

# AUTOREFERAT

Dr inż. Zbigniew Jarosz  
Katedra Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych  
Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

**1. Imię i Nazwisko:** Zbigniew Jarosz

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe:**

28.06.1996 - magister inżynier ogrodnictwa, Wydział Ogrodnictwa, Akademia Rolnicza w Lublinie,

Tytuł pracy dyplomowej: „Wpływ różnych metod utrzymania gleby w sadzie jabłoniowym na jej strukturę oraz wodoodporność agregatów”

Promotor: prof. dr hab. Tadeusz Kęsik

Recenzent: prof. dr hab. Janusz Lipecki

10.05.2002 - doktor nauk rolniczych w zakresie: ogrodnictwo-uprawa i nawożenie roślin ogrodniczych

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Plonowanie i skład chemiczny pomidora odmiany `Cunero F<sub>1</sub>` uprawianego na różnych podłożach w szklarni”

Promotor: prof. dr hab. Józef Nurzyński

Recenzenci: prof. dr hab. Halina Buczkowska,  
prof. dr hab. Andrzej Komosa

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:**

Od 01.01.1997: asystent, Katedra Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych,  
Wydział Ogrodniczy, Akademia Rolnicza w Lublinie,

Od 01.10.2002: adiunkt, Katedra Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych,  
Wydział Ogrodniczy, Akademia Rolnicza w Lublinie,

Od 17.04.2008: adiunkt, Katedra Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych,  
Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu,  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,

**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. nr 65, poz. 595 ze zm.):**

**4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego: dzieło opublikowane w całości, pt.:**

„Wpływ żywienia krzemem na plonowanie oraz skład chemiczny ogórka (*Cucumis sativus* L.) i pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.) w szklarniowej uprawie bezglebowej”, Rozprawy Naukowe, 383, 2014, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, ISSN 1899-2374.

Recenzenci: Prof. dr hab. Eugeniusz Kołota, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu,

Dr hab. Iwona Kowalska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.

#### 4.2. Charakterystyka osiągnięcia naukowego.

Prowadzone przeze mnie badania koncentrują się nad mineralnym żywieniem roślin, ze szczególnym uwzględnieniem warzyw szklarniowych uprawianych w systemie bezglebowym. Jednym z ważniejszych osiągnięć naukowych, będących wynikiem prowadzonych badań, jest Rozprawa Naukowa 383 „Wpływ żywienia krzemem na plonowanie oraz skład chemiczny ogórka (*Cucumis sativus* L.) i pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.) w szklarniowej uprawie bezglebowej”, wydana przez Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w 2014 roku (ISSN 1899-2374), którą wskazuję jako osiągnięcie wynikające 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. nr 65, poz. 595 ze zm.).

Krzem w życiu roślin odgrywa istotną rolę, polegającą głównie na tworzeniu mechanizmów obronnych przed niekorzystnymi czynnikami środowiskowymi. W dotychczasowych badaniach udowodniono, iż żywienie krzemem zwiększa odporność roślin na choroby i szkodniki, niedobór wody, światła oraz stres solny. Stosowanie krzemu łagodzi również skutki fitotoksycznego nadmiaru niektórych jonów w środowisku korzeniowym, takich jak glin, mangan, sód oraz metale ciężkie. Wysoką efektywność krzemu w zakresie poprawy odporności roślin na czynniki stresowe tłumaczy się zarówno wzrostem mechanicznej odporności tkanek wysyconych krzemionką jak i udziałem tego pierwiastka w tworzeniu specyficznych związków stymulujących odporność, w tym nabytej odporności systemicznej (ang. SAR). Efektem poprawy funkcjonowania organizmów roślinnych żywionych tym pierwiastkiem jest wzrost ilościowy plonu oraz poprawa jakości części użytkowych.

Krzem jest pobierany przez rośliny głównie w formie monomerów kwasu ortokrzemowego, które są pozbawione ładunku elektrycznego -  $\text{Si}(\text{OH})_4^0$ . Zdolność do akumulacji krzemu jest cechą gatunkową, uzależnioną w głównej mierze od różnic w mechanizmie pobierania i dystrybucji tego pierwiastka w organizmie roślinnym. Ogórek (*Cucumis sativus* L.) i pomidor (*Lycopersicon esculentum* Mill.) są gatunkami o odmiennych mechanizmach pobierania krzemu, co decyduje o zdecydowanie różnej

zawartości tego pierwiastka w liściach i owocach. Żywienie roślin krzemem jest szczególnie istotne w uprawach bezglebowych, w których system korzeniowy roślin jest odizolowany od naturalnego źródła monomerów ortokrzemowych, jakim jest gleba mineralna. Przy uprawie roślin w podłożach brak suplementacji pożywki krzemem powoduje, iż całkowita zawartość tego pierwiastka w ryzosferze spada do ilości niewystarczającej nawet dla gatunków o małym powinowactwie do pobierania krzemu.

Pomimo niewątpliwych korzyści płynących ze stosowania krzemu w żywieniu roślin wykorzystanie tego pierwiastka w uprawach bezglebowych wciąż jest marginalne. Powodem jest brak wystarczająco stabilnego produktu nawozowego, który mógłby być używany do stosowania wraz z fertygacją. Proponowane obecnie związki służące do uzupełniania krzemu mają ograniczone możliwości mieszania z innymi nawozami i w mniejszym lub większym stopniu stwarzają zagrożenie czopowania mikrokapilarów dozujących płynną pożywkę pokarmową. W licznych badaniach potwierdzono możliwość wykorzystania roztworu krzemionki koloidalnej jako źródła krzemu (Datnoff i in. 2001, Sonneveld i Voogt 2009). Biorąc jednak pod uwagę, iż stosowanie krzemu w żywieniu roślin istotnie oddziałuje na pobieranie i dystrybucję składników pokarmowych, zastosowanie takiego rozwiązania wymaga opracowania ścisłych zaleceń uprawowych.

Istotnym źródłem krzemu dla roślin uprawianych w systemie bezglebowym może być również odpowiednio dobrane podłoże, złożone z materiałów uwalniających ten pierwiastek w trakcie wegetacji. Najpopularniejszym podłożem wykorzystywanym obecnie w bezglebowej uprawie ogórka i pomidora jest wełna mineralna, głównie za sprawą niemal idealnych właściwości fizycznych i powietrzno-wodnych. Jest to materiał o niskiej gęstości objętościowej ( $0,7-0,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), i porowatości od 92 do 97%. Pomimo, iż w składzie chemicznym wełny mineralnej dominuje krzemionka ( $\text{SiO}_2$ ), stanowiąc aż 47% jej masy, ilość ortokrzemianów uwalniających się do ryzosfery z tego materiału jest niewielka. W bezglebowej uprawie ogórka i pomidora podłożem może być również słoma zbożowa, będąca materiałem tanim i łatwo dostępnym. Podczas całorocznej uprawy pomidora w słomie podłoże to ulega mineralizacji nawet w 70% (Nurzyński i in. 2012). Proces ten uwalnia do ryzosfery dodatkowe ilości składników mineralnych, w tym także krzemu. Zboża są zaliczane do roślin krzemolubnych, kumulujących ten pierwiastek w dużych ilościach. Zawartość krzemu w słomie zbóż jest istotnie uzależniona od gatunku oraz uwarunkowań klimatyczno-

glebowych charakterystycznych dla danej uprawy. Według danych literaturowych słoma pszenżyta, w zależności od warunków uprawy i odmiany, zawiera od 17,583 do 37,163 g Si·kg<sup>-1</sup> s.m (El Nashaar i in. 2011). W trakcie biomineralizacji słomy wewnątrztkankowe struktury krzemowe są rozkładane i uwalniane częściowo w postaci monomerów ortokrzemianowych. Rozpuszczanie wewnątrzroślinnych połączeń krzemowych jest 17. krotnie szybsze niż uwalnianie ortokrzemianów z piasku kwarcowego. Tempo tego procesu jest jednak ściśle uzależnione od składu chemicznego roślin, a zwłaszcza zawartości kationów trójwartościowych. Tanim i łatwo dostępnym komponentem podłoża o wysokiej zawartości krzemu jest piasek. Liczne badania wykazały również przydatność tego materiału jako podłoża jednorodnego w bezglebowej uprawie ogórka i pomidora. Materiał ten cechuje się relatywnie wysoką gęstością (1,48-1,8 g·cm<sup>-3</sup>) oraz niską porowatością ogólną (0,30-0,40 %), co istotnie obniża przydatność piasku jako podłoża. W bezglebowej uprawie roślin najlepiej sprawdza się piasek gruboziarnisty. Zgodnie z klasyfikacją Międzynarodowego Towarzystwa Gleboznawczego jest to materiał o frakcji 0,2 – 2,0 mm. Użycie drobniejszych frakcji piasku do przygotowania podłoża jest niewskazane ze względu na istotnie pogorszenie napowietrzenia ryzosfery. Dyfuzja tlenu w głąb piasku drobnoziarnistego jest od 10 do 100 razy niższa w porównaniu do innych materiałów (m. in. torfu, kory, perlitu). Z chemicznego punktu widzenia piasek jest niemal czystą krzemionką, zawierającą 95% SiO<sub>2</sub> w formie kwarcu, z minimalną domieszką glinu, żelaza i innych pierwiastków śladowych. Rozpuszczalność piasku, w porównaniu z innymi materiałami zawierającymi krzem, jest niska, stąd też piasek jest cenionym komponentem hydroponik. Najnowsze badania wskazują jednak na istnienie procesu uwalniania monomerów ortokrzemianowych z piasku, przy czym sam mechanizm tego zjawiska nie jest do końca wyjaśniony (Dietzel 2000). Najprawdopodobniej uwolniona krzemionka w postaci nieuporządkowanych połączeń polimerowych może się gromadzić na powierzchni minerałów lub przechodzić do roztworu, w którym zachodzi rozkład. W wyniku przemian chemicznych lub biochemicznych zachodzących w ryzosferze rozkładowi ulegają wiązania Si-O-Si a do środowiska korzeniowego uwalniany jest monomer kwasu ortokrzemowego. Tempo tych przemian jest ściśle uzależnione od aktualnych warunków fizykochemicznych (m.in. odczynu oraz zawartość kationów jedno- i dwuwartościowych) oraz od aktywności mikroorganizmów.

Prowadzone w latach 2008-2010 badania wstępne, opublikowane w formie

oryginalnych prac twórczych (poz. 1.37. oraz 1.39. części I załącznika nr 5) wykazały korzystny wpływ krzemionki koloidalnej stosowanej dokorzeniowo na plonowanie ogórka i pomidora w uprawie bezglebowej. Analiza aktualnych doniesień literaturowych oraz wyniki wstępnych badań własnych pozwoliły sformułować następujące hipotezy badawcze:

- krzem zastosowany wraz z fertygacją w postaci krzemionki koloidalnej może korzystnie wpływać na wielkość plonu oraz podstawowe parametry jakości owoców ogórka i pomidora szklarniowego,
- stosowanie krzemu w wraz z fertygacją w postaci krzemionki koloidalnej istotnie wpływa na skład chemiczny liści i owoców ogórka i pomidora,
- istotnym źródłem krzemu dla ogórka i pomidora szklarniowego uprawianego w systemie bezglebowym może być odpowiednio dobrane podłoże uprawowe, złożone z materiałów uwalniających w trakcie wegetacji monomery ortokrzemianowe.

Weryfikację sformułowanych hipotez przeprowadzono w badaniach wykonanych w latach 2010-2012 z ogórkiem (*Cucumis sativus L.*) odmiany `Unicum` oraz pomidorem (*Lycopersicon esculentum Mill.*) odmiany `Admiro F<sub>1</sub>` uprawianych w systemie bezglebowym.

### **Wyniki badań z ogórkiem**

W doświadczeniach z ogórkiem, prowadzonych w latach 2011-2012, badanymi czynnikami były: dawka krzemu stosowanego wraz z pożywką (Si-0: 0 mg SiO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>; Si-1: 75 mg SiO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>; Si-2: 100 mg SiO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>) oraz rodzaj podłoża uprawowego (wełna mineralna, piasek gruboziarnisty, słoma pszenżyta). Krzem był wprowadzany do fertygacji przez iniekcję do gotowej pożywki odpowiednio rozcieńczonego roztworu krzemionki koloidalnej zgodnie z zaleceniami Iler (1979) w dawkach ustalonych na podstawie źródeł literaturowych (Datnoff i in. 2001, Ma i Takahashi 2002) oraz wyników uzyskanych we wstępnych badaniach własnych, które częściowo zostały opublikowane (poz. 1.37., zał. 6).

Podstawowym parametrem decydującym o przydatności stosowanej technologii uprawy warzyw szklarniowych jest ocena efektów plonotwórczych. Analiza statystyczna wyników uzyskanych w przeprowadzonych badaniach wykazała korzystny wpływ dokorzeniowego stosowania krzemu w postaci roztworu krzemionki koloidalnej w stężeniu 75 i 100 mg SiO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> pożywki na plonowanie ogórka. Średni plon owoców

zebrany z roślin nawożonych pożywką z dodatkiem 75 i 100 mg·dm<sup>-3</sup> SiO<sub>2</sub> był istotnie większy o 0,63-0,65 kg·roślina<sup>-1</sup> od plonu roślin uprawianych w obiektach kontrolnych, które były nawożone pożywką bez dodatku krzemu. Stanowi to istotny wzrost o 6,16-6,36%. Oceniając efektywność plonotwórczą fertygacji ogórka pożywką wzbogaconą w krzem przy użyciu badanej krzemionki koloidalnej w przeliczeniu na powierzchnię, przy zagęszczeniu 2,6 rośliny·m<sup>-2</sup>, uzyskano wzrost plonu roślin o 1,63-1,69 kg·m<sup>-2</sup>. Warto podkreślić, iż istotny wzrost plonu stwierdzono przy obu dawkach krzemu, co jest ważnym czynnikiem decydującym o opłacalności wprowadzania tego pierwiastka do fertygacji. Istotnym parametrem oceny efektywności stosowanej technologii uprawy jest również wielkość plonu wczesnego, gdyż jest to plon najbardziej wartościowy ekonomicznie. W praktyce produkcyjnej dąży się do maksymalizacji plonu wczesnego, co niekiedy decyduje o opłacalności całej produkcji. W prezentowanych badaniach wykazano istotny wzrost masy owoców sklasyfikowanych jako plon wczesny w obiektach nawożonych pożywką z dodatkiem 100 mg·dm<sup>-3</sup> SiO<sub>2</sub>, w porównaniu do roślin kontrolnych nawożonych roztworem pokarmowym bez dodatku krzemu. Różnica ta wyniosła średnio 0,62 kg·m<sup>2</sup> uprawy. Warto podkreślić, iż plon wczesny uzyskany z roślin nawożonych pożywką z dodatkiem 100 mg·dm<sup>-3</sup> SiO<sub>2</sub> był również statystycznie większy w porównaniu do ilości owoców wczesnych z obiektów nawożonych pożywką wzbogaconą w 75 mg·dm<sup>-3</sup> SiO<sub>2</sub>. Masa jednostkowa owoców ogórka była niezależna statystycznie od ilości krzemu w pożywce stosowanej do fertygacji roślin oraz od rodzaju podłoża uprawowego.

Ważnym parametrem decydującym o jakości owoców jest ich skład chemiczny, odpowiadający za walory smakowe, dietetyczne i użytkowe. W owocach ogórka nawożonego pożywką z dodatkiem krzemu w postaci krzemionki koloidalnej stwierdzono istotnie więcej suchej masy, w porównaniu do owoców z roślin nawożonych pożywką bez dodatku Si. Wzrost ten wyniósł średnio 0,17% w obiektach nawożonych pożywką wzbogaconą w 75 mg·dm<sup>-3</sup> SiO<sub>2</sub> oraz 0,23% w owocach pochodzących z obiektów nawożonych pożywką z dodatkiem 100 mg·dm<sup>-3</sup> SiO<sub>2</sub>. Istotnie najwięcej kwasu L-askorbinowego (10,35 mg·100g<sup>-1</sup> św.m.) oznaczono w owocach roślin nawożonych pożywką o najwyższej zawartości krzemu (Si-2). Średnia zawartość kwasu L-askorbinowego w owocach ogórka nawożonego pożywką z dodatkiem 75 mg·dm<sup>-3</sup> SiO<sub>2</sub> (9,89 mg·100g<sup>-1</sup> św.m.) nie różniła się istotnie od ilości w owocach roślin nawożonych pożywką bez dodatku krzemu (9,86 mg·100g<sup>-1</sup> św.m.). Istotnym parametrem decydujący o właściwościach użytkowych owoców jest również

zawartość ekstraktu. Średnia zawartość ekstraktu w owocach roślin nawożonych pożywką z dodatkiem  $100 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ SiO}_2$  była istotnie większa w porównaniu do roślin kontrolnych nawożonych pożywką bez dodatku krzemu. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono również istotne różnice zawartości makro- i mikrośladników pokarmowych w owocach ogórka w zależności od ilości krzemu w pożywce stosowanej do nawożenia roślin. Najwięcej azotu ogółem stwierdzono w owocach zebranych z roślin fertygowanych pożywką bez dodatku krzemu, mniej w owocach roślin nawożonych pożywką z dodatkiem  $75 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ SiO}_2$  a najmniej przy stosowaniu pożywki z dodatkiem  $100 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ SiO}_2$ . Statystycznie potwierdzono jedynie różnice pomiędzy obiektami nawożonymi pożywką o najniższej i najwyższej koncentracji krzemu. W omawianych badaniach z ogórkiem wykazano również tendencję do wzrostu zawartości fosforu w owocach wraz ze wzrostem zawartości krzemu w pożywce stosowanej do fertygacji, jednak wyniki te nie zostały potwierdzone statystycznie. Analiza wyników zawartości potasu w owocach ogórka uprawianego w obiektach nawożonych pożywką o zróżnicowanej zawartości krzemu wykazała wyraźną tendencję do obniżenia zawartości tego pierwiastka wraz ze wzrostem zawartości krzemu w dostarczanej pożywce. Ta spadkowa tendencja nie została jednak potwierdzona statystycznie. Analogicznie do potasu w owocach ogórka uprawianego w badanych obiektach odnotowano tendencję do spadku zawartości wapnia wraz ze wzrostem koncentracji krzemu w pożywce. Istotnie najmniej wapnia ( $5,59 \text{ g Ca}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) stwierdzono w owocach roślin nawożonych pożywką zawierającą najwyższą koncentrację krzemu (Si-2). Zawartość magnezu w owocach badanych roślin była niezależna statystycznie od koncentracji krzemu w pożywce stosowanej do fertygacji. Najwięcej żelaza ( $40,25 \text{ mg Fe}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) stwierdzono w owocach roślin nawożonych pożywką bez dodatku krzemu. Wraz ze wzrostem ilości krzemu w pożywce zawartość omawianego mikrośladnika w owocach ulegała istotnemu obniżeniu, osiągając najmniejszą wartość w owocach roślin nawożonych pożywką z dodatkiem  $100 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ SiO}_2$  ( $30,70 \text{ mg Fe}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ). Podobne zależności odnotowano analizując zawartość manganu, cynku i miedzi. Najwięcej omawianych pierwiastków stwierdzono w owocach roślin nawożonych pożywką bez dodatku krzemu (odpowiednio  $31,74 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ,  $40,36 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ,  $2,77 \text{ mg Cu}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ). Wraz ze wzrostem koncentracji Si w pożywce zawartość manganu, cynku i miedzi w owocach ogórka ulegała obniżeniu, przy czym istotnie najmniejszą ilość tych pierwiastków odnotowano w owocach roślin nawożonych pożywką z dodatkiem  $100 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ SiO}_2$  (odpowiednio



28,16 mg Mn·kg<sup>-1</sup> s.m., 34,71 mg Zn·kg<sup>-1</sup> s.m. oraz 1,98 mg Cu·kg<sup>-1</sup> s.m.). Interesująco przedstawiają się wyniki zawartości żelaza, manganu, cynku i miedzi w owocach ogórka w zależności od rodzaju zastosowanego podłoża uprawowego. Najwięcej tych mikrośladników oznaczono w owocach ogórka uprawianego w wełnie mineralnej a najmniej w owocach roślin rosnących w piasku.

Biofortyfikacja części użytkowych roślin w krzem jest istotnym czynnikiem poprawiającym walory dietetyczne i prozdrowotnościowe produktów roślinnych. Kwas ortokrzemowy, stanowiący jedyną formę krzemu przyswajalną dla człowieka, jest niezbędny do prawidłowego funkcjonowania organizmu ludzkiego. Niedobór krzemu powoduje między innymi niedorozwój i deformacje układu kostnego oraz poważne zaburzenia w biosyntezie kolagenu i powstawaniu tkanki chrzęstnej (Martin 2007). W owocach ogórka uprawianego w badanych obiektach odnotowano od 0,70 do 1,80 g·kg<sup>-1</sup> s.m. krzemu, a jego zawartość była istotnie uzależniona od koncentracji w pożywce. Najmniej krzemu stwierdzono w owocach roślin żywionych pożywką bez dodatku krzemionki koloidalnej natomiast istotnie więcej w owocach roślin nawożonych pożywką z dodatkiem 100 mg·dm<sup>-3</sup> SiO<sub>2</sub>. W ocenie zależnej od rodzaju podłoża najmniej krzemu wykazano w owocach ogórka uprawianego w wełnie mineralnej. Wyższą zawartość tego pierwiastka odnotowano w owocach ogórka uprawianego w podłożu z piasku oraz słomy, jednak różnice te nie zostały potwierdzone statystycznie.

Interesujące wyniki uzyskano analizując wpływ pożywki o zróżnicowanej koncentracji krzemu na stan odżywienia roślin. W badaniach nie stwierdzono istotnych zależności pomiędzy zawartością krzemu w pożywce a zawartością azotu ogółem w liściach ogórka. Najmniej fosforu odnotowano w liściach roślin nawożonych pożywką bez dodatku krzemionki koloidalnej. Wraz ze wzrostem zawartości krzemu w pożywce stosowanej do fertygacji zawartość fosforu w liściach wzrastała, jednak statystycznie potwierdzone różnice odnotowano tylko w obiektach nawożonych roztworem o najniższej i najwyższej zawartości krzemu. W odróżnieniu do fosforu, zawartości potasu w liściach roślin nawożonych pożywką z dodatkiem 75 i 100 mg SiO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> była istotnie wyższa w porównaniu do roślin nawożonych pożywką bez dodatku krzemu. Najmniej wapnia i magnezu w liściach ogórka stwierdzono w obiektach nawożonych pożywką bez dodatku krzemu, natomiast wraz ze wzrostem koncentracji Si w pożywce zawartość tych pierwiastków w liściach wzrastała. Różnice zawartości wapnia w liściach ogórka nawożonego pożywką bez dodatku krzemionki koloidalnej oraz z

dotądkiem 75 mg  $\text{SiO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  były jednak statystycznie nieistotne. W przeprowadzonych badaniach wykazano, iż zawartość żelaza i cynku w liściach ogórka była niezależna statystycznie od zawartości krzemu w pożywce stosowanej do fertygacji uprawianych roślin. Najwięcej manganu i miedzi w liściach ogórka, podobnie jak w owocach, stwierdzono u roślin żywionych roztworem pokarmowym bez dodatku krzemu. Fertygacja roślin pożywką wzbogaconą w krzem, w obu badanych koncentracjach, spowodowała istotny spadek zawartości manganu w liściach ogórka. W przypadku miedzi zastosowanie pożywki z dodatkiem 75 mg  $\text{SiO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  spowodowało obniżenie zawartości Cu w liściach jednak zmiana ta nie została potwierdzona statystycznie. Istotnie mniej miedzi w liściach, w porównaniu do obiektów nawożonych pożywką bez dodatku krzemu, wykazano u roślin nawożonych pożywką z dodatkiem 100 mg  $\text{SiO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ .

Ogórek jest zaliczany do gatunków pobierających krzem w sposób aktywny, wymagający nakładu energii na funkcjonowanie transporterów (Mitani i Ma 2005). Zawartość krzemu w liściach ogórka uprawianego w badanych obiektach była istotnie uzależniona zarówno od koncentracji tego pierwiastka w pożywce stosowanej do nawożenia jak i od rodzaju podłoża uprawowego. W ocenie zależnej od rodzaju pożywki najmniej krzemu stwierdzono w liściach roślin nawożonych roztworem bez dodatku krzemionki koloidalnej (7,54 g  $\text{Si} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.), natomiast w obiektach nawożonych pożywką z dodatkiem 75 i 100 mg  $\text{SiO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  odnotowano istotnie więcej krzemu w liściach (odpowiednio 8,85 i 8,95 g  $\text{Si} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.). W ocenie zależnej od rodzaju zastosowanego podłoża uprawowego najwięcej krzemu stwierdzono w liściach roślin uprawianych w piasku (8,90 g  $\text{Si} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.). W porównaniu do roślin uprawianych w piasku liście ogórka rosnącego w wełnie mineralnej zawierały istotnie mniej krzemu (7,93 g  $\text{Si} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.).

## **Wyniki badań z pomidorem**

W doświadczeniach z pomidorem odmiany 'Admiro F<sub>1</sub>', przeprowadzonych w latach 2010-2011, badanymi czynnikami były: dawka krzemu stosowanego wraz z fertygacją (Si-0: 0 mg  $\text{SiO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ; Si-1: 100 mg  $\text{SiO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ) oraz rodzaj podłoża uprawowego (wełna mineralna, piasek gruboziarnisty, słoma pszenżyta). Krzem był wprowadzany do fertygacji przez iniekcję do gotowej pożywki odpowiednio rozcieńczonego roztworu krzemionki koloidalnej zgodnie z zaleceniami Iler (1979) w

dawkach ustalonych na podstawie źródeł literaturowych (Datnoff i in. 2001, Ma i Takahashi 2002) oraz wyników uzyskanych we wstępnych badaniach własnych, które częściowo zostały opublikowane (poz 1.39., zał. 6).

W badaniach wykazano korzystny wpływ dokorzeniowego stosowania krzemu w postaci roztworu krzemionki koloidalnej stosowanej w stężeniu  $100 \text{ mg SiO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  pożywki na plonowanie pomidora odmiany `Admiro F1`. Analiza statystyczna wyników plonowania pomidora wykazała istotny wzrost masy ogólnej owoców w obiektach nawożonych pożywką wzbogaconą w krzem o  $0,42 \text{ kg} \cdot \text{roślina}^{-1}$ , co stanowi 2,28%, w porównaniu do roślin żywionych roztworem bez dodatku krzemionki koloidalnej. Dla praktyki produkcyjnej najważniejszym wyznacznikiem przydatności technologii jest potencjalny wzrost wielkości plonu handlowego owoców, który decyduje o opłacalności całej produkcji. Średnia masa owoców handlowych zebrana z obiektów nawożonych pożywką wzbogaconą w  $100 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ SiO}_2$  była statystycznie większa o 3,31% w porównaniu do średniej masy plonu handlowego zebranego z roślin nawożonych pożywką bez dodatku krzemu. Przy zagęszczeniu stosowanym w prezentowanych badaniach, wynoszącym  $2,3 \text{ roślina} \cdot \text{m}^{-2}$ , różnica w plonie handlowym owoców pomidora nawożonego pożywką wzbogaconą w krzem oraz bez dodatku krzemu wyniosła średnio  $1,24 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ . Istotnym kryterium oceny wartości użytkowej owoców otrzymanych z uprawy bezglebowej jest ich skład chemiczny decydujący o walorach smakowych i dietetycznych. W prezentowanych badaniach stwierdzono istotny wzrost zawartości suchej masy (o 0,17%) w owocach pomidora nawożonego pożywką wzbogaconą w  $100 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ SiO}_2$  w porównaniu do roślin nawożonych pożywką bez dodatku krzemu. Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu żywienia krzemem na zawartość kwasu L-askorbinowego i ekstraktu w owocach pomidora. W owocach roślin nawożonych pożywką z dodatkiem  $100 \text{ mg SiO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  wykazano istotnie więcej azotu ogółem ( $21,93 \text{ g N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ), fosforu ( $3,66 \text{ g P} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ), potasu ( $42,24 \text{ g K} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ), wapnia ( $1,06 \text{ g Ca} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) i magnezu ( $1,20 \text{ g Mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) w porównaniu do roślin żywionych pożywką bez dodatku krzemu. Szczególnie ważne dla praktyki są wyniki potwierdzające wzrost zawartości wapnia w owocach pomidora żywionego pożywką wzbogaconą w krzem, w porównaniu do roślin kontrolnych. Prawidłowe odżywienie wapniem jest w tym wypadku bardzo istotne, gdyż spadek zawartości tego pierwiastka w owocach zwiększa ryzyko wystąpienia suchej zgnilizny wierzchołkowej (ang. BER). Wapń i krzem są transportowane w roślinie prawie wyłącznie przez ksylem, stad też ich pobieranie i dystrybucja zależą od

intensywności transpiracji. Uzyskane wyniki pozwoliły sformułować hipotezę, iż pierwiastki te poprawiają wzajemny transport wewnątrz roślinny. W celu zweryfikowania tej hipotezy planowane są dalsze badania umożliwiające wyjaśnienie tej zależności oraz dające odpowiedź czy ewentualne współdziałanie krzemu i wapnia w przypadku owoców pomidora ma miejsce na etapie formowania owocu, czy w późniejszej fazie rozwoju, gdy wapń przechodzi do owocu wyłącznie z floemu. Analiza wyników uzyskanych w przeprowadzonych badaniach nie wykazała istotnego zróżnicowania zawartości żelaza oraz cynku w owocach pomidora uprawianego w badanych obiektach. Owoce roślin nawożonych pożywką wzbogaconą w krzem zawierały istotnie mniej manganu ( $31,76 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) i miedzi ( $3,34 \text{ mg Cu}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ), w porównaniu do owoców z roślin nawożonych pożywką bez dodatku krzemu (odpowiednio  $36,30 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  oraz  $3,63 \text{ mg Cu}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ).

W owocach pomidora uprawianego w badanych obiektach stwierdzono od  $83,77$  do  $235,5 \text{ mg Si}\cdot\text{kg}^{-1}$  suchej masy. Zawartość krzemu była istotnie uzależniona zarówno od koncentracji w pożywce jak i od rodzaju podłoża uprawowego. Odnotowano również istotną interakcję pomiędzy ilością krzemu w pożywce i rodzajem podłoża na zawartość krzemu w owocach pomidora. Owoce z roślin nawożonych pożywką z dodatkiem  $100 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ SiO}_2$  zawierały istotnie więcej krzemu ( $178,6 \text{ mg Si}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ), w porównaniu do roślin nawożonych pożywką bez dodatku krzemionki koloidalnej ( $114,0 \text{ mg Si}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ). W zależności od rodzaju badanego podłoża istotnie mniej krzemu stwierdzono w owocach roślin uprawianych w wełnie mineralnej ( $112,3 \text{ mg Si}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ), natomiast więcej w owocach z roślin rosnących w piasku ( $158,3 \text{ mg Si}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) i słomie ( $168,4 \text{ mg Si}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ).

W omawianych badaniach z pomidorem, analogicznie do doświadczeń z ogórkiem, nie stwierdzono istotnych zależności pomiędzy zawartością krzemu w pożywce a zawartością azotu ogółem w liściach. Liście pomidora nawożonego pożywką wzbogaconą w  $100 \text{ mg SiO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$  zawierały istotnie więcej fosforu i potasu w porównaniu z pożywką o naturalnej zawartości ortokrzemianów. Zawartość wapnia i magnezu w liściach pomidora, w odróżnieniu do owoców, była niezależna od zawartości krzemu w pożywce stosowanej do fertygacji roślin. Analogicznie do badań z ogórkiem w liściach pomidora nawożonego pożywką wzbogaconą w krzemionkę koloidalną stwierdzono istotnie mniej manganu (średnio  $522,5 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ) w porównaniu do roślin nawożonych pożywką bez dodatku krzemionki koloidalnej

(średnio 592,6 mg Mn·kg<sup>-1</sup> s.m.). Analiza zawartości cynku i miedzi w liściach badanych roślin wskazuje również na wyraźną tendencję do obniżenia zawartości tych mikroelementów u roślin nawożonych pożywką wzbogaconą w krzem, chociaż zależność ta nie została potwierdzona statystycznie.

Mechanizm pobierania krzemu u pomidora nie jest do końca wyjaśniony a doniesienia naukowe tłumaczące ten proces są rozbieżne. Dominującym jest pogląd, iż korzenie pomidora pobierają krzem pasywnie w wyniku dyfuzji oraz przepływu masowego wywołanego transpiracją (Datnoff i in. 2001). W niektórych doniesieniach prezentowane są również hipotezy wskazujące na istnienie mechanizmów wykluczających krzem z włośników korzeniowych pomidora (ang. rejective uptake) (Ma i Takahashi 2002). W prezentowanych badaniach zawartość krzemu w liściach pomidora była istotnie uzależniona od koncentracji tego pierwiastka w pożywce do fertygacji. W liściach roślin nawożonych pożywką z dodatkiem krzemionki koloidalnej w ilości 100 mg SiO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> odnotowano istotnie więcej krzemu (o 35,05%), w porównaniu do liści pomidora nawożonego pożywką bez dodatku Si. W ocenie zależnej od rodzaju podłoża najwięcej Si wykazano w liściach pomidora rosnącego w piasku a najmniej w częściach wskaźnikowych roślin uprawianych w wełnie mineralnej, jednak różnice te nie zostały potwierdzone statystycznie.

## **Podsumowanie**

W przeprowadzonych badaniach wykazano korzystny wpływ krzemu zastosowanego w postaci roztworu krzemionki koloidalnej w stężeniu 75 - 100 mg SiO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> w uprawie ogórka oraz 100 mg SiO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> w uprawie pomidora na wielkość plonu badanych roślin. Wprowadzenie krzemionki koloidalnej do fertygacji w badanych koncentracjach zwiększa również zawartość suchej masy oraz dodatkowo wpływa na zawartość kwasu L-askorbinowego w owocach. W badaniach potwierdzono, iż fertygacja pożywką z dodatkiem 100 mg SiO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> w postaci krzemionki koloidalnej zwiększa zawartość fosforu, potasu i wapnia w liściach ogórka oraz w liściach i owocach pomidora. Zastosowanie pożywki wzbogaconej w krzem w postaci krzemionki koloidalnej wpływa dodatkowo na zawartość tego składnika w liściach i owocach badanych gatunków. Dodatek krzemionki koloidalnej w badanych koncentracjach do płynnej pożywki pokarmowej istotnie zmniejsza zawartość manganu w liściach i owocach ogórka i pomidora. Wyniki te dowodzą możliwości

wykorzystania roztworu krzemionki koloidalnej w stężeniu 75 - 100 mg SiO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> w żywieniu ogórka oraz 100 mg SiO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> w żywieniu pomidora przy zastosowaniu wełny mineralnej, piasku lub słomy jako podłoża uprawowych. Wprawdzie w uprawie ogórka działanie plonotwórcze dawki 100 mg·dm<sup>-3</sup> SiO<sub>2</sub> jest podobne jak 75 mg·dm<sup>-3</sup> SiO<sub>2</sub> jednak korzyścią z zastosowania wyższej dawki krzemu jest istotny wzrost plonu wczesnego owoców.

Prezentowane badania dowodzą również, iż źródłem krzemu dla ogórka i pomidora uprawianego w systemie bezglebowym może być odpowiednio dobrane podłoże uprawowe, złożone z materiałów uwalniających monomery ortokrzemianowe w trakcie wegetacji. Potwierdzeniem tej hipotezy są istotne różnice zawartości krzemu w liściach ogórka oraz w owocach pomidora w zależności od rodzaju zastosowanego podłoża.

Monografia „Wpływ żywienia krzemem na plonowanie oraz skład chemiczny ogórka (*Cucumis sativus* L.) i pomidora (*Lycopersicon esculentum* Mill.) w szklarniowej uprawie bezglebowej” wnosi nowe elementy wiedzy do nauk rolniczych:

- dowodzi możliwości wykorzystania krzemionki koloidalnej w bezglebowej uprawie pomidora i ogórka z wykorzystaniem fertygacji,
- dowodzi istotnych zależności pomiędzy rodzajem zastosowanego podłoża uprawowego a zawartością krzemu w liściach i owocach badanych gatunków,
- wprowadza nowe elementy empiryczne z zakresu wpływu krzemu stosowanego w postaci krzemionki koloidalnej na stan odżywienia ogórka i pomidora w uprawie bezglebowej.

Piśmiennictwo;

1. Datnoff L.E., Snyder G.H., Korndörfer G.H. 2001. Silicon in agriculture. Studies in plant science, 8. Amsterdam, The Netherlands Elsevier.
2. Dietzel, M. 2000. Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid, Geochim. Cosmochim. Ac., 64, 3275–3281
3. El Nashaar H.M., Banowetz, G.M., Peterson, C.J., Griffith, S.M. 2011. Elemental concentrations in Triticale straw, a potential bioenergy feedstock. Energy and Fuels., 25, 1200-1205.

4. Iler R.K., 1979. Chemistry of silica: solubility, polymerization, colloid and surface properties and biochemistry. John Wiley and Sons, New York.
5. Martin K.R. 2007. The chemistry of silica and its potential health benefits. J. Nutr. Health Aging., 11(2), 94-97.
6. Nurzyński J., Jarosz Z., Michałojć Z. 2012. Yielding and chemical composition of greenhouse tomato fruit grown on straw and rockwool substrate. Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus, 11(3), 79-89.
7. Ma J.F., Takahashi E. 2002. Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan. Elsevier.
8. Mitani N., Ma J.F. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. J. Exp. Bot., 56(414), 1255-1261.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.**

### 5.1. Główne kierunki prowadzonych badań

Profil moich zainteresowań badawczych jest ukierunkowany na zagadnienia związane z mineralnym żywieniem roślin warzywnych i sadowniczych ze szczególnym uwzględnieniem zasobności ryzosfery oraz oceny jakości i wartości użytkowej ich plonu.

Główne kierunki moich badań obejmują następujące zagadnienia naukowe:

- Przydatność piasku, jako podłoża jednorodnego lub komponentu podłoża mieszanego do bezglebowej uprawy warzyw.
- Zmiany koncentracji składników pokarmowych w ryzosferze oraz wodach drenarskich przy uprawie roślin w podłożach inertnych i organicznych.
- Określenie wpływu rodzaju nawozu potasowego na stan odżywienia wybranych gatunków roślin oraz skład chemiczny ich części użytkowych.
- Wskazanie podłoża alternatywnego dla torfu do bezglebowej uprawy truskawki z określeniem wymaganego nawożenia azotem.
- Keramzyt jako podłoże alternatywne dla wełny mineralnej w bezglebowej uprawie pomidora.

## 5.2. Ważniejsze wyniki prowadzonych badań

### **Przydatność piasku, jako podłoża jednorodnego lub komponentu podłoża mieszanego do bezglebowej uprawy warzyw**

Zastosowanie w bezglebowej uprawie roślin automatycznego systemu nawożenia z nawadnianiem zapewnia ścisłą kontrolę żywienia roślin. W takiej technologii funkcja podłoża sprowadza się do mechanicznego utrzymania systemu korzeniowego oraz zapewnienia optymalnych warunków powietrzno-wodnych. Przy wyborze podłoża, obok przydatności w uprawie danego gatunku, bierze się również pod uwagę koszty jego nabycia oraz możliwość łatwego zagospodarowania odpadów poprodukcyjnych powstających po zakończeniu uprawy. Piasek jest materiałem tanim i łatwo dostępnym. Z chemicznego punktu widzenia jest to niemal czysta krzemionka, zawierająca 95% SiO<sub>2</sub> w formie kwarcu, z minimalną domieszką glinu, żelaza i innych pierwiastków śladowych. Materiał ten cechuje się relatywnie wysoką gęstością (1,48-1,8 g·cm<sup>-3</sup>) oraz niską porowatością ogólną (0,30-0,40%), co istotnie obniża przydatność piasku jako podłoża.

Wieloletnie badania, które prowadziłem od 1998 roku, miały na celu określenie przydatności piasku jako podłoża jednorodnego lub komponentu podłoża mieszanego do bezglebowej uprawy warzyw. Wyniki prowadzonych badań zostały opublikowane w 5 oryginalnych pracach twórczych (poz. 1.2, 1.4., 1.5., 1.37., 1.39., zał. 7) o łącznej punktacji w roku wydania 47 pkt. i sumarycznym IF 1,165.

Wieloletnie badania prowadzone przez Zespół Naukowy Prof. dr hab. Józefa Nurzyńskiego, do których włączyłem się jako asystent po zatrudnieniu w Katedrze Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych, wykazały dużą przydatność piasku jako podłoża do bezglebowej uprawy roślin szklarniowych. W badaniach porównujących uprawę pomidora w piasku, torfie i wełnie mineralnej nie stwierdzono istotnych różnic w plonowaniu roślin w zależności od rodzaju podłoża, przy czym wykazano większą przydatność piasku gruboziarnistego jako podłoża jednorodnego (poz. 1.2., zał. 7). W cytowanych badaniach wykazano najmniej azotu mineralnego, potasu, wapnia i magnezu w podłożu z piasku w porównaniu do wełny mineralnej i torfu. Efektem tych różnic była najniższa wartość EC roztworu pobranego z piasku, w porównaniu do pozostałych badanych podłoży. Po zastosowaniu pożywki zawierającej o 40% więcej



azotu mineralnego, potasu, wapnia i magnezu przy uprawie pomidora w piasku odnotowano istotny spadek plonu owoców, w porównaniu do obiektów nawożonych pożywką podstawową. Ponadto dokonano interesujących obserwacji, iż pomimo zdecydowanych różnic w zasobności środowiska korzeniowego roślin uprawianych w badanych podłożach zawartość składników pokarmowych w liściach była podobna.

Jedną z hipotez jakie sformułowałem na podstawie otrzymanych wyników była konieczność modyfikacji właściwości fizycznych piasku przy wykorzystaniu tego materiału jako podłoża. Sformułowaną hipotezę poddano weryfikacji w dalszych badaniach, w których oceniano przydatność piasku jako podłoża jednorodnego oraz zmodyfikowanego poprzez dodatek substancji organicznej (torfu) lub chemicznej (superabsorbentu potasowego) w bezglebowej uprawie pomidora. Wyniki przeprowadzonych badań zostały zawarte w rozprawie doktorskiej oraz dwu publikacjach (poz. 1.4.; 1.5. zał. 7). W cytowanych badaniach nie stwierdzono istotnych różnic w plonie ogólnym, handlowym oraz poza wyborem owoców pomidora uprawianego w wełnie mineralnej, piasku z torfem (v:v 1:1) oraz w piasku z dodatkiem superabsorbentu (Ekosorb Potasowy). Istotnie niższy plon ogólny oraz handlowy owoców, w porównaniu do wełny mineralnej, odnotowano przy uprawie roślin w piasku. W podłożu jednorodnym z piasku wykazano najniższą zawartość azotu mineralnego, potasu, wapnia, magnezu oraz najniższe EC w porównaniu do pozostałych badanych podłoży. W owocach pomidora uprawianego w piasku stwierdzono najmniej azotu ogółem, fosforu, potasu, wapnia i magnezu w porównaniu do owoców z roślin uprawianych w pozostałych badanych podłożach. Wyniki prezentowanych badań dowiodły, iż zasobność środowiska korzeniowego roślin uprawianych w piasku, jako podłożu jednorodnym, była zdecydowanie niższa w porównaniu z wełną mineralną, mimo stosowania pożywki w tej samej ilości i o takim samym składzie. Uzyskane wyniki skłoniły mnie do kontynuowania badań w celu określenia zmian zachodzących w ryzosferze badanych roślin, które omówiłem w kolejnym podrozdziale. **Analiza wyników przeprowadzonych badań, poparta wiedzą zdobytą ze źródeł literaturowych, pozwoliły mi na sformułowanie hipotezy, iż piasek w trakcie uprawy uwalnia do środowiska korzeniowego roślin monomery ortokrzemianowe, które istotnie oddziałują na skład chemiczny ryzosfery.** W celu weryfikacji tej hipotezy wykonano badania z pomidorem uprawianym w piasku jako podłożu jednorodnym (poz. 1.39., zał. 7) oraz z ogórkiem uprawianym z mieszaniną torfu z piaskiem (v:v 3:1) (poz. 1.37., zał. 7). W badaniach z pomidorem plon ogólny roślin

uprawianych w piasku był istotnie mniejszy w porównaniu do roślin uprawianych w wełnie mineralnej. W owocach pomidora uprawianego w piasku stwierdzono więcej suchej masy, cukrów ogółem i potasu w porównaniu do wełny mineralnej oraz istotnie najwięcej krzemu. Rośliny ogórka uprawianego w torfie z dodatkiem piasku (v:v 3:1) wydały istotnie niższy plon owoców, w porównaniu do uprawy w torfie ale owoce te zawierały więcej ekstraktu. W liściach i owocach ogórka uprawianego w torfie z dodatkiem piasku odnotowano więcej krzemu, jednak wyniki te nie zostały potwierdzone statystycznie. Dalszą weryfikację sformułowanej hipotezy prowadzono w badaniach będących podstawą rozprawy naukowej omówionej w rozdziale 4.2.

### **Zmiany koncentracji składników pokarmowych w ryzosferze oraz wodach drenarskich przy uprawie roślin w podłożach inertnych i organicznych**

Uprawa roślin w systemie bezglebowym z otwartym obiegiem pożywki, dominująca obecnie w produkcji roślinnej pod osłonami, jest trudna do akceptacji zarówno ze względów ekologicznych jak i ekonomicznych. Przykładowo uprawiając pomidora w cyklu wydłużonym przy otwartym obiegu pożywki i przelewie ustalonym na poziomie 25-40%, z powierzchni jednego hektara trafia rocznie do gruntu kilka ton wysokiej jakości nawozów mineralnych, w których znajduje się kilkaset kilogramów azotu. Rozwiązaniem tego problemu jest wdrożenie systemów uprawy z zamkniętym obiegiem pożywki oraz recykulacją. Propagowanie systemów uprawy z recykulacją pożywki wymaga dokładnej znajomości procesów zachodzących w ryzosferze roślin, a zwłaszcza zmian koncentracji składników pokarmowych w środowisku korzeniowym oraz w wodach drenarskich, w porównaniu do pożywki dozowanej pod rośliny. Zarówno w ryzosferze jak i w wodach drenarskich obserwuje się zazwyczaj istotne zateżenie koncentracji składników pokarmowych i jonów balastowych, będące efektem zwiększonego pobierania wody oraz selektywnego pobierania jonów. Skład chemiczny ryzosfery w trakcie wegetacji ulega dynamicznym zmianom na skutek działania rozwijającego się systemu korzeniowego oraz interakcji pomiędzy poszczególnymi składnikami. Wszystkie te czynniki mają istotny wpływ na stan odżywienia roślin, decydujący o wielkości i jakości uzyskiwanego plonu. Podłożem dominującym obecnie w bezglebowej uprawie roślin jest wełna mineralna. Ze względu na wysokie koszty produkcji tego materiału oraz problemy z utylizacją odpadów poprodukcyjnych wciąż poszukuje się podłoży alternatywnych. Alternatywą dla wełny mineralnej może być

uprawa roślin w perlicie, keramzycie, piasku lub słomie zbożowej.

Podjęty cykl badań miał na celu określenie zmian składu chemicznego środowiska korzeniowego oraz wód drenarskich w uprawie pomidora szklarniowego w zależności od rodzaju podłoża uprawowego (m.in. wełna mineralna, piasek, słoma) oraz składu pożywki stosowanej do fertygacji roślin. Wyniki prowadzonych badań opublikowano w 3 oryginalnych pracach twórczych (poz. 1.1., 1.19., 1.31., zał. 7) o łącznej punktacji w roku wydania 39 pkt. i sumarycznym IF 1,069.

Wieloletnie badania prowadzone w ramach Działalności Statutowej Katedry Uprawy i Nawożenia Roślin Ogrodniczych UP w Lublinie, do których dołączyłem jako asystent Prof. dr hab. Józefa Nurzyńskiego, pozwoliły ustalić istotne zależności decydujące o składzie ryzosfery roślin. Analiza wyników składu chemicznego środowiska korzeniowego pomidora uprawianego w ciągu 6-ciu i 9-ciu miesięcy wykazała istotne zróżnicowanie zawartości makroskładników w zależności od rodzaju podłoża (poz. 1.1. zał. 7). Pomimo stosowania regularnej fertygacji pożywką o jednakowym składzie dla wszystkich badanych obiektów w wyciągach z piasku stwierdzono mniej azotu mineralnego o 89,4%, potasu o 51,2%, wapnia o 30,8% i magnezu o 43,9% w porównaniu do wełny mineralnej. Konsekwencją niższej zasobności ryzosfery roślin uprawianych w piasku był spadek wielkości plonu odnotowany przy uprawie w tym podłożu, w porównaniu do uprawy w wełnie mineralnej. Poszukiwanie wytłumaczenia zaistniałych zależności skłoniły mnie do dalszych badań z wykorzystaniem piasku, jako podłoża jednorodnego i komponentu podłoży mieszanych, których wyniki były podstawą hipotez weryfikowanych w badaniach omówionych w rozdziale 4.2. Równie interesujące były wyniki analizy składu chemicznego środowiska korzeniowego i wód drenarskich pochodzących z wydłużonej uprawy pomidora w wełnie mineralnej, perlicie i keramzycie przy stosowaniu dwu pożywek o zróżnicowanej koncentracji makroskładników (EC I:  $2.4 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  oraz EC II:  $3.6 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) (poz. 1.19. zał. 7). Analiza uzyskanych wyników wykazała istotnie więcej jonów azotanowych, fosforu, potasu, wapnia, magnezu, siarczanów i sodu w wyciągach ze środowiska korzeniowego i w wodach drenarskich pobranych z obiektów nawożonych pożywką zateżoną (EC II), w porównaniu do pożywki podstawowej. W wodach drenarskich pochodzących z obiektów nawożonych pożywką o podstawowym składzie makroelementów (EC I) stwierdzono wzrost zateżenia jonów w kolejności:  $\text{N-NH}_4 > \text{P-PO}_4 > \text{Ca} > \text{S-SO}_4 > \text{K} > \text{N-NO}_3 > \text{Mg}$ , natomiast w wodach drenarskich

wyływających z obiektów nawożonych pożywką zawierającą 25% więcej makroelementów (EC II) szereg zateżenia jonów był następujący:  $N-NH_4 > P-PO_4 > Ca > N-NO_3 > S-SO_4 > K > Mg$ . W przeprowadzonych badaniach wykazano obniżenie zawartości sodu w wodach drenarskich w porównaniu do roztworu pokarmowego dozowanego pod rośliny przy obu rodzajach stosowanej pożywki.

Podłożem alternatywnym dla wełny mineralnej może być słoma zbóż, będąca materiałem tanim, łatwo dostępnym i biodegradowalnym. W badaniach przeprowadzonych nad możliwością wykorzystania tego materiału w szklarniowej uprawie pomidora jako podłoża samoistnego stwierdzono, iż słoma ulegała mineralizacji w trakcie wegetacji w około 70%. W pierwszym miesiącu uprawy w ryzosferze roślin uprawianych w słomie stwierdzono spadek zawartości azotu w porównaniu do wełny mineralnej, co należy tłumaczyć wystąpieniem sorpcji biologicznej tego makroskładnika. W kolejnych miesiącach uprawy odnotowano stabilizację zawartości azotu w wyciągach ze słomy. Średnia zawartość potasu, wapnia i magnezu w wyciągach ze słomy nie różniła się istotnie w porównaniu do wełny mineralnej. Wartość EC roztworu pobieranego ze słomy i wełny mineralnej przez cały okres wegetacji była optymalna. Prawidłowy wzrost i wysoki plon pomidora uprawianego w słomie otrzymano przy średniej zawartości w wyciągu ze środowiska korzeniowego ( $mg \cdot dm^{-3}$ ):  $N-NH_4 - 26,8$ ;  $N-NO_3 - 242,8$ ;  $P - 78,1$ ;  $K - 295,6$ ;  $Ca - 315,3$ ;  $Mg - 107,5$ . Powyższy skład wyciągów z ryzosfery pomidora uprawianego w słomie można traktować jako rekomendację dla praktyki produkcyjnej.

### **Określenie wpływu rodzaju nawozu potasowego na stan odżywienia wybranych gatunków roślin oraz skład chemiczny ich części użytkowych**

Wybór rodzaju nawozu potasowego – saletry potasowej, siarczanu potasu lub chlorku potasu – nie jest obojętny dla roślin ze względu na zdecydowanie różne funkcje fizjologiczne anionów towarzyszących kationowi potasu. W literaturze dominuje pogląd, iż nawożenie roślin uprawianych w systemie bezglebowym należy prowadzić z użyciem nawozów bezchlorkowych – saletry potasowej lub siarczanu potasu. Chlor uznawany jest powszechnie za pierwiastek ujemnie wpływający na wzrost i rozwój roślin oraz obniżający ich plonowanie. Niektóre zalecenia stawiają ten pierwiastek na końcu listy niezbędnych dla roślin, uznając jego obecność w środowisku korzeniowym za główny powód niekontrolowanego wzrostu EC. Biorąc pod uwagę, iż chlor pełni w roślinie

bardzo ważne funkcje fizjologiczne, m.in. bierze udział w fotosyntezie, przemianach białek, transporcie asymilatów oraz równowadze jonowej, wyeliminowanie chlorku potasu z nawożenia nie jest tak jednoznaczne i oczywiste.

Podjęty cykl badań miał na celu określenie wpływu rodzaju stosowanego nawozu potasowego (KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KNO<sub>3</sub>, KCl+K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KCl+KNO<sub>3</sub>) na plonowanie, skład chemiczny i cechy jakościowe części użytkowych wybranych gatunków warzyw i ziół uprawianych w systemie bezglebowym, zarówno w podłożach organicznych jak i mineralnych. Wyniki prowadzonych badań opublikowano w 6 oryginalnych pracach twórczych (poz. 1.8, 1.9., 1.10., 1.12, 1.13., 1.20., zał. 7) o łącznej punktacji w roku wydania 40 pkt. i sumarycznym IF 0,393.

Przeprowadzone doświadczenia wykazały zróżnicowany efekt plonotwórczy badanych rodzajów nawozu potasowego. W doświadczeniu z majerankiem ogrodowym (*Origanum majorana* L.) uprawianym w podłożu torfowym przy zróżnicowanym nawożeniu azotem (0,2; 0,4; 0,8 g N·dm<sup>-3</sup>) w połączeniu z nawożeniem potasowym (1,0 g K·dm<sup>-3</sup>) w formie chloru potasu, siarczanu potasu i mieszaniny KCl+K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (poz. 1.8. zał. 7) najwyższy plon ziela (61,5 g·roślina<sup>-1</sup>) odnotowano w obiektach nawożonych azotem w dawce 0,4 g N·dm<sup>-3</sup> w połączeniu ze stosowaniem chlorku potasu. W cytowanych badaniach największą wysokość roślin (52,2 cm) stwierdzono również przy stosowaniu chlorku potasu ale w połączeniu z niższą dawką azotu (0,2 g N·dm<sup>-3</sup>). W doświadczeniu z cząbrem ogrodowym (*Satureja hortensis* L.), uprawianym w takim samym schemacie doświadczalnym co majeranek ogrodowy, najwyższy plon świeżej masy (154,1 g·roślina<sup>-1</sup>) stwierdzono w obiektach nawożonych azotem w dawce 0,4 g N·dm<sup>-3</sup> ale w połączeniu ze stosowaniem siarczanu potasu (poz. 1.10. zał. 7). W badaniach z sałatą (poz. 1.9. zał. 7) uprawianą w obiektach nawożonych zróżnicowaną dawką azotu (0,25; 0,50; 0,75 mg N·dm<sup>-3</sup>) oraz potasem w postaci KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> lub KNO<sub>3</sub> nie stwierdzono istotnych różnic w masie jednostkowej główek w zależności od rodzaju zastosowanego nawozu potasowego. Brak statystycznych różnic w wielkości plonu ogólnego, handlowego i poza wyborem odnotowano również w badaniach z pomidorem nawożonym pożywką zawierającą chlor i bezchlorkową (poz. 1.12. zał. 7). W badaniach z burakiem liściowym (*Beta vulgaris* L.) nawożonym zróżnicowaną dawką potasu (0,6; 1,2; 1,8 mg K·dm<sup>-3</sup>) z użyciem chlorku potasu, siarczanu potasu lub mieszaniny obu nawozów (K jak 1:1), istotnie największą masę jednostkową (174 g·roślina<sup>-1</sup>) odnotowano w obiektach nawożonych z użyciem chlorku potasu (poz. 1.20.

zał. 7). Rośliny rosące w obiektach nawożonych chlorkiem potasu były również najwyższe w porównaniu do pozostałych badanych obiektów. Interesująco przedstawiają się różnice składu chemicznego roślin w zależności od rodzaju zastosowanego nawozu potasowego. Liście roślin nawożonych chlorkiem potasem zawierały więcej wapnia w porównaniu do roślin nawożonych siarczanem potasu, chociaż nie we wszystkich badaniach różnice te potwierdzono statystycznie (poz. 1.8.; 1.9.; 1.10.; 1.13 zał. 7). Wyniki te należy najprawdopodobniej tłumaczyć większym znaczeniem chloru w utrzymaniu równowagi jonowej w roślinach, w porównaniu do jonów siarczanowych i azotanowych. Może to wynikać z faktu, iż aniony azotanowe i siarczanowe po pobraniu przez roślinę są szybko redukowane i włączane do metabolizmu. Mniejsza zawartość wapnia w roślinach nawożonych siarczanem potasu może być również wynikiem wytrącania siarczanów wapnia w środowisku korzeniowym roślin. Wieloletnie badania prowadzone w Katedrze nad zastosowaniem chlorku potasu w żywieniu roślin dowiodły, iż rośliny nawożone tym nawozem zawierają istotnie mniej azotanów (V) w liściach i owocach w porównaniu do stosowania nawożenia z udziałem siarczanów. Analogiczne wyniki uzyskano również w prezentowanych badaniach własnych. W badaniach z sałata (poz. 1.9. zał. 7) w liściach roślin nawożonych chlorkiem potasu wykazano o 30,5% mniej azotanów (V) w porównaniu do roślin nawożonych siarczanem potasu oraz o 16,5% mniej w porównaniu do obiektów, w których stosowano saletrę potasową. W ziele cząbrzu ogrodowego (*Satureja hortensis* L.) nawożonego chlorkiem potasu stwierdzono 19,1% mniej azotanów (V) w porównaniu do roślin nawożonych siarczanem potasu oraz 16,2% mniej w porównaniu do roślin żywionych oboma nawozami w proporcji 1:1 (poz. 1.10. zał. 7). Jeszcze większe różnice zawartości azotanów (V) wykazano w badaniach z burakiem liściowym (poz. 1.20., zał. 7). Zawartość azotanów (V) w liściach roślin nawożonych chlorkiem potasu była niższa o 42,1% w porównaniu do roślin nawożonych siarczanem potasu oraz o 27,6% w porównaniu do roślin nawożonych mieszaniną obu nawozów w proporcji K jak 1:1. Mniej azotanów (V) w roślinach nawożonych chlorkiem potasu, w porównaniu do bezchlorkowego żywienia roślin, odnotowano również w badaniach z majerankiem ogrodowym (poz. 1.8., zał. 7) oraz pomidorem (poz. 1.13., zał. 7), jednak różnice te nie zostały potwierdzone statystycznie. Przeprowadzone badania dowodzą, iż wysoka koncentracja azotanów (V) w roślinach może wynikać nie tylko z nadmiernego nawożenia azotem, ale i nadmiaru siarczanów w ryzosferze roślin. Siarczany wpływają antagonistycznie na pobieranie molibdenu, który jako składnik reduktazy azotanowej, odgrywa istotną rolę w redukcji azotanów.

Przeprowadzone badania potwierdzają przydatność chlorku potasu jako nawozu do bezglebowej uprawy roślin pod osłonami. W badaniach wykazano, iż rośliny mogą pobierać chlor w ilościach zbliżonych do makroelementów bez ujemnego wpływu na ich funkcjonowanie. Szczególnie cenne dla praktyki produkcyjnej jest potwierdzenie tendencji do mniejszej kumulacji azotanów (V) w roślinach żywionych chlorkiem potasu, w porównaniu do siarczanu potasu lub saletry potasowej. Ponadto ważny jest również wzrost zawartości wapnia w roślinach żywionych chlorkiem potasu.

### **Wskazanie podłoża alternatywnego dla torfu do bezglebowej uprawy truskawki z określeniem wymaganego nawożenia azotem.**

Uprawa truskawki pod osłonami staje się coraz popularniejsza, głównie za sprawą korzyści wynikających z możliwości ścisłej kontroli warunków uprawy jak również opłacalności ekonomicznej wynikającej z uzyskania plonu w okresie niszowym dla rodzimych warunków klimatycznych. Technologia bezglebowej uprawy truskawki w odpowiednio dobranym podłożu pozwala wyeliminować stosowanie kosztownego i szkodliwego dla środowiska odkażania gleby a jednocześnie gwarantuje uzyskanie większego i lepszego jakościowo plonu w porównaniu do tradycyjnych upraw gruntowych. Dominującym podłożem stosowanym w bezglebowej uprawie truskawki pod osłonami jest torf jednak rosnące koszty ekonomiczne oraz ekologiczne związane z użyciem tego materiału skłaniają do poszukiwania rozwiązań alternatywnych. Sposobem pozwalającym istotnie ograniczyć zużycie drogiego i coraz bardziej deficytowego torfu jest mieszanie tego materiału z łatwo dostępnymi i tańszymi komponentami jakimi są piasek, kora lub trociny. Bariery istotnie ograniczającą szersze wykorzystanie podłoży mieszanych jest brak szczegółowych zaleceń nawozowych. Dotyczy to zwłaszcza ustalenia optymalnego dawkowania azotu, będącego głównym składnikiem plonotwórczym. Niedobór azotu może istotnie zmniejszyć wielkości plonu i pogorszyć parametry handlowe owoców. Z kolei nadmiar tego pierwiastka przy uprawie bezglebowej truskawki, może spowodować istotne pogorszenie stanu fitosanitarnego roślin i straty plonu spowodowane nasileniem infekcji chorobowych.

Badania podjęte w latach 2004-2006 miały na celu porównanie wpływu torfu oraz trzech podłoży mieszanych (torf zmieszany z piaskiem gruboziarnistym w proporcji

1:1, torf zmieszany z kompostowaną korą sosnową w proporcji 1:1, torf zmieszany z kompostowanymi trocinami sosnowymi w proporcji 1:1) oraz zróżnicowanej dawki azotu (140 lub 210 mg N·dm<sup>-3</sup>) na plonowanie oraz skład chemiczny liści i owoców truskawki (*Fragaria x ananasa* Duch.) odmian 'Elsanta' i 'Honeoye' uprawianych w nieogrzewanym tunelu foliowym. Wyniki badań zostały opublikowane w trzech oryginalnych pracach twórczych (1.11., 1.15., 1.17., załącznik nr 7) o łącznej punktacji w roku wydania 33 pkt, i sumaryczny IF 0,940.

W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono różnic w plonie ogólnym oraz handlowym owoców truskawki uprawianej w torfie oraz torfie zmieszanym z korą sosnową w proporcji 1:1 (poz. 1.11., 1.15., 1.17., zał. 7). Wyniki te dowodzą możliwości zastosowania badanego podłoża mieszanego z 50% udziałem kory sosnowej w warunkach produkcyjnych bez ryzyka spadku wielkości plonu. Truskawki uprawiane w torfie z piaskiem wydały istotnie niższy plon ogólny, wynikający z mniejszej liczby owoców z rośliny (poz. 1.11., zał. 7). Podkreślić należy, iż nie stwierdzono istotnych różnic w odżywieniu truskawki azotem, fosforem, potasem i magnezem przy uprawie w torfie, torfie z dodatkiem kory i torfie z dodatkiem piasku. Wyniki te wskazują, iż przyczyny obniżki plonu odnotowanego w torfie z dodatkiem piasku mogą wynikać z pogorszenia warunków powietrzno-wodnych w porównaniu do jednorodnego podłoża torfowego oraz mieszanki torfu z kora sosnową. W omawianych doświadczeniach (poz. 1.15., 1.17., zał. 7) odnotowano również istotne obniżenie wielkości plonu ogólnego i handlowego owoców truskawki uprawianej w torfie zmieszanym z trocinami sosnowymi (v:v 1:1). Powodem słabszego plonowania roślin uprawianych w torfie z trocinami było gorsze zaopatrzenie roślin w azot spowodowane najprawdopodobniej sorpcją biologiczną tego składnika, na co wskazuje mniejsza zawartość azotu N-ogółem w liściach oraz w ryzosferze. Podkreślić należy, iż w omawianych badaniach nie wykazano istotnych różnic w wielkości plonu ogólnego i handlowego truskawki w zależności od dawki azotu. Te interesujące wyniki należy odnieść do zawartości tego składnika w liściach badanych roślin. Rośliny nawożone azotem w dawce 140 mg·dm<sup>-3</sup> były odżywione azotem na poziomie optymalnym. Zwiększenie nawożenia azotem do 210 mg N·dm<sup>-3</sup> wpłynęło na istotny wzrost zawartości omawianego składnika w liściach jednak bez znaczenia plonotwórczego. Wyniki te dowodzą, iż przy uprawie truskawki w torfie lub mieszaninie torfu z korą (v:v 1:1) stosowanie nawożenia azotem w dawce do 210 mg N·dm<sup>-3</sup> jest niecelowe. Podkreślić również należy, iż owoce truskawki nawożonej wyższą dawką azotu



zawierały istotnie więcej azotanów (V), mniej witaminy C i ekstraktu w porównaniu do owoców zebranych z roślin nawożonych azotem w dawce  $140 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Wyniki te stanowią dodatkowy argument za stosowaniem nawożenia azotem w dawce  $140 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ , w porównaniu do  $210 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

Uzyskane wyniki wskazują, iż w bezglebowej uprawie truskawki podłożem alternatywnym dla torfu może być mieszanina tego materiału z korą sosnową w proporcji 1:1. Przy uprawie w badanych podłożach nawożenie truskawki azotem w dawce  $210 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ , w porównaniu do  $140 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$ , powoduje wzrost zawartości tlenu w liściach bez przełożenia na wielkości plonu oraz ujemnie wpływa na niektóre parametry jakości owoców (wzrost zawartości azotanów, spadek zawartości witaminy C i ekstraktu).

### **Keramzyt jako podłoże alternatywne dla wełny mineralnej w bezglebowej uprawie pomidora**

Technologia uprawy pomidora w podłożach inertnych z wykorzystaniem automatycznego systemu nawożenia z nawadnianiem pozwala na precyzyjne kontrolowanie stanu odżywienia roślin, a funkcja podłoża sprowadza się do mechanicznego utrzymania systemu korzeniowego oraz zapewnienia optymalnych warunków powietrzno-wodnych. Dominującym podłożem w bezglebowej uprawie pomidora wciąż pozostaje wełna mineralna, głównie za sprawą bardzo dobrych właściwości uprawowych. Wysokie koszty produkcji wełny mineralnej oraz wciąż nierozwiązane problemy z zagospodarowaniem odpadów poprodukcyjnych powstających po zakończeniu uprawy skłaniają do poszukiwania podłoży alternatywnych. Alternatywą dla wełny mineralnej w bezglebowej uprawie pomidora może być keramzyt - materiał lekki, sterylny, trwały oraz łatwo sorbujący i oddający wodę. Dodatkową zaletą keramzytu jest możliwość dopasowania stosunków powietrzno-wodnych w ryzosferze do wymagań roślin poprzez dobór odpowiedniej frakcji granul. Zwiększając średnicę granul zwiększa się udział powietrza, natomiast zmniejszając ich wielkość zwiększa się udział wody. Przy wyborze podłoża, obok przydatności w uprawie danego gatunku, bierze się również pod uwagę koszty jego nabycia oraz możliwość łatwego zagospodarowania odpadów poprodukcyjnych powstających po zakończeniu uprawy. Rozwiązaniem istotnie zmniejszającym nakłady związane z wymianą podłoża jest możliwość powtórnego wykorzystania tego samego

materiału. W literaturze brakuje szczegółowych danych o możliwości ponownego wykorzystania podłoża z keramzytu w szklarniowej uprawie pomidora w cyklu wydłużonym.

W latach 2003-2008 podjęto cykl badań mających na celu określenie przydatności keramzytu jako podłoża jednorodnego do bezglebowej uprawy pomidora w cyklu wydłużonym, wraz z oceną możliwości powtórnego wykorzystania odpadów poprodukcyjnych z tego materiału jako podłoża. Wyniki prowadzonych badań opublikowano w 4 oryginalnych pracach twórczych (poz. 1.7, 1.18., 1.32., 1.33., zał. 7) o łącznej punktacji w roku wydania 64 pkt. i sumarycznym IF 1,775.

Analiza statystyczna wyników uzyskanych w przeprowadzonych badaniach nie wykazała istotnych różnic w wielkości plonu ogólnego, handlowego oraz poza wyborem owoców pomidora uprawianego w wełnie mineralnej oraz w keramzycie (poz. 1.7., 1.18. zał. 7). Nie stwierdzono również różnic w liczbie oraz wielkości jednostkowej owoców pomiędzy roślinami uprawianymi w badanych podłożach. Na uwagę zasługuje odnotowany w badaniach wysoki udział plonu handlowego w plonie ogólnym owoców, zawierający się w przedziale od 93.43% do 93.56%. Parametr ten uznaje się za istotny wyznacznik przydatności podłoża w produkcji towarowej. Wcześniejsze badania, przeprowadzone w latach 2003-2004 wykazały, iż owoce pomidora uprawianego w keramzycie zawierają istotnie więcej witaminy C w porównaniu do owoców roślin rosnących w wełnie mineralnej. W kolejnych doświadczeniach odnotowano istotnie więcej suchej masy w owocach pomidora uprawianego w keramzycie (5,74%) w porównaniu do owoców roślin rosnących w wełnie mineralnej (5,39%). W badaniach nie wykazano istotnych różnic w składzie chemicznym owoców pomidora uprawianego w porównywanych podłożach. Liście roślin rosnących w wełnie mineralnej i keramzycie zawierały w suchej masie od 4,12 do 4,13% azotu ogółem, od 0,44 do 0,49% fosforu, od 4,65 do 4,77% potasu, od 2,55 do 2,56% wapnia oraz od 0,31 do 0,32% magnezu. Wartości te wskazują na optymalne odżywienie.

Interesująco prezentują się wyniki badań określających możliwość ponownego wykorzystania jako podłoża do uprawy pomidora keramzytu będącego odpadem poprodukcyjnym w bezglebowej uprawy tego gatunku (poz. 1.32 oraz 1.33., zał. 7). W badaniach zastosowano keramzyt nowy (I) jako kontrolę oraz keramzyt będący odpadem poprodukcyjnym z całosezonowej uprawy pomidora w następującym

układzie: materiał odkażony chemicznie przy użyciu preparatu Previcur 607 SL (II), materiał wypłukany w wodzie z usunięciem pozostałości starego systemu korzeniowego roślin i dodatkowo odkażony chemicznie (III) oraz materiał bez jakichkolwiek zabiegów modyfikujących (IV). Najmniejszy plon ogólny ( $15.10 \text{ kg}\cdot\text{roślina}^{-1}$ ) oraz handlowy ( $14.07 \text{ kg}\cdot\text{roślina}^{-1}$ ) owoców wykazano przy uprawie pomidora w keramzycie powtórnie użytkowanym bez żadnych zabiegów modyfikujących (IV), natomiast istotnie większy przy uprawie w materiale wypłukanym i dodatkowo odkażonym chemicznie (III). Owoce o największej masie jednostkowej (150.8 g) zebrano z roślin uprawianych w keramzycie nowym (I) a istotnie mniejsze (138.6 g) z obiektów z podłożem powtórnie użytkowanym płukanym i jednocześnie odkażanym chemicznie (III). Najwięcej suchej masy (5.71%) stwierdzono w owocach pomidora rosnącego w keramzycie powtórnie użytkowanym po płukaniu i odkażaniu chemicznym (III) natomiast witaminy C ( $21.96 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$  św. m.) w owocach pomidora uprawianego w podłożu nowym (I). Analizując skład chemiczny środowiska korzeniowego badanych roślin nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości N-mineralnego, fosforanów, potasu, wapnia, magnezu, żelaza i cynku w keramzycie nowym oraz powtórnie użytkowanym. Zmiany ogólnej koncentracji jonów (EC) w środowisku korzeniowym roślin w trakcie wegetacji nie różniły się znacząco pomiędzy badanymi rodzajami keramzytu. W keramzycie będącym odpadem poprodukcyjnym używanym ponownie jako podłoże nie odnotowano niekorzystnego zjawiska alkalizacji środowiska korzeniowego, charakterystycznego dla keramzytu nowego. Podkreślić należy, iż w badaniach nie stwierdzono istotnych różnic w odżywieniu roślin mogących świadczyć o braku przydatności badanego keramzytu w ponownej uprawie.

Wyniki uzyskane w przeprowadzonych badaniach wskazują, iż keramzyt jako podłoże jednorodne może być alternatywą dla wełny mineralnej w szklarniowej uprawie pomidora. Przy powtórным użyciu keramzytu pochodzącego z całorocznej uprawy pomidora materiał będący odpadem poprodukcyjnym powinien być wypłukany i odkażony chemicznie. Keramzyt jako odpad poprodukcyjny nie kumuluje jonów ani nie zmienia odczynu pożywki w stopniu mogącym ujemnie wpływać na stan odżywienia pomidora.

**6. Sumaryczne zestawienie dorobku publikacyjnego (szczegóły w załączniku nr 5):**

- Ogólna liczba publikacji -**100**, w tym w języku kongresowym - **27**,
- Oryginalne prace twórcze - **39**, w tym w języku kongresowym - **27**,
- Monografie naukowe - **1**, w tym w języku konferencyjnym – **0**,
- Pozostałe publikacje naukowe -**18**, w tym w języku kongresowym – **0**,
- Monografie popularnonaukowe - **6**, w tym w języku kongresowym- **0**,
- Artykuły popularnonaukowe - **36**, w tym w języku kongresowym- **0**,
- Liczba publikacji po uzyskaniu tytułu doktora - **70**, w tym: oryginalnych prac twórczych - **38**, monografii naukowych -**1**, pozostałych publikacji naukowych - **14**, monografii popularnonaukowych - **5**, artykułów popularnonaukowych - **12**.

**Zestawienie publikacji z podziałem ze względu na miejsce habilitanta wśród Autorów**

Rodzaj publikacji	Prace samodzielne	Pierwszy autor	Drugi autor	Trzeci lub dalszy autor	Łącznie
Oryginalna praca twórcza	7	13	13	6	<b>39</b>
Monografia	1	-	-	-	<b>1</b>
Pozostałe publikacje naukowe	5	6	5	2	<b>18</b>
Monografie popularnonaukowe	6	-	-	-	<b>6</b>
Artykuły popularnonaukowe	34	1	1	-	<b>36</b>
<b>Łącznie</b>	<b>53</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>8</b>	<b>100</b>

**Zestawienie czasopism, w których opublikowano oryginalne prace twórcze  
przed i po uzyskaniu stopnia doktora**

L.p.	Nazwa czasopisma	Liczba publikacji	IF	5-letni IF	Punkty wg MNiSW <sup>a*</sup>	Punkty wg MNiSW <sup>b*</sup>
1	Acta Agrobotanica	2	-	-	14	16
2.	Acta Agrophysica	4	-	-	16	28
3.	Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus	18	8,698	0,690/ 12,42	276	360
4.	Annales UMCS, EEE	6	-	-	19	12
5.	J. Elementology	4	1,583	0,568/ 2,272	60	60
6.	Modern Phytomorphology	3	-	-	6	6
7.	Rocz. AR w Pozn. Ogr.	1	-	-	2	6
8.	Wydawnictwo UP Lublin	1	-	-	20	20
9.	Veget. Crops Res. Bull	1	-	-	4	9
	<b>Razem</b>	<b>40</b>	<b>10,281</b>	<b>14,692</b>	<b>411</b>	<b>511</b>

**a** – zgodnie z rokiem wydania publikacji:

**b** - zgodnie z aktualną listą czasopism punktowanych (z dn. 17.12.2013):

**Wskaźniki naukometryczne wg poszczególnych baz danych**

Baza danych	Liczba cytowanych prac	Liczba cytowań	Indeks Hirsha (h-index)
Publish or Perish	30	132	6
Web of Science (WoS)	22	40	4
Scopus	19	28	3

## **7. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze**

### **7.1. Udział w projektach badawczych:**

- 2004-2006: **Wykonawca** w projekcie badawczym nr 2PO6R 06126.
- 2009-2011: **Główny wykonawca** w projekcie badawczym nr N N310147935.
- 2012: **Kierownik projektu** badawczo-wdrożeniowego nr 255, „Wsparcie Regionalnej Sieci Współpracy” Województwa Lubelskiego.
- **2012: Kierownik projektu** badawczo-wdrożeniowego zleconego przez GALEO Jowita Reszka, zgodnie z umową z Uniwersytetem Przyrodniczym w Lublinie nr OKU/U-59/2012 z dnia 20.12.2012

### **7.2. Uzyskane nagrody i wyróżnienia:**

- Nagroda zespołowa I stopnia przyznana przez Jego Magnificencję Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie 01.10. 2011 roku za osiągnięcia naukowe w latach 2008-2010,
- Nagroda indywidualna III stopnia przyznana przez Jego Magnificencję Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie 01.10. 2013 roku za osiągnięcia naukowe w latach 2011-2012,
- Wyróżnienie otrzymane od Wydziałowej Rady Samorządu Studenckiego Wydziału Ogrodniczego „Złota Marchewka" za wkład i zaangażowanie w pracę ze studentami. Lublin, 12.05.2009.

**7.3.** Wygłaszanie referatów i doniesień na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych: **11 referatów i doniesień.**

**7.4.** Uczestnictwo w sesjach posterowych konferencji naukowych: **5 posterów.**

## **8. Współpraca naukowa**

### **8.1 Udział w zespołach eksperckich**

- Członek Komisji Ekspertów z ramienia Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego przy Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości do oceny wniosków B+R w działaniu 1.4-4.1 Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, od 31.05.2011.
- Członek Komisji Ekspertów z ramienia Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego przy Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości do oceny

wniosków w ramach programu „Wsparcie na pierwsze wdrożenie wynalazku” Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, od 20.09.2012.

- Członek Komisji Ekspertów Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, od 9 maja 2014 roku.

## **8.2. Recenzowanie projektów krajowych oraz publikacji w czasopismach naukowych:**

- Wykonanie recenzji projektów Badawczo Rozwojowych Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka w ramach programów Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości (2011-2012) – **18 projektów**.
- Wykonanie recenzji wniosków złożonych w ramach Programu Badań Stosowanych NCBR - **8 wniosków**.
- Wykonanie recenzji wniosków złożonych w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych „Biostrateg” - **3 wnioski**.
- Wykonanie recenzji publikacji w czasopismach krajowych z listy A - **2 recenzje**.
- Wykonanie recenzji publikacji w czasopismach krajowych z listy B - **3 recenzje**.

## **8.3. Wykonanie ekspertyz na zamówienie organów państwowych lub przedsiębiorców:**

- **9 ekspertyz,**

## **8.4. Uczestnictwo w programach międzynarodowych i krajowych:**

- Uczestnik Projektu „Lubelski transfer innowacji” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Lublin, 01.04. 2011 – 30.06. 2011
- Uczestnik Projektu „Nauka, transfer, rozwój” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Świdnik, 20.07.2011-20.11. 2011,
- Uczestnik Projektu „Staż sukcesem naukowca” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Lublin, 21.05. 2012- 20.11. 2012,

## **9. Działalność dydaktyczno-naukowa, wychowawcza i organizacyjna**

- 9.1. Prowadzenie przedmiotów: 13 przedmiotów na trzech kierunkach studiów,**

- 9.2.** Udział w pracach zespołu opracowującego treści programowe studiów podyplomowych „Integrowana produkcja roślin”,
- 9.3.** Opracowanie programów przedmiotów: **11 przedmiotów na czterech kierunkach studiów stacjonarnych i niestacjonarnych I° i II°**
- 9.4. Opieka naukowa nad studentami:**
- Kierownictwo zakończonych prac dyplomowych magisterskich - **19 prac**,
  - Kierownictwo zakończonych prac dyplomowych inżynierskich- **17 prac**,
  - Wykonane recenzje prac dyplomowych (inżynierskich i magisterskich) - **3 recenzje**
- 9.5. Działalność organizacyjna w Uczelni macierzystej:**
- Członek Rady Wydziału Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu: kadencje 2008-2012 oraz 2012-2016.
  - Członek komisji egzaminacyjnej z praktyk na kierunku Ogrodnictwo: lata 2008-2014.
  - Opiekun naukowy studentów: 01.10.2009 – 30.09.2013.
  - Członek Wydziałowej Komisji ds. Nauki i Współpracy z Zagranicą: kadencja 2012-2014.
  - Kierownik Pracowni Żywienia Roślin: 01.09.2013.- do dnia dzisiejszego
  - Współorganizator VI oraz VIII Lubelskiego Festiwalu Nauki.
  - Współorganizator 5 krajowych konferencji naukowych
- 9.6. Działalność organizacyjna poza Uczelnią macierzystą:**
- Członek Kolegium Redakcyjnego miesięcznika „Działkowiec” w latach 2005-2014
  - Członek Polskiego Towarzystwa Nauk Ogrodniczych.
  - Członek Polskiego Towarzystwa Botanicznego.



## **10. Działalność popularyzatorska:**

- 10.1.** Autorstwo monografii popularnonaukowej: **6 monografii.**
- 10.2.** Autorstwo artykułu popularnonaukowego: **36 artykułów.**
- 10.3.** Wygłaszanie prelekcji, doniesień i komunikatów na konferencjach i seminariach szkoleniowych: **32 prelekcje.**

## **11. Pozostałe aktywności:**

- 11.1.** Odbyte kursy, szkolenia i staże: **8 kursów i szkoleń, 1 staż.**
- 11.2.** Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych: **udział w 17 konferencjach.**

Lublin, dn. 15.12.2014.

*Zbigniew Jaros*