010, Gołębiewski i in. 2012].

### 3. MATERIAŁ I METODY

#### 3.1. MIEJSCE BADAŃ

Ścisłe doświadczenie polowe zostało przeprowadzone na polu doświadczalnym Katedry (obecnie Pracowni) Melioracji i Agrometeorologii zlokalizowanym w Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii UTP w Mochełku ( $53^{\circ}12'24''N$ ,  $17^{\circ}51'40''E$ ,  $h=98,5$  m npm), będącej jednym z najstarszych obiektów doświadczalnych w Polsce. Początki jej istnienia sięgają roku 1905 i związane są z utworzeniem na tych terenach bazy doświadczalnej ówczesnego Instytutu Rolniczego w Bydgoszczy. Aktualnie gospodarstwo Mochełek należy do Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Politechniki Bydgoskiej w Minikowie. Miejscowość Mochełek według podziału fizyczno – geograficznego wchodzi w skład makroregionu Pojezierza Pomorskiego i mezoregionu Pojezierza Krajeńskiego [Kondracki 1998]. Położone jest około 20 km na północny-zachód od centrum Bydgoszczy, na południowo-wschodniej krawędzi Wysoczyzny Krajeńskiej [rysunek 4].



Google mapy [źródło internetowe 4]

Rys. 4. Lokalizacja gospodarstwa Mochełek (RZD Politechniki Bydgoskiej w Minikowie)

Pole doświadczalne [fotografia 1,2,3] znajduje się w strefie o najniższych opadach atmosferycznych, a zatem o największych przeciętnych niedoborach opadów atmosferycznych i potrzebach stosowania interwencyjnego nawadniania w Polsce pod względem kryterium klimatycznego. Średnia wieloletnia w latach 1981-2010 suma opadów atmosferycznych w okresie od kwietnia do września

wynosiła 307,6 mm, a minimalna 139,1 mm w 1992 roku [Żarski i in. 2014]. Susze atmosferyczne w okresie aktywnego wzrostu roślin (V-VIII) występują z częstością 30%, w tym okresy aktywnego wzrostu bardzo i ekstremalnie suche stwierdzono w wieloleciu 1961-2010 w 6,7% lat [Kuśmerek-Tomaszewska i Żarski 2021]. Meteorologiczny okres wegetacji zaczyna się średnio 28 marca, kończy 3 listopada i trwa przeciętnie 221 dni [Żarski i in. 2012].



Fot. 1. Widok pola doświadczalnego z nawadnianiem jęczmienia jarego browarnego w Mochelku, w czerwcu 2015 rok (fotografia własna)



Fot. 2. Widok pola doświadczalnego z nawadnianiem jęczmienia jarego browarnego w Mochelku, w czerwcu 2016 rok (fotografia J. Żarski)



Fot. 3. Widok pola doświadczalnego z nawadnianiem jęczmienia jarego browarnego w Mochelku, w czerwcu 2017 rok (fotografia własna)

### 3.2. CHARAKTERYSTYKA ODMIANY

Tabela 7. Charakterystyka odmiany browarnej jęczmienia jarego ‘Signora’

Termin kłoszenia	Średni	
Termin dojrzewania	Średni	
Wysokość roślin	Niska (około 72 cm)	
Masa tysiąca ziaren	Wysoka (około 47,5 g)	
Odporność na wyleganie	Średnia do wysokiej	
<b>Cechy technologiczne</b>	<b>Wartość</b>	<b>Skala od 3 do 9</b>
Zawartość białka w ziarnie	Niska do średniej	5
Ekstraktywność	Bardzo wysoka	8
Lepkość brzezki	Bardzo dobra	7
Stopień ostatecznego odfermentowania	Wysoka	7
Liczba Kolbacha	Średnia do wysokiej	6
Siła diastatyczna	Średnia	5
Zawartość $\beta$ -glukanów	Wysoka	8
Syntetyczna ocena wartości browarnej	6,95	

Opracowane własne na podstawie danych COBORU [źródło internetowe 5]

Obiektem doświadczalnym była odmiana jęczmienia jarego Signora, jest to odmiana browarna jęczmienia jarego o kłosie dwurzędowym wpisana do rejestru



24.01.2008 roku. Signora jest odmianą o wysokim potencjale plonowania zalecaną do uprawy na terenie całego kraju. Według badań COBORU [tabela 7] Signora charakteryzuje się wysoką MTZ (47,5 g) oraz średnią do wysokiej odpornością na wyleganie (5,7). Rośliny tej odmiany osiągają wysokość około 72 cm. Jest to odmiana odporna na choroby, odporność na: mączniaka (7,3), rynchosporiozę (7,9), rdzę jęczmienia (7,4), plamistość siatkową (7,4), czarną plamistość (7,6) w skali 1-9 według badań COBORU. Biorąc pod uwagę cechy technologiczne ziarna wyróżnia się wysokimi wskaźnikami jakości technologicznej, szczególnie bardzo wysoką ekstraktywnością i bardzo dobrą lepkością brzeźki oraz niską do średniej zawartością białka [źródło internetowe 5].

### 3.3. CZYNNIKI DOŚWIADCZENIA

Dwuczynnikowy eksperyment polowy przeprowadzono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym split-plot w czterech replikacjach. Pojedyncze poletko doświadczalne do obsiewu miało powierzchnię 10 m<sup>2</sup>, zbioru dokonywano z powierzchni 5,81 m<sup>2</sup> (1,21 m x 4,8 m).

Zastosowane w dwóch wariantach nawadnianie deszczowniane było pierwszym z badanych czynników:

- W<sub>0</sub> – obiekty kontrolne (bez deszczowania),
- W<sub>1</sub> – deszczowanie optymalne, utrzymujące w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu zapas wody łatwo dostępnej dla roślin w całym okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia.

Nawadnianie prowadzono za pomocą przenośnego systemu deszczownianego z wykorzystaniem niskociśnieniowych, sektorowych głowic nawadniających typu Nelson o wydajności jednostkowej 200 l·h<sup>-1</sup>. Woda wykorzystywana do nawodnień pochodziła z ujęcia wykonanego na rurociągu wiejskim. Terminy poszczególnych zabiegów deszczowania ustalano na podstawie analizy standardowych pomiarów atmosferycznych, ponadto stale prowadzono monitoring wilgotności gleby w warstwie korzeniowej roślin, metodą bezpośrednią przy użyciu sondy Fieldscout TDR 200 Soil Moisture Meter oraz za pomocą bilansowania zapasu wody łatwo dostępnej na podstawie parametrów meteorologicznych [Drupka 1976]. Wyniki pomiarów meteorologicznych, prowadzonych w sposób standardowy zgodny z procedurami IMGW, pochodzą z agrometeorologicznego punktu pomiarowego zlokalizowanego w sąsiedztwie pola doświadczalnego w Mochelku. Punkt znajduje się na obszarze słabo zurbanizowanym i uprzemysłowionym z dala od wpływu lokalnych i miejskich czynników antropogenicznych, pomiary prowadzone są nieprzerwanie od 1949 roku [Kuśmierk-Tomaszewska i in. 2012].

Drugim zastosowanym czynnikiem było nawożenie azotem zastosowane w czterech wariantach (wartości podane w czystym składniku):

- N<sub>0</sub> – obiekty kontrolne (bez nawożenia),

- N<sub>1</sub> - nawożenie przedsiewne 30 kg ha<sup>-1</sup>,
- N<sub>2</sub> - nawożenie przedsiewne 60 kg ha<sup>-1</sup>,
- N<sub>3</sub> - nawożenie przedsiewne 60 kg ha<sup>-1</sup>, uzupełnione o nawożenie pogłówne 30 kg ha<sup>-1</sup> w fazie strzelania w źdźbło.

### 3.4. PRZEPROWADZONE ZABIEGI AGROTECHNICZNE

Uprawa jęczmienia była prowadzona według zasad poprawnej agrotechniki, obejmującej optymalne nawożenie PK (70kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> w formie superfosfatu oraz 80kg K<sub>2</sub>O w formie soli potasowej) oraz chemiczną ochronę. Pierwszym wiosennym zabiegiem było bronowanie mające na celu ograniczenie parowania i wyrównanie powierzchni gleby. Przed siewem rozsiano nawozy i wymieszano je z glebą za pomocą bronowania. Siewów dokonano w optymalnym dla danego roku terminie [tabela 8].

Tabela 8. Termin siewu jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w latach 2015-2017

Rok	2015	2016	2017
Termin siewu	23 marca	1 kwietnia	31 marca

Opracowane własne

Tabela 9. Terminy oraz wielkość dawek nawodnieniowych w latach 2015-2017

Rok	Termin	Wielkość dawki [mm]
<b>2015</b>	26 maja	30
	3 czerwca	30
	10 czerwca	25
	1 lipca	30
	6 lipca	20
	<b>Łącznie</b>	<b>135</b>
<b>2016</b>	24 maja	35
	8 czerwca	32
	<b>Łącznie</b>	<b>67</b>
<b>2017</b>	29 maja	20
	9 czerwca	20
	28 czerwca	15
	<b>Łącznie</b>	<b>55</b>

Opracowane własne

Nawadnianie miało charakter interwencyjny i było stosowane w momencie wystąpienia niedoboru wody łatwo dostępnej w strefie korzeniowej, liczba dawek nawodnieniowych zależała od przebiegu warunków pogodowych w danym

okresie wegetacji, przede wszystkim od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych. Wielkość oraz terminy dawek nawodnieniowych przedstawia tabela 9. Zastosowane nawadnianie miało na celu przeciwdziałania negatywnym skutkom niedoboru wody na poszczególnych etapach wzrostu i rozwoju roślin.

Podczas wegetacji jęczmienia jarego regularnie dokonywano obserwacji na podstawie których można było bardzo ogólnie stwierdzić, że rośliny nawadniane odznaczały się bujniejszym wzrostem, były bardziej dorodne, wytworzyły większą zieloną masę ich rozwój był bardziej równomierny.

### 3.5. ZBIÓR I ANALIZA ZIARNA

Zbioru dokonano kombajnem poletkowym w fazie pełnej dojrzałości, terminy zbioru w poszczególnych latach trwania doświadczenia przedstawia tabela 10. Zebrane z każdego poletka ziarno zważono, a uzyskany wynik przeliczono na teoretyczny plon z jednego hektara dla wilgotności 15%. Przygotowano próbki do dalszych analiz. Masę tysiąca ziaren określono w próbach pochodzących z każdego poletka w laboratorium Katedry Melioracji i Agrometeorologii UTP (obecnie Pracownia Melioracji i Agrometeorologii PBŚ). Pozostałe analizy ziarna pod względem cech technologicznych dokonano w laboratorium Katedry Technologii Rolnej i Przechowalnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Przebadano próby zbiorcze, dokonując analiz w 3 powtórzeniach. Analizy obejmowały oznaczenie zawartości białka oraz wyrównania ziarna. Na separatorze laboratoryjnym PFEUFFER SORTIMAT oznaczono wyrównanie ziarna (frakcja o grubości powyżej 2,5mm), próbki ziarna o masie 100g przesiewano na sitach o wielkości oczek 2,8mm, 2,5mm, 2,2mm w czasie 5 minut. Uzyskane frakcje zważono na wadze laboratoryjnej z dokładnością do setnych części grama. Zawartość białka w ziarnie oznaczono przy pomocy urządzenia Infratec™ 1241 Grain Analyzer. Analizy ziarna przeprowadzono zgodnie z analityką opracowaną przez Europejską Unię Browarniczą. Uzyskane wyniki posłużyły do obliczenia teoretycznej ekstraktywności ziarna jęczmienia (E) według metody Bishopa [Liszewski i in. 2012]:

$$E=84,5-0,75B+0,1MTZ$$

gdzie:

B - zawartość białka w ziarnie podana w % suchej substancji,

MTZ - masa 1000 ziaren w gramach suchej substancji.

Ekstraktywność teoretyczna szacowana zgodnie z formułą opracowaną przez Bishopa w ocenie przydatności słodowniczej ziarna jęczmienia pozwala z dużą dokładnością szacować rzeczywistą ekstraktywność słodów typu pilzneńskiego. Zastosowanie wzoru Bishopa pozwala na szacowanie przydatności słodowniczej ziarna mimo różnic odmianowych, odmiennych warunków pogodowych w danym okresie wegetacji oraz różnych warunków glebowych prowadzenia uprawy.

Tabela 10. Termin zbioru ziarna jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w latach 2015-2017

Rok	2015	2016	2017
Termin zbioru	3 sierpnia	27 lipca	8 sierpnia

Opracowane własne

Obliczenia statystyczne przeprowadzono w oparciu o analizę wariancji dwuczynnikowego doświadczenia polowego w układzie zależnym z wykorzystaniem testu Tukey’a. Do obliczeń wykorzystano pakiet ANALWAR-5.1.FR, autorstwa prof. dr hab. Franciszka Rudnickiego. Pakiet ten służy do wykonywania analiz wariancji danych źródłowych z doświadczeń rolniczych, zawiera programy obliczeniowe danych ortogonalnych z doświadczeń pojedynczych oraz wielokrotnych. Analizę wariancji danych doświadczenia wielokrotnego (syntezę) dokonano w modelu łączonych nieścisłości. Według Autora pakietu, ten model syntezy jest właściwy dla większości doświadczeń rolniczych, zwłaszcza doświadczeń wielokrotnych składających się tylko z 2-3 doświadczeń pojedynczych (rocznych).

### 3.6. METODYKA ANALIZY WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH

Warunki klimatyczne w rejonie doświadczenia scharakteryzowano na podstawie danych meteorologicznych dotyczących opadów oraz temperatury w latach 2015-2017. Dane pochodziły z punktu pomiarowego znajdującego się w Mochełku na terenie Stacji Badawczej i istniejącego od 1949 roku. Od roku 1996 opiekę nad punktem pomiarowym sprawują pracownicy Katedry (obecnie Pracowni) Melioracji i Agrometeorologii Politechniki Bydgoskiej.

Panujące w latach trwania eksperymentu (2014-2017) warunki termiczne scharakteryzowano wykorzystując metodę Lorenc [Lorenc 1994]. Metoda ta jest oparta o kryterium standaryzowanego odchylenia od średniej (11 klas).

Innym wykorzystanym w niniejszej pracy wskaźnikiem agroklimatycznym jest suma temperatur efektywnych od siewu do zbioru jęczmienia. Charakteryzująca zasoby termiczne. Stopniodni wzrostu (GDD) zostały obliczone według poniższego wzoru [McMaster i Wilhelm 1997].

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

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].

Ocena efektywności nawadniania wymagała przeprowadzania analizy warunków wodnych w okresie i miejscu eksperymentu polowego. Pierwszym z

parametrów była ilość opadu w okresie doświadczenia wykonana z wykorzystaniem wskaźnika RPI w oparciu klasyfikację Kaczorowskiej [1962].

Niedobory opadów oszacowano z wykorzystaniem metody Klatta [Grabarczyk 1983]. Opady optymalne Klatta określone zostały dla szeregu roślin, są uzależnione od średnich temperatur powietrza. Ponadto zostały zróżnicowane ze względu na rodzaj gleby. Punktem wyjściowym są gleby średnie, dla gleb ciężkich stosuje się przelicznik 0,85, dla lekkich 1,15 lub 1,25. Mnożniki mają wyrównywać różnice wynikające z odmiennych właściwości fizykochemicznych gleby i związanej z nimi możliwością retencji wody w okresie zimowym oraz wody opadowej [Grabarczyk 1983]. W badaniach własnych przyjęto mnożnik 1,15, właściwy dla gleby lekkiej.

Przeprowadzono bilans wody łatwo dostępnej dla roślin w latach trwania eksperymentu polowego. sporządzony na podstawie metody Drupki [1976]. Metoda ta uwzględnia jako przychody wody opady atmosferyczne i dawki nawodnieniowe, a jako rozchody – dobowe wartości zużycia wody z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu ( $e_n$ ), zależne od średniej dobowej temperatury powietrza.

Ponadto wykonano analizę warunków wodnych pod kątem ciągów dni bezopadowych, czyli kolejnych dni bez opadu atmosferycznego. Są one szczególnie niekorzystne jeśli występują w okresach krytycznych pod względem zapotrzebowania roślin uprawnych na wodę. W przypadku jęczmienia jarego za okres wzmożonego zapotrzebowania na wodę uznaje się czas od początku 2 dekady maja do końca 2 dekady lipca. Ciągi dni bezopadowych opracowuje się na podstawie klasycznej w agrometeorologii metody Schmucka [1969], według której ciąg bezopadowy kończy dzień z opadem równym lub większym od 1 mm lub dwa kolejne dni o łącznej sumie opadów równej lub większej od 1 mm. Zakłada się również, że ciągi bezopadowe podczas okresu wegetacji trwające krócej niż 9 dni, nie powodują szkód.

### **3.7. EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA NAWADNIANIA JĘCZMIENIA BROWARNEGO**

Jednym z elementów całościowego opracowania była analiza efektywności ekonomicznej nawadniania jęczmienia jarego. Uzyskane w polowym doświadczeniu wyniki produkcyjne, wykorzystano do oszacowania efektywności ekonomicznej. Analizie poddano najkorzystniejszy z punktu widzenia produkcyjnego wariant doświadczenia, z nawożeniem azotowym wysokości 30 kg·ha<sup>-1</sup>, pozwalający uzyskać możliwie największy plon ziarna, przy jednoczesnym zachowaniu pożądanego w przemyśle browarniczym parametrów ziarna. Materiałem wyjściowym do przeprowadzania kalkulacji było porównanie plonów z poletek doświadczalnych nienawadnianych oraz nawadnianych w sposób zapewniający nieprzerwany dostęp do wody łatwo dostępnej dla roślin.

### 3.6.1. Nadwyżka bezpośrednia

Jako podstawowy wskaźnik efektywności ekonomicznej nawadniania przyjęto przyrost nadwyżki bezpośredniej wyliczony zgodnie ze wzorem Grabarczyka [Grabarczyk 1987]:

$$\Delta D = \Delta P - (K_d + \Delta K_r)$$

gdzie:

- przyrost nadwyżki bezpośredniej ( $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ),
- wartość produkcji dodatkowej uzyskanej dzięki zastosowaniu nawadniania ( $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ),
- koszty nawadniania ( $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ),
- dodatkowe koszty bezpośrednie, związane z uzyskaniem dodatkowej produkcji ( $\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$ ).

W kalkulacjach efektywności ekonomicznej przyjęto pięć wariantów nawadnianych powierzchni: 1, 5, 10, 25, 50 ha, oraz deszczowniany system nawadniający. Informacje niezbędne do oszacowania kosztów instalacji i eksploatacji deszczowni opracowano na podstawie publikacji Kledzik i in. [2017] z uwzględnieniem wzrostu kosztów inwestycji spowodowanego wzrostem poziomu cen na poziomie 15% dla wariantu II i 30% dla wariantu III. Na potrzeby kalkulacji założono 15 letni okres użytkowania instalacji nawadniającej (amortyzacja 6,67%), koszty materiałów i napraw na poziomie 2% całkowitych kosztów inwestycji oraz oprocentowanie kapitału na poziomie 5%. Ponadto założono zastosowanie pompowni o napędzie elektrycznym. Ostatnim uwzględnionym czynnikiem był wzrost kosztów bezpośrednich spowodowanych przyrostem plonu, który ustalono na poziomie 30% wartości dodatkowo uzyskanej produkcji. W kalkulacji pominięto koszty robocizny oraz opłaty za wykorzystywaną do nawodnień wodę.

W przeprowadzonych kalkulacjach wykorzystano realne ceny skupu jęczmienia browarnego pochodzące ze strony internetowej Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi [tabela 11].

W obliczeniach efektywności ekonomicznej przyjęto i porównano trzy warianty cen ziarna jęczmienia browarnego, pierwszy wariant, ceny z okresu trwania doświadczenia lata 2015-2017, drugi lata 2019-2022, oraz najbardziej aktualne z 2022 roku.

Na podstawie powyższych cen wyliczono średnie ceny dla trzech wariantów kalkulacji:

- wariant I (2015-2017)  $684 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$ ,
- wariant II (2019-2022)  $994 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$ ,
- wariant III (2022)  $1358 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$ .

Kalkulacji efektywności ekonomicznej nawadniania dokonano na podstawie efektów produkcyjnych uzyskanych pod wpływem nawadniania i nawożenia azotem w wielkości dawki  $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Interakcja pomiędzy nawadnianiem, a wspomnianą wielkością nawożenia azotem pozwalała uzyskać możliwie

największy plon, przy jednoczesnym zachowaniu pożądaných parametrów jakościowych ziarna.

### **3.6.2. Okres zwrotu inwestycji**

Dodatkowym wskaźnikiem efektywności ekonomicznej, który zastosowano w niniejszej pracy był czas zwrotu poniesionych nakładów inwestycyjnych. Obliczono go dla powyższych wariantów kalkulacji, z wyłączeniem najmniejszej powierzchni 1ha, która w każdym z analizowanych wariantów wykazuje ujemny wynik [tabela 11']. W obliczeniach wykorzystano wzór [źródło internetowe 7]:

$$PP=Wi/Pn$$

gdzie:

PP- Okres zwrotu inwestycji [lata],

Wi- Wartość inwestycji [zł]

Pn- Roczne przepływy pieniężne netto z inwestycji [zł]

Tabela 11. Poziom ceny skupu ziarna jęczmienia browarnego w latach 2015-2022 [zł]

Rok	Rodzaj ziarna	Miesiąc												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	XI	X	XI	XII	I-XII
2015	konsumpcyjne	626	597	567	578	564	533	575	556	554	577	602	597	<b>577</b>
	paszowe	604	623	603	584	557	560	581	579	579	594	607	620	<b>591</b>
	browarniane	707	728	710	678	671	672	648	684	681	680	692	703	<b>688</b>
2016	konsumpcyjne	609	586	574	559	571	577	506	492	514	507	543	567	<b>550</b>
	paszowe	615	615	593	592	595	598	531	515	516	534	553	581	<b>570</b>
	browarniane	717	723	689	681	688	717	629	671	661	683	667	667	<b>683</b>
2017	konsumpcyjne	586	615	602	607	638	683	552	546	670	600	661	640	<b>617</b>
	paszowe	614	626	621	631	652	668	581	573	583	625	639	666	<b>623</b>
	browarniane	657	677	741	690	706	747	615	652	601	684	689	708	<b>680</b>
2018	konsumpcyjne	636	644	658	675	656	626	617	654	745	762	811	803	<b>690</b>
	paszowe	665	666	661	678	670	671	644	721	772	783	803	819	<b>713</b>
	browarniane	722	733	734	721	741	753	668	714	724	780	790	816	<b>741</b>
2019	konsumpcyjne	790	809	835	808	779	699	594	604	629	631	654	688	<b>710</b>
	paszowe	824	835	811	808	788	759	622	621	639	647	656	665	<b>723</b>
	browarniane	873	874	848	835	842	834	632	664	719	724	722	726	<b>774</b>
2020	konsumpcyjne	636	686	661	702	686	644	587	586	616	636	700	702	<b>654</b>
	paszowe	668	675	667	673	706	694	615	603	618	633	663	695	<b>659</b>
	browarniane	747	748	748	761	767	777	634	657	681	699	704	735	<b>722</b>
2021	konsumpcyjne	703	765	786	815	822	837	685	753	834	905	986	1154	<b>837</b>
	paszowe	718	776	828	847	863	886	717	754	851	897	963	1106	<b>851</b>
	browarniane	790	801	831	899	923	961	731	813	819	976	1077	1205	<b>902</b>
2022	konsumpcyjne	1110	1121	1309	1418									<b>1240</b>
	paszowe	1155	1119	1261	1414									<b>1237</b>
	browarniane	1256	1289	1389	1498									<b>1358</b>

Opracowanie własne na podstawie danych Rynek Zbóż [źródło internetowe 6]



## **4. WARUNKI DOŚWIADCZENIA**

### **4.1. WARUNKI GLEBOWE**

Doświadczenie polowe dotyczące nawadniania i nawożenia azotem jęczmienia browarnego zlokalizowane było w Rolniczej Stacji Doświadczalnej Politechniki Bydgoskiej w Mochelku. Na danym terenie dominują gleby płowe typowe [Systematyka Gleb Polski 2019]. Zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów w sprawie gleboznawczej klasyfikacji gruntów [Dz.U. poz.1246 z dnia 12 września 2012] gleby te zaliczono do IV klasy bonitacyjnej i do żytniego dobrego kompleksu przydatności rolniczej. Omawiane gleby wytworzone zostały z utworów fluwioglacjalnych - niecałkowitych piasków gliniastych zalegających na glinie średniej i ciężkiej. Na podstawie wyników składu granulometrycznego analizowane gleby sklasyfikowano do kategorii agrotechnicznej gleb lekkich [PTG 2009]. W poziomach Ap i Et (na głębokości 0-49 cm) zawartość frakcji pyłu drobnego i iłu (frakcji spławialnych) wynosiła 18%, natomiast w poziomie Bt zalegającym na głębokości 49-112 cm wynosiła 46%. Gleba ta jest w stanie zmagazynować 215 mm wody łatwo dostępnej w warstwie do 1 m głębokości [Informator „Oferta naukowo-badawcza UTP dla gospodarki” 2012]. Układ poziomów genetycznych w badanej glebie był następujący: Ap-Et-Bt-C.

Poziom ornopróchniczny (Ap) o miąższości 33cm charakteryzował się średniotrwłą strukturą gruzełkową, gdzie wielkość agregatów glebowych mieściła się w przedziale 2-5 mm. Układ poziomu był pulchny, a przejście ostre i równe. Na podstawie składu granulometrycznego w poziomie tym stwierdzono piasek gliniasty. W poziomie Et na głębokości 33-49 cm również stwierdzono piasek gliniasty. Natomiast poziom Bt (49-112 cm) charakteryzował się składem odpowiadającym glinie średniej. W poziomie tym struktura gleby miała kształt pryzmatyczny z agregatami o wielkości 2-5 mm i była średniotrwła. Skałę macierzystą (poniżej 112 cm) stanowiła glina ciężka o strukturze foremnowielościennnej ostrokrawędzistej i agregatami o wielkości 2-5 mm [Stacja Badawcza Wydziału Rolniczego ATR w Mochelku, pod redakcją Z. Skindera 2007].

### **4.2. WARUNKI METEOROLOGICZNE W LATACH 2015–2017**

Warunki meteorologiczne panujące podczas przeprowadzonego w latach 2015–2017 doświadczenia polowego z nawadnianiem i nawożeniem azotem jęczmienia browarnego, opracowano na podstawie wyników pomiarów z posterunku meteorologicznego zlokalizowanego w Mochelku. Punkt pomiarowy zlokalizowany jest w bezpośrednim sąsiedztwie pola doświadczalnego Pracowni Melioracji i Agrometeorologii, którzy w latach 1996-2022 sprawowali nad nim opiekę merytoryczną. Na podstawie wyników pomiarów temperatury powietrza i opadów atmosferycznych, opracowano warunki termiczne i pluwiometryczne

oraz wybrane wskaźniki agrometeorologiczne w całym okresie wegetacyjnym, obejmującym miesiące od kwietnia do września.

#### 4.2.1. Warunki termiczne w latach 2015-2017

Średnia temperatura powietrza okresu wegetacyjnego (IV-IX) w Mochelku wyznaczona na podstawie normy klimatycznej 1991–2020 wynosi 14,8°C [tabela 12]. W 2015 roku temperatura ta była równa średniej wieloletniej, w związku z czym według klasyfikacji metodą Lorenc pod względem termicznym okres ten zaklasyfikowano jako normalny. Do tej samej kategorii zaliczono okres wegetacyjny w 2016 roku, z temperaturą średnią na poziomie 14,9°C t. Natomiast warunki termiczne panujące w Mochelku w okresie wegetacyjnym w roku 2017 określono w odniesieniu do całego okresu jako lekko chłodne.

Analizę przebiegu warunków termicznych powietrza, przeprowadzono także w okresach miesięcznych i dekadowych. Biorąc pod uwagę okres wzrostu i rozwoju (kwiecień – lipiec) jęczmienia jarego w 2015 roku można stwierdzić, średnie miesięczne temperatury były niższe od wartości normalnych, a według metody Lorenc poszczególne miesiące zostały zaklasyfikowane jako lekko chłodne (kwiecień i czerwiec) lub normalne (maj i lipiec). Spośród dekad najzimniejsza (4,3°C) była I dekada kwietnia, wysoką temperaturę powietrza zanotowano tylko w pierwszej dekadzie lipca 20,5°C [tabela 12].

Tabela 12. Średnia temperatura powietrza w Mochelku w okresie wegetacyjnym 2015r. (°C)

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
1991-2020	I-III	<b>8,3</b>	<b>13,2</b>	<b>16,7</b>	<b>18,9</b>	<b>18,2</b>	<b>13,3</b>	<b>14,8</b>
2015	I	4,3	12,0	16,5	20,5	22,6	14,5	
	II	7,8	11,9	15,3	17,8	21,3	15,2	
	III	10,6	13,2	15,1	17,3	19,0	11,6	
	I-III	<b>7,5</b>	<b>12,4</b>	<b>15,7</b>	<b>18,5</b>	<b>20,9</b>	<b>13,8</b>	
Różnica $\Delta=(\text{rok-norma})$		-0,8	-0,8	-1,0	-0,4	2,7	0,5	0
Odchylenie standardowe		1,5	1,7	1,6	1,8	1,4	1,3	0,8
Klasyfikacja według metody Lorenc		-0,53	-0,47	-0,63	-0,22	1,93	0,38	0,00
		LC	N	LCh	N	BC	N	N

EC – ekstremalnie ciepły, AC – anomalnie ciepły, BC – bardzo ciepły, C – ciepły, LC – lekko ciepły, N – normalny, LCh – lekko chłodny, Ch – chłodny, BCh – bardzo chłodny, ACh – anomalnie chłodny, Ech – ekstremalnie chłodny. Opracowanie własne

Warunki termiczne w okresie wegetacyjnym 2016 roku w rejonie Bydgoszczy były zbliżone do średnich wieloletnich, a cały okres wegetacyjny

został sklasyfikowany jako normalny. Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 13, w okresie wegetacji jęczmienia jarego wystąpiły dwa miesiące lekko ciepłe (maj i czerwiec) oraz dwa normalne pod względem termicznym (kwiecień i lipiec). Po dwóch cieplejszych, chłodna była trzecia dekada kwietnia. Znacznie wyższą temperaturą, w porównaniu z warunkami przeciętnymi, cechowała się przede wszystkim trzecia dekada maja (18,5°C) oraz trzecia dekada czerwca (19,8°C).

Tabela 13. Średnia temperatura powietrza w Mochełku w okresie wegetacyjnym 2016 r. (°C)

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IV
1991-2020	I-III	<b>8,3</b>	<b>13,2</b>	<b>16,7</b>	<b>18,9</b>	<b>18,2</b>	<b>13,3</b>	<b>14,8</b>
2016	I	9,6	13,4	17,1	17,3	16,5	16,5	
	II	9,2	11,8	16,2	17,6	15,0	15,0	
	III	6,0	18,5	19,8	19,8	11,3	11,3	
	I-III	<b>8,3</b>	<b>14,7</b>	<b>17,7</b>	<b>18,3</b>	<b>16,4</b>	<b>14,3</b>	
Różnica $\Delta=(\text{rok-norma})$		0	1,5	1,0	-0,6	-1,8	1,0	0,1
Odchylenie standardowe		1,5	1,7	1,6	1,8	1,4	1,3	0,8
Klasyfikacja według metody Lorenc		0	0,88	0,63	-0,33	-1,29	0,77	0,13
		N	LC	LC	N	LCh	LC	N

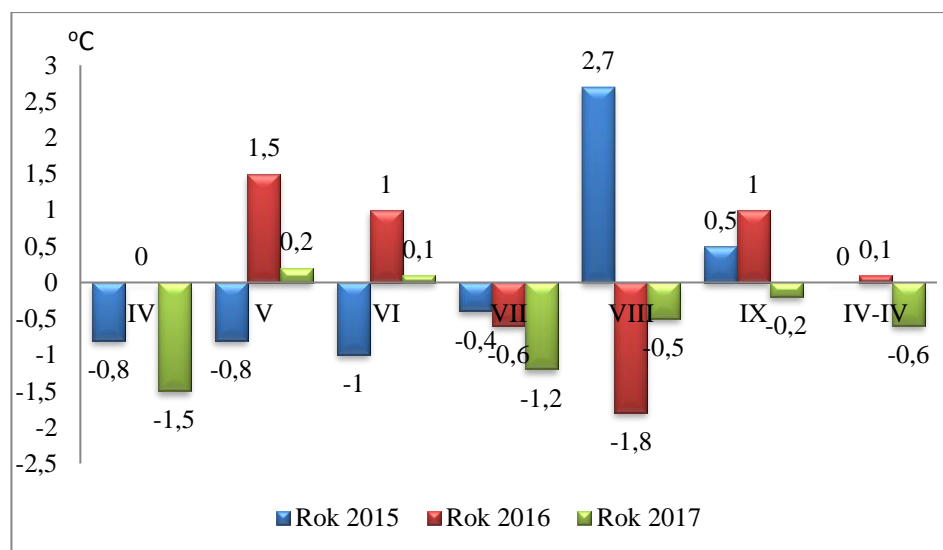
EC – ekstremalnie ciepły, AC – anomalnie ciepły, BC – bardzo ciepły, C – ciepły, LC – lekko ciepły, N – normalny, LCh – lekko chłodny, Ch – chłodny, BCh – bardzo chłodny, ACh – anomalnie chłodny, Ech – ekstremalnie chłodny. Opracowanie własne

Średnia temperatura w okresie od kwietnia do września 2017 roku była niższa 0,6°C od średniej wieloletniej, okres ten został zaklasyfikowany jako lekko chłodny [tabela 14]. Miesiącem w którym średnia temperatura najbardziej odbiegała od średniej wieloletniej był kwiecień, miesiąc wschodów i początkowego wzrostu jęczmienia, w którym średnia miesięczna temperatura była niższa o 1,5°C od normy klimatycznej. Miesiąc został zaklasyfikowany jako chłodny, po cieplej pierwszej dekadzie, wystąpiły dwie chłodne. Niższą temperaturą od średniej cechował się także lekko chłodny lipiec, natomiast warunki termiczne w maju i czerwcu określono jako normalne. Analiza temperatury w dekadach wskazuje jednak na duże wahania warunków termicznych w trzecim roku doświadczenia. Np. w maju bardzo chłodna była pierwsza dekada, po której wystąpiły dwie cieplejsze. Chłodno było także w pierwszej dekadzie lipca (16,5°C).

Tabela 14. Średnia temperatura powietrza w Mochałku w okresie wegetacyjnym 2017 r. (°C)

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IV
1991-2020	I-III	<b>8,3</b>	<b>13,2</b>	<b>16,7</b>	<b>18,9</b>	<b>18,2</b>	<b>13,3</b>	<b>14,8</b>
2017	I	9,9	8,5	15,6	16,5	19,9	14,4	
	II	4,7	15,2	17,4	17,3	17,6	12,3	
	III	5,8	16,3	17,4	19,0	15,9	12,4	
	I-III	<b>6,8</b>	<b>13,4</b>	<b>16,8</b>	<b>17,7</b>	<b>17,7</b>	<b>13,1</b>	
Różnica $\Delta$ =(rok-norma)		-1,5	0,2	0,1	-1,2	-0,5	-0,2	-0,6
Odchylenie standardowe		1,5	1,7	1,6	1,8	1,4	1,3	0,8
Klasyfikacja według metody Lorenc		-1,00	0,12	0,06	-0,67	-0,36	-0,15	-0,75
		LCh	N	N	LCh	N	N	LCh

EC – ekstremalnie ciepły, AC – anomalnie ciepły, BC – bardzo ciepły, C – ciepły, LC – lekko ciepły, N – normalny, LCh – lekko chłodny, Ch – chłodny, BCh – bardzo chłodny, ACh – anomalnie chłodny, ECh – ekstremalnie chłodny. Opracowanie własne



Opracowane własne

Rys. 5. Różnice między średnimi miesięcznymi temperaturami powietrza w latach 2015-2017, a normą klimatyczną 1991-2020 dla Mochałku

Podczas trwania eksperymentu polowego, średnia miesięczna temperatura powietrza w kwietniu w 2016 roku była taka sama jak średnia wieloletnia, w pozostałych latach 2015 i 2017 była od niej niższa, odpowiednio o 0,8 i 1,5°C.

Kwiecień jest miesiącem w którym następują wschody i rozwój liści, wyższe temperatury wpływają stymulująco na te procesy. W pierwszym roku doświadczenia średnia temperatura maja była niższa od średniej wieloletniej, w 2016 roku była wyższa o 1,5°C, a w 2017 roku o 0,2°C. W maju następują fazy krzewienia oraz strzelania w źdźbło, które w warunkach odpowiedniego zaopatrzenia w wodę, przebiegają intensywniej przy wyższych temperaturach powietrza. W czerwcu średnie temperatury powietrza różniły się maksymalnie o 1°C w stosunku od średniej, w pierwszym roku doświadczenia było w czerwcu chłodniej, a w drugim cieplej. W warunkach klimatycznych Polski, w czerwcu następuje kłoszenie i nalewanie ziarna, procesom tym sprzyja umiarkowanie wysoka temperatura. W latach 2015-2017 średnia miesięczna temperatura lipca była w każdym roku niższa od średniej wieloletniej, od 0,4 do 1,2°C. W czasie tym następuje nalewanie ziarna i dojrzewanie ziarna, najczęściej również zbiór. Zbiorom również sprzyjają wysokie temperatury powietrza. Reasumując można stwierdzić, iż przebieg warunków termicznych w okresach wzrostu i rozwoju jęczmienia jarego w latach prowadzenia badań nie odbiegał znacząco od normatywnych warunków termicznych. Można jednak zauważyć, że kwiecień, jak i przede wszystkim lipiec cechowały w okresie badań niższa temperatura powietrza w porównaniu ze średnią wieloletnią, z kolei maju i czerwcu, w dwóch pierwszych latach badań, stwierdzono większe zróżnicowanie temperatury w stosunku do normy [rysunek 5].

#### **4.2.2. Warunki opadowe w latach 2015-2017**

W latach 1991–2020 sumaryczna wielkość opadów w okresie wegetacyjnym wynosiła średnio 324,5 mm [tabela 15]. Opady atmosferyczne w analogicznym okresie 2015 roku, wynosiły 193,3 mm co stanowi 59,6% normy. Według klasyfikacji RPI był to bardzo suchy okres wegetacyjny. Biorąc pod uwagę miesiące od kwietnia do lipca, istotne w uprawie jęczmienia, sumy opadów nich były niskie, stanowiąc od 39,2% w maju do 65,1% normy w lipcu. Według wskaźnika RPI miesiące te zostały zaklasyfikowane jako suche (kwiecień, czerwiec, lipiec), natomiast maj jako bardzo suchy. Najniższe opady wystąpiły w III dekadzie maja i było to zaledwie 0,5 mm, bardzo niskimi opadami cechowała się także druga dekada kwietnia i pierwsza dekada czerwca. Rzeczywiste opady dekadowe w większości przypadków nie pokrywały potrzeb wodnych jęczmienia. W związku z tym potrzeby nawadniania roślin w pierwszym roku doświadczenia można określić jako duże.

Opady atmosferyczne w sezonie wegetacyjnym 2016 roku wynosiły 386,7 mm i były większe od średniej wieloletniej [tabela 16]. Według klasyfikacji RPI Kaczorowskiej był to okres wegetacji wilgotny z sumą opadów na poziomie 119,2% normy. W czasie wzrostu i rozwoju jęczmienia dwa pierwsze miesiące cechowała ilość opadów zbliżona do normy, natomiast czerwiec i lipiec były bardzo wilgotne. Analizując dekadowe sumy opadów można zauważyć, iż rozkład ich był dość równomierny poza czerwcem, w którym w I dekadzie spadło

tylko 3,1 mm deszczu, natomiast w drugiej dekadzie aż 71,3 mm. Reasumując można stwierdzić, że pod względem ilości i rozkładu opadów okres wegetacyjny 2016 roku stwarzał dobre warunki do wzrostu i rozwoju jęczmienia jarego, a potrzeby nawadniania można określić jako niewielkie.

Tabela 15. Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2015r. [mm]

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IV
1991-2020	I-III	<b>25,8</b>	<b>55,1</b>	<b>56,6</b>	<b>77,4</b>	<b>60,3</b>	<b>49,2</b>	<b>324,5</b>
2015	I	5,5	8,7	2,3	11,3	12,7	47,0	
	II	1,1	12,4	17,0	11,8	3,1	5,4	
	III	9,0	0,5	13,7	27,3	4,5	0	
	I-III	<b>15,6</b>	<b>21,6</b>	<b>33,0</b>	<b>50,4</b>	<b>20,3</b>	<b>52,4</b>	
% normy		60,5%	39,2%	58,3%	65,1%	33,7%	106,5%	59,6%
Klasyfikacja RPI według Kaczorowskiej		S	BS	S	S	BS	N	BS

SS – skrajnie suchy, BS – bardzo suchy, S – suchy, N – normalny, W – wilgotny, BW – bardzo wilgotny, SW – skrajnie wilgotny. Opracowanie własne

Tabela 16. Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2016r. [mm]

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IV
1991-2020	I-III	<b>25,8</b>	<b>55,1</b>	<b>56,6</b>	<b>77,4</b>	<b>60,3</b>	<b>49,2</b>	<b>324,5</b>
2016	I	6,5	15,8	3,1	29,4	38,3	19,4	
	II	15,3	13,2	71,3	63,9	-3,7	-	
	III	6,9	22,4	23,7	40,5	13,3	-	
	I-III	<b>28,7</b>	<b>51,4</b>	<b>98,1</b>	<b>133,8</b>	<b>55,3</b>	<b>19,4</b>	
% normy		111,2%	93,3%	173,3%	172,9%	91,7%	39,4%	119,2%
Klasyfikacja RPI według Kaczorowskiej		N	N	BW	BW	N	BS	W

SS – skrajnie suchy, BS – bardzo suchy, S – suchy, N – normalny, W – wilgotny, BW – bardzo wilgotny, SW – skrajnie wilgotny. Opracowanie własne

Według czynnika RPI okres wegetacyjny w 2017 roku był bardzo wilgotny, suma opadów wyniosła 474,8 mm i stanowiła 146,3% normy wieloletniej [tabela 17]. Spośród miesięcy wzrostu i rozwoju jęczmienia jarego kwiecień i lipiec były bardzo wilgotne, natomiast maj i czerwiec cechowały się sumą opadów zbliżoną

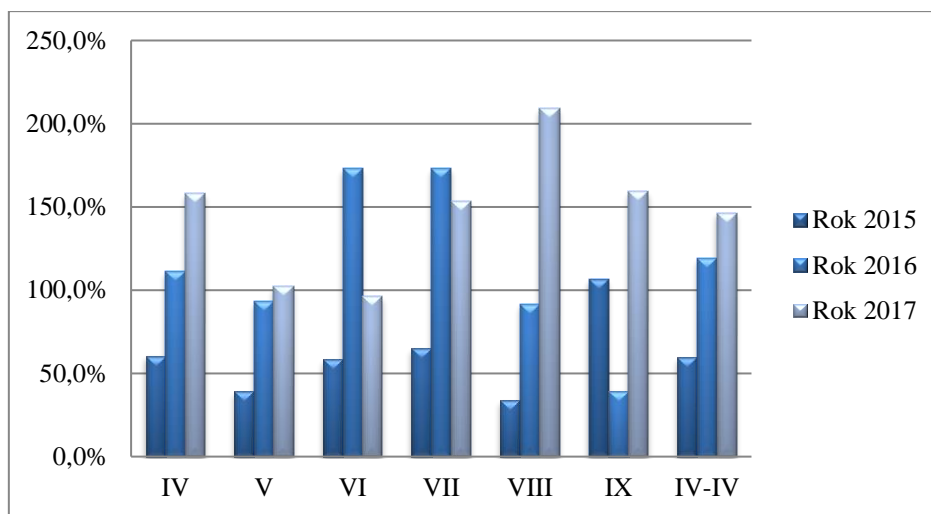
do normy. Spośród dekad, zmniejszone opady zanotowano przede wszystkim w II dekadzie maja, a w dalszej kolejności w III dekadzie maja i II dekadzie czerwca. Reasumując, okres wegetacyjny 2017 roku oznaczał się wysokimi sumami opadów, średnie opady we wszystkich miesiącach były wyższe od średniej wieloletniej lub do niej zbliżone (maj), zatem potrzeby nawadniania roślin można określić jako małe.

Tabela 17. Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2017r. [mm]

Okres	Dekada	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IV
1991-2020	I-III	<b>25,8</b>	<b>55,1</b>	<b>56,6</b>	<b>77,4</b>	<b>60,3</b>	<b>49,2</b>	<b>324,5</b>
2017	I	6,3	38,7	17,4	14,2	41,8	64,2	
	II	23,8	5,3	12,3	48,5	44,6	9,3	
	III	10,7	12,3	24,6	56,2	39,7	4,9	
	I-III	<b>40,8</b>	<b>56,3</b>	<b>54,3</b>	<b>118,9</b>	<b>126,1</b>	<b>78,4</b>	
% normy		158,1%	102,2%	95,9%	153,6%	209,1%	159,3%	146,3%
Klasyfikacja RPI według Kaczorowskiej		BW	N	N	BW	SW	BW	BW

SS – skrajnie suchy, BS – bardzo suchy, S – suchy, N – normalny, W – wilgotny, BW – bardzo wilgotny, SW – skrajnie wilgotny. Opracowanie własne

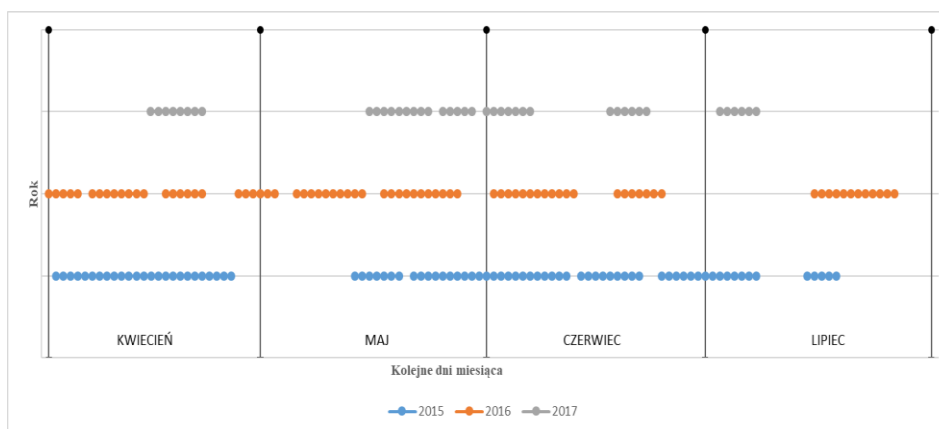
Rysunek 6 przedstawia sumy miesięczne i całego sezonu wegetacji wyrażone w % normy wieloletniej. Można zauważyć, że w poszczególnych latach trwania eksperymentu polowego, występowały różnorodne warunki pod względem opadów atmosferycznych. Pierwszy rok doświadczenia (2015) był skrajnie suchy, suma opadów wynosiła niespełna 60% normy wieloletniej. W okresie wegetacyjnym 2016 roku opady były dwukrotnie wyższe niż w roku poprzednim, w stosunku do średniej stanowiły blisko 120%. Sezon wzrostu i rozwoju roślin 2017 roku na podstawie wskaźnika RPI został sklasyfikowany z kolei jako bardzo wilgotny. Duża zmienność warunków opadowych w poszczególnych latach badań kształtowała bardzo różne potrzeby nawadniania roślin. Generalnie wystąpiły one przede wszystkim w pierwszym roku doświadczenia, w którym opady w poszczególnych miesiącach od kwietnia do lipca były wyraźnie mniejsze od normy (39-65%). W latach 2016-2017 sumy opadów w tych miesiącach były albo bliskie normie albo znacznie ją przekraczały (153-173%). Pozwoliło to na ocenę efektywności produkcyjnej nawadniania i jego interakcji z nawożeniem azotem w kształtowaniu ilości i jakości plonu ziarna jęczmienia browarnego, analizę efektywności 1 mm wody nawodnieniowej oraz efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia w różnych warunkach opadowych.



Opracowane własne

Rys. 6. Opady atmosferyczne w latach 2015-2017 wyrażone w % wieloletniej normy dla miejscowości Mochełek

#### 4.2.3. Ciągi dni bezopadowych w latach 2015-2017



Opracowanie własne

Rys. 7. Ciągi dni bezopadowych w okresie od kwietnia do lipca w latach 2015-2017

W ocenie potrzeb nawadniania, obok sumy opadów atmosferycznych, duże znaczenie ma także ich rozkład. Jedną z miar tego rozkładu stanowią ciągi dni bezopadowych. Analiza występowania ciągów dni bez opadów [rysunek 7] w okresie wegetacji jęczmienia jarego (IV-VII) pokazała, iż najdłuższe i w związku z tym najbardziej niekorzystne dla roślin serie dni bezopadowych występowały w pierwszym roku trwania eksperymentu polowego. Pierwszy długi okres



bezopadowy miał miejsce od 2 do 26 kwietnia. Zaczynający się 21 maja i trwający do 11 czerwca ciąg dni bez opadu, przypadł na okres wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia. W czerwcu i na przełomie czerwca i lipca 2015 roku wystąpiły ponadto jeszcze dwa dłuższe ciągi dni bezopadowych. Biorąc pod uwagę niskie sumy opadów i występowanie długich ciągów dni bezopadowych, można jednoznacznie stwierdzić, że warunki opadowe panujące w 2015 roku nie były korzystne dla uprawy jęczmienia jarego.

W okresie wegetacji jęczmienia w 2016 roku stwierdzono również wystąpienie dłuższych ciągów dni bezopadowych. Jednak trwały one krócej niż w 2015 roku, a ponadto były przerywane wysokimi opadami atmosferycznymi. W związku z tym ich niekorzystny wpływ na wzrost i rozwój jęczmienia był znacząco mniejszy, w porównaniu z pierwszym rokiem badań polowych.

W okresie od początku kwietnia do końca lipca 2017 roku, wystąpił tylko jeden dłuższy ciąg dni bezopadowych, trwający od 15 do 23 maja [rysunek 7]. Wobec wysokich opadów kwietnia i w pierwszej dekadzie maja oraz wystarczających w dalszym okresie wegetacji jęczmienia, wpływ wystąpienia tego ciągu na wzrost i rozwój roślin okazał się niewielki.

### **4.3. FENOFAZY JĘCZMIENIA BROWARNEGO NA TLE SUM TEMPERATUR EFEKTYWNYCH**

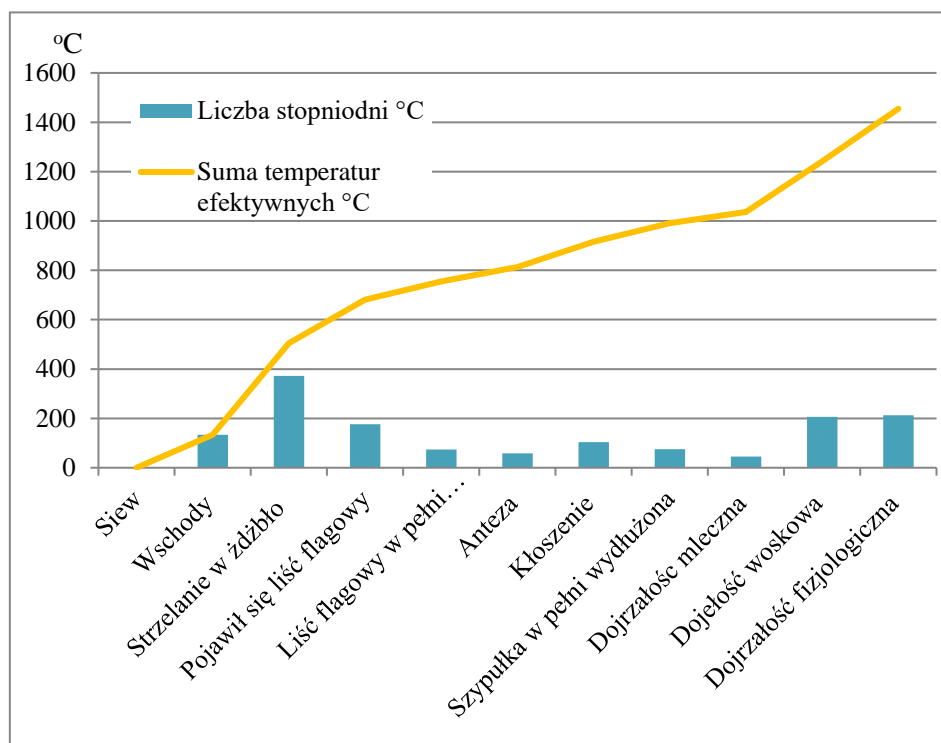
Miller i in. [2001] zauważają, że każda roślina wymaga dostarczenia specyficznej ilości ciepła potrzebnej do przejścia z jednej fazy rozwojowej do kolejnej w ciągu cyklu życiowego. Autorzy uważają, że pomocnym narzędziem do przewidywania wzrostu i rozwoju roślin są stopniodni. Stopniodni jest to suma dodatnich średnich dobowych temperatur powietrza z danego okresu, wyliczona według wzoru:

$$\sum(T_{\text{śr}} > 0^{\circ}\text{C})$$

Na podstawie danych literaturowych [Juskiw i in. 2001] oszacowano liczby stopniodni potrzebne do osiągnięcia kolejnych faz rozwojowych przez rośliny jęczmienia jarego oraz sumę temperatur efektywnych, potrzebną do przejścia całego cyklu wzrostu i rozwoju. Według cytowanych autorów, jęczmień jary od momentu siewu do uzyskania dojrzałości fizjologicznej potrzebuje 1455 stopniodni [rysunek 8].

Na podstawie danych meteorologicznych porównano poszczególne okresy wegetacji jęczmienia jarego w okresie trwania doświadczenia pod względem czasu osiągnięcia poszczególnych faz wzrostu i rozwoju. Założono, że w każdym roku rośliny potrzebują takiej samej ilości energii cieplnej do osiągnięcia poszczególnych faz. Wyniki zestawiono w tabeli 18. Lata 2015, 2016 według klasyfikacji Lorenc zostały sklasyfikowane jako normalne, a rok 2017 jako lekko chłodny. Różnice między latami widoczne są już na etapie wschodów. Pomimo dużej różnicy terminu siewu, sięgającej 9 dni, teoretyczne wschody nastąpiły odpowiednio 14 i 15 kwietnia. W kolejnych etapach wzrostu i rozwoju występują zazwyczaj kilkudniowe różnice. Ostatecznie rośliny jęczmienia osiągnęły

dojrzałość fizjologiczną odpowiednio dla poszczególnych lat trwania doświadczenia 17, 12 i 20 lipca.



Opracowane własne

Rys. 8. Suma temperatur efektywnych dla jęczmienia jarego

Przeprowadzona analiza pokazuje, że ze względu na czynnik termiczny, wzrost i rozwój roślin może następować w różnym tempie. Temperatura jest czynnikiem decydującym o terminie siewu, wpływa również na dalszy wzrost i rozwój roślin. Wyższe temperatury przyspieszają przejście roślin przez poszczególne fazy rozwojowe od siewu do dojrzałości. Temperatura to jednak tylko jeden z czynników, na tempo wzrostu i rozwoju roślin wpływ ma szereg czynników takich jak, zaopatrzenie w wodę, składniki pokarmowe, nasłonecznienie, czy cechy odmianowe.

Tabela 18. Suma temperatur efektywnych w kolejnych fazach wegetacji jęczmienia jarego uprawianego w latach 2015-2017

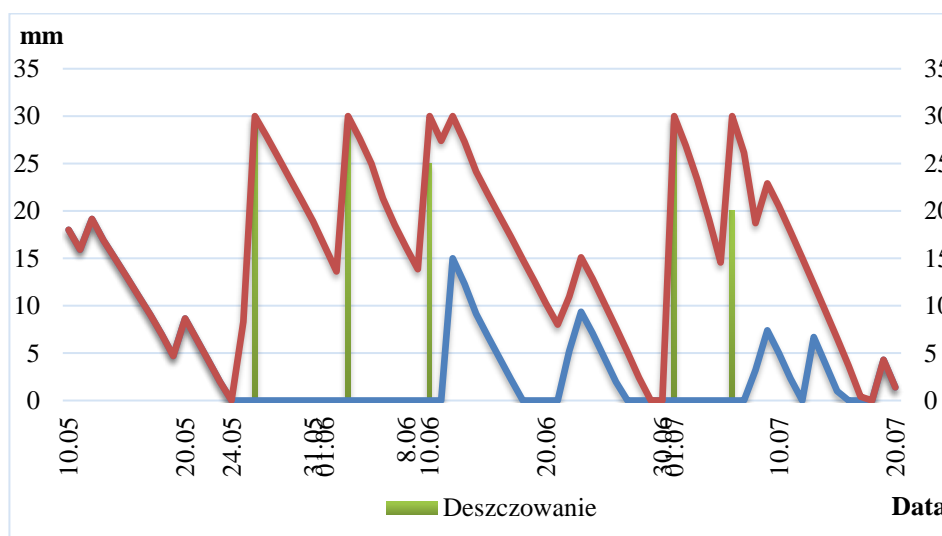
<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>Faza rozwojowa</b>	<b>Liczba stopniodni [°C]</b>	<b>Suma temperatur efektywnych [°C]</b>
23.03	1.04	31.03	Siew	0	0
15.04	14.04	14.04	Wschody	133	133
20.05	21.05	24.05	Strzelanie w źdźbło	372	505
2.06	30.05	4.06	Pojawił się liść flagowy	176	681
6.06	2.06	9.06	Rozwinięty liść flagowy	74	755
10.06	6.06	12.06	Anteza	58	813
16.06	13.06	18.06	Kłoszenie	103	916
22.07	17.06	22.06	Wydłużona szypułka	75	991
25.06	21.06	25.06	Dojrzałość mleczna	45	1036
5.07	1.07	5.07	Dojrzałość woskowa	206	1242
17.07	12.07	20.07	Dojrzałość fizjologiczna	213	1455

Opracowanie własne

## 5. WYNIKI BADAŃ

### 5.1. BILANS WODY ŁATWO DOSTĘPNEJ W UPRAWIE JĘCZMIENIA BROWARNEGO

Rysunek 9 przedstawia bilans wody łatwo dostępnej dla roślin w okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia jarego w 2015 roku. Z przedstawionych danych wynika, że wprowadzenie do technologii uprawy zabiegu nawadniania pozwoliło utrzymać zapas wody w warstwie korzeniowej gleby w ciągu całego okresu wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia, od drugiej dekady maja do końca drugiej dekady lipca. Na obiektach nienawadnianych zapas wody wyczerpał się już trzeciej dekadzie maja, i z wyłączeniem krótkich okresów, trwał do końca analizowanego okresu. Wystąpiły dwa dłuższe okresy braku wody łatwo dostępnej od 26 maja do 12 czerwca i od 26 czerwca do 8 lipca. Opady atmosferyczne występujące w obejmującym 7 dekad okresie wzmożonych potrzeb wodnych 2015 roku były za niskie, w związku z tym wegetacja roślin nienawadnianych długimi okresami przebiegała w warunkach braku wody łatwo dostępnej dla roślin w korzeniowej warstwie gleby.

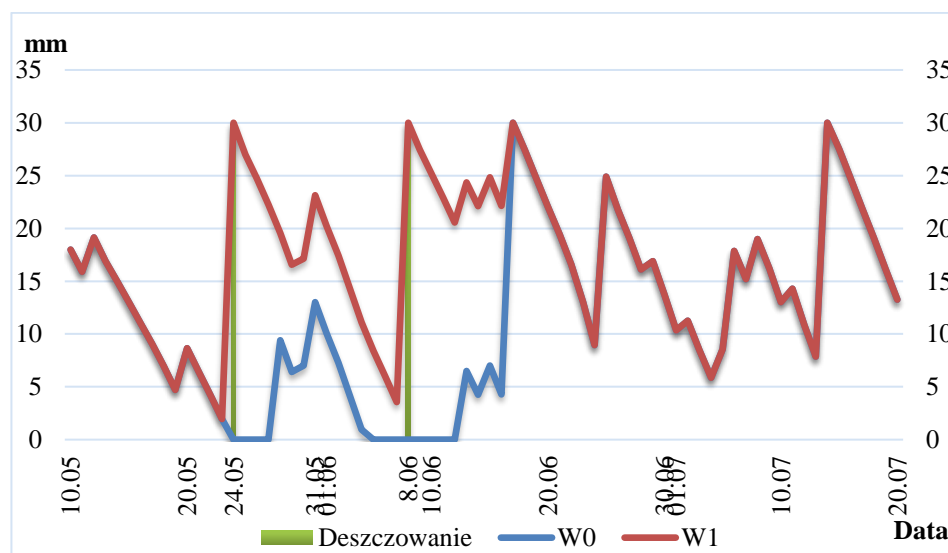


Opracowane własne

Rys. 9. Bilans wody łatwo dostępnej w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu w okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia jarego w 2015 roku

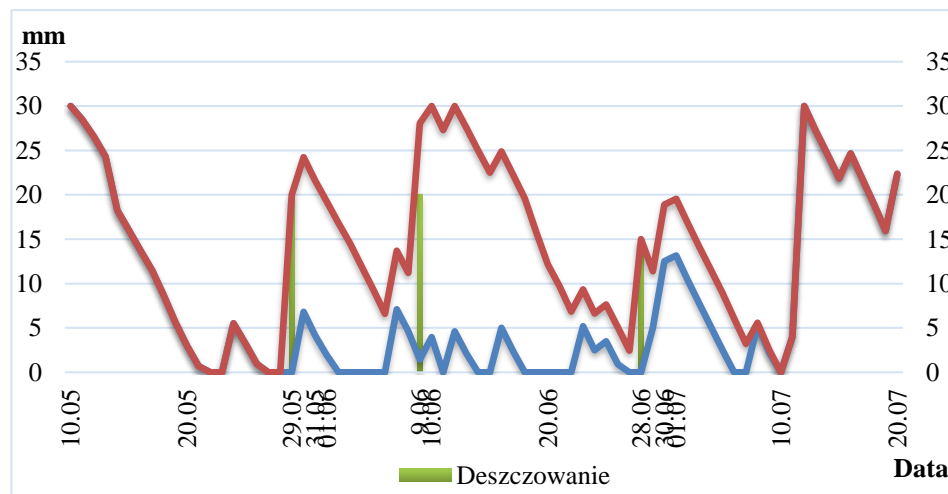
W sezonie wegetacji 2016 roku, w czasie największego zapotrzebowania na wodę jęczmienia, nie występowały dłuższe okresy, kiedy zapas wody łatwo dostępnej dla roślin był wyczerpany [rysunek 10]. Najdłuższe okresy

wyczerpania zapasu wody łatwo dostępnej na stanowiskach nienawadnianych trwały od 24 do 27 maja oraz od 5 do 12 czerwca. W okresach tych zastosowano nawadnianie, które podobnie jak w 2015 roku zapobiegło wyczerpaniu się zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w korzeniowej warstwie gleby.



Opracowane własne

Rys. 10. Bilans wody łatwo dostępnej w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu w okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia jarego w 2016 roku



Opracowane własne

Rys. 11. Bilans wody łatwo dostępnej w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu w okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia jarego w 2017 roku

W okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia jarego w 2017 roku wystąpiły kilka krótkich okresów deficytowych w wodę łatwo dostępną dla roślin [rysunek 11]. Najdłuższe z nich miały miejsce od 2 do 6 czerwca oraz od 18 do 22 czerwca. Zastosowane w tym czasie nawadnianie pozwoliło utrzymać stały dostęp do wody łatwo dostępnej dla roślin jęczmienia.

Reasumując można stwierdzić, iż nawadnianie w wszystkich trzech latach prowadzenia badań polowych było aplikowane w prawidłowych terminach, stosownie do wyników prowadzonych bilansów zapasu wody łatwo dostępnej dla roślin w korzeniowej warstwie gleby. Dzięki temu zostało spełnione podstawowe założenie stosowania uzupełniającego występujące deficyty wody deszczowania, które było optymalne, utrzymujące w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu zapas wody łatwo dostępnej dla roślin w całym okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia.

## 5.2. NIEDOBORY OPADÓW WEDŁUG NORM KLATTA

Celem nawadniania jest dostarczenie roślinom wody w okresach, kiedy nie mogą jej pobrać w wystarczających ilościach z zasobów naturalnych. Ilościowe ujęcie potrzeb i niedoborów wodnych sprawia wiele trudności ze względu na złożone zależności czynników meteorologicznych decydujących o parowaniu w poszczególnych fazach wzrostu i rozwoju. Ponadto występują różnice gatunkowe oraz odmianowe wynikające z długości okresu wegetacji i poszczególnych fenofaz, zmienności okresów krytycznych, wielokrotności odrostu zielonej masy, stopnia odporności na suszę [Żarski 2006].

Tabela 19. Niedobór lub nadmiar opadów atmosferycznych w latach 2015-2017 według Klatta [mm]

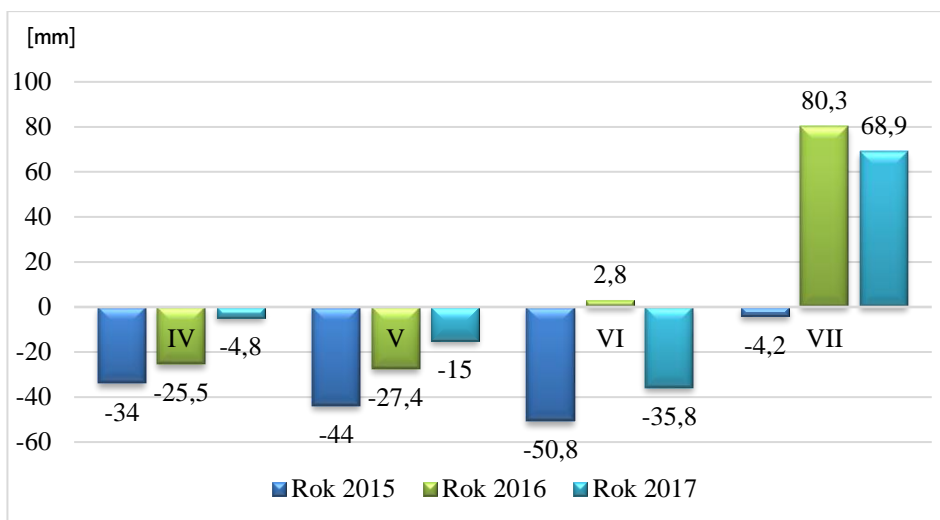
Rok	Miesiąc			
	IV	V	VI	VII
<b>Opady rzeczywiste [mm]</b>				
2015	15,6	21,6	33,0	50,4
2016	28,7	51,4	98,1	133,8
2017	40,8	56,3	54,3	118,9
<b>Opady optymalne [mm]</b>				
2015	49,6	65,6	83,8	54,6
2016	54,2	78,8	95,3	53,5
2017	45,6	71,3	90,1	50,0
<b>Niedobór lub nadmiar opadów atmosferycznych [mm]</b>				
2015	-34,0	-44,0	-50,8	-4,2
2016	-25,5	-27,4	2,8	80,3
2017	-4,8	-15,0	-35,8	68,9

Opracowane własne

W warunkach naturalnych potrzeby wodne roślin pokrywane są przez opady oraz zapasy wody łatwo dostępnej zmagazynowane w glebie. W warunkach Polski najważniejszą pozycję stanowią opady, których ilość i rozkład decydują w znacznym stopniu o wegetacji roślin. Ilość opadów najkorzystniejsza w danych warunkach glebowych i klimatycznych określana jest mianem opadów optymalnych. W Polsce opady optymalne zostały określone przez Woltmana, Freckmana, Hohendorfa oraz Klatta. Opady optymalne Klatta określone zostały dla szeregu roślin, są uzależnione od średnich temperatur powietrza. Ponadto zostały zróżnicowane ze względu na rodzaj gleby. W badaniach własnych przyjęto mnożnik 1,15, właściwy dla gleby lekkiej. Uwzględniając ten mnożnik oraz temperaturę powietrza określono opady optymalne dla jęczmienia jarego, w poszczególnych latach trwania eksperymentu polowego [tabela 19]. Opady optymalne dla jęczmienia browarnego zależały od czynnika termicznego, zatem najwyższe wystąpiły w najcieplejszym spośród lat badań roku 2016. Zróżnicowanie opadów optymalnych w poszczególnych latach było widoczne zwłaszcza w maju i czerwcu, a w mniejszym zakresie w kwietniu.

Porównanie opadów optymalnych z rzeczywistymi pozwoliło ustalić, czy w danym okresie wystąpił niedobór lub nadmiar opadów atmosferycznych. Ze względu na niskie opady rzeczywiste w okresie wegetacji jęczmienia jarego w 2015 roku, w każdym z miesięcy wystąpiły niedobory opadów. Największy deficyt sięgający 50,8 mm wystąpił w czerwcu, a najmniejszy 4,2 mm w lipcu. W ciągu całego okresu wegetacji jęczmienia jarego łączny deficyt wyniósł 133 mm. W sezonie wegetacyjnym 2016 roku, w kwietniu i maju wystąpił niedobór opadów w wysokości odpowiednio 25,5 mm i 27,4 mm, w czerwcu opady rzeczywiste były zbliżone do optymalnych. Wysokie opady w lipcu przewyższały opady optymalne aż o 80,3 mm. Suma opadów rzeczywistych w okresie wzrostu i rozwoju jęczmienia jarego była wyższa o 30,2 mm od opadów optymalnych. Od początku wzrostu jęczmienia w 2017 roku występowały niedobory opadów. W kwietniu były one niewielkie (4,8 mm), w maju wyniosły 15 mm, a w czerwcu 35,8 mm. W lipcu opady rzeczywiste były o 68,9 mm wyższe od optymalnych. Spowodowało to, że w ujęciu sumarycznym całego sezonu wegetacji 2017 r. zanotowano niewielki nadmiar opadów rzeczywistych, w stosunku do potrzeb opadowych (13,3 mm).

Podczas trwania eksperymentu polowego w kwietniu oraz maju, opady rzeczywiste nie dorównywały opadom optymalnym dla jęczmienia [rysunek 12]. Podobna sytuacja miała miejsce także w czerwcu, jednak za wyjątkiem okresu wegetacyjnego 2016 roku. W lipcu w dwóch spośród trzech lat trwania doświadczenia, opady rzeczywiste były dużo większe od optymalnych, jedynie w pierwszym roku badań wystąpiły nieznaczne niedobory opadów.



Opracowane własne

Rys. 12. Niedobór opadów w latach 2015-2017 według norm Klatta [mm]

### 5.3. PLON ZIARNA JĘCZMIENIA BROWARNEGO

Średnia wielkość plonu ziarna jęczmienia browarnego odmiany Signora uzyskana w badaniach wynosiła 56,50 dt·ha<sup>-1</sup> [tabela 20]. Plon ten był istotnie zróżnicowany pod wpływem czynników doświadczenia oraz ich interakcji. W większym stopniu na zróżnicowanie plonu ziarna wpłynęło deszczowanie, a w mniejszym stopniu poziom nawożenia azotem.

Tabela 20. Wielkość plonu ziarna jęczmienia browarnego o wilgotności 15% [dt·ha<sup>-1</sup>] w latach 2015-2017

Warianty	2015	2016	2017	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	36,70	52,55	43,67	44,31
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	30,78	51,33	48,62	43,58
W <sub>0</sub> N <sub>2</sub>	28,17	48,62	47,33	41,38
W <sub>0</sub> N <sub>3</sub>	28,65	50,10	47,98	42,24
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	70,08	66,06	54,00	63,38
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	75,28	80,55	62,18	72,67
W <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	76,23	80,30	58,09	71,54
W <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	78,84	86,20	53,57	72,87
Średnia W <sub>0</sub>	31,07	50,65	46,90	42,88
Średnia W <sub>1</sub>	<b>75,11</b>	<b>78,28</b>	<b>56,96</b>	<b>70,12</b>
Średnia N <sub>0</sub>	53,39	59,31	48,84	53,84
Średnia N <sub>1</sub>	53,03	65,94	55,40	58,12



<b>Średnia N<sub>2</sub></b>	52,20	64,46	52,71	56,46
<b>Średnia N<sub>3</sub></b>	53,74	68,15	50,77	57,55
<b>Średnio</b>	53,09	64,46	51,93	56,50
<b>NIR (test Tukey'a) dla:</b>				
<b>Deszczowania (I)</b>	12,70	3,86	0,43	**
<b>Nawożenia (II)</b>	r.n.	5,74	4,84	*
<b>Interakcji (II/I)</b>	6,61	8,12	r.n.	**

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> – 90 kg N·ha<sup>-1</sup>, r.n. – różnica nieistotna, \*\* istotność na poziomie 0,01, \* istotność na poziomie 0,05

Pod wpływem zastosowania deszczowania plon ziarna wzrósł średnio z 42,88 do 70,12 dt·ha<sup>-1</sup>. Bezwzględna przyrost plonu wynosiła 27,24 dt·ha<sup>-1</sup>, względna 63,5%, a jednostkowa 31,8 kg·ha<sup>-1</sup> w przeliczeniu na 1 mm wody użytej do nawadniania [tabela 21]. Pod wpływem nawożenia azotem plon wzrósł średnio z 53,84 dt·ha<sup>-1</sup> do 56,46-58,12 dt·ha<sup>-1</sup> w zależności od zastosowanej dawki azotu. Najkorzystniejszym poziomem nawożenia azotem, niezależnie od wariantu wodnego, okazał się poziom N<sub>1</sub> – 30 kg N·ha<sup>-1</sup>. Na kształtowanie wielkości plonu ziarna istotny wpływ miało także współdziałanie wody i azotu. Na stanowiskach nienawadnianych jęczmień browarny reagował na nawożenie azotem obniżką plonu, średnio w latach badań z 44,31 do 41,38-43,58 dt·ha<sup>-1</sup>. W warunkach deszczowania nawożenie azotem prowadziło z kolei do wzrostu plonu ziarna z 63,38 do 71,54-72,87 dt·ha<sup>-1</sup>, w zależności od dawki azotu. W rezultacie, średnia w latach badań efektywność produkcyjna deszczowania jęczmienia zależała istotnie od poziomu nawożenia azotem. Na stanowiskach nienawożonych tym składnikiem, bezwzględna przyrost plonu pod wpływem zastosowania deszczowania wynosiła średnio 19,07 dt·ha<sup>-1</sup>, względna 43,0%, a jednostkowa 22,3 kg·ha<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>, a w warunkach nawożenia azotem, w zależności od poziomu, odpowiednio 29,09-30,63 dt·ha<sup>-1</sup>, 66,8-72,9% oraz 34,0-35,7 kg·ha<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup> [tabela 21].

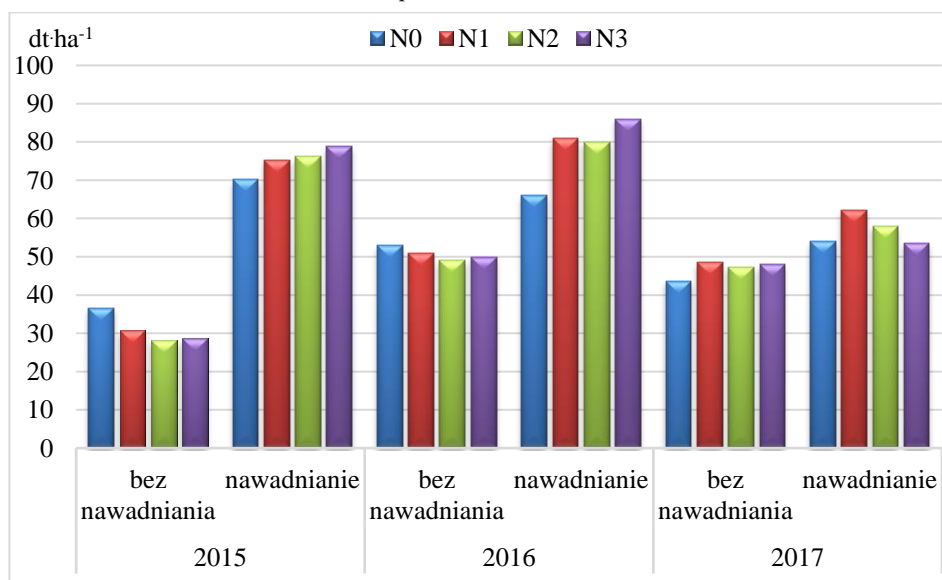
Średnia wielkość plonu ziarna, jak również działanie oraz współdziałanie deszczowania i nawożenia azotem w kształtowaniu plonu, zależało istotnie od roku badań. Największy średni plon ziarna 64,46 dt·ha<sup>-1</sup> uzyskano w roku wilgotnym 2016, znacznie niższy w bardzo suchym sezonie 2015 roku, a jeszcze niższy 51,93 dt·ha<sup>-1</sup> w bardzo wilgotnym okresie wegetacji 2017 roku z powodu niższych plonów, uzyskanych na stanowiskach nawadnianych [tabela 21]. Przyczyną było wyleganie roślin zaobserwowane w 2017 roku głównie w warunkach nawadniania i nawożenia azotem dawkami 60 i 90 kg·ha<sup>-1</sup>. Wpływ deszczowania na plon ziarna był istotny w każdym roku badań. Bezwzględne i względne przyrosty plonów ziarna pod wpływem deszczowania były najwyższe w pierwszym, bardzo suchym okresie wegetacji, a najniższe w sezonie bardzo wilgotnym 2017 roku. Jednostkowa efektywność deszczowania okazała się najwyższa w wilgotnym roku 2016 [tabela 22]. Istotny wpływ nawożenia azotem na wielkość plonu ziarna, niezależnie od wariantu wodnego, stwierdzono w

latach o zwiększonej ilości opadów. W roku 2016 nawożenie azotem prowadziło do wzrostu plonu – najwyższy plon uzyskano stosując dawkę 90 kg·ha<sup>-1</sup>. Podobnie było w bardzo wilgotnym sezonie 2017, jednak z powodu wylegania roślin nawadnianych obserwowanego głównie w warunkach wyższych poziomów nawożenia azotem, najkorzystniejszą dawką azotu było 30 kg·ha<sup>-1</sup>. Z tego samego powodu nieistotna była interakcja wody i azotu w kształtowaniu wielkości plonu ziarna w sezonie 2017 roku. W pozostałych dwóch latach obserwowano korzystne współdziałanie czynników w zwiększaniu tego plonu [tabela 21, rysunek 13].

Tabela 21. Wskaźniki efektywności produkcyjnej deszczowania w zależności od roku badań oraz od poziomu nawożenia azotem

Wskaźnik efektywności deszczowania	Rok badań			
	2015	2016	2017	Średnio
Bezwzględna zwyżka plonu [dt ha <sup>-1</sup> ]	44,04	27,63	10,06	27,24
Względna zwyżka plonu [%]	141,7	54,6	21,4	63,5
Efektywność 1 mm wody [kg·ha <sup>-1</sup> ]	32,6	41,2	18,3	31,8
	Poziom nawożenia azotem			
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
Bezwzględna zwyżka plonu [dt ha <sup>-1</sup> ]	19,07	29,09	30,16	30,63
Względna zwyżka plonu [%]	43,0	66,8	72,9	72,5
Efektywność 1 mm wody [kg·ha <sup>-1</sup> ]	22,3	34,0	35,2	35,7

Opracowanie własne



Opracowanie własne: N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> – 90 kg N·ha<sup>-1</sup>

Rys. 13. Wielkość plonu ziarna w zależności od czynnika wodnego i poziomu nawożenia azotem w poszczególnych latach badań [dt ha<sup>-1</sup>]

## 5.4. ZAWARTOŚĆ BIAŁKA W ZIARNIE JĘCZMIENIA

Zawartość białka w ziarnie stanowi ważny wyróżnik przydatności siodowniczej ziarna jęczmienia browarnego. Powinna być ona niska i według większości zaleceń nie przekraczać 11,5%.

Tabela 22. Zawartość białka w ziarnie jęczmienia browarnego w latach 2015-2017 [% s.m]

Warianty	2015	2016	2017	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	11,20	13,20	9,47	11,29
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	13,60	14,60	11,30	13,17
W <sub>0</sub> N <sub>2</sub>	14,60	15,60	12,83	14,33
W <sub>0</sub> N <sub>3</sub>	14,70	15,50	12,25	14,16
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	11,10	11,20	9,82	10,71
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	11,30	11,40	10,37	11,03
W <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	12,70	12,50	11,85	12,35
W <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	12,60	12,90	14,04	13,17
Średnia W <sub>0</sub>	13,53	14,72	11,46	13,24
Średnia W <sub>1</sub>	11,93	12,00	11,52	11,81
Średnia N <sub>0</sub>	11,15	12,20	9,65	11,00
Średnia N <sub>1</sub>	12,45	13,00	10,83	12,10
Średnia N <sub>2</sub>	13,65	14,05	12,34	13,34
Średnia N <sub>3</sub>	13,65	14,20	13,15	13,67
Średnio	12,73	13,36	11,49	12,53
<b>NIR (test Tukey'a) dla:</b>				
<b>Deszczowania (I)</b>	0,06	0,33	r.n.	**
<b>Nawożenia (II)</b>	0,39	0,31	1,60	**
<b>Interakcji (II/I)</b>	0,55	0,44	r.n.	**

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> – 90 kg N·ha<sup>-1</sup>, r.n. – różnica nieistotna, \*\* istotność na poziomie 0,01, \* istotność na poziomie 0,05

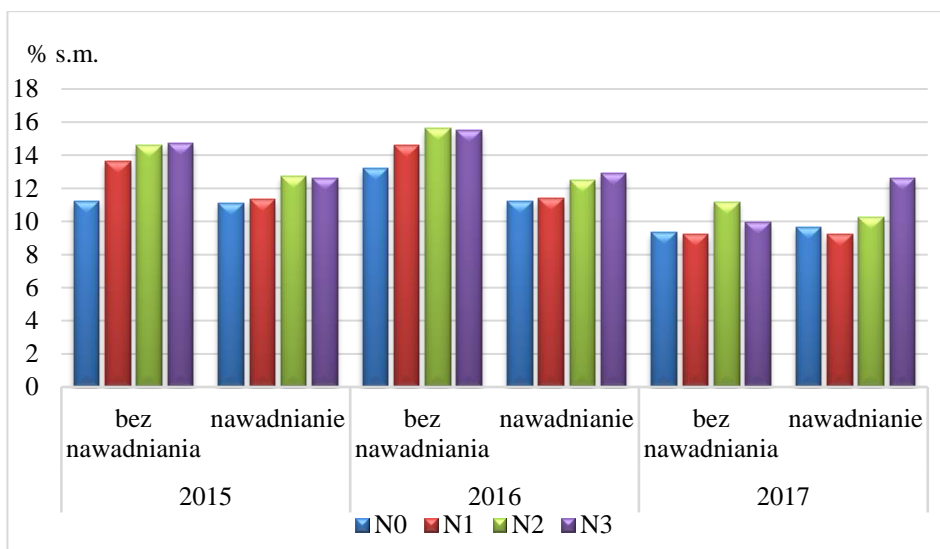
Ustalona na podstawie analizy składu ziarna, średnia zawartość białka w pierwszym roku eksperymentu wyniosła 12,73% s.m. i była istotnie zróżnicowana w zależności od działania i współdziałania nawadniania oraz nawożenia azotem [tabela 22]. Deszczowanie niezależnie od poziomu nawożenia azotem, wpłynęło w sposób korzystny na zawartość białka pod względem oceny przydatności browarniczej. Ziarno roślin nawadnianych cechowało się bowiem niższą o 1,6 p.p. zawartością białka. Ziarno roślin nienawadnianych zawierało średnio 13,53% s.m. białka, a zawartość tego składnika rosła wraz ze wzrostem wielkości nawożenia azotem, od 11,20% dla próby kontrolnej do 14,70% s.m. W

warunkach nawadniania, wzrost zawartości białka w ziarnie jęczmienia w miarę zwiększania dawki nawożenia azotem był znacznie mniejszy niż na stanowiskach nienawadnianych. Średnia zawartość białka wynosiła 11,93% s.m. i mieściła się w przedziale od 11,10% do 12,60% s.m. Niezależnie od zastosowanych wariantów wodnych, nawożenie azotem powodowało wzrost zawartości białka w ziarnie, przyczyniając się do pogorszenia jakości surowca pod kątem przydatności do produkcji słodu. Średnia zawartość białka pod wpływem nawożenia azotem wzrosła z 11,15% (wariant bez nawożenia azotem) do 13,65% s.m. u roślin nawożonych azotem dawką 60 i 90 kg·ha<sup>-1</sup>.

W przeprowadzonym doświadczeniu w sezonie wegetacyjnym w 2016 roku, średnia zawartość białka w zebranych materiale roślinnym była wyższa niż w pierwszym roku doświadczenia i wynosiła 13,36 % s.m. Wprowadzenie nawadniania do technologii uprawy jęczmienia browarnego wpłynęło w sposób istotny na zawartość białka (zawartość zmniejszona średnio o 2,72 p.p. w stosunku do poletek nienawadnianych). Uzyskane wyniki pozwalają zatem na stwierdzenie, że nawadnianie wpłynęło w sposób korzystny na jakość badanego ziarna pod względem przydatności dla przemysłu piwowarskiego. Zawartość białka w ziarnie roślin zebranych z obiektów nienawadnianych wynosiła średnio 14,72% s.m. i zawierała się w przedziale od 13,20% (N<sub>0</sub>) do 15,60% s.m. (N<sub>2</sub>). Na poletkach deszczowanych zawartość białka była mniej zróżnicowana pod wpływem poziomu nawożenia azotem i wynosiła od 11,20% do 12,90% s.m. Pod wpływem wzrastającego nawożenia azotem, niezależnie od deszczowania, zawartość białka w ziarnie systematycznie rosła od 12,20 do 14,20 % s.m.

Zawartość białka w ziarnie w bardzo wilgotnym roku 2017 była najmniejsza i wynosiła średnio 11,49% s.m. Istotny wpływ na zróżnicowanie tej zawartości wywarło nawożenie azotem. Pod wpływem tego czynnika zawartość białka w ziarnie wzrastała od 9,65 do 13,15 % s.m. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu deszczowania oraz interakcji czynników na kształtowanie się omawianej cechy ziarna.

Rysunek 14 przedstawia zawartość białka [% s.m.] w ziarnie jęczmienia w ciągu trzech lat trwania eksperymentu polowego. Z wykresu można odczytać, że zawartość ta wzrastała wraz ze wzrostem poziomu nawożenia azotem, w większym stopniu w ziarnie roślin nienawadnianych niż nawadnianych. Wprowadzenie nawadniania do technologii uprawy jęczmienia pozwoliło na pozyskanie ziarna o zmniejszonej koncentracji białka. Ziarno roślin nawadnianych i nienawożonych azotem oraz nawożonych przedsięwzięciem dawką 30 kg·ha<sup>-1</sup> (poziom N<sub>1</sub>) w każdym roku badań spełniało wymagania dotyczące przydatności słodowniczej.



Opracowanie własne: N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> - 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> - 90 kg N·ha<sup>-1</sup>

Rys. 14. Zawartość białka w ziarnie jęczmienia odmiany ‘Signora’ w latach 2015-2017 w zależności od nawadniania i nawożenia azotem [% s.m.]

## 5.5. MASA TYSIĄCA ZIAREN JĘCZMIENIA BROWARNEGO

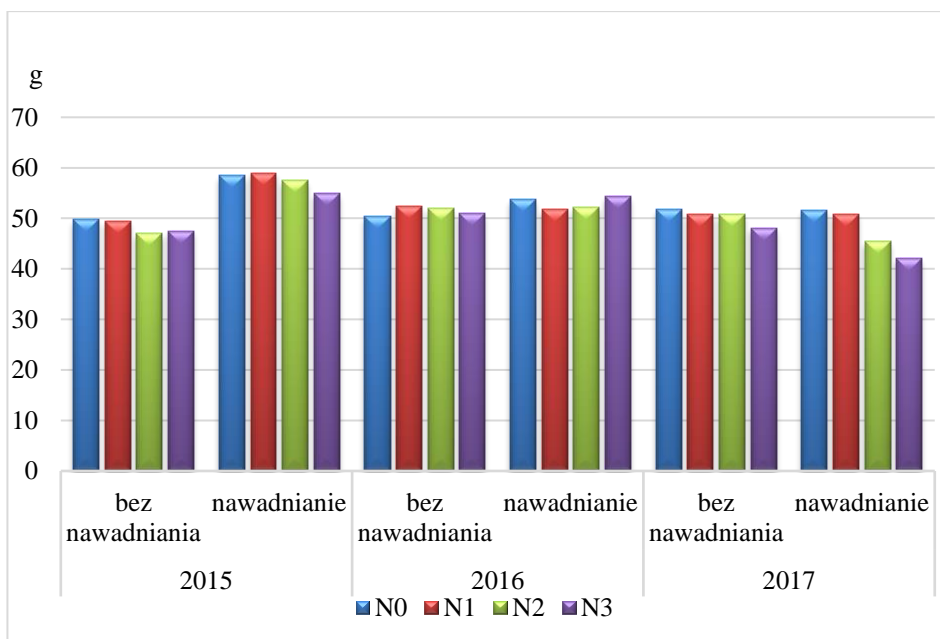
Średnia masa tysiąca ziaren w pierwszym roku trwania eksperymentu polowego wynosiła 52,97 g [tabela 23]. Cecha ta była istotnie zróżnicowana pod wpływem działania czynników doświadczenia. Rośliny deszczowane wykształciły ziarno o zwiększonej masie średnio o 9,06 g, z kolei nawożenie roślin azotem dawkami 60 i 90 kg·ha<sup>-1</sup> przyczyniło się do zmniejszonej dorodności ziarna. W drugim roku badań działanie i współdziałanie deszczowania i nawożenia azotem nie spowodowało istotnego zróżnicowania masy tysiąca ziaren, która wynosiła średnio 52,22 g. Zaznaczyła się tendencja zwiększonej dorodności ziarna roślin nawadnianych, w porównaniu z nienawadnianymi. Przeciętna masa tysiąca ziaren w ostatnim roku doświadczenia (2017) wyniosła 48,92 g i była najmniejsza w całym trzyletnim okresie. W trzecim roku eksperymentu stwierdzono zmniejszoną masę tysiąca ziaren pod wpływem nawożenia azotem, zwłaszcza u roślin nawadnianych i nawożonych wyższymi dawkami azotu (poziomy N<sub>2</sub> i N<sub>3</sub>). Wyleganie przyczyniło się spadku dorodności ziarna.

Tabela 23. Masa tysiąca ziaren jęczmienia browarnego [g] w latach 2015-2017

Warianty	2015	2016	2017	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	49,75	50,25	51,75	50,58
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	49,50	52,50	50,88	50,96
W <sub>0</sub> N <sub>2</sub>	47,00	52,00	50,75	49,92
W <sub>0</sub> N <sub>3</sub>	47,50	51,00	48,13	48,87
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	58,50	53,75	51,62	54,62
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	59,00	51,75	50,88	53,87
W <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	57,50	52,25	45,50	51,75
W <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	55,00	54,25	41,87	50,37
Średnia W <sub>0</sub>	48,44	51,44	50,38	50,08
Średnia W <sub>1</sub>	57,50	53,00	47,47	52,66
Średnia N <sub>0</sub>	54,13	52,00	51,69	52,60
Średnia N <sub>1</sub>	54,25	52,12	50,88	52,42
Średnia N <sub>2</sub>	52,25	52,12	48,13	50,83
Średnia N <sub>3</sub>	51,25	52,62	45,00	49,62
Średnio	52,97	52,22	48,92	51,37
<b>NIR (test Tukey'a) dla:</b>				
Deszczowania (I)	2,67	r.n.	r.n.	r.n.
Nawożenia (II)	3,09	r.n.	2,85	**
Interakcji (II/I)	r.n.	r.n.	4,03	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30 kg N ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 60 kg N ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> – 90 kg N ha<sup>-1</sup>, r.n. – różnica nieistotna, \*\* istotność na poziomie 0,01, \* istotność na poziomie 0,05

Rysunek 15 ilustruje zróżnicowanie masy tysiąca ziaren pod wpływem poziomu nawożenia azotem oraz warunków wodnych w poszczególnych latach trwania ścisłego doświadczenia polowego. W bardzo suchym okresie wegetacyjnym 2015 roku wprowadzenie do technologii uprawy zabiegu deszczowania, przyczyniło się w największym i istotnym stopniu do poprawy dorodności ziarna, ziarno z poletek nawadnianych cechowało się największą masą tysiąca ziaren w całym analizowanym okresie. W drugim roku eksperymentu nawadnianie spowodowało nieznaczny i nieistotny wzrost dorodności ziarna. Z kolei w sezonie wegetacji 2017 roku dodatkowe zaopatrzenie roślin w wodę wpłynęło na spadek masy tysiąca ziaren z powodu wylegania roślin. Według syntezy wyników, istotny wpływ na masę tysiąca ziaren wywarło tylko nawożenie azotem, które przyczyniło się do jej zmniejszenia z 52,60 g (poziom N<sub>0</sub>) do 49,62 (poziom N<sub>3</sub>). Zmniejszenie to zachodziło zarówno na stanowiskach nienawadnianych, jak i w warunkach nawadniania.



Opracowanie własne: N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30 kg N/ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 60 kg N/ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> – 90 kg N/ha<sup>-1</sup>

Rys. 15. Masa tysiąca ziaren w latach 2015-2017 w zależności od nawadniania i nawożenia azotem [g]

## 5.6. WYRÓWNANIE ZIARNA JĘCZMIENIA JAREGO

Wyrównanie ziarna jest jednym z ważnych wskaźników jakości ziarna jęczmienia przeznaczonego dla przemysłu browarniczego. Wyrównanie ziarna wpływa na równomierne wchłanianie wody w procesie słodowania, w rezultacie ułatwia otrzymanie wysokiej jakości słodu. Podczas analizy laboratoryjnej oznaczono wyrównanie ziarna na trzech rodzajach sit.

### 5.6.1. Wyrównanie ziarna jęczmienia na sicie 2,8x25 mm

Zróżnicowanie wyrównania ziarna na sicie 2,8x25 mm pod wpływem działania i współdziałania czynników doświadczenia okazało się bardzo podobne do zróżnicowania stwierdzonego w odniesieniu do masy tysiąca ziaren [tabela 24]. Według analizy wariancji danych z doświadczenia wielokrotnego powielonego w trzech okresach wegetacji, istotny wpływ na kształtowanie się celności ziarna wywarło tylko nawożenie azotem. Pod wpływem tego czynnika udział frakcji najbardziej dorodnego ziarna zmniejszył się średnio z 81,86 (poziom N<sub>0</sub>) do 70,04 % jego łącznej masy (poziom N<sub>3</sub>). Ten udział, malejący wraz ze wzrostem dawki azotu, obserwowano zarówno w warunkach bez nawadniania, jak i na stanowiskach nawadnianych. Deszczowanie przyczyniło się z kolei do zwiększonego udziału ziarna omawianej frakcji w plonie (średnio

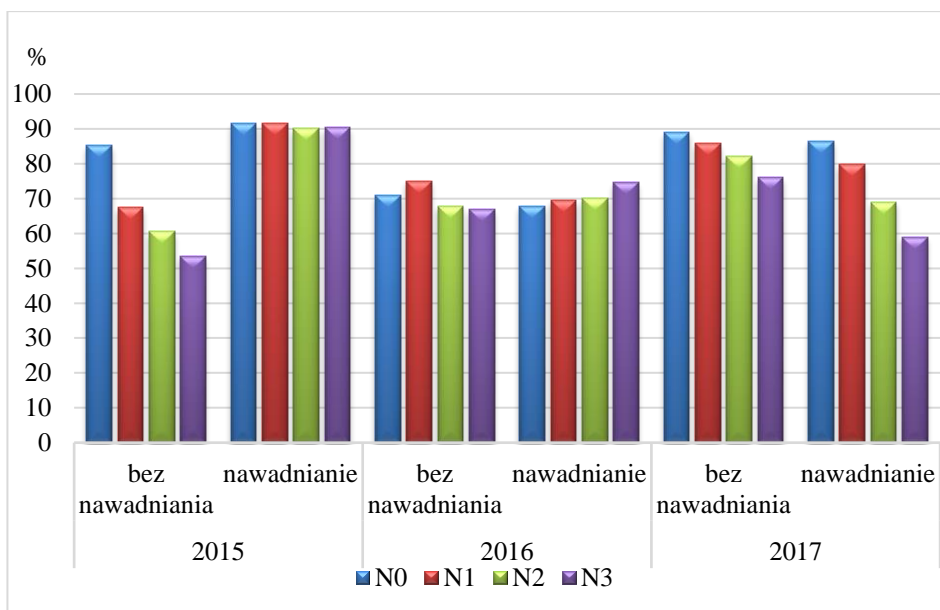
o 5,01 p.p.), jednak ze względu na różny wpływ czynnika w poszczególnych latach badań na omawianą cechę, jego działanie nie było istotne w odniesieniu do wyników średnich z lat 2015-2017. Jak wynika z rysunku 16 bardzo korzystny wpływ deszczowania na wyrównanie ziarna na sicie 2,8x25mm wystąpił w bardzo suchym sezonie wegetacji 2015, w którym spowodowało ono średni wzrost celności ziarna aż o 24,30 p.p., a na poziomie nawożenia 60 i 90 kg·ha<sup>-1</sup> odpowiednio o 29,73 i 36,87 p.p. W wilgotnym sezonie 2016 deszczowanie nie spowodowało istotnego zróżnicowania omawianej cechy, natomiast w bardzo wilgotnym 2017 roku przyczyniło się do zmniejszenia celności z powodu wylegania roślin nawadnianych i nawożonych azotem, zwłaszcza dawkami 60 i 90 kg·ha<sup>-1</sup>.

Tabela 24. Wyrównanie ziarna na sicie 2,8x25mm w latach 2015-2017 [% łącznej masy przesiewanego ziarna]

<b>Warianty</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>Średnio</b>
<b>W<sub>0</sub>N<sub>0</sub></b>	85,23	70,93	88,91	81,69
<b>W<sub>0</sub>N<sub>1</sub></b>	67,37	75,00	85,80	76,06
<b>W<sub>0</sub>N<sub>2</sub></b>	60,50	67,87	82,28	70,22
<b>W<sub>0</sub>N<sub>3</sub></b>	53,40	66,90	76,02	65,44
<b>W<sub>1</sub>N<sub>0</sub></b>	91,63	67,90	86,55	82,03
<b>W<sub>1</sub>N<sub>1</sub></b>	91,57	69,53	79,74	80,28
<b>W<sub>1</sub>N<sub>2</sub></b>	90,23	70,20	69,04	76,49
<b>W<sub>1</sub>N<sub>3</sub></b>	90,27	74,70	58,97	74,64
<b>Średnia W<sub>0</sub></b>	66,62	70,17	83,25	73,35
<b>Średnia W<sub>1</sub></b>	90,92	70,58	73,57	78,36
<b>Średnia N<sub>0</sub></b>	88,43	69,42	87,73	81,86
<b>Średnia N<sub>1</sub></b>	79,47	72,27	82,77	78,17
<b>Średnia N<sub>2</sub></b>	75,37	69,03	75,66	73,35
<b>Średnia N<sub>3</sub></b>	71,83	70,80	67,49	70,04
<b>Średnio</b>	78,77	70,38	78,41	75,86
<b>NIR (test Tukey'a) dla:</b>				
<b>Deszczowania (I)</b>	1,33	r.n.	2,15	r.n.
<b>Nawożenia (II)</b>	2,57	1,68	2,07	**
<b>Interakcji (II/I)</b>	3,63	2,37	2,92	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> – 90 kg N·ha<sup>-1</sup>, r.n. – różnica nieistotna, \*\* istotność na poziomie 0,01, \* istotność na poziomie 0,05





Opracowanie własne: N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30 kg N ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 60 kg N ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> – 90 kg N ha<sup>-1</sup>

Rys. 16. Wpływ deszczowania i nawożenia azotem w latach 2015-2017 na wyrównanie ziarna jęczmienia browarnego na sicie o średnicy oczek 2,8x25 mm [%]

### 5.6.2. Wyrównanie ziarna jęczmienia na sicie 2,5x25 mm

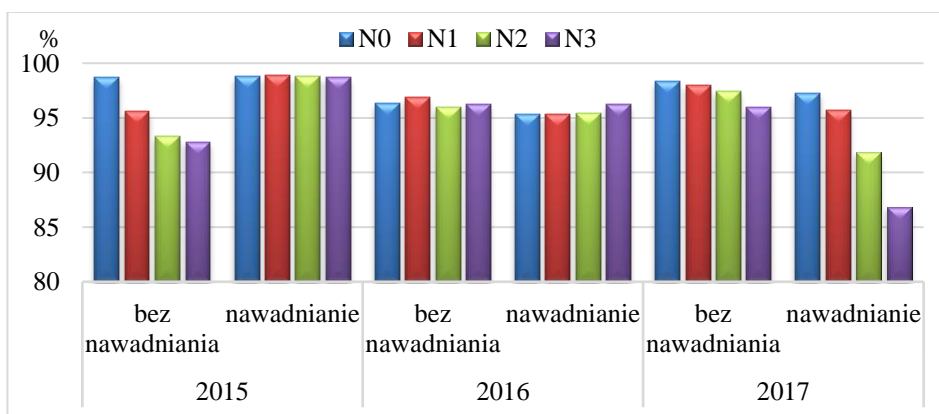
Tabela 25. Wyrównanie ziarna na sicie 2,5x25 mm w latach 2015-2017 [% łącznej masy przesiewanego ziarna]

Warianty	2015	2016	2017	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	98,73	96,33	98,35	97,81
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	95,60	96,90	98,00	96,83
W <sub>0</sub> N <sub>2</sub>	93,30	96,00	97,43	95,58
W <sub>0</sub> N <sub>3</sub>	92,83	96,17	95,97	94,99
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	98,80	95,33	97,22	97,12
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	98,90	95,27	95,67	96,61
W <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	98,83	95,37	91,88	95,36
W <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	98,73	96,20	86,88	93,94
Średnia W <sub>0</sub>	95,12	96,35	97,44	96,30
Średnia W <sub>1</sub>	98,82	95,54	92,91	95,76
Średnia N <sub>0</sub>	98,77	95,83	97,78	97,46
Średnia N <sub>1</sub>	97,25	96,08	96,83	96,72
Średnia N <sub>2</sub>	96,07	95,68	94,65	95,47

<b>Średnia N<sub>3</sub></b>	95,78	96,18	91,42	94,46
<b>Średnio</b>	96,97	95,95	95,17	96,03
<b>NIR (test Tukey'a) dla:</b>				
<b>Deszczowania (I)</b>	0,28	r.n.	1,39	r.n.
<b>Nawożenia (II)</b>	1,22	r.n.	0,82	**
<b>Interakcji (II/I)</b>	1,73	0,73	1,17	r.n.

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> – 90 kg N·ha<sup>-1</sup>, r.n. – różnica nieistotna, \*\* istotność na poziomie 0,01, \* istotność na N<sub>3</sub> – 90 kg N·ha<sup>-1</sup>

Drugim parametrem określającym celność ziarna jest wyrównanie oceniane na sicie o średnicy otworów 2,5x25 mm. Udział tej frakcji ziarna był generalnie wysoki, zbliżony w latach badań i wynosił średnio 96,03 % [tabela 25]. Tylko w nielicznych przypadkach był on mniejszy od 95%. Niższą od podanej wartości celnością cechowało się ziarno roślin nienawadnianych i nawożonych wyższymi dawkami nawożenia azotu w bardzo suchym sezonie 2015 roku oraz ziarno nawadnianego i nawożonego jęczmienia (poziomy nawożenia azotem N<sub>2</sub> i N<sub>3</sub>) w bardzo wilgotnym sezonie 2017 roku. Zróżnicowanie omawianej cechy pod wpływem działania i współdziałania czynników było bardzo podobne, jak w przypadku masy tysiąca ziaren i wyrównania ziarna na sicie 2,8x25 mm. Do istotnego zmniejszenia celności przyczyniało się nawożenie azotem. Pod wpływem zastosowania nawożenia udział frakcji malał z 97,46% (poziom N<sub>0</sub>) do 94,46 (poziom N<sub>3</sub>). Istotny, korzystny (wzrost celności) wpływ deszczowania oraz interakcji czynników w kształtowaniu omawianej cechy wystąpił w bardzo suchym okresie wegetacji 2015 roku, a niekorzystny (spadek celności) w bardzo wilgotnym sezonie 2017 roku [rysunek 17].



Opracowanie własne: N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> – 90 kg N·ha<sup>-1</sup>

Rys. 17. Wpływ deszczowania i nawożenia azotem w latach 2015-2017 na wyrównanie ziarna jęczmienia browarnego na sicie o średnicy oczek 2,5x25 mm [%]

## 5.7. EKSTRAKTYWNOŚĆ ZIARNA WEDŁUG WZORU BISHOPA

Średnia ekstraktywność ziarna jęczmienia browarnego wynosiła 79,63% [tabela 26]. Zróznicowanie omawianej cechy pod wpływem czynników doświadczenia pozwala na stwierdzenie, iż deszczowanie przyczyniło się do wzrostu ekstraktywności średnio w latach badan z 78,98 do 80,27%, natomiast zastosowanie i zwiększanie nawożenia azotem powodowało zmniejszenie ekstraktywności z 80,88 (poziom N<sub>0</sub>) do 78,62 (poziom N<sub>3</sub>).

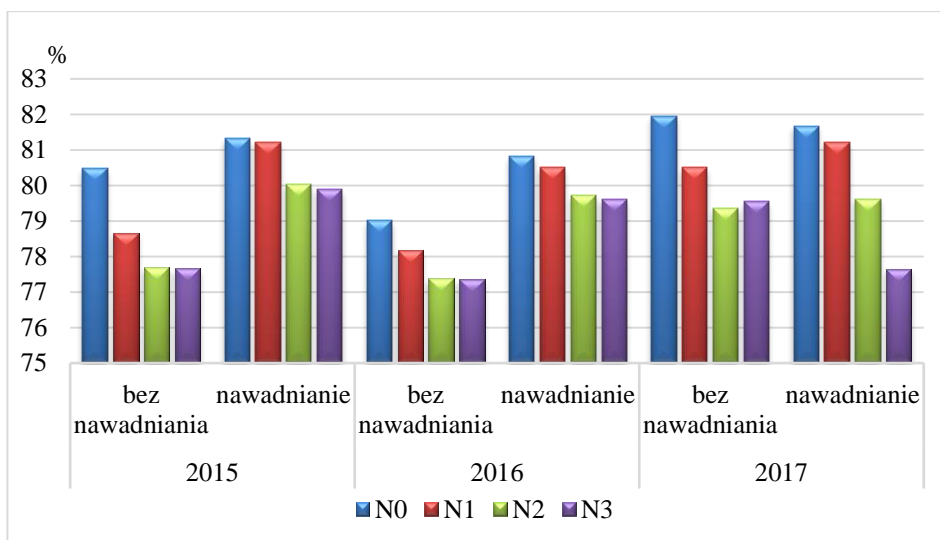
Rysunek 18 przedstawia wpływ nawadniania, nawożenia azotem oraz ich interakcji na ekstraktywność ziarna wyliczoną na podstawie zawartości białka oraz masy tysiąca ziaren zgodnie ze wzorem Bishopa. Jak można zauważyć, w pierwszym i drugim roku doświadczenia, nawadnianie spowodowało wzrost ekstraktywności ziarna. Zastosowanie i zwiększanie nawożenia azotem powodowało z kolei zmniejszenie ekstraktywności teoretycznej. W ostatnim sezonie prowadzenia eksperymentu polowego ekstraktywność ziarna uzyskanego z obiektów nienawadnianych i nawadnianych była podobna, natomiast pod wpływem nawożenia azotem zmniejszała się. Spadek ten dotyczył zarówno ziarna roślin nienawadnianych, jak i nawadnianych.

Tabela 26. Ekstraktywność ziarna zebranego w latach 2015-2017 według wzoru Bishopa [%]

Warianty	2015	2016	2017	Średnio
W <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	80,48	79,02	81,95	80,48
W <sub>0</sub> N <sub>1</sub>	78,66	78,17	80,50	79,11
W <sub>0</sub> N <sub>2</sub>	77,69	77,38	79,34	78,14
W <sub>0</sub> N <sub>3</sub>	77,66	77,36	79,55	78,19
W <sub>1</sub> N <sub>0</sub>	81,32	80,83	81,68	81,28
W <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	81,22	80,50	81,20	80,97
W <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	80,04	79,72	79,62	79,79
W <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	79,89	79,60	77,65	79,05
Średnia W <sub>0</sub>	78,62	77,98	80,34	78,98
Średnia W <sub>1</sub>	80,62	80,16	80,04	80,27
Średnia N <sub>0</sub>	80,90	79,93	81,81	80,88
Średnia N <sub>1</sub>	79,94	79,34	80,85	80,04
Średnia N <sub>2</sub>	78,86	78,55	79,48	78,96
Średnia N <sub>3</sub>	78,77	78,48	78,60	78,62
Średnio	79,62	79,07	80,19	79,63

Opracowanie własne: W<sub>0</sub> – bez deszczowania, W<sub>1</sub> – deszczowanie, N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30

kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> - 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> - 90 kg N·ha<sup>-1</sup>



Opracowanie własne: N<sub>0</sub> – bez nawożenia, N<sub>1</sub> – 30 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> – 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, N<sub>3</sub> – 90 kg N·ha<sup>-1</sup>

Rys. 18. Ekstraktywność teoretyczna ziarna w latach 2015-2017 [%] w zależności od nawadniania i nawożenia azotem

## 5.8. EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA NAWADNIANIA JĘCZMIENIA BROWARNEGO

W podrozdziale zostanie przedstawiona kolejno ocena kosztów wprowadzenia deszczowania do technologii produkcji jęczmienia browarnego, wyznaczenie uzyskanych w doświadczeniu polowym efektów produkcyjnych deszczowania, stanowiących podstawę oszacowania wartości dodatkowo uzyskanej dzięki nawadnianiu produkcji oraz analiza wskaźników efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia – nadwyżki bezpośredniej oraz okresu zwrotu inwestycji.

### 5.8.1. Koszty nawadniania deszczownianego

Jak wynika z przyjętych i określonych w metodyce pracy założeń, analizę efektywności ekonomicznej przeprowadzono w trzech wariantach, obejmujących różne ceny. W pierwszym z nich przyjęto koszty nawadniania na poziomie cen z okresu trwania eksperymentu polowego, czyli lat 2015-2017. Całkowity koszt inwestycji rósł wraz ze wzrostem założonej w analizie powierzchni z 21000zł dla 1ha do poziomu 271000zł dla 50ha. Odwrotna zależność występowała w przypadku kosztów jednostkowych, przeliczonych na 1 ha, które malały z poziomu 21000zł do 4800zł dla powierzchni 30 ha. Nawadnianie powierzchni 50 ha wymagało zastosowania dwóch deszczowni szpulowych co spowodowało

skokowy wzrost kosztów inwestycji i zakłóciło zależność spadku kosztów jednostkowych w stosunku do wzrostu nawadnianej powierzchni [tabela 27].

Tabela 27. Koszty nawadniania jęczmienia browarnego w latach 2015-2017 [zł·ha<sup>-1</sup>]

<b>Koszty nawadniania deszczownianego</b>					
Nawadniana powierzchnia (ha)	1	5	10	30	50
Całkowity koszt inwestycji (zł)	21000,00	33000,00	61000,00	144000,00	271000,00
Koszty inwestycji (zł·ha <sup>-1</sup> )	21000,00	6600,00	6100,00	4800,00	5420,00
<b>Koszty roczne (zł·ha<sup>-1</sup>)</b>					
Amortyzacja 6,65% (zł·ha <sup>-1</sup> )	1396,50	438,90	405,65	319,20	360,43
Oprocentowanie kapitału 5% (zł·ha <sup>-1</sup> )	1050,00	330,00	305,00	240,00	271,00
Koszty napraw i materiałów 2% (zł·ha <sup>-1</sup> )	420,00	132,00	122,00	96,00	108,40
Koszty energii (zł·ha <sup>-1</sup> )	305,61	305,61	305,61	305,61	305,61
Całkowity roczny koszt nawadniania (zł·ha <sup>-1</sup> )	3172,11	1206,51	1138,26	960,81	1045,44

Opracowanie własne

Tabela 28. Koszty nawadniania jęczmienia browarnego w latach 2019-2022 [zł·ha<sup>-1</sup>]

<b>Koszty nawadniania deszczownianego</b>					
Nawadniana powierzchnia (ha)	1	5	10	30	50
Całkowity koszt inwestycji (zł)	24150,00	37950,00	70150,00	165600,00	311650,00
Koszty inwestycji (zł·ha <sup>-1</sup> )	24150,00	7590,00	7015,00	5520,00	6233,00
<b>Koszty roczne (zł·ha<sup>-1</sup>)</b>					
Amortyzacja 6,65% (zł·ha <sup>-1</sup> )	1605,98	504,74	466,50	367,08	414,49
Oprocentowanie kapitału 5% (zł·ha <sup>-1</sup> )	1207,50	379,50	350,75	276,00	311,65
Koszty napraw i materiałów 2% (zł·ha <sup>-1</sup> )	483,00	151,80	140,30	110,40	124,66
Koszty energii (zł·ha <sup>-1</sup> )	351,45	351,45	351,45	351,45	351,45
Całkowity roczny koszt nawadniania (zł·ha <sup>-1</sup> )	3647,93	1387,49	1309,00	1104,93	1202,26

Opracowanie własne

Tabela 29. Koszty nawadnianie jęczmienia browarnego w 2022 roku [zł·ha<sup>-1</sup>]

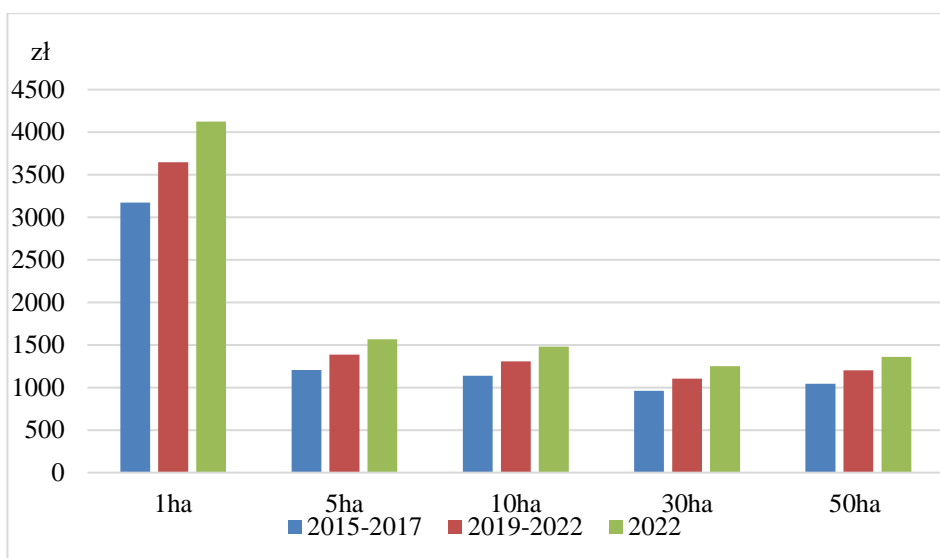
<b>Koszty nawadniania deszczownianego</b>					
Nawadniana powierzchnia (ha)	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>50</b>
Całkowity koszt inwestycji (zł)	27300,00	42900,00	79300,00	187200,00	352300,00
Koszty inwestycji (zł·ha <sup>-1</sup> )	27300,00	8580,00	7930,00	6240,00	7046,00
<b>Koszty roczne (zł·ha<sup>-1</sup>)</b>					
Amortyzacja 6,65% (zł·ha <sup>-1</sup> )	1815,45	570,57	527,35	414,96	468,56
Oprocentowanie kapitału 5% (zł·ha <sup>-1</sup> )	1365,00	429,00	396,50	312,00	352,30
Koszty napraw i materiałów 2% (zł·ha <sup>-1</sup> )	546,00	171,60	158,60	124,80	140,92
Koszty energii (zł·ha <sup>-1</sup> )	397,29	397,29	397,29	397,29	397,29
Całkowity roczny koszt nawadniania (zł·ha <sup>-1</sup> )	4123,74	1568,46	1479,74	1249,05	1359,07

Opracowanie własne

W drugim wariantcie kalkulacji przeprowadzonej na podstawie średnich cen z lat 2019-2022, całkowity koszt inwestycji był większy i wynosił od 24150 zł do 1ha do 311650 zł dla 50 ha [tabela 28]. Wpłynęło to na wzrost kosztów rocznych, tym bardziej, że wyższe były także koszty energii. Całkowity roczny koszt nawadniania był największy w przypadku założonego wariantu stosowania zabiegu na powierzchni 1 ha (3647,93 zł), w pozostałych przypadkach wahał się od 1104,93 (30 ha) do 1387,49 zł·ha<sup>-1</sup> (5 ha).

Ostatni z wariantów zakłada przyjęcie wysokiego poziomu cen z 2022 roku (tabela 29). Podobnie jak w powyższych wariantach koszt całkowity inwestycji wzrastał wraz ze wzrostem powierzchni z poziomu 27300 zł do 352300 zł dla powierzchni 50 ha, najmniejszy koszt jednostkowy wynoszący 6249 zł oszacowano dla nawadnianej powierzchni 30 ha.

Rysunek 19 przedstawia jak kształtowały się całkowite roczne koszty nawadniania deszczownianego jęczmienia jarego, w zależności od nawadnianej powierzchni oraz analizowanego wariantu cen. Analizując wykres można stwierdzić, że koszty nawadniania malały wraz ze wzrostem założonej powierzchni. Szczególnie widoczny jest skokowy spadek rocznych kosztów nawadniania powierzchni 5 ha w stosunku do arealu 1 ha. Najmniejsze roczne koszty deszczowania wystąpiły przy założeniu stosowania zabiegu na powierzchni 30 ha.



Opracowanie własne

Rys. 19. Całkowity roczny koszt nawadniania w zależności od wielkości nawadnianej powierzchni i poziomu cen [zł·ha<sup>-1</sup>].

Drugą zauważalną tendencją jest wzrost całkowitych rocznych kosztów nawadniania wraz z upływem czasu. Najmniejsze koszty oszacowano dla wariantu I (lata 2015-2017), największe dla wariantu III (rok 2022), pośrednie dla wariantu II (lata 2019-2022). Jest to związane z wzrostem cen surowców, pracy oraz energii.

### 5.8.2. Efekty produkcyjne deszczowania

Średnia wielkość plonu w warunkach naturalnych bez nawadniania wynosiła 43,58 dt·ha<sup>-1</sup>, po zastosowaniu nawadniania wzrosła do 72,67 dt·ha<sup>-1</sup> [tabela 30]. Zabieg nawadniania przyczynił się do wzrostu wielkości plonu o 29,09 dt·ha<sup>-1</sup> (66,8%). Zastosowanie 1 mm wody nawodnieniowej skutkowało jednostkowym wzrostem wielkości plonu o 34,0 kg·ha<sup>-1</sup>.

Tabela 30. Średnie efekty produkcyjne nawadniania jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w latach 2015-2017 (na poziomie nawożenia azotem 30 kg·ha<sup>-1</sup>)

Odmiana	Bez nawadniania	Z nawadnianiem	Zwyżka plonu pod wpływem nawadniania		
	Wielkość plonu [dt·ha <sup>-1</sup> ]	Wielkość plonu [dt·ha <sup>-1</sup> ]	[t·ha <sup>-1</sup> ]	[%]	[kg·ha <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ]
‘Signora’	43,58	72,67	29,09	66,8	34,0

Opracowanie własne

### 5.8.3. Kalkulacja nadwyżki bezpośredniej uzyskanej dzięki zastosowaniu nawadniania

W pierwszym analizowanym wariancie cen (lata 2015-2017) wprowadzenie do technologii uprawy jęczmienia jarego uprawianego dla przemysłu browarniczego, nie było ekonomicznie uzasadnione przy nawadnianiu plantacji na powierzchni 1ha [tabela 31]. Przyrost plonu na poziomie 29,09 dt $ha^{-1}$  przełożył się na uzyskanie dodatkowej wartości produkcji na poziomie 1989,67 zł $ha^{-1}$ , która była mniejsza o 1779,28 zł od kosztów poniesionych na nawadnianie i przyrostu kosztów rolniczych. W pozostałych analizowanych wariantach wielkości deszczowanych upraw jęczmienia browarnego, wartość produkcji uzyskana ze sprzedaży zwyżki plonu, przekraczała poniesione koszty, przyczyniając się do uzyskania dodatniej nadwyżki bezpośredniej, która wynosiła od 186,32 (w przypadku zakładanej powierzchni nawadnianej 5 ha) do 432,02 zł $ha^{-1}$  dla powierzchni 30ha.

W wariancie II w kalkulacjach przyjęto ceny kosztów oraz sprzedaży na średnim poziomie cen dla lat 2019-2022. Uzyskany dzięki wprowadzeniu nawadniania przyrost plonu ziarna 29,09 t $ha^{-1}$  pozwolił uzyskać wartość dodatkową produkcji na poziomie 2892,54 zł $ha^{-1}$ , a przyrost kosztów rolniczych oszacowano na 867,46 zł $ha^{-1}$  [tabela 32]. Ostateczne wyniki kalkulacji różnicowej wykazały brak ekonomicznej efektywności wprowadzania nawadniania na najmniejszej plantacji 1ha. W pozostałych analizowanych obszarach, uzyskano nadwyżkę bezpośrednio od 636,60 zł $ha^{-1}$  (5 ha) do 919,16 zł $ha^{-1}$  (30 ha).

Tabela 31. Efektywność ekonomiczna nawadniania jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w wariancie I [zł $ha^{-1}$ ]

Nawadniana powierzchnia (ha)	Przyrost plonu pod wpływem nawadniania (t $ha^{-1}$ )	Wartość dodatkowa uzyskana dzięki nawadnianiu (zł $ha^{-1}$ )	Koszty nawadniania (zł $ha^{-1}$ )	Przyrost kosztów rolniczych (zł $ha^{-1}$ )	Nadwyżka bezpośrednia (zł $ha^{-1}$ )
1	29,09	1989,67	3172,11	596,93	<b>-1779,28</b>
5			1206,51		<b>186,32</b>
10			1138,26		<b>254,57</b>
30			960,81		<b>432,02</b>
50			1045,44		<b>347,39</b>

Opracowanie własne



Tabela 32. Efektywność ekonomiczna nawadniania jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w wariancie II [zł·ha<sup>-1</sup>]

Nawadniana powierzchnia (ha)	Przyrost plonu pod wpływem nawadniania (t·ha <sup>-1</sup> )	Wartość dodatkowa uzyskana dzięki nawadnianiu (zł·ha <sup>-1</sup> )	Koszty nawadniania (zł·ha <sup>-1</sup> )	Przyrost kosztów rolniczych (zł·ha <sup>-1</sup> )	Nadwyżka bezpośrednia (zł·ha <sup>-1</sup> )
1	29,09	2891,55	3647,94	867,46	<b>-1623,84</b>
5			1387,49		<b>636,60</b>
10			1309,00		<b>715,08</b>
30			1104,93		<b>919,16</b>
50			1202,26		<b>821,83</b>

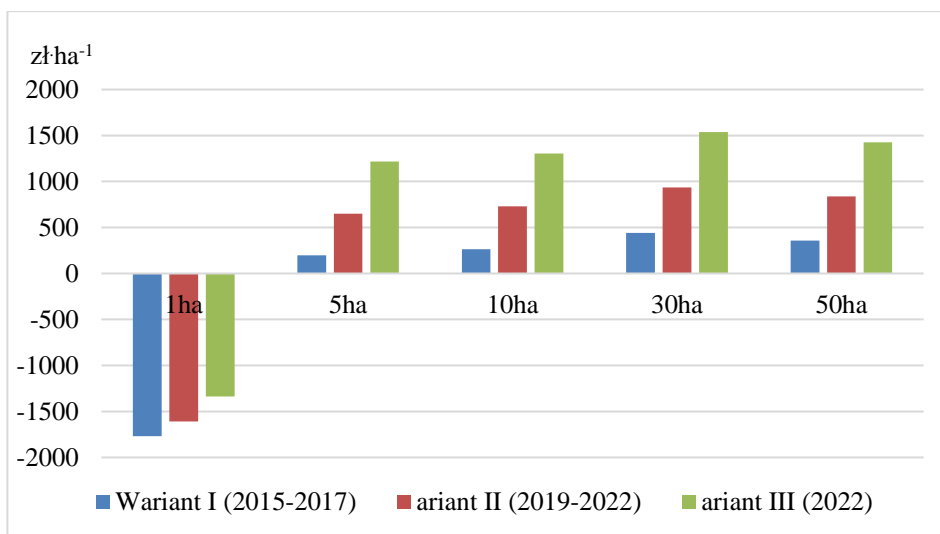
Opracowanie własne

Ostatni rozważany wariant III, zakłada przyjęcie w kalkulacji najbardziej aktualnych cen z 2022 roku. Zastosowanie deszczowania spowodowało uzyskanie dodatkowej wartości produkcji na poziomie 3950,42 zł·ha<sup>-1</sup>, oraz przyrost kosztów rolniczych o 1185,13 zł·ha<sup>-1</sup> [tabela 33]. Podobnie jak we wcześniejszych wariantach kalkulacyjnych, nierentowne okazało się nawadnianie jęczmienia browarnego na powierzchni 1ha, które generowało ujemną nadwyżkę bezpośrednio -1358,45 zł·ha<sup>-1</sup>. W przypadku pozostałych zakładanych powierzchni, deszczowanie pozwoliło uzyskać nadwyżkę bezpośrednią w wartości powyżej 1000 zł·ha<sup>-1</sup>, od 1196,83 zł·ha<sup>-1</sup> dla 5ha do 1516,24zł·ha<sup>-1</sup> dla 30ha.

Tabela 33. Efektywność ekonomiczna nawadniania jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w wariancie III [zł·ha<sup>-1</sup>]

Nawadniana powierzchnia (ha)	Przyrost plonu pod wpływem nawadniania (t·ha <sup>-1</sup> )	Wartość dodatkowa uzyskana dzięki nawadnianiu (zł·ha <sup>-1</sup> )	Koszty nawadniania (zł·ha <sup>-1</sup> )	Przyrost kosztów rolniczych (zł·ha <sup>-1</sup> )	Nadwyżka bezpośrednia (zł·ha <sup>-1</sup> )
1	29,09	3950,42	4123,74	1185,13	<b>-1358,45</b>
5			1568,46		<b>1196,83</b>
10			1479,74		<b>1285,56</b>
30			1249,05		<b>1516,24</b>
50			1359,07		<b>1406,22</b>

Opracowanie własne



Opracowanie własne

Rys. 20. Nadwyżka bezpośrednia uzyskana po zastosowaniu nawadniania w zależności od poziomu cen i nawadnianej powierzchni [zł·ha<sup>-1</sup>]

Kalkulacja pozwoliła ocenić efektywność ekonomiczną wprowadzenia nawadniania do technologii uprawy jęczmienia browarnego w zależności od nawadnianej powierzchni oraz przyjętego poziomu cen [rysunek 20]. Niezależnie od przyjętego poziomu cen, nawadnianie plantacji 1ha było nieopłacalne. Efektywność ekonomiczna nawadniania rosła wraz ze wzrostem nawadnianej powierzchni w przedziale od 5ha do 30ha, a następnie nieznacznie spadała w przypadku powierzchni 50ha. Opłacalność nawadniania zmieniała się także wraz ze zmianą poziomu cen. Mimo wzrostu kosztów nawadniania, jednoznacznie najkorzystniejszy był najwyższy poziom cen zbóż przyjęty w wariantcie III, obejmującym 2022 rok.

#### 5.8.4. Okres zwrotu inwestycji

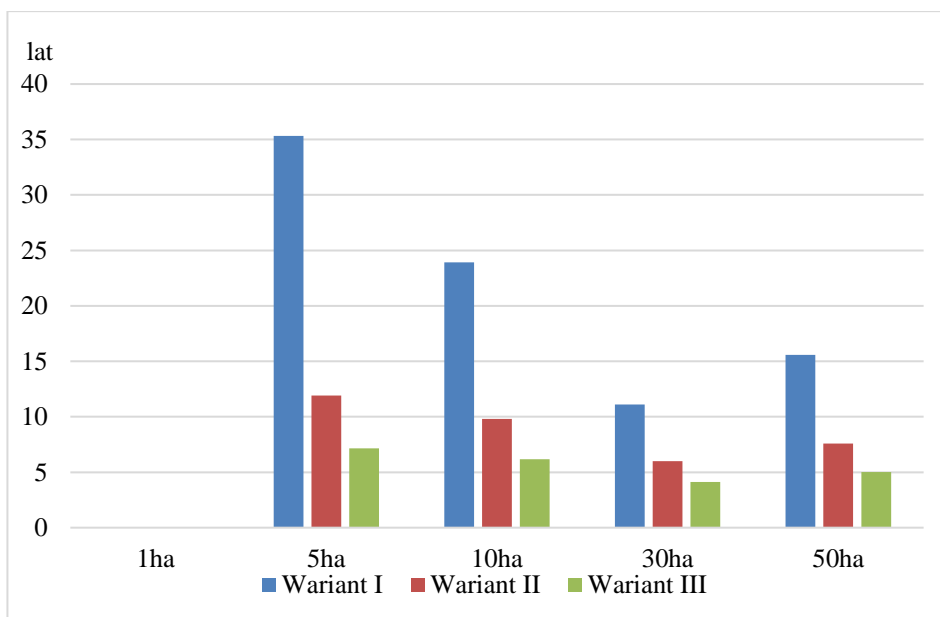
Nakłady poniesione na inwestycję nawodnieniową oraz uzyskiwana nadwyżka bezpośrednia wpływają na czas zwrotu inwestycji. Zależy on zatem od poziomu cen środków produkcji i energii, ale także poziomu cen uzyskanego ziarna. Tabela 34 przedstawia czas zwrotu inwestycji w zależności od przyjętego poziomu cen oraz wielkości nawadnianej powierzchni.

Tabela 34. Okres zwrotu inwestycji poniesionych na nawadnianie plantacji jęczmienia jarego odmiany Signora w poszczególnych wariantach

Wariant poziomu cen	Nawadniana powierzchnia (ha)	Całkowity koszt inwestycji (zł)	Nadwyżka bezpośrednia (złha <sup>-1</sup> )	Nadwyżka bezpośrednia z całej powierzchni (złha <sup>-1</sup> )	Czas zwrotu inwestycji [lata]
I	1	21000	-1778,80	-1778,80	-
	5	33000	186,80	933,99	<b>35,33</b>
	10	61000	255,05	2550,48	<b>23,92</b>
	30	144000	432,50	12974,94	<b>11,10</b>
	50	271000	347,87	17393,40	<b>15,58</b>
II	1	24150	-1623,15	-1623,15	-
	5	37950	637,29	3186,46	<b>11,91</b>
	10	70150	715,78	7157,79	<b>9,80</b>
	30	165600	919,85	27595,40	<b>6,00</b>
	50	311650	822,52	41126,10	<b>7,58</b>
III	1	27300	-1357,50	-1357,50	-
	5	42900	1197,78	5988,92	<b>7,16</b>
	10	79300	1286,51	12865,08	<b>6,16</b>
	30	187200	1517,19	45515,79	<b>4,11</b>
	50	352300	1407,17	70358,70	<b>5,01</b>

Opracowanie własne

Ujemny wynik ekonomiczny nawadniania powierzchni 1ha wyklucza możliwość zwrotu inwestycji. Rysunek 21 przedstawia czas zwrotu inwestycji poniesionych na wprowadzenie nawadniania do technologii uprawy jęczmienia jarego. Najdłuższy czas zwrotu inwestycji wystąpił w przypadku poziomu cen z lat 2015-2017 i nawadnianej powierzchni wielkości 5 ha i wynosił ponad 35 lat. Długość czasu zwrotu inwestycji malała wraz ze wzrostem nawadnianej powierzchni w każdym wariantcie cenowym. Najszybciej, bo już po przeszło 4 latach, zwróciłyby się inwestycja poniesiona na nawadnianie 30ha w trzecim wariantcie poziomu cen (rok 2022).



Opracowanie własne

Rys. 21. Czas zwrotu kosztów inwestycji w zależności od poziomu cen i wielkości nawadnianej plantacji

## 6. Dyskusja Wyników

Jęczmień jary ze względu na wszechstronną możliwość wykorzystania ziarna jest niezwykle cenną rośliną uprawną. Jak wynika z danych GUS, jęczmień wyróżnia się największą w Polsce powierzchnią uprawy wśród zbóż jarych. Stanowi cenne uzupełnienie i pozwala zoptymalizować zmianowanie roślin, wypełniając lukę po roślinach późno schodzących z pola, jednocześnie będąc dobrym przedplonem dla rzepaku. W ostatnich latach następuje sukcesywny wzrost możliwości plonotwórczych, jest to związane przede wszystkim z postępowaniem genetycznym i wprowadzeniem do praktyki nowych plenniejszych odmian [Noworolnik 2013]. Ziarno jęczmienia ze względu na korzystny skład jest wykorzystywane przede wszystkim na cele paszowe [Noworolnik i in. 2009], ale również w przemyśle kaszarskim i browarniczym. Poszczególne kierunki wykorzystania wymagają odmiennych cech jakościowych ziarna. Ziarno przeznaczone na paszę powinno charakteryzować się możliwie dużą zawartością białka, podczas gdy zbyt wysoka zawartość białka w ziarnie przeznaczonym dla przemysłu browarniczego jest niekorzystna. Uzyskanie oczekiwanych cech jakościowych ziarna wymaga odpowiedniego doboru odmian oraz zastosowania właściwej technologii uprawy.

Przeprowadzony w latach 2015-2017 ścisły eksperyment polowy, polegał na testowaniu reakcji jęczmienia jarego browarnej odmiany 'Signora' na odmienne warunki wodne oraz różny poziom nawożenia azotem. Nadrzędnym celem przeprowadzania badań, była ocena wpływu nawadniania, nawożenia azotem oraz ich interakcji na wielkość i jakość plonu ziarna jęczmienia pod kątem przydatności surowca dla przemysłu browarniczego. Eksperyment przeprowadzono na glebie lekkiej o stosunkowo niewielkiej zdolności retencji wody. Badania zrealizowano w miejscowości Mochelek na polach doświadczalnych Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy.

Doświadczenie przeprowadzone zostało w warunkach klimatycznych Polski, jest to klimat umiarkowany, przejściowy, ciepły, odznaczający się dużą zmiennością czasową. Znaczna nieprzewidywalność pogody sprawia, że produkcja roślinna, a więc także uprawa jęczmienia jarego, obarczona jest klimatycznym ryzykiem [Żarski i in. 2013]. Ryzyko to związane jest z dużą częstością występowania okresów posuch meteorologicznych i rolniczych w rejonie największej koncentracji produkcji rolniczej, obejmującej obszar nizin centralnej Polski [Kozłowski i Michalska 2010, Łabędzki 2006, Ostrowski i Łabędzki 2008]. Według badań Kuśmierk-Tomaszewskiej i Żarskiego [2021], obejmujących 60-letni okres 1961-2020, posuchy te występują w około 30 % lat.

Optymalny termin siewu jęczmienia jarego w rejonie, w którym przeprowadzono eksperyment, to okres od 20 III do 5 IV. Jest on zależny od warunków termicznych występujących w danym okresie wegetacji. Minimalna temperatura gleby w momencie siewu powinna wynosić 3-4°C. W warunkach klimatycznych Polski charakteryzujących się dużą zmiennością przebiegu

warunków pogodowych w tych samym okresie kalendarzowych poszczególnych lat, termin siewu jęczmienia jarego uzależniony jest głównie od warunków termicznych okresu wiosennego [Szempliński 2003]. Optymalny termin siewu jęczmienia może zniwelować niekorzystny wpływ przyszłych warunków siedliskowych na jego plonowanie [Ziemińska i Tkaczuk 2017]. Przeprowadzenie siewu w możliwie wczesnym terminie wiąże się co prawda z pewnym ryzykiem, powoduje jednak wydłużenie okresu wegetacji, optymalizuje wykorzystanie wody z gleby, prowadzi do zwiększenia liczby kłosów i ich produktywności, w konsekwencji prowadzi do poprawy plonowania [Horoszkiewicz-Janka i in. 2012, Lauer i Partridge 1990]. Opóźnienie terminu siewu może niekorzystnie wpłynąć na cechy produkcyjne, takie jak rozkrzewienie, liczbę kłosów czy plon ziarna. Podczas trwania eksperymentu połowego warunki termiczne i pogodowe pozwoliły na przeprowadzanie siewu w optymalnym dla centralnej części Polski terminie, odpowiednio w poszczególnych latach, był to 23 III, 1 IV, 31 III. Warunki atmosferyczne przed siewem pozwoliły uzyskać zadowalające wchody.

Średnie temperatury powietrza w okresie od kwietnia do września w latach trwania doświadczenia, były zbliżone do wartości przeciętnych dla wielolecia 1991-2020. Zgodnie z metodą Lorenc [2014], poszczególne lata pod względem panujących warunków termicznych powietrza zostały sklasyfikowane kolejno jako: 2015 - normalny, 2016 - normalny, 2017- lekko chłodny. Jęczmień jest rośliną o krótkim okresie wegetacji, a jego rozwój przebiega bardzo intensywnie. Optymalne warunki pozawalają na prawidłowy przebieg poszczególnych faz rozwojowych. Według Słabońskiego [1985] temperatura podczas fazy krzewienia nie powinna przekraczać 18°C. Podczas trwania doświadczenia, średnia temperatura kwietnia w poszczególnych latach zawsze była niższa od przeciętnej dla wielolecia 1991-2020. Według klasyfikacji metodą Lorenc [2014], kwiecień 2015 roku był lekko chłodny, w 2016 normalny, w 2017 lekko chłodny. Podczas trwania doświadczenia wystąpiły korzystne warunki termiczne krzewienia roślin. Według autorów [Liszewski i Błażewicz 2001, Słaboński 1985] w rozwoju jęczmienna browarnego kluczowe są warunki pogodowe podczas fenofazy strzelania w źdźbło i kłoszenia. Badania Pecio [2002] wykazały, że w fazie strzelania w źdźbło i kłoszenia korzystna jest wysoka temperatura, od 17°C do 19°C i umiarkowane opady. Podczas trwania doświadczenia temperatura powietrza w maju i czerwcu nie odbiegała znacząco od średniej. Zgodnie z klasyfikacją termiczną, miesiące te były normalne lub zbliżone do normy. Pecio [2002] uważa, że po wykłoszeniu, ciepła i słoneczna pogoda sprzyja intensywnemu przebiegowi fotosyntezy i dobremu wypełnieniu ziarna. W poszczególnych latach prowadzenia eksperymentu średnie dobowe temperatury powietrza w czerwcu były zbliżone do wartości przeciętnych. Zasadnym jest więc stwierdzenie, że w analizowanym okresie wystąpiły przeciętne warunki termiczne dla wzrostu i rozwoju roślin jęczmienia.

Średnie temperatury powietrza to najprostszy, ale nie jedyny wskaźnik charakteryzujący warunki termiczne wegetacji roślin. Innym wskaźnikiem

pomocnym przy ocenie tych warunków być suma temperatur efektywnych. Miller i in. [2001] zauważają, że każda roślina wymaga dostarczenia specyficznej ilości ciepła z przejścia z jednej fazy rozwojowej od kolejnej w ciągu cyklu życiowego. Każda roślina potrzebuje określonej sumy temperatur, żeby przejść przez pełny cykl życiowy. Juskiw i in. [2001] podają, że w przypadku jęczmienia jest to 1455 stopniodni. Według opracowania Bauera i in. [1992] jęczmień jary do osiągnięcia pełnej dojrzałości potrzebuje od 700 do 1260 stopniodni. Zbliżone wyniki publikuje McMaster i in. [2005]. W roku 2015 suma temperatur efektywnych od siewu do zbioru jęczmienia wynosiła 1751,1 stopniodni, w analogicznym okresie w 2016 - 1726,5 stopniodni, a w 2017 było to 1681,8 stopniodni. W poszczególnych latach zbioru dokonano odpowiednio w 2015 roku 3 sierpnia, 2016-27 lipca, a w 2017 - 8 sierpnia. Warunki termiczne we wszystkich latach trwania eksperymentu połowego pozwoliły roślinom na prawidłowy wzrost i rozwój oraz przejście pełnego cyklu rozwojowego.

Kolejnym, według wielu badaczy najważniejszym czynnikiem decydującym o wzroście i plonowaniu roślin, jest czynnik wodny. Woda należy do związków nieorganicznych i jest niezbędna do życia wszelkich organizmów. Rośliny uprawiane w warunkach naturalnych narażone są na niekorzystne oddziaływanie czynników środowiska. Starck i in. [1995] uważają, że stres wodny jest jednym z głównych, abiotycznych czynników, na których działanie narażone są rośliny. Rejon centralnej Polski, na którym przeprowadzono eksperyment jest terenem o największych przeciętnych niedoborach opadów atmosferycznych pod względem kryterium klimatycznego w Polsce [Żarski i in. 2013]. Ponadto klimat Polski cechuje się dużą zmiennością czasową warunków meteorologicznych. Żarski i in. [2009] uważają, że pomimo postępu odmianowego i agrotechnicznego, głównym czynnikiem ograniczającym produkcję jęczmienia browarnego pozostaje zmienność czasowa wielkości i jakości plonu wynikająca ze zmienności warunków meteorologicznych, głównie warunków opadowych.

System korzeniowy odgrywa kluczową rolę w pobieraniu z gleby wody oraz składników odżywczych. Jęczmień jary jest zbożem o krótkim okresie wegetacji i najsłabiej rozwiniętym systemie korzeniowym spośród najważniejszych gatunków zbóż [Mazur i Grabowski 2008]. Powyższe cechy gatunkowe sprawiają, że jest to roślina bardzo narażona na skutki niedoboru opadów. Za krytyczne, pod względem zapotrzebowania na wodę fazy rozwojowe jęczmienia uważa się krzewienie, strzelanie w źdźbło oraz kłoszenie. Słaboński [1985] stwierdził, że podczas fazy krzewienia najbardziej optymalne są umiarkowane opady. Liszewski i Błazewicz [2001] uważają, że szczególnie ważne są warunki pogodowe podczas faz strzelania w źdźbło i kłoszenia, kiedy to jęczmień jest szczególnie narażony na niedobory wody. Pecio [2002] podaje, że na tym etapie wzrostu najkorzystniejsze są umiarkowane opady. W okresie po wykłoszeniu słoneczna i ciepła pogoda stwarza odpowiednie warunki dla intensywnego przebiegu fotosyntezy i dobrego wypełnienia ziarna. Niedobory wody na tym etapie wpływają niekorzystnie na jakość ziarna, prowadząc do wzrostu zawartości białka [Pecio i Kubsik 2006, Rozbicki 1994]. Ponadto pogorszeniu

ulega dorodność i wyrównanie ziarna. Niedobór wody na etapie każdej z poszczególnych faz rozwojowych może prowadzić do obniżenia poziomu plonowania.

W latach 1991-2020 sumaryczna wielkość opadów w okresie wegetacyjnym wyznaczona na podstawie pomiarów prowadzonych w Mochelku wynosiła 324,5 mm. Poszczególne lata, w których prowadzono doświadczenie, charakteryzowały się odmiennymi warunkami wodnymi. W roku 2015 suma opadów w okresie IV do IX wyniosła 193,3 mm, co stanowiło zaledwie 59,6% normy. Zgodnie z klasyfikacją RPI według Kaczorowskiej [1962], rok ten został sklasyfikowany jako bardzo suchy. Kwiecień, maj, czerwiec oraz lipiec, a więc miesiące podczas których przebiegają fazy wzrostu i rozwoju jęczmienia jarego browarnego sklasyfikowano jako suche lub bardzo suche. W analogicznym okresie 2016 roku suma opadów wyniosła 386,7 mm, czyli 111,2% normy, według klasyfikacji RPI był to rok wilgotny. Kwiecień i maj należy uznać za normalny pod względem ilości opadów, natomiast czerwiec i lipiec były bardzo wilgotne. Ostatni rok eksperymentu odznaczał się największymi opadami, które wyniosły 474,8 mm. Według klasyfikacji RPI był to okres bardzo wilgotny. Kwiecień oraz lipiec były bardzo wilgotne, maj i czerwiec cechowały opady na poziomie nie odbiegającym od wieloletniej normy.

Kolejnym zastosowanym w niniejszej pracy wskaźnikiem oceniającym warunki opadowe z uwzględnieniem czynnika termicznego był niedobór opadów. Istotą metody jest porównanie opadów optymalnych zestawionych przez Klatta z opadami rzeczywistymi. W roku 2015 wystąpiły niedobory w każdym z analizowanych miesięcy, od kwietnia do czerwca były to one bardzo duże, rośliny nie były odpowiednio zaopatrzone w wodę podczas całego okresu wzrostu i rozwoju. W początkowych fazach wzrostu (kwiecień i maj) również w 2016 roku opady były niewystarczające dla jęczmienia, w czerwcu opady były zbliżone do optymalnych, w lipcu znacznie wyższe. Podobnie w roku 2017 w lipcu wystąpił nadmiar opadów, a od kwietnia do czerwca większe lub mniejsze niedobory. Wyniki te są zbliżone do uzyskanych przez Radzką i in. [2013], których badania wskazały na większe prawdopodobieństwo wystąpienia niedoborów opadów w uprawie jęczmienia niż ich nadmiarów. Ponadto autorzy wykazali, że średnie nadmiary opadów dla zbóż jarych osiągały najwyższe wartości w lipcu, co jest zgodne z uzyskanymi wynikami własnymi.

Jednym z najbardziej niebezpiecznych zjawisk dla uprawy roślin są okresy bezopadowe, szczególnie szkodliwe w okresach krytycznego zapotrzebowania roślin na wodę. W 2015 roku dłuższe, niekorzystne ciągi dni bez opadu miały miejsce na przełomie maja i czerwca (łącznie 21 dni) oraz w kolejnych dniach czerwca (8 dni). W 2016 roku w maju wystąpiły dwa okresy bezopadowe trwające 9 i 10 dni, na początku czerwca wystąpił kolejny 12 dniowy okres bez opadu atmosferycznego. Z kolei w sezonie wegetacji 2017 roku wystąpił tylko jeden dłuższy ciąg dni bezopadowych, trwający od 15 do 23 maja. Dłuższe okresy bezopadowe mogą doprowadzić do wyczerpania zapasu wody w glebie i w konsekwencji do braku jej dostępności dla roślin.



Do oceny potrzeby przeprowadzenia nawadniania roślin w celu zapewnienia im ciągłego zapasu wody, wykorzystano metodę bilansu wody łatwo dostępnej opracowaną przez Drukę [1976]. Metoda ta polega na matematycznym obliczeniu różnicy pomiędzy przychodami i rozchodami wody z korzeniowej warstwy gleby. Z przeprowadzonego bilansu wynika, że w 2015 roku zapas wody łatwo dostępnej dla roślin na obiektach nienawadnianych wyczerpał się w trzeciej dekadzie maja i z przerwami stan taki trwał do zbiorów jęczmienia. Na podstawie bilansu można stwierdzić, że w 2016 roku wielkość i rozkład opadów zapewniły roślinom przez większość okresu wegetacji dostęp do wody łatwo dostępnej. Wyczerpanie tego zapasu stwierdzono dwukrotnie, przez 7 dni. W okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia jarego w 2017 roku wystąpiło kilka okresów deficytowych w wodę, jednak były one krótkie, trwały maksymalnie 4 dni.

Występowanie okresów posusznych jest zjawiskiem w wielu aspektach niekorzystnym dla roślin, zakłócającym m.in. pobieranie i transport azotu w roślinie. Liczne badania wykazały, że obniżenie zapasu wody łatwo dostępnej w glebie, prowadzi do obniżenia wielkości plonu, pogorszenia dorodności i celności ziarna oraz zwiększenia zawartości białka w ziarnie, a w konsekwencji do pogorszenia jego właściwości browarnej [de Ruyter 1999, Halvorson i Reule 2007, Pecio 2002]. Nawadnianie jest zabiegiem skutecznie przeciwdziałającym ujemnym skutkom występowania posuch rolniczych. Przeprowadzony eksperyment polowy miał na celu między innymi określenie wpływu nawadniania na wielkość i jakość plonu ziarna jęczmienia jarego. Dotychczas, pomimo wielu badań naukowych wykazujących znaczną efektywność produkcyjną, nawadnianie nie rozwinęło się w Polsce na szeroką skalę w produkcji polowej [Żarski 2006, Kuśmierk-Tomaszewska i Żarski 2021a]. Przyczyną takiego stanu rzeczy są przede wszystkim uwarunkowania infrastrukturalne i ekonomiczne. W Polsce nawadniane są głównie uprawy sadownicze oraz polowe uprawy warzyw.

Jednym z założeń przeprowadzania badań własnych było określenie wpływu nawadniania na rozwój i plonowanie roślin jęczmienia jarego. Rok 2015 z sumą opadów atmosferycznych w okresie IV-IX na poziomie 193,3 mm był bardzo suchy. Zapewnienie roślinom ciągłego dostępu do wody łatwo dostępnej wymagało zastosowania 5 dawek wody nawodnieniowej w łącznej wysokości 135 mm. Pierwszy raz deszczowanie przeprowadzono 26 maja, a ostatni raz 6 lipca. Jednorazowo wielkość dawki wynosiła od 20 do 30 mm. Terminy przeprowadzania deszczowania były zgodne z wynikami bilansu wodnego. W wilgotnym, charakteryzującym się opadami powyżej średniej (386,7 mm), roku 2016 wystąpiły mniejsze potrzeby nawadniania. Deszczowanie zastosowano w dwóch terminach, a mianowicie 24 maja (35 mm) i 8 czerwca (32 mm). Jak wykazał bilans wodny, nawadnianie było przeprowadzone w sposób prawidłowy, w odpowiednim czasie i pozwoliło uzupełnić zapasy wody łatwo dostępnej. Rok 2017 był bardzo wilgotny z sumą opadów w okresie IV-IX na poziomie 474,8 mm. W tym roku, w okresie od 29 maja do 28 czerwca trzykrotnie

przeprowadzono zabieg deszczowania, łącznie zastosowano 55 mm wody. Z przeprowadzonej analizy bilansu wodnego wynika, że nawadnianie zostało przeprowadzone w odpowiednim momencie i pozwoliło uniknąć dłuższych okresów wyczerpania zapasu wody w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu. Podczas trzech sezonów wzrostu i rozwoju jęczmienia, nawadnianie pozwoliło zapewnić roślinom ciągły dostęp do wody. Termin zastosowania i wielkość dawek nawodnieniowych w poszczególnych latach różniły się między sobą, wynika to ze zmienności czasowej klimatu w Polsce, nawodnienia miały charakter interwencyjny.

Potrzeby wodne jęczmienia jarego zostały określone przez licznych autorów. Ostrowski i Łabędzki [2008] oszacowali potrzeby wodne jęczmienia jarego na 360-370 mm. Na podstawie przeprowadzonej w Katedrze Rolniczych Podstaw Kształtowania Środowiska we Wrocławiu pod kierunkiem prof. J. Dzieżyca syntezy krajowych doświadczeń agrotechnicznych, stwierdzono wyraźne zależności między wysokością plonów roślin uprawnych, a sumą opadów w okresie wegetacji, określając potrzeby opadowe jęczmienia na 240-300 mm. Chmura i in. [2009] wykazują na możliwość spadku wielkości plonu roślin pod wpływem niedoboru, jak i nadmiaru opadów. Według ich badań zmniejszenie plonu jęczmienia na skutek opadów mniejszych od optymalnych wynosi od 6-27%, w przypadku opadów większych od optymalnych jest to spadek 5-13%.

Biorąc pod uwagę opady atmosferyczne oraz wodę dostarczoną przez nawadnianie rośliny miały do dyspozycji w 2015 roku 291,4 mm, w 2016 - 414,4 mm, a w 2017 - 375,8 mm. W odniesieniu do pierwszego roku doświadczenia była to ilość mniejsza od opadów optymalnych podawanych przez Ostrowskiego i Łabędzkiego [2008], w pozostałych latach ilość wody przekraczała opady optymalne.

Badania dotyczące plonowania jęczmienia jarego są bardzo liczne w literaturze polskiej i światowej. Dotyczyły one wpływu bardzo wielu różnych czynników. Testowano między innymi wpływ systemów uprawy, nawożenia, terminu i parametrów siewu, przedplonów, ochrony roślin, a również nawadniania. Prace autorów wskazują na istotne efekty produkcyjne wprowadzenia nawadniania do technologii uprawy jęczmienia jarego. Jak zauważają Rzekanowski i in. [2011] nawadnianie w Polsce, w odróżnieniu od krajów położonych w cieplejszych strefach klimatycznych, zasadniczo ma charakter interwencyjny. Celem nawadniania jest uzupełnienie okresowych niedoborów opadów atmosferycznych w stosunku do potrzeb wodnych roślin. Niedobory opadów wynikają ze zbyt małej ilości opadów w stosunku do potrzeb roślin. Dotyczy to zwłaszcza nizinnej, centralnej części kraju określanej często mianem obszaru szczególnie deficytowego w wodę [Żarski i in. 2011]. W warunkach klimatu umiarkowanego przejściowego charakterystycznego dla centralnej Polski, a zatem i rejonu Bydgoszczy, występuje duża zmienność czasowa wielkości i rozkładu opadów co znajduje odzwierciedlenie w wydajności produkcji roślinnej w kolejnych latach. [Żarski i in. 2013, Kuśmierk-Tomaszewska i Żarski 2021a]. Okresowe niedobory opadów

oddziałują na plonowanie roślin w sposób szczególnie niekorzystny na glebach o małych możliwościach retencji wody. W rejonie prowadzenia eksperymentu polowego, a więc w rejonie Bydgoszczy, znaczny udział stanowią gleby piaszczyste, odznaczające się niską pojemnością wodną. Wody gruntowe w tym rejonie zalegają na znacznych głębokościach, co ogranicza możliwość podsiąku. Wszystko to sprawia, że omawiany obszar objęty jest znacznym klimatycznym ryzykiem uprawy roślin. W związku z przewidywanymi zmianami klimatu w przyszłości, ryzyko to może jeszcze bardziej wzrosnąć. Potencjalne zmiany klimatu i ich wpływ na rolnictwo od wielu lat są obiektem zainteresowań bardzo wielu badaczy. Ziernicka-Wojtaszek [2006] oraz Czarnecka i Nidzgorska-Lencewicz [2012] udowodniły co prawda, że wieloletnie sumy opadów w Polsce nie wykazują istotnych trendów zmian, wskazały jednak na narastającą ich zmienność czasową. Kuchar i Iwański [2013] rozważają różne scenariusze zmian klimatu w Polsce na lata 2050-2060. W zależności od scenariusza opady pozostaną na aktualnym poziomie (scenariusz GISS) lub będą o około 30% mniejsze (scenariusze HadCM3 oraz GFDL R14). Niezależnie od przyjętego scenariusza, autorzy przewidują sięgający 20% wzrost wariancji opadów. Prognozowane zmiany klimatu mogą stać się impulsem do rozwoju nawodnień upraw rolniczych w Polsce. Innymi czynnikami przyspieszającymi rozwój nawadniania jest podnoszenie wydajności, konieczność uzyskania plonu o odpowiednich cechach jakościowych, a także zapewnienie konkurencyjności gospodarstw rolniczych.

Badania dotyczące wpływu nawadniania na wielkość plonu jęczmienia jarego były prowadzone między innymi w Złotnikach pod Poznaniem w filii Zakładu Doświadczalno-Dydaktycznego Gorzyń. W lokalizacji tej swoje doświadczenie w latach 2001-2004 przeprowadzili Borówczak i Rębarz [2010]. Uzyskali oni w konwencjonalnym systemie uprawy średnią wielkość plonu na poziomie  $34,3 \text{ dt ha}^{-1}$  dla wariantu bez deszczowania oraz  $49,7 \text{ dt ha}^{-1}$  po zastosowaniu deszczowania. Wzrost wielkości plonu ziarna wyrażony w wartościach względnych wyniósł 44,9%, a produktywność 1 mm wody z deszczowania  $18,12 \text{ kg mm}^{-1}$ . Dzieżyc i Nowak [1993], dokonując syntezy doświadczeń na glebach klasy IV, określili plon ziarna jęczmienia jarego w warunkach bez deszczowania na poziomie  $33,8 \text{ dt ha}^{-1}$  zastosowanie nawadniania przyczyniło się do wzrostu plonowania do poziomu  $42,2 \text{ dt ha}^{-1}$ . Zwyżka plonu wyniosła  $8,4 \text{ dt ha}^{-1}$  (25%) przy efektywności zastosowanej do nawadniania wody  $8,4 \text{ kg mm}^{-1}$ . W doświadczeniach Borówczaka i in. [1996] zwyżka plonu jęczmienia jarego pod wpływem deszczowania wynosiła  $8,1 \text{ dt ha}^{-1}$  (22%), a efektywność 1 mm wody nawodnieniowej  $10,8 \text{ kg ha}^{-1}$ . Żarski [2009] publikuje wyniki 17-letnich badań dotyczących nawadniania jęczmienia na glebie bardzo lekkiej w Kruszynie Krajeńskim. Wieloletnie doświadczenie wykazało średni przyrost plonu ziarna na poziomie  $26,7 \text{ dt ha}^{-1}$  (145%), średnia zwyżka plonu po zastosowaniu 1mm wody wyniosła  $24,3 \text{ kg ha}^{-1}$ . Wielkość uzyskanych w doświadczeniu plonów wyniosła odpowiednio  $18,4 \text{ dt ha}^{-1}$  (bez deszczowania),  $45,1 \text{ dt ha}^{-1}$  (deszczowanie). Nieco krótszą historię (8 lat) miały prowadzone w tej

samej lokalizacji badania dotyczące nawadniania jęczmienia browarnego. Wielkość plonu bez nawadniania wyniosła  $18,9 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ , z nawadnianiem  $41,9 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Uzyskany dzięki nawadnianiu wzrost plonowania wyniósł  $23,0 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  (122%). Efektywność 1mm wody nawodnieniowej wyniosła z kolei  $20,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Inne, późniejsze badania ośrodka bydgoskiego przeprowadzone w Stacji Badawczej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy wykazały wyższą plonu ziarna jęczmienia browarnego na poziomie  $17,2 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  (42%), efektywność 1 mm zastosowanej do nawadniania wody wyniosła  $21,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Uzyskany bez nawadniania plon wynosił  $40,9 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ , nawadnianie przyczyniło się do wzrostu plonu do poziomu  $58,1 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  [Żarski i in. 2019].

W doświadczeniu własnym przyrost plonu ziarna pod wpływem deszczowania wyniósł  $27,24 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ , procentowa wyżka plonu 63,5%, a efektywność 1 mm wody nawodnieniowej  $31,80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W przypadku badań własnych uzyskano zatem wyższą efektywność produkcyjną deszczowania od przytaczanych wyżej. Uzyskany bez nawadniania plon ziarna jęczmienia wynosił w latach 2015-2017 kolejno  $31,07 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $50,65 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $46,90 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ , średnio  $42,88 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Deszczowanie w każdym roku wpłynęło istotnie na wzrost wielkości plonu, średni uzyskany plon wynosił w warunkach deszczowania  $70,12 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ , było to kolejno  $75,11 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  (2015),  $78,28 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  (2016) i  $56,96 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  (2017). Uzyskane wyniki własne oraz wyniki innych badaczy wskazują na możliwość znaczącego wzrostu produktywności jęczmienia jarego, w tym browarnego, w warunkach stosowania uzupełniającego nawadniania.

Liczne są badania prowadzone nad wpływem nawożenia azotem na plon ziarna jęczmienia jarego. Koziara i in. [2007] prowadzili badania w latach 1997-2006 w Stacji Doświadczalnej Złotniki koło Poznania na glebie lekkiej. Metodyka doświadczenia obejmowała próbę kontrolną bez nawożenia azotem oraz nawożenie w wielkości  $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Nawożenie w formie saletry amonowej było stosowane w dwóch terminach:  $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  przed siewem, pozostała część w fazie krzewienia. Obiektem doświadczalnym była odmiana 'Stratus'. Podczas 10 lat badań Koziara i in. [2007] bez nawożenia uzyskali średni plon wielkości  $27,6 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ , na obiektach nawożonych wielkość plonu wynosiła  $32,1 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Badania wykazały wzrost plonu o  $4,5 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  (14%). Wpływ nawożenia azotem na plonowanie jęczmienia jarego był również przedmiotem badań Liszewskiego i in. [2011], które przeprowadzono w latach 2008-2009 na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Pawłowice koło Wrocławia. Doświadczenie przeprowadzono na glebie brunatnej, zaliczanej do klasy bonitacyjnej IIIb. Nawożenie azotem w postaci saletry amonowej zastosowano w 5 wariantach ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ): 0, 20, 40, 60, 60 (40+20 krzewienie), 60 (40+20 faza 2 kolanka). Nawożenie zastosowano przedsięwnie i pogłównie (dawki dzielone). Drugim czynnikiem doświadczenia była odmiana. Badania wykazały istotny wpływ nawożenia azotem na plon ziarna jęczmienia w obu latach badań. W analizowanych przedziałach wielkość plonu jęczmienia rosła wraz ze wzrostem dawki nawożenia azotem. Dla próby kontrolnej bez nawożenia azotem wielkość plonu wynosiła  $41,0 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ , dawki 20 i  $40 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  spowodowały istotny

przyrost plonu, dla  $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  było to  $53,5 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Sposób podziału dawki  $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  nie wpłynął istotnie na wielkość plonu. Różnica pomiędzy próbą kontrolną, a największym uzyskanym plonem wyniosła  $12,7 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Borówczak i in. [1996] przeprowadzili swoje doświadczenie w latach 1989-1992 na glebie płowej, zaliczanej do klasy bonitacyjnej IVa i IVb. Obiektem doświadczalnym była odmiana jęczmienia jarego 'Rudzik'. Zastosowano 4 poziomy nawożenia:  $0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Drugim czynnikiem doświadczenia było nawadnianie roślin. Uzyskane przez autorów wyniki wskazują na wzrost wielkości plonu po zastosowaniu dawek  $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  oraz  $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  dalsze zwiększanie nawożenia azotem spowodowało spadek plonowania. Podobna zależność wystąpiła zarówno w przypadku roślin nawadnianych, jak i nienawadnianych. Średnia uzyskana bez nawożenia wielkość plonu wyniosła  $34,1 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ , dla  $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  -  $42,8 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ , dla  $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  -  $45,4 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Nawożenie jęczmienia dawką  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  spowodowało spadek plonu do poziomu  $42,0 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Grabiński [2015] porównał wpływ intensywności uprawy na plonowanie jęczmienia. Doświadczenie przeprowadzono w latach 2013-2014 w stacji doświadczalnej w Osinach na glebie kompleksu pszennego dobrego. W 2013 roku zastosowano nawożenie azotem dawką  $125$  i  $155 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a w 2014  $138$  i  $168 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Nawożenie NPK oraz norma wysiewu były w każdym przypadku identyczne. W 2013 roku wspomniany wyżej autor uzyskał przy intensywnej technologii uprawy plon  $67,1 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a dla integrowanej  $66,4 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Zwiększenie dawki nawożenia poskutkowało wzrostem plonu jęczmienia o  $0,7 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W sezonie 2014 roku uzyskane plony to odpowiednio  $71,9 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$  oraz  $67,4 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Zwiększenie intensywności uprawy przez zastosowanie wyższego nawożenia azotem przyczyniło się do wzrostu plonowania o  $4,5 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Wpływu nawożenia azotem na plon jęczmienia dotyczyły również badania Sedlars i in. [2011]. Eksperyment polowy przeprowadzono w dwóch lokalizacjach (Humpolec i Ivanovice) na terenie Czech w latach 2007-2010, testowaniu poddana została odmiana jęczmienia jarego 'Jersey'. W doświadczeniu porównano między innymi nawożenie  $80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  (przedsiewnie) i  $130 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  (przedsiewnie i dodatkowo  $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  w fazie krzewienia). Wyniki badań nie są jednoznaczne, średnio jednak zwiększanie intensywności nawożenia azotem spowodowało spadek plonu w obu lokalizacjach, średnio o  $2,6 - 3,3 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Większość wyników badań zawartych w literaturze wskazuje na pozytywne efekty nawożenia azotem na poziom plonowania jęczmienia jarego. Zbyt wysokie dawki nawożenia mogą prowadzić jednak do spadku plonu, szczególnie w warunkach niedoboru wody.

W badaniach własnych zastosowano cztery warianty nawożenia azotem: próba kontrolna bez nawożenia,  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W 2015 roku zastosowanie nawożenia azotem nie różnicowało w sposób istotny wielkości plonu ziarna. W kolejnym roku doświadczenia wystąpiła istotna różnica między plonowaniem roślin nienawożonych oraz nawożonych poszczególnymi dawkami azotu. Istotna różnica plonu w 2017 roku dotyczyła roślin nienawożonych azotem i nawożonych  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W ujęciu średnim z

trzech lat prowadzenia badań, najmniejszy plon uzyskano z poletek, na których nie zastosowano nawożenia, a najwyższy na stanowiskach nawożonych 30 kg N·ha<sup>-1</sup>.

W badaniach własnych potwierdzono współdziałanie deszczowania i nawożenia azotem w zwiększaniu plonu ziarna jęczmienia jarego. Korzystny wpływ interakcji na wielkość plonu stwierdzono w suchym sezonie 2015 roku oraz w okresie wegetacji 2016 roku. W bardzo wilgotnym roku 2017 zastosowanie deszczowania i wyższych dawek nawożenia azotem przyczyniło się do wylegania roślin i obniżenia plonu.

Oprócz wielkości plonu ziarna, celem pracy była ocena wpływu nawadniania i nawożenia azotem na cechy jakościowe ziarna pod względem przydatności dla przemysłu browarniczego. Jednym z najważniejszych parametrów jest zawartość białka w ziarnie. Ziarno przeznaczone do produkcji piwa powinno charakteryzować się zawartością białka w przedziale 9,5-11,5%. Ścisłe doświadczenie polowe Żarskiego i in. [2009] zostało przeprowadzone w latach 2006-2008 na polu doświadczalnym Stacji Badawczej ówczesnego Wydziału Rolniczego UTP Bydgoszcz, zlokalizowanej w Mochelku koło Bydgoszczy. Obiektem badań była odmiana browarna jęczmienia jarego 'Poldek', pierwszym czynnikiem doświadczenia było deszczowanie, a drugim nawożenie azotem. Ziarno jęczmienia uprawianego w powyższym doświadczeniu charakteryzowało się, w zależności od czynników doświadczenia, zawartością białka w przedziale 11,95-13,18%. Bez nawadniania średnia zawartość białka wyniosła 12,60%, nawadnianie spowodowało obniżenie tej zawartości do poziomu 12,11%. W innych badaniach Żarski i in. [2013] porównywali reakcję dwóch odmian jęczmienia browarnego na nawadnianie i nawożenie azotem. Badanie przeprowadzono w latach 2010-2011, testowano odmiany 'Mauritia' oraz 'Marthe'. W przypadku odmiany 'Mauritia' zastosowanie deszczowania spowodowało spadek zawartości białka w ziarnie z 13,4% do 12,4%. Minimalne dla przemysłu piwowarskiego wymogi spełniało ziarno z poletek nienawadnianych i nienawożonych (zawartość białka 11%). W przypadku drugiej testowanej odmiany wystąpiła podobna zależność. Deszczowanie spowodowało spadek zawartości białka w ziarnie z 13,5% do 12,6% (spadek o 0,9%). Wyniki badań zagranicznych wskazują na podobną zależność. Badania Stevensa i in. [2015] zostały przeprowadzone w latach 2005-2011 w Nesson Valley w Północnej Dakocie. W eksperymencie oprócz czynnika wodnego sprawdzono wpływ nawożenia, uprawy roli i systemu uprawy. W doświadczeniu nawadnianie spowodowało spadek zawartości białka w ziarnie średnio o 11%, w poszczególnych latach i wariantach czynników, spadek ten wynosił od 1 do 19%.

Wyniki badań własnych są zbieżne z literaturą. W pierwszym roku eksperymentu polowego wprowadzenie nawadniania spowodowało spadek zawartości białka z 13,53% do 11,93%. Badania przeprowadzone w sezonie 2016 roku potwierdziły tę zależność. Deszczownie spowodowało spadek zawartości białka z 14,72% do 12,00%. Biorąc pod uwagę wszystkie warianty i całkowity

czas trwania doświadczenia (2015-2017), deszczowanie spowodowało spadek zawartości białka z 13,24% do 11,81%.

Drugim z testowanych w doświadczeniu czynników było nawożenie azotem. Liszewski i in. [2011] w swoim eksperymencie w latach 2008-2009 przetestowali dwie odmiany jęczmienia browarnego: 'Sebastian' i 'Mauritia'. Czynnikiem doświadczenia było nawożenie w następujących dawkach ( $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ): 0, 20, 40, 60, 60 (40+20 w fazie krzewienia), 60 (40+20 strzelania w źdźbło). Nawożenie zasadniczo przeprowadzono przedsięwzięcie w dwóch przypadkach zostało uzupełnione w trakcie wegetacji. W doświadczeniu autorzy uzyskali wyrównane średnie wyniki zawartości białka w ziarnie w przedziale od 10,7% do 11,3%. Ziarno spełniało normy branżowe pod względem przydatności słodowniczej. W dwóch latach doświadczenia zawartość białka w ziarnie rosła wraz ze wzrostem intensywności nawożenia azotem. Różnica między odmianami była nieistotna. Identyczne dawki nawożenia azotem zastosowali w swoich badaniach Błażewicz i in. [2011]. Doświadczenie zostało przeprowadzone w latach 2008-2010. Uzyskane wyniki świadczą o wzroście koncentracji białka w ziarnie pod wpływem nawożenia azotem. Średni wyniki dla próby kontrolnej bez nawożenia wynosił 10,8%, po zastosowaniu nawożenia  $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  zawartość białka w ziarnie wzrosła do 11,3%. Niezależnie od wariantu nawożenia azotem, koncentracja białka w ziarnie jęczmienia nie przekraczała maksymalnej, dopuszczonej przez przemysł browarniczy wartości. Również badania Jankovic i in. [2011] wskazują na podobną zależność pomiędzy nawożeniem azotem a zawartością białka w ziarnie. Eksperyment przeprowadzono w rejonie Timocka w Serbii (lata 2008-2010). Testowaniu poddano cztery odmiany jęczmienia ozimego: Kristal, Premijum, Novi Sad 519, Novi Sad 525. Zastosowano 5 wariantów nawożenia azotem: próba kontrolna  $0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $20 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $40 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , dodatkowo w każdym z wariantów zaaplikowano  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  w fazie strzelania w źdźbło. Dla każdej z testowanych odmian koncentracja białka w ziarnie rosła wraz ze zwiększaniem dawek nawożenia azotem. Najniższa zawartość wystąpiła w przypadku braku nawożenia, odpowiednio 11,40% (Kristal), 10,87% (Premijum), 10,90% (Novi Sad 519), odmiana Novi Sad 525 odznaczała się zbyt wysoką dla przemysłu browarniczego zawartością białka (12,15%) w ziarnie, nawet bez nawożenia azotem. Największa zawartość białka w ziarnie wystąpiła po zastosowaniu najwyższego nawożenia azotem i wynosiła odpowiednio: 13,38% (Kristal), 12,97% (Premijum), 13,77% (Novi Sad 519), Novi Sad 525 13,70%. Wyniki badań własnych są zbieżne w wynikami prezentowanymi w literaturze. Wzrost wielkości nawożenia azotem prowadził do wzrostu koncentracji białka w ziarnie. Dla próby kontrolnej koncentracja białka w ziarnie wyniosła w: 2015 11,15%, 2016 12,20%, 2017 9,65%. Największą koncentracją białka odznaczało się ziarno zebrane z roślin nawożonych dawką  $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , było to odpowiednio w latach: 2015 13,65%, 2016 14,20%, w 2017 13,15%. W ujęciu średnim zawartość białka w ziarnie roślin nawożonych dawką  $90 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  była o 2,67 punktu procentowego większa niż w przypadku roślin nienawożonych. Zasadnym jest

zatem stwierdzenie, że wzrost intensywności nawożenia azotem prowadził do pogorszenia jakości ziarna jako surowca dla przemysłu browarniczego. W doświadczeniu własnym niekorzystny wpływ nawożenia azotem był niwelowany przez nawadnianie. Deszczowanie roślin pozwoliło na aplikacje większych dawek nawożenia azotem umożliwiających uzyskanie większego plonowania przy jednoczesnym zachowaniu pożądanych cech jakościowych ziarna.

Ziarno jęczmienia przeznaczone do procesu słodowania powinno charakteryzować się dużą masą tysiąca ziaren (MTZ). Badania Żarskiego i in. [2009] wskazują na korzystny wpływ nawadniania na dorodność ziarna. Poddanie roślin jęczmienia jarego odmiany 'Poldek' odmiennym warunkom wodnym wykazało wzrost MTZ pod wpływem deszczowania. MTZ pod wpływem nawadniania zwiększyła się z 41,4g do 47,4g (14,49%). Inne badania tych samych autorów [Żarski i in. 2013] wykazują podobną zależność dla odmiany 'Mauritia' oraz 'Marthe'. W przypadku pierwszej z wymienionych odmian nawadnianie spowodowało wzrost MTZ z 40 do 41,5g (wzrost o 3,75%). MTZ odmiany 'Marthe' była mniejsza, wprowadzenie deszczowania poskutkowało wzrostem omawianej cechy z 37,6 do 40g (6,38%). Sharma i Verma [2010] przeprowadzili badania w Kamal w Indiach w latach 2002-2004, na glebie piaszczystej. Testowaniu poddano 4 odmiany jęczmienia browarnego. Zastosowano trzy warianty nawadniania po: 30, 30 i 60, 30, 60 i 90 dniach po siewie. Drugim czynnikiem doświadczenia było nawożenie azotem. Autorzy niezależnie od wariantu nawadniania uzyskali bardzo wyrównane wyniki. MTZ po zastosowaniu nawadniania w: 30 dni od siewu wyniosła 48,9g; w 30 i 60 48,7 g; w 30, 60 i 90 było to 48,2g. W dwóch spośród trzech lat trwania doświadczenia własnego deszczowanie wpłynęło pozytywnie na MTZ. W 2015 i 2016 roku MTZ wzrosła w istotny sposób po zastosowaniu nawadniania. W 2015 nastąpił wzrost z 48,44g do 57,50g (26,5%), w 2016 wzrost MTZ był mniejszy i wynosił 1,56 g (3,1%). W ostatnim sezonie prowadzenia doświadczenia MTZ zebranego z poletek nawadnianych wynosiła 47,47 g i była mniejsza od MTZ uzyskanego z poletek nienawadnianych (50,38 g).

Innym czynnikiem wpływającym na MTZ jest również nawożenie azotowe. Liszewski i in. [2011] przetestowali dwie odmiany jęczmienia jarego pod kątem wpływu nawożenia azotem na cechy ziarna jęczmienia browarnego. Jedną z analizowanych cech była MTZ. Nawożenie azotem wpłynęło na istotne różnicowanie MTZ z jednym z dwóch lat trwania eksperymentu, trudno jednak jednoznacznie wskazać kierunek stwierdzonych zmian. Wzrost przedsięwziętych dawek azotu do poziomu 60 kg N·ha<sup>-1</sup> spowodował wzrost MTZ z 40,1g do 40,7g. Podział dawki i nawożenie pogłówne spowodowało z kolei spadek MTZ. W innych badaniach przeprowadzonych w latach 2008-2010 w hali vegetacyjnej IUNG-BIP w Puławach Noworolnik [2013] testował reakcje 8 odmian jęczmienia jarego na nawożenie azotem. Badano reakcje odmian: Mercada, Rubinek, Signora i Toucan (2008–2009 seria I) oraz Kormoran, Rufus, Skald i Victoriana (2009–2010 seria II) na 3 poziomy nawożenia azotem. W I serii badań MTZ pod wpływem wzrostu wielkości dawek azotu wprawdzie uległa



nieznacznemu spadkowi, jednak nie wykazano różnicy istotnej statystycznie. Nastąpił spadek MTZ z 49,5g do poziomu 48,3g. W II serii zaobserwowano identyczną zależność, MTZ spadła pod wpływem wzrostu intensywności nawożenia azotem z 50,3g do 47,2g. W tym przypadku była to różnica istotna. Zmniejszenie MTZ pod wpływem wzrostu dawek azotu zaobserwowano dla każdej z testowanych odmian. Istotny wpływ nawożenia azotem na MTZ wykazały również badania prowadzone przez Sharma i Verma [2010]. W przypadku zastosowania nawadniania 30 i 60 dni po siewie, wzrost intensywności nawożenia azotem z 30 do 60 kg N·ha<sup>-1</sup> powodował wzrost MTZ, a dalsze zwiększanie dawki azotu powodowało spadek MTZ. Wprowadzenie dodatkowej dawki nawodnieniowej 90 dni po zasianiu roślin niwelowało niekorzystny wpływ nawożenia azotem, MTZ zwiększyła się z 47,3 g do 48,9 g. Badania własne wykazały pogorszenie dorodności ziarna jęczmienia jarego pod wpływem nawożenia azotem. Według wyników średnich z 3-letnich badań nawożenie azotem przyczyniło się do zmniejszenia MTZ z 52,60 g (poziom N<sub>0</sub>) do 49,62 (poziom N<sub>3</sub>). Zmniejszenie to zachodziło zarówno na stanowiskach nienawadnianych, jak i w warunkach nawadniania. Wpływ nawożenia azotem na pogorszenie dorodności ziarna jęczmienia browarnego stwierdzono w bardzo suchym sezonie 2015 roku oraz w bardzo wilgotnym okresie 2017 roku.

O przydatności ziarna do procesu słodowania decyduje także wyrównanie ziarna. Wyrównane ziarno równomiernie chłonie wodę w procesie słodowania, odznacza się wyrównaną i obniżoną zawartością białka oraz lepszą jakością mikrobiologiczną, w rezultacie umożliwia otrzymanie wysokiej jakości słodu. Wojtasik [2004] poddał analizie wyrównanie ziarna jęczmienia jarego. Średni uzyskany przez autora dla odmiany 'Orlik' wynik analizy przeprowadzonej na sitach o wymiarze oczek 2,8x2,5 to 78,9%. Nawadnianie przyczyniło się do poprawy wyrównania ziarna z 72,8% do 85%, (wzrost o 14,2 punktu procentowego). Średni wynik wyrównania ziarna odmiany 'Rudzik' na sitach o identycznych parametrach wyniósł 80%. Nawadnianie przyczyniło się do poprawy wartości cechy z 73,1% do 86,9% (wzrost o 13,8 punktu procentowego). Jak podają Błażewicz i in. [2011] procentowy udział ziarna o grubości >2,5mm nie powinien być mniejszy niż 85%. Wspomniany autor w swoich badaniach do frakcjonowania ziarna wykorzystał sita Vöglä. Ocenie poddano dwie odmiany jęczmienia jarego. W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono, że nawadnianie odmiany 'Mauritia' spowodowało wzrost udziału frakcji ziarna >2,5mm z 63,6% do 87,2% (23,6 punktu procentowego). Odmiana 'Marthe' zareagowała w podobny sposób na nawadnianie, zabieg ten skutkował wzrostem udziału omawianej frakcji ziarna z 66,2% do 83,7% (17,5 punktu procentowego). Również Żarski i in. [2013], określili udział frakcji ziarna o grubości >2,5mm. Deszczowanie jęczmienia jarego odmiany 'Mauritia' spowodowało wzrost udziału frakcji ziarna 2,5mm z 79,1% do 91% (11,9 punktu procentowego). W przypadku odmiany 'Marthe' wyrównanie ziarna wzrosło z 78,9% do 89,4% (10,5 punktu procentowego). W badaniach własnych wyrównanie ziarna określono za pomocą sit o wymiarach oczek 2,8x2,5mm, oraz

2,5x2,5mm. Przeciętny udział frakcji ziarna oznaczonej na sitach o wymiarach 2,8x2,5mm zebranych z poletek nienawadnianych wyniósł 73,35%, z nawadnianych 78,36%. Deszczowanie spowodowało wzrost o 5,01 punktu procentowego. W 2015 roku nawadnianie ziarno zebrane w obiektach kontrolnych dla czynnika wodnego charakteryzowało się celnością na poziomie 66,62%, a z nawadnianych 90,92%, nastąpił wzrost o 24,3 punktu procentowego. W drugim roku eksperymentu polowego (2016 rok) ziarno uzyskane w warunkach bez i z nawadnianiem było bardzo zbliżone (0,51 punktu procentowego różnicy) pod względem wyrównania na sicie 2,8x2,5 mm, celność wynosiła odpowiednio 70,17% i 70,58%. W sezonie 2017 roku wystąpiła odwrotna zależność. Ziarno uzyskane z poletek nienawadnianych odznaczało się większym wyrównaniem. Różnica wyniosła 9,68 punktu procentowego, uzyskane rezultaty to: 83,25% bez nawadniania, 73,57% w warunkach nawadniania. Na potrzeby oceny wyrównania ziarna przeprowadzono również analizę na sitach o wymiarach 2,5x2,5 mm. Uzyskane wyniki nie odzwierciedlają zależności pomiędzy wynikami wykazanymi przy analizie na sicie o średnicy oczek 2,8x2,5 mm. Ziarno zebrane z poletek nienawadnianych odznaczało się celnością na poziomie 96,30%, deszczowanie przyczyniło się do pogorszenia jakości ziarna pod względem omawianej cechy do poziomu 95,76%. W roku 2015 ziarno zebrane z poletek nienawadnianych cechowało się wyrównaniem na poziomie 95,12%, nawadnianie spowodowało wzrost do 98,82%. W 2017 i 2018 roku po zastosowaniu nawadniania nastąpił spadek wyrównania ziarna na sicie o omawianych parametrach. W roku 2016 celności ziarna wyniosły 0,47 punktu procentowego, uzyskane wartości to: 96,35% (bez nawadniania) i 95,54% (po zastosowaniu nawadniania). W 2017 roku z poletek nienawadnianych zebrano ziarno o celności 97,44% natomiast po zastosowaniu nawadniania wyrównanie ziarna oceniane na sicie 2,5x2,5mm spadło do poziomu 92,91% (4,53 punktu procentowego różnicy).

Przeprowadzono również badania dotyczące wpływu nawożenia azotem na cechy jakościowe ziarna w tym również jego celność. Żarski i in. [2013] porównali reakcję dwóch odmian jęczmienia browarnego na zmienne poziomy nawożenia azotem. W analizie wyznaczono udział frakcji ziarna >2,5mm. Wzrost wielkości nawożenia azotem skutkowało pogorszeniem celności ziarna obu testowanych odmian. Bez nawożenia ziarno odmiany 'Mauritia' odznaczało się celnością 91,5%, wartość systematycznie spadała wraz ze wzrostem wielkości zastosowanych dawek azotu do poziomu 82,2% dla 90 kg N·ha<sup>-1</sup>. Reakcja odmiany 'Marthe' była jeszcze silniejsza niż w przypadku odmiany 'Mauritia'. Analiza ziarna zebranego z poletek nienawożonych wykazała celność na poziomie 93,5%. Już zastosowanie 30 kg N·ha<sup>-1</sup> spowodowało spadek wyrównania udziału omawianej frakcji ziarna o blisko 10 punktów procentowych, dalszy wzrost intensywności nawożenia azotem powodował dalsze pogorszenie jakości ziarna pod względem wyrównania. Celność ziarna po zastosowaniu dawki 90 kg N·ha<sup>-1</sup> wyniosła 78,8%, o 14,7 punktu procentowego mniej w porównaniu do próby kontrolnej. Wpływ nawożenia na celność ziarna

badali również Liszewski i in. [2011]. Autorzy nie wykazali istotnego zróżnicowania celności ziarna ( $>2,5\text{mm}$ ) pod wpływem nawożenia azotem dla żadnej z testowanych odmian w obu latach trwania eksperymentu. Badania Błażewicza i in. [2013] wykazały natomiast spadek udziału frakcji ziarna  $>2,5\text{mm}$  na skutek wzrostu wielkości dawek nawożenia azotem, zależność potwierdzono dla obu testowanych odmian ('Mauritia' i Marthe'). Wzrost wielkości dawek nawożenia azotem poskutkował spadkiem celności ziarna odmiany 'Mauritia' z 86,3% (bez nawożenia) do 70,8% ( $60\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Ziarno odmiany 'Maethe' uzyskane z roślin nienawożonych charakteryzowało się celnością na poziomie 90,2%, wzrost dawek nawożenia azotem powodował systematyczny spadek jakości ziarna pod względem omawianej cechy. Celność ziarna po zastosowaniu najwyższej testowanej dawki azotu ( $90\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) wyniosła 66,6%. Przedstawione przez autorów wyniki świadczą również o niwelowaniu niekorzystnych skutków nawożenia azotem przez zastosowanie zabiegu nawadniania. Spadek wyrównania ziarna na skutek wzrostu intensywności nawożenia azotem wykazał w swoich badaniach również Noworolnik [2013]. W roku 2009 wzrost intensywności nawożenia spowodował spadek udziału frakcji  $>2,5\text{ mm}$  z 88% do 85%. W 2010 roku reakcją na omawiany czynnik był spadek celności ziarna z 86% do 80%, nie wykazano jednak istotności różnicy. Na potrzeby badań własnych przeprowadzono analizę wyrównania ziarna na sitach oczkach wielkości  $2,8\times 2,5\text{ mm}$ , oraz  $2,5\times 2,5\text{ mm}$ . Uzyskane wyniki potwierdzają negatywny wpływ nawożenia azotem na wyrównanie ziarna. W poszczególnych latach udział ziarna pozostającego na sicie o wymiarach oczek  $2,8\times 2,5\text{mm}$  był największy w przypadku ziarna zebranego z roślin nienawożonych azotem, w kolejnych latach było to odpowiednio: 88,43% (2015), 69,42% (2016), 87,73% (2017). Uzyskane wyniki świadczą o czasowej zmienności omawianej cechy, wywołanej odmiennymi warunkami w poszczególnych okresach wegetacji. Zwiększanie intensywności nawożenia azotem w latach 2015 i 2017 powodowało systematyczny spadek wyrównania ziarna. W roku 2016 nie zaobserwowano jednoznacznego kierunku reakcji roślin jęczmienia na nawożenie azotem, w stosunku do analizowanej cechy. Po zastosowaniu najwyższej testowanej dawki nawożenia azotowego uzyskano wyrównanie ziarna na poziomie: 71,83% (2015), 70,80% (2016) i 67,49% (2017). Analiza wyrównania ziarna przeprowadzona na sicie o wymiarach  $2,5\times 2,5\text{ mm}$  wykazała podobne zależności pomiędzy wielkością nawożenia azotem, a wyrównaniem ziarna. Celność ziarna uzyskanego z poletek nienawożonych wynosiła 97,46% i malała wraz ze wzrostem dawki nawożenia. Po zastosowaniu  $90\text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  uzyskano ziarno o celności na poziomie 94,46%. Analiza wyrównania ziarna na sicie o wymiarach oczek  $2,5\times 2,5\text{ mm}$  potwierdziła tę zależność w latach 2015 i 2017.

Zagadnienie wpływu nawadniania na ekstraktywność teoretyczną ziarna jęczmienia browarnego między innymi Żarski i in. [2013]. W badaniach stwierdzono, że ekstraktywność ziarna odmiany 'Mauritia' zebranego z poletek nienawadnianych wyniosła 78,4%, ziarno uzyskane z poletek nawadnianych

odznaczało się ekstraktywnością o 0,9 punktu procentowego większą. Ekstraktywność ziarna odmiany 'Marthe' po zastosowaniu nawadniania, wzrosła o 1 punkt procentowy z 78,1% do 79,1%. W obu przypadkach istotność wpływu nawadniania na ekstraktywność ziarna, została potwierdzona statystycznie. W tych samych badaniach autorzy potwierdzili również istotny wpływ nawożenia azotem na omawianą cechę. Wzrost intensywności nawożenia azotem prowadził do obniżenia ekstraktywności teoretycznej ziarna. Ekstraktywność ziarna odmiany 'Mauritia' zebranego z poletek nienawożonych wynosiła 80,4%. Zwiększanie dawki nawozu azotowego prowadziło do stopniowego pogorszenia ekstraktywności, do poziomu 77,8% w warunkach stosowania dawki 90 kg N·ha<sup>-1</sup>. Ziarno odmiany 'Marthe' pod wpływem wzrostu intensywności nawożenia azotem, cechowało się obniżoną ekstraktywnością z 80,5% do 77,1%. Wpływ nawożenia na ekstraktywność ziarna został potwierdzony statystycznie. Ekstraktywność teoretyczna ziarna jęczmienia w swoich badaniach oznaczyli również Liszewski i in. [2011]. Uzyskane wyniki potwierdzają negatywne oddziaływanie nawożenia azotem na ekstraktywność teoretyczną ziarna. Bez nawożenia azotem wynosiła ona 80,6%, po zastosowaniu 40 kg N·ha<sup>-1</sup> i uzupełnieniu o kolejne 20 kg N·ha<sup>-1</sup> w czasie wegetacji roślin ekstraktywność zmniejszyła się istotnie do poziomu 80,2%. Ziarno uzyskane z roślin nienawadnianych cechowało się ekstraktywnością na poziomie 78,98%, deszczowanie wpłynęło pozytywnie na omawianą cechę (wzrost do 80,27%). Wzrost wielkości nawożenia azotem skutkował spadkiem teoretycznej ekstraktywności ziarna. Ekstraktywność ziarna zebranego z roślin nienawożonych wynosiła 80,88%, po zastosowaniu 90 kg N·ha<sup>-1</sup> zmniejszyła się do 78,62%. Wzrost intensywności nawożenia azotem skutkował pogorszeniem ekstraktywności teoretycznej ziarna, zarówno bez jak i z nawadnianiem.

Uzyskane w doświadczeniu własnym wyniki są zbieżne z większością wyników uzyskanych i przedstawionych w literaturze naukowej zarówno polskiej, jak i światowej. Wyniki własne oraz prezentowane w literaturze wskazują na istotny wzrost wielkości plonów roślin uprawnych pod wpływem deszczowania. Żarski [2009] wykazuje, że efektem produkcyjnym nawadniania roślin zbożowych są przyrosty plonów ziarna oraz zmiany jakościowe plonu. Ponadto nawadnianie pozwala zmniejszyć klimatyczne ryzyko uprawy, stabilizując plon na wyższym poziomie. Według badań ośrodka bydgoskiego [Rzekanowski i in. 2011, Żarski i in. 2011] nawadnianie wywiera korzystny wpływ na wielkość i jakość plonów, będąc skutecznym sposobem przeciwdziałania skutkom niedoboru wody. Wyniki doświadczenia własnego potwierdzają pozytywny wpływ nawadniania na wielkość plonu jęczmienia jarego. Uzyskane pod wpływem nawadniania ziarno cechowało się lepszymi parametrami: było bardziej dorodne, bardziej wyrównane, cechowało się mniejszą zawartością białka oraz większą ekstraktywnością. Pozytywny wpływ na efekty produkcyjne jęczmienia jarego wykazały badania wielu autorów prowadzących badania w kraju [Borówczak i Rębarz 2010, Dzieżyc i Nowak 1993, Wojtasik 2004, Żarski i in. 2013, Żarski i in. 2018]. Podobne wyniki

wykazały również badania zagranicznych autorów [Sharma i Verma 2010, Stevens i in. 2015].

Wyniki pracy wielu autorów wskazują na znaczne korzyści produkcyjne wynikające z wprowadzenia nawadniania do technologii uprawy jęczmienia jarego uprawianego z myślą o przeznaczaniu do produkcji słodu. Rozwój nawodnień w Polsce ma obecnie miejsce przede wszystkim w uprawie roślin warzywnych oraz sadowniczych. Nawadnianie roślin zbożowych w Polsce dotychczas nie rozpowszechniło się na szeroką skalę. Czynnikiem niesprzyjającym rozwojowi nawadniania zbóż w Polsce są między innymi wysokie koszty inwestycji oraz eksploatacji czy ograniczone zasoby wody dyspozycyjnej do nawodnień [Żarski 2009]. Na wysokie koszty nawadniania uwagę zwracają również Prokopowicz i Lipiński [2008]. O praktycznym wykorzystaniu zabiegów agrotechnicznych w poszczególnych uprawach zazwyczaj decyduje efekt ekonomiczny ich zastosowania. W literaturze polskiej poruszany był aspekt ekonomiczny nawadniania warzyw i roślin sadowniczych [Kula i Lipiński 2017, Lipiński 2012, Lipiński 2015, Lipiński 2016]. Oceny efektów ekonomicznych nawadniania jęczmienia jarego w literaturze polskiej podjęli się badacze z ośrodka bydgoskiego [Kledzik i in. 2015].

Analizę efektów ekonomicznych nawadniania jęczmienia jarego rozpoczęto od kalkulacji kosztów inwestycji oraz eksploatacji urządzeń do nawadniania. Założono zastosowanie systemu deszczownianego. W przeprowadzonej analizie przyjęto trzy poziomy cen (2015-2017, 2019-2022, 2022). Niezależnie od przyjętego wariantu całkowity koszt inwestycji wzrastał wraz z wielkością nawadnianej powierzchni. Mała natomiast koszty jednostkowe (w przeliczeniu na 1ha). Największą część kosztów rocznych stanowiła amortyzacja, a w dalszej kolejności koszty energii i oprocentowanie kapitału. Uzyskane wyniki są pod tym względem zgodne z wcześniejszą oceną dokonaną przez Kledzika i in. [2015]. Całkowity roczny, jednostkowy koszt nawadniania wahał się w zależności od przyjętego wariantu cen w granicach 960,81-3172,11 złha<sup>-1</sup> (wariant I), 1104,93-3647,93 złha<sup>-1</sup> (wariant II), 1249,05- 4123,74 złha<sup>-1</sup> wariant III). Po stronie kosztów uwzględniono również przyrost kosztów rolniczych wynikający ze wzrostu produkcji. Końcowy rezultat analizy efektywności ekonomicznej nawadniania stanowiło zestawienie dodatkowej wartości produkcji z poniesionymi kosztami. Nawadnianie jęczmienia jarego na powierzchni 1 ha okazało się nieopłacalne bez względu na przyjęty poziom cen. Wykazana strata w zależności od wariantu poziomu cen wynosiła od 1778,80 złha<sup>-1</sup> do 1347,50 złha<sup>-1</sup>. Kalkulacja wykazała nadwyżkę bezpośrednią dla wszystkich pozostałych wielkości nawadnianej plantacji. Dla wariantu I największą nadwyżką bezpośrednią 919,85 złha<sup>-1</sup> wykazano dla powierzchni 30ha. Maksymalna wartość nadwyżki w wariantcie II wniosła 919,85 złha<sup>-1</sup> (dla 30 ha), w wariantcie III 1407,17 złha<sup>-1</sup> (dla 30ha). Wynik ekonomiczny nawadniania jęczmienia jarego jest zależny od poziomu cen i wielkości nawadnianej plantacji. Żarski [1993] wykazał opłacalność nawadniania jęczmienia jarego na glebie lekkiej pod warunkiem zastosowania odpowiedniego nawożenia. Przeprowadzona przez

Kledzika i in. [2015] kalkulacja nie wykazała ekonomicznego uzasadnienia wprowadzenia nawadniania do uprawy jęczmienia jarego, niezależnie od wielkości nawadnianej powierzchni. Wojtasik [2004] stwierdza, że pomimo uzyskania wysokich wyników produkcyjnych, nawadnianie jęczmienia jarego jest nieopłacalne.

W badaniach własnych podjęto próbę oceny czasu zwrotu inwestycji poniesionych na nawadnianie jęczmienia browarnego. Wprowadzenie nawadniania na powierzchni 1 ha jest nieopłacalne ekonomicznie niezależnie od przyjętego wariantu cen. Czas zwrotu inwestycji ulega skróceniu wraz ze wzrostem nawadnianego arealu. W pierwszym analizowanym wariantcie cen zwrot kosztów inwestycji nastąpił by w okresie od ok 11 (30 ha) do 35 lat (5 ha). Wyższy poziom cen przyjęty w wariantcie III umożliwiłby zwrot kosztów inwestycji w znacznie krótszym czasie 4-7 lat. Wyniki przeprowadzonych kalkulacji pokazują związek między efektami ekonomicznymi nawadniania, a poziomem cen po stronie kosztów i cen zbytu uzyskanej produkcji.

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki badań własnych, potwierdzają postawioną hipotezę badawczą. Zastosowanie zabiegu nawadniania skutkowało istotnym wzrostem wielkości plonu ziarna jęczmienia jarego. Zabieg nawadniania korzystnie wpływał na cechy jakościowe ziarna, które było bardziej wyrównane, cechowało się większą masą tysiąca ziaren (MTZ) i ekstraktywnością teoretyczną ziarna wyliczoną według wzoru Bishopa, a przede wszystkim zmniejszoną zawartością białka. Wzrost intensywności nawożenia azotowego w warunkach naturalnych (bez nawadniania) prowadził do spadku wielkości i jakości plonu ziarna. Nawadnianie niwelowało niekorzystny wpływ nawożenia azotem na jakość ziarna pod kątem przydatności dla przemysłu browarniczego. Na podstawie analizy wyników doświadczenia można stwierdzić, że uzyskanie możliwe najwyższego plonu o pożądanym parametrach jakościowych jest w warunkach deszczowania najbardziej prawdopodobne po zastosowaniu przedsięwzięcia nawożenia  $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

## 7. WNIOSKI

Niniejsza praca powstała w oparciu o wyniki ścisłych doświadczeń polowych przeprowadzonych na glebie lekkiej w gospodarstwie Mochełek Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Politechniki Bydgoskiej. Badania pozwalają na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków.

1. Warunki termiczne w rejonie Bydgoszczy w okresie prowadzenia doświadczeń polowych nie odbiegały od wieloletniej normy dla okresu 1991-2020. W poszczególnych latach trwania eksperymentu polowego występowały jednak odmienne warunki opadowe. Okres wegetacyjny 2015 roku był bardzo suchy, 2016 wilgotny, a 2017 bardzo wilgotny.
2. Deszczowanie miało charakter interwencyjny i zapewniało roślinom zapas wody łatwo dostępnej w korzeniowej warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu. Największe niedobory opadów i potrzeby deszczowania jęczmienia wystąpiły w pierwszym roku prowadzenia doświadczenia polowego. W sezonach wilgotnych deszczowanie stosowano sporadycznie z powodu nierównomiernego rozkładu opadów.
3. Deszczowanie wpłynęło istotnie na wzrost wielkości plonu ziarna jęczmienia jarego w każdym roku, ponadto spowodowało stabilizację wielkości plonu w latach. Bezwzględne i względne zwyżki plonów pod wpływem zastosowania tego zabiegu były najwyższe w bardzo suchym sezonie wegetacji, a jednostkowe w roku wilgotnym.
4. Zastosowanie deszczowania istotnie wpłynęło na poprawę przydatności słodowniczej ziarna, przyczyniając się do zmniejszonej zawartości białka w ziarnie, wzrostu MTZ, zwiększenia wyrównania ziarna oraz jego ekstraktywności.
5. Nawożenie azotem, niezależnie od wariantu wodnego, wpłynęło istotnie na wzrost plonu ziarna. Istotny wpływ stwierdzono w sezonach wilgotnych, w roku bardzo suchym nawożenie nie spowodowało istotnego zróżnicowania wielkości plonu ziarna.
6. Nawożenie azotem, niezależnie od deszczowania, skutkowało pogorszeniem jakości ziarna pod względem przydatności dla przemysłu browarniczego. Wraz z zastosowaniem i wzrostem dawki nawożenia azotem, zwiększała się zawartość białka w ziarnie, zmniejszeniu ulegała MTZ, wyrównanie ziarna oraz jego ekstraktywność.
7. Deszczowanie i nawożenia azotem istotnie współdziałały w kształtowaniu wielkości plonu ziarna jęczmienia browarnego. Korzystny wpływ interakcji na wielkość plonu stwierdzono w suchym sezonie 2015 roku oraz w okresie wegetacji 2016 roku. W bardzo wilgotnym roku 2017 zastosowanie deszczowania i wyższych dawek nawożenia azotem przyczyniło się do wylegania roślin i obniżenia plonu.
8. Bezwzględna, względna i jednostkowa efektywność produkcyjna deszczowania wzrastała wraz z zastosowaniem i zwiększaniem dawki nawożenia azotem.

9. Deszczowanie niwelowało niekorzystny wpływ nawożenia azotem na jakość ziarna jęczmienia browarnego. Optymalną dawką nawożenia azotem w warunkach deszczowania było zastosowanie przedsięwzięcia 30 kg N·ha<sup>-1</sup>. Zastosowanie nawożenia azotem w tej ilości umożliwiło uzyskanie możliwe wysokiego plonu ziarna, przy jednoczesnym zachowaniu wymaganych cech jakościowych.
10. Efektywność ekonomiczna deszczowania jęczmienia browarnego uzależniona była od kosztów inwestycji i cen skupu zboża oraz od projektowanej powierzchni nawadniania roślin.. Jednostkowe koszty nawadniania (w przeliczeniu na 1 ha) malały wraz ze wzrostem areału przeznaczonego do deszczowania.
11. Deszczowanie jęczmienia browarnego było zabiegiem efektywnym ekonomicznie w każdym przyjętym wariantcie kosztów inwestycji i cen zboża pod warunkiem stosowania go na większych powierzchniach – 5, 10, 30 i 50 ha. Zastosowanie deszczowania jęczmienia na powierzchni 30 ha według cen ziarna z 2022 r. przyniosłoby nadwyżkę bezpośrednią rzędu 45,5 tys. zł, a koszt inwestycji zwróciłby się już po 4,1 latach.



## SPIS LITERATURY

- [1] Adamczewski K., Augiewicz U., Urban M., 1995. Jesienne zwalczanie chwastów. Reakcja odmian jęczmienia jarego na herbicydy. Materiały 35 Sesji Nauk. IOR (2), 321-323.
- [2] Adamiak E., Adamiak J., Szałczyńska D., 2015. Response of spring barley varieties to protection level in two system of crop sequence. *Progress in Plant Protection*. Vol. 55 Issue 4, 405-408.
- [3] Alston J., Beddow J., Pardey P., 2009. Agricultural research, productivity, and food prices in the long run. *Science*, 325 (5945), 1209-1210.
- [4] Alston J., 2011. Global and U.S. Trends in Agricultural R&D in a Global Food Security Setting. [W] OECD Conference on Agricultural Knowledge Systems: Responding to Global Food Security and Climate Change Challenges.
- [5] Amabile R. F., Faleiro F. G., Capettini F., Meneses Sayd R., Peixoto J.R., Ferrari Guercia R., 2014. Characterization and genetic variability of barley accessions (*Hordeum vulgare* L.) irrigated in the savannas based on malting quality traits. *Journal of the Institute of Brewing*, 120: 404–414.
- [6] Anioł A. 2010. Wpływ biotechnologii i procesów globalizacji w gospodarce na hodowlę roślin i wspierające ten sektor badania naukowe. *Biul. IHAR* 256, 3-13.
- [7] Anonim 1993. *Brautechnische Analysenmethoden (MEBAK) Band II*. Wyd. Weihenstephan.
- [8] Appenroth K. J., Meco R., Jourdan V., Lillo C., 2000. Phytochrome and post-translational regulation of nitrate reductase in higher plants. *Plant Sci.* 159, 51–56.
- [9] Baca E., Gołębiowski T., 1997. Nowe spojrzenie na wskaźniki warunkujące wartość technologiczną jęczmienia i słodu browarnego. *Przem. Ferm.*, 10, 18-22.
- [10] Baranowska E., 2011. Nawadnianie roślin w aspekcie optymalnego zużycia wody. Przegląd elementów nawadniających. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 2011, Vol. 56(2).
- [11] Barczak B., Kozera W., 2003. Oddziaływanie nawożenia mikroelementami na zawartość i skład frakcyjny białka ziarna jęczmienia jarego. *Acta Agrophysica*, 85, 31–38.
- [12] Barczak B., Nowak K., Kozera W., Majcherczak E., 2005. Wpływ dokarmiania dolistnego mikroelementami na wielkość plonu ziarna jęczmienia jarego. *Fragm. Agr.*, 4(88), 5-17.
- [13] Barczak B., Majcherczak E., 2008. Effect of varied fertilization with sulfur on selected spring barley yield structure components. *J. Cent. Eur. Agric.* 9, 777–784.
- [14] Bauer A., Frank A.B., Black A. L. 1992. A crop calendar for spring wheat and for spring barley. *Farm Research*; 49:6; Winter 1992/1993.
- [15] Baxter E.D. 1976. The use of hordein fractions to estimate proteolytic activity in barley and malt. *J. Inst. Brew.*, 82, 203-208.
- [16] Bąk B., Łabędzki L. 2014a. Prediction of precipitation deficit and excess in Bydgoszcz Region in view of predicted climate change. *Journal of Water and Land Development*. No. 23, 11–19.
- [17] Bąk B., Łabędzki L. 2014b. Thermal conditions in Bydgoszcz region in growing seasons 2011–2050 in view of expected climate change. *Journal of Water and Land Development*. No. 23, 21–29.

- [18] Bertholdsson N. O., 1999. Characterization of malting barley cultivars with more or less stable grain protein content under varying environmental conditions. *European Journal of Agronomy*. 10, 1-8.
- [19] Błażewicz J., Jurek K., Horaczek S., 2003. Wpływ herbicydów stosowanych w uprawie jęczmienia browarnego na cechy użytkowe ziarna. *Technologia Alimentaria* 2 (1), 53-61.
- [20] Błażewicz J., 2004. Właściwości brzeczki i koncentratów słodowych otrzymanych z użyciem skrobi ziemniaczanej, ziarna pszenżyta i jęczmienia jako zamienników słoju. *Zeszyty Naukowe AR Wrocław, Rozprawy CCXVII*, 491, 7-60.
- [21] Błażewicz J., Liszewski M., 2004. Skuteczność wskaźnika Q i metody Bishopa w ocenie wartości browarnej jęczmienia. *Pam. Puł.*, 135, 7-17.
- [22] Błażewicz J., Liszewski M., Zembold-Guła A., 2007. Ustability of Bishop formula in evaluation of malting quality of barley grain. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, Vol. 57, No. 4(A), 37-40.
- [23] Błażewicz J., Zembold-Guła A., Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., 2011. Wpływ deszczowania i nawożenia azotem w technologii uprawy jęczmienia browarnego na wydajność procesu słodowania – wstępne wyniki badań. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 6, 109-117.
- [24] Boatman N. D., 1992. Effects of herbicide use and position in the field on the field and field components of spring barley. *Journal of Agricultural Science* 118, 17-28.
- [25] Borówczak F., Maciejewski T., Grześ S., Szukała J., 1996. Efekty deszczowania i nawożenia azotem niektórych roślin uprawnych w warunkach Wielkopolski w latach 1989–1992. *Zesz. Problem. Post. Nauk Roln.*, 438, 103-110.
- [26] Borówczak F., Rębarz K., 2010. Efekty produkcyjne i ekonomiczne różnych systemów uprawy jęczmienia jarego odmiany Stratus w zależności od deszczowania. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 55(3), 29-32.
- [27] Brzozowski P., Klimek G. 2010. Opłacalność produkcji wiśni w Polsce w latach 2000–2010. *Zeszyty Naukowe ISiK. Skierniewice*, 18: 181–183.
- [28] Burger W. C., Wesenberg D. M., Carden III J. E., Pawlisch P. E., 1979. Protein Content and Composition of Karl and Related Barleys. *Crop Science*, Volume 19, Issue 2.
- [29] Cattivelli L., Delogu G., Terzi V., Michele A. 1994. Progress in barley breeding, in: *Genetic Improvement of Field Crops* (Slafer, G. A., Ed.): 95–181.
- [30] Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L., 2009. Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 9, 33-44.
- [31] Chotkowski J., Stypa I., 2007. Ocena postępu hodowlanego w produkcji ziemniaka w Polsce w latach 1946-2007. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 245, 181-189.
- [32] Conry M., 1998. Influence of seed rate and sowing date on the yield and grain quality of Blenheim spring malting barley in the south-east of Ireland. *J. Agric. Sci.* 130, 307–315.
- [33] Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz M. 2012. Wieloletnia zmienność sezonowych opadów w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t 12 z. 2 (38), 45-60.

- [34] de Ruiter J.M., 1999. Yield and quality of malting barley (*Hordeum vulgare* L. 'Valetta') in response to irrigation and nitrogen fertilization. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 27, 307–317.
- [35] Drupka S. Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni. PWRiL Warszawa 1976.
- [36] Drupka S. 2006. Budowa i eksploatacja deszczowni. W: Nawadnianie roślin, pod red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka, PWRiL Poznań, 199-231.
- [37] Duczmal K. W., 2003. Wykorzystanie postępu odmianowego w krajowym rolnictwie. *Post. Nauk Rol.* 6, 105- 113.
- [38] Dudek S., Żarski J., Kuśmirek-Tomaszewska R., 2009. Klasyfikacja okresów posusznych na podstawie bilansu wody łatwo dostępnej w glebie. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3, 109-117.
- [39] Duvick D. 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy* 86, 83-145.
- [40] Dylkowski W. (red.). Kontrola chemiczno-techniczna produkcji słodu i piwa. WPLiS. Warszawa, 1959.
- [41] Dz.U. poz. 1246 2012. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 września 2012 w sprawie gleboznawczej klasyfikacji gruntów.
- [42] Dzieżyc J., Nowak L. 1993. Deszczowanie. Rozdział w pracy zbiorowej „Czynniki plonotwórcze-plonowanie roślin” pod red. J. Dzieżyc. PWN Warszawa-Wrocław, 329–352.
- [43] Elser J.J., Backen M.E.S., Cleland E.E., Gruner D.S., Harpole W.S., Hillebrand H., Nagai J.T. Seabloom E.W., Shurin J.B., Smith J.E. 2007. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*. 10, 1135–1142.
- [44] Filipiak T., 2008. Hodowla roślin ogrodniczych w spółkach ANR. *Roczniki Nauk Rolniczych. Seria G* 94 (2): 157-165.
- [45] Filipiak T., 2014. Zmiany na rynku warzyw i w gospodarstwach warzywniczych w Polsce po integracji z Unia Europejską. Wydawnictwo SGGW Warszawa.
- [46] Gąsiorowski H., 1997. Wartość technologiczna jęczmienia i niektóre metody jej oceny. W: Jęczmień – chemia i technologia; Gąsiorowski H., Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań, 250-262.
- [47] Ghosh S.C., Asanuma K., Kusutani K., Toyota M., 2000. Effects of moisture stress at different growth stages on the amount of total non-structural carbohydrate, nitrate reductase activity and yield of potato. *Jpn. J. Trop. Agr.*, 44,158–166.
- [48] Główny Urząd Statystyczny 2023. Rocznik statystyczny rolnictwa, GUS Warszawa
- [49] Gołębiewski T., Brudzyński A., Baca E., 1997. Polski jęczmień dla przemysłu słodowniczego: tradycje, stan obecny i perspektywy na tle sytuacji europejskiej. *Przem. Ferm. Owoc. Warz.*, 9, 4-6.
- [50] Gołębiewski D., Myszka K., Fraś A., Boros D., Burek J., Mańkowski D.R. 2012. Ocena zróżnicowania genotypowego i środowiskowego cech wartości browarnej rodów jęczmienia jarego z doświadczeń przedrejestracyjnych z roku 2012. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin. Nr 268*, 47-58.
- [51] Gozdowski D. , Wyszyński Z. , Kalinowska-Zdun M. , Pągowski K. , Pietkiewicz S., 2012. Zmienność budowy przestrzennej łanu jęczmienia jarego w zróżnicowanych warunkach środowiskowo-agrotechnicznych. Część II. Architektura łanu. *Fragm. Agron.* 29(3), 20–30.

- [52] Górny A.G. 2001. Variation in utilization efficiency and tolerance to reduced water and nitrogen supply among wild and cultivated barleys. *Euphytica* 117, 59-66.
- [53] Grabarczyk S. 1983. Melioracje rolne. Rozdział w pracy zbiorowej podstawy agrotechniki pod red. W. Niewiadomskiego. PWRiL Warszawa, 79-129
- [54] Grabarczyk S. 1987. Opłacalność inwestycji deszczownianych w gospodarstwach indywidualnych. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 326, 213-226
- [55] Grabiński J., 2001. Znaczenie czynników ograniczających plonowanie roślin uprawnych przy różnym poziomie nawożenia mineralnego. *Wiś Jutra* 11,10-12.
- [56] Grabiński J., 2015. Efekty produkcyjne i ekonomiczne intensywnej i integrowanej technologii produkcji pszenicy ozimej i jęczmienia jarego. *Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. Roczniki naukowe*, tom XVII, zeszyt 6, 94-99.
- [57] Graham B., Barfoot P. 2017. GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2015. Dorchester: PG Economics Ltd.
- [58] Grzesiuk S., Koczowska I., Górecki R. J., 1999. Fizjologiczne podstawy odporności roślin na choroby [Physiology affecting plant resistance to diseases]. Wyd. II. ART Olsztyn.
- [59] Halvorson A.D., Reule C.A., 2007. Irrigated, no-till corn and barley response to nitrogen in Northern Colorado. *Agronomy J.*, 99,1521–1529.
- [60] Hector D.J., Fukai S., Goynes P.J., 1996. Adapting barley growth model to protect grain protein concentration for different water and nitrogen availabilities. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> Australian Agronomy Conference*, Toowoomba, Queensland, Australia, 297-300.
- [61] Horoszkiewicz-Janka J., Igras J., Jajor E., Jeżewska M., Korbas M., Leszczyńska D., Mrówczyński M., Najewski A., Noworolnik K., Paradowski A., Pruszyński G., Rutkowska A., Wachowiak H. 2012. *Metodyka Integrowanej ochrony jęczmienia ozimego i jarego dla producentów*. Wyd. IOR-PIB, Poznań, 70-82.
- [62] Informator 1997., Stacja Badawcza Wydziału Rolniczego ATR w Mochełku, pod redakcją Z. Skindera
- [63] Oferta naukowo-badawcza UTP dla gospodarki, 2012. Bydgoszcz.
- [64] Ingledew W. M., Patterson C. A., 1999. Effect of nitrogen source and concentration on the uptake of peptides by a lager yeast in continuous culture. *J. Am. Soc. Brew. Chem.*, 57 (1), 9-17.
- [65] Jakubowski T., 2009. Reakcja roślin ziemniaka na napromieniowanie mikrofalami na symulowany stres suszy. *Inżynieria Rolnicza* 8(117), 15-21.
- [66] Jankovic S., Glamoclija D., Maletic R., Rakic S., Hristov N., Ikanovic J., 2011. Effects of nitrogen fertilization on yield and grain quality in malting barley. *African Journal of Biotechnology*. Vol. 10(84), 19534-19541.
- [67] Juskiw P.E., Yih-Wu Jame, Kryzanowski L., 2001. Phenological Development of Spring Barley in a Short-Season Growing Area. *Agronomy Journal*. Volume 93, Issue 2, 370-379.
- [68] Kabata-Pendias A., Pendias H., 1993. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
- [69] Kaczorowska Z. 1962. Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Prace Geograficzne* nr 33. Wydawnictwa Geologiczne Warszawa, 1-117
- [70] Kalaji H.M., Wołejko E., Łoboda T., Pietkiewicz S., Wyszyński Z., 2004. Fluorescencja chlorofilu - nowe narzędzie do oceny fotosyntezy roślin jęczmienia,

- rosnących przy różnych dawkach azotu. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 426, 375-383.
- [71] Kaur G., Asthir B., 2017. Molecular responses to drought stress in plants. *Biol Plantarum*, 61(2), 201-209.
- [72] Kędziora A., Kępińska-Kasprzak M., Kowalczyk P., Kundzewicz Z.W., Miler A., Pierzgański E., Tokarczyk T., 2014. Zagrożenia związane z niedoborem wody. *Nauka* 1/2014, 149-172.
- [73] Kisiel R., Kaliszewicz D., 1996. Kalkulacja kosztów jednostkowych wybranych produktów roślinnych. *RARR Olsztyn*.
- [74] Kledzik R., Kropkowski M., Rzekanowski C., Żarski J. 2015. Ocena efektywności ekonomicznej nawadniania wybranych upraw polowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2, 291-303.
- [75] Kledzik, R. Kropkowski, M. Dudek, S. Kuśmerek-Tomaszewska, R. Żarski, J., 2017. Evaluation of economic efficiency of irrigation in corn for grain production in 2005-2016, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr II, 587–598.
- [76] Klockiewicz-Kaminska E., 2005. Metoda oceny wartości browarnej i klasyfikacja jakościowa odmian jęczmienia. *Wiadomości Odmianoznawcze*, tom 80, 1-16.
- [77] Kocheva K.V., Georgiev G.I., Kochev V.K., 2014. An improvement of the diffusion model for assessment of drought stress in plants tissues. *Physiol. Plantarum*, 150, 88-94.
- [78] Kondracki J., 1998. *Geografia regionalna Polski*. PWN Warszawa.
- [79] Koziara W., Borowczak F., Grześ S. 1998. Elementy struktury plonu jęczmienia jarego w zależności od deszczowania, nawożenia azotem i technologii uprawy. *Pamiętnik Puławski*, 112, 115-120.
- [80] Koziara S., Sulewska H., Panasiewicz K., 2007. Biologiczne i ekonomiczne skutki zaniechania nawożenia azotem, upraw jęczmienia jarego i pszenżyta jarego. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 2007, Vol. 52(3), 82-88.
- [81] Kozłowska K., Szwed Ł., Zembold-Guła A., Liszewski M., Błażewicz J. 2010. Próba prognozowania jakości ziarna jęczmienia browarnego metodami SPAD i Bishopsa. *Monografia – Jakość i prozdrowotne cechy żywności*. Wydawnictwo UP Wrocław, 47–56
- [82] Kozłowska K., Liszewski M., 2012. Wpływ nawożenia dolistnego wybranymi mikroelementami na cechy rolnicze ziarna jęczmienia browarnego. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*, nr 589, 157-168.
- [83] Koźmiński C., Michalska B., 2010. Niekorzystne zjawiska atmosferyczne w Polsce. Straty w rolnictwie. W: *Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce* pod red. C. Koźmińskiego, B. Michalskiej i J. Leśnego. Uniwersytet Szczeciński, s. 9-54.
- [84] Kraiser T., Gras D.E., Gutierrez A.G., Gonzalez B., Gutierrez R.A., 2011. A holistic view of nitrogen acquisition in plants. *J Exp. Bot.* 62, 1455-66.
- [85] Kreck M., Slamka P., Olšovská K., Brestič M., Benčíková M., 2008. Reduction of drought stress effect in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) by nitrogen fertilization. *Plant Soil Environ*, 54, 2008 (1), 7–13.
- [86] Kuchar L., Iwański S., 2013. Ocena opadów atmosferycznych dla potrzeb produkcji roślinnej w perspektywie lat 2050-2060 i wybranych scenariuszy zmian klimatu w północno-centralnej Polsce. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. 2/I, 187-200.

- [87] Kula A., Lipiński J., 2017. Produkcja i ekonomiczno-finansowa efektywność kroplowego nawadniania borówki wysokiej. *Woda Środ. Obsz. Wiej.* 2017 (I–III). T. 17. Z. 1 (57), 75-87.
- [88] Kunze W. 1999. *Technologia piwa i słodu*. Warszawa: Wydawca „Piwochmiel”.
- [89] Kuśmierek-Tomaszewska R., Żarski J., Dudek S., 2012. Meteorological automated weather station data application for plant water requirements estimation. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 88, 2012, 44-51.
- [90] Kuśmierek-Tomaszewska R., Żarski J. 2021. Assessment of meteorological and agricultural droughts occurrence in central Poland in 1961–2020 as an element of the climatic risk to crop production. *Agriculture*, 11, 855.
- [91] Kuśmierek-Tomaszewska R., Żarski J. 2021a. The Effects of Plant Irrigation in Poland. In: Zelenáková M., Kubiak-Wójcicka K., Negm A.M. (eds) *Management of Water Resources in Poland*. Springer Water. Springer, Cham, 379-393.
- [92] Kuśmierek-Tomaszewska R., Żarski J., Dudek S., 2023. Prognozowanie efektów produkcyjnych deszczowania roślin na podstawie wyników badań polowych. No I/1/2023, POLISH ACADEMY OF SCIENCES, Cracow Branch, pp. 71-87 Commission of Technical Rural Infrastructure
- [93] Lauer J.G., Partridge J. R., 1990. Planting Date and Nitrogen Rate Effects on Spring Malting Barley. *Agronomy Journal*, Volume 82, 1083-1088.
- [94] Lekkas C., Hill A. E., Taidi B., Hodgson J., Steward G. G., 2009. The role of small wort peptides in brewing fermentations. *J. Inst. Brew.*, 115 (2), 134-139.
- [95] Lipiński W., Terelak H., Motowicka-Terelak T. 2003. Propozycja liczb granicznych zawartości siarki siarczanowej w glebach mineralnych na potrzeby doradztwa nawozowego. *Rocz. Glebozn.* 54(3), 79–84.
- [96] Lipiński J., 2012. Efekty produkcyjne i ekonomiczne nawadniania truskawek uprawianych na glebach lekkich. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, s., 180–183.
- [97] Lipiński J., 2015. Efektywność ekonomiczno-finansowa deszczownianego nawadniania ziemniaków jadalnych na glebach lekkich w warunkach produkcyjnego gospodarstwa rolnego. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 15, 3: 61–73.
- [98] Lisowska M, Bombik A., Rymuza K., Ziemińska J., Wyrzykowska M., 2013. Stosowanie kwalifikowanego materiału siewnego w wybranych gospodarstwach rolnych w rejonie Polski środkowo-wschodniej. *Fragm. Agron.* 30(2), 112-122.
- [99] Liszewski M., Błażewicz J., 2001. Wpływ nawożenia azotem na wartość browarną ziarna jęczmienia odmian Rudzik i Brenda. Część 1. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Technologia Żywności*, 14, 91-100.
- [100] Liszewski M., 2006. Próba oceny stanu odżywienia azotem gryki na podstawie pomiaru zawartości chlorofilu metodą optyczną SPAD. *Fragm. Agr.*, 1 (89), 119-129.
- [101] Liszewski M., Błażewicz J., Kozłowska K., Zembold-Guła A., Szwed Ł., 2011. Wpływ nawożenia azotem na cechy rolnicze ziarna jęczmienia browarnego. *Fragm. Agron.* 28(1) 2011, 40-49.
- [102] Liszewski M., Błażewicz J., Zembold-Guła A., Szwed Ł., Kozłowska K., 2012. Wpływ sposobu nawożenia azotem na ekstraktywność słodu jęczmiennego. *Fragm. Agron.* 29(1) 2012, 93-104.

- [103] Liszewski M., Błażewicz J. 2015. Wpływ nawożenia dolistnego miedzią i manganem na przydatność słodowniczą ziarna jęczmienia (badania wstępne). *Polish Journal of Agronomy*, 23, 18-23
- [104] Lorenc H., 1994. Ocena zmienności temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie 1901–1993 na podstawie obserwacji z wybranych stacji meteorologicznych w Polsce. *Wiadomości IMGW*, 38, 43–59.
- [105] Lorenc H., 2014. Klasyfikacja termiczna miesięcy i roku. [www.imgw.pl](http://www.imgw.pl).
- [106] Łabędzki L., 2006. Susze rolnicze. Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji. Wydawnictwo IMUZ Falenty, 2006, 107.
- [107] Łabędzki L., 2009. Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3, 7-18.
- [108] Łuszczuk K., 2008a. Nakłady na nawadniane plantacje ziemniaków. *Maszynopis. Łukomet, Całowanie*, s. 1–10.
- [109] Łuszczuk K., 2008b. Systemy nawadniania ziemniaków. *Maszynopis. Łukomet, Całowanie*, 1–2.
- [110] Łuszczuk K., 2009. Nakłady na nawadnianie plantacji roślin towarowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 6/2009, 303-315.
- [111] Mackay I., Horwell A., Garner J., White J., McKee J., Philpott H., 2011. Reanalyses of the historical series of UK variety trials to quantify the contributions of genetic and environmental factors to trends and variability in yield over time. *Theor. Appl. Gen.* 122 (1), 225-238.
- [112] Malczewski A., Jabłoński P. 2023 (red.). Raport 2023 – uzależnienia w Polsce. *Krajowe Centrum Przeciwdziałania Uzależnieniom*, Warszawa, 7-8
- [113] Marszelewski, M., Piasecki, A. (2021). Legal and water management policy during climate warming in Poland. *Bulletin of Geography. Socioeconomic Series*, 54, 63–75, <http://doi.org/10.2478/bog-2021-0033>.
- [114] Mazur T., Grabowski J., 2008. Warunki meteorologiczne a plon jęczmienia jarego w zależności od rodzaju nawożenia. *Acta Agrophysica*, 2008, 12(2), 469-475
- [115] McMaster G.S., Wilhelm W., 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87, 291-300, DOI: 10.1016/S0168-1923(97)00027-0
- [116] McMaster G. S., Wilhelm W.W., Frank A. B., 2005. Developmental sequences for simulating crop phenology for water-limiting conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*. 2005, 56, 1277-1288.
- [117] Michałowska D., 2017. Zawartość różnych form azotu w sładach niskobiałkowych a ich wartość technologiczna. *Postępy Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spożywczego*, t. 72, nr 1, 52-65
- [118] Miklaszewska K., Kierzek R., 2013. Skuteczność chwastobójcza obniżonych dawek preparatów Dragon 450 WG i Granstar Ultra SX 50 SG w uprawie jęczmienia jarego. *Progress in Plant Protection* 53(1), 91-95.
- [119] Miller P., Lanier W., Brandt S., 2001. Using Growing Degree Days to Predict Plant Stages. *Montana State University*, nr 7, 1-8.
- [120] Miralles D. J., Ferro B. C., Slafer G. A., 2001. Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. *Field Crops Research*, Volume 71, Issue 3, 211-223

- [121] Molina-Cano J. L., 1987. The EEC Barley and Malt Committee Index for the Evaluation of Malting Quality in Barley and its Use in Breeding. *Plant Breeding*, 98, 29-256.
- [122] Moll M., 1996. An update of analytical procedures for the determination of malt modification and malt homogeneity. *Mo. f. Brauwiss*, 49, Part I – nr ¾: 92-97; Part II – nr 5/6: 171-177; Part III – nr 9/10, 283-296, Part IV – 1997. 50, nr ½,, 12-57.
- [123] Myśków W., Jaszczewska B., Stachyra A., Naglik E., 1986: Substancje organiczne gleby - ich rolnicze i ekologiczne znaczenie. *Rocz. Glebozn.* 37, 15-35.
- [124] Najewski A., 2006. Lista opisowa odmian. Jęczmień. COBORU.
- [125] Narziss L., 1992. *Die bierbrauerei*. Vol. 2 *Technologie der Wurzebereitung*. 7th ed. Stuttgart: Enke.
- [126] Nasalski Z., Sadowski T., Stępień A., 2004. Produkcyjna, ekonomiczna i energetyczna efektywność produkcji jęczmienia ozimego przy różnych poziomach nawożenia azotem. *Acta. Sci. Pol. Agricultura* 3(1), 83-90.
- [127] Noworolnik K., 1992. Plonowanie odmian jęczmienia jarego w zależności od nawożenia azotem i gęstości siewu. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 183, 57-163.
- [128] Noworolnik K. 1992b. Produkcyjność odmian jęczmienia ozimego w zależności od nawożenia azotem i gęstości siewu. *Biul. IHAR* 183, 149–155.
- [129] Noworolnik K., Leszczyńska D. 2002 . Porównanie reakcji odmian jęczmienia jarego na poziom nawożenia azotem. *Biul. IHAR* 221, 67–72 .
- [130] Noworolnik K., Leszczyńska D. 2005 . Wpływ dawki azotu na plonowanie odmian jęczmienia jarego w doświadczeniu wazonowym. *Biul. IHAR* 237/238, 67–73.
- [131] Noworolnik K. 2008. Wpływ odmian i dawki azotu na strukturę plonu i zawartość białka w ziarnie jęczmienia jarego. *Fragm. Agron.* 25(1), 261–269 .
- [132] Noworolnik K., Leszczyńska D., Dworakowski T., Sułek A., 2009. Wpływ odmiany i nawożenia azotem na plonowanie jęczmienia ozimego. *Fragm. Agron.* 26(2), 89-95.
- [133] Noworolnik K. 2010. Wpływ nawożenia azotem na plonowanie i jakość ziarna nowych odmian jęczmienia jarego. *Pam. Puł.*, 152, 191–198.
- [134] Noworolnik K. 2013. Cechy morfologiczne i jakościowe oraz plonowanie jęczmienia jarego w zależności od właściwości odmian i terminu siewu. *Fragm. Agron.* 30(4), 105-113.
- [135] Noworolnik K., 2013. Plonowanie i jakość ziarna odmian jęczmienia jarego w zależności od dawki azotu. *Fragm. Agron.* 30(3), 123-131.
- [136] Noworolnik K., Leszczyńska D., 2018. Porównanie reakcji odmian jęczmienia jarego na termin siewu. *Polish Journal of Agronomy*, 32, 17–22.
- [137] Olszewski J., Pszczółkowska A., Kulik T., Fordoński G., Płodzień K., Okorski A., Wasielewska J., 2007. Wpływ deficytu wodnego na wskaźniki wymiany gazowej, produktywność i zdrowotność odmian pszenicy ozimej. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 6(4) 2007, 33-42.
- [138] Olszewski J., Pszczółkowska A., Makowska M., Kulik T., Okorski A. 2009. Effect of water deficit on gas exchange parameters, productivity and grain wholesomeness of spring wheat. *Polish Journal of Natural Science* ,Vol. 24, Nr 2, 85-92.



- [139] Ostrowski J., Łabędzki L. (red.). 2008. Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. Wydawnictwo IMUZ Falenty.
- [140] Ozturk A., Aydin F., 2004. Effect of water stress at various growth stages an some quality characteristics of winter wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 190, 93-99.
- [141] Pecio A., 2002. Środowiskowe i agrotechniczne uwarunkowania wielkości i jakości plonu ziarna jęczmienia browarnego. *Fragm. Agronom.*, 4(76), 2002, 4–112.
- [142] Pecio A., Bichoński A., 2003. Stan odżywienia roślin azotem a plon i jakość browarna ziarna jęczmienia jarego. *Biul. IHAR*, 230, 285-294.
- [143] Pecio A., Kubsik K., 2006. Wpływ warunków pogody w okresie wegetacji na plon i jakość jęczmienia browarnego. *Rocz. AR Poznań* 380, Rol. 66, 251–260.
- [144] Pecio A. , Kubsik K., 2006. Zróżnicowanie plonu i zawartości białka w ziarnie jęczmienia jarego w obrębie pola produkcyjnego. *Pamiętnik Puławski*, 142, 349-362.
- [145] Pierzgalski E., Karczmarczyk S., 2006. Rozwój nawodnień na świecie i w Polsce. Rozdział w pracy zbiorowej „Nawadnianie roślin” pod red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka. *PWRiL Poznań*, 15–25.
- [146] Pino M.T., Skinner J. S., Park E. J., Jeknić Z., Hayes P. M., Thomashow MF, Chen THH. 2007. Use of a stress inducible promoter to drive ectopic AtCBF expression improves potato freezing tolerance while minimizing negative effects on tuber yield. *Plant Biotech Journal*, Volume 5, Issue 5.
- [147] Piwowarczyk J., Hansson A., Hjerpe M., Chubarenko B., Karmonov K., 2012. Climate change in the Baltic Sea Region: a cross-country analysis of institutional stakeholder perceptions. *Ambio*. Vol. 41. Iss. 6, 645–655.
- [148] Pływaczyk A., 2006. Systemy i technologie nawadniania. W: Nawadnianie roślin, pod red. S. Kaczmarczyka i L. Nowaka., *PWRiL Poznań*, 121-156.
- [149] Podleśna A., 2002. Wpływ mikroelementów na jakość zbóż w Polsce. *Więś Jutra*, 5(46), 36–37.
- [150] Prokopowicz J., Lipiński J., 2008. Opłacalność ekonomiczna stosowania nawodnień w rolnictwie w warunkach klimatycznych Polski (wybrane zagadnienia). *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 1, 24–28.
- [151] PTG 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – Polskie Towarzystwo Gleboznawcze 2008. *Roczniki Gleboznawcze – Soil Science Annual* 60(2): 5-16.
- [152] Qureshi Z.A., Neibling H., 2009. Response of two-row malting spring barley to water cutoff under sprinkler irrigation. *Agric. Water Manage.*, 96, 141–148.
- [153] Radzka E., Gąsiorowska B., Koc G., 2013. Niedobory i nadmiary opadów atmosferycznych w okresie wegetacji zbóż jarych w rejonie Siedlec. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 2/I/2013, 147–154.
- [154] Rae S. J., Macaulay M., Ramsay L., Leigh F., Matthews D., O’Sullivan D. M., Donini P., Morris P.C., Powell W., Marshall D. F., Waugh R., Thomas W.T.B. 2007. Molecular barley breeding. *Euphytica* 158, 295-303.
- [155] Ratnayaka H.H., Kincaid D., 2005. Gas exchange and leaf ultrastructure of tinnevelly senna, *Cassia angustifolia*, under drought and nitrogen stress. *Crop Sci.*, 45, 840–847.
- [156] Rozbicki J. 1994. Jęczmień – uprawa na cele browarne, konsumpcyjne i paszowe. *SGGW Warszawa*, 85

- [157] Rudnicki F., 2014. Metoda wskaźnikowej oceny postępu hodowlanego wnoszonego przez odmiany roślin uprawnych. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin. Nr 273, 3-15.
- [158] Rzekanowski C., Żarski J., Rolbiecki S., 2011. Potrzeby efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę. Postępy Nauk Rolniczych, 1, 51-63.
- [159] Rzekanowski, C. (2023). Źródła wody do nawodnień i możliwości ich pozyskiwania – głos w dyskusji. Materiały konferencyjne XXV Sympozjum Nawadniania Roślin, 12–14.06.2023 Bydgoszcz-Fojutowo, 27–28.
- [160] Rzemieniuk T., 2007. Skutki technologiczne i ekonomiczne katastrofalnych zbiorów surowców piwowarskich. Część I. Jęczmień. W: Piwowarstwo polskie w Unii Europejskiej pod red. J. Błażewicza. XII Szkoła Technologii Fermentacji. Uniwersytet Przyrodniczy Wrocław, 2007, 143-154.
- [161] Sedlar O., Balik J., Kozlovsky L., Peklova L., Kubesova K., 2011. Impact of nitrogen fertilizer injection on grain yield and yield formation of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Soil Environ.*, 2011 (12), 547-552.
- [162] Sharma R.K., Verma R.P.S., 2010. Effect of Irrigation, Nitrogen and Varieties on the Productivity and Grain Malting Quality in Barley. *Cereal Research Communications* 38(3), 419–428.
- [163] Słaboński A. 1985. Jęczmień jary i ozimy. PWRiL Warszawa.
- [164] Sourour A., Afef O., Mounir R, Mongi B.Y., 2017. A review: Morphological, physiological, biochemical and molecular plant responses to water deficit stress. *Int. J. Eng. Sci.*, 6(1), 1-4.
- [165] Spurtacz S., Pudelko J., Majchrzak L., 2008. Opłacalność uprawy kukurydzy na ziarno w warunkach produkcyjnych w latach 2005-2007. *Acta. Sci. Pol., Agricultura* 7(4), 117-124.
- [166] Stachowski P., Markiewicz J., 2011. Potrzeba nawodnień w centralnej Polsce na przykładzie powiatu kutnowskiego. *Rocznik Ochrona Środowiska*, tom 13, 1453-1472.
- [167] Starck Z., Chołuj D., Niemyska B., 1995. Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne czynniki środowiska. Wydawnictwo SGGW Warszawa, 28-41.
- [168] Steponkus P.L. 2005. A Prefatory Note on Responses of Plants to Low Temperature-Stress. *Journal of Plant Research*. Springer Japa., 223-224.
- [169] Stevens W.B., Upendra M. Sainju U.M., Caesar-TonThat T., Iversen W.M. 2015. Malt Barley Yield and Quality Affected by Irrigation, Tillage, Crop Rotation, and Nitrogen Fertilization. *Crop Economics, Production & Management*. 2107-2119.
- [170] Systematyka Gleb Polski (6 wydanie) 2019. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Komisja Genezy Klasyfikacji i Kartografii Gleb. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Wrocław-Warszawa.
- [171] Szempliński W., 2003. Siedliskowe i agrotechniczne uwarunkowania produkcji ziarna jęczmienia jarego na paszę w północno-wschodniej Polsce. *Wyd. UWM Olsztyn. Rozprawy i monografie*, 71.
- [172] Szmigiel A. , Kołodziejczyk M., Oleksy A., Kulig B., 2016. Reakcja odmian jęczmienia jarego browarnego na zróżnicowane technologie uprawy. *Fragm. Agron.* 33(2) , 81–90.
- [173] Szwed Ł., Błażewicz J., Zembold-Guła A., Pelak M., Dawidowicz A., 2009. Wpływ frakcjonowania i czasu słodowania ziarna jęczmienia na liczbę Kolbacha

- słodów oraz zawartość wolnego azotu alfa-aminokwasowego w brzezcach. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.* 6(67), 119-128.
- [174] Thomashow, M.F. 2002. Engineering new phenotypes for abiotic stress tolerance by expression of transcription factors. In, "Criteria for Field Testing of Plant With Engineered Regulatory, Metabolic and Signaling Pathways," L.L. Wolfenbarger (ed.), Information Systems for Biotechnology, Blacksburg, VA., 91-94.
- [175] Thompson T.L., Ottman M.J., Riley-Saxton E. 2004. Basal stem nitrate tests for irrigated malting barley. *Agronomy J.*, 96, 516-524.
- [176] Timmer R. D., Duijnhower I.D.C., van Laarhoven H.P.M., Angelina S.A.G.F., van Son C.G.M., van Gestel M.J.M.C., 1993. Prospects for growing malting barley outside the south-western clay district of the Netherlands. *Jaarboekje Stichting Nederlands Instituut voor Brouwerij, Mout en Bier.*, 57, 39-43.
- [177] Terlikowski F., 1956. *Próchnica a żywność gleby. Nawozy i nawożenie. Tom III*, Warszawa, 254-385.
- [178] Trnka M., Dubrovský M., Žalud Z., 2004. Climate Change Impacts and Adaptation Strategies in Spring Barley Production in the Czech Republic. *Climatic Change*, 64, 227-255.
- [179] Trybała M. 1996. *Gospodarka wodna w rolnictwie*. PWRiL, Warszawa.
- [180] Urban M., 2000. Ocena wrażliwości odmian jęczmienia i pszenicy jarej na herbicydy. *Postępy Ochr. Rośl.* 40(1), 387-394.
- [181] Urban M., Grządka M.. 2012. Oddziaływanie zróżnicowanych dawek herbicydów na wysokość i strukturę plonów odmian jęczmienia jarego. *Progress in Plant Protection* 52(4), 927-931.
- [182] Verma R.P.S., Sharma R.K., Nagarajan S., 2003. Influence of nitrogen and irrigation on malt and wort quality in barley. *Cereal Research Communications*, vol. 31, 3-4, 437-444.
- [183] Wasnik K.G., Varade P.B., Bagga A.K., 1988. Nitrate reductase activity in chickpea (*Cicer arietinum* L.) leaves, roots and nodules in relation to moisture stress. *Indian J. Plant Physiol.*, 31, 324-327.
- [184] Wawer, R. 2020. Gospodarowanie wodą w rolnictwie w zmieniającym się klimacie Perspektywa przejścia na rolnictwo nawadniane a sprawiedliwe i zrównoważone korzystanie z wód w świetle rozwiązań hiszpańskich i postępu w informatyce. *Polish Journal of Agronomy*, 41, 38-48,
- [185] Weston D .T ., Horsley R .D ., Schwarz P .B ., Goos R .J., 1993 . Nitrogen and planting date effects on low-protein spring barley. *Agron . J .* 85, 1170-1174.
- [186] Wicki L., 2016. Wykorzystanie potencjału plonowania zbóż w produkcji rolniczej w Polsce. *Roczniki Naukowe SERiA XVIII (5)*, 267-273.
- [187] Wicki L., 2017. Postęp w plonowaniu odmian pszenicy ozimej i żyta w doświadczeniach odmianowych w Polsce. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. Tom XIX, zeszyt 4*, 224-230.
- [188] Wicki L., 2018. Znaczenie postępu biologicznego we wzroście plonowania zbóż jarych w doświadczeniach odmianowych w Polsce. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu. Tom XX, zeszyt 2*, 162-168.
- [189] Wirkijowska Z., Rzedzicki, Sobota A., Sykut-Domańska E., Zarzycki P., Bartoszek K., Kuzawińska E., 2016. Jęczmień w żywieniu człowieka. *Polish Journal of Agronomy*, 25, 41-50.

- [190] Wojtasik D., 2004. Wpływ deszczowania i nawożenia azotem na plonowanie jęczmienia browarnego i pastewnego uprawianego na glebie lekkiej. Cz. II. Plon i jakość ziarna. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 3(2) 2004, 131-142.
- [191] Woś A. 1996. *Agrobiznes*, tom 1 i 2. Wyd. Key Text, Warszawa.
- [192] Xu Z.Z., Yu Z.W., 2006: Nitrogen metabolism in flag leaf and grain of wheat in response to irrigation regimes. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 169, 118–126.
- [193] Zboińska M., 2018. W jaki sposób rośliny pobierają i asymilują azot? *Edukacja biologiczna i środowiskowa*, 2/2018, 19-31.
- [194] Ziemińska J., Tkaczuk C., 2017. Wpływ terminu siewu i odmiany na plonowanie jęczmienia jarego w warunkach środkowo-wschodniej Polski. *Fragm. Agron.* 34(1) 2017, 126–134.
- [195] Ziernicka-Wojtaszek A. 2006. Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 1971-2000. Rozdział w monografii *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego* pod red. J. Trepińskiej i Z. Oleckiego. IGiGP Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, 139-148
- [196] Żarski J. 1993. Reakcja zbóż jarych na deszczowanie i nawożenie azotowe w warunkach gleby bardzo lekkiej. *ATR Bydgoszcz, Rozprawy* 59.
- [197] 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. *Przegląd Naukowy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW*, 22, 375-382
- [198] Żarski J., 2006. Potrzeby i efekty nawadniania zbóż. W: *Nawadnianie roślin* pod red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka, PWRiL Poznań, 383-403
- [199] Żarski J., 2009. Efekty nawadniania roślin zbożowych w Polsce. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 3/2009, 29-42.
- [200] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., 2009. Wpływ deszczowania i nawożenia azotem na plonowanie jęczmienia browarnego na glebie lekkiej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 3/2009, 69-78.
- [201] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., 2011. Potrzeby deszczowania jęczmienia browarnego w zależności od rodzaju gleby. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 5, 203-214.
- [202] Żarski J., Kuśmierk-Tomaszewska R., Dudek S., 2012. Tendencje zmian termicznych okresów rolniczych w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3/I, 7-17.
- [203] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Błażewicz J., Zembold-Guła A., 2013. Ocena wpływu deszczowania i nawożenia azotem na wysokość i jakość plonu dwóch odmian jęczmienia browarnego. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr 2/I, 77-92.
- [204] Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Bojar W., Knopik L., Żarski W., 2014. Agroklimatologiczna ocena opadów atmosferycznych okresu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, nr II/3/2014, 643-656
- [205] Żarski J., Błażewicz J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Geldarska A., 2015. Ocena efektywności deszczowania jęczmienia jarego w aspekcie poprawy przydatności słodowniczej ziarna. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. III/1, 593-602.
- [206] Żarski J., Kuśmierk-Tomaszewska R., Dudek S. 2019. Needs and Effects of Use Sprinkler Irrigation Systems in Crops Production in Central Poland on the

Example of Spring Malting Barley (*Hordeum vulgare* L.). Infrastructure and Environment. A. Krakowiak-Bal and M. Vaverkova (Eds.): Infrastructure and Environment. 46–52, 2019.

### **Źródła internetowe:**

- [1] Źródło internetowe 1: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230803-1> (odczyt w dniu 01.05.2023r.)
- [2] Źródło internetowe 2: <http://bc.pollub.pl/dlibra/publication/11248/edition/10226/content?ref=desc> (odczyt w dniu 05.05.2023r.)
- [3] Źródło internetowe 3: <https://raportsdg.stat.gov.pl/2020/cel6.html> (odczyt w dniu 01.07.2023r.)
- [4] Źródło internetowe 4: <https://www.google.com/maps/place/86-014+Mochełek> (odczyt w dniu 01.04.2024r.)
- [5] Źródło internetowe 5: [https://www.coboru.gov.pl/pl/szczegoly\\_odmiany?nrodm=13091](https://www.coboru.gov.pl/pl/szczegoly_odmiany?nrodm=13091) (odczyt w dniu 04.08.2023r.)
- [6] Źródło internetowe 6: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/rynek-zboz> (odczyt w dniu 02.06.2023r.)
- [7] Źródło internetowe 7: [https://strzeszewski.is.pw.edu.pl/analiza\\_oplaczalnosci\\_inwestycji.pdf](https://strzeszewski.is.pw.edu.pl/analiza_oplaczalnosci_inwestycji.pdf) (odczyt w dniu 01.05.2022r.)

## SPIS TABEL I RYSUNKÓW

### Spis tabel

[1]	Parametry jakościowe ziarna jęczmienia przeznaczonego dla przemysłu browarniczego.....	10
[2]	Klasy przydatności browarnej ziarna jęczmienia.....	12
[3]	Podstawowe i minimalne wymagania dotyczące ziarna dla przemysłu piwowarskiego.....	12
[4]	Spadek plonu w warunkach opadów niższych bądź wyższych od optymalnych.....	14
[5]	Efekty deszczowania jęczmienia jarego zależnie od wysokości opadów..	21
[6]	Wpływ deszczowania na strukturę plonu zbóż jarych.....	22
[7]	Charakterystyka odmiany browarnej jęczmienia jarego ‘Signora’ .....	32
[8]	Termin siewu jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w latach 2015-2017	34
[9]	Terminy oraz wielkość dawek nawodnieniowych w latach 2015-2017 ....	34
[10]	Termin zbioru ziarna jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w latach 2015-2017.....	36
[11]	Poziom ceny skupu ziarna jęczmienia browarnego w latach 2015-2022 [zł] .....	40
[12]	Średnia temperatura powietrza w Mochełku w okresie wegetacyjnym 2015r. (°C).....	42
[13]	Średnia temperatura powietrza w Mochełku w okresie wegetacyjnym 2016 r. (°C) .....	43
[14]	Średnia temperatura powietrza w Mochełku w okresie wegetacyjnym 2017 r. (°C) .....	44
[15]	Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2015r [mm].....	46
[16]	Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2016r [mm].....	46
[17]	Sumy dekadowe i miesięczne opadów atmosferycznych w rejonie Bydgoszczy w okresie wegetacyjnym 2017r [mm].....	47
[18]	Suma temperatur efektywnych w kolejnych fazach wegetacji jęczmienia jarego uprawianego w latach 2015-2017.....	51
[19]	Niedobór lub nadmiar opadów atmosferycznych w latach 2015-2017 według Klatta [mm] .....	54
[20]	Wielkość plonu ziarna jęczmienia browarnego o wilgotności 15% [dt·ha <sup>-1</sup> ] w latach 2015-2017 .....	56
[21]	Wskaźniki efektywności produkcyjnej deszczowania w zależności od roku badań oraz od poziomu nawożenia azotem .....	58
[22]	Zawartość białka w ziarnie jęczmienia browarnego w latach 2015-2017 [% s.m].....	59
[23]	Masa tysiąca ziaren jęczmienia browarnego [g] w latach 2015-2017.....	62
[24]	Wyrównanie ziarna na sicie 2,8x25mm w latach 2015-2017 [% łącznej masy przesiewanego ziarna] .....	64
[25]	Wyrównanie ziarna na sicie 2,5x25mm w latach 2015-2017 [% łącznej masy przesiewanego ziarna] .....	65

[26]	Ekstraktywność ziarna zebranego w latach 2015-2017 według wzoru Bishopa [%].....	67
[27]	Koszty nawadnianie jęczmienia browarnego w latach 2015-2017 [zł·ha <sup>-1</sup> ] .....	69
[28]	Koszty nawadnianie jęczmienia browarnego w latach 2019-2022 [zł·ha <sup>-1</sup> ] .....	69
[29]	Koszty nawadnianie jęczmienia browarnego w 2022 roku [zł·ha <sup>-1</sup> ].....	70
[30]	Średnie efekty produkcyjne nawadniania jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w latach 2015-2017 (na poziomie nawożenia azotem 30 kg·ha <sup>-1</sup> ) .....	71
[31]	Efektywność ekonomiczna nawadniania jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w wariancie I [zł·ha <sup>-1</sup> ].....	72
[32]	Efektywność ekonomiczna nawadniania jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w wariancie II [zł·ha <sup>-1</sup> ].....	73
[33]	Efektywność ekonomiczna nawadniania jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w wariancie III [zł·ha <sup>-1</sup> ].....	73
[34]	Okres zwrotu inwestycji poniesionych na nawadnianie plantacji jęczmienia jarego odmiany ‘Signora’ w poszczególnych wariantach.....	75

## Spis rysunków

[1]	Przeciętne dekadowe potrzeby opadowe jęczmienia jarego.....	14
[2]	Odnawialne zasoby wody słodkiej.....	23
[3]	Koszty nawadniania.....	26
[4]	Lokalizacja gospodarstwa Mochełek (RZD Politechniki Bydgoskiej w Minikowie).....	30
[5]	Różnice między średnią miesięczną temperaturą powietrze w latach 2015-2017, a normą klimatyczną 1991-2020 dla Mochełka.....	44
[6]	Opady atmosferyczne w latach 2015-2017 wyrażone w % wieloletniej normy dla miejscowości Mochełek.....	48
[7]	Ciągi dni bezopadowych w okresie od kwietnia do lipca w latach 2015-2017. .....	48
[8]	Suma temperatur efektywnych dla jęczmienia jarego.....	50
[9]	Bilans wody łatwo dostępnej w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu w okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia jarego w 2015 roku.....	52
[10]	Bilans wody łatwo dostępnej w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu w okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia jarego w 2016 roku.....	53
[11]	Bilans wody łatwo dostępnej w warstwie gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu w okresie wzmożonych potrzeb wodnych jęczmienia jarego w 2017 roku.....	53
[12]	Niedobów opadów w latach 2015-2017 według norm Klatta [mm].....	56
[13]	Wielkość plonu ziarna w zależności od czynnika wodnego i poziomu nawożenia azotem w poszczególnych latach badań [dt·ha <sup>-1</sup> ].....	58
[14]	Zawartość białka w ziarnie jęczmienia odmiany ‘Signora’ w latach 2015-2016 w zależności od nawadniania i nawożenia azotem [% s.m.].....	61

[15]	Masa tysiąca ziaren w latach 2015-2017 w zależności od nawadniania i nawożenia azotem [g] .....	63
[16]	Wpływ deszczowania i nawożenia azotem w latach 2015-2017 na wyrównanie ziarna jęczmienia browarnego na sicie o średnicy oczek 2,8x25 mm [%] .....	65
[17]	Wpływ deszczowania i nawożenia azotem w latach 2015-2017 na wyrównanie ziarna jęczmienia browarnego na sicie o średnicy oczek 2,5x25 mm [%] .....	66
[18]	Ekstraktywność teoretyczna ziarna w latach 2015- 2017 [%].....	68
[19]	Całkowity roczny koszt nawadniania w zależności od wielkości nawadnianej plantacji i poziomu cen [zł·ha <sup>-1</sup> ] .....	71
[20]	Nadwyżka bezpośrednia uzyskana po zastosowaniu nawadniania w zależności od poziomu cen i nawadnianej powierzchni [zł·ha <sup>-1</sup> ].....	74
[21]	Czas zwrotu kosztów inwestycji w zależności od poziomu cen i wielkości nawadnianej plantacji.....	76



## STRESZCZENIE

### **Ocena efektywności deszczowania, nawożenia azotowego oraz ich interakcji w uprawie jęczmienia jarego w aspekcie poprawy przydatności słodowniczej ziarna**

Jęczmień jary ze względu na skład chemiczny ziarna jest rośliną o wszechstronnym wykorzystaniu. Ziarno jęczmienia wykorzystywane jest do produkcji paszy, w przemyśle spożywczym oraz browarniczym. Celem przeprowadzonych w latach 2015-2017 badań była ocena wpływu nawadniania, nawożenia azotem oraz ich interakcji w uprawie jęczmienia jarego w aspekcie poprawy przydatności słodowniczej ziarna. Badania zrealizowano w Stacji Badawczej Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy zlokalizowanej w miejscowości Mochełek. Doświadczenie przeprowadzono na glebie płowej właściwej, zaliczanej do klasy bonitacyjnej IVa i żytniego bardzo dobrego kompleksu przydatności rolniczej. Obiektem doświadczalnym była browarna odmiana jęczmienia jarego 'Signora'. Dwuczynnikowy eksperyment polowy przeprowadzono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym split-plot w czterech replikacjach. Czynnikiem doświadczenia było nawadnianie oraz nawożenie azotem. Nawadnianie miało na celu zapewnienie roślinom stałego dostępu do wody łatwo dostępnej w strefie o kontrolowanym uwilgotnieniu. Miało ono charakter interwencyjny - terminy oraz dawkę wyznaczano na podstawie analizy standardowych pomiarów meteorologicznych oraz bilansu wodnego. Drugim z czynników doświadczenia było nawożenie azotem zastosowane w czterech wariantach: bez nawożenia (próba kontrolna), 30, 60 i 90 kg N·ha<sup>-1</sup>. Tłem uzyskanych w doświadczeniu wyników by warunki atmosferyczne występujące w poszczególnych latach trwania eksperymentu polowego. Rok 2015 został sklasyfikowany jako bardzo suchy, 2016 wilgotny, a 2017 bardzo wilgotny. Niedostateczne zaopatrzenie roślin jęczmienia w wodę, szczególnie podczas okresów wzmożonych potrzeb wodnych skutkowało spadkiem wielkości i jakości plonu ziarna. Wyniki eksperymentu świadczą o znaczących efektach produkcyjnych zastosowania nawadniania w uprawie jęczmienia, uzyskany pod wpływem nawadniania plon ziarna był średnio o 27,24 dt·ha<sup>-1</sup> większy w porównaniu do plonu zebranego z roślin nienawadnianych. Efektywność wody nawodnieniowej w okresie doświadczenia wyniosła średnio 31,8 kg·ha<sup>-1</sup>/mm<sup>-1</sup>. Największy wzrost wielkości plonu ziarna osiągnięto po zastosowaniu 30 kg N·ha<sup>-1</sup>. Deszczowanie wpłynęło ponadto korzystnie na cechy jakościowe pod kątem przydatności browarniczej ziarna. Ziarno uzyskane z roślin deszczowanych oznaczało się większą masą tysiąca ziaren (wzrost o 2,58g) oraz ekstraktywnością teoretyczną ziarna (wzrost o 1,29 p.p.), mniejszą

zawartością białka w ziarnie (spadek o 1,43 p.p.). Ponadto ziarno zebrane z nawadnianej powierzchni było bardziej wyrównane. Wzrost wielkości dawek nawożenia azotem powodował pogorszenie jakości ziarna jako surowca dla przemysłu piwowarskiego. Ziarno zebrane z roślin intensywnie nawożonych azotem było gorszej jakości pod względem każdej z analizowanych w badaniach cechy: mniejsza masa tysiąca nasion, gorsze wyrównanie, większa zawartość białka, a w konsekwencji mniejsza ekstraktywność teoretyczna ziarna. Analiza uzyskanych wyników pozwala stwierdzić, że zastosowanie nawadniania pozwala w pewnym stopniu zniwelować niekorzystny wpływ nawożenia azotem na jakość ziarna. Zastosowanie nawożenia 30 kg N·ha<sup>-1</sup> połączone z interwencyjnym deszczowaniem roślin stwarza najbardziej optymalne warunki, pozwalające uzyskać możliwie duży plon przy jednoczesnym zachowaniu pożądanых cech jakościowych ziarna. Ocena efektywności ekonomicznej nawadniania jęczmienia jarego wskazuje na celowość wprowadzenia tego zabiegu do technologii uprawy, pod warunkiem nawadniania większych obszarów. Dodatni wynik nadwyżki bezpośredniej uzyskano dla nawadniania jęczmienia jarego na areale większym niż 1 ha. Wielkość nadwyżki bezpośredniej uzyskanej dzięki zastosowaniu deszczowania rosła wraz z wielkością nawadnianej plantacji.

**słowa kluczowe:** jęczmień jary, deszczowanie, nawożenia azotem, plon ziarna, zawartość białka, masa tysiąca ziaren, celność ziarna, efektywność ekonomiczna.

## **ABSTRACT**

### **Assessment of effectiveness of sprinkling irrigation, nitrogen fertilization and their interaction in cultivation of spring malting barley in the aspect of improvement of its end-use quality**

Spring barley, considering its chemical content of grains, is a plant known for its versatile use. Spring barley is used in production of fodder, food processing and brewing industry. The purpose of research conducted in 2015-2017 was assessment of the impact of sprinkling irrigation, nitrogen fertilization and their interaction in cultivation of spring barley in the aspect of improvement of malted barley properties. The studies were carried out in the Research Station of the Faculty of Agriculture and Biotechnology of the Bydgoszcz University of Science and Technology located in the village of Mochełek. The experiment was performed on clay-illuvial soils, classified in IVa valuation class, optimal for rye cultivation. The experimental object was the malting variety of spring barley 'Signora.' A two-factor field experiment was conducted as a randomized split-plot design in four replications. The factors of the experiment included irrigation and nitrogen fertilization. The purpose of irrigation was to ensure to plants regular access to water, easily available in the zone with controlled soil moisture. It was an interventional strategy, where times and doses were determined based on an analysis of standard meteorological measurements and water balance. The second factor of the experiment was nitrogen fertilization used in four variants: without fertilization (control test), 30, 60 and 90 kg N·ha<sup>-1</sup>. The background for results achieved in the experiment were weather conditions reported in consecutive years of the field experiment; 2015 was classified as very dry, 2016 - humid, 2017 – very humid. Insufficient water supply to barley, particularly in periods with increased water needs, results in reduction of barley yields and quality. The results of the experiment confirm significant production effects of irrigation in cultivation of barley; barley yields in irrigated condition were on average higher by 27,24 dt·ha<sup>-1</sup> in comparison to non-irrigated crop yields. Effectiveness of irrigation water during the experimental period amounted on average to 31.8 kg·ha<sup>-1</sup>/mm<sup>-1</sup>. The highest increase in crop yields was achieved after the application of 30 kg N·ha<sup>-1</sup>. In addition, irrigation had a positive impact on the quality properties in terms of brewing quality of grains. Grains yielded from irrigated plants produced a higher 1000-grain weight (increase by 2.58g) and theoretical grain extract content (increase by 1.29 p.p.), and lower content of protein in grains (decrease by 1.43 p.p.). In addition, grains harvested from an irrigated area were more uniform. An increase in doses of nitrogen fertilization led to decrease in the quality of grains as a raw material for the brewing industry. Grains harvested from plants intensively fertilized with nitrogen had worse

quality in all properties analyzed in the study: lower 1000-grain weight, worse uniformity, higher protein content, and as a result - lower theoretical grain extract content. An analysis of the results determined that application of irrigation allows to a certain extent reduce the unfavorable impact of nitrogen fertilization on the quality of grains. Application of fertilization  $30 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  combined with interventional sprinkling irrigation of plants creates optimal best conditions, allowing to achieve high yields, maintaining the desired quality properties of grains. Assessment of economic effectiveness of spring barley irrigation indicates the need for implementation of this method to the technology of cultivation, under the condition of irrigation of large areas. A positive result of direct surplus was achieved for spring barley irrigation on an area larger than 1 ha. The value of direct surplus generated thanks to application of sprinkling irrigation increases along with the area of irrigated plantation.

**keywords:** spring barley, sprinkling irrigation, nitrogen fertilization, grain yield, protein content, 1000-grain weight, grain plumpness, economic effectiveness.