

---

**Autoreferat przedstawiający opis kariery zawodowej  
oraz istotnej aktywności naukowej**

---

dr inż. Dominika Boguszewska-Mańkowska

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy  
w Radzikowie, Oddział w Jadwisinie  
Zakład Agronomii Ziemiaka  
ul. Szaniawskiego 15  
05-140 Jadwisin

---

1. *Imię i nazwisko.*

Dominika Boguszevska-Mańkowska

2. *Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.*

---

<b>Doktor nauk rolniczych</b>	w zakresie agronomii, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, 13 listopada 2014.
<b>Tytuł rozprawy doktorskiej</b>	Fizjologiczno – biochemiczne mechanizmy warunkujące tolerancję ziemniaka ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) na suszę glebową – dyplom z wyróżnieniem
<b>Dyplom ukończenia</b>	Podyplomowych Studiów z zakresu Chemii, Uniwersytet Marii Curie - Skłodowskiej w Lublinie, luty 2004.
<b>Magister ochrony środowiska</b>	Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie. Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, lipiec 2003.
<b>Dyplom ukończenia</b>	Międzywydziałowego Studium Pedagogicznego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, luty 2002.

3. *Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.*

---

01.2015 – obecnie	<b>Adiunkt</b> z Zakładzie Agronomii Ziemniaka, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin - PIB, Oddział w Jadwisinie
07.2006 – 12.2014	<b>Asystent</b> z Zakładzie Agronomii Ziemniaka, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin - PIB, Oddział w Jadwisinie
03.2005 – 06.2006	<b>Inżynier</b> z Zakładzie Agronomii Ziemniaka, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin - PIB, Oddział w Jadwisinie
10.2003 – 02.2005	<b>Laborant</b> w Laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Lublinie - Laboratorium Hydrobiologii i Mikrobiologii

4. *Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).*

a) *Tytuł osiągnięcia*

**Różnorodność strategii odporności ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) na suszę glebową i ocena ich przydatności w hodowli.**

b) *Spis publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego*

Moim osiągnięciem naukowym jest cykl sześciu prac oryginalnych w czasopismach znajdujących się w *Journal Citation Reports* (JCR), wydanych w latach 2018-2022:

1. **Boguszevska-Mańkowska D\***, Pieczyński M., Wyrzykowska A., Kalaji H.M., Sieczko L., Szweykowska-Kulińska Z., Zagdańska B. (2018) Divergent strategies displayed by potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars to cope with soil drought. *Journal of Agronomy and Crop Science* 204(1): 13-30. <https://doi.org/10.1111/jac.12245>, IF<sub>2018</sub> = 2.96, MEiN = 35.
2. **Boguszevska-Mańkowska D\***, Zarzyńska K., Nosalewicz A. (2020) Drought Differentially Affects Root System Size and Architecture of Potato Cultivars with Differing Drought Tolerance. *American Journal of Potato Research* 97(1): 54-62. <https://doi.org/10.1007/s12230-019-09755-2>, IF<sub>2020</sub> = 1.697 MEiN = 70.
3. **Boguszevska-Mańkowska D.**, Gietler M., Nykiel M. (2020) Comparative proteomic analysis of drought and high temperature response in roots of two potato cultivars. *Plant Growth Regulation* 92(2):345-363. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00643-y>, IF<sub>2020</sub> = 4.169, MEiN = 70.
4. **Boguszevska-Mańkowska D\***, Zarzyńska K., Wasilewska-Nascimento B. (2022) Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plant Shoot and Root Changes under Abiotic Stresses - Yield Response. *Plants* 11(24), 3568. <https://doi.org/10.3390/plants11243568>, IF<sub>2022</sub> = 4.658, MEiN = 70.
5. Grudzińska M., **Boguszevska-Mańkowska D.**, Zarzyńska K. (2022) Drought stress during the growing season: Changes in reducing sugars, starch content and respiration rate during storage of two potato cultivars differing in drought sensitivity. *Journal of Agronomy and Crop Science* 208(5): 609-620. <http://dx.doi.org/10.1111/jac.12498>, IF<sub>2021-2022</sub> = 3.473 MEiN = 140.
6. **Boguszevska-Mańkowska D.**, Ruszczak B., Zarzyńska K. (2022) Classification of Potato Varieties Drought Stress Tolerance Using Supervised Learning. *Applied Sciences (Switzerland)* 12(4), 1939. <https://doi.org/10.3390/app12041939>, IF<sub>2022-2023</sub> = 2.838, MEiN = 70.

\* autor korespondujący

**Ogólna liczba punktów MEiN (dawniej MNiSW) = 1406,**

**IF = 61,852; H-index = 8 (264 cytowania);**

**w tym liczba punktów za publikacje stanowiące osiągnięcie naukowe = 455, IF = 19,795.**

Wykaz punktacji MEiN oraz IF jest zgodny z rokiem ukazania się publikacji, wartość IF określana na podstawie bazy *InCites Journal Citation Reports (Web of Science)*. W przypadku publikacji, która ukazała się w czasopiśmie *Journal of Agronomy and Crop Science* wartość punktów MEiN naliczana była na zasadach sprzed 31 lipca 2018r. Obecna wartość punktowa w/w czasopisma wynosi – 140 pkt.

**Według Google Scholar h-index = 11 (506 cytowań)**

W dalszej części referatu, prace wchodzące w skład przedstawionego do oceny cyklu, są cytowane jako P1-P6.

*c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.*

Ziemniak (*Solanum tuberosum* L.) jest po pszenicy i ryżu trzecią najważniejszą rośliną uprawną na świecie z globalną produkcją 370 mln ton bulw (Hill i in., 2021; Nasir i Toth, 2022; Alvarez-Morezuelas i in., 2022). Uprawiany jest na powierzchni 17 mln ha głównie w Europie i Azji i konsumowany przez ponad bilion ludzi na świecie (FAOSTAT, 2021). Połączenie wysokiej wartości energetycznej z dużą zawartością białka i witamin sprawia, że bulwy ziemniaka są cennym źródłem pożywienia. Oprócz celów konsumpcyjnych ziemniak wykorzystywany jest m.in. w przemyśle skrobiowym, tekstylnym, papierniczym oraz jako biopaliwo. Nasilające się, nieprzewidywalne zjawiska atmosferyczne, wzrost kosztów produkcji zbóż oraz zainteresowanie biopaliwami podnoszą znaczenie jego uprawy (Sprenger i in., 2016).

Gatunek ten pochodzi z Ameryki Południowej, z terenów obecnego Chile, Peru i Boliwii, gdzie ślady jego uprawy sięgają 4 tysięcy lat p.n.e. Dwa podgatunki *S. tuberosum: andigena* i *tuberosum*, sprowadzone do Europy w drugiej połowie XVI w., uważa się za przodków współczesnego ziemniaka uprawnego.

Jednym z głównych czynników ograniczających produktywność ziemniaka są jego duże potrzeby wodne. Ziemniak jest uznawany za roślinę wrażliwą na niedobory wody w glebie, praktycznie w każdej fazie rozwojowej. Zapotrzebowanie na wodę roślin ziemniaka wynosi od 400 do 600 litrów potrzebnych do wyprodukowania 1 kg suchej masy bulw. W warunkach polowych wymagania wodne wahają się między 350 a 500 mm w sezonie wegetacyjnym, w zależności od okresu uprawy, warunków środowiskowych oraz rodzaju gleby, a także od odmiany. Susza występująca podczas wschodów, opóźnia je, hamuje wzrost roślin oraz opóźnia zwanie rzędów. W fazie zawiązywania stolonów susza zmniejsza ich ilość i ogranicza prawidłowy wzrost korzeni. Niedobory wody występujące na początku okresu tuberyzacji powodują wiązanie mniejszej liczby bulw. Najbardziej krytycznym okresem pod względem zaopatrzenia w wodę roślin ziemniaka jest okres gromadzenia plonu. W tym okresie obserwujemy największe straty plonu i pogorszenie się jego jakości. Okresy suszy i duże wahania zaopatrzenia w wodę są główną przyczyną pogorszenia jakości plonu w wyniku tworzenia bulw lalkowatych, spękanych, a także wtórnego wiązania bulw, pustowatości,

*Autoreferat*

rdzawej plamistości miąższu i występowania tzw. technologicznych wad bulw objawiających się nierównomiernym rozkładem cukrów w miąższu, co powoduje nieprawidłowe wybarwienie frytek i chipsów (Dahal i in., 2019).

Ziemniak należy do roślin o płytkim systemie korzeniowym i małej jego powierzchni, a główna masa korzeni skoncentrowana jest w warstwie gleby 30-40 cm, co również przyczynia się do wrażliwości tej rośliny na suszę glebową (Zarzyńska, Boguszewska-Mańkowska i Nosalewicz, 2017; **P2**).

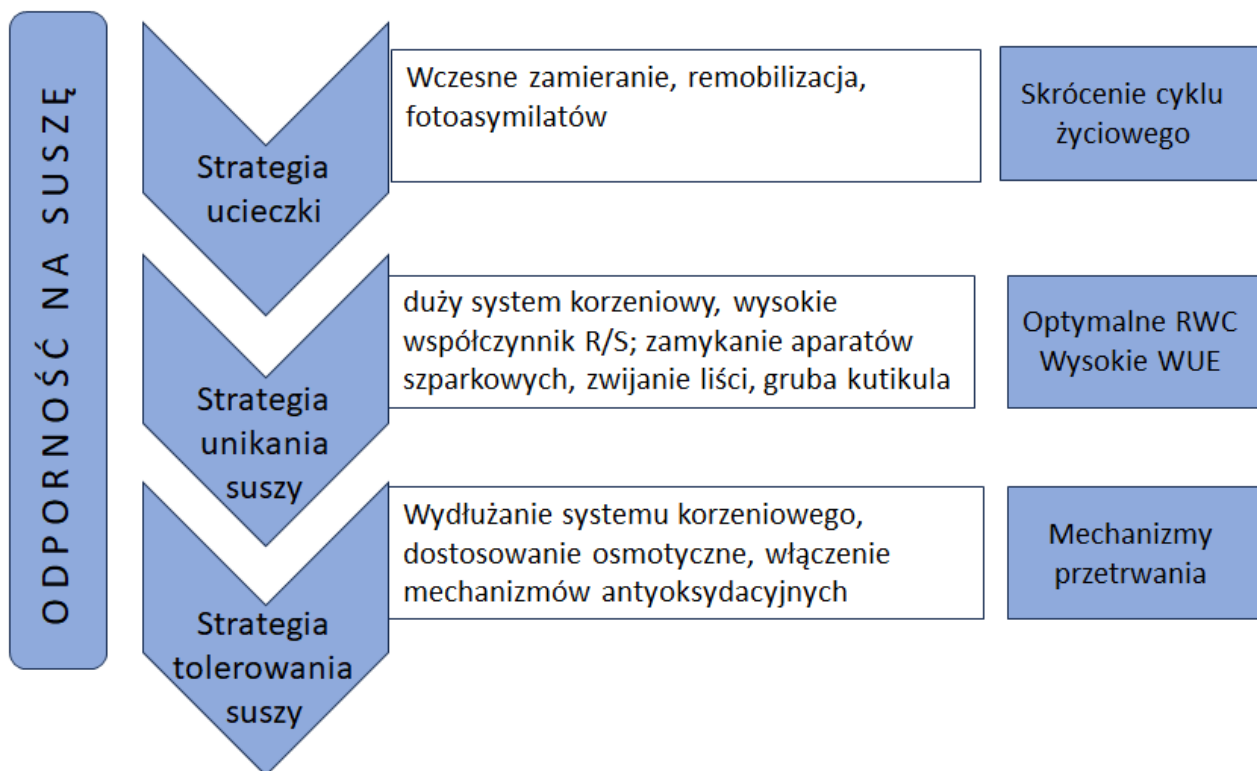
Istnieje wiele dzikich form ziemniaka, które mogą stanowić duże i różnorodne źródła zmienności hodowlanej, ponieważ dzikie gatunki roślin są naturalnie przystosowane do różnorodnych warunków środowiskowych. Pomimo tego, że genotypy dzikiego ziemniaka są źródłem tolerancji na stres biotyczny i abiotyczny od ponad wieku, potencjał hodowlany dzikiego ziemniaka nie został jeszcze oceniony (Ibanez i in., 2021). Do tej pory nie udało się też opracować ideotypu ziemniaka odpornego na suszę. Dotychczasowa hodowla ziemniaka koncentrowała się na poprawie plonowania w optymalnych warunkach. **W ostatnich latach zidentyfikowano liczne geny związane ze stresem suszy, jednak wciąż jesteśmy daleko od opracowania genotypów ziemniaka odpornych na suszę.** Obecnie polska hodowla skupia się głównie na hodowli odpornościowej pod kątem agrofagów. Ważnym aspektem jest również skracanie okresu wegetacji. Niezmiernie istotnym kierunkiem hodowli pozostaje jakość plonu (wyrównane bulwy, płytke oczka, określona liczba bulw pod krzakiem), co w przypadku niedoborów wody ma również duże znaczenie. **Równie ważnym celem hodowli jest dostosowanie nowych odmian do wyspecjalizowanych kierunków użytkowania ziemniaka oraz różnych warunków przyrodniczych panujących w gospodarstwach. Skutki stresu spowodowane suszą można złagodzić poprzez wybór najbardziej odpowiedniego genotypu ziemniaka do określonych warunków glebowo-klimatycznych oraz poprzez poprawę praktyk agronomicznych.**

Intensyfikacja badań nad identyfikacją cech związanych ze stresem suszy na poziomie morfo-fizjologicznym, biochemicznym i molekularnym i ocena możliwości ich wykorzystania powinna umożliwić przyspieszenie tworzenia nowych odmian odpornych na suszę oraz prowadzić do opracowania szybkich metod screeningowych tej cechy.

## **I. STRATEGIE ODPORNOŚCI ZIEMNIAKA NA SUSZĘ GLEBOWĄ**

Susza jest czynnikiem stresowym o charakterze abiotycznym i może być zróżnicowana pod względem natężenia, czasu trwania, częstotliwości oraz oddziaływania z innymi stresami w tym samym czasie, co może dotyczyć komórek organów lub całych roślin (Gaspar i in., 2002). Reakcja na suszę zależy od fazy rozwoju i aktywności fizjologicznej rośliny. Na każdy niekorzystny czynnik środowiska roślina reaguje najsilniej w tzw. krytycznym okresie. W odpowiedzi rośliny na działanie stresora, następują po sobie charakterystyczne fazy (faza alarmu, następnie faza reakcji na stres i faza restytucji), które określa się mianem syndromu reakcji stresowej. Faza wyczerpania organizmu występuje wtedy, gdy czynnik stresowy działa zbyt długo lub zbyt intensywnie. Z kolei po ustąpieniu stresora następuje **faza regeneracji**, w której zostaje przywrócona równowaga fizjologiczna (Starck, 2002; Boguszewska-Mańkowska, 2016).

Odporność na suszę jest cechą wielogenową i wieloczynnikową, wyrażającą się zmianami w morfologii i anatomii rośliny oraz w jej metabolizmie. O odporności na stres decydują właściwości organizmu uwarunkowane genomem, zdolnością organizmu do naprawy uszkodzeń oraz zdolności dostosowawcze organizmu, czyli takie, które pozwalają przystosować się roślinie do życia w warunkach stresu tak, aby zminimalizować jego efekt (Kacperska, 2005).



Rys. 1. Schemat strategii odporności na suszę glebową (Seleiman i in., 2021 zmienione).

Rośliny wykształciły różne strategie reagowania na suszę: ucieczka, unikanie stresu i tolerancja (rys. 1). **Ucieczka** przed suszą jest rozpowszechnioną strategią odporności roślin dzikich pozwalającą na przedłużenie gatunku. W przypadku roślin uprawnych najczęściej prowadzi ona do uzyskania ekonomicznie nieuzasadnionego plonu. **Unikanie** stresu jest konsekwencją wykształcenia mechanizmów, które zapobiegają wystąpieniu stresu w komórkach roślinnych, poprzez opóźnienie lub osłabienie działania stresorów, jak np. zamknięcie aparatów szparkowych i zmniejszenie powierzchni liści. Odpowiedzialne minimalizowanie strat wody może ograniczyć produktywność fotosyntezy powodując zmniejszenie produkcji asymilatów i w konsekwencji straty w plonie. **Tolerancja** stresu obejmuje mechanizmy odpowiedzialne za radzenie sobie z trwającym stanem stresu w komórkach roślinnych. Zwiększone stężenia osmoprotektantów, powodujące dopasowanie osmotyczne, może skutkować dodatkową stratą energii wymaganej do osmoregulacji. Poszczególne strategie nie wykluczają się, rośliny mogą je łączyć. Dlatego też dostosowanie roślin do niekorzystnych warunków środowiska powinno odzwierciedlać równowagę między

*Autoreferat*

unikaniem i tolerancją, przy zachowaniu odpowiedniej wydajności w postaci plonu (Blum, 1988; Starck i in., 1995).

**Należy podkreślić, że odporność rośliny na niekorzystne warunki środowiska w aspekcie fizjologicznym, czyli możliwości przetrwania często nie pokrywa się z oceną odporności w aspekcie zmian wielkości plonowania.** Zarówno unikanie stresu, jak i tolerancja stresu są odpowiedzialne za odporność na stres, rozumianą jako umiejętność radzenia sobie z niekorzystnymi warunkami środowiskowymi, poprzez zachowanie równowagi między wzrostem, reprodukcją i aktywacją odpowiednich strategii radzenia sobie ze stresem. Ten rodzaj odporności można nazwać **odpornością biologiczną**, która jest strategią pojedynczej rośliny, aby tolerować i przetrwać warunki stresowe (Blum, 2011; Bandurska, 2022).

**Z punktu widzenia kryteriów rolniczych odporność na suszę to zdolność rośliny do wydania możliwie najwyższego plonu, przy zachowaniu jego wysokiej jakości.**

**Celem prac przedstawionych w ramach osiągnięcia naukowego było zidentyfikowanie wytworzonych strategii odpowiedzialnych za stopień odporności ziemniaka na suszę w aspekcie utrzymania wysokiego plonu i jego dobrej jakości w warunkach niedoboru wody.**

**Badania oparte zostały na następujących hipotezach badawczych:**

- utrzymanie wysokiego potencjału plonowania w warunkach suszy glebowej zależy głównie od zdolności do unikania suszy [P1], a procesy regulowane przez kwas abscysynowy (ABA) są odpowiedzialne za poziom tolerancji na suszę [P1];
- poziom odporności na suszę jest konsekwencją zmian w wielkości systemu korzeniowego [P2, P4] i metabolizmu energetycznego korzeni [P3]; a odmiany różniące się poziomem tolerancji na suszę glebową odmiennie reagują na gromadzenie cukrów i intensywność oddychania podczas przechowywania bulw [P6];
- wysoka temperatura towarzysząca suszy modyfikuje odporność roślin [P3, P4];
- analiza zróżnicowania odmian poddanych suszy glebowej w różnych warunkach wilgotnościowych w badaniach wieloletnich pozwala na wytypowanie genotypów różnie reagujących na niedobór wody, co ułatwia ich rejonizację w kraju [P5].

**W celu realizacji postawionych tez, badania skoncentrowałam na:**

- wytypowaniu genotypów ziemniaka różniących się tolerancyjnością na suszę glebową;
- analizie cech morfo-anatomicznych i fizjologiczno- biochemicznych w części nadziemnej wyselekcjonowanych genotypów, systemie korzeniowym oraz w całej roślinie;
- analizie zmian jakości bulw po przechowywaniu.

## II. STRATEGIE ODPORNOŚCI NA SUSZĘ GLEBOWĄ - BADANIA MORFOLOGICZNO- FIZJOLOGICZNE

Rośliny ziemniaka rozwinęły różnorodne strategie na poziomie molekularnym, biochemicznym i fizjologicznym, aby poradzić sobie ze skutkami suszy glebowej (Dahal i in., 2019; P1). Strategia unikania odwodnienia pozwala roślinie na utrzymanie turgoru poprzez obniżoną transpirację, ograniczony wzrost wegetatywny lub zwiększony wzrost korzeni i efektywne wykorzystania wody (WUE), w którym pośredniczą czynniki szparkowe i nieszparkowe (mezofil) liścia. Odwodnienia można unikać również poprzez zwiększone pobieranie wody związane z wydłużaniem systemu korzeniowego oraz zmianę jego architektury. Rośliny tolerancyjne na suszę glebową są zdolne do przetrwania odwodnienia poprzez dostosowania osmotyczne czy metaboliczne (Blum, 2011; P1; Obidiegwu i in., 2015; Gervais i in., 2021). Ta ostatnia strategia wydaje się być mniej ważna dla roślin użytkowanych rolniczo w przypadku niedoboru wody (Blum, 2011).

Istnieje zatem konflikt między strategiami radzenia sobie roślin (unikanie, tolerancja) a odpornością na suszę niezbędną w produkcji rolnej. Z perspektywy agronomicznej rośliny odporne na suszę to takie, które utrzymują stabilny plon w warunkach niedoboru wody. Priorytetem w badaniach hodowlanych ukierunkowanych na poprawę odporności na suszę jest uzyskanie takich genotypów, które poradzą sobie ze stresem suszy bez hamowania wzrostu i spadku plonów. Dlatego badania nad fizjologią stresu powinny koncentrować się na znalezieniu tych cech strategii, które zapewniają utrzymanie wzrostu i stabilne plonowanie (Blum, 2011; Bandurska, 2022).

Zdolność do utrzymania wydajności ekonomicznej w warunkach niedoboru wody jest cenną cechą, gdy dostępność wody jest problemem. Można to osiągnąć poprzez poprawę unikania odwodnienia i/lub tolerancji na odwodnienie oraz innych cech związanych z optymalnym wzrostem i metabolizmem w warunkach stresu (Okogbenin i in., 2013). Ograniczony postęp nad poprawą odporności ziemniaka na suszę wydaje się być spowodowany słabą znajomością mechanizmów odpowiedzialnych za odporność ziemniaka na suszę i w konsekwencji brakiem skutecznych metod selekcji (Monneveux i in., 2013; Sprenger i in., 2016). Badania nad hodowlą ziemniaka koncentrują się przede wszystkim na selekcji odmian odpornych na suszę poprzez uwzględnienie wskaźników na poziomie całej rośliny i liści, takich jak plon, fenotyp rośliny, zawartość wody w liściach, przy mniejszym zainteresowaniu na poziomie anatomicznym, fizjologicznym i biochemicznym. **Dlatego głównym celem naszych badań w pracy [P1] była analiza mechanizmów fizjologicznych, które są związane z tolerancją ziemniaka na suszę w aspekcie stabilności plonu.** Weryfikowaliśmy następujące hipotezy:

- utrzymanie wysokiego potencjału plonowania w warunkach suszy glebowej zależy głównie od strategii unikania suszy
- różnorodne mechanizmy regulowane przez ABA w odpowiedzi roślin na niedobór wody są związane z tolerancją na suszę
- intensywność fotosyntezy po ustąpieniu suszy tj. w fazie regeneracji odpowiedzialna jest za wielkość plonowania

Nasze doświadczenia przeprowadziliśmy w warunkach półkontrolowanych (hala wegetacyjna), gdzie rośliny ziemniaka rosły w doniczkach ustawionych na ruchomych



platformach. Dwie pary polskich odmian ziemniaka Gwiazda/Oberon oraz Tajfun/Owacja, które wyselekcjonowałam do doświadczeń wykazały skrajne różnice w tolerancji na suszę ocenioną na podstawie utraty plonu bulw w doświadczeniach polowych (Nowacki, 2012) oraz wazonowych [P5]. Pary odmian (odmiana tolerancyjna i odmiana wrażliwa na suszę glebową) charakteryzowały się podobnym podłożem genetycznym. Gwiazda i Oberon mają wspólną rodzicielską odmianę Denar, natomiast Tajfun i Owacja pochodzą od klonu PS646, rodzica Tajfun i dziadka Owacja. W fazie gromadzenia plonu rośliny poddałam suszy glebowej przez okres 3, 6, 9 i 13 dni. Pozostałe rośliny były regularnie podlewane (rośliny kontrolne) do końca doświadczenia. Po każdym okresie suszy rośliny podlewano i utrzymywano optymalny poziom wody do końca doświadczenia. W trakcie eksperymentu analizowaliśmy następujące parametry dla roślin kontrolnych i poddanych suszy: wizualną ocenę więdnienia i regeneracji (Boguszewska i in., 2010), wielkość plonu, zawartość skrobi i suchej masy w bulwach, oceniany był indeks plonowania, masa części nadziemnej roślin, zawartość wody w liściach, ubytek wody podczas suszy glebowej, zawartość kwasu abscysynowego (ABA) w liściach oraz oceniane były parametry wymiany gazowej i fluorescencji chlorofilu. U roślin kontrolnych dodatkowo określiliśmy gęstość aparatów szparkowych i trichomów na zewnętrznej i wewnętrznej stronie liścia, oceniono ruchy aparatów szparkowych pod wpływem ABA oraz grubość kutikuli liści.

Susza glebowa znacznie ograniczyła całkowitą produkcję biomasy części nadziemnej roślin, a także suchą masę z rośliny, która zmniejszyła się o 52 - 73%, przy czym odmiany Gwiazda i Oberon wykazały najmniejszy spadek suchej masy. Potencjał plonowania roślin ziemniaka oszacowany na podstawie świeżej masy bulw pod koniec okresu wegetacji obniżył się istotnie u wrażliwej na suszę odmiany Owacja (52,7%) i Oberon (43,7%) głównie z powodu zmniejszonej ilości bulw dużych w strukturze plonu. Susza glebowa spowodowała również wzrost indeksu plonowania u odmiany Gwiazda, Tajfun i Owacja, ale nie wpłynęła na zmianę tego parametru u odmiany Oberon.

Rośliny odporne na suszę mają zwykle większą liczbę aparatów szparkowych na dolnej powierzchni liści, a mniejszą na górnej powierzchni liści (Pieczyński i in., 2013). Liczba aparatów szparkowych na górnej powierzchni liści była wyższa w przypadku wrażliwej na suszę odmiany Oberon w porównaniu z odporną na suszę odmianą Gwiazda. Jednak w przypadku odmian Tajfun i Owacja zależność ta była odwrotna. Na dolnej powierzchni liścia największą liczbę aparatów szparkowych zidentyfikowano u tolerancyjnej odmiany Tajfun. Jak oczekiwano, gęstość trichomów na górnej powierzchni liścia była większa niż na dolnej u wszystkich odmian z wyjątkiem odpornej odmiany Gwiazda.

Całkowita grubość kutikuli górnej epidermy liścia była większa u odpornych na suszę Gwiazdy i Tajfun niż u wrażliwych na suszę Oberon i Owacja. Wynik ten wskazuje na lepszy rozwój unikania odwodnienia, a tym samym zdolność do obniżenia transpiracji kutykularnej liści ziemniaka w genotypach odpornych na suszę.

Zdolność do tolerowania odwodnienia poprzez znaczący wzrost efektywności wykorzystania wody odmiana Gwiazda osiągnęła w wyniku wczesnego zamykania aparatów szparkowych, a wrażliwość na ABA znacznie zmniejszyła intensywność transpiracji. Strategia ta została niedawno opisana dla wrażliwych na suszę odmian soi (Fenta i in., 2012) i kukurydzy (Benesova i in., 2012). Inną strategię przeciwdziałania skutkom suszy wykazała unikająca odwodnienia odmiana Tajfun, która utrzymywała aparaty szparkowe częściowo otwarte.

*Autoreferat*

W ten sposób rośliny były w stanie zachować stosunkowo wysoki stosunek fotosyntezy do transpiracji. Tej ryzykownej strategii towarzyszyło około 15% niższe, choć nieistotne statystycznie, plonowanie bulw w porównaniu z około 8% ubytkiem masy bulw w odmianie Gwiazda.

Uzyskane wyniki w [P1], dotyczące fizjologicznej odpowiedzi rośliny na suszę glebową jak również cech agronomicznych, pozwoliły na sformułowanie wniosków, że obie badane pary genotypów różnią się strategiami obrony przed szkodliwymi skutkami niedoboru wody. Para odmian ziemniaka Tajfun/Owacja charakteryzuje się lepszą strategią unikania odwodnienia, podczas gdy para Gwiazda/Oberon strategią tolerancji na suszę, a zdolność do unikania odwodnienia pozostaje strategią dodatkową. Podobnie zdolność do tolerancji odwodnienia obu par odmian ziemniaka wydaje się być lepiej charakteryzowana przez wskaźniki fluorescencji niż przez parametry związane z fotosyntezą i wydajnością fotochemiczną fotosystemu II (PSII). Zależności te zostały potwierdzone w kolejnych badaniach i przeanalizowane pod kątem zmian ekspresji genów w reakcji na suszę glebową i opisane przez autorów w pracy Pieczyński, Wyrzykowska, Milanowska, Boguszevska-Mańkowska, Zagdańska, Karłowski, Jarmołowski, i Szweykowska-Kulińska (2018).

**W publikacji [P1] mój udział polegał na wyselekcjonowaniu odmian o skrajnej odporności na suszę glebową, współtworzeniu koncepcji badań, przeprowadzeniu doświadczenia, pobieraniu materiału do badań, ocenie cech agronomicznych, morfologicznych, fizjologicznych i biochemicznych: wizualnej oceny więdnienia i regeneracji, ocenie wielkości plonu, oznaczeniu zawartości skrobi i suchej masy w bulwach, indeksów plonowania, masy części nadziemnej rośliny, względnej zawartości wody w liściach, poziomu ubytku wody, zawartości kwasu abscysynowego (ABA) w liściach; wykonaniu pomiaru parametrów wymiany gazowej: intensywność fotosyntezy, transpiracji, pomiar parametrów fluorescencji chlorofilu, opracowaniu graficznym i statystycznym wyników, analizie wyników i współudziale przy napisaniu pracy.**

W literaturze niewiele jest doniesień na temat mechanizmów fizjologicznych dotyczących części nadziemnej roślin ziemniaka odpowiedzialnych za rodzaj strategii odpowiedzi roślin na suszę glebową uwzględniających aspekt agronomiczny. Jeszcze mniej publikacji dotyczy badań systemu korzeniowego, którego rola w formowaniu plonu ziemniaka jest stosunkowo słabo poznana. Wynika to głównie stąd, że badania nad systemem korzeniowym są bardzo czasochłonne.

### **III. REAKCJA KORZENI ROŚLIN ZIEMNIAKA NA SUSZĘ GLEBOWĄ – IDENTYFIKACJA STRATEGII**

Ziemniak należy do roślin o płytkim systemie korzeniowym, a główna masa korzeni skoncentrowana jest w warstwie gleby 30-40 cm. Cały system korzeniowy może jednak osiągać długość do 10-20 km/m<sup>2</sup> powierzchni gleby. Większy system korzeniowy w genotypach ziemniaka, szczególnie korzeni związanych ze stolonami (tzw. korzenie stolonowe), zwiększa zdolność roślin do tolerowania suszy i pozwala na utrzymanie stabilnego plonu (Wishart i in.,

2013 i 2014; Puértolas i in., 2014). Genotypy te osiągają również szybsze zwarcie łąnu, co wydłuża czas trwania maksymalnej aktywności fotosyntetycznej i zmniejsza ilość wody traconej z gleby przez parowanie. Przyjmując jako kryterium odporności na suszę masę korzeni w warstwie ornej i plon bulw w Japonii wyhodowano odmiany Konyu, które charakteryzowały się znacznie większą odpornością na suszę niż odmiany komercyjne (Iwama, 2008).

Susza glebowa zmniejsza masę systemu korzeniowego, a ekstremalnie wysoka temperatura prowadzi do zahamowania wzrostu korzeni (George i in., 2017). Susza zmienia również morfologię systemu korzeniowego ziemniaka (Wishart i in., 2013 i 2014; Zinta i in., 2022), powodując zwiększoną boczną penetrację korzeni i wytwarzanie włośników korzeniowych, które utrzymują kontakt korzeń-gleba w glebie kurczącej się podczas suszy (Schmidt i in., 2012; Haling i in., 2013). Genotypy o dłuższym okresie wegetacji wytwarzają większy system korzeniowy, jednak występują też różnice w zasięgu i wielkości systemu korzeniowego pomiędzy genotypami w tej samej grupie wczesności.

**Celem naszych badań w pracy [P2 i P3] była analiza zmian parametrów systemu korzeniowego w reakcji na suszę glebową u odmian różniących się odpornością na niedobory wody oraz identyfikacja strategii odpowiedzi na niedobór wody.**

W pracy [P2] przedstawiono wyniki badań wykonanych na dwóch parach odmian Gwiazda/Oberon oraz Tajfun/Cekin różniących się odpornością na suszę glebową w obrębie par (Gwiazda, Tajfun - odporne, Oberon, Cekin - wrażliwe). Badania przeprowadziliśmy w specjalnie skonstruowanych wazonach o wysokości 1 m i średnicy 40 cm umożliwiających prawidłowy rozwój roślin oraz systemu korzeniowego. Dodatkowo wazonny te podzieliliśmy na 20 cm warstwy siatką o średnicy oczek  $1\text{cm}^2$ , co umożliwiło wyodrębnienie korzeni z pięciu warstw. Część roślin poddaliśmy suszy glebowej przez okres 2 tygodni, druga połowa była podlewana. W fazie pełnego rozwoju roślin (kwitnienie) dokonaliśmy szczegółowej oceny systemu korzeniowego tj zasięg, sucha masa całego systemu i w poszczególnych warstwach gleby, a po osiągnięciu przez rośliny pełnej dojrzałości oceniliśmy plon bulw.

Wyniki naszych prac wskazują, że wszystkie badane odmiany reagowały obniżeniem masy części nadziemnej pod wpływem suszy. Należy zauważyć, że odmiany reagujące dużym ubytkiem części nadziemnej charakteryzowały się również dużym ubytkiem masy korzeni. Obserwacja ta może być wskaźnikiem reakcji odmian na zmiany w systemie korzeniowym na niedobór wody. Wymaga to jednak potwierdzenia w dalszych badaniach na większej liczbie odmian. Nasze badania wykazały, że większe zróżnicowanie dotyczyło części nadziemnych roślin, niż korzeni. Ubytek masy części nadziemnej pod wpływem suszy wyniósł 34,4%, a masy korzeni tylko o 14,3%. W wyniku takich zmian stosunek masy części nadziemnej do masy korzeni był wyższy w warunkach kontrolnych niż w suszy. Odwrotna sytuacja dotyczyła udziału korzeni w ogólnej biomacie roślin.

Stwierdziliśmy, że wszystkie cztery odmiany reagowały na suszę zmniejszeniem masy korzeni i spadek ten był bardziej wyraźny u odmian wrażliwych na suszę (21,2 % - Oberon; 17,8 % - Cekin) niż odmian odpornych (6,6 % - Gwiazda; 10,7 % - Tajfun). Co ciekawe, w warunkach kontrolnych odporna na suszę odmiana Gwiazda wykształciła mniejszy system korzeniowy w porównaniu z wrażliwą odmianą Oberon. Natomiast w parze odmian Tajfun/Cekin zależność ta była odwrotna - odmian odporna Tajfun w warunkach kontrolnych miała większy system korzeniowy w porównaniu z odmianą wrażliwą Cekin. Większość autorów wykazuje proste zależności pomiędzy wielkością systemu korzeniowego a wielkością

plonu (Lahlou i Ledent, 2005; Iwama, 2008; Rykaczewska, 2015). Podobne zależności odnotowaliśmy również w naszych poprzednich badaniach (Zarzyńska, Boguszewska-Mańkowska i Nosalewicz, 2017). Nietypowa reakcja pary Gwiazda/Oberon zdecydowała o szczegółowej analizie morfologii i architektury systemu korzeniowego tych odmian.

Odnotaliśmy zmiany w suchej masie korzeni w poszczególnych warstwach gleby w odpowiedzi na suszę. Największe różnice w suchej masie korzeni zaobserwowano w najgłębszych warstwach gleby.

Odmienne kształtowały się również zmiany średnicy korzeni tych odmian w odpowiedzi na suszę. Chociaż obie odmiany reagowały zmniejszeniem średnicy korzeni, to spadek ten był wyraźniejszy u odmiany wrażliwej Oberon niż u odmiany Gwiazda. Tendencję tę zaobserwowano również w poszczególnych warstwach gleby. Wishart i in. (2014) wykazali, że parametry korzeni, które są związane z tolerancją na suszę u ziemniaka, takie jak te zidentyfikowane w naszej pracy, mogą być wykorzystane do selekcji genotypów odpornych na suszę. W naszych badaniach sucha masa korzeni ziemniaka zmniejszała się w odpowiedzi na suszę, przy czym spadek ten był mniejszy u odmian odporniejszych. Odmiana odporna reagowała na suszę wydłużaniem korzeni, podczas gdy korzenie odmiany wrażliwej pozostawały tej samej długości, natomiast zmniejszenie średnicy korzeni było mniejsze w korzeniach odmiany odpornej na suszę. Na podstawie naszego doświadczenia możemy również stwierdzić, że zmiany morfologii roślin pod wpływem stresu suszy są mniejsze u odmian odpornych niż u wrażliwych.

**W publikacji [P2] mój udział polegał na tworzeniu koncepcji badań, zaprojektowaniu i przeprowadzeniu eksperymentu, pobieraniu materiału do badań, oznaczeniu wielkości plonu, względnej zawartości wody w liściach, oznaczeniu suchej masy części nadziemnej i podziemnej roślin, skanowaniu systemu korzeniowego, opracowaniu graficznym manuskryptu, wykonaniu analiz statystycznych, opracowaniu wyników badań, współudziale w interpretacji wyników, przygotowaniu i rewizji manuskryptu oraz kierowaniu projektem badawczym w ramach którego powstała publikacja.**

Wcześniejsze badania (w których brałam udział) nad różnicami w transkryptomie dwóch par odmian (Gwiazda/Oberon i Tajfun/Owacja) pozwoliły na identyfikację genów odpowiedzialnych za poziom odporności na suszę (Pieczyński i in., 2018). Wyselekcjonowane geny wykazały konserwatywny ewolucyjny ich funkcji. Konsekwencją tych badań było poszukiwanie białkowych wskaźników tolerancji stresów u roślin w celu lepszego zrozumienia mechanizmów molekularnych leżących u podstaw odporności na stres. Ponadto, analizowaliśmy również zmiany aktywności systemu antyoksydacyjnego na przykładzie kluczowych enzymów antyoksydacyjnych. W pracy [P3] obiektem naszych badań były dwie odmiany ziemniaka różniące się tolerancyjnością na suszę glebową: odporna Gwiazda i wrażliwa Oberon, które mają wspólną formę rodzicielską odmianę Denar. Badania przeprowadziliśmy w wazonach (12 l), a rośliny ziemniaka zostały poddane dwutygodniowej suszy w fazie gromadzenia plonu.

Analiza rozdziału białek korzeni metodą elektroforezy dwukierunkowej (2DE) w pracy [P3] pozwoliła na wytypowanie 18 białek różnicujących korzenie roślin ziemniaka odmiany

odpornej na suszę glebową (Gwiazda) rosnących w warunkach optymalnego nawadniania i poddanych suszy glebowej. W korzeniach odmiany wrażliwej (Oberon) wytypowano 13 potencjalnych markerów. Zidentyfikowane białka należą do grup funkcjonalnych związanych z metabolizmem energetycznym i węglowodanowym, procesami obronnymi/detoksykacyjnymi, budową ścian komórkowych oraz metabolizmem kwasów nukleinowych i aminokwasów w przypadku odmiany tolerancyjnej (Gwiazda). Za pomocą analizy interakcji połączeń sieciowych wykazaliśmy, że w korzeniach odmiany tolerancyjnej (Gwiazda) białka te były związane głównie z metabolizmem energetycznym i węglowodanowym oraz procesami obronnymi/detoksykacyjnymi. Natomiast udział białek różnicujących zaangażowanych w obronę i detoksykację u odmiany wrażliwej (Oberon) był prawie dwukrotnie większy niż w korzeniach odmiany tolerancyjnej (Gwiazda) i około dwukrotnie niższy w metabolizmie energetycznym i węglowodanowym. Ponadto większość białek związanych z mechanizmami obronnymi i detoksykacją u odmiany wrażliwej (Oberon) zwiększały swoją ekspresję, podczas gdy w korzeniach odmiany tolerancyjnej (Gwiazda) cztery białka tej kategorii funkcjonalnej zwiększyły ekspresję, a trzy zmniejszyły. Analizując białka związane z metabolizmem energetycznym i węglowodanowym u odmiany odpornej (Gwiazda) stwierdziliśmy cztery białka o zwiększonej ekspresji, podczas gdy u odmiany wrażliwej tylko jedno białko zwiększyło swoją ekspresję. Analiza interakcji połączeń funkcjonalnych białek u odmiany wrażliwej (Gwiazda) była mniej rozbudowana w porównaniu z odmianą odporną (Gwiazda). Susza indukowała zwiększoną ekspresję enzymów glikolitycznych u odmiany tolerancyjnej (Gwiazda) np. enolazy i aldolazy fruktozo-bisfosforanowej. Inhibicja aldolazy może być częścią mechanizmu umożliwiającego gromadzenie cukrów, które mogą działać jako osmolity lub jako źródło energii do regeneracji, co nie jest obserwowane u odmiany odpornej. Ponadto u odmiany tolerancyjnej (Gwiazda) białko związane z produkcją ATP zwiększyło ekspresję w warunkach suszy glebowej, co może być związane z tym, że niektóre tolerancyjne genotypy mogą mieć zdolność zwiększania produkcji energii w celu utrzymania aktywności fizjologicznej i hamowania skutków stresu. Natomiast u odmiany wrażliwej (Oberon) zmniejszona ekspresja białek związanych z glikolizą może być odpowiedzialna za zmniejszoną akumulację biomasy korzeni podczas suszy glebowej co można traktować jako mechanizm magazynowania i akumulacji cukrów, umożliwiający szybki wzrost w fazie regeneracji.

Realizowane przeze mnie badania wykazały, że główna różnica w reakcji na suszę glebową dwóch odmian o skrajnej tolerancyjności dotyczy głównie zmian w metabolizmie energetycznym.

#### **IV. ZMIANY ODPORNOŚCI ROŚLIN POD WPLYWEM WYSOKIEJ TEMPERATURY – STRESU TOWARZYSZĄCEGO SUSZY GLEBOWEJ**

W naturalnych warunkach polowych suszy glebowej zazwyczaj towarzyszy występowanie wysokiej temperatury. Ziemiak jest typową rośliną klimatu umiarkowanego. Optymalna temperatura wzrostu i rozwoju części nadziemnej to 20-25°C, a tuberyzacji i rozwoju bulw 15-20°C. Temperatura wyższa od optymalnej powoduje ograniczenie lub całkowite zahamowanie tuberyzacji oraz intensyfikację wzrostu części nadziemnej roślin. W warunkach naturalnych trudno jest oddzielić te dwa stresy, natomiast warunki eksperymentalne pozwalają zaobserwować różnice w odporności roślin w przypadku stresu

towarzyszącego suszy glebowej. Dlatego **celem pracy [P4] była analiza reakcji czterech odmian ziemniaka na stres suszy glebowej i wysokiej temperatury występujące oddzielnie i razem oraz analiza zmian morfologicznych zachodzących zarówno w części nadziemnej roślin jak i w systemie korzeniowym oraz znalezienie zależności między badanymi parametrami roślin a plonem bulw.**

W ramach pracy [P4] wykonaliśmy doświadczenie, w którym rośliny ziemniaka w fazie gromadzenia plonu poddano 2-tygodniowej suszy (40% polowej pojemności wodnej), działaniu wysokiej temperatury (dzień/noc - 38/25°C) oraz obydwu stresów jednocześnie.

Zaobserwowaliśmy istotne różnice odmianowe w suchej masie liści i łodyg, suchej masie korzeni w przypadku suszy glebowej oraz przy występowaniu dwóch stresów jednocześnie. Istotne różnice odmianowe odnotowaliśmy dodatkowo w przypadku wysokości roślin poddanych działaniu wysokiej temperatury.

W naszych badaniach susza glebowa hamowała wzrost roślin, o czym świadczyła niższa sucha masa liści i łodyg, powierzchnia asymilacyjna oraz sucha masa korzeni. Stres wysokiej temperatury spowodował wydłużenie roślin, ale zmniejszenie masy liści: rośliny były wyższe, ale cieńsze.

Pomimo zaobserwowanych różnic odmianowych możemy stwierdzić, że zarówno susza jak i wysoka temperatura, działające osobno jak i razem, spowodowały zmiany w morfologii roślin. Stres suszy miał jednak większy wpływ niż wysoka temperatura. Największe zmiany zaszły w przypadku jednoczesnego zastosowania obu stresów o czym świadczyć może największy spadek plonu. Najmniejszy spadek plonu odnotowano w przypadku stresu wysokiej temperatury.

**Spośród badanych parametrów morfologicznych roślin największy wpływ na obniżenie plonu miała wielkość systemu korzeniowego i jej udział w całej biomase rośliny. Wpływ ten był bardziej istotny w przypadku stresu suszy niż wysokiej temperatury.**

Analizując zmiany w proteomie korzeni pod wpływem pojedynczego stresu (suszy lub wysokiej temperatury) w pracy [P3] stwierdziliśmy, że zidentyfikowane białka należą do czterech grup funkcjonalnych związanych z metabolizmem energetycznym i węglowodanów, procesami obronnymi/detoksykacyjnymi, budową ścian komórkowych oraz metabolizmem kwasów nukleinowych i aminokwasów. Zaobserwowane przez nas różnice pomiędzy stresami suszy i wysokiej temperatury oraz pomiędzy odmianami odporna/wrażliwa dotyczą udziału zidentyfikowanych białek w poszczególnych grupach funkcjonalnych. U odmiany odpornej (Gwiazda) udział białek zaangażowanych w metabolizm energetyczny i węglowodanowy oraz w obronę/detoksykację w odpowiedzi na suszę i wysoką temperaturę są bardzo podobne. Różnice dotyczą białek zaangażowanych w metabolizm kwasów nukleinowych i aminokwasów (6% w odpowiedzi na suszę i 14% w odpowiedzi na wysoką temperaturę) oraz białek ściany komórkowej (23% w odpowiedzi na suszę i 10% w odpowiedzi na wysoką temperaturę). Ekspresja białek zidentyfikowanych u odmiany wrażliwej (Oberon) była różna w obu stresach. W odpowiedzi na suszę, zidentyfikowane białka brały udział głównie w obronie i detoksykacji (77%), podczas gdy w odpowiedzi na wysoką temperaturę były zaangażowane w metabolizm energetyczny i węglowodanów (50%) oraz obronę/detoksykację (43%).

Zwiększoną ekspresję białek ściany komórkowej zaobserwowaliśmy u obydwu odmian pod wpływem suszy glebowej z wyjątkiem ekspresji, w odpowiedzi na wysoką temperaturę odmiany wrażliwej. Natomiast białka metabolizmu kwasów nukleinowych i aminokwasów

zmieniły ekspresję pod wpływem wysokiej temperatury u obydwu odmian, a pod wpływem suszy tylko u odmiany tolerancyjnej na suszę glebową (Gwiazda).

Jedną z konsekwencji działania suszy glebowej na rośliny jest stres oksydacyjny. Moje wcześniejsze badania (Boguszewska i in., 2010) wykazały, że zwiększona aktywność peroksydazy gwajakolowej (GPOX), katalazy (CAT) i dysmutazy ponadtlenkowej (SOD) ogranicza akumulację reaktywnych form tlenu (RFT) w liściach i bulwach poddanych działaniu suszy i w ten sposób zapobiega obniżeniu się plonu bulw. Reakcje antyoksydacyjne korzeni ocenialiśmy również na podstawie aktywności katalazy (CAT), peroksydazy (GPOX), dysmutazy ponadtlenkowej (SOD) i peroksydacji lipidów (LP). Aktywność badanych enzymów w reakcji na suszę glebową i wysoką temperaturę była podobna, ale zaobserwowaliśmy jednak pewne różnice w odpowiedzi odmian. Aktywność CAT i GPOX w korzeniach odmiany odpornej (Gwiazda) była wyższa w odpowiedzi na suszę glebową, ale zmniejszyła się pod wpływem wysokiej temperatury. Natomiast aktywność GPOX nie różniła się pomiędzy odmianami pod wpływem wysokiej temperatury.

W pracy [P3] wskazujemy, że aktywna reakcja roślin na suszę glebową i wysoką temperaturę wymaga energii metabolicznej. Korzenie wrażliwej odmiany (Oberon) wykorzystywały głównie wytworzone wcześniej rezerwy energii do aktywacji enzymów związanych z mechanizmami obronnymi i usuwaniem RFT. Ponadto, enzymy związane z glikolizą i wytwarzaniem energii były hamowane pod wpływem suszy glebowej i wysokiej temperatury. Dlatego możliwe jest, że po zużyciu zapasów energii do walki z przedłużającym się stresem oksydacyjnym rośliny nie są w stanie uruchomić innych mechanizmów przetrwania, co oznacza załamanie tolerancji na stres. Nadmierne wykorzystanie rezerw energetycznych powoduje zmniejszenie plonu bulw i mniejszą przydatność odmiany Oberon do uprawy polowej.

U odmiany tolerancyjnej (Gwiazda) obserwowaliśmy utrzymanie pozyskiwania energii z jednoczesną selektywną aktywacją kontroli stresu oksydacyjnego, co pozwalało roślinie przetrwać przez dłuższy czas. Ponadto, utrzymanie rezerw energii prowadziło prawdopodobnie do mniejszej redukcji plonu bulw ziemniaka.

**W publikacji [P3] mój udział polegał na zaprojektowaniu i przeprowadzeniu eksperymentu, pobieraniu materiału do badań, oznaczeniu wysokości plonu, względnej zawartości wody w liściach, oznaczeniu suchej masy części nadziemnej i podziemnej roślin, wykonaniu pomiarów fluorescencji chlorofilu, skanowaniu żeli po elektroforezie dwukierunkowej, analizie żeli 2DE w programie Delta2D w celu wytypowania markerów, współudziale w interpretacji wyników oraz współudziale w przygotowaniu i rewizji manuskryptu, kierowaniu projektem badawczym w ramach, którego powstała publikacja.**

**W publikacji [P4] mój udział polegał na zaprojektowaniu i przeprowadzeniu doświadczenia eksperymentalnego, pobieraniu materiału do badań, oznaczeniu plonu, oznaczeniu suchej masy części nadziemnej i podziemnej roślin, wykonaniu analiz statystycznych, opracowaniu graficznym, opracowaniu wyników badań, współudziale w interpretacji wyników, przygotowaniu i rewizji manuskryptu oraz kierowaniu projektem badawczym w ramach którego powstała publikacja.**

## V. WPLYW SUSZY GLEBOWEJ NA JAKOŚĆ PRZECHOWYWANYCH BULW

Przy deficycie wody zmniejsza się nie tylko plon ziemniaków, pogorszeniu ulega również jego jakość. Bulwy ziemniaka przeznaczone do konsumpcji i przetwórstwa na cele spożywcze powinny cechować się dobrymi cechami morfologicznymi takimi jak kształt, regularność zarysu kształtu, głębokość oczek, barwa i wygląd skórki. Cechy te w małym stopniu uzależnione są od warunków środowiska. Dużo większym zmianom ulegają cechy wewnętrzne bulw, które decydują o jakości ziemniaka jadalnego (Boguszewska, 2007; Grudzińska i in., 2016). W przypadku ziemniaka nie tylko sezon wegetacyjny ma wpływ na jakość bulw, warunki przechowywania również w dużym stopniu kształtują jego jakość.

Zmiany warunków wilgotnościowych determinują zmiany składu chemicznego bulw. Zakłóceniom wzrostu rośliny towarzyszą zmiany w przemianach cukrów. Większość sacharozy produkowanej w liściach jest przemieszczana do rozwijających się bulw, gdzie przekształcana w skrobię, a pozostała sacharoza jest wykorzystywana do oddychania. Po okresie suszy bulwy mają więcej suchej masy, mniej skrobi, a więcej cukrów redukujących. Skrobia zostaje zhydrolizowana do cukrów prostych, które są potrzebne roślinie do zintensyfikowania wzrostu. Następstwem tego zjawiska jest wzrost zawartości cukrów. Wyższa koncentracja cukrów redukujących (glukozy i fruktozy) wpływa na intensywność przebiegu reakcji Maillarda i powoduje brązowienie produktów (Zgórska i Grudzińska, 2012).

Obiektem naszych badań w pracy [P5] były dwie odmiany ziemniaka o skrajnej tolerancji na suszę glebową: odmiana odporna (Tajfun) i wrażliwa (Cekin). Przeprowadziliśmy doświadczenie na obiektach mikroplotkowych. W trakcie sezonu wegetacyjnego w fazie gromadzenia plonu rośliny były poddawane suszy glebowej ciągłej i przerywanej. Po zakończeniu sezonu wegetacyjnego bulwy były przechowywane w temperaturze 5 °C i 8°C i wilgotności względnej powietrza 85-90%.

**Celem pracy [P5] było określenie zmian zawartości glukozy, fruktozy, skrobi oraz intensywności oddychania bulw ziemniaków w czasie przechowywania, które uprawiane były w warunkach suszy. Ocenę przeprowadzono na bulwach dwóch odmian ziemniaka różniących się zdolnością do tolerowania suszy. Ponadto, przeprowadzono ocenę wpływu nieprzerwanej 40-dniowej suszy oraz okresowej, trzykrotnej suszy trwającej tydzień podczas wegetacji roślin na akumulację cukrów i intensywność oddychania.**

Z dostępnej literatury wiadomo, że zawartość cukrów prostych w bulwach ziemniaka jest zależna od genotypu, a także może być determinowana przez warunki glebowe i klimatyczne oraz czynniki związane z technologią uprawy np. data sadzenia, zbioru, stosowania nawadniania, ochrony plantacji czy nawożenia (Grudzińska i in., 2014; Amjad i in., 2019). W publikacji [P5] pokazaliśmy, że w trakcie przechowywania bulwy odmiany tolerancyjnej na suszę glebową (Tajfun) gromadziły istotnie mniej cukrów prostych (glukozy i fruktozy) w porównaniu z odmianą wrażliwą (Cekin), niezależnie od rodzaju zastosowanej suszy (40-dniowa, nieprzerwana susza lub trzy w trakcie wegetacji okresowe tygodniowe susze). Zmiany zawartości tych składników podczas przechowywania były bardziej dynamiczne u odmiany odpornej na suszę glebową (Tajfun). W odmianie odpornej na stres suszy stwierdzono spadek zawartości glukozy po długotrwałym przechowywaniu w wyższych temperaturach, natomiast w odmianie wrażliwej zawartość tego składnika wzrastała niezależnie



od warunków wilgotnościowych panujących w okresie wegetacji. Przechowywanie bulw w niskiej temperaturze prowadziło do akumulacji glukozy i fruktozy, niezależnie od wrażliwości odmiany na stres suszy oraz rodzaju zastosowanej suszy.

Intensywność oddychania jest zazwyczaj największa po zbiorze, szczególnie kiedy bulwy zbierane są w ciepłym okresie (Malone i in., 2006), co również potwierdziły nasze badania [P5]. Warto również podkreślić, że intensywność oddychania bulw była większa u odmiany odpornej na suszę (Tajfun), w porównaniu z wrażliwą odmianą (Cekin) niezależnie od temperatury przechowywania. Dynamika zmian intensywności oddychania była większa u odmiany odpornej (Tajfun). Ponadto większe zmiany intensywności oddychania odnotowaliśmy w przypadku suszy przerywanej. Podczas przechowywania u obydwu odmian nastąpił spadek intensywności oddychania. Był on nieco mniejszy u odmiany wrażliwej.

**W publikacji [P5] mój udział polegał na opracowaniu koncepcji badań, przeprowadzeniu doświadczenia na obiekcie mikropoletek, przygotowaniu bulw do przechowywania, oznaczaniu zawartości skrobi w bulwach ziemniaka, współudziale w interpretacji wyników, przygotowaniu i rewizji manuskryptu oraz kierowaniu projektem badawczym w ramach którego powstała publikacja.**

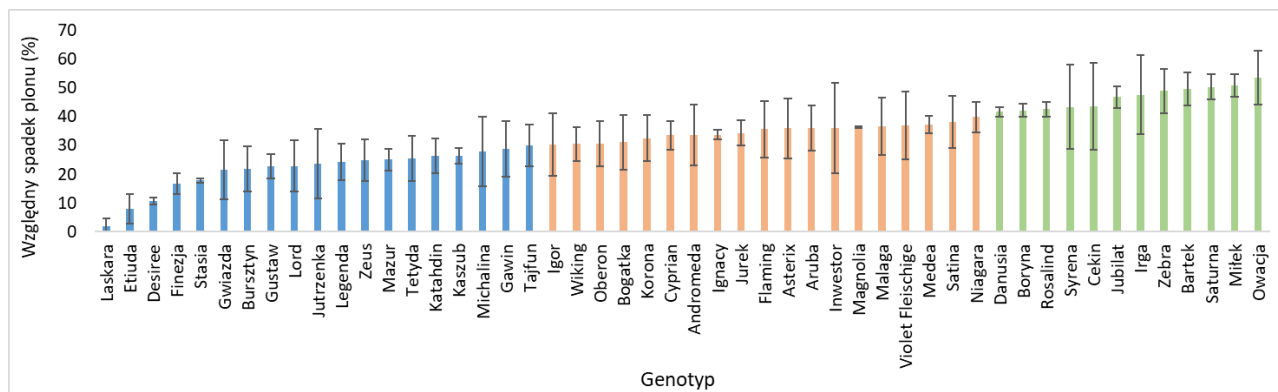
## **VI. WYKORZYSTANIE WSKAŹNIKÓW MORFOLOGICZNO-FIZJOLOGICZNYCH W HODOWLI**

Mimo że ziemniak jest uznawany za roślinę wrażliwą na suszę glebową w każdej fazie swojego wzrostu i rozwoju to przeprowadzone badania wykazały, że w obrębie tego gatunku istnieje duża zmienność pod względem zdolności do tolerowania suszy w fazie tuberyzacji. W związku ze zmieniającym się modelem rozwoju rolnictwa z intensywnego na zrównoważony oraz coraz większego znaczenia rolnictwa ekologicznego, co wiąże się między innymi z ograniczeniem stosowania nawozów, pestycydów i wody, istotne jest znalezienie genotypów odporniejszych na stresy, co umożliwi zwiększenie plonów w różnych warunkach środowiskowych. Z praktycznego punktu widzenia poznanie reakcji na suszę glebową konkretnej odmiany oraz wielu odmian pozwoli na identyfikację wymagań wodnych poszczególnych genotypów oraz ich rejonizację w zależności od warunków klimatycznych. Ponadto identyfikacja strategii wybierana przez rośliny w warunkach stresu suszy glebowej, poznanie zależności pomiędzy plonem a różnymi wskaźnikami fizjologicznymi oraz zrozumienie procesów fizjologicznych, biochemicznych i molekularnych związanych z tym stresem ma kluczowe znaczenie dla opracowania procedur screeningowych (przesiewowych) w celu wybrania odmian, które mogą lepiej dostosować się do zmieniających się warunków wzrostu.

**Celem pracy [P6] była analiza zależności pomiędzy plonem a wskaźnikami fizjologicznymi ułatwiającymi prognozowanie plonowania z wykorzystaniem zależności liniowych oraz elementów uczenia maszynowego.** W publikacji [P6] pokazaliśmy duże zróżnicowanie odmianowe w odporności ziemniaka na suszę glebową na podstawie badań przeprowadzonych na 50 genotypach ziemniaków uprawianych w hali wegetacyjnej w naturalnych warunkach środowiska przez okres 10 lat. Badania pozwoliły na wyodrębnienie

## Autoreferat

trzech grup odmian istotnie różniących się reakcją na stres suszy (rys. 2) również w odniesieniu do różnych warunków klimatycznych opracowanych na bazie klimatycznego bilansu wodnego.



Rys. 2. Względny spadek plonu (%) badanych genotypów pod wpływem suszy glebowej występującej w fazie gromadzenia plonu. Kolor niebieski – odmiany odporne na suszę glebową, pomarańczowy – średnio-odporne, zielony – wrażliwe.

Największe korelacje między odpornością roślin ziemniaka na suszę glebową wyrażoną obniżeniem plonu a morfologią roślin dotyczyły masy liści i powierzchni asymilacyjnej. Wykazaliśmy istotną korelację między masą liści a zmodyfikowanym indeksem tolerancyjności roślin na suszę (MSTI – modified stress tolerance index) obliczanym na podstawie plonu bulw dla grup odmian o średniej tolerancyjności na suszę glebową oraz dla odmian wrażliwych na suszę. Podobne zależności otrzymywano we wcześniejszych badaniach (Wishart i in., 2014). Porównując korelacje liniowe i nieliniowe w pracy [P6] wyższe zależności otrzymaliśmy dla modeli nieliniowych (Model Extreme boosting,  $R^2 = 0,967$ ).

Prowadzone przez nas badania w pracy [P6] mogą być bazą do tworzenia modeli i bezpośredniego ich wykorzystywania aplikacyjnego w rolnictwie precyzyjnym. Nasze badania mogą stanowić podstawę do stosowania precyzyjnej aplikacji środków produkcji a szczególnie wody, co może prowadzić do zwiększenia efektywności produkcji roślin ziemniaka.

**W publikacji [P6] mój udział polegał na współtworzeniu koncepcji badań, przeprowadzeniu doświadczenia wazonowego w hali wegetacyjnej, wykonaniu następujących analiz: oceny wędnięcia i regeneracji roślin, oceny suchej masy części nadziemnej, oznaczenie powierzchni asymilacyjnej, indeksu zieloności SPAD, oceny wysokości plonu i jego jakości, współdziałanie w interpretacji wyników, współdziałanie w przygotowaniu i rewizji manuskryptu oraz kierowaniu projektem badawczym w ramach którego powstała publikacja.**

## VII. PODSUMOWANIE

Podsumowując, analiza wyboru strategii roślin ziemniaka na suszę poprzez badania wielu cech morfologiczno-anatomicznych i fizjologiczno-biochemicznych genotypów ziemniaka o różnej tolerancyjności przyczyniły się do poszerzenia wiedzy podstawowej. Badania te dostarczyły również informacji o metodyce tego typu badań (m. in. badania

*Autoreferat*

dotyczące systemu korzeniowego). Ponadto analiza wielu genotypów pod kątem odporności na suszę glebową ma charakter aplikacyjny.

Szczególne osiągnięcia naukowe zawarte w cyklu prac, zawarte są w poniższych wnioskach:

- Odmiany ziemniaka odporne na suszę oceniane na podstawie wielkości plonu rolniczego pomimo genetycznego pokrewieństwa wykształcają różnorodne mechanizmy fizjologiczne odpowiedzialne za odporność rośliny.  
Para odmian ziemniaka Tajfun/Owacja opracowała lepszą strategię unikania odwodnienia, podczas gdy odporność pary Gwiazda/Oberon opiera się głównie na strategii tolerancji na suszę, z unikaniem odwodnienia jako strategią dodatkową.
- Zdolność roślin ziemniaka do regeneracji po ustąpieniu suszy jest dobrym wskaźnikiem odporności na suszę, pozwalającym przewidzieć zmiany wielkości plonu.
- Odporność roślin ziemniaka na suszę związana jest również ze zróżnicowaną reakcją systemu korzeniowego (wydłużanie się korzeni i mniejsze zmiany ich średnicy).  
Odmiana odporna reagowała na suszę wydłużaniem korzeni, podczas gdy korzenie odmiany wrażliwej pozostawały na tej samej długości, natomiast zmniejszenie średnicy korzeni było mniejsze w korzeniach odmiany odpornej na suszę.
- Utrzymanie wysokiego plonu bulw i jego jakości zależy również od intensywnego metabolizmu energetycznego oraz uruchamianiu mechanizmów kontroli stresu oksydacyjnego i mechanizmów detoksykacyjnych w korzeniach ziemniaka.
- Spośród badanych parametrów morfologicznych roślin największy wpływ na obniżenie plonu pod wpływem niedoboru wody w glebie i/lub wysokiej temperatury miała wielkość systemu korzeniowego i jego udział w całej biomacie rośliny. Wpływ ten był większy w przypadku stresu suszy, niż wysokiej temperatury.
- Długotrwałe przechowywanie bulw odmiany odpornej na suszę powoduje wolniejszą akumulację cukrów.  
W bulwach odmiany odpornej na stres suszy stwierdzono zmniejszenie zawartości glukozy po długotrwałym przechowywaniu w wyższych temperaturach, natomiast w bulwach odmiany wrażliwej zawartość tego składnika wzrastała niezależnie od warunków wilgotnościowych panujących w okresie wegetacji.
- Znajomość różnic odmianowych w odporności ziemniaka na suszę glebową może ułatwić ich rejonizację w zależności od warunków klimatycznych, a tym samym zwiększyć efektywność produkcji.

Otrzymane wyniki i wnioski z nich płynące sugerują kierunek dalszych badań. Analiza kluczowych genów związanych z tolerancyjnością zarówno na suszę i jak i wysoką temperaturę oraz ich realizacja na poziomie metabolizmu, a także cech fenotypowych takich jak morfologia części nadziemnej roślin ziemniaka oraz systemu korzeniowego powinny pozwolić na

## Autoreferat

wytypowanie cech rośliny modelowej ziemniaka (ideotypu) tolerancyjnego na suszę i wysoką temperaturę. Natomiast analiza reakcji wielu genotypów na stres suszy glebowej czy wysokiej temperatury, poszukiwanie zależności przydatnych do estymacji plonu uzupełnione o ocenę stanu roślin za pomocą spektralnych wskaźników roślinnych miałyby praktyczny wymiar aplikacyjny w procesie hodowli.

**LITERATURA:**

1. Alvarez-Morezuelas A., Barandalla L., Ritter E., Lacuesta M., Ruiz de Galarreta J.I. (2022) Physiological response and yield components under greenhouse drought stress conditions in potato. *Journal of Plant Physiology* 278, 153790.
2. Amjad A., Javed M. S., Hameed A., Hussain M., & Ismail A. (2019). Changes in sugar contents and invertase activity during low temperature storage of various chipping potato cultivars. *Food Science and Technology* 40(2): 340–345.
3. Bandurska H. (2022) Drought Stress Responses: Coping Strategy and Resistance. *Plants* 11, 922.
4. Benesova M., Hola D., Fischer L., Jedelsky P. L., Hnilicka F., Wilhelmova N., Hnilickova H. (2012). The physiology and proteomics of drought tolerance in maize: Early stomatal closure as a cause of lower tolerance to short-term dehydration? *PLoS ONE* 7, e38017.
5. Blum A. (1988) Plant Breeding for Stress Environments. CRS Press.
6. Blum A. (2011). Drought resistance – is it really a complex trait? *Functional Plant Biology* 38: 753–757.
7. Boguszewska D. (2007) Wpływ niedoboru wody na zawartość wybranych składników bulw ziemniaka. *Żywność* 5 (54): 93-101.
8. Boguszewska D., Grudkowska M., Zagdańska B. (2010) Drought-responsive antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research* 53: 373-382.
9. Boguszewska-Mańkowska D. (2016) Odporność ziemniaka na suszę glebową i metody. *Biuletyn IHAR* 279: 65-75.
10. Dahal K., Li X-Q., Tai H., Creelman A., Bizimungu B. (2019) Improving Potato Stress Tolerance and Tuber Yield Under a Climate Change Scenario – A Current Overview. *Front. Plant Sci.* 10:563.
11. FAOSTAT. 2021 Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed on 23 November 2021).
12. Fenta B. A., Driscoll S. P., Kunert K. J., Foyer C. H. (2012). Characterization of Drought-Tolerance Traits in Nodulated Soya Beans: The Importance of Maintaining Photosynthesis and Shoot Biomass Under Drought-Induced Limitations on Nitrogen Metabolism. *Journal of Agronomy and Crop Science* 198: 92–10.
13. Gaspar T., Franck T., Bisbis B., Kevers C., Jouve L., Hausman J. F., Dommes J. (2002) Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regul.* 37: 263-285.

14. George T.S., Taylor M.A., Dodd I.C., White P.J. (2017) Climate Change and Consequences for Potato Production: a Review of Tolerance to Emerging Abiotic Stress. *Potato Res.* 60: 239–268.
15. Gervais T., Creelman A., Li X-Q., Bizimungu B., De Koeeyer D., Dahal K. (2021) Potato Response to Drought Stress: Physiological and Growth Basis. *Front. Plant Sci.* 12, 698060.
16. Grudzińska M., Czerko Z., Wierzbicka A., Borowska-Komenda, M. (2016). Changes in the content of reducing sugars and sucrose in tubers of 11 potato cultivars during long term storage at 5 and 8°C. *Acta Agrophysica* 23(1): 31–39.
17. Grudzińska M., Czerko Z., Zgórska K. (2014). Impact of weather conditions on the content of reducing sugars in potato tubers. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 577: 43–52.
18. Haling R.E, Brown L.K., Bengough A.G., Young I.M., Hallett P.D., White P.J., George T.S. (2013) Root hairs improve root penetration, root–soil contact, and phosphorus acquisition in soils of different strength. *J Exp Bot.* 64: 3711–3721.
19. Hill D., Nelson D., Hammond J., Bell L. (2021). Morphophysiology of Potato (*Solanum tuberosum*) in Response to Drought Stress: Paving the Way Forward. *Front. Plant Sci.* 11, 597554.
20. Iwama K. (2008) Physiology of the potato: New insights into root system and repercussions for crop management. *Potato Res.* 51:333–353.
21. Ibanez V.N., Kozub P.C., Gonzalez C.V., Jerez D.N, Masuelli R.W., Berli F.J., Marfil C.F. (2021) Response to water deficit of semi-desert wild potato *Solanum kurtizianum* genotypes collected from different altitudes. *Plant Science* 308, 110911.
22. Kacperska A. (2005) Reakcje roślin na abiotyczne czynniki stresowe. W: Kopcewicz J, Lewak S. (red.) *Fizjologia Roślin*, PWN, Warszawa; 612-678.
23. Lahlou O., Ledent J.F. (2005) Root mass and depth, stolons and root formed on stolons in four cultivars of potato under water stress. *European Journal of Agronomy* 22: 159–173.
24. Malone J. G., Mittova V., Ratcliffe R. G., Kruger N.J. (2006). The Response of Carbohydrate Metabolism in Potato Tubers to Low Temperature. *Plant and Cell Physiology* 47(9): 1309–1322.
25. Monneveux P., Ramirez D.A, Pino M.T. (2013) Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.) Can we learn from drought tolerance research in cereals? *Plant Sci.* 205-206: 76-86.
26. Nasir M.W., Toth Z. (2022) Effect of Drought Stress on Potato Production: A Review. *Agronomy* 12, 635.
27. Nowacki W. (Red.). 2012. Charakterystyka Krajowego Rejestru Odmian Ziemniaka. ISBN: 83-891172-55-0.
28. Obidiegwu J. E., Bryan G. J., Jones H. G., Prashar A. (2015). Coping with drought: Stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Science* 6, 542.

## Autoreferat

29. Okogbenin, E., T. L. Setter M. Ferguson R. Mutegi H. Ceballos B., Olasanmi M., Fregene. (2013) Phenotypic approaches to drought in cassava: review. *Frontiers in Physiology* 4, 93.
30. Pieczyński M., Marczewski W., Hennig J., Dolata J., Bielewicz D., Pointek P., Wyrzykowska A., Krusiewicz D., Strzelczyk-Zyta D., Konopka-Postupolska M., Krzesłowska M., Jarmołowski A., Szweykowska-Kulińska Z. (2013) Down-regulation of CBP80 gene expression as a strategy to engineer a drought-tolerant potato. *Plant Biotech. J.*; 11: 459-469.
31. Pieczynski M., Wyrzykowska A., Milanowska, K., Boguszewska-Mańkowska D., Zagdańska, B., Karłowski W., Jarmolowski A., Szweykowska-Kulinska Z. (2018) Genomewide identification of genes involved in the potato response to drought indicates functional evolutionary conservation with *Arabidopsis* plants. *Plant Biotechnology Journal* 16(2): 603-614.
32. Puértolas J., Ballester C., Elphinstone E.D., Dodd I.C. (2014) Two potato (*Solanum tuberosum*) varieties differ in drought tolerance due to differences in root growth at depth. *Funct. Plant Biol.* 41: 1107–1118.
33. Rykaczewska K. (2015) Morphology and anatomy of the root system of new potato cultivars. Part I. Morphology of the root system. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin* 275: 99–109.
34. Rykaczewska K., Zarzyńska K., Boguszewska-Mańkowska D. (2018) Architecture of the root system of potato cultivars grown in aeroponics. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 21(1).
35. Schmidt S., Bengough A.G, Gregory P.J, Grinev D.V., Otten W. (2012) Estimating root–soil contact from 3D X-ray microtomographs. *Eur J Soil Sci.* 63:776–786.
36. Seleiman M.F., Al-Suhaibani N., Ali, N., Akmal M., Alotaibi M., Refay Y., Dindaroglu T., Abdul-Wajid, H.H., Battaglia M.L. (2021) Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants* 10, 259.
37. Sprenger, H., Kurowsky, C., Horn, R., Erban, A., Seddig, S., Rudack, K. Fischer A., Walther D., Zuther E., Köhl K., Hinch D.K., Kopka, J. (2016). The drought response of potato reference cultivars with contrasting tolerance. *Plant, Cell and Environment* 39: 2370–2389.
38. Starck Z., Chołuj D., Niemyska B. (1995) Fizjologiczne reakcje roślin na niekorzystne warunki środowiska. SGGW, Warszawa.
39. Starck Z. (2002) Wpływ stresów abiotycznych na plonowanie roślin. W: Fizjologia Plonowania Roślin.; Red. Górecki J.R, Grzesiuk S: 447-486.
40. Wishart J., George T.S., Brown L.K., Ramsay G., Bradshaw J.E., White P.J., Gregory P.J. (2013) Measuring variation in potato roots in both field and glasshouse: The search for useful yield predictors and a simple screen for root traits. *Plant and Soil* 368: 231–249.
41. Wishart J., George T.S., Brown L.K., White P.J., Ramsay G., Jones H., Gregory P.J. (2014) Field phenotyping of potato to assess root and shoot characteristics associated with drought tolerance. *Plant and Soil* 378: 531–363.

## Autoreferat

42. Zarzyńska K., Boguszewska-Mańkowska D., Nosalewicz, A. (2017) Differences in size and architecture of the potato cultivars root system and their tolerance to drought stress. *Plant, Soil and Environment* 63: 159–164.
43. Zinta R., Tiwari J.K., Buckseth T., Thakur K., Goutam U., Kumar D., Challam C., Bhatia N., Poonia A.K., Naik S., Singh R.K., Thakur A.K., Dalamu D., Luthra S.K., Kumar V., Kumar M. (2022) Root system architecture for abiotic stress tolerance in potato: Lessons from plants. *Front. Plant Sci.* 13, 926214.
44. Zgórska K., Grudzińska M. (2012) Zmiany Wybranych cech jakości ziemniaka w czasie przechowywania. *Acta Agrophysica* 19(1): 203-214.

5. *Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.*

Swoją edukację realizowałam na Akademii Rolniczej w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy). W trakcie studiów interesowałam się wskaźnikami oceny jakości wód. W roku 2003 byłam stypendystką programu Socrates Erasmus na Uniwersytecie w Gandawie (Belgia). Moja praca magisterska pod opieką prof. Ryszarda Kornijów dotyczyła bioindykatorów oceny jakości wody jeziora Piaseczno (woj. lubelskie). W sierpniu 2003 wzięłam udział w międzynarodowej ekspedycji naukowej Uniwersytetu Bałtyckiego na Zatokę Fińską, której celem było ocena jakości wód zatoki. W latach 2003-2005 pracowałam w akredytowanym laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Lublinie w Pracowni Mikrobiologii.

Od marca 2005 roku pracuję IHAR-PIB w Oddziale w Jadwisinie. Swoją pracę naukową rozpoczęłam pod opieką dr Wojciecha Nowackiego w Zakładzie Agronomii Ziemniaka, pracując nad zagadnieniami związanymi z epidemiologią bakteriozy pierścieniowej, a szczególnie rozprzestrzenianiu się bakterii *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* w trakcie przechowywania oraz nad zagadnieniami związanymi z optymalnym zaopatrzeniem roślin ziemniaka w wodę, skutkami niedoboru wody, agronomicznej ocenie jakości plonu i fizjologii plonowania roślin ziemniaka.

W roku 2005 w dniach 04.09-14.09 oraz w roku 2008 w dniach 15.08- 25.08 byłam członkiem delegacji naukowo badawczej w Instytucie Biotechnologii Agricultural Science Research Academy of Yanbian w prowincji Jilin w Chinach. Pierwsza wizyta dotyczyła określenia zakresu współpracy pomiędzy IHAR-PIB a Instytutem Biotechnologii jednostki naukowej w Chinach. Zaprezentowaliśmy profil badawczy IHAR-PIB oraz poznaliśmy zagadnienia badawcze partnera. Podczas spotkania ustaliliśmy temat współpracy: Ocena wartości agrotechnicznej i użytkowej polskich odmian ziemniaka uprawianych w Chinach. W roku 2006 przekazaliśmy do badań w Chinach 6 polskich odmian ziemniaka. W roku 2008 podczas kolejnego wyjazdu do Chin podsumowaliśmy wyniki badań dotyczących polskich odmian uprawianych w doświadczeniach polowych w północnej części Chin, oceniliśmy również poziom prowadzenia doświadczeń odmianowych oraz zdrowotność plantacji. Strona

Autoreferat

chińska przekazała IHAR-PIB do testowania 4 chińskie odmiany ziemniaka w sezonie wegetacyjnym 2009 i 2010. Podpisaliśmy również dwustronną współpracę na okres 2008-2011 „Wykorzystanie polskich odmian ziemniaka w hodowli i nasiennictwie w warunkach glebowo klimatycznych północnych Chin. Kierownikiem ze strony polskiej był dr Wojciech Nowacki, ze strony chińskiej prof. Jiang Cheng Mo. Celem współpracy było udostępnienie nowych polskich odmian dostosowanych pod względem wartości użytkowej i agrotechnicznej do wymagań i warunków chińskiego rynku i warunków przyrodniczych tego kraju oraz podjęcie współpracy w zakresie optymalizacji organizacji i technologii w nasiennictwie i produkcji towarowej polskich odmian ziemniaka (głównie jadalnego) realizowanej w Chinach. Główne aspekty kilkuletniej współpracy dotyczą m.in.: możliwości dokonania wyboru rejonów w Chinach, gdzie można byłoby zrealizować praktyczny transfer polskiej technologii produkcji ziemniaka (od zaproponowania polskich odmian, poprzez nasiennictwo aż do produkcji towarowej ziemniaka jadalnego i przemysłowego), zabezpieczenia prawne dotyczące aspektów zachowania własności odmian, systemów rozmnożeń w nasiennictwie i transferu postępu technicznego oraz weryfikacja wiedzy o polskich odmianach uprawianych w innych warunkach klimatycznych [Załącznik 6.1].

W roku 2009 otrzymałam stypendium British Potato Council i odbyłam staż naukowy w Sutton Bridge Experimental Unit, Wielka Brytania w dniach 15.01.2009-15.04.2009 w ramach projektu “The effect of atmospheric components in potato storage on tuber quality characteristics” („Wpływ warunków przechowalniczych, na jakość przechowywanych ziemniaków”), którego opiekunem naukowym był dr Glyn Harper z Sutton Bridge Experimental Unit. W trakcie stażu zapoznałam się z ważnymi aspektami w zakresie przechowalnictwa oraz zasadami dobrej praktyki przechowalniczej. Brałam udział w ocenie strat przechowalniczych, ocenie jakości plonu po przechowywaniu ziemniaków do przetwórstwa przemysłowego. Prowadziłam badania dotyczące wpływu warunków przechowywania na rozwój chorób tego okresu, spowodowane działalnością patogenów takich jak *Pectobacterium* oraz grzyby z rodzaju *Phoma*. Podczas stażu nauczyłam się wykorzystywać technikę RT-PCR, która wykorzystywaliśmy do ilościowego oznaczania bakterii *Pectobacterium*. Dzięki pobytowi w jednostce eksperymentalnej British Potato Council poznałam i testowałam różne metodyki badawcze, poznałam funkcjonowanie laboratorium i przechowalni w jednostce zagranicznej. Wiedza ta przyczyniła się do podjęcia badań z zakresu przechowalnictwa również w kraju [Załącznik 6.2].

W latach 2013 - 2017 byłam głównym wykonawcą w grantie NCN OPUS 3 2014/15/N/NZ1/00498 Nowe elementy genetyczne w odpowiedzi roślin na niedobór wody, którego kierownikiem była prof. dr hab. Zofia Szweykowska-Kulińska. Do realizacji grantu wyselekcjonowałam odmiany o skrajnej tolerancji na suszę glebową, współtworzyłam koncepcję badań, przeprowadziłam doświadczenia wazonowe w hali wegetacyjnej w IHAR-PIB w Oddziale w Jadwisinie, pobierałam materiał do badań, brałam udział w ocenie cech agronomicznych, morfologicznych, fizjologicznych i biochemicznych.

W dniach 20-27.11.2015 odbyłam staż naukowy w Zakładzie Ekspresji Genów Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu finansowany w ramach projektu KNOW (Poznańskie Konsorcjum RNA 01/KNOW2/2014). Opiekunem naukowym stażu była prof. dr hab. Zofia Szweykowska-Kulińska. Staż obejmował naukę technik używanych w biologii molekularnej. W trakcie pobytu w Zakładzie Ekspresji Genów przeprowadziłam analizę



## Autoreferat

ekspresji genów roślin ziemniaka wybranych na podstawie głębokiego sekwencjonowania transkryptomu RNA Seq. Nauczyłam się technik RT-PCR, izolacji RNA z materiału roślinnego i oczyszczania z zanieczyszczeń DNA oraz przeprowadzania reakcji RCR [Załącznik 6.3].

W ramach współpracy pomiędzy Zakładem Ekspresji Genów Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu a Zakładem Agronomii Ziemniaka Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin-PIB powstały dwie wspólne publikacje [P1 oraz załącznik 4. II.4) 12]:

- Boguszewska-Mańkowska D, Pieczyński M, Wyrzykowska A, Kalaji H.M, Sieczko L, Szweykowska-Kulińska Z, Zagdańska, B. (2018) Divergent strategies displayed by potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars to cope with soil drought. *Journal of Agronomy and Crop Science* 204(1): 13-RCR.
- Pieczyński M., Wyrzykowska A, Milanowska K, Boguszewska-Mańkowska D, Zagdańska B, Karłowski W, Jarmolowski A, Szweykowska-Kulinska Z. (2018) Genomewide identification of genes involved in the potato response to drought indicates functional evolutionary conservation with Arabidopsis plants, *Plant Biotechnology Journal* 16(2): 603-614 [Załącznik 6.4].

W pracy [P1] zidentyfikowaliśmy strategie unikania i tolerowania odwodnienia dwóch par odmian różniących się tolerancją na suszę glebową. Natomiast w pracy [Pieczyński i in 2018; załącznik 4. II.4) 12], porównując blisko spokrewnione odmiany ziemniaka o skrajnej tolerancji na niedobory wody, zidentyfikowaliśmy 23 geny ziemniaka o istotnie różnych profilach ekspresji pod wpływem suszy glebowej. Następnie porównując geny z homologami otrzymanymi dla *A. thaliana* wytypowaliśmy 7 genów charakterystycznych dla obu gatunków w odpowiedzi na suszę glebową.

W roku 2015 podjęłam współpracę z Instytutem Agrofizyki PAN z panem dr hab. Arturem Nosalewiczem. W dniach 19-23.08.2015 oraz 13-15.08.2017 odbyłam konsultacje naukowe w Laboratorium Wzrostu i Adaptacji Roślin do Warunków Środowiskowych w Zakładzie Badań Systemu Gleba-Roślina Instytutu Agrofizyki PAN [Załącznik 6. 5]. Obydwa wyjazdy finansowane były z projektów MRiRW badania podstawowe na rzecz postępu biologicznego w produkcji roślinnej. Podczas pobytu w tej jednostce nauczyłam się i przeprowadziłam analizy parametrów systemu korzeniowego roślin ziemniaka - badania powierzchni i średnicy i długości korzeni w określonych przedziałach średnic za pomocą analizy obrazu z wykorzystaniem programu WinRHIZO. Badania dotyczyły roślin ziemniaka rosnących w warunkach niedoboru wody oraz w optymalnych warunkach wilgotnościowych. Zapoznałam się także z różnymi metodami prowadzenia badań związanych z systemem korzeniowym roślin uprawnych. Wykonanie analiz korzeni doświadczeń prowadzonych w IHAR-PIB Jadwisinie oraz zdobyta podczas pobytu wiedza pozwoliła mi na poszerzenie profilu badawczego oraz opublikowanie swoich prac w czasopiśmie z listy JCR. W ramach współpracy z dr hab. Arturem Nosalewiczem powstały dwie wspólne publikacje dotyczące zróżnicowania odmianowego wielkości systemu korzeniowego oraz różnej reakcji parametrów systemu korzeniowego na suszę glebową [załącznik 4. II.4) 10 oraz P2]:

- Boguszewska-Mańkowska, D, Zarzyńska, K., Nosalewicz, A (2020) Drought Differentially Affects Root System Size and Architecture of Potato Cultivars with Differing Drought Tolerance, *American Journal of Potato Research*, 97(1), pp. 54-62

## Autoreferat

- Zarzyńska, K., Boguszewska-Mańkowska, D., Nosalewicz, A. (2017) Differences in size and architecture of the potato cultivars root system and their tolerance to drought stress, *Plant, Soil and Environment*, 63(4), pp. 159-164 [Załącznik 6. 6].

Brałam również czynny udział w wymianie osobowej w ramach instytutu IHAR-PIB. W dniach 28.09-09.10.2015, 13.11 -15.11.2017 oraz 14.05-26.05. 2018 u dr hab. Krzysztofa Tredera w dawnej Pracowni Diagnostyki Molekularnej i Biochemii, IHAR-PIB w Oddziale w Boninie [Załącznik 6.7] Podczas pobytu w Boninie doskonaliłam techniki stosowane w badaniach biochemicznych i biologii molekularnej. Zagadnienie nad którymi pracowałam dotyczyły optymalizacji metod opracowania testów mikropłytkowych dla enzymów odpowiedzialnych za tolerancyjność ziemniaka na suszę glebową (dysmutaza nadtlenkowa, peroksydaza, katalaza, reduktaza azotanowa) oraz L-proliny i chlorofilu. Analizowaliśmy ekspresję wybranych genów indukowanych przez stres suszy glebowej i wysokiej temperatury u roślin ziemniaka [GSK3-like kinase (GSK3), *Solanum tuberosum* major intrinsic protein (PIP), Cap160 like protein (Cap160), Late embryogenesis abundant protein 18 (Lea18), Expansin-like B1 (ExpB1), Laccase 14 (Lac14), UDP-Glycosyltransferase superfamily protein/Anthocyanidin 3-O-glucosyltransferase 5-like (UDPG), Germin 3/ Auxin-binding protein ABP 19a-like, Carbonic anhydroza 1 (ANH1), Hydroxyproline-rich glycoprotein family protein (HPRG), Dehydrin (TAS14), Potato NAC Transcription Factor (StNAC053)]. Pobyt miał również na celu usprawnienie prac i synchronizację metodyk badań prowadzonych w ramach wspólnego projektu „Badania tolerancji odmian ziemniaka na stresy abiotyczne w świetle postępujących zmian klimatycznych” - badania podstawowe na rzecz postępu biologicznego finansowane przez MRiRW. W trakcie współpracy powstała 1 publikacja [załącznik 4. II.4) 11], kolejne są w trakcie przygotowania, a otrzymane wyniki były prezentowane m.in. na międzynarodowej konferencji EAPR (Europejskiego Stowarzyszenia na Rzecz Badań nad Ziemniakiem) w Krakowie w 2022 [załącznik 4. II. 7) 19].

Od 2021 roku jestem kierownikiem projektu finansowanego przez MRiRW „Poszukiwanie specyficznych reakcji warunkujących tolerancyjność genotypów ziemniaka na wysoką temperaturę i suszę”, w którym kontynuuję współpracę z dr hab. Krzysztofem Trederem i rozpoczęłam współpracę z panią dr Anną Bilską-Kos z Zakładu Biochemii i Biotechnologii IHAR-PIB w Radzikowie oraz Aleksandrą Bech z Hodowli Ziemniaka Zamarte. W projekcie pracujemy nad immunolokalizacją akwaporyn w liściach ziemniaka w warunkach suszy i wysokiej temperatury oraz określeniem wpływu suszy i wysokiej temperatury na poziom ekspresji genów kodujących akwaporyny.

Od 2023 jestem również wykonawcą w grantcie OPUS (NCN), którego kierownikiem jest dr Anna Bilaska-Kos. W ramach grantu analizuję parametry systemu korzeniowego kukurydzy i sorga.

Od 2018 współpracuję również z prof. dr hab. Waldemarem Marczewskim z IHAR-PIB Oddział w Młochowie. Obecnie jestem wykonawcą w grantcie OPUS “Epigenetyczna kontrola zaniku międzypokoleniowego przekazu pamięci stresu suszy w ziemniaku” pod jego kierownictwem”, w którym analizuję parametry fluorescencji chlorofilu odmian ziemniaka pochodzących od odmiany Katahdin, tworzących półrodzeństwa. Efektem badań są dwie publikacje [załącznik 4. II. 4) 18 i 25].

## Autoreferat

Od wielu lat współpracuję również z dr Małgorzatą Nykiel z Katedry Biochemii i Mikrobiologii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie szczególnie w zakresie badań proteomicznych, dystrybucji ABA oraz aktywności enzymów antyoksydacyjnych w roślinach ziemniaka w odpowiedzi na stres suszy i wysokiej temperatury. Kolejne zagadnienie, nad którym razem pracujemy, dotyczy zmian w proteomie bulw ziemniaka w trakcie tuberyzacji. Razem z dr Małgorzatą Nykiel jesteśmy współautorkami trzech publikacji [załącznik 4. II. 4) 5, 23 i P3] oraz dwóch rozdziałów w książkach [załącznik 4. II. 2) 1 i 4], a także wielu doniesień konferencyjnych.

Podczas konferencji EAPR (Europejskie Stowarzyszenie na Rzecz Badań nad Ziemiakiem), w których brałam czynny udział nawiązałam kontakt z prof. Mehmet Emin Caliskan z Turcji (Nigde Omer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Agricultural Genetic Engineering). W roku 2018 wspólnie przygotowaliśmy wniosek projektowy do bilateralnego polsko-tureckiego konkursu NCBiR pt. „Development of root-based screening tools to identify drought-tolerant potato genotypes”, akronim RoToPo, a w 2019 kolejny projekt pt. „Determination of Root-specific Drought Tolerance Mechanism in Potato and Selection of Tolerant Genotypes in Field Condition” akronim DEROSPOT. Projekty te nie otrzymały finansowania. W roku 2020 wzięłam udział w projekcie Potato Production Worldwide kierowanym przez prof. Mehmet Emin Caliskan. W ramach tego przedsięwzięcia powstała książka wydawnictwa Elsevier pt. Potato Production Worldwide pod redakcją prof. Mehmet Emin Caliskan, Allah Akhsh i Khawar Jabran, w której jestem współautorem rozdziału „Postharvest physiology and storage of potato”. Książka ukazała się w 2022 roku [załącznik 4. II.2) pkt.5].

W trakcie realizacji zadań dotyczących projektu NCBiR [załącznik 4. III. 2).1 oraz 6).1] „Opracowanie bezinwazyjnego systemu do pomiaru wilgotności gleby na poziomie korzeni dla uprawy ziemniaka w oparciu o nowe algorytmy wykorzystujące metody uczenia maszynowego do analizy danych hiperspektralnych” podjęłam współpracę dr Bogdanem Ruszczakiem z Katedry Informatyki z Politechniki Opolskiej w zakresie rolnictwa precyzyjnego i uczenia maszynowego. W ramach współpracy powstały trzy wspólne prace [załącznik 4. II. 4), 21, 22 i P6]. W pracy [załącznik 4. II. 4), 21] przedstawiono metodę zwiększenia dokładności pomiaru wilgotności gleby na poziomie korzeni za pomocą prostych w użyciu i tanich sond.

Kontynuując badania w zakresie rolnictwa precyzyjnego w 2023 roku nawiązałam współpracę dr hab. Stanisławem Samborskim z Katedry Agronomii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. W sezonie wegetacyjnym 2023 wspólnie prowadziliśmy badania dotyczące wykorzystania wskaźników spektralnych do oceny plonowania roślin ziemniaka należących do różnych grup wczesności.

Moje zainteresowania badawcze są szersze niż wymienione powyżej. Dotyczą one również zagadnień związanych z uprawą ziemniaka w różnych systemach produkcji, w tym także w systemie integrowanym oraz ekologicznym. W ramach tego zagadnienia realizowany był projekt badawczo-wdrożeniowy „Współpraca” [załącznik 4. III. 4) 1] pt. „Innowacyjne rozwiązania w technologii uprawy, przechowalnictwie i wprowadzaniu na rynek polskiej odmiany ziemniaka wysoko odpornej na *Phytophthora infestans*”, którego kierownikiem była prof. dr hab. Małgorzata Szczepanek z Politechniki Bydgoskiej im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy. W trakcie trwania projektu oceniłam wymagania wodne oraz efektywność nawadniania odmiany Gardena. Kompleksową ocenę reakcji odmiany Gardena na niekorzystne

*Autoreferat*

warunki środowiska uzupełniły badania polowe z zastosowaniem innowacyjnych elementów agrotechniki - stosowanie dolistnego preparatu zawierającego związki bioaktywne (biostymulatory), jako alternatywnego środka w warunkach niekorzystnego oddziaływania czynnika pogodowego podczas wegetacji ziemniaka (BIO-ALGEEEN 90S) oraz stosowanie preparatu stymulującego rozwój systemu korzeniowego, i zwiększającego pojemność wodną gleby - agrożelu (AbsorbGel w dawce 240kg/ha). W ramach współpracy z prof. Małgorzatą Szczepanek i jej zespołem badawczym powstała broszura wdrożeniowa dotycząca optymalizacji produkcji tej odmiany [załącznik 4. III. 4) 1] oraz publikacja dotycząca wpływu niekorzystnych warunków środowiska za zmianę potencjału oksydacyjnego bulw ziemniaka [załącznik 4. II. 4) 23].

Moje badania dotyczące ekologicznej uprawy ziemniaka skupiają się na ocenie przydatności nowych odmian do uprawy ekologicznej, różnicach w rozwoju i plonowaniu roślin ziemniaka uprawianych w systemie ekologicznym i integrowanym, ocenie jakości plonu ziemniaków z uprawy ekologicznej, ocenie wigoru sadzeniaków pochodzących z systemu ekologicznego i konwencjonalnego. Jestem współautorem trzech prac związanych z tematyką ekologiczną [załącznik 4. II. 4) 10, 16 i 20].

W latach 2014-2023 byłem recenzentem 14 prac naukowych w czasopismach: Potato Research, American Journal of Potato Research, Photosynthetica, Acta Physiologiae Plantarum, Physiologia Plantarum, Sensors, Agronomy. Podczas mojej działalności naukowej, zostałam czterokrotnie wyróżniona nagrodą indywidualną Dyrektora IHAR-PIB. Mój dorobek publikacyjny obejmuje łącznie 31 pozycji, w tym 18 prac z IF oraz 7 publikacji popularnonaukowych. Czynn timer uczestniczyłam i nadal uczestniczę w konferencjach naukowych, zarówno krajowych jak i zagranicznych. Wygłosiłam na nich 15 referatów, w tym 3 zamawiane, 6 na konferencjach międzynarodowych i zaprezentowałam 37 posterów, w tym 15 na konferencjach międzynarodowych. Byłam kierownikiem 4 tematów statutowych i 1 projektu finansowanego przez MRiRW oraz wykonawcą trzech projektów ekologicznych (MRiRW), jednego projektu NCBiR oraz jednego ARMiR. Obecnie jestem kierownikiem 1 projektu finansowanego przez MRiRW, wykonawcą dwóch projektów NCN i jednego międzynarodowego. Byłam członkiem Rady Naukowej IHAR-PIB oraz członkiem Rady Młodych IHAR-PIB. Mój dorobek dydaktyczny obejmuje opiekę merytoryczną jako promotor pomocniczy doktoratu, opiekę nad stażystami i praktykantami, a także prowadzenie szkoleń dla rolników i doradców ODR, aktywne uczestnictwo w imprezach upowszechniających wiedzę o ziemniaku, porady bezpośrednie i telefoniczne producentom ziemniaka. Odbyłam staże naukowe w ośrodkach na terenie Polski, jak również byłam stypendystką Potato Council w Wielkiej Brytanii.

*6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.*

---

Opieka naukowa:

1. Promotor pomocniczy do opieki naukowej nad przygotowaniem rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Bech w dziedzinie nauki rolniczej, w dyscyplinie naukowej: rolnictwo i ogrodnictwo. Tytuł rozprawy: Optymalizacja produkcji sadzeniaków

## Autoreferat

ziemniaka o wysokiej odporności na *Phytophthora infestans*. – Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Politechniki Bydgoskiej im Jana i Jędrzeja Śniadeckich nr 11/2022/2023 z dnia 17 marca 2023.

Opieka merytoryczna nad stażystami i praktykantami w IHAR-PIB Oddział Jadwisin w Zakładzie Agronomii Ziemniaka:

1. Stażystka Aleksandra Jeznach 20.08.2013-20.02.2014.
2. Praktykanci: Joanna Olechowicz 01-31.07.2007; Justyna Seroka 28.06.2018 - 28.07.2010; Mateusz Wyszynski 1-26.07.2013; Anna Wszółek 15.07- 16.08.2017.

Działania popularyzujące naukę:

1. Festiwal Nauki Polskiej, Jabłonna – coroczna impreza propagująca osiągnięcia naukowe Instytutu mieszkańcom - współorganizator wystaw i konsultacja naukowa.
2. Prowadzenie lekcji dla dzieci ze Szkoły Podstawowej w Jadwisinie: „Pochodzenie i znaczenie ziemniaka” w latach 2015 i 2017.
3. Krajowe Dni Ziemniaka – impreza cykliczna. Obsługa stoiska i udzielanie informacji z zakresu hodowli i agrotechniki ziemniaka.

Wykłady prowadzone w ramach szkoleń:

1. Boguszewska-Mańkowska D. Ocena tolerancyjności odmian ziemniaka na suszę i wysoką temperaturę. Szkolenie - webinarium Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie. Brwinów 2020, <https://www.cdr.gov.pl/aktualnosci-instytucje/3379-nauka-doradztwu-rolniczemu-brwinow-2020>.
2. Boguszewska-Mańkowska D. Odmiany ziemniaka- wrażliwość na suszę i zapobieganie jej skutkom. Szkolenie on-line organizowane przez Centrum Doradztwa Rolniczego, Oddział w Radomiu pt. „Technologie, nowe odmiany i ochrona upraw ziemniaka” – 21.10.2022.

Autor artykułów popularno-naukowych:

1. Boguszewska-Mańkowska D. (2020) Są odmiany lepiej znoszące suszę. Top Agrar Polska nr1/2020 (Dodatek specjalny – Ziemniaki): 18-21.
2. Boguszewska D. (2011) Więcej wody dla ziemniaków, TopAgrar: 128-130.
3. Boguszewska D. (2008) Zróżnicowanie odmian ziemniaka w warunkach suszy. Por. Gosp. 7-8/2008: 22
4. Boguszewska D. (2008) Kiedy i w jaki sposób nawadniać plantację ziemniaka? Poradnik dla plantatorów „Ziemniaki nowe perspektywy”. Wyd. II. AgroSerwis: 65-66.
5. Boguszewska D., Nowacki W. (2007) Zróżnicowana reakcja odmian ziemniaka na stres suszy w okresie wegetacji. Wieś Jutra 2: 16-17.
6. Boguszewska D. (2006) Ile wody potrzebuje plantacja ziemniaka? Raport Rolny 5: 28-29.
7. Boguszewska D. (2006) Opady limitują plonowanie plantacji ziemniaka. Poradnik Gospodarski 5: 18-19.

3. *Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.*
- 

*a) Odbyte kursy i szkolenia*

1. Udział w warsztatach obsługi mikroskopu APX100 - Evident/Olympus; Warszawa - 30.03.2023, Centrum Medycznym Kształcenia Podyplomowego, ul. Marymoncka 99/103.
2. Udział w szkoleniu: Bezglebowa produkcja sadzeniaków. Potato Research Institute, Havlickuv Brod, Republika Czeska 4-5 października 2022.
3. Udział w szkoleniu Production of Organic Seeds: A Business Case – LIVESEED cross-visit to the Netherlands, Wageningen, Holandia 30.09-03.10.2019 – raport [Załącznik 6.8].
4. Udział w praktycznym szkoleniu w zakresie technik rozdzielania białek metodą elektroforezy dwukierunkowej 2D DIGE, Łódź 13.06-14.06.02018 [Certyfikat - Załącznik 6.9].
5. Udział w International Potato Processing & Storage Convention, Warszawa, 24-26.07.2008.

*b) Nagrody i wyróżnienia*

1. Nagroda Indywidualna Dyrektora IHAR-PIB za wyróżnioną pracę doktorską 2014.
2. Nagrody Indywidualne Dyrektora IHAR-PIB za publikacje w czasopismach ze współzynnikiem IF w latach 2018, 2020 i 2022.

*c) Członek Rady Naukowej*

1. Członek Rady Naukowej IHAR-PIB w latach 2008-2012.
2. Członek Rady Młodych IHAR-PIB w roku 2019.

## d) Zestawienie liczbowe osiągnięć naukowych

Typ publikacji	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Razem	Liczba cytowań bez autocytowań
W czasopismach posiadających IF	2	16 (w tym 6 stanowiących osiągnięcie habilitacyjne)	18	235*
W czasopismach nieposiadających IF	6	7	13	29**
Autorstwo rozdziału monografii	3	2	5	77**
Publikacje popularnonaukowe	6	1	7	-
Doniesienia konferencyjne razem:	29	21	50	-
• wygłoszone referaty	6	9	15	-
• prezentowane postery	23	14	37	-

\* na podstawie bazy Web of Science na dzień 01.09.2023

\*\*na podstawie bazy Google Scholar na dzień 01.09.2023

Według Google Scholar h-index = 11 (506 cytowań wszystkich prac).

*D. Bogusławska - Mańkowska*

.....

(podpis wnioskodawcy)