

Dr inż. Bartosz Markiewicz

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu

Katedra Żywienia Roślin

AUTOREFERAT

osiągnięcia naukowego i dorobku

1. Imię i nazwisko Bartosz Markiewicz

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

- **2001 rok** – tytuł magistra inżyniera ogrodnictwa; Praca magisterska pt. Wpływ nawożenia azotem na plon ziela i zawartość olejków w bazylii pospolitej (*Ocimum basilicum* L.); Opiekun: prof. dr hab. Anna Golcz, Wydział Ogrodniczy, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu,
- **2006 rok** – stopień doktora nauk rolniczych w zakresie ogrodnictwa; Rozprawa doktorska pt. Wpływ rodzaju podłoża oraz nawożenia azotem, fosforem i potasem na plonowanie oberżyny (*Solanum melongena* L.), Promotor: prof. dr hab. Anna Golcz, Wydział Ogrodniczy, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu.

Recenzenci: prof. dr hab. Andrzej Komosa (AR w Poznaniu),
prof. dr hab. Stanisław Cebula (AR w Krakowie).

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Od 2008	adiunkt , Katedra Żywienia Roślin (poprzednio Katedra Nawożenia Roślin Ogrodniczych) Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
2007 – 2008	asystent ze stopniem doktora, Katedra Nawożenia Roślin Ogrodniczych Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu,
2005 – 2007	instruktor , Katedra Nawożenia Roślin Ogrodniczych Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu.

4. Wskazanie osiągnięcia

wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311):

a) Tytuł osiągnięcia naukowego

Reakcja pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.) uprawianego w welnie mineralnej na zróżnicowane zawartości boru i tytanu w pożywkach

Osiągnięcie udokumentowane jest cyklem 7 publikacji naukowych, w których jestem jedynym (2 prace) lub pierwszym autorem (6 prac), w tym: 4 publikacji z *Impact Factor*. Łączna suma punktów tych prac (wyliczona w oparciu o listy MNiSzW), zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **86**, a sumaryczny **IF 2,404**.

b) Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe będące podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego:

Lp ¹	Oryginalna praca twórcza	pkt. ²	IF ³
B.1.	Markiewicz B. 2017. Wpływ stężenia i formy boru na skład chemiczny strefy korzeniowej pomidora (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) uprawianego w wełnie mineralnej. Aparatura Badawcza i Dydaktyczna. 22 (3), 174-182.	10	
B.2.	Markiewicz B. 2019. Effect concentration and forms of boron on the nutritional status of tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) grown on rockwool. J. Elem., 24(2): 829-841. DOI: 10.5601/jelem.2018.23.4.1686.	15	0,684
B.3.	Markiewicz B., Kleiber T., Bosiacki M. 2016. Hydroponic Cultivation of Tomato; Alternative Crops and Cropping Systems, book edited by Petr Konvalina, ISBN 978-953-51-2279-1. 105-129.	5	
B.4.	Markiewicz B., Muzolf-Panek M., Kaczmarek A. 2019. The effect of deficit and over-standard boron content in nutrient solution on the biological value of tomato fruit. J. Elem., 24(3): 961-976. DOI: 10.5601/jelem.2019.24.1.1796.	15	0,684
B.5.	Markiewicz B., Kleiber T. 2014. Wpływ stosowania Tytanitu na skład chemiczny strefy korzeniowej pomidora uprawianego w wełnie mineralnej. Nauka Przyr. Technol. 8.3 #34. 1-11.	6	
B.6.	Kleiber T., Markiewicz B. 2013. Application of 'Tytanit' in greenhouse tomato growing. Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus. 12 (3), 117-126.	20	0,393
B.7.	Markiewicz B., Kleiber T. 2014. The effect of Tytanit application on the content of selected microelements and the biological value of tomato fruits. J. Elem., 19(4): 1065-1072. DOI: 10.5601/jelem.2014.19.3.486.	15	0,643
Suma		86	2,404

¹ numeracja oryginalnych prac twórczych odpowiada kolejności ich omawiania

² punktacja zgodna z rokiem wydania, w przypadku prac z roku 2019 przyjęto wartość pkt. z 2018 roku

³ w roku opublikowania, w przypadku prac z roku 2019 przyjęto wartość IF z 2018 roku

Oświadczenia współautorów ww. prac dotyczące ich indywidualnego wkładu w powstanie publikacji zamieszczono w załączniku VI. Żadna z ww. prac nie była częścią monotematycznego cyklu prac w innym postępowaniu habilitacyjnym.

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

Pomidor (*Lycopersicon esculentum* Mill) jest w Polsce gatunkiem o największym znaczeniu gospodarczym. Powierzchnia upraw pomidora pod osłonami wynosi 2150 ha (GUS 2018). W osiągnięciu optymalnej jakości plonu ważną rolę odgrywają nie tylko makro- ale również mikrośkładniki (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl) (BREŚ I IN. 2012). Z końcem XX –go wieku opracowano stężenia hydroponiczne mikrośkładników dla uprawy pomidora w wełnie mineralnej. W badaniach polskich dotyczących uprawy pomidora w układach hydroponicznych podawane są jedynie poziomy lub stężenia boru w pożywce. Brak natomiast informacji o formie zastosowanego mikrośkładnika, oznaczeń jego zawartości w pożywkach oraz częściach wskaźnikowych i owocach pomidora. Ze względu na niewielki zakres pomiędzy niedoborem a nadmiarem boru oraz interakcjami tego mikrośkładnika z innymi składnikami pokarmowymi, istotne jest zweryfikowanie stanu wiedzy pod kątem wpływu boru na plonowanie uprawianych obecnie odmian heterozyjnych. Wzrastające wymagania konsumentów, poszukujących produktów jak najlepszej jakości skłaniają badaczy do poszukiwania składników pozytywnie oddziałujących na wzrost roślin i jakość plonu. Wśród składników śladowych mających cechy biostymulatorów jest również tytan (Ti).

Bor (B) jest mikrośkładnikiem niezbędnym dla wzrostu i rozwoju roślin. Zaliczany jest do grupy niemetalu biofilnych (TOMASZEWSKA 2010). Źródłem boru w wodach podziemnych są czynniki naturalne i antropogeniczne. Naturalne stężenia boru w wodach słodkich wynikają z zawartości boranów w glebach i skałach, mieszaniami wód różnych poziomów wodonośnych oraz wpływu intruzji morskich. Podczas wietrzenia skał bor przechodzi do roztworu tworząc szereg anionów: BO_2^- , $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$, BO_3^{3-} , H_2BO_3^- , H_4BO_4^- . (KABATA-PENDIAS, PENDIAS 2001). Najczęściej bor występuje w wodzie w postaci kwasu borowego (ITAKURA ET AL. 2005), rzadziej w formie anionów i połączeń organicznych (KABATA-PENDIAS, PENDIAS 1999). Zawartość boru w wodach powierzchniowych i podziemnych może wynosić od 5-100 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (MELNYK I IN. 2005). Naturalna zawartość boru w wodach podziemnych z terenu Polski wynosi 0,01-0,5 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (RMS, Dz.Uz 2008 r., Nr 143 poz. 896). Rośliny pobierają bor za

pomocą systemu korzeniowego (FOTYMA I MERCIK 1995) lub poprzez liście (LITYŃSKI I JURKOWSKA 1982).

Bor bierze udział w tworzeniu struktur ścian komórkowych, podziałach komórkowych (BROWN I IN. 2002, O'NEILL I IN. 2004). Niedobór boru powoduje zahamowanie syntezy ściany komórkowej i wpływa na elastyczność komórek (BIERNAT I PIECZYŃSKA 2000), powodując wzrost wielkości porów co prowadzi do pęknięcia ściany komórkowej (BROWN I IN. 2002). Wykazano wpływ boru na wzrost łagiewki pyłkowej (LITYŃSKI I JURKOWSKA 1982). Zawartość boru ma wpływ na gospodarkę azotową roślin, niedobór tego mikroskładnika powoduje zwiększenie zawartości azotanów w roślinie. Bor odgrywa także rolę w metabolizmie cukrowców (SHOL'NIK 1965), fenoli (RUIZ I IN. 1998) oraz w cyklu przemian askorbinian – glutation (BROWN I IN. 2002). Bor może tworzyć związki kompleksowe z cukrami, fenolami, kwasami organicznymi oraz polimerami (HU I BROWN 1997). Najczęściej bor występuje w połączeniach kompleksowych z mannitolem, sorbitolem, glukozą i fruktozą (HU I BROWN 1997). Bor może również tworzyć związki kompleksowe z polisacharydem RG-II (KOBAYASHI I IN. 1996, O'NEILL I IN. 1996, O'NEILL I IN. 2001, GOLDBACH I IN. 2002) stabilizowanym jonami wapnia (BROWN I IN. 2002, GOLDBACH I IN. 2002) będącym najważniejszym związkiem wiążącym bor w ścianie komórkowej. Kompleks ten występuje u roślin jedno i dwuliściennych (ISHII I IN. 2001, KANEKO I IN. 1997).

Rola boru w organizmie człowieka nie jest w pełni wyjaśniona. Mikroskładnik ten wpływa na prawidłowy rozwój kości, zapobiegając osteoporozie. Odpowiednia zawartość boru w diecie człowieka zapobiega artretyzmowi (GOLDBACH I IN. 2002). Wykazano wpływ boru na aktywność komórek mózgowych, metabolizm wapnia i magnezu a także układ immunologiczny (MURRAY 1995, NIELSEN 2000). Według KURTOGLU I IN. (2001) oraz LI I ZHANG (2007) wzajemna interakcja boru i wapnia ma wpływ na funkcje hormonalne człowieka. Dzienna dawka boru pobierana przez człowieka drogą oddechową, pokarmową oraz przez skórę jest zróżnicowana i wynosi od 0,25 do 20 mg na dzień (MOORE I IN. 1997, RAINEY I IN. 1998, KABATA-PENDIAS, PENDIAS 1999). Bor nie jest gromadzony w tkankach i jest wydalany z moczem (MOORE I IN. 1997), lecz jego nadmiar jest niebezpieczny dla zdrowia człowieka (SAHIN I NAKIBOGLU 2006). Najważniejszym źródłem boru dla człowieka są napoje, warzywa i owoce (BIEGO I IN. 1998). Według CASTILLO I IN. (1985) najwięcej boru zawierają buraki ($250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), cytryny ($150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) oraz jabłka ($110 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Według BRESIA I IN. (2010) zawartość boru w wodzie stosowanej w ogrodnictwie nie przekracza $0,1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, jednak w rejonach o intensywnej produkcji ogrodniczej możliwa

jest zawartość boru powyżej $0,6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (KOWALCZYK I IN. 2010). Wielu autorów (WYSOCKA – OWCZAREK 1998, JAROSZ I DZIDA 2011, KOWALCZYK I GAJC-WOLSKA 2011, JAROSZ I IN. 2012) rekomenduje optymalną zawartość boru w pożywce do fertygacji pomidora na poziomie $0,3 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. W pracach innych autorów zalecana zawartość boru w pożywce do uprawy pomidora wynosi od $0,2$ do $0,7 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ [(ZEKKI I IN. 1996) $0,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (KOMOSA I GÓRNIAK 2012) $0,35 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, (KOMOSA I IN. 2010) $0,4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, (ADAMS 1994) $0,4-0,5$, (REVILLA I IN. 1985) $0,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, (BOROWSKI I NURZYŃSKI 2011) $0,54 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, (HOCHMUTH I HOCHMUTH 2012) $0,7 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$].

Bor jest mikroskładnikiem decydującym o ilości i jakości plonu. Wpływ stosowania boru w formie doglebowej i dolistnej jest szczególnie dobrze poznany w uprawach roślin sadowniczych. Według WÓJCIKA I IN. (1999) stosowanie boru w uprawie jabłoni istotnie zwiększyło plon owoców, zawartość boru i wapnia w owocach, decydowało również o zdolności przechowalniczej i odporności na choroby. Opryskiwanie jabłoni borem po kwitnieniu ogranicza mięknięcie owoców, podczas ich przechowywania, oraz występowanie gorzkiej plamistości podskórnej, rozpadu wewnętrznego i gorzkiej zgnilizny (WÓJCIK I IN. 1997). Stosowanie boru w formie dolistnej w uprawie roślin pestkowych (wiśni i śliwy) może zwiększać plon owoców. Stosowanie dolistne boru jest uzasadnione nawet wtedy gdy rośliny nie wykazują objawów niedoboru tego mikroskładnika (HANSON 1991). Wiosenne stosowanie oprysku borem borówki amerykańskiej odm. Jersey miało istotny wpływ na zwiększenie zawartości ekstraktu w owocach (WÓJCIK 2004). Wykazano wpływ połączonego żywienia borem, kwasami huminowymi i ekstraktem z nasion *Vitis vinifera* na plon, zawartość chlorofilu i karotenoidów w owocach trzech odmian pomidora. Odmiana istotnie różnicowała plon i zawartości karotenoidów w owocach pomidora odm. Antalya, Cemil i Lorely pod wpływem nawożenia borem w połączeniu ze związkami organicznymi. (DINU I IN. 2015).

Wśród badanych składników śladowych mających cechy biostymulatorów jest tytan (MICHALSKI 2008). Tytan jest pierwiastkiem chemicznym z grupy metali przejściowych. Stanowi około $0,57\%$ masy skorupy ziemskiej (BUETTNER I VALENTINE 2012). Zdecydowana większość tytanu występuje głównie w postaci minerałów nierozpuszczalnych w wodzie (jako TiO_2 lub FeTiO_3) (DUMON I ERNST 1988). Występuje w postaci minerałów anatazytu, rutylu i brukitu, o zawartościach około $95\% \text{ TiO}_2$, leukoksenu ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{TiO}_3$) zawierającego ponad $65\% \text{ TiO}_2$ jak również ilmenitu (FeOTiO_3) zawierającego $40-65\% \text{ TiO}_2$ (ZHANG I IN. 2011).

Tytan jest względnie mobilny w glebie, występuje w roztworze glebowym i jest dostępny dla roślin. W większości roślin występuje w stosunkowo niewielkich stężeniach (0,1-10 ppm) (LYU I IN. 2017). Rola tytanu (Ti) w metabolizmie roślin nie jest do końca wyjaśniona.

W literaturze istnieje kilka teorii wyjaśniających pozytywne działanie tytanu jako składnika korzystnie wpływającego na rośliny. Współczesne światowe badania potwierdzają tylko niektóre z nich. Uznano wpływ tytanu na zwiększenie pobierania Fe i Mg (DUMON I ERNST 1988, SIMON I IN. 1988), udział w reakcjach układu redoks (Ti^{4+}/Ti^{3+} z Fe^{3+}/Fe^{2+}) poprawiając w ten sposób aktywność żelaza w tkankach roślinnych (CARVAJAL I IN. 1995) lub interakcję z żelazem w łańcuchu transportu elektronów i zmniejszenie wydajności fotosystemu II przy wysokim stężeniu Ti (CIGLER I IN. 2010), stymulację aktywności enzymatycznych i fotosyntezy (CARVAJAL I ALCARAZ 1998). Wpływ tytanu na plonowanie roślin przypisuje się również zwiększeniu biosyntezy chlorofilu, zwiększonej fotosyntezie oraz pobieraniu składników pokarmowych (DUMON I ERNST 1988, CIGLER I IN. 2010). W badaniach RAM I IN. (1983), KOVACIK I IN. (2014) stwierdzono większe stężenie całkowitego chlorofilu jak również jego frakcji a i b w fasoli zwyczajnej (*Phaseolus vulgaris* L.) i pszenicy (*Triticum aestivum* L.) pod wpływem stosowania tytanu.

Pozytywny wpływ stosowania tytanu na rośliny zależy w głównej mierze od jego interakcji z żelazem (SIMON I IN. 1988, CARVAJAL I ALCARAZ 1998, CIGLER I IN. 2010). Rośliny pobierają tytan przez korzenie lub liście. Według LYU I IN. (2017) pomiędzy tytanem i żelazem mogą zachodzić zależności antagonistyczne i synergistyczne w zależności od ich stężenia. Tytan może indukować ekspresję genów związanych z pobieraniem żelaza w przypadku jego niedoboru. Interakcja roślin z Ti jak również z Fe może skutkować występowaniem białek wiążących Ti w roślinach, które albo specyficznie wiążą się z Ti, albo niespecyficznie dzielą się z Fe lub innymi pierwiastkami. Wysokie stężenie tytanu w roślinach, może powodować jego fitotoksyczność. Według CARVAJAL I IN. (1995) liście papryki czerwonej (*Capsicum annuum* L.) opryskane Ti-askorbinianem wykazały znaczny wzrost stężenia żelaza i tytanu. Wykazano również wpływ Ti na wzrost aktywność niektórych enzymów: peroksydazy, katalazy i reduktazy azotanowej (PAIS 1983), oraz lipooksygenazy (DAOOD I IN. 1988). Tytan stymuluje aktywność reduktazy azotanowej w fasoli zwyczajnej (NAUTSCH-LAUFER 1974). Stosowanie tytanu w uprawie roślin decyduje również o jakości uzyskanego plonu. Według BIACS I IN. (1997) stosowanie tytanu w formie oprysku powoduje zwiększenie zawartości β -karotenu, ksantofili i kapsantyny w owocach papryki czerwonej. Stosowanie w formie dolistnej Ti zwiększa biosyntezę witaminy C w owocach papryki

(MARTINEZ-SANCHEZ I IN. 1993). Udokumentowany jest także pozytywny wpływ tytanu na plonowanie i jakość roślin sadowniczych. Stosowanie tytanu spowodowało zwiększenie zawartości witaminy C w sześciu odmianach truskawki (*Fragaria x ananassa* Duch.), oraz antocyjanów w trzech odmianach (SKUPIEŃ I OSZMIAŃSKI 2007). Zastosowanie tytanu zwiększa plonowanie w bardzo szerokim zakresie w zależności od uprawy (PAIS 1983, CARVAJALI ALCARAZ 1998). Masa owoców brzoskwini i jędrność ulega zwiększeniu, a utrata wagi podczas przechowywania istotnie się zmniejsza po zastosowaniu Ti lub mieszaniny Ti z Ca lub Mg przed zbiorem (ALCARAZ-LOPEZ I IN. 2004). Wykazano wpływ stosowania Tytanitu na zwiększenie zawartości ekstraktu i zmniejszenie azotanów w owocach malin (GRAJKOWSKI I OCHMIAN 2007). Według HAGHIGHI I IN. (2012) stosowanie Ti w uprawie pomidora wykazuje pozytywny wpływ na wzrost roślin przy zmniejszonej zawartości azotu w pożywce. Stosowanie tytanu w formie dolistnej powoduje zwiększenie masy owoców pomidora od 11 do 25% (PAIS 1983).

Zawartość Ti w roślinach wynosi od 1 do 578 mg kg⁻¹, przy średniej wartości 33,4 mg kg⁻¹ (LYU I IN. 2017). Według KABATA-PENDIAS I PENDIAS (2001) zawartość Ti w liściach w zakresie od 50 do 200 mg·kg⁻¹ może być uważana za toksyczną.

W latach 2009-2014 na podstawie badań własnych przeprowadzonych w doświadczeniach wegetacyjnych przedstawiono w ujęciu wieloaspektowym reakcję pomidora na wzrastającą stężenia boru i tytanu w pożywkach.

Wyznaczono stężenia boru od zakresu niedostatecznego do nadmierne go/toksycznego. Udokumentowano zmiany chemiczne zachodzące w strefie korzeniowej roślin i w liściach pod wpływem stosowania wzrastających stężeń boru i tytanu, a także plony owoców i ich jakość, określoną na podstawie zawartości składników pokarmowych i parametrów charakteryzujących wartość biologiczną owoców.

Na podstawie przeprowadzonych badań określiłem zakres stężeń boru w pożywkach do fertygacji pomidora, przy którym rośliny wykazują objawy toksyczności tego mikroelementu. W rezultacie moich badań zweryfikowałem udowodniając naukowo stężenia hydroponiczne boru dla pomidora uprawianego w wełnie mineralnej, wskazując jednocześnie co stanowi ważny i nowatorski aspekt praktyczny na możliwe różnice odmianowe w tym zakresie. Wykazałem również pozytywny wpływ stosowania Ti w postaci Tytanitu jako biostymulatora mającego wpływ na plon roślin i ich jakość biologiczną.

W uprawie pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Alboney F₁ (*Enza Zaden*) i cv. Emotion F₁ (*S&G*) (Eksperyment I i II), oraz ISI 68294 (Eksperyment III) zastosowano standardową pożywkę do uprawy pomidora różnicując zawartość:

1. Boru
 - a) Eksperyment I: 0,011 (naturalna zawartość w wodzie), 0,40; 0,80; 1,60 mg B·dm⁻³ w postaci boraksu Na₂B₄O₇·10H₂O, 11,3% B, (oznaczone jako B-I, B-II, B-III, B-IV), prace B.1., B.2., B.3., B.4.
 - b) Eksperyment II: 0,011 (naturalna zawartość w wodzie), 0,40; 0,80; 1,60 mg B·dm⁻³ w postaci kwasu borowego H₃BO₃, (oznaczone jako B-I, B-II, B-III, B-IV), prace B.1., B.2., B.3.
2. Tytanu
 - a) Eksperyment III: kontrola (bez stosowania tytanu), 80, 240, 480, 960 g Ti·ha⁻¹/rok co odpowiada dawce rocznej: Ti-I 2,01 mg Ti·roślina⁻¹, Ti-II 6,04 mg Ti·roślina⁻¹, Ti-III 12,08 mg Ti·roślina⁻¹, Ti-IV 24,16 mg Ti·roślina⁻¹ (oznaczone jako kontrola, Ti-I, Ti-II, Ti-III, Ti-IV.), prace B.5., B.6., B.7.

Wpływ stężenia i formy boru na skład chemiczny strefy korzeniowej pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.) uprawianego w wełnie mineralnej (B.1.)

Zmiany zachodzące w strefie korzeniowej pomidora uprawianego w wełnie mineralnej spowodowane są między innymi przewagą pobierania wody nad pobieraniem składników pokarmowych. W wyniku tego procesu dochodzi do zatężania składników pokarmowych w matach, wyrażonego wzrostem EC pożywki. Zjawiskiem towarzyszącym zatężaniu składników jest alkalizacja pożywki względem pożywki aplikowanej roślinom. Zatężanie składników o charakterze zasadowym (wapnia, magnezu, potasu i sodu), powoduje wzrost pH pożywki.

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu fertygacji borem na zmiany koncentracji składników w strefie korzeniowej stosując boraks w porównaniu z kwasem borowym w uprawie dwóch odmian pomidora (Alboney F₁ i Emotion F₁) w wełnie mineralnej.

Na podstawie doświadczeń wegetacyjnych stwierdzono istotny wzrost zawartości azotu azotanowego, potasu, wapnia, magnezu, siarki siarczanowej oraz cynku, sodu i chlorków w pożywkach w środowisku korzeniowym, w porównaniu z pożywką aplikowaną

roślinom. Zmiany zachodzące w środowisku korzeniowym można uznać za typowe dla upraw hydroponicznych.

Ponadto wykazano istotne zmniejszenie zawartości fosforu w matach przy zastosowaniu 1,60 mg B·dm⁻³ w pożywce aplikowanej roślinom. Stosując boraks i kwas borowy najmniejszą istotnie zawartość P-PO₄ oznaczono w kombinacji B-IV w porównaniu z B-I (Alboney F₁) oraz B-I i B-II (Emotion F₁). Zauważono, że interakcja pomiędzy borem i fosforem zachodzi zarówno przy stosowaniu boraksu, jak również kwasu borowego.

Stosowany najczęściej w uprawach hydroponicznych boraks nie modyfikował zawartości manganu w środowisku korzeniowym. Kwas borowy jako źródło boru zwiększał koncentrację manganu w pożywce pobieranej z mat uprawowych w porównaniu do pożywki aplikowanej roślinom. Istotnie największą zawartość manganu w pożywkach środowiska korzeniowego oznaczono dla odmiany Alboney F₁ przy stężeniu boru 1,60 mg·dm⁻³.

Zastosowanie kwasu borowego jako źródła boru nie miało wpływu na pH pożywek pobieranych z kroplowników. Wykazałem istotny wpływ stężeń boru 0,80 i 1,60 mg·dm⁻³ na wzrost EC pożywek środowiska korzeniowego w porównaniu ze stężeniami 0,011 i 0,40 mg B·dm⁻³. Zależność ta została zaobserwowana przy użyciu boraksu jak również kwasu borowego. Wykazałem, że zróżnicowane żywienie pomidora borem w postaci boraksu i kwasu borowego nie powoduje konieczności zmiany składu pożywki do uprawy w wełnie mineralnej.

Effect concentration and forms of boron on the nutritional status of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown on rock wool (B.2.)

Bor jest mikrośladnikiem, dla którego zakres pomiędzy niedoborem a nadmiarem jest stosunkowo niewielki. Wszelkie odstępstwa od stężeń hydroponicznych tego składnika mogą spowodować zaburzenia w wielu procesach fizjologicznych i metabolicznych roślin.

Celem podjętych badań była ocena wpływu wzrastających stężeń dwóch form boru w pożywce na stan odżywienia pomidora odmiany Alboney F₁ i Emotion F₁ uprawianego w wełnie mineralnej.

W następstwie zmian zachodzących w strefie korzeniowej (**B.1. i B.3.**), wykazano wpływ boru na zawartość makro- i mikrośladników w częściach wskaźnikowych pomidora.

Wykazałem w przeprowadzonych badaniach, że zróżnicowane (wzrastające) stężenia boru w pożywkach mają istotny wpływ na zmiany zawartości niektórych składników

pokarmowych w liściach pomidora. Średnia zawartość azotu w liściach pomidora ulegała zmianie tylko w kombinacji B-III przy użyciu kwasu borowego w porównaniu z kombinacją B-I. Stosowanie wzrastających poziomów boru w zakresie $0,011-1,60 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (B-I do B-IV) przy użyciu boraksu nie wpłynęło na stan odżywienia roślin azotem.

Wykazałem w badaniach własnych zróżnicowaną reakcję odmianową roślin na zastosowaną w pożywce formę boru. Największą istotnie średnią zawartość fosforu w częściach wskaźnikowych oznaczono w kombinacji B-I (0,82 %P) w porównaniu z B-II, B-III i B-IV (Eksperyment I), oraz B-I (0,83 %P) w porównaniu z B-IV (Eksperyment II). Stosując w pożywce boraks większą (nieudowodnioną statystycznie) średnią zawartość fosforu oznaczono w częściach wskaźnikowych odmiany Emotion F₁ w porównaniu z odmianą Alboney F₁. Natomiast większą istotnie średnią zawartość fosforu oznaczono w liściach odmiany Alboney F₁ przy zastosowaniu kwasu borowego. W przeprowadzonych doświadczeniach wykazałem reakcję odmianową na średnią zawartość wapnia, magnezu, żelaza, manganu, i miedzi w obu przeprowadzonych eksperymentach oraz potasu i cynku (Eksperyment II).

W rezultacie przeprowadzonym badań stwierdziłem, że wzrastające poziomy boru w pożywce w zakresie od $0,011$ do $1,60 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w postaci boraksu i kwasu borowego nie zmieniają zawartości składników pokarmowych w liściach w stopniu powodującym niedostateczny lub toksyczny stan odżywienia roślin.

Hydroponic Cultivation of Tomato (B.3.)

Uzyskane wyniki zmian zachodzących w środowisku korzeniowym (**B.1.**), oraz stan odżywienia roślin makro i mikrośladnikami (**B.2.**) dawały podstawę do wyciągnięcia wniosku, że bezpośrednią przyczyną zmniejszenia plonowania jest stężenie boru w pożywce do fertygacji powodujące toksyczny/nadmierny stan odżywienia roślin tym mikrośladnikiem.

Celem pracy było określenie wpływu wzrastających stężeń dwóch form boru w pożywce stosowanej do fertygacji na plon handlowy, oraz zawartość boru w pożywkach, częściach wskaźnikowych i owocach dwóch odmian pomidora uprawianego w wełnie mineralnej.

Największy plon handlowy owoców odmiany Alboney F₁ uzyskałem w zakresie stężeń boru w pożywce $0,011 - 0,40 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$; $5,55$ i $5,52 \text{ kg}\cdot\text{roślinę}^{-1}$ (Eksperyment I) oraz $5,73$

i 5,87 kg·roślinę⁻¹ (Eksperyment II). Uzyskane wyniki świadczą o mniejszych wymaganiach pokarmowych tej odmiany w stosunku do boru. Zmniejszenie, jak również zwiększenie zawartości boru w pożywce poza zakres stężenia hydroponicznego (0,40 mg·dm⁻³) spowodowało obniżenie plonu handlowego owoców odmiany Emotion F₁. Największy plon handlowy owoców odmiany Emotion F₁ uzyskano w obu doświadczeniu przy stężeniu boru w pożywce 0,40 mg·dm⁻³. Analizując uzyskany plon handlowy stwierdziłem, że optymalny zakres stężenia boru w pożywce jest szerszy dla odmiany Alboney F₁ w porównaniu z odmianą Emotion F₁. Zależność ta została potwierdzona w obydwu eksperymentach badawczych.

W niniejszej pracy wykazałem że stężenie boru w pożywkach środowiska korzeniowego wynoszące 0,93 mg·dm⁻³ dla odmiany Alboney F₁ i 0,96 mg·dm⁻³ dla odmiany Emotion F₁, przy stosowaniu boraksu powoduje zmniejszenie plonu handlowego owoców. Wzrost stężenie boru w środowisku korzeniowym do 1,87 mg·dm⁻³ dla odmiany Alboney F₁ i 2,00 mg·dm⁻³ dla odmiany Emotion F₁ nie powoduje dalszego zmniejszenia plonu owoców. Stosując kwas borowy jako źródło boru w pożywce wykazałem identyczne zależności w przypadku wielkości plonu handlowego, jednak zawartość boru w matach zbliżona do 2,00 mg·dm⁻³ spowodowała istotne zmniejszenie plonowania w porównaniu do kombinacji B-III (± 1,00 mg·dm⁻³).

W badaniach własnych największy plon odmiany Alboney F₁ (Eksperyment I) (5.55 i 5.52 kg·roślinę⁻¹) uzyskano przy zawartości boru w częściach wskaźnikowych w zakresie 33.24-78.58 mg·kg⁻¹ i zawartości B w owocach 11,66-13,10 mg·kg⁻¹ natomiast dla odmiany Emotion F₁ (5.57 kg·roślinę⁻¹) przy zawartości boru w liściach 79.44 mg·kg⁻¹, owocach 14,26 mg·kg⁻¹.

W doświadczeniu z kwasem borowym odmiana Alboney F₁ plonowała najlepiej przy zawartości boru w częściach wskaźnikowych w zakresie od 32.80 – 80.62 mg·kg⁻¹, (5.73 i 5.87 kg·roślinę⁻¹) i zawartości boru w owocach 11,66 mg·kg⁻¹ do 16,70 mg·kg⁻¹. Natomiast odmiana Emotion F₁ przy zawartości boru w częściach wskaźnikowych 83.89 mg·kg⁻¹ (5,85 kg·roślinę⁻¹) i 19,56 mg·kg⁻¹ w owocach.

Istotne zmniejszenie plonu handlowego owoców w kombinacjach B-III i B-IV było wynikiem toksycznego/nadmiernego stanu odżywienia roślin borem. W obydwu eksperymentach badawczych stosując w pożywce stężenie boru 0,80 i 1,60 mg·dm⁻³ oznaczono w liściach zawartości boru przekraczające 100 mg B·kg⁻¹, uważane za toksyczne dla roślin.

Wykazałem w obu eksperymentach, że zawartość boru w pożywce do fertygacji ma istotny wpływ na średnią zawartość tego mikrośladnika w owocach. W doświadczeniu z zastosowaniem boraksu oznaczono w owocach pomidora od $11,61 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (B-I) do $16,86 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (B-IV). Stosując w pożywce kwas borowy oznaczono większe średnie zawartości boru w owocach ($13,49\text{-}26,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Wykazano, że odmiana różnicuje średnią zawartość boru w owocach (Eksperyment II).

Porównując uzyskane wyniki badań własnych dotyczące zawartości boru w owocach z danymi literaturowymi stwierdzam, że są to zawartości mniejsze od średniej zawartości tego śladnika określonej na $30 \text{ mg B}\cdot\text{kg}^{-1}$, nie stanowiące zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka.

The effect of deficit and over-standard boron content in nutrient solution on the biological value of tomato fruit (B.4.)

Kolejnym etapem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zróżnicowanych stężeń boru w pożywce na wartość biologiczną owoców pomidora.

Celem pracy było określenie wpływu stężeń hydroponicznych boru dla uprawy pomidora (B.3.) na zawartość makro i mikrośladników, witaminy C, likopenu, ogólną zawartość polifenoli oraz aktywność antyoksydacyjną.

Wykazano, że stężenie boru w pożywce modyfikuje średnią zawartość azotu, fosforu, magnezu (istotnie najmniejszą zawartość oznaczono w kombinacji B-IV), oraz potasu (najmniejsza zawartość w B-I i B-IV). W zakresie stężeń boru $0,011\text{-}1,60 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ stwierdzono zmniejszenie średniej zawartości żelaza oraz zwiększenie zawartości manganu i cynku w owocach pomidora. Odmiana różnicowała średnią zawartość wapnia, magnezu, żelaza, manganu i miedzi. Różnice odmianowe stwierdzono także w zakresach stężeń boru B-I i B-II (żelazo), B-II (magnez, mangan i miedź), B-II i B-III (potas). W diecie człowieka pomidory i ich przetwory są głównymi źródłami likopenu. Likopen jako przeciwutleniaczem o wysokiej aktywności biologicznej stanowiącym około 80-90% całkowitej zawartości karotenoidów decydujących o czerwonej barwie pomidora. W badaniach własnych interesujące wydały się zależności pomiędzy składem pożywki, stanem odżywienia roślin, plonem owoców (B.1., B.2. B.3.), a zawartością w owocach likopenu. Nie stwierdzono zależności między stężeniem boru w pożywce a zawartością likopenu i barwą owoców. Natomiast głównym czynnikiem różnicującym zawartość likopenu w owocach jest odmiana.

Istotnie większą zawartość likopenu oznaczono w owocach odmiany Alboney F₁ w porównaniu z odmianą Emotion F₁. Wykazano, że największą istotnie zawartość likopenu w owocach odmiany Emotion F₁ oznaczono przy stężeniu boru w pożywce 0,40 mg B · dm⁻³, które zostało opracowane jako stężenie hydroponiczne dla tej odmiany (**B.3.**). Nie stwierdzono wpływu stężenia boru na barwę owoców (z wyjątkiem B-II; Emotion F₁).

Wykazano wpływ stężenia boru i odmiany na zawartość witaminy C w owocach. Zwiększenie zawartości boru w pożywce w zakresie 0,011-1,60 spowodowało istotne zmniejszenie zawartości witaminy C w owocach obu odmian. Dla odmiany Emotion F₁ oznaczono 8,40 mg·kg FW witaminy C, przy wyznaczonym stężeniu hydroponicznym boru (**B.3.**) 0,40 mg·dm⁻³. Wykazano, że rośliny uprawiane przy naturalnej zawartości boru w wodzie (0,011 mg·dm⁻³) zawierają mniejsze zawartości witaminy C, niż w przypadku przekroczenia wyznaczonego stężenia hydroponicznego. Zmniejszenie zawartości witaminy C o 1,8% (Emotion F₁); o 8,0% Alboney F₁ przy stężeniu 0,80 mg B · dm⁻³.

Zwiększenie stężenia boru w pożywce spowodowało wzrost całkowitej zawartości polifenoli w owocach odmiany Emotion F₁ i zmniejszenie zawartości tych związków w owocach odmiany Alboney F₁. Wytypowanie odmiany o większej zawartości polifenoli ma istotne znaczenie ze względu na ich prozdrowotne właściwości. Polifenole hamują niebezpieczne reakcje wolnorodnikowe zarówno w organizmach żywych, jak i w żywności. Związki te mają silne właściwości antynowotworowe, działają korzystnie na układ sercowo-naczyniowy, hamują procesy zapalne w naczyniach krwionośnych, usprawniają przepływ krwi, zmniejszają tworzenie się skrzepów.

Wpływ stosowania Tytanitu na skład chemiczny strefy korzeniowej pomidora uprawianego w welnie mineralnej (B.5.)

Wzrastające wymagania konsumentów, poszukujących produktów jak najlepszej jakości skłaniają producentów do poszukiwania składników pozytywnie oddziałujących na wzrost roślin i jakość plonu (**B.1., B.2., B.3., B.4.**).

Wśród badanych składników śladowych mających cechę biostymulatorów jest tytan. Nawozem oferowanym na rynku, zawierającym ten składnik jest Tytanit (0,8% Ti; Intermag Olkusz).

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu dokorzeniowego aplikowania tytanu w formie fertygacji na zmiany zachodzące w strefie korzeniowej pomidora uprawianego w wełnie mineralnej.

Wykazałem, że zastosowanie tytanu w dawce rocznej 80 g Ti·ha⁻¹ (Ti-I) istotnie zmniejszyło zawartość azotu amonowego w pożywkach środowiska korzeniowego w porównaniu z kontrolą i dawkami od 240 do 960 g Ti·ha⁻¹. Stwierdziłem, że tytan w dawce 480 g Ti·ha⁻¹ powoduje istotne zwiększenie zawartości P-PO₄ w matach w porównaniu z dawką 80 g Ti·ha⁻¹. Wzrastające dawki tytanu miały istotny wpływ na zawartość potasu w pożywkach środowiska korzeniowego. Istotnie mniejsze zawartości potasu oznaczono w kombinacji TI-I i Ti-II porównaniu z kontrolą i kombinacjami Ti-III i Ti-IV.

W badaniach własnych stwierdzono istotny wzrost zawartości azotu azotanowego, wapnia i magnezu, cynku, sodu i chlorków w pożywkach środowiska korzeniowego, w porównaniu z pożywką aplikowaną roślinom, przy równoczesnej tendencji do obniżenia zawartości fosforu, żelaza, manganu i miedzi. Wykazano zmiany w pożywkach środowiska korzeniowego wynikające z zateżenia jak również obniżenia zawartości składników w matach. Na tej podstawie opracowanego następujący szereg zateżenia składników pokarmowych w pożywkach środowiska korzeniowego (w % dla średniej z badanych kombinacji): Ca (+58,2) > Na (+49,2) > Cl (+38,3) > N-NO₃ (+35,8) > Zn (+24,3) > Mg (+10,7) > S-SO₄ (+8,4) > K (+2,3) w porównaniu do pożywki aplikowanej roślinom, oraz szereg obniżenia zawartości składników (w %): Mn (-63,3) < N-NH₄ (-22,2) < Cu (-20) < P-PO₄ (-10,7) < Fe (-9,9).

Wykazano, że EC pożywki w strefie korzeniowej roślin wzrosło o 18% w porównaniu z pożywką aplikowaną roślinom.

Biorąc pod uwagę aspekt praktyczny stwierdzono, że w uprawie pomidora prowadzonej w wełnie mineralnej, stosując fertygację z dodatkiem tytanu do pożywki nie ma potrzeby modyfikacji składu chemicznego standardowej pożywki polecanej do uprawy tego gatunku.

Application of 'Tytanit' in greenhouse tomato growing (B.6.)

Na podstawie przeprowadzonych badań (B.5.) wykazano, że zmiany zachodzące w środowisku korzeniowym są typowe dla uprawy pomidora w wełnie mineralnej. Potwierdzeniem skuteczności działania związków o charakterze biostymulatorów jest ich wpływ na wielkość plonu oraz parametry jakościowe owoców. Pozytywny wpływ tytanu

wykazano tylko w kombinacji Ti-IV przy zastosowaniu największej dawki tytanu ($960 \text{ g Ti} \cdot \text{ha}^{-1}$). Uzyskano w tej kombinacji plon ogólny owoców $19,19 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ oraz największy udział plonu handlowego, który stanowił 98,9% plonu ogólnego. Nie wykazano istotnych różnic w plonie ogólnym owoców między kontrolą a dawkami tytanu od 80 do $480 \text{ g Ti} \cdot \text{ha}^{-1}$. Zastosowanie największej dawki tytanu w pożywce miało istotny wpływ na zwiększenie udziału owoców I, II, i III klasy w plonie ogólnym w porównaniu z pozostałymi kombinacjami. Przy zastosowaniu w pożywce największego stężenia tytanu oznaczono w częściach wskaźnikowych największe zawartości azotu, fosforu, wapnia i magnezu. Stosowanie Tytanitu zwiększało w porównaniu do kombinacji kontrolnej zawartość azotu (w Ti-I, Ti-III, Ti-IV), fosforu (Ti-III, Ti-IV), potasu (Ti-I), wapnia i magnezu (Ti-IV).

Podsumowując można stwierdzić, że we wszystkich analizowanych kombinacjach, pomimo istniejących różnic w zawartości składników w liściach, nie zaobserwowano objawów ich niedoboru/nadmiaru.

Stosowanie wzrastających dawek tytanu w pożywce nie różnicowało istotnie zawartości fosforu i potasu w owocach pomidora. Tytan miał wpływ na zawartość azotu (Ti-I, Ti-III, Ti-IV) i magnezu (Ti-I, Ti-IV) w porównaniu do kombinacji kontrolnej. Analizując parametry jakościowe owoców, nie stwierdzono wpływu tytanu na zawartość suchej masy, cukrów i kwasowości ogólnej. Istotnie większą zawartość witaminy w porównaniu do kombinacji kontrolnej oznaczono przy zastosowaniu dawki $80 \text{ g Ti} \cdot \text{ha}^{-1}$ i $480 \text{ g Ti} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że stosowanie tytanu jako biostymulatora w żywieniu pomidorów wpływa na lepsze odżywianie z azotem, fosforem, wapniem, magnezem, i obniżenie zawartości potasu. Największa (nieudowodniona statystycznie) zawartość potasu w owocach w przypadku Ti-IV może być przyczyną zmniejszenia zawartości tego składnika w liściach. Zwiększenie zawartości magnezu w liściach, który jest głównym składnikiem chlorofilu, może tłumaczyć plonotwórcze działanie tytanu w dawce $960 \text{ g Ti} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Pod względem praktycznym, mając na celu poprawę plonowania, wskazane jest stosowanie tytanu jako biostymulatora w uprawie pomidora w formie mineralnej w dawce $960 \text{ g Ti} \cdot \text{ha}^{-1}$.

The effect of Tytanit application on the content of selected microelements and the biological value of tomato fruits (B.7.)

Dalszym etapem badań było określenie wpływu tytanu na zawartość mikrośladników w metalicznych oraz parametry wartości biologicznej owoców takie jak: kwasowość ogólna, zawartość azotanów i likopenu.

Wykazano istotny wpływ tytanu w dawce $80 \text{ g Ti}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Ti-I) na zawartości żelaza i manganu w częściach wskaźnikowych roślin. Na podstawie badań własnych potwierdzono teorię dotyczącą interakcji pomiędzy tytanem a żelazem. Zależność synergistyczna została potwierdzona tylko przy dawce wynoszącej $80 \text{ g Ti}\cdot\text{ha}^{-1}$. Większe dawki tytanu spowodowały zmniejszenie zawartości żelaza w częściach wskaźnikowych w porównaniu z dawką Ti-I. Nie stwierdzono natomiast istotnych statystycznie różnic w zawartości żelaza i manganu w liściach w zakresie dawki tytanu od 240 do $960 \text{ g Ti}\cdot\text{ha}^{-1}$. Stwierdzono istotny wpływ tytanu na zawartość cynku w częściach wskaźnikowych roślin w kombinacji Ti-II w porównaniu z kontrolą i pozostałymi kombinacjami. Stosowanie tytanu nie miało istotnego wpływu na zawartość miedzi w częściach wskaźnikowych z wyjątkiem kombinacji Ti-IV ($960 \text{ g Ti}\cdot\text{ha}^{-1}$). Wzrastające dawki tytanu miały istotny wpływ na zmniejszenie zawartości miedzi w owocach. Istotnie najmniejsza zawartość miedzi w liściach i owocach oznaczono w kombinacji (Ti-IV). Nie wykazano istotnych różnic w zawartości miedzi w owocach pomiędzy kombinacją kontrolną, a kombinacjami Ti-II i Ti-III.

Wykazano wpływ tytanu na kwasowość ogólną owoców pomidora. Największą zawartość azotanów stwierdzono w kombinacji Ti-III ($30,03 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Nie stwierdzono wpływu tytanu na zawartość azotanów w pozostałych kombinacjach. Wykazano istotny wzrost zawartości likopenu w owocach w przypadku dawki $80 \text{ g Ti}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($46,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w stosunku do innych kombinacji. Zawartość likopenu była największa w przypadku Ti-I ($46,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), podczas gdy stosowanie tytanu w dawce $960 \text{ g Ti}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Ti-IV) indukowało istotny wzrost kwasowości ogólnej owoców. Nie wykazano wpływu stosowania tytanu na zawartość azotanów w owocach w porównaniu do kombinacji kontrolnej, z wyjątkiem dawki $480 \text{ g Ti}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Ti-III).

Reasumując można stwierdzić, że przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ preparatu Tytanit na wartość biologiczną owoców pomidora.

Podsumowanie najważniejszych wyników dokumentujących osiągnięcie naukowe, stanowiące podstawę wniosku do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego:

Na podstawie przeprowadzonych 6-letnich doświadczeń wegetacyjnych wykazałem zróżnicowaną reakcję odmianową pomidora uprawianego w wełnie mineralnej z zastosowaniem fertygacji kropłowej na wzrastające stężenia boru w pożywce do fertygacji.

Wykazałem, że istnieje możliwość uprawy pomidora przy naturalnej zasobności boru w wodzie ($0,011 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Rodzima zawartość boru w wodzie jest wystarczająca dla uprawy pomidora odmiany Alboney F₁ w wełnie mineralnej. Na roślinach nie zaobserwowano objawów niedoboru tego mikroelementu, a owoce charakteryzowały się najlepszą wartością biologiczną.

Odmianę pomidora Emotion F₁ należy uznać za mniej tolerancyjną na niedobór/nadmiar boru w pożywce.

Stężenie boru w pożywce w zakresie $0,80\text{-}1,60 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ jest nadmierne dla uprawy obu odmian pomidora w wełnie mineralnej. Zaobserwowana toksyczność występuje zarówno przy stosowaniu boru w formie boraksu jak i kwasu borowego.

W badaniach własnych największy plon odmiany Alboney F₁ (Eksperyment I) ($5,55$ i $5,52 \text{ kg} \cdot \text{roślin}^{-1}$) uzyskałem przy zawartości boru w częściach wskaźnikowych w zakresie $33,24 - 78,58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ i zawartości boru w owocach $11,66\text{-}13,10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ natomiast dla odmiany Emotion F₁ ($5,57 \text{ kg} \cdot \text{roślin}^{-1}$) przy zawartości boru w liściach $79,44 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, owocach $14,26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. W doświadczeniu z kwasem borowym (Eksperyment II) odmiana Alboney F₁ plonowała najlepiej przy zawartości boru w częściach wskaźnikowych w zakresie od $32,80\text{-}80,62 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, ($5,73$ i $5,87 \text{ kg} \cdot \text{roślin}^{-1}$) i zawartości boru w owocach $11,66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ do $16,70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Natomiast odmiana Emotion F₁ przy zawartości boru w częściach wskaźnikowych $83,89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($5,85 \text{ kg} \cdot \text{roślin}^{-1}$) i $19,56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w owocach. Analizując uzyskane wyniki zawartości boru w owocach stwierdziłem, że nadmierne stężenia boru w pożywkach do fertygacji nie stanowią zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka.

Zwrócono uwagę na różnice odmianowe roślin w zawartości makro- i mikroelementów w częściach wskaźnikowych oraz owocach pomidora przy zastosowaniu dwóch form boru. Stosując kwas borowy (Eksperyment II) istotnie większa zawartość fosforu oznaczono w częściach wskaźnikowych odmiany Alboney F₁, natomiast stosując borkas większa nieudowodniona statystycznie zawartość fosforu oznaczono w liściach odmiany Emotion F₁.

Wykazałem, że kwas borowy w przeciwieństwie do boraksu, nie modyfikuje zawartości wapnia w częściach wskaźnikowych.

Stwierdziłem istotny wpływ stosowania tytanu w dawce $960 \text{ g Ti} \cdot \text{ha}^{-1}$ na plon całkowity i handlowy owoców pomidora oraz zwiększenie plonu owoców o największych średnicach (klas I, II i III) w porównaniu z pozostałymi badanymi kombinacjami.

W badaniach własnych potwierdziłem, że pomiędzy tytanem i żelazem mogą zachodzić zależności antagonistyczne i synergistyczne w zależności dawki tytanu. Wykazałem ponadto, że tytan w dawce 80 i $960 \text{ Ti} \cdot \text{ha}^{-1}$ istotnie wpływa na zawartość magnezu w liściach pomidora.

Pod wpływem stosowaniu tytanu w uprawie hydroponicznej pomidora uzyskano plon lepszej jakości biologicznej. Wykazałem, że owoce pomidora przy dawce $80 \text{ g Ti} \cdot \text{ha}^{-1}$ zawierały największą istotnie zawartość likopenu i witaminy C.

Nie stwierdziłem natomiast wpływu stosowania Tytanitu na pozostałe parametry jakościowe owoców. Stosowanie Ti w formie fertygacji nie powoduje konieczności zmiany składu chemicznego standardowej pożywki do uprawy pomidora w wełnie mineralnej, a rośliny nie wykazują niedostatecznego/nadmiernego stanu odżywienia żadnym ze składników pokarmowych.

Uwzględniając aspekt naukowy i praktyczny przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że celowa jest weryfikacja istniejących i ogólnie przyjętych stężeń hydroponicznych składników pokarmowych w pożywkach do uprawy pomidora w wełnie mineralnej, jak również poszukiwanie pierwiastków mających pozytywny wpływ na plonowanie roślin, ze szczególnym uwzględnieniem poprawy jakości biologicznej owoców.

Potwierdziłem w badaniach własnych wysoką toksyczność boru, jednak szczególnie ważne i nowatorskie są wyniki uzyskane podczas uprawy roślin przy naturalnej zawartości boru w wodzie. Uwzględniając aspekt praktyczny, ze szczególnym naciskiem na poprawę plonowania roślin, celowe wydaje się również zastosowanie tytanu jako biostymulatora w uprawie pomidora w wełnie mineralnej.

Literatura

ADAMS P. 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponics systems. Acta Hort. 361, 245-257.

- ALCARAZ-LOPEZ, C., BOTIA, M., ALCARAZ, C. F., RIQUELME, F. 2004. Effect of the in-season combined leaf supply of calcium, magnesium and titanium on peach (*Prunus persica* L). *J. Sci. Food Agric.* 84. 949-954.
- BIACS P. A., DAOOD H. G., KERESZTES A. 1997. Biochemical aspect on the effect of Titavit treatment on carotenoids, lipids and antioxidants in spice red pepper. *Physiology, Biochemistry and Molecular Biology of Plant Lipids*, eds J. P. Williams, M. U. Khan, and N. W. Lem (Dordrecht: Springer Science +Business Media), 215-217.
- BIEGO G.H., JOYEUX M., HARTEMANN P., DERBY G. 1998. Daily intake of essential minerals and metallic micropollutants from foods in France. *The Science of the Total Environment.* 217. 27-36.
- BIERNAT J., PIECZYŃSKA J. 2000. Rola boru w przemianach metabolicznych i w żywieniu człowieka. *Bromatologia i chemia toksykologiczna.* 33/4: 289-294.
- BOROWSKI E., NURZYŃSKI J. 2012. Effect of different growing substrates on the photosynthesis parameters and fruit yield of greenhouse-grown tomato. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 11(6) 95-105.
- BREŚ W., KLEIBER T., TRELKA T. 2010. Quality of water used for drip irrigation and fertigation of horticultural plants. *Folia Hort.* 22 (2). 67-74.
- BREŚ W., GOLCZ A., KOMOSA A., KOZIK E. 2012. Żywnienie roślin ogrodniczych. Podstawy i perspektywy. Komosa A. (red.), PWRiL.
- BROWN P.H., BELLALUI N., WIMMER M.A., BASSIL E.S., RUIZ J., HU H., PFFEFER H., DANNEF F., ROMHELD V. 2002. Boron in plant biology. *Plant Biology* 4/2: 205-223.
- BUETTNER K. M., VALENTINE A. M. 2012. Bioinorganic chemistry of titanium. *Chem. Rev.* 112, 1863-1881. DOI: 10.1021/cr1002886.
- CASTILLO J.R., MIR J.M., BENDICHO C., MARTINEZ C. 1985. Determination of boron in waters by using methyl borate generation and flame atomic-emission spectrometry. *Atomic Spectroscopy.* 6. 152-155.
- CARVAJAL M., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ F., PASTOR J. J., ALCARAZ C. F. 1995. Leaf spray with Ti(IV) ascorbate improves the iron uptake and iron activity in *Capsicum annuum* L. plants," in *Iron Nutrition in Soils and Plants*, ed J. Abadía (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers), 1-5. DOI: 10.1007/978-94-011-0503-3_1.
- CARVAJAL, M., ALCARAZ, C. F. 1998. Why titanium is a beneficial element for plants. *J. Plant Nutr.* 21. 655-664. DOI: 10.1080/01904169809365433.

- CIGLER P., OLEJNICKOVA J., HRUBY M., CSEFALVAY L., PETERKA J., KUZEL S. 2010. Interactions between iron and titanium metabolism in spinach: a chlorophyll fluorescence study in hydropony. *J. Plant Physiol.* 167. 1592-1597. DOI: 10.1016/j.jplph.2010.06.021.
- DAOOD H. G., BIACS P., FEHÉR M., HAJDU F., PAIS I. 1988. Effect of titanium on the activity of lipoxygenase. *J. Plant Nutr.* 11. 505-516. DOI: 10.1080/01904168809363818.
- DINU M., DUMITRU M.G., SOARE R. 2015. The Effect Of Some Biofertilizers On The Biochemical Components Of The Tomato Plants And Fruits. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 21 (No 5). 998-1004.
- DUMON J. C., ERNST W. H. O. 1988. Titanium in plants. *J. Plant Physiol.* 133. 203-209. DOI: 10.1016/S0176-1617(88)80138-X.
- FOTYMA M., MERCIK S. 1995. *Agricultural chemistry*. PWN Warszawa.
- GRAJKOWSKI J., OCHMIAN I. 2007. Influence of Three Biostimulants on Yielding and Fruit Quality of Three Primocane Raspberry Cultivars. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 6, 29-36.
- GOLDBACH H.E. RERKASEM B., WIMMER M.A., BROWN P.H. THELLIER M., BELL R.W. 2002. *Boron in plant and animals nutrition*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. NY.
- GUS. 2018. *Wyniki produkcji roślinnej w 2017 r.* Warszawa.
- HAGHIGHI M., HEIDARIAN S., TEIXERIA DA SILVA J.A. 2012. The Effect of Titanium Amendment in N-Withholding Nutrient Solution on Physiological and Photosynthesis Attributes and Micronutrient Uptake of Tomato. *Biol Trace Elem Res.* 150. 381. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9481-y>.
- HANSON E.J. 1991. Movement of boron out of tree leaves. *HortScience.* 26. 271-273.
- HOCHMUTH G.J., HOCHMUTH R.C. 2012. *Nutrient Solution Formulation for Hydroponic (Perlite, Rockwool, NFT) Tomatoes in Florida*, University of Florida, HS796.
- HU H., BROWN P., H. 1997. Absorption of boron by plant roots. *Plant and Soil.* (193): 49-58.
- ITAKURA T., SASAI R., ITOH H. 2005. Precipitation recovery of boron from wastewater by hydrothermal mineralization. *Water Research.* Vol. 39. Issue 12. 2543-2548.
- ISHII T., MATSUNAGA T., HAYASHI N. 2001. Formation of rhamnogalacturonan II-borate dimer in pectin determines cell wall thickness of pumpkin tissue. *Plant Physiol.* 126. 1698-1705.
- JAROSZ Z., DZIDA K. 2011. Effect of substratum and nutrient solution upon yielding and chemical composition of leaves and fruits of glasshouse tomato grown in prolonged cycle. *Acta Sci. Pol. Hort. Cult.*, 10(3): 247-258.

- JAROSZ Z., KATARZYNA DZIDA K., NURZYŃSKA-WIERDAK R. 2012. Possibility of reusing expanded clay in greenhouse tomato cultivation. Part i. Yield and chemical composition of fruits. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 11(6), 119-130.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 2001. Trace elements in soli and plants. CRC Press, Boca-Raton, FL.
- KANEKO S., ISHII T., MATSUNAGA T. 1997. A boron-rhamnagalacturonan-II complex from bamboo shoot cell walls. *Phytochemistry*. 44. 243-248.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Nauk. PWN. Warszawa.
- KURTOĞLU V., KURTOĞLU F., COŞKUN B. 2001. Effects of boron supplementation of adequate and inadequate vitamin D₃-containing diet on performance and serum biochemical characters of broiler chickens. *Res Vet Sci*. 71. 183-187.
- KOBAYASHI M., MATOH T., AZUMA J. 1996. Two chains of rhamnagalacturonan II are cross-linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls. *Plant Physiol.* (110): 1017-1020.
- KOMOSA A., KLEIBER T., PIRÓG J. 2010. Contents of macro- and microelements in root environment of greenhouse tomato grown in rockwool and wood fiber depending on nitrogen levels in nutrient solutions, *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 9(3). 59-68.
- KOMOSA A., GÓRNIAK T. 2012. The effect of chloride on nutrient contents in fruits of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in rockwool. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 11(5). 43-53.
- KOVACIK P., HUDEC J., ONDRISIK P., POLIAKOVA N. 2014. The effect of liquid Mg-Titanit on creation of winter wheat phytomass. *Res. J. Agri. Sci.* 46. 125-131.
- KOWALCZYK W., DYŚKO J., FELCZYŃSKA A. 2010. Evaluation of the nutrient elements pollution level of the groundwater intakes on the concentrated areas of greenhouse production. *Nowości Warzywnicze*.
- KOWALCZYK K., GAJC-WOLSKA J. 2011. Effect of the kind of growing medium and transplant grafting on the cherry tomato yielding. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 10(1). 61-70.
- LITYŃSKI T., JURKOWSKA H. 1982. Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN Warszawa.
- LI Q., ZHANG T. 2007. A novel method of the determination of boron in the presence of a little metanol by discoloring spectrophotometry in pharmaceutical and biological samples. *Talanta*. 71. 296-302.

- LYU S., WEI X., CHEN J., WANG C., WANG X., PAN D. 2017. Titanium as a Beneficial Element for Crop Production. *Front. Plant Sci.* 8:597. DOI: 10.3389/fpls.2017.00597.
- MARTINEZ-SANCHEZ F., NUNEZ M., AMOROS A., GIMENEZ J. L., ALCARAZ C. F. 1993. Effect of titanium leaf spray treatments on ascorbic acid levels of *Capsicum annuum* L. *J. Plant Nutr.* 16, 975-981. DOI: 10.1080/01904169309364586.
- MELNYK L., GONCHARUK V., BUTNYK I., EUGENE TSAPIUK E. 2005. Boron removal from natural and wastewaters using combined sorption/membrane process. *Desalination.* 185. 147-157.
- MICHALSKI P. 2008. The effect of Tytanit on the yield structure and the fruit size of strawberry 'Senga Sengana' and 'Elsanta'. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. E* 63, 3: 109-118.
- MOORE J., A. 1997. An assessment of boric acid and borax using the IEHR Evaluative process for assessing human developmental and reproductive toxicity of agents. *Reproductive Toxicology.* Vol. 11, Issue 1. Pages 123-160.
- MURRAY F., J. 1995. A Human Health Risk Assessment of Boron (Boric Acid and Borax) in Drinking Water. *Regulatory Toxicology and Pharmacology.* Volume 22, Issue 3, Pages 221-230.
- NAUTSCH-LAUFER C. 1974. Die Wirkung von Titan auf den Stoffwechsel von *Phaseolus vulgaris* und *Zea mays*. Dissertation University of Münster.
- NIELSEN F.H. 2000. The emergence of boron as nutritionally important throughout the life cycle. *Nutrition.* 16. 512-514.
- O'NEILL M. A., ISHII T., ALBERSHEIM P., DARVILL A.G. 2004. Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55. 109-139.
- O'NEILL M.A., WARRENFELTZ D., KATES K., PELLERIN P., DOCO T., DARVILL A., ALBERSHEIM P. 1996. Rhamnogalacturonan-II, a pectic polysaccharide in the walls of growing plant cell, forms a dimer that is covalently cross-linked by a borate ester - In vitro conditions for the formation and hydrolysis of the dimer. *J. Biol. Chem.* 271. 22923-22930.
- O'NEILL M., A, EBERHARD S, ALBERSHEIM P, DARVILL A., G. 2001. Requirement of borate cross-linking of cell wall rhamnogalacturonan II for Arabidopsis growth. *Science.* 294. 846-849.

- PAIS, I. 1983. The biological importance of titanium. *J. Plant Nutr.* 6 3-131. DOI: 10.1080/01904168309363075.
- RAINEY C.J., NYQUIST L.A., CHRISTENSEN R.E. 1998. Daily boron intake from the American diet. *Journal of the American Dietetic Association.* 99. 335-340.
- RAM N., VERLOO M., COTTENIE A. 1983. Response of bean to foliar spray of titanium. *Plant Soil* 73. 285-290. DOI: 10.1007/BF02197724.
- REVILLA E., CIRUELOS, A., APAOLAZA A., SARRO M.J. 1985. Influence of boron toxicity on single phenols of tomato leaves. *Plant and Soil* 88, 295-297.
- RUIZ J.M., BRETONES G., BAGHOUR M., RAGALA L., BELAKBIR A., ROMERO L. 1998. Relationship between boron and phenolic metabolism in tobacco leaves. *Phytochemistry.* 48. 269-272.
- RMS, the Journal of Laws Dziennik Ustaw of 2008, no. 143 item 896.
- SAHIN I., NAKIBOĞLU N. 2006. Voltammetric determination of boron by using Alizarin Red S. *Anal. Chim. Acta.* 572. 2. 253-258.
- SHOL'NIK M.Y. 1965. *The Physiological Role of B in Plants.* London, UK: Borax Consolidated Limited.
- SIMON L., BALOGH A., HAJDU F., PAIS, I. 1988. Effect of titanium on growth and photosynthetic pigment composition of *Chlorella pyrenoidosa* (Green Alga). II. Effect of titanium ascorbate on pigment content and chlorophyll metabolism of *Chlorella*,” in *New Results in the Research of Hardly Known Trace Elements and Their Role in the Food Chain*, ed I. Pais (Budapest: University of Horticultural and Food Science), 87-101.
- SKUPIEŃ K., OSZMIAŃSKI J. 2007. Influence of titanium treatment on antioxidants content and antioxidant activity of strawberries. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 6. 83-93.
- TOMASZEWSKA B. 2010. Boron in groundwater and waste dump leachates. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 1-2. 161-171.
- WYSOCKA-OWCZAREK M. 1998. *Tomatoes under cover. The cultivation of conventional and modern.* Hortpress Sp. z o.o. Warszawa. 166-187.
- WÓJCIK P., CIESLIŃSKI G., MIKA A. 1999. Apple field and fruit quality as influence by boron applications. *J. Plant. Nutr.* 22. (9). 1365-1377.
- WÓJCIK P., MIKA A., CIESLIŃSKI G. 1997. Wpływ nawożenia borem na plonowanie jabłoni oraz jakość owoców. *Acta Agrobotanica.* 50. (1-2). 111-124.
- WÓJCIK P. 2004. Effect of boron fertilization on vigor, yielding and fruit quality of 'Jersey' highbush blueberry. *Acta Sci. Pol. Hort. Cult.* 3 (2). 123-129.

- ZEKKI H., GAUTHIER L., GOSSELIN A. 1996. Growth, productivity and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121 (6), 1082–1088.
- ZHANG W., ZHU Z., CHENG C.Y. 2011. A literature review of titanium metallurgical process. *Hydrometallurgy* 108, 177–188. DOI: 10.1016/j.hydromet.2011.04.005.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

Główne kierunki moich badań dotyczą następujących zagadnień naukowych:

1. Żywnienie wybranych gatunków roślin zielarskich i warzyw
2. Optymalizacja żywienia oberżyny (*Solanum melongena* L.)
3. Optymalizacja upraw bezglebowych pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.)
4. Hydroponiczna uprawa sałaty masłowej (*Lactuca sativa* L.)
5. Antropogeniczne zanieczyszczenie gleb w terenach miejskich.

5.1. Żywnienie wybranych gatunków roślin zielarskich i warzyw

5.1.1. Bazylia pospolita (*Ocimum basilicum* L.)

Składnikiem decydującym w największym stopniu o wielkości plonu roślin jest azot. W doświadczeniach z żywnieniem bazylii pospolitej (*Ocimum basilicum* L.) odm. Wała testowano 5 dawek azotu. (0,0; 0,3+0,15; 0,6+0,3; 0,9+0,45; 1,2+0,6 g N·roślin⁻¹). Największy plon ziela, liści oraz łodyg uzyskano przy zastosowaniu sumarycznej dawki 1,8 g N·roślin⁻¹. Istotnie większy średni plon uzyskano w drugim terminie zbioru (**D.2.**). Zawartość suchego ziela bazylii wynosiła średnio 20% świeżej masy roślin. W czasie uprawy zmniejszała się zawartość azotu i potasu w podłożu, natomiast w liściach i łodygach zwiększała się zawartość magnezu (**D.9.**). Cechą decydującą o jakości ziela bazylii wonnej jest zawartość olejków eterycznych. (**D.3.**). Największą zawartość olejków eterycznych oznaczono uprawiając bazylię, stosując nawożenie 0,6+0,3 g N·roślin⁻¹ (I zbiór). Rośliny uprawiane przy zastosowaniu dawki azotu 0,9 i 1,2 g N·roślin⁻¹ charakteryzowały się najbardziej pożądanymi wyróżnikami zapachowymi: bazyliowym, ostrym, przyprawowym i ziołowym. Doświadczenia kontynuowano w uprawie dwóch odmian bazylii Wała i Dark Opal przy

zróżnicowaniu nawożenia azotem do dwóch dawek przedwegetacyjnych 0,9 i 1,2 g N · roślin⁻¹ i pogłównych 0,45 i 0,6 g N · roślin⁻¹ (D.1.). Wykazano zróżnicowaną reakcję odmianową roślin na zastosowane dawki azotu. Istotnie większą zawartość olejków eterycznych oznaczono w ziele odmiany Wala.

5.1.2. Cebula zwyczajna (*Allium cepa* L.)

Spżycie cebuli w Polsce jest szacowane na 5,67 kg/osobę/rok. Jest ona ważnym i cennym źródłem składników mineralnych w diecie człowieka. Brałem udział w badaniach nad wpływem kontrolowanego żywienia cebuli oraz jej przechowywania na wartość odżywczą wyrażoną zawartością makro- (D.16.) oraz mikrośkładników (D.17.) w części spichrzowej. Doświadczenia przeprowadzono w prywatnym gospodarstwie ogrodniczym. Do badań wybrano 21 najpopularniejszych odmian cebuli uprawianych w Polsce. Wykazano, że podczas przechowywania cebul ulegała zmniejszeniu zawartości N, P i S. Przechowywanie organów spichrzowych nie miało wpływu na zawartość suchej masy oraz zawartość K, Ca, Na, Fe i Zn w cebulach. Stwierdzono istotny wpływ przechowywania na zawartość magnezu w cebuli.

5.1.3. Papryka (*Capsicum annuum* L.)

Współuczestniczyłem w badaniach nad wpływem nawożenia azotowo-potasowego papryki ostrej na stan odżywienia roślin i zasolenie podłoża (A.2.). Doświadczenia przeprowadzono w szklarni nieogrzewanej, z papryką ostrą odmiany Wulkan. Badano wpływ zróżnicowanego nawożenia azotowo-potasowego na zmiany zawartości tych składników, mające wpływ na wzrost zasolenia (EC) w podłożu oraz stan odżywienia roślin. Wykazano wpływ wzrastających dawek azotu i potasu (N 350, K 400 mg·dm⁻³) na zwiększenie zasolenia podłoża. Poziom nawożenia azotem nie różnicował istotnie zawartości tego makroskładnika w częściach wskaźnikowych roślin. Brałem również udział w badaniach nad wpływem rodzaju nawozu potasowego na plonowanie papryki rocznej odm. Cyklon (A.7.). W doświadczeniu zastosowano identyczne poziomy nawożenia azotem i potasem jak we wcześniejszych badaniach: N-250, K-300 i N-350, K-400 mg·dm⁻³ podłoża. Nawożenie potasem zostało zróżnicowane do trzech form: azotanowej, chlorkowej i siarczanowej. Rodzaj nawozu potasowego przy dwóch poziomach nawożenia azotem i potasem nie miał istotnego

wpływu na plonowanie i parametry biometryczne papryki. Uzyskane wyniki są pionierskie w skali międzynarodowej i mają duże znaczenie praktyczne. Krytycznie odnoszą się do obowiązującego wcześniej w nauce zakwalifikowania papryki jako rośliny siarczanolubnej.

5.1.4. Ogórek (*Cucumis sativus* L.)

We współpracy z Katedrą Warzywnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu uczestniczyłem w badaniach nad przydatnością włókna drzewnego jako alternatywnego, podłoża organicznego do uprawy ogórka (D.15.) Celem badań było określenie zmian składu chemicznego pożywek w uprawie ogórka Onyks F₁. W doświadczeniach zastosowano włókno drzewne o zróżnicowanej gęstości (60, 80 i 100 g·dm⁻³) w porównaniu z wełną mineralną. Stwierdzono, że w matach z włókna drzewnego o gęstości 80-100 g·dm⁻³ następuje zwiększenie zawartości azotu amonowego, manganu, miedzi, boru i sodu. Przy gęstości włókna drzewnego 100 g·dm⁻³ nastąpił znaczny wzrost EC w pożywkach środowiska korzeniowego, nie stwierdzono natomiast istotnych zmian pH. Określono szereg zateżenia składników pokarmowych dla włókna drzewnego: Cu > Na > Zn > Ca > Cl > K > B > S-SO₄ > Mg. Nie stwierdzono zateżenia N-NH₄ i N-NO₃ w włóknie drzewnym na skutek sorpcji biologicznej z powodu wysokiego stosunku C:N w tym podłożu.

5.2. Optymalizacja żywienia oberżyny (*Solanum melongena* L.)

Oberżyna = bakłażan (*Solanum melongena* L.) uprawiana jest od wielu stuleci w pld. – wsch. Azji i Turcji. (D.4.). W badaniach nad optymalizacją żywienia oberżyny zastosowano trzy podłoża, dwie odmiany i trzy poziomy nawożenia (NPK). Nawożenie podstawowe - przedwegetacyjne i pogłównne makroskładnikami ustalono do założonych poziomów (N - niskiego, S - standardowego, W - wysokiego, przy zachowaniu proporcji makroskładników N : P : K = 1 : 0,9 : 1,7) dla podłoży organicznych: N (N-300, P-265, K-500 mg·dm⁻³), S (N-400, P-350, K-665 mg·dm⁻³), W (N-500, P-440, K-830 mg·dm⁻³), dla gleby mineralnej - N (N-200, P-175, K-330 mg·dm⁻³), S (N-300, P-265, K-500 mg·dm⁻³), W (N-400, P-350, K-665 mg·dm⁻³).

Stwierdziłem, że średni plonu handlowy liczby owoców i masy pojedynczego owocu u obu odmian oberżyny uprawianej w torfie wysokim nie różniły się istotnie (D.7.) Wykazano wpływ poziomu nawożenia na plon handlowy owoców. Różnice między największym, a

najmniejszym poziomem nawożenia wynosiły: w średnim plonie handlowym $\pm 22\%$, w średniej liczbie owoców $\pm 24\%$.

Przy standardowym poziomie nawożenia uzyskano u obu odmian zbliżoną masę pojedynczego owocu (średnio 339,4g). Uprawiając roślin w mieszaninie gleby mineralnej z torfem wysokim (v:v – 4:1) stwierdzono istotny wpływ poziomu nawożenia i odmiany na plon ogólny, średnią liczbę owoców, oraz masę pojedynczego owocu oberżyny (**A.3.**)

Owoce oberżyny odmiany Epic F₁ zawierały więcej witaminy C niż owoce odmiany Solara F₁. W owocach obu odmian oberżyny we wszystkich latach badań zawartość ekstraktu mieściła się w przedziale od 4,0 do 5,5 %. Większą średnią zawartość suchej masy w owocach oberżyny oznaczono u odmiany Solara F₁.

Do uprawy oberżyny w pierścieniach wypełnionych glebą mineralną z torfem wysokim (v:v – 4:1) zaleca się: przedwegetacyjnie uzupełnienie zawartości azotu, fosforu i potasu w podłożu do poziomów ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$): N-250, P-220, K-415, a w nawożeniu pogłównym (od trzeciego tygodnia uprawy utrzymanie zawartości składników w podłożu na poziomie: N-400, P-350, K-665.

Czynnikiem decydującym o plonowaniu jest stan odżywienia roślin (**A.1.**) W częściach wskaźnikowych roślin uprawianych w podłożach organicznych oznaczono: u odmiany Epic F₁: 1,12-3,40% N; 0,42-1,14% P; 1,80-4,81% K, natomiast u odmiany Solara F₁ 1,17-3,50% N; 0,53-1,27% P; 1,96-4,00% K w zależności od podłoża i poziomu nawożenia.

Wykazano wpływ poziomu nawożenia na plonowanie i stan odżywienia roślin. Zawartość azotu, fosforu i potasu w częściach wskaźnikowych roślin uprawianych w torfie wysokim ulegała zmniejszeniu podczas uprawy. Większe zawartości azotu i fosforu oznaczono w częściach wskaźnikowych odmiany Solara F₁, natomiast więcej potasu zawierały części wskaźnikowe odmiany Epic F₁

Zbiór owoców oberżyny przeprowadzano wielokrotnie od VII do IX każdego roku badań. Określono dynamikę plonowania oberżyny uprawianej w różnych podłożach po zastosowaniu trzech poziomów nawożenia (**D.14.**) W podłożach organicznych przy standardowym i wysokim poziomie nawożenia uzyskano największą dynamikę plonowania, natomiast w glebie mineralnej z dodatkiem torfu przy zastosowaniu wysokiego poziomu nawożenia. Wykazano, że podłoże z torfu wysokiego jest najbardziej przydatne do uprawy oberżyny.

Bakłazan należy do roślin ciepłolubnych. Stwierdziłem, że temperatura powietrza w czasie wegetacji oberżyny oraz rodzaj zastosowanego podłoża miały istotny wpływ na plon

ogólny oraz liczbę owoców (**D.11.**). Różnica pomiędzy latami w średniej dobowej temperaturze w okresie uprawy wynosząca 2°C spowodowała istotne zmniejszenie plonu oraz liczby owoców. Uzyskany plon ogólny w 2004 roku był mniejszy o 36%, a masa pojedynczego owocu o 24% w porównaniu z rokiem 2003.

Ze względu na zróżnicowaną reakcję odmianową roślin podjąłem badania nad wpływem odmiany i rodzaju podłoża na plon wczesny oraz parametry biometryczne i wartość biologiczną owoców wybranych odmian oberżyny (**D.13.**). Największy plon wczesny uzyskano u odmian Arrow F₁ i Black Bell F₁.

Rodzaj podłoża organicznego miał istotny wpływ na plonowanie oberżyny. Istotnie większy średni plon wczesny stwierdzono w podłożu korowo-torfowym u wszystkich odmian, z wyjątkiem odmiany Solara F₁.

Nie wykazano wpływu rodzaju podłoża na zawartości ekstraktu w owocach. Największą zawartość witaminy C oznaczono w owocach odmiany Solara F₁ (18,7 mg%), a najmniejszą w owocach odmiany Impuls F₁ (10,1 mg%) uprawianej na podłożu torfowym. Rodzaj podłoża nie miał wpływu na zawartość witaminy C w owocach odmian Arrow F₁ i Black Bell F₁. Wykazano na podstawie współczynnika kształtu, że jest to cecha wyłącznie odmianowa. W owocach oberżyny oznaczono również zawartość glukozy, fruktozy i sacharozy (**D.5.**) Wykazano, że dominującym cukrem w owocach oberżyny jest glukoza, natomiast zawartość sacharozy jest 19-krotnie mniejsza niż w korzeniach marchwi. Owoce oberżyny są również cenione ze względu na niską kaloryczność i zawartość składników mineralnych, w tym potasu.

Wykazałem istotne różnice w średniej zawartości potasu w owocach w zależności od odmiany (Epic F₁ - 26,65 g K·kg s.m, Solara F₁ – 29,72 g K·kg s.m) (**A.4.**). Największą zawartość potasu oznaczono w owocach odm. Epic F₁ uprawianej w torfie przy niskim poziomie nawożenia (28,47 g K·kg s.m.) oraz w owocach odmiany Solara F₁ uprawianej w podłożu mieszanym z torfu niskiego + kora przy wysokim poziomie nawożenia (32,07 g K·kg s.m.).

Rodzaj podłoża miał istotny wpływ na średnią zawartość azotu i wapnia w owocach. Nie stwierdzono wpływu poziomu nawożenia na średnią zawartość azotu, fosforu, potasu, magnezu i siarki w owocach oberżyny. Większe średnie zawartości manganu oznaczono w owocach roślin uprawianych w torfie wysokim w porównaniu z owocami roślin uprawianymi w podłożu mieszanym, odwrotną zależność stwierdzono w przypadku żelaza. Nie stwierdzono wpływu poziomu nawożenia na średnią zawartość żelaza, manganu, cynku i miedzi w owocach oberżyny (**D.23.**).

Kolejnym etapem badań dotyczących uprawy oberżyny w podłożach organicznych było określenie przydatności podłoży pod kątem ich powtórnego wykorzystania (D.8.). Wykazano, że powtórne wykorzystanie podłoży spowodowało istotne obniżenie plonu owoców (średnio o 56%), liczby owoców na roślinie (średnio o 53%) oraz średniej masy owoców.

W podłożach w czasie uprawy następował wzrost EC oraz akumulacja substancji o charakterze fitotoksycznym. Stosowanie podłoży wielokrotnie użytkowanych nie wpłynęło znacząco na zawartość makroskładników w liściach i owocach oberżyny (D.10.). Większe zawartości azotu, potasu i magnezu oznaczono w liściach roślin uprawianych w torfie wysokim, a fosforu i wapnia w mieszaninie kory z torfem. Istotnym problemem w uprawie oberżyny jest ochrona roślin przed szkodnikami, tym bardziej, że bakłazan jest wykorzystywany jako roślina pułpkowo-sygnalizacyjną w uprawach innych gatunków. Opracowanie metod zwalczania szkodników ma znaczenie praktyczne. W przeprowadzonych badaniach wykazałem, że zabiegi zamgławiania przy użyciu wytwornicy mgły zimnej „Mgła E Turbo” oraz preparatu Lannate 200 SL były wysoce efektywne w zwalczaniu mączlika szklarniowego (D.6., D.12.). W okresie wegetacji wykonano jedynie trzy zabiegi zamgławiania, a populacja szkodnika utrzymywała się na bardzo niskim poziomie, tj. maksymalnie odłowiono 10,67 szt. imagines w przeliczeniu na 1 tablicę chwytą. Większy problem w uprawie oberżyny stanowi obecność wciornastka kalifornijskiego. Wykazałem, że regularnie przeprowadzane zabiegi zamgławiania (średnio raz w tygodniu) preparatem Winylofos 550 EC skutecznie chroniły uprawę przed wciornastkiem kalifornijskim. W okresie wegetacji odnotowano niską liczebność szkodnika. Maksymalnie wyłowiono 12,67 szt. owadów w przeliczeniu na 1 pułpkę chwytą.

5.3. Optymalizacja upraw bezglebowych pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Jedną z ważniejszych części mojej pracy naukowej był udział w badaniach mających na celu opracowanie systemu uprawy roślin w technologiach nie zanieczyszczających środowiska. Jako pracownik Katedry Żywienia Roślin brałem udział w realizacji dwóch projektów badawczych finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Efektem tych badań jest moje współautorstwo w publikacjach naukowych.

W przeprowadzonych badaniach porównano uprawę roślin w systemach hydroponicznych w układzie bez/z recyrkulacją pożywki (A.5.). Nie stwierdzono istotnych różnic w plonie ogólnym i handlowym, oraz w dynamice plonowania pomidora uprawianego w układzie bez/z

recykulacją pożywki. Owoce roślin uprawianych w układzie recykulacyjnym zawierały większą zawartość wapnia, cynku i boru, natomiast w układzie bez recykulacji większą zawartość fosforu, potasu i manganu. Wykazano, że rośliny uprawiane w systemie recykulacyjnym nie wykazują nadmiernej akumulacji azotanów i azotynów w owocach w porównaniu z układem bez recykulacji. W pożywkach pobranych z kroplowników i środowiska korzeniowego oznaczono tylko bakterie, ale nie wykryto obecności grzybów. Wśród bakterii nie występowały żadne gatunki chorobotwórcze dla roślin. Liczba bakterii w pożywkach z kroplowników w obu systemach była zbliżona podczas gdy w wodach drenarskich była większa w systemie recykulacyjnym. Wykazano wysoką efektywność promieniowania UV (253,7 nm) potwierdzoną zmniejszeniem liczby bakterii w wodach drenarskich w systemie recykulacyjnym. Istotnym aspektem praktycznym jest udowodnione statystycznie ograniczenie zużycia wody i nawozów w systemie z recykulacją pożywki. W systemie recykulacyjnym wykazano oszczędność 42,5% wody oraz następujące ilości składników pokarmowych (w %): 42,1 N-NH₄, 56,0 N-NO₃, 31,4 P, 52,1 K, 63,5 Ca, 47,9 Mg, 49,4 S-SO₄, 51,9 Cl, 50,9 Fe, 47,9 Zn, 24,6 Mn, 53,3, Cu i 47,2 B.

Następstwem ww. badań było przeprowadzenie doświadczeń mających na celu określenie możliwości zastosowania uprawy aeroponicznej pomidora w porównaniu do systemów hydroponicznych w układzie bez/z recykulacją pożywki (**A.8.**). W niniejszej pracy testowano pożywkę: A-2 -stosowaną standardowo w uprawach bezglebowych pomidora (również w badanych układach z wełną mineralną), A-1 – o mniejszej o 30% oraz A-3 o 30% większej zawartości składników niż w A-2. Porównując trzy systemy uprawy hydroponicznej wykazano, że największy plon ogólny i handlowy owoców pomidora uzyskano w uprawie w wełnie mineralnej z recykulacją pożywki. Zwiększenie zawartości składników w pożywce o 30% spowodowało istotne zmniejszenie plonowania. Nie wykazano istotnych różnic w plonie w uprawie w wełnie mineralnej bez recykulacji pożywki oraz w aeroponie z zastosowaniem pożywek A-1 i A-2. Zróznicowane systemy uprawy decydowały o zawartościach składników w częściach wskaźnikowych. Największą zawartość azotu, fosforu i potasu oznaczono w liściach roślin uprawianych w układzie aeroponicznym z zastosowaniem pożywek A-2 i A-3, w porównaniu do uprawy w wełnie mineralnej bez/z recykulacją pożywki oraz w aeroponie z pożywką A-1. W przeprowadzonych badaniach uzyskano zbliżony plon i stan odżywienia w uprawie aeroponicznej z zastosowaniem pożywki A-1 oraz w wełnie mineralnej bez recykulacji z zastosowaniem pożywki A-2. Ważnym aspektem o znaczeniu aplikacyjnym jest oszczędność pożywki w uprawie aeroponicznej

w porównaniu do uprawy w wełnie mineralnej bez recykulacji (58,1%), oraz do systemu recykulacyjnego (18,8%). Uzyskane wyniki wykazały przydatność aeroponicznego systemu uprawy w intensywnej produkcji pomidora pod osłonami. Wdrożenie tego systemu uprawy do praktyki ogrodniczej stanowi ważny aspekt ekologiczny, eliminując maty uprawowe, których utylizacja stanowi ważny problem ekologiczny. Zmniejszenie zużycia wody i nawozów mineralnych będzie chroniło gleby i wody gruntowe przed niekontrolowanymi wyciekami wód drenarskich w układach hydroponicznych, z otwartym systemem fertygacji.

Doświadczenia nad optymalizacją żywienia pomidora w uprawach bezglebowych kontynuowałem we współpracy z Katedrą Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Przeprowadziłem badania nad zastosowaniem podłoży organicznych w intensywnej uprawie pomidora. W doświadczeniach sprawdzono przydatność mat torfowych oraz mat z włókna kokosowego o zróżnicowanej zawartości chipsów kokosowych (20% i 40%) w porównaniu ze standardowymi matami z wełny mineralnej (A.6.). Podłoże uprawowe istotnie modyfikowało zawartość: N, P, Mg, Fe, Mn, Zn w liściach. Nie wykazano zmian zawartości K i Cu. Ponadto wpływało istotnie na zawartość wszystkich analizowanych makro- i mikrośladników, za wyjątkiem Cu w owocach. Przeprowadzone badania stwarzają możliwość wyeliminowania wełny mineralnej w uprawie pomidora. Wykazałem, że w podłożach organicznych istnieje możliwość uzyskiwania plonów zbliżonych do uprawy w wełnie mineralnej. Na podstawie analiza mikrobiologicznej w podłożach organicznych stwierdzono dużą liczebność drobnoustrojów (bakterii, promieniowców i grzybów), jak również aktywności enzymów w tym dehydrogenaz. Parametry te sprawiają, że takie podłoża po zakończeniu uprawy mogą stanowić wartościowy nawóz organiczny.

Brałem udział w badaniach dotyczących żywienia pomidora manganem. W doświadczeniu wykazano wpływ wzrastających stężeń manganu na wartość odczytu SPAD (D.24). Stwierdzono także korelację pomiędzy odczytem SPAD a zawartością składników pokarmowych w liściach pomidora.

5.4. Hydroponiczna uprawa sałaty masłowej (*Lactuca sativa* L.)

Ważnym problemem polskiego ogrodnictwa jest niekontrolowane odprowadzanie wód drenarskich w uprawach hydroponicznych. W rejonach o intensywnie rozwiniętej produkcji ogrodniczej następuje pogorszenie jakości wód gruntowych wyrażonej wzrostem ich EC.

Jestem współautorem badań nad wpływem zasolenia indukowanego wzrostem stężenia makro- i mikrośladników w pożywce na wzrost i plonowanie sałaty uprawianej w systemie hydroponiki stagnującej. Określono wpływ składu chemicznego pożywek o zróżnicowanym EC: NS I (pożywka 50%, EC 1,60 ms·cm⁻¹), NS II (pożywka 100%; EC 2,50 ms·cm⁻¹), NS III (pożywka 150%, EC 3,50 ms·cm⁻¹), NS IV (pożywka 200%, EC 5,10 ms·cm⁻¹) na zmiany zawartości składników w środowisku korzeniowym, plonowanie oraz zawartość składników w częściach nadziemnych. Doświadczenie przeprowadzono z zastosowaniem 2 odmiany sałaty masłowej (*Lactuca sativa* L.): ISI 42017 oraz Brigitta (ISI 42008) z firmy ISI SEMENTI (Italy). W efekcie zateżnienia większości składników pokarmowych we wszystkich wariantach doświadczenia stwierdzono tendencję do wzrostu zasolenia (EC) pożywek w środowisku korzeniowym w stosunku do pożywki aplikowanej roślinom (**D. 18.**). Nie wykazano negatywnej reakcji badanych odmian sałaty na zasolenie pożywki w zakresie od 1,60 do 5,10 mS·cm⁻¹ oraz na nadmierną zawartość azotu azotanowego (392,0 mg N-NO₃·dm⁻³), fosforu (683,7 mg P·dm⁻³) i potasu (496,2 mg K·dm⁻³) w pożywce. Zasolenie (wyrażone w EC) miało istotny wpływ na średnią masę główek sałaty, liczbę liści wytworzonych na roślinach oraz intensywność zabarwienia blaszek liściowych (SPAD) (**D.19.**). Wykazano wpływ EC pożywki na zawartość P, K, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu i Na w główkach sałaty i liściach zewnętrznych oraz Ca i Cu w liściach zewnętrznych roślin (**D.19., D.20.**). Wykazano różnice odmianowe w zawartości Fe, Mn i Na w liściach zewnętrznych natomiast Zn tylko w główkach sałaty. W badanym zakresie zasolenia (do EC=5,10 mS·cm⁻¹) nie stwierdzono objawów toksyczności na roślinach.

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano możliwość stosowania wody i pożywki o większym zasoleniu (EC), niż dotychczas polecane, do uprawy sałaty w hydroponice stagnującej.

Sałata masłowa jest rośliną o krótkim okresie wegetacji, stosowaną bardzo często jako roślina testowa w badaniach nad żywieniem roślin. Przeprowadziłem badania nad wpływem wzrastających poziomów żywienia borem na plonowanie i skład chemiczny sałaty uprawianej w systemie z recyrkulacją pożywki oraz w hydroponice stagnującej (**D.26., D.30.**) Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie reakcji sałaty masłowej jako rośliny o innej części jadalnej na stężenia boru stosowane w uprawie pomidora. W doświadczeniach zastosowano pożywkę o następującym składzie (mg·dm⁻³): N-NH₄<10, N-NO₃150, P-PO₄ 50, K 150, Ca 150, Mg 50, Fe 3,00, Mn 0,50, Zn 0,44, Cu 0,03. W pierwszym doświadczeniu badano wpływ składu chemicznego pożywek o zróżnicowanej zawartości boru: (B-I - bez

stosowania boru, B-II - 0,4 mg B·dm⁻³, B-III - 0,8 mg B·dm⁻³, B-IV - 1,6 mg B·dm⁻³) na plonowanie i zawartość składników pokarmowych w częściach nadziemnych sałaty uprawianej w zamkniętym układzie nawożenia z recyrkulacją pożywki z wykorzystaniem modułów uprawowych Wilma. (D.26.). Stwierdzono istotny wpływ poziomu boru w pożywce stosowanej do fertygacji na masę wytworzonych przez rośliny główek sałaty. Wykazano, że w przypadku sałaty masłowej bor jest składnikiem plonotwórczym. Najmniejszą masą charakteryzowały się rośliny przy stosowaniu pożywki B-I o najmniejszej zawartości boru (plon 163,55 g·roślina⁻¹), a największą rośliny przy B-IV (plon 220,11 g·roślina⁻¹). Nie stwierdzono istotnych różnic w plonowaniu pomiędzy kombinacjami B-II i B-III (odpowiednio 193,33 i 206,44 g·roślina⁻¹). Poziom boru w pożywce stosowanej do fertygacji modyfikował istotnie intensywność zabarwienia blaszek liściowych. Największą wartość SPAD (32,7) stwierdzono przy stosowaniu pożywki o największej zawartości boru (B-IV), istotnie najmniejszą (24,5) przy stosowaniu pożywki o najmniejszej zawartości boru (B-I). Nie stwierdzono istotnych różnic w wartości SPAD pomiędzy B-II i B-III (28,3 i 29,2). Zwiększenie wartości SPAD wraz ze wzrostem poziomu boru w pożywce stosowanej do fertygacji może świadczyć o wzroście zawartości chlorofilu w liściach sałaty. Wykazano wpływ wzrastającego żywienia borem na zawartość azotu i fosforu w liściach, a nie wykazano w przypadku potasu, wapnia i magnezu. Zawartość boru w pożywce istotnie modyfikowała zawartość żelaza, manganu, miedzi i boru w główkach sałaty. W przeprowadzonych badaniach wykazano, tolerancja roślin na zróżnicowane stężenia boru w pożywce jest cechą gatunkową. W badanym zakresie stężeń boru nie stwierdzono objawów toksyczności tego składnika dla sałaty masłowej.

Badania nad wpływem stężeń boru w uprawie sałaty masłowej odmiany Sunny F₁ kontynuowałem przy zastosowaniu hydroponiki stagnującej (D.30.). W hydroponice stagnującej występuje zjawisko zateżnienia się składników pokarmowych powodujące wzrost stężenia soli w strefie korzeniowej roślin. Zateżnienie składników spowodowane jest przewagą transpiracji nad selektywnym pobieraniem jonów przez rośliny. Negatywny wpływ zasolenia na rośliny może być efektem działania dwóch mechanizmów. Toksycznego indywidualnego oddziaływania jonu na roślinę, (np. Na, B) lub przekroczenia granicy tolerancji roślin na sumaryczne stężenie soli. Toksyczność boru może wystąpić w przypadku stosowania wody o dużej zawartości tego mikroelementu. Połączenie systemu uprawy, w którym zachodzi silne zateżnienie składników wraz mogącym wystąpić jednocześnie toksycznym działaniem boru na rośliny mogło potwierdzić zbadaną wcześniej wysoką tolerancję sałaty masłowej na stężenia

boru toksyczne dla uprawy pomidora w wełnie mineralnej. Zastosowanie hydroponiki stagnującej potwierdziło uzyskane wcześniej wyniki z zastosowaniem układu z recyrkulacją pożywki. Największy plon ogólny części nadziemnych uzyskano uprawiając rośliny przy stężeniu boru w pożywce wynoszącym $1,6 \text{ mg B} \cdot \text{dm}^{-3}$. Podobnie jak w przypadku uprawy w układzie zamkniętym z recyrkulacją potwierdzono wysoką tolerancję sałaty masłowej na wysokie stężenia boru w pożywce. Reasumując, na podstawie dwóch przeprowadzonych doświadczeń można stwierdzić, że w przypadku roślin, których częściami jadalnymi są liście bor jest składnikiem plonotwórczym. Warto jednak zauważyć, że w liściach sałaty nie została przekroczona zawartość boru $100 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1}$ uważana za zawartość toksyczną dla roślin.

5.5. Antropogeniczne zanieczyszczenie gleb

Współuczestniczyłem w badaniach nad wpływem wzrastających dawek metali ciężkich (Cd, Pb, Ni, Cu i Zn) dodanych do podłoża (gleby mineralnej oraz jej mieszaniny z torfem wysokim) na indeks zieloności liści *Miscanthus x giganteus* Greef i Deu (D.25). W przeprowadzonych badaniach dokonano pomiar absorpcji światła przez blaszkę liściową (indeks zieloności liści) za pomocą aparatu SPAD. Pomiar SPAD jest szybką i nieinwazyjną metodą pozwalającą na stwierdzenie stanu odżywienia roślin. Najmniejszy indeks zieloności liści uzyskano zarówno w pierwszym jak i drugim roku wzrostu u roślin uprawianych w mieszaninie gleby mineralnej z torfem wysokim, którą zanieczyszczono $600 \text{ mg Ni} \cdot \text{dm}^{-3}$. Stwierdzono zróżnicowane korelacje pomiędzy zawartością metali ciężkich a indeksem zieloności liści. Bardzo wysoką korelację ujemną oraz największy współczynnik determinacji stwierdzono dla niklu (u roślin rosnących w mieszaninie gleby mineralnej z torfem wysokim).

Jestem również współautorem monografii dotyczących zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi w terenach miejskich (D.29.), wykorzystania technik fitoremediacji (D.28.) oraz charakterystyki i roli metali ciężkich jako niezbędnych mikroelementów (D.31.) i zanieczyszczenia gleby (D.32.). W latach 2012-2013 prowadzono badania monitoringowe na terenie miasta Poznania. Celem badań było określenie stopnia zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi a także wybór roślin o największych zdolnościach akumulacji metali ciężkich mogących mieć zastosowanie do nasadzeń w terenach zurbanizowanych. W 2012 roku przeprowadzono badania monitoringowe wzdłuż ul. Polskiej (D.28.) Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że do nasadzeń w terenach można zastosować: *Physocarpus opulifolius* (L.), *Fraxinus excelsior* (L.), *Spiraea x cinerea* 'Grefsheim' oraz

Cornus alba (L.). Badania monitoringowe kontynuowano w roku 2013. Próby gleb i liści pobrano z ciągów komunikacyjnych charakteryzujących się dużym natężeniem ruchu samochodowego: Alei Niepodległości, Alejach Solidarności i ul. J. H. Dąbrowskiego (D.29.). Oznaczono zawartość cynku, kadmu, manganu, miedzi, niklu, ołowiu i żelaza w roślinach drzewiastych oraz w glebie. Wykazano, że przekroczona została optymalna dla roślin zawartość Cu, Zn i Ni w glebach wszystkich ciągów komunikacyjnych oraz żelaza na Al. Niepodległości i Al. Solidarności. Stwierdzono zmniejszanie się zawartości metali ciężkich w glebie w miarę oddalania się od pasa drogowego. Na podstawie uzyskanych wyników wytypowano do nasadzeń w terenach miejskich rośliny drzewiaste akumulujące największe ilości metali ciężkich takie jak: *Spiraea ×vanhouttei* ((Briot) Zabel), *Salix acutifolia* (Willd.), *Berberis thunbergii* (DC.) 'Athropurpurea', *Tilia cordata* (L.) oraz *Philadelphus coronarius* (L.).

6. Podsumowanie

Moje badania naukowe dotyczą zagadnień związanych z żywieniem roślin w uprawach bezglebowych, a szczególnie uprawy pomidora w systemach hydroponicznych. Brałem również udział w pracach dotyczących uprawy wybranych gatunków roślin zielarskich i warzyw, optymalizacji żywienia oberżyny oraz antropogenicznego zanieczyszczenia gleb w terenach miejskich.

W okresie zatrudnienia na stanowisku adiunkta złożyłem 5 projektów badawczych (KBN, NCN, NCBiR).

Mój dorobek naukowy obejmuje autorstwo lub współautorstwo 47 oryginalnych prac twórczych, w tym 7 rozdziałów w monografiach, (łącznie 345 punktów MNiSW za publikacje zgodne z rokiem wydania), oraz 7 prac popularno-naukowych. Sumaryczny IF opublikowanych prac wynosi 4,992, a Indeks Hirscha wg bazy Web of Science = 4. Liczba cytowań wg bazy Web of Science wynosi ogółem 48, w tym bez autocytaowań 43.

Uczestniczyłem aktywnie w 16 konferencjach naukowych o zasięgu międzynarodowym i krajowym wygłaszając 5 referatów, w tym jeden referat zamawiany oraz prezentując 20 streszczeń i 11 posterów. Byłem członkiem komitetu organizacyjnego czterech konferencji naukowych.

Prowadziłem i prowadzę zajęcia z zakresu gleboznawstwa oraz żywienia roślin na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych Wydziału Ogródnictwa i Architektury Krajobrazu

Byłem promotorem 8 prac magisterskich i 8 inżynierskich. Jestem promotorem pomocniczym w otwartym przewodzie doktorskim.

Szczególne informacje dotyczące wykazu opublikowanych prac naukowych oraz informacje o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki znajdują się w załączniku 4.

Tabela 1. Zestawienie całkowitego dorobku naukowego, z włączeniem prac osiągnięcia naukowego

Publikacje	Łączna liczba	Łączny IF ¹	Punkty MNiSW, KBN ²
Oryginalne prace twórcze umieszczone w bazie Journal Citation Reports (JCR)			
Acta Scientiarum Polonorum – Hortorum Cultus	12	4,992	178
Journal of Elementology			
Journal of Plant Nutrition			
Polish Journal of Environmental Sciences			
Pozostałe oryginalne publikacje naukowe			
Aparatura Badawcza i Dydaktyczna	28		134
Biuletyn Naukowy – Olsztyn University of Agriculture and Technology			
Ecological Chemistry and Engineering A			
Herba Polonica			
Folia Horticulture - Supplement			
Nauka Przyroda Technologie			
Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu			
Progress in Plant Protection			
Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych			
Vegetable Crop Research Bulletin (Journal of Horticultural Research)			
Inne publikacje			
Rozdziały w monografiach naukowych	7		33
Streszczenia konferencyjne	20		
Publikacje popularno-naukowe	7		
Suma	74	4,992	345

¹ w roku opublikowania, w przypadku prac z roku 2019 przyjęto wartość IF z 2018

² punktacja zgodna z rokiem wydania, w przypadku prac z roku 2019 przyjęto wartość pkt. z 2018

B. Markiewicz