

**Aleksandra Zajączkowska**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy  
w Puławach*

WPLYW ŁĄCZNEGO STOSOWANIA HERBICYDÓW  
Z BIOSTYMULATORAMI I NAWOZAMI MIKROELEMENTOWYMI  
NA ICH SKUTECZNOŚĆ I SELEKTYWNOŚĆ\*

**Słowa kluczowe:** herbicyd, biostymulator, nawozy mikroelementowe, selektywność, skuteczność, ochrona roślin, zrównoważone rolnictwo

### Wstęp

Optymalne zarządzanie agrochemikaliami w rolnictwie jest kluczowym elementem zrównoważonej produkcji rolnej oraz ochrony środowiska naturalnego. W obliczu wyzwań związanych z globalnymi zmianami klimatycznymi i wzrastającymi oczekiwaniami dotyczącymi bezpieczeństwa żywnościowego konieczne staje się wypracowanie strategii, które pozwolą osiągnąć wyższą efektywność produkcji rolnej przy minimalizacji negatywnych skutków dla środowiska i zdrowia publicznego (Lykogianni i in. 2021, Fu i in. 2022, González-Pérez i in. 2022). Efektywne wykorzystanie agrochemikaliów w uprawach rolnych wymaga precyzyjnego zaplanowania i świadomego podejścia do doboru, stosowania oraz monitorowania tych substancji (Du Jardin 2015). Kluczowymi elementami optymalnego zarządzania agrochemikaliami są:

- Racjonalne stosowanie substancji chemicznych: odpowiednie dozowanie agrochemikaliów oraz ich aplikacja w optymalnych momentach wzmacnia skuteczność w zwalczaniu szkodników, chwastów i chorób roślin, minimalizując jednocześnie ryzyko toksyczności dla ludzi i środowiska.
- Wybór substancji o niskiej toksyczności: preferowanie substancji o jak najmniejszym potencjale toksycznym dla ludzi i środowiska jest kluczowe dla minimalizacji negatywnych skutków stosowania agrochemikaliów.

\*Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.6.2. pt. „Monitorowanie uodparniania się agrofagów na środki ochrony roślin oraz tworzenie programów redukcji ryzyka” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2024 r.

- Bezpieczeństwo pracy i użytkowania: zapewnienie odpowiedniego przeszkolenia rolników oraz użytkowników agrochemikaliów w zakresie bezpiecznego stosowania i magazynowania tych substancji ma istotne znaczenie dla minimalizacji ryzyka związanego z ich użytkowaniem.
- Ochrona środowiska: optymalne zarządzanie agrochemikaliami powinno uwzględniać aspekty związane z minimalizacją zanieczyszczenia gleby, wód oraz emisji gazów cieplarnianych związanych z produkcją i stosowaniem agrochemikaliów.
- Zrównoważone wykorzystanie zasobów: promowanie praktyk rolniczych, które minimalizują negatywny wpływ na agroekosystemy oraz zachęcanie do efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych, takich jak woda i gleba, jest istotne dla osiągnięcia zrównoważonej produkcji rolnej.

Optymalne zarządzanie agrochemikaliami w rolnictwie wymaga holistycznego podejścia, uwzględniającego aspekty ekonomiczne, środowiskowe i społeczne. Jest to niezbędne dla osiągnięcia zrównoważonej produkcji rolnej, która będzie sprzyjała nie tylko wydajności upraw, ale także ochronie środowiska i zdrowiu publicznemu.

Cel niniejszej pracy obejmuje zebranie i systematyzację literatury dotyczącej wpływu łączonego zastosowania herbicydów, biostymulatorów i nawozów mikroelementowych na efektywność produkcji rolnej oraz selektywność wobec roślin uprawnych.

### **Rola nawozów w uprawach rolnych**

Nowoczesne rolnictwo stoi obecnie przed wyzwaniami związanymi z utrzymaniem wysokiej jakości plonów przy minimalizowaniu negatywnego wpływu na środowisko. Kluczową rolę w zapewnieniu optymalnych warunków wzrostu i plonowania roślin odgrywają nawozy, zwłaszcza te zawierające mikroelementy (Pipiak i Skwarek 2020). Nawozy mikroelementowe są niezbędne dla roślin ze względu na ich istotny udział w wielu procesach metabolicznych oraz funkcjach fizjologicznych. Pierwiastki takie jak: bor, miedź, mangan, molibden, cynk i inne pełnią kluczowe funkcje w procesach metabolicznych, syntezie chlorofilu, regulacji wzrostu i rozwoju roślin, a także wpływają na ich odporność na stresy środowiskowe (Stanisławska-Głubiak i Korzeniowska 2007). Braki mikroelementów w roślinach prowadzą do zaburzeń wzrostu, obniżenia oraz pogorszenia jakości plonów. W związku z tym nawożenie mikroelementowe staje się coraz bardziej istotne, szczególnie w kontekście zmniejszenia zawartości mikroelementów w glebach oraz zmian klimatycznych, które mogą dodatkowo wpływać na dostępność tych pierwiastków dla roślin (Sienkiewicz-Cholewa i Wróbel 2004, Stanisławska-Głubiak i Korzeniowska 2007). Współczesne rolnictwo, dążąc do zwiększenia ilości plonów oraz poprawy ich jakości i rentowności gospodarstw, zwraca szczególną uwagę na optymalne odżywianie roślin uprawnych. Aby zapewnić im właściwy wzrost i rozwój, konieczna jest dostępność odpowiednich składników mineralnych, zarówno makro-, jak i mikroelementów (Podleśna 2006).

W przeszłości nawozy mineralne były głównym źródłem składników pokarmowych dla roślin uprawnych. Obecnie dąży się jednak do precyzyjnego dostosowania nawożenia do indywidualnych warunków glebowych oraz potrzeb odmian roślin uprawnych. Nowoczesne nawozy mają za zadanie dostarczyć roślinom łatwo przyswajalne składniki pokarmowe w formie pojedynczych pierwiastków lub prostych związków organicznych (Podleśna 2006, Pipiak i Skwarek 2020). Rozwój nowych technologii prowadzi do wprowadzania na rynek coraz bardziej efektywnych rozwiązań, takich jak: nawozy zawieszinowe, chelatowane nawozy mikroelementowe oraz preparaty ciekłe zawierające stymulatory wzrostu roślin (Antonkiewicz i Łabętowicz 2017, Pipiak i Skwarek 2020). Dzięki temu rolnicy mają dostęp do narzędzi, które mogą wpłynąć pozytywnie na plonowanie i jakość upraw, przy jednoczesnym minimalizowaniu negatywnego wpływu na środowisko.

### **Rola biostymulatorów w uprawach rolnych**

Rola biostymulatorów w uprawach rolnych jest niezmiernie istotna i zróżnicowana. Badania naukowe wykazują, że biostymulatory mogą pełnić kilka kluczowych funkcji w procesach uprawowych (Rutkowska 2010, Knapik 2018). Przede wszystkim biostymulatory mogą stymulować rośliny do zwiększonej tolerancji na stres abiotyczny, co obejmuje ekstremalne warunki środowiskowe, takie jak susza (Radzikowska-Kujawska i in. 2022) czy zasolenie gleby (Campobenedetto i in. 2021). Ponadto wykazano, że biostymulatory mają pozytywny wpływ na wzrost i rozwój roślin poprzez aktywację procesów metabolicznych (Nephali i in. 2020). Badania nad krzemem (Si) sugerują, że jego stosowanie może być również uznane jako rodzaj biostymulatora, ponieważ pomaga roślinom radzić sobie ze stresem i zwiększać ich wydajność. Na przykład w przypadku łączonego stosowania nawozów mikroelementowych i biostymulatorów, krzem może również odgrywać istotną rolę, poprawiając dostępność składników odżywczych dla roślin. Ostatecznie, badania nad wpływem krzemu na rośliny mogą być cennym wkładem do zrozumienia mechanizmów działania biostymulatorów w uprawach rolnych (Sienkiewicz-Cholewa i Zajączkowska 2020, Zajączkowska i in. 2020, Zajączkowska i Korzeniowska 2021). Dodatkowo biostymulatory mogą wzmacniać odporność roślin na choroby i szkodniki, co przyczynia się do zmniejszenia ryzyka strat plonu związanego z atakami patogenów (Trevisan i in. 2010). Istotną rolą biostymulatorów jest również poprawa jakości plonów objawiająca się zwiększoną zawartością składników odżywczych oraz lepszymi właściwościami sensorycznymi (Rouphael i Colla 2018). Wreszcie biostymulatory mogą wspomagać korzystne interakcje roślin z mikroorganizmami glebowymi, co przekłada się na zwiększoną dostępność składników odżywczych dla roślin, a tym samym na ich lepszy wzrost i rozwój (Nardi i in. 2016).

Biostymulatory można podzielić na kilka głównych kategorii, z których każda ma różne mechanizmy działania i korzyści dla roślin. Poniżej wymieniono główne typy biostymulatorów (Du Jardin 2015, Yakhin i in. 2017).

### 1. Biostymulatory mikrobiologiczne:

- Bakterie: produkty zawierające żywe bakterie, takie jak *Azospirillum* spp. czy *Rhizobium* spp., które pozytywnie wpływają na rośliny poprzez symbiozę korzystną lub stymulację procesów biologicznych w glebie.
- Grzyby i pierwotniaki: produkty zawierające żywe grzyby, takie jak mykoryza, lub pierwotniaki, które poprawiają strukturę gleby i dostarczają roślinom składników odżywczych.

### 2. Biostymulatory organiczne:

- Ekstrakty roślinne: ekstrakty z kelpu, aloesu czy ziołowe, zawierające fitohormony, aminokwasy i polifenole, korzystnie wpływają na wzrost i rozwój roślin.
- Ekstrakty z alg: produkty bogate w mikroelementy, aminokwasy i witaminy pochodzące z alg morskich, które stymulują wzrost korzeni, plonowanie oraz odporność roślin na stres abiotyczny.
- Humusy i kwasy humusowe: produkty zawierające substancje organiczne pochodzące z rozkładu materii organicznej, które poprawiają strukturę gleby, zwiększają jej zdolność retencji wody i składników odżywczych.
- Aminokwasy i peptydy: produkty zawierające aminokwasy i peptydy, które są składnikami białkowymi i wpływają na metabolizm roślin oraz odporność na stres.

### 3. Biostymulatory syntetyczne:

- Hormony roślinne: produkty zawierające syntetyczne hormony roślinne, takie jak auksyny, cytokininy czy gibereliny, które regulują wzrost, rozwój i odpowiadzi na stres.
- Stymulatory wzrostu: produkty zawierające syntetyczne związki stymulujące wzrost roślin, takie jak kwas giberelinowy czy kwas indolilomasłowy, które wpływają na podział komórek i rozwój pędów.

### 4. Biostymulatory mineralne:

- Mikroelementy: produkty zawierające mikroelementy, takie jak żelazo, miedź, cynk czy bor, które są niezbędne dla prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin oraz funkcjonowania enzymów.
- Solubilizatory fosforu: produkty zawierające związki chemiczne lub mikroorganizmy zdolne do uwalniania fosforu z gleby i zwiększania jego dostępności dla roślin.

## **Rola herbicydów w uprawach rolnych**

Herbicydy są jednym z najczęściej stosowanych agrochemikaliów w uprawach rolnych i odgrywają kluczową rolę w zapobieganiu konkurencji ze strony chwastów (Idziak i Woźnica 2008). Poprzez selektywne eliminowanie chwastów herbicydy pozwalają na utrzymanie czystości plantacji oraz zapewnienie optymalnych warunków wzrostu dla roślin uprawnych. Ich skuteczność w zwalczaniu chwastów wynika głównie z hamowania procesów metabolicznych niezbędnych do ich wzrostu i rozmnażania.

Jednakże oprócz skuteczności w eliminowaniu chwastów herbicydy mogą również wywierać wpływ na rośliny uprawne, co może prowadzić do negatywnych skutków w postaci zmniejszenia plonu. Niewłaściwe stosowanie herbicydów, takie jak: nadmierna dawka, niewłaściwy dobór herbicydu lub aplikacja w nieodpowiednim momencie, może skutkować uszkodzeniami roślin uprawnych oraz zmniejszeniem plonów. Dodatkowo istnieje ryzyko wystąpienia oporności chwastów na herbicydy, co wymaga ciągłego monitorowania i adaptacji strategii zwalczania (Carpenter i in. 2020).

### **Synergia między nawozami, biostymulatorami a herbicydami w optymalizacji produkcji rolnej**

W dzisiejszym rolnictwie zrównoważone zarządzanie agrochemikaliami jest niezbędne dla osiągnięcia efektywnej i ekologicznie zrównoważonej produkcji rolnej. W kontekście tego celu zrozumienie synergii między nawozami, biostymulatorami a herbicydami staje się kluczowym elementem. Łączenie tych trzech rodzajów agrochemikaliów może przyczynić się do zwiększenia efektywności produkcji rolnej przy jednoczesnym minimalizowaniu negatywnego wpływu na środowisko. Stosowanie biostymulatorów w połączeniu z nawozami mineralnymi może wpłynąć pozytywnie na zdolność roślin do absorpcji składników odżywczych z gleby (Trawczyński 2014, Filipczak i in. 2016). Badania wykazują, że biostymulatory mogą stymulować rośliny do większej aktywności korzeniowej, co z kolei zwiększa ich zdolność do pobierania makro- i mikroelementów (Miziniak i in. 2018, Zarzecka i in. 2024). W efekcie możliwe jest zmniejszenie ilości stosowanych nawozów mineralnych, co przekłada się na oszczędność kosztów dla rolnika oraz redukcję potencjalnego zanieczyszczenia środowiska.

Kolejnym aspektem synergii jest zastosowanie herbicydów w połączeniu z biostymulatorami. Biostymulatory mogą korzystnie wpływać na wzrost i rozwój roślin, co prowadzi do zwiększonej tolerancji na stres spowodowany herbicydami. Dodatkowo badania wykazały, że niektóre biostymulatory mogą aktywować mechanizmy obronne roślin, co przyczynia się do zmniejszenia ich podatności na uszkodzenia wywołane stosowaniem herbicydów. Dzięki takiemu podejściu istnieje możliwość zmniejszenia dawek stosowanych herbicydów przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiej skuteczności w zwalczaniu chwastów. To podejście nie tylko przynosi pozytywne efekty dla

środowiska poprzez ograniczenie ilości stosowanych chemikaliów, ale także korzystnie wpływa na względną opłacalność danej uprawy poprzez zmniejszenie kosztów produkcji oraz zwiększenie plonów (Kierzek i in. 2013, Golian i in. 2014, Kierzek i in. 2015, Gugała i in. 2017, Grychowski i in. 2018, Miziniak i in. 2018, Domański i in. 2023) (tab. 1).

Europejska Rada Ochrony Środowiska podjęła decyzję o konieczności ograniczenia stosowania herbicydów o 50% do 2030 r., uwzględniając ich negatywny wpływ zarówno na bioróżnorodność, jak i zdrowie ludzi. Decyzja ta opiera się na naukowych dowodach potwierdzających szkodliwe skutki herbicydów dla ekosystemów oraz potencjalne zagrożenia dla zdrowia publicznego (Bar 2002, Bacmaga i in. 2007). Osiągnięcie tak ambitnego celu wymaga zastosowania zaawansowanych systemów wspomagania decyzji oraz innowacyjnych narzędzi, takich jak biostymulatory. Te narzędzia oparte na najnowszych osiągnięciach naukowych i technologicznych odgrywają kluczową rolę w opracowywaniu zrównoważonych strategii zarządzania uprawami.

Zrozumienie synergii między nawozami, biostymulatorami a herbicydami jest kluczowe dla optymalizacji praktyk uprawowych w rolnictwie. Wykorzystanie tych trzech rodzajów agrochemikaliów w sposób zrównoważony może przyczynić się do zwiększenia efektywności produkcji rolnej, redukcji kosztów oraz minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko naturalne.

### **Wpływ biostymulatorów i herbicydów na zwalczanie chwastów**

Badania nad wpływem biostymulatorów i herbicydów na zwalczanie chwastów prowadzone przez różnych badaczy przynoszą różnorodne wnioski. Miziniak i in. (2018) przeprowadzili badania na pszenicy jarej, których wyniki sugerują, że dodatek biostymulatora Tytanit do herbicydów nie wpływa na biologiczną skuteczność zwalczania chwastów. Jednakże skuteczność zwalczania chwastów może być zróżnicowana w zależności od konkretnych kombinacji substancji.

Gugała i in. (2017) w badaniach przeprowadzonych na polu w latach 2012–2014 ocenili wpływ herbicydów i biostymulatorów na ograniczenie zachwaszczenia w uprawie ziemniaka jadalnego. Stosowanie herbicydów, takich jak Harrier 295 ZC (chlomazon + linuron) i Sencor 70 WG (metrybuzyna), przyczyniło się do znacznego ograniczenia zachwaszczenia w uprawie ziemniaka jadalnego w porównaniu z obiektem kontrolnym, gdzie zastosowano jedynie pielęgnację mechaniczną. Dodatkowo, stosowanie kombinacji herbicydów, takich jak Harrier 295 ZC lub Sencor 70 WG, z biostymulatorami, takimi jak Kelpak SL lub Asahi SL, także przyniosło pozytywne efekty (tab. 1). Natomiast Soltani i in. (2015) zaobserwowali, że dodanie Crop Booster do glifosatu nie miało wpływu na kontrolę chwastów, z wyjątkiem 4 tygodni po aplikacji herbicydu, kiedy kontrola gatunków chwastów z rodziny szarłatowatych

została zwiększona o 1% oraz w 4. i 8. tygodniu po aplikacji, kiedy kontrola *Chenopodium album* L. została zmniejszona o 1%.

Badania przeprowadzone przez Grychowskiego i in. (2018) oraz Domańskiego i in. (2023) wykazały obiecujące wyniki dotyczące skuteczności różnych kombinacji herbicydów, adiuwantów i nawozów dolistnych w zwalczaniu chwastów w uprawach rolniczych. Grychowski i in. (2018) udowodnili, że zastosowanie kombinacji herbicydu Biathlon 4D z retardantem Moddus 250 EC, adiuwantami i nawozami dolistnymi było skuteczne w ograniczaniu większości chwastów obecnych w uprawie owsa siewnego. Dodatkowo, mieszaniny herbicydu Biathlon 4D (tritosulfuron + florasulam) okazały się efektywne w zwalczaniu trudnych do kontrolowania gatunków chwastów, takich jak *Chenopodium album* L., *Veronica hederifolia* L. i *Veronica persica* Poir. Wyniki Domańskiego i in. (2023) potwierdziły te obserwacje, wykazując, że kombinacje herbicydu Avatar 293 ZC oraz biostymulatorów Agro-Sorb Folium i Plo-noStart skutecznie zmniejszały zagęszczenie chwastów na 1 m<sup>2</sup> w dwóch terminach pomiarowych. W szczególności zaobserwowano, że połączenie herbicydu Avatar 293 ZC z biostymulatorem Agro-Sorb Folium skutecznie ograniczyło występowanie chwastów, w tym chwastnicy jednostronnej, komosy białej, rdestu ptasiego i fiołka polnego (tab. 1). Natomiast badania Baranowskiej i in. (2019) skoncentrowały się na ocenie skuteczności różnych kombinacji biostymulatorów wzrostu i herbicydów na plantacjach ziemniaka, sugerując, że takie połączenie może efektywnie ograniczyć wzrost chwastów (tab. 1). Tymczasem Łozowicka i in. (2019) wskazała na możliwe osłabienie skuteczności herbicydowej ochrony przed chwastami w wyniku stosowania biostymulatorów, jednakże nie obserwowano istotnego wpływu na jakość ziarna pszenicy. Oprócz wspomnianych badań istotne wnioski dotyczące wpływu biostymulatorów i herbicydów na zwalczanie chwastów można również wyciągnąć z pracy Domaradzkiego i in. (2015). W odniesieniu do większości gatunków chwastów nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu aplikacji herbicydów (z biostymulatorem lub bez) na ich skuteczność zwalczania. Jednakże dodatek biostymulatorów Asahi SL i Kelpak SL zwiększał efektywność niszczenia niektórych gatunków chwastów, takich jak *Polygonum aviculare* L. Dodatek biostymulatora Kelpak SL w dawce 30% zmniejszał skuteczność zwalczania *Amaranthus retroflexus* L. (tab. 1).

### **Wpływ biostymulatorów i herbicydów na roślinę uprawną**

Wpływ biostymulatorów i herbicydów na plonowanie roślin uprawnych to zagadnienie, które w badaniach naukowych ukazuje różnorodne efekty tych substancji oraz ich interakcje. Badania Zarzeckiej i in. (2016) sugerują, że stosowanie herbicydów i biostymulatorów może mieć niewielki wpływ na smakowitość bulw ziemniaka jadalnego, a nawet może przyczynić się do wzrostu plonu. Te obserwacje pokrywają się z wnioskami Gugały i in. (2017), którzy zauważyli ograniczenie fitotoksycznego

uszkodzenia roślin ziemniaka po zastosowaniu biostymulatorów w połączeniu z herbicydami. Ponadto herbicydy i biostymulatory stosowane w doświadczeniu przyczyniły się do wzrostu plonu ogólnego bulw ziemniaka od 13,6% do 33,2% w porównaniu z obiektem kontrolnym. Badania Kierzka i in. (2013, 2015) skupiły się na wpływie biostymulatorów na plonowanie. Stosowanie biostymulatora Aminoplant w połączeniu z herbicydami wpłynęło na zwiększenie wielkości plonu zarówno buraka cukrowego, jak i kukurydzy. Również do podobnych wniosków doszli Goliań i in. (2014), stosując mieszaninę metrybuzyny z biostymulatorem Asahi SL oraz adiuwantem Protector na jeden dzień przed zastosowaniem metrybuzyny, co mogło przyczynić się do zwiększenia plonu marchwi w porównaniu z innymi badanymi kombinacjami. Natomiast badania Soltaniego i in. (2015) nie wykazały istotnego wpływu biostymulatorów na plonowanie w przypadku kukurydzy, owsa i pszenicy jarej.

Badania przeprowadzone przez Goranovską i in. (2022) stanowią wyraźne potwierdzenie korzystnego wpływu zastosowania kombinacji różnych substancji na plonowanie kukurydzy. Na przykład zastosowanie kombinacji Amalgerol + Microelements for Maize w różnych dawkach zaowocowało znaczącym wzrostem plonu ziarna. Dodatkowo obserwacje pokazały, że zastosowanie Chemnico 24 SC (nikosulfuron) w połączeniu z dolistnym nawozem Vertex H-34 przyniosło średni wzrost plonu o 7,66%, natomiast dolistny nawóz Foliar Extra spowodował średni wzrost plonu w porównaniu z obiektem kontrolnym wynoszący 8,97%. Obie te zmiany są istotne statystycznie.

W badaniach Mickiewicza i Wróbla (2012) kombinacja cynku i herbicydu Shado 300 SC (sulkotrion) wykazała istotne zwiększenie zawartości cynku w analizowanych organach roślin oraz zwiększenie plonu ziarna i łodyg kukurydzy. Nawet połączone stosowanie herbicydu nie osłabiło jego właściwości chwastobójczych, a największe wzrosty plonu uzyskano przy głębokim kultywatorowaniu. Te wyniki sugerują potencjalne praktyczne zastosowanie tej metody (tab. 1). Natomiast badania Zarzeckiej i in. (2024) przeprowadzone na plantacji ziemniaka sugerują, że stosowanie biostymulatorów w połączeniu z herbicydami może zwiększyć zawartość manganu i miedzi w bulwach, co może mieć istotne znaczenie dla jakości plonu. Najlepsze efekty obserwowano przy użyciu biostymulatora Agro-Sorb.

## Wpływ herbicydów oraz nawożenia mikroelementami na zwalczanie chwastów i wzrost roślin

Badania przeprowadzone przez Domaradzkiego i Wróbla (2012) oraz Domaradzkiego i in. (2014) rzucają światło na kompleksowy wpływ integracji nawożenia mikroelementami z ochroną roślin. Wyniki tych badań sugerują, że łączna aplikacja herbicydu Grodyl 75 WG (amidosulfuron) z mikroelementami może mieć różnorodny wpływ na skuteczność zwalczania chwastów. Na przykład dodatek cynku do herbicydu Grodyl 75 WG może zmniejszyć efektywność niszczenia niektórych gatunków chwastów, takich jak *Geranium pusillum* L., ale jednocześnie zwiększyć skuteczność zwalczania innych, jak *Stellaria media* (L.) Vill. Natomiast badania laboratoryjne wykazały, że nawożenie mikroelementami może przyczynić się do wzrostu plonów, a zawartość miedzi i cynku w ziarnie zbóż utrzymywała się na bezpiecznym poziomie dla konsumentów. Jednakże badania dotyczące plonowania buraka cukrowego nie wykazały istotnego różnicowania parametrów plonu między łącznym a rozdzielonym stosowaniem herbicydów i nawozów mikroelementowych. W kontekście wpływu nawożenia mikroelementami oraz herbicydów na kontrolę chwastów i wzrost roślin badania Castro i Brighenti (2007) (tab. 1) dostarczają dodatkowych istotnych wniosków. Ich badania miały na celu ocenę skuteczności zwalczania chwastów przez herbicydy, badając efekty stosowania herbicydów pojedynczo oraz w połączeniu z borem (B). Okazuje się, że kombinacje herbicydów i boru, zwłaszcza z kwasem borowym ( $H_3BO_3$ ), są skuteczne w zwalczaniu niektórych gatunków chwastów, takich jak *Euphorbia heterophylla* L., *Bidens subalternans* DC. i *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc. Co więcej, zastosowanie boru w połączeniu z herbicydami przyczynia się nie tylko do efektywności niszczenia chwastów, ale również do zwiększenia zawartości tego mikroelementu w glebie, co z kolei może przełożyć się na wzrost zawartości boru w liściach roślin uprawnych, takich jak słońceznik.

Tabela 1

## Efekty łącznego stosowania biostymulatorów/nawozów mikroelementowych i herbicydów na rośliny

Autor	Rodzaj rośliny	Biostymulatory/nawozy mikroelementowe	Herbicyd	Efekt
Baranowska i in. (2019)	ziemniak jadalny	GreenOK Universal – PRO, Asahi SL	Avatar 293 ZC (chlomazon 60 g/l, metrybuzyna 233 g/l)	skuteczne ograniczenie zachwaszczenia plantacji
Castro i Brighenti (2007)	slonecznik	Bor w dwóch formach: $H_2BO_3$ , $Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$	Diuron + parakwat, Glyphosate, Glyphosate + carfentrazone, Glyphosate + flumioxazin, Glyphosate potassium + sulfentrazone, Glyphosate + sulfentrazone, Glyphosate potassium	skuteczność w zwalczaniu chwastów oraz zwiększeniu zawartości mikroelementów w roślinach uprawnych
Domaniński i in. (2023)	ziemniak jadalny	Agro-Sorb Folium, PlonoStart	Avatar 293 ZC (chlomazon 60g/l, metrybuzyna 233 g/l)	zmniejszenie liczby chwastów, ograniczenie występowania głównych gatunków chwastów
Domaradzki i in. (2012)	burak cukrowy	Bor ( $H_3BO_3$ ), mangan ( $MnSO_4 \times 5H_2O$ )	Betanal Elite 274 EC (etkanizol 150 g/l + fenmedifam 124 g/l)	brak różnicowania zawartości sodu, potasu i azotu $\alpha$ -aminokwasowego pod wpływem łącznego lub rozdzielnego stosowania ochrony herbicydowej i nawożenia w porównaniu z obiektem kontrolnym
Domaradzki i in. (2014)	pszenica ozima	miedź, cynk	Glifosat, Chlorsulfuron, 2,4-D	pozytywny wpływ nawożenia mikroelementami na plonowanie, brak niekorzystnych interakcji połączenia herbicydów z nawozami
Domaradzki i in. (2015)	burak cukrowy	Asahi SL, Kelpak SL	Kemifam Super Koncentrat 320 EC (fluroksypyr 80 g/l + MCPA 240 g/l), Kemiron Koncentrat 500 S.C. (diazinon 500 g/l), Lontrel 300 SL (Clopiralid 300 g/l), Safari 50 WG (timetoksan 500 g/kg), Torero 500 S.C. (cyflufenamid 500 g/l)	wysoka skuteczność zwalczania chwastów, brak negatywnego wpływu na rośliny buraka cukrowego

cd. tab. 1

Autor	Rodzaj rośliny	Biostymulatory/nawozy mikroelementowe	Herbicyd	Efekt
Golian i in. (2014)	marchew	Asahi SL, AlfaMax	Metrybuzyna, Linuron	biostymulatory nie miały istotnego wpływu na skuteczność herbicydów oraz na fitotoksyczność
Goranowska i in. (2022)	kukurydza	Amalgerol, Mikroelementy, Vertex H-34	Stomp New 330 EC (pendimetalina 330 g/l), Chemnico 24 S.C. (quazifop-P-etyl 240 g/l)	zastosowanie pendimetaliny i nicosulfuronu, mikroelementów dla kukurydzy i Amalgerolu ma największy pozytywny wpływ na plon kukurydzy
Grychowski i in. (2018)	owies	Nawozy dolistne: Basfoliar 2.0 36 Extra, ADOB Cu 2.0	Biathlon 4D ( 2,4-D 500 g/l + florasulam 4 g/l)	wysoka skuteczność zwalczania chwastów ogółem (91–99%), selektywność dla owsa siewnego, stabilne plonowanie owsa siewnego
Gugała i in. (2017)	ziemniak jadalny	Kelpak SL, Asahi SL	Harrier 295 ZC ( fluroksypyr 150 g/l + diflufenikan 145 g/l), Sencor 70 WG (metribuzyna 700 g/kg)	ograniczenie masy chwastów, wzrost plonu bulw ziemniaka
Kierzek i in. (2013)	burak cukrowy	Aminoplant	Betanal Elite 274 EC (etkanizol 150 g/l + fenmedifam 124 g/l), Safari 50 WG (tiametoksan 500 g/kg)	zwiększenie plonu korzeni buraka cukrowego, brak wpływu na parametry jakościowe korzeni i fitotoksyczność herbicydów
Kierzek i in. (2014)	kukurydza	Aminoplant	Zeagran 340 SE (bromoksynil 200 g/l + terbutylazyna 140 g/l)	korzystny wpływ na plonowanie kukurydzy, brak istotnego wpływu na fitotoksyczność herbicydu oraz na jakość ziarna kukurydzy

cd. tab. 1

Autor	Rodzaj rośliny	Biosymulatory/nawozy mikroelementowe	Herbicyd	Efekt
Łozowicka i in. (2019)	pszenica jara	Biosymulator (kwasy humusowe)	Apyros 75 WG (rimsulfuron 750 g/kg)	zmniejszenie skuteczności herbicydowej ochrony w ograniczaniu biomasy chwastów, zwiększenie biomasy chwastów przy użyciu biosymulatora bez wcześniejszego zastosowania herbicydu, wzrost plonu pszenicy po aplikacji biosymulatora z herbicydem
Matysiak i in. (2018)	pszenica jara	Kelpak, Ashi	MCPA 300 g/l + dicamba 40 g/l, dicamba 660 g/kg + triasulfuron 44 g/kg oraz florasulam 6,25 g/l + 2,4-D 300 g/l	brak wpływu biosymulatorów na skuteczność zwalczania chwastów, biosymulatory wpłynęły na parametry plonu pszenicy, obserwowano zmiany w parametrach jakościowych plonu, takich jak zwiększenie ilości glutenu w ziarnie
Mickiewicz i in. (2012)	kukurydza	Insol Zn (nawóz mikroelementowy zawierający cynk)	Roundup (glifosat 360 g/l)	zwiększenia plonu kukurydzy oraz poprawa zawartości składników odżywczych w glebie
Miziniak i in. (2018)	pszenica jara	Tytanit	Chwastox Turbo 340 SL (MCPA 300 g/l + dikamba 40 g/l), Lintur 70 WG (triasulfuron 44 g/kg + dikamba 660 g/kg), Mustang 306 SE (2,4-D 300 g/l + florasulam 6,25 g/l)	brak wpływu na biologiczną skuteczność zwalczania chwastów
Soltani i in. (2015)	owies, pszenica jara, kukurydza	Crop Booster, RR SoyBooster	glyphosat, topramezon, atrazyna, thiencazone-methyl/tembotrione, bromoksynil/MCPA	brak istotnego wpływu na wzrost roślin, skuteczność zwalczania chwastów oraz na plonowanie

cd. tab. 1

Autor	Rodzaj rośliny	Biostymulatory/nawozy mikroelementowe	Herbicyd	Efekt
Sztuder i in. (2008)	pszenica ozima	Salette amonowa, Mocznik, RSM	Roundap Max (glifosat 360 g/l), Roundap (glifosat 360 g/l), Arelon (izoproturon 500 g/l), Huzar (jodosulfuron metylosodowy 100 g/l + mezosulfuron metylowy 30 g/l) Maraton (dimetoeat 70 g/kg + alfa-cyprmetryna 10 g/kg), Falkon (prochloraz 167 g/l + flutriafol 84 g/l), Mustang ( 2,4-D 300 g/l + florasulam 6,25 g/l, Bavistin (karbendazym 500 g/l), Bi Nowy 58 (olej mineralny 580 g/l), Folicur (tebukonazol 250 g/l)	korzyści ekonomiczne, ekologiczne oraz produkcyjne z integracji nawożenia z ochroną roślin, wyższe plony ziarna pszenicy ozimej w przypadku łącznego stosowania nawozów i środków ochrony roślin
Zarzecka i in. (2024)	ziemniak jadalny	PlonoStart, Amniolant, Agro-Sorb Folium	Avatar 293 ZC (diflufenikan 250 g/l + florasulam 43 g/l)	zastosowanie biostymulatorów w połączeniu z herbicydem Avatar 293 ZC wykazało zwiększenie zawartości miedzi (Cu) oraz pobrania manganu (Mn) i miedzi (Cu)
Zarzecka i in. (2016)	ziemniak jadalny	Kelpak SL, Asahi SL	Harrier 295 ZC ( fluroksypyr 90 g/l + diflufenikan 205 g/l), Sencor 70 WG (metribuzyna 700 g/kg)	brak pogorszenia smaku po stosowaniu herbicydów i biostymulatorów, istotny wpływ herbicydów i biostymulatorów na ciemnienie miąższu po ugotowaniu

Źródło: opracowanie własne

W przeprowadzonych badaniach własnych w warunkach laboratoryjnych przetestowano skuteczność zwalczania chwastów przy użyciu nawożenia krzemem w postaci  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ . Doświadczenie obejmowało stosowanie herbicydów zawierających tribenuron metylu i fluoksypyr na roślinie testowej *Viola arvensis* Murr. Wyniki wyraźnie pokazały, że ten konkretny chwast wykazywał zwiększoną podatność na tribenuron metylu, kiedy był stosowany razem z nawożeniem krzemem, w porównaniu ze stosowaniem samego herbicydu. Jak można zauważyć w tabeli 2, *Viola arvensis* Murr., gdy była poddana jedynie opryskowi herbicydem, została sklasyfikowana jako średnio wrażliwa, natomiast po zastosowaniu oprysku krzemem w formie  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , jej wrażliwość wzrosła, kwalifikując ją jako wysoko wrażliwą. W przypadku fluoksypiry nie zaobserwowano istotnej zmiany w skuteczności chwastobójczej w wyniku dodatkowego nawożenia krzemem.

Tabela 2

Analiza skuteczności kontroli populacji *Viola arvensis*

Lp.	Obiekt	% zalecanej dawki	Bez dodatku $\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}$	Z dodatkiem $\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}$
1	kontrola	-	0%	0%
2	tribenuron metylu	25	72%	87%
3	tribenuron metylu	50	81%	88%
4	tribenuron metylu	75	76%	87%
5	tribenuron metylu	100	79%	90%

Źródło: opracowanie własne

### Podsumowanie

Prace przeglądowe dotyczące łącznego stosowania herbicydów z biostymulatorami i nawozami mikroelementowymi oraz ich skuteczności i selektywności przedstawiają różne wyniki w tym zakresie. Czasem obserwuje się korzystne efekty, takie jak ograniczenie wzrostu chwastów, zwiększenie plonu oraz poprawa jakości roślin uprawnych. Jednakże są również sytuacje, gdzie wpływ ten jest mniej istotny lub może nawet osłabić skuteczność herbicydów. W związku z tym istnieje potrzeba dalszych badań, które pozwolą lepiej zrozumieć mechanizmy działania tych substancji oraz ich interakcje. Ważne jest uwzględnienie różnorodnych czynników, takich jak genetyka roślin, warunki środowiskowe czy odpowiedni dobór kombinacji substancji czynnych, aby maksymalizować korzyści z łącznego stosowania herbicydów, biostymulatorów i nawozów mikroelementowych. Tylko w ten sposób możliwe będzie efektywne wykorzystanie tych środków w praktyce rolniczej, z zachowaniem równowagi między ochroną upraw a ochroną środowiska.

## Literatura

1. Antonkiewicz J., Łabętowicz J.: Innowacje chemiczne w odżywianiu roślin od starożytnej Grecji i Rzymu po czasy najnowsze. *Agronomy Science*, 2017, **72**: 1-18.
2. Bacmaga M., Kucharski J., Wyszkowska J.: Wpływ środków ochrony roślin na aktywność mikrobiologiczną gleby. *Journal of Elementology*, 2007, **12(3)**: 225-239.
3. Bar W.: Ekobójstwo i grzech ekologiczny: dwa terminy–dwa porządki–wspólna sprawa. *Studia Prawnicze KUL*, 2002, **2**: 33-57.
4. Baranowska A., Mystkowska I., Zarzecka K., Szczygielska E.: Impact of growth biostimulators and herbicide on the content of major protein in edible potato tubers. *Journal of Ecological Engineering*, 2019, **20(3)**.
5. Campobenedetto C., Mannino G., Beekwilder J., Contartese V., Karlova R., Berteà C.M.: The application of a biostimulant based on tannins affects root architecture and improves tolerance to salinity in tomato plants. *Scientific Reports*, 2021, **11(1)**: 354.
6. Carpenter D.J., Mathiassen S.K., Boutin C., Strandberg B., Casey C.S., Damgaard C.: Effects of herbicides on flowering. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2020, **39(6)**: 1244-1256.
7. Castro C., Brighenti A.M.: Compatibility of herbicides with boron fertilizers for weed desiccation and mineral nutrition of sunflower/Compatibilidad de herbicidas y boro en la desecación de malezas y la nutrición mineral del cultivo de girasol/Compatibilité d' herbicides avec du bore pour le dessèchement de mauvaises herbes et pour la nutrition minérale de la culture du tournesol. *Helia*, 2007, **30(47)**: 1-14.
8. Domański L., Zarzecka K., Gugała M.: Liczba chwastów oraz ich skład gatunkowy w uprawie ziemniaka po zastosowaniu herbicydu i biostymulatorów. *Agronomy Science*, 2023, **78(3)**: 123-134.
9. Domaradzki K., Korzeniowska J., Stanisławska-Głubiak E.: Ocena skuteczności chwastobójczej oraz stabilności roztworu roboczego w przypadku aplikacji mieszaniny herbicydów i mikroelementów w pszenicy ozimej. *Przemysł Chemiczny*, 2014, **93(11)**: 1965-1969.
10. Domaradzki K., Marczevska-Kolasa K., Bortniak M.: Ocena skuteczności mieszaniny herbicydów i biostymulatorów w uprawie buraka cukrowego. *Przemysł Chemiczny*, 2015, **94(5)**: 787-792.
11. Domaradzki K., Wróbel S.: Wpływ łączenia ochrony herbicydowej oraz dokarmiania dolistnego mikroelementami na jakość plonu korzeni buraka cukrowego. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 2012, **52(4)**: 1147-1150.
12. Du Jardin P.: Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 2015, **196**: 3-14.
13. Filipczak J., Zurawicz E., Sas-Paszt L.: Wpływ wybranych biostymulatorów na wzrost i plonowanie roślin truskawki 'Elkat'. *Zeszyty Naukowe Instytutu Ogrodnictwa*, 2016, **24**: 43-58.
14. Fu H., Tan P., Wang R., Li S., Liu H., Yang Y., Wu Z.: Advances in organophosphorus pesticides pollution: Current status and challenges in ecotoxicological, sustainable agriculture, and degradation strategies. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, **424**: 127494.
15. Golián J., Anyszka Z., Kohut M.: Ocena stosowania herbicydów z biostymulatorami i adiuwantami w uprawie marchwi (*Daucus carota* L.). *Progress in Plant Protection*, 2014, **54(2)**: 167-173.
16. González-Pérez B.K., Rivas-Castillo A.M., Valdez-Calderón A., Gayosso-Morales M.A.: Microalgae as biostimulants: A new approach in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2022, **38(1)**: 4.

17. Goranovska S., Kalinova S., Yanev M.: Influence of herbicides and foliar fertilizers on the yield, the structural elements of yield and technological qualities of the maize grain. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2022, **28(1)**: 137-144.
18. Grychowski R., Szumańczyk M., Kierzek R., Ratajkiewicz H.: Possibilities of joint application of tritosulfuron with florasulam as tank mix with other agrochemicals in oat. *Progress in Plant Protection*, 2018, **58(2)**: 148-155.
19. Gugała M., Zarzecka K., Sikorska A., Mystkowska I., Dolega H.: Wpływ herbicydów i biostymulatorów wzrostu na ograniczenie zachwaszczenia i plonowanie ziemniaka jadalnego. *Fragmenta Agronomica*, 2017, **34(4)**: 59-66.
20. Idziak R., Woźnica Z.: Skuteczność chwastobójcza herbicydu Callisto 100 SC stosowanego z adiuwantami i nawozem mineralnym. *Acta Agrophysica*, 2008, **11(2)**: 403-410.
21. Kierzek R., Dubas M., Matysiak K.: Effect of biostimulator Aminoplant mixtures with terbuthylazine and bromoxynil (Zeagran 340 SE) on herbicidal effect and yield of maize. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 2015, **55(2)**: 164-169.
22. Kierzek R., Dubas M., Matysiak K.: Wpływ łącznego stosowania biostymulatora Aminoplant z herbicydami na wielkość i jakość plonu buraka cukrowego. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin*, 2013, **53(3)**: 621-626.
23. Knapik M.: Zastosowanie biostymulatorów we współczesnym rolnictwie [Using biostimulants in modern agriculture]. *Zeszyty Studentckiego Ruchu Naukowego Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach*, 2018, **27(2)**: 79-84.
24. Lykogianni M., Bempelou E., Karamaouna F., Aliferis K.A.: Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of the Total Environment*, 2021, **795**: 148625.
25. Łozowicka B., Konecki R., Iwaniuk P., Drągowski W., Rusiłowska J., Pietraszko A., Snarska K.: Wpływ biostymulatora i ochrony herbicydowej na zachwaszczenie oraz parametry ilościowe i jakościowe plonu pszenicy jarej. *Progress in Plant Protection*, 2019, **59(4)**: 258-264.
26. Matysiak K., Miziniak W., Kaczmarek S., Kierzek R.: Herbicides with natural and synthetic biostimulants in spring wheat. *Ciência Rural*, 2018, **48**: e20180405.
27. Micklewicz A., Wróbel S.: Response of maize grown with ploughless tillage to the joint foliar application of zinc and herbicide Shado 300 SC. 2012, pp. 169-177.
28. Miziniak W., Matysiak K., Górski D., Ulatowska A.: Wpływ łącznego stosowania herbicydów z biostymulatorem Titanit na zwalczanie chwastów i plonowanie pszenicy jarej. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego*, 2018, **94(4)**: 89-98.
29. Nardi S., Pizzeghello D., Schiavon M., Ertani A.: Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 2016, **73**: 18-23.
30. Nephali L., Piater L.A., Dubery I.A., Patterson V., Huyser J., Burgess K., Tugizimana F.: Biostimulants for plant growth and mitigation of abiotic stresses: A metabolomics perspective. *Metabolites*, 2020, **10(12)**: 505.
31. Pipiak P., Skwarek M.: Zastosowanie nawozów aminokwasowych w rolnictwie. *Technologia i Jakość Wyróbów*, 2020, **65**: 144-157.
32. Podleśna A.: Źródła składników pokarmowych dla roślin we współczesnym rolnictwie, *Więś Jutra*, 2006, **7**: 6-8.
33. Radzikowska-Kujawska D., John P., Piechota T., Nowicki M., Kowalczewski P.Ł.: Response of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to selected biostimulants under drought conditions. *Agriculture*, 2022, **13(1)**: 121.
34. Rouphealy G., Colla G.: Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 2018, **9**: 426696.

35. Rutkowska A.: Stan obecny i perspektywy stosowania środków wspomagających uprawę roślin. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2010, **25**: 53-67.
36. Sienkiewicz-Cholewa U., Wróbel S.: Rola miedzi w kształtowaniu wielkości i jakości plonów roślin uprawnych. *Postępy Nauk Rolniczych*, 2004, **51(5)**: 39-56.
37. Sienkiewicz-Cholewa U., Zajączkowska A.: The role and yield-forming effect of silicon application based on the example of global research. *Progress in Plant Protection*, 2020, **60(4)**: 313-319.
38. Soltani N., Shropshire C., Sikkema P.H.: Effect of biostimulants added to postemergence herbicides in corn, oats and winter wheat. *Agricultural Science*, 2015, **6**: 527.
39. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J.: Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2007, **8**: 99-110.
40. Sztyder H., Strączyński S.: Ocena tradycyjnego i zintegrowanego stosowania płynnych agrochemikaliów w uprawie pszenicy ozimej. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio E. Agricultura*, 2008, **63(4)**: 24-33.
41. Trączyński C.: Wpływ biostymulatorów aminokwasowych – Tecamin – na plon i jakość ziemniaków. *Ziemniak Polski*, 2014, **24(3)**: 29-34.
42. Trevisan S., Francioso O., Quaggiotti S., Nardi S.: Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling & Behavior*, 2010, **5(6)**: 635-643.
43. Yakhin O.I., Lubyantsev A.A., Yakhin I.A., Brown P.H.: Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in plant science*, 2017, **7**: 238366.
44. Zajączkowska A., Korzeniowska J., Sienkiewicz-Cholewa U.: Effect of soil and foliar silicon application on the reduction of zinc toxicity in wheat. *Agriculture*, 2020, **10(11)**: 522.
45. Zajączkowska A., Korzeniowska J.: Reakcja pszenicy rosnącej na glebie zanieczyszczonej miedzią na dogłębne nawożenie krzemem. *Progress in Plant Protection*, 2021, **61(1)**: 31-39.
46. Zarzecka K., et al.: Effect of a herbicide and biostimulants on the content and uptake of selected micronutrients by edible potato tubers. *Journal of Elementology*, 2024, **29(1)**: 57-71.
47. Zarzecka K., Gugała M., Dolega H., Mystkowska I., Baranowska A., Zarzecka M.: Wpływ biostymulatorów i herbicydów na smakowość i ciemnienie mięszu bulw ziemniaka. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2016, **585**: 169-177.

---

Adres do korespondencji:

*dr inż. Aleksandra Zajączkowska*  
*Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli*  
*IUNG-PIB*  
*ul. Orzechowa 61*  
*50-540 Wrocław*  
*tel. 81 47 86 967*  
*e-mail: a.zajaczkowska@iung.wroclaw.pl*

---

AUTOR

Aleksandra Zajączkowska

ORCID

0000-0002-9237-5568