

*Studies on the impact of selected insecticides on the behavior
of the buff-tailed bumblebee (*Bombus terrestris* L.) on flowering
phacelia and winter oilseed rape*

**Badania wpływu wybranych insektycydów
na zachowanie trzmieła ziemnego (*Bombus terrestris* L.)
na kwitnącej facelii błękitnej i rzepaku ozimym**



DOI: 10.15199/62.2025.10.2

Przeprowadzono ocenę potencjalnego efektu odstrasżającego wybranych insektycydów z różnych grup chemicznych wobec trzmieła ziemnego (*Bombus terrestris*). Doświadczenia przeprowadzono w latach 2023–2024 na kwitnącym rzepaku ozimym i facelii, w dwóch lokalizacjach w Wielkopolsce, na poletkach o powierzchni 10 m², w czterech powtórzeniach dla każdego wariantu. Obecność i zachowanie żerujących trzmieli rejestrowano pierwszego i trzeciego dnia po wieczornych aplikacjach insektycydów, a efekt odstrasżający oceniano poprzez porównanie aktywności owadów na poletkach traktowanych insektycydami i kontrolnych. Żadna z badanych substancji (z grup: pyretroidy, neonikotynoidy, butenolidy) nie wykazała efektu odstrasżającego wobec *B. terrestris*.

Słowa kluczowe: trzmiele, insektycydy, efekt odstrasżający, odporność behawioralna

The potential repellent effects of selected insecticides from various chemical groups (pyrethroids, neonicotinoids, butenolides) on the buff-tailed bumblebee (*Bombus terrestris*) were assessed by comparing its activity in insecticide-treated and control plots. The expts. were conducted in 2023–2024 on flowering winter oilseed rape and phacelia in 2 locations in Poland, using 10 m² plots with 4 replications per treatment. Bumblebee presence and foraging behavior were recorded on the first and third day after evening insecticide applications. The tested insecticides did not exhibit any repellent effect on *B. terrestris*.

Keywords: bumblebees, insecticides, repellent effects, behavioral resistance

Trzmiele z rodzaju *Bombus* spp. należące do rodziny Apidae są, obok pszczoł miodnych (*Apis mellifera* L.)^{1, 2)}, kluczowymi zapylaczami różnych upraw, w tym facelii błę-

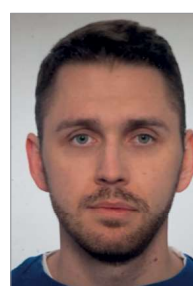
Bumblebees, of the genus *Bombus* spp. belonging to the family Apidae, alongside honey bees (*Apis mellifera* L.)^{1, 2)} are crucial pollinators of various crops, including tansy



Dr. hab. Joanna ZAMOJSKA (ORCID: 0000-0002-4623-2224) in 2000, she graduated from the Faculty of Biology at Adam Mickiewicz University in Poznań. From 1998 to 2000, she worked at the Department of Animal Taxonomy and Ecology at Adam Mickiewicz University. Since 2000, she has been employed at the Institute of Plant Protection – National Research Institute in Poznań, initially in the Nematology Laboratory under the supervision of Prof. Dr. hab. Stefan Kornobis, and subsequently in the Department of Zoology. Since 2009, he has been conducting research on the toxicity of insecticides to bees, and since 2022 he has been managing a project financed under the Targeted Subsidy of the Ministry of Agriculture and Rural Development. Specialty – insect resistance to insecticides, the toxicity of plant protection products to bees,

and crop protection from damage caused by game animals and birds.

Dr hab. Joanna Zamojska (ORCID: 0000-0002-4623-2224) w roku 2000 ukończyła studia na Wydziale Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W latach 1998–2000 pracowała w Zakładzie Taksonomii i Ekologii Zwierząt UAM. Od 2000 r. jest zatrudniona w Instytucie Ochrony Roślin – PIB w Poznaniu, początkowo w Pracowni Nematologii pod kierunkiem prof. dr. hab. Stefana Kornobisa, a następnie w Zakładzie Zoologii. Od 2009 r. prowadzi badania nad toksycznością insektycydów dla pszczoł, a od 2022 r. kieruje zadaniem finansowanym w ramach Dotacji Celowej MRiRW. Specjalność – odporność owadów na insektycydy, toksyczność środków ochrony roślin dla pszczoł oraz ochrona upraw przed szkodami powodowanymi przez zwierzęta łowne i ptaki.



Filip DOLATA, M.A., in 2020, he obtained his Master's degree in horticulture from the Poznań University of Life Sciences. He currently serves as a Senior Inspector at the Voivodeship Inspectorate of Plant Health and Seed Inspection in Poznań, in the Phytosanitary Supervision Department. Specialty – agricultural sciences, with particular emphasis on the protection of pollinators in the context of plant protection product use.

Mgr Filip DOLATA w roku 2020 ukończył studia magisterskie na kierunku ogrodnictwo na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu. Obecnie pełni funkcję starszego inspektora w Dziale Nadzoru Fitosanitarnego Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Roślin i Nasiennictwa w Poznaniu. Specjalność – nauki rolnicze, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych z ochroną zapylaczy w kontekście stosowania środków ochrony roślin.

* Address for correspondence/Adres do korespondencji:

Zakład Entomologii i Agrofagów Zwierzęcych, Instytut Ochrony Roślin – PIB, ul. Władysława Węgorka 20, 60-318 Poznań, tel.: 0048 61 864-90-81, e-mail: j.zamojska@iorpiib.poznan.pl

kitnej (*Phacelia tanacetifolia*) i rzepaku ozimego (*Brassica napus*). Konieczność stosowania środków owadobójczych w okresie kwitnienia rzepaku ozimego stanowi poważne zagrożenie zatruciem dla owadów zapylających. Ze względu na szeroki zakres tolerancji temperaturowej trzmiele pozostają aktywne nawet we wczesnych godzinach porannych, co zwiększa ich narażenie na działanie środków owadobójczych przed odparowaniem roztworu. Mechanizm odporności behawioralnej pozwala zapylaczom wykrywać zapach środków owadobójczych i unikać obszarów poddanych działaniu tych środków, potencjalnie zmniejszając ich narażenie.

Wszystkie gatunki trzmieli odgrywają kluczową rolę w utrzymaniu różnorodności biologicznej w różnych biocenozach poprzez zapylanie zarówno dzikich, jak i uprawnych roślin^{3, 4)}. W agroekosystemach trzmiele występują na 75% uprawianych gatunków roślin, współlistniejąc z innymi pszczołami i owadami zapylającymi⁵⁾. Zapylając rośliny, przyczyniają się do zwiększenia plonów. Trzmiele wykazują szczególną aktywność w uprawach z obecnością kwitnących chwastów, zwłaszcza w zbożach ozimych i jarych, a także w rzepaku, nawet przed rozpoczęciem jego kwitnienia⁶⁾. Trzmiele są także silnie przywabiane przez rośliny charakteryzujące się wysoką produkcją nektaru, takie jak facelia błękitna (*Phacelia tanacetifolia*), które są często wykorzystywane w programach rolno-środowiskowych w celu wspierania zapylaczy⁷⁾.

W ciągu roku trzmiele stają się aktywne wcześniej niż pszczoły miodne, co pozwala im żerować w chłodniejszych porach dnia⁸⁾. Zmiany klimatyczne spowodowały wcześniejsze pojawienie się zapłodnionych królowych, czasami już w marcu, a szczyt aktywności przypada na kwiecień. Śmiertelność królowych lub młodych robotnic na tym etapie może spowodować zniszczenie kolonii. Żerowanie zazwyczaj rozpoczyna się wczesnym rankiem, osiąga kolejny szczyt wieczorem, a około południa ulega ograniczeniu⁹⁾. Taka wczesna aktywność zwiększa prawdopodobieństwo kontaktu z pozostałościami pestycydów, gdy uprawy kwit-

Table 1. Weather conditions during the experiments³³⁾

Tabela 1. Warunki pogodowe podczas eksperymentów³³⁾

Parameter/ Parametr	2023		2024	
	11.05–14.05	08.07–11.07	11.05–14.05	25.06–28.06
Temperature range/Zakres temperatury, °C	14.0–15.6	21.0–23.4	11.9–15.5	19.6–24.6
Precipitation sum/Suma opadów, mm	0.0	0.0	0.0	0.1

phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) and winter oilseed rape (*Brassica napus*). The necessity of insecticide applications during the flowering period of winter oilseed rape poses a significant risk of poisoning for pollinating insects. Due to their broad temperature tolerance, bumblebees remain active even in the early morning hours, increasing their exposure to insecticides before the spray solution evaporates. A known behavioral resistance mechanism allows pollinators to detect insecticide odor and avoid treated areas, potentially reducing their exposure. All bumblebee species play a crucial role in maintaining biodiversity across different biocoenoses by pollinating both wild and cultivated plants^{3, 4)}.

In agroecosystems, bumblebees can be found on 75% of cultivated plant species, coexisting with other bees and pollinating insects⁵⁾. By pollinating these plants, they contribute to increased crop yields. Bumblebees are particularly attracted to crops with blooming weeds, including winter and spring cereals, as well as oilseed rape, even before its flowering stages⁶⁾. Bumblebees are also strongly attracted to nectar-rich plants such as tansy phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), which are often used in agri-environmental schemes to support pollinators⁷⁾.

Bumblebees become active earlier in the year than honeybees, which allows them to forage during cooler parts of the day⁸⁾. Climate change has led to earlier emer-



Weronika HERKA, M.A., in 2009, she graduated with a degree in plant protection from the Poznań University of Life Sciences. She is a specialist at the Regional Inspectorate of Plant Health and Seed Inspection in Poznań, Środa Wielkopolska branch, where she has worked since 2017. Early in her career, she gained international experience at the Morton Arboretum in the United States, where she worked in the entomology laboratory for 2 years. In 2011, she completed an intensive English program at the College of DuPage, and in 2013, she earned a diploma in early childhood education from the same university. Specialty – plant protection, ensuring high standards in plant protection, and seed supervision in Poland.

Mgr Weronika HERKA w roku 2009 ukończyła studia na kierunku ochrona roślin na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu. Jest specjalistą w Wojewódzkim Inspektoracie Ochrony Roślin i Nasiennictwa w Poznaniu, w oddziale w Środzie Wielkopolskiej, gdzie pracuje od 2017 r. Na początku swojej kariery zdobyła doświadczenie międzynarodowe w Morton Arboretum w Stanach Zjednoczonych, gdzie przez dwa lata pracowała w laboratorium entomologicznym. W 2011 r. ukończyła intensywny program języka angielskiego w College of DuPage, a w 2013 r. uzyskała dyplom w zakresie edukacji wczesnoszkolnej na tej samej uczelni. Specjalność – ochrona roślin, zapewnianie wysokich standardów w ochronie roślin i nadzór nasienny w Polsce.



Prof. dr. hab. Jan BOCIANOWSKI (ORCID: 0000-0002-0102-0084) in 1998, he graduated from the Faculty of Mathematics and Computer Science, Adam Mickiewicz University in Poznań, after which he began working in the Laboratory of Biometry at the Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences in Poznań. In 2004, he obtained a PhD in agricultural sciences. In 2005, he began working at the Department of Mathematical and Statistical Methods at the A. Cieszkowski Agricultural University in Poznań (now the Poznań University of Life Sciences). In 2014, he obtained a habilitation in agricultural sciences, in the discipline of agronomy, specializing in biometry. In 2025, he was awarded the title of professor of agricultural sciences in the discipline of agriculture and horticulture. Specialty – developing new and applying existing statistical and mathematical methods in research in many fields (including genetics and plant and animal breeding, biology, plant protection, agronomy, dentistry, wood technology).

Prof. dr. hab. Jan BOCIANOWSKI (ORCID: 0000-0002-0102-0084) w 1998 roku ukończył studia na Wydziale Matematyki i Informatyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, po których podjął pracę w Pracowni Biometrii Instytutu Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu. W 2004 r. uzyskał stopień doktora nauk rolniczych. W 2005 r. podjął pracę w Katedrze Metod Matematycznych i Statystycznych Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu). W 2014 r. uzyskał stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk rolniczych, w dyscyplinie agronomia, specjalność biometria. W 2025 r. otrzymał tytuł profesora nauk rolniczych w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo. Specjalność – opracowywanie nowych oraz stosowanie istniejących metod statystycznych i matematycznych w badaniach dotyczących wielu dziedzin (m.in.: genetyka i hodowla roślin i zwierząt, biologia, ochrona roślin, agronomia, stomatologia, technologia drewna).

nące, takie jak rzepak ozimy, są opryskiwane wieczorem, a pozostałości utrzymują się do następnego ranka.

W ciągu ostatnich kilku dekad zarówno w Polsce, jak i na całym świecie obserwuje się spadek populacji trzmieli i innych owadów zapylających¹⁰⁻¹². Głównymi przyczynami tego zjawiska są utrata siedlisk, zmiany klimatyczne (ekstremalne temperatury, powodzie i huragany) oraz intensywna ochrona chemiczna roślin, zwłaszcza poprzez stosowanie środków owadobójczych. Narażenie na wiele czynników stresogennych ma negatywny wpływ na rozwój i przetrwanie tych pożytecznych owadów. Największe zagrożenia zarówno dla pszczoł miodnych, jak i trzmieli ziemnych są związane ze stosowaniem insektycydów neonikotynoidowych, zwłaszcza takich substancji czynnych, jak imidachlopyryd, tiametoksam i chlotianidyna^{13, 14}. Środki owadobójcze zawierające związki fosforoorganiczne i pyretroidy są również uważane za wysoce niebezpieczne dla pszczoł^{15, 16}, podobnie jak herbicyd glifosat, który zaburza mikroflorę jelitową tych owadów. Niektóre z tych substancji zostały już wycofane z użycia w krajach Unii Europejskiej, jednak nadal są szeroko stosowane w wielu częściach świata. Inne herbicydy i fungicydy mogą też stanowić zagrożenie¹⁷. Choć producenci środków ochrony roślin na bazie pyretroidów twierdzą, że substancje te mają działanie odstraszające na pszczoły miodne, badania przeprowadzone przez Węgorka i współpracowników¹⁸ wykazały coś zupełnie przeciwnego.

Jedną z głównych dróg narażenia zapylaczy na pestycydy jest skażony nektar i pyłek zebrany z roślin poddanych działaniu pestycydów. Dowody wskazują, że niektóre owady zapylające, takie jak pszczoły miodne i trzmiele, nie są w stanie wykryć nawet śmiertelnych stężeń pestycydów w nektarze^{19, 20}. W rezultacie zapylacze mogą nadal żerować na toksycznych zasobach, nieświadomie zwiększając ryzyko zatrucia. Przedstawione w pracy badania skupiały się na różnych związkach chemicznych zalecanych obecnie do stosowania w uprawie rzepaku ozimego, który jest często odwiedzany przez trzmiele.

W Polsce 28 gatunków *Bombus* objętych jest częściową ochroną zwierząt²¹.

Wiele środków owadobójczych stosowanych obecnie w uprawach takich jak rzepak ozimy należy do grup chemicznych, które, jak wykazano, mają wpływ na zdrowie trzmieli. Pyretroidy, np. cypermetryna, deltametryna, lambda-cyhalotryna i tau-fluwalinat, są szeroko stosowane, ale mogą mieć skutki subletalne lub śmiertelne dla *Bombus terrestris*^{22, 23}. Wykazano, że długotrwałe narażenie na deltametrynę zmniejsza produktywność kolonii i wpływa na zachowania związane z poszukiwaniem pożywienia¹⁶. Flupyradifuron, choć opracowany jako bezpieczniejsza alternatywa dla neonikotynoidów, wg doniesień upośledza zdolność uczenia się i pamięć oraz zmniejsza motywację do żerowania u trzmieli²⁴. Podobnie acetamipryd, uważany za stosunkowo bezpieczny dla pszczoł, może wpływać na orientację i zachowanie trzmieli w warunkach polowych²⁵. Te wyniki podkreślają, jak ważne jest badanie zarówno toksyczności, jak i wpływu środków owadobójczych na zachowanie trzmieli.

gence of fertilized queens, sometimes as early as March, with peak activity in April. Mortality of queens or young workers at this stage can cause colony collapse. Foraging typically begins in the early morning, peaks again in the evening, and is reduced around midday⁹. Such early activity increases the likelihood of contact with pesticide residues when flowering crops, such as winter oilseed rape, are sprayed in the evening and residues persist until the following morning.

Over the past few decades, a decline in bumblebee and other pollinator populations has been observed both in Poland and globally¹⁰⁻¹². The main reasons for this decline include habitat loss, climate change (extreme temperatures, floods and hurricanes), and intensive chemical plant protection, particularly through the use of insecticides. Exposure to multiple stressors negatively impacts the development and survival of these beneficial insects. The greatest threats to both honeybees and buff-tailed bumblebees have been linked to neonicotinoid insecticides, especially active substances such as imidacloprid, thiamethoxam, and clothianidin^{13, 14}. Organophosphate insecticides and pyrethroids are also considered highly hazardous to bees^{15, 16}, as is the herbicide glyphosate, which disrupts the gut microbiota of these insects. Some of these substances have already been withdrawn from use in European Union countries; however, they are still widely used in many parts of the world. Additionally, other herbicides and fungicides may pose risks¹⁷. Although manufacturers of pyrethroid-based plant protection products claim that these substances have a repellent effect on honeybees, studies by Węgorek et al.¹⁸ have shown otherwise. One of the major routes of pesticide exposure for pollinators is through contaminated nectar and pollen collected from treated plants. For instance, evidence shows that some pollinating insects, such as honeybees and bumblebees, cannot detect even the lethal concentrations of pesticides in nectar^{19, 20}. As a result, pollinators may continue to forage on toxic resources, unknowingly increasing their exposure risk. However, our study focused on different compounds currently recommended for use in winter oilseed rape, a crop frequently visited by bumblebees.

*In Poland, twenty eight *Bombus* species are under partial animal protection²¹.*

*Many of the insecticides currently used in crops such as winter oilseed rape fall into chemical groups that have been shown to affect bumblebee health. Pyrethroids like cypermethrin, deltamethrin, lambda-cyhalothrin, and tau-fluvalinate are widely used but can have sublethal or lethal effects on *Bombus terrestris*^{22, 23}. Chronic exposure to deltamethrin has been shown to reduce colony performance and affect foraging behavior¹⁶. Flupyradifurone, although developed as a safer alternative to neonicotinoids, has been reported to impair learning and memory and reduce feeding motivation in bumblebees²⁴. Similarly, even acetamiprid, considered relatively bee-safe, can alter bumblebee orien-*

Table 2. Effect of insecticides on the presence and behavior of bumblebees in oilseed rape fields in Rokietnica

Tabela 2. Wpływ środków owadobójczych na obecność i zachowanie trzmieli na polach rzepaku w Rokietnicy

Substance/ Substancja	Year/ Rok	Number of bumblebees per plot/Liczba trzmieli na poletku		Bumblebees behavior/ Zachowanie trzmieli		Time spent on a single flower/Czas poświęcony na 1 kwiat, s		Number of flowers visited/Liczba odwiedzonych kwiatów, 1/min	
		day/dzień		day/dzień		day/dzień		day/dzień	
		1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.
Control/Kontrola	2023	9a	14a	land on flowers/ lądują na kwiatach		1.5a	1.5a	14a	20a
	2024	7a	11b			1.5a	2.0a	23a	21a
Cypermethrin/Cypermetyryna	2023	11a	9c			2.0a	1.5a	17a	20a
	2024	9a	8c			1,5a	1.0a	19a	19a
Deltamethrin/Deltametryna	2023	9a	14a			1.0a	1.5a	23a	14a
	2024	9a	13a			1.5a	2.0a	15a	24a
Lambda-cyhalothrin/ Lambda-cyhalotryna	2023	11a	11b			2.0a	1.5a	13a	19a
	2024	10a	12b			1.5a	1.5a	22a	19a
Tau-fluvalinate/ Tau-fluwalinat	2023	11a	9c			1.5a	1.0a	17a	18a
	2024	13a	11b			2.0a	1.0a	24a	17a
Acetamiprid/ Acetamipryd	2023	11a	12b			1.0a	1.5a	19a	22a
	2024	12a	14a			1.5a	1.5a	23a	24a
Flupyradifuronel/ Flupyradifuron	2023	9a	9c			1.0a	1.5a	18a	23a
	2024	10a	11b			2.0a	1.5a	18a	21a
LSD _{0,05} for substance/ LSD _{0,05} dla substancji		2.44	3.09			0.94	0.54	10.85	6.65
LSD _{0,05} for year/ LSD _{0,05} dla roku		1.86	2.43			0.42	0.37	3.85	3.24
LSD _{0,05} for substance×year/ LSD _{0,05} dla substancji×rok		7.14	1.99			1.43	1.67	12.87	12.56

Niektóre środki owadobójcze mogą wydzielać lotne sygnały wykrywalne przez zapylacze, potencjalnie wywołując zachowania polegające na unikaniu²⁶⁾. Nawet tymczasowy i odwracalny efekt repelenty może ograniczyć narażenie trzmieli na śmiertelne lub subletalne dawki pestycydów w okresach wysokiej toksyczności. Może to ostatecznie przynieść korzyści zarówno populacjom zapylaczy, jak i produktywności rolnictwa, umożliwiając skuteczne zapylenie po rozkładzie pozostałości. Zapylacze, w tym pszczoły miodne i trzmiel, są zdolne do uczenia się asocjacyjnego i mogą rozwijać reakcje awersyjne na bodźce węchowe lub smakowe na podstawie wcześniejszych negatywnych doświadczeń²⁷⁾. W związku z tym możliwość, że owady żerujące mogą kojarzyć sygnały związane ze środkami owadobójczymi z niekorzystnymi skutkami, stanowi biologicznie uzasadnioną podstawę do badania potencjału odstraszającego środków ochrony roślin. Wcześniejsze badania wykazały, że niektóre pyretroidy i neonicotynoidy mogą zniechęcać pszczoły miodne do żerowania poprzez działanie drażniące lub właściwości lotne^{28, 29)}. Inne badania wykazały również zmniejszenie liczby odwiedzin pszczół na kwiatach potraktowanych niektórymi insektycydami fosforoorganicznymi i roślinnymi, co sugeruje, że działanie odstraszające może występować w różnych grupach chemicznych³⁰⁾. Jednak zakres i spójność tych efektów w warunkach terenowych

and behavior under field conditions²⁵⁾. These findings underscore the importance of testing both the toxicity and behavioral effects of insecticides on bumblebees.

Some insecticides may emit volatile cues detectable by pollinators, potentially eliciting avoidance behavior²⁶⁾. While repellency could initially reduce pollinator visitation, such a temporary and reversible effect might limit exposure to lethal or sublethal doses during periods of high toxicity. This could ultimately benefit both pollinator populations and agricultural productivity by allowing for successful pollination once residues degrade. Pollinators, including honeybees and bumblebees, are capable of associative learning and can develop aversive responses to olfactory or gustatory cues based on prior negative experiences²⁷⁾. Therefore, the possibility that foragers might associate insecticide-related cues with adverse effects provides a biologically plausible basis for investigating the repellent potential of crop protection products. Previous studies have documented that certain pyrethroids and neonicotinoids, can deter honeybee foraging through contact irritancy or volatile properties^{28, 29)}. Other experiments have also shown reduced bee visitation to flowers treated with some organophosphate and botanical insecticides, suggesting that repellency may occur across different chemical classes³⁰⁾. However, the extent and consistency of these effects under

Table 3. Effect of insecticides on the presence and behavior of bumblebees in oilseed rape fields in Winna Góra

Tabela 3. Wpływ środków owadobójczych na obecność i zachowanie trzmieli na polach rzepaku w Winnej Górze

Substance/ Substancja	Year/ Rok	Number of bumblebees per plot/Liczba trzmieli na poletku		Bumblebees behavior/ Zachowanie trzmieli		Time spent on a single flower/Czas poświęcony na 1 kwiat, s		Number of flowers visited/Liczba odwiedzonych kwiatów, 1/min	
		day/dzień		day/dzień		day/dzień		day/dzień	
		1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.
Control/Kontrola	2023	11a	16a	land on flowers/ lądują na kwiatach		1.5a	1.5a	16a	22a
	2024	9a	13b			1.5a	2.0a	25a	23a
Cypermethrin/ Cypermetryna	2023	13a	11c			2.0a	1.5a	19a	22a
	2024	11a	10c			1.5a	1.0a	21a	21a
Deltamethrin/ Deltametryna	2023	11a	16a			1.0a	1.5a	25a	16a
	2024	11a	15a			1.5a	2.0a	17a	26a
Lambda-cyhalothrin/ Lambda-cyhalotryna	2023	13a	13b			2.0a	1.5a	15a	21a
	2024	12a	14b			1.5a	1.5a	24a	21a
Tau-fluvalinate/ Tau-fluwalinat	2023	13a	11c			1.5a	1.0a	19a	20a
	2024	15a	13b			2.0a	1.0a	26a	19a
Acetamiprid/ Acetamipryd	2023	13a	14b			1.0a	1.5a	21a	24a
	2024	14a	16a			1.5a	1.5a	25a	26a
Flupyradifuron/ Flupyradifuron	2023	11a	11c			1.0a	1.5a	20a	25a
	2024	12a	13b			2.0a	1.5a	20a	23a
LSD _{0.05} for substance/ LSD _{0.05} dla substancji		2.45	3.10			0.95	0.55	10.85	6.66
LSD _{0.05} for year/ LSD _{0.05} dla roku		1.87	2.44			0.42	0.37	3.85	3.25
LSD _{0.05} for substance×year/ LSD _{0.05} dla substancji×rok		7.12	1.98			1.33	1.77	12.01	12.57

a, b, c – means followed by the same letters are not significantly different/średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie

pozostają niejasne, co uzasadnia dalsze badania w uprawach często odwiedzanych przez zapylacze.

Wczesną wiosną często można zaobserwować trzmiele żerujące na uprawach rzepaku ozimego³¹⁾. Ich wczesna wiosenna aktywność zbiega się z zabiegami stosowania środków owadobójczych przeciwko szkodnikom rzepaku. Zwalczanie tych szkodników wiąże się z ryzykiem zatrucia królowych trzmieli. Dla robotnic trzmieli, które pojawiają się ok. 24 dni po złożeniu jaj przez królową, zagrożenie stanowi późniejsze zwalczanie słodyszka rzepakowego (*Brassicogethes aeneus* F.), a także, w okresie kwitnienia rzepaku, stosowanie środków owadobójczych przeciwko przyszczarkowi kapustnikowi (*Dasineura brassicae* Winn.), chowaczowi posobnikowi (*Ceutorhynchus assimilis* Payk.) oraz mszycom, takim jak mszyca brzoskwiowo-ziemniaczana (*Myzus persicae* Sulz.) i mszyca kapuściana (*Brevicoryne brassicae* L.).

Biorąc pod uwagę zagrożenia, jakie intensywna ochrona roślin niesie dla entomofauny pożytecznej, zaprezentowane w pracy doświadczenia miały na celu ocenę potencjalnego działania odstraszaającego wybranych substancji czynnych środków owadobójczych na trzmieľa ziemnego (*B. terrestris*). Wszelkie zaobserwowane działania odstraszaające mogą zmniejszyć ryzyko zarówno ostrego, jak i subletalnego zatrucia trzmieli. Środek chemiczny, syntetyczny

field conditions remain unclear, warranting further investigation in crops frequently visited by pollinators.

In early spring, bumblebees are often observed foraging on winter oilseed rape crops³¹⁾. Their early spring activity coincides with insecticide treatments targeting oilseed rape pests. Controlling these pests poses a risk of poisoning bumblebee queens. For bumblebee workers, which emerge approximately 24 days after the queen lays eggs, a threat comes from later treatments against the pollen beetle (*Brassicogethes aeneus* F.), as well as, during the flowering stages of oilseed rape, insecticide applications targeting the brassica pod midge (*Dasineura brassicae* Winn.), the cabbage seed weevil (*Ceutorhynchus assimilis* Payk.), and aphids such as the green peach aphid (*Myzus persicae* Sulz.) and the cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae* L.).

Given the threats that intensive plant protection poses to entomofauna, this study aimed to evaluate the potential repellent effects of selected insecticide active substances on the buff-tailed bumblebee (*B. terrestris*). Any observed repellent effect could reduce the risk of both acute and sublethal poisoning in bumblebees. A chemical agent, whether synthetic or naturally derived, that could temporarily deter bumblebees and honeybees from treated areas would be highly beneficial for practical agricultural applications.

lub pochodzenia naturalnego, który mógłby tymczasowo odstraszać trzmiele i pszczoły miodne od obszarów podanych działaniu tego środka, byłby bardzo korzystny w praktycznych zastosowaniach rolniczych.

W literaturze naukowej brakuje jednoznacznych badań potwierdzających brak odstrasżającego działania środków ochrony roślin na trzmiele. Większość dostępnych badań koncentruje się na negatywnym wpływie tych substancji zarówno na pszczoły miodne, jak i trzmiele, zajmując się przede wszystkim kwestiami śmiertelności i zmianami w zachowaniu. Chociaż naturalne pestycydy stosowane w systemach przenoszenia środków biologicznych przez pszczoły są ogólnie uważane za bezpieczne dla trzmieli, ich wpływ na zachowania związane z żerowaniem nie został szczegółowo zbadany. Na przykład w komercyjnych systemach wykorzystujących technikę *bee vectoring technology* trzmiele są wykorzystywane do przenoszenia grzyba *Clonostachys rosea*, który jest nieszkodliwy dla zapylaczy i chroni rośliny przed patogenami³²). To pokazuje, że trzmiele mogą tolerować niektóre preparaty pochodzenia biologicznego, ale nie oznacza, że wszystkie naturalne substancje nie mają na nie działania odstrasżającego. Konieczne są dalsze badania w celu oceny reakcji zachowań trzmieli na szeroką gamę biopestycydów.

Dlatego celem prezentowanych badań było ustalenie, czy którykolwiek z wybranych środków owadobójczych wykazuje działanie odstrasżające trzmiele.

Część doświadczalna

Lokalizacje

Badania przeprowadzono w 2 lokalizacjach (Winna Góra i Rokietnica w Wielkopolsce) w latach 2023 i 2024. Odległość w linii prostej między tymi miejscami wynosiła ok. 53 km. Oba miejsca znajdowały się na intensywnie uprawianych terenach rolniczych, gdzie dominowały zboża, rzepak, kukurydza i buraki cukrowe, a także mozaika mniejszych pól i sporadyczne pasy roślinności wieloletniej. Doświadczenia przeprowadzono na kwitnących uprawach rzepaku ozimego (druga dekada maja) i polach facelii (pierwsza dekada lipca w 2023 r. i ostatnie 10 dni czerwca w 2024 r.).

Na polach wyznaczono eksperymentalne poletka o powierzchni 10 m² (2 m × 5 m), oddzielone od siebie pasami buforowymi o szerokości 5 m. W każdej lokalizacji znajdowało się 28 działek (6 zabiegów owadobójczych × 4 powtórzenia + 4 działki kontrolne). Każdy wariant eksperymentalny został przeprowadzony w 4 powtórzeniach. Każdy zabieg oraz wersje kontrolne zastosowano na 4 niezależnych poletkach. Doświadczenia przeprowadzono w układzie bloków losowanych kompletnych. Każde poletko było niezależne przestrzennie, a pasy buforowe zapewniały odstęp między powtórzeniami. Poletka kontrolne były obszarami niepoddanymi zabiegom na tych samych polach. Na tych poletkach nie stosowano środków owadobójczych. Znajdowały się one w takich samych warunkach agronomicznych i środowiskowych. W przypadku ekspery-

*In the scientific literature, there is a lack of conclusive studies confirming the absence of a repellent effect of plant protection products on bumblebees. Most available research focuses on the negative impact of these substances on both honeybees and bumblebees, primarily addressing aspects of mortality and behavioral changes. Although natural pesticides used in bee vectoring systems are generally considered safe for bumblebees, their effects on foraging behavior have not been studied in detail. For example, in commercial Bee Vectoring Technology systems, bumblebees are used to deliver the fungal agent *Clonostachys rosea*, which is harmless to the pollinators and protects plants from pathogens³²). This illustrates that bumblebees can tolerate certain bio-based formulations, but does not imply the absence of repellent effects across all natural substances. Further research is necessary to assess the behavioral responses of bumblebees to a wide range of biopesticides.*

Therefore, the aim of this study was to determine whether any of the selected insecticides exhibit repellent effects on bumblebees as an unintended behavioral consequence.

Experimental

Locations

The experiments were conducted in 2 locations (Winna Góra and Rokietnica in Wielkopolska region) during the years 2023 and 2024. The straight-line distance between the sites was approximately 53 km. Both locations were situated in intensively cultivated agricultural landscapes dominated by cereals, oilseed rape, maize, and sugar beet, with a mosaic of smaller fields and occasional strips of perennial vegetation. They were carried out on flowering winter oilseed rape crops (second decade of May) and phacelia fields (first decade of July in 2023 and last 10 days of June in 2024).

Experimental plots of 10 m² (2 m × 5 m) were designated within the fields, separated by 5-meter-wide buffer strips. In total, each location contained 28 plots (6 insecticide treatments × 4 replicates + 4 control plots). Each experimental variant was performed with four replications (plots). Each treatment, including the control, was applied to four independent plots. The experimental design followed a completely randomized block structure within each field, with treatments randomly assigned to plots. Each plot was spatially independent, and buffer strips ensured behavioral separation between replicates. Control plots were untreated areas within the same fields, receiving no insecticide application, and located under the same agronomic and environmental conditions. The same methodology was applied for both oilseed rape and phacelia experiments. Phacelia was selected as test plant because it is highly attractive to bumblebees, flowers later than oilseed rape, and is widely cultivated as a forage and cover crop. Including this species allowed us to determine whether possible repellent effects

mentów dotyczących rzepaku i facelii zastosowano tę samą metodologię. Facelia została wybrana jako roślina testowa, ponieważ jest bardzo atrakcyjna dla trzmieli, kwitnie później niż rzepak i jest powszechnie uprawiana jako roślina pastewna i okrywowa. Włączenie tego gatunku pozwoliło ustalić, czy ewentualne działanie odstraszaające występuje konsekwentnie w przypadku różnych roślin kwiatowych i okresów kwitnienia.

Warunki agronomiczne i środowiskowe w obu lokalizacjach były bardzo podobne. Gleba była piaszczysto-gliniasta o średniej żyzności (pH 6,3–6,6, zawartość materii organicznej ok. 1,6%). Wykorzystano typowe odmiany uprawne uprawiane w regionie ('DK Expat' w przypadku rzepaku oleistego i 'Balo' w przypadku facelii). Wysiew i uprawę przeprowadzono zgodnie ze standardowymi zaleceniami dla Wielkopolski: jesienny wysiew rzepaku (koniec sierpnia), wiosenny wysiew facelii (połowa kwietnia), nawożenie mineralne w dawce 180 kg N/ha (podzielone na 2 zabiegi w przypadku rzepaku, pojedyncze w przypadku facelii) oraz brak nawadniania. Okoliczne pola w obu lokalizacjach zapewniały podobne możliwości żerowania dla zapylaczy, a inne uprawy kwitnące lub półnaturalne siedliska znajdowały się w odległości do 500 m. Biorąc pod uwagę podobieństwo warunków środowiskowych i agronomicznych w obu lokalizacjach, doświadczenia były bezpośrednio porównywalne. Niemniej jednak wyniki z Winnej Góry i Rokietnicy zostały przedstawione oddzielnie, aby uwzględnić potencjalne skutki charakterystyczne dla danego miejsca.

Warunki atmosferyczne

Dane meteorologiczne uzyskano z internetowej bazy danych TRAX Elektronik³³ na podstawie pomiarów z automatycznej stacji meteorologicznej w Poznaniu, która była najbliższym dostępnym punktem monitorowania dla obu lokalizacji (ok. 15 km od Rokietnicy i 50 km od Winnej Góry). Biorąc pod uwagę stosunkowo niewielkie różnice klimatyczne w regionie Wielkopolski, dane te uznano za reprezentatywne dla warunków panujących w obu lokalizacjach. Dla każdego okresu obserwacji zakres temperatur przedstawiony w tabeli 1 odnosi się do najniższej i najwyższej dziennej maksymalnej lub minimalnej temperatury powietrza zarejestrowanej w podanych danych. Opady są przedstawione jako suma opadów dla całego okresu. Wszystkie pomiary zostały wykonane automatycznie przez stację pogodową TRAX, która rejestruje dane meteorologiczne co godzinę.

Wartości podane w tabeli 1 odnoszą się do okresu między każdym wieczornym opryskiem a odpowiednimi dniami obserwacji. Wszystkie obserwacje trzmieli przeprowadzono w godzinach porannych, kiedy temperatury były stabilne i sprzyjały żerowaniu.

Materiały

Środki owadobójcze

Środki owadobójcze uwzględnione w badaniu zostały wybrane na podstawie ich powszechnego stosowania i ofi-

would occur consistently across different flowering plants and blooming periods.

Agronomic and environmental conditions at both sites were very similar. The soil type was loamy sand with moderate fertility (pH 6.3–6.6, organic matter content ~1.6%). The crops used were typical commercial varieties grown in the region ("DK Expat" for oilseed rape and "Balo" for phacelia). Sowing and cultivation practices followed standard recommendations for Wielkopolska: autumn sowing for oilseed rape (late August), spring sowing for phacelia (mid-April), mineral fertilization at 180 kg N/ha (split into two applications for oilseed rape, single for phacelia), and no irrigation. The surrounding fields at both sites provided similar forage opportunities for pollinators, with other flowering crops or semi-natural habitats located within 500 m. Given the similarity of environmental and agronomic conditions across both sites, the experimental design was directly comparable. Nevertheless, the results from Winna Góra and Rokietnica were presented separately to account for potential site-specific effects.

Weather conditions

Meteorological data were obtained from the TRAX Elektronik online database³³ using measurements from the Poznań automatic weather station, which was the nearest available monitoring point to both experimental sites (approx. 15 km from Rokietnica and 50 km from Winna Góra). Given the relatively small climatic variation within the Greater Poland region, these data were considered representative of the conditions at both locations. For each observation period, the temperature range presented in the Table 1 refers to the lowest and highest daily maximum or minimum air temperatures recorded across the listed dates. Precipitation is shown as the cumulative rainfall for the entire period. All measurements were performed automatically by a TRAX weather station, which records meteorological data on an hourly basis.

The values in Table 1 refer to the period between each evening spraying and the corresponding observation days. All bumblebee observations were conducted during morning hours when temperatures remained stable and suitable for foraging activity.

Materials

Insecticides

The insecticides included in the study were selected based on their widespread use and official recommendations for pest control in flowering winter oilseed rape crops in Central Europe. The tested substances belonged to 3 major chemical classes: pyrethroids, neonicotinoids, and butenolides, differing in both mode of action and physicochemical properties. Pyrethroids act on voltage-gated sodium channels, while acetamiprid and flupyradifurone affect nicotinic acetylcholine receptors in the insect nervous system. Moreover, acetamiprid and flupyradifurone are systemic

cyjnych zaleceń dotyczących zwalczania szkodników w uprawach kwitnącego rzepaku ozimego w Europie Środkowej. Badane substancje należały do 3 głównych grup chemicznych: pyretroidy, neonikotynoidy i butenolidy, różniących się zarówno sposobem działania, jak i właściwościami fizykochemicznymi. Pyretroidy oddziałują na kanały sodowe zależne od napięcia, natomiast acetamipryd i flupyradifuron oddziałują na nikotynowe receptory acetylocholino w układzie nerwowym owadów. Ponadto acetamipryd i flupyradifuron są insektycydami o działaniu ogólnoustrojowym, zdolnymi do przemieszczania się w tkankach roślinnych, podczas gdy pyretroidy są środkami o działaniu nieogólnoustrojowym i działają głównie poprzez kontakt. Niektórzy producenci środków owadobójczych sugerują, że wybrane pyretroidy mogą mieć działanie odstraszające wobec zapylaczy ze względu na swoje właściwości drażniące przy kontakcie lub lotność, chociaż dowody na to są niespójne^{28, 29}.

Zastosowano 4 pyretroidy: (i) cypermetrynę, Sherpa 100 EC, zawartość substancji czynnej 10,76%, zalecana dawka 0,3 L/ha (kontaktowa dawka śmiertelna LD₅₀ > 0,119 µg/pszczoła, doustna dawka śmiertelna LD₅₀ > 0,263 µg/pszczoła); (ii) deltametrynę, Decis Mega 50 EW, zawartość substancji czynnej 4,8%, zalecana dawka 0,15 L/ha (kontaktowa dawka śmiertelna LD₅₀ > 0,2 µg/pszczoła, doustna dawka śmiertelna LD₅₀ > 0,61 µg/pszczoła); (iii) lambda-cyhalotrynę, Karate Zeon 050 CS, zawartość substancji czynnej 4,81%, zalecana dawka 0,15 L/ha (kontaktowa dawka śmiertelna LD₅₀ > 0,11 µg/pszczoła, doustna dawka śmiertelna LD₅₀ > 0,16 µg/pszczoła); (iv) oraz tau-fluwalinat, Marvik Vita 240 EW, zawartość substancji czynnej 22,06%, zalecana dawka 0,2 L/ha (kontaktowa dawka śmiertelna LD₅₀ niedostępna, doustna dawka śmiertelna LD₅₀ 31,3 µg/pszczoła).

Jako neonikotynoid zastosowano acetamipryd, Mospilan 20 SP, zawartość substancji czynnej 20%, zalecana dawka 0,2 L/ha (kontaktowa dawka śmiertelna LD₅₀ > 100 µg/pszczoła, doustna dawka śmiertelna LD₅₀ 22,2 µg/pszczoła).

Jako butenolid zastosowano flupyradifuron, Sivanto Prime, zawartość substancji czynnej 17,09%, zalecana dawka 0,9 L/ha (kontaktowa dawka śmiertelna LD₅₀ > 100 µg/pszczoła, doustna dawka śmiertelna LD₅₀ > 1,7 µg/pszczoła). Zarejestrowany w sadach. Nie jest dopuszczony do samodzielnego stosowania dolistnego w przypadku rzepaku ozimego.

Wartości LD₅₀ ostrej toksyczności dla trzmieli ziemnych (*B. terrestris*), podane w nawiasach, oparte są na danych pochodzących z bazy danych footprint PPDB³⁴.

Trzmiele

Aby zwiększyć możliwość obserwacji zachowania trzmieli na poletkach eksperymentalnych, w pobliżu obszarów testowych umieszczono 10 komercyjnych kolonii *B. terrestris* (standardowe ule). Kolonie zostały dostarczone przez firmę Biobest (Polska). Każdy ul zawierał ok. 50 robotnic trzmieli ziemnych. Kolonie zostały umieszczone

insecticides, capable of translocating within plant tissues, whereas pyrethroids are non-systemic and act primarily through contact. Some insecticide manufacturers suggest that selected pyrethroids may possess deterrent effects on pollinators due to their contact irritancy or volatile properties, although evidence is inconsistent^{28, 29}.

Four pyrethroids were used: cypermethrin, Sherpa 100 EC, active substance content 10.76%, recommended dose 0.3 L/ha (contact acute LD₅₀ > 0.119 µg/bee, oral acute LD₅₀ > 0.263 µg/bee); deltamethrin, Decis Mega 50 EW, active substance content 4.8%, recommended dose 0.15 L/ha (contact acute LD₅₀ > 0.2 µg/bee, oral acute LD₅₀ > 0.61 µg/bee; lambda-cyhalothrin, Karate Zeon 050 CS, active substance content 4.81%, recommended dose 0.15 L/ha (contact acute LD₅₀ > 0.11 µg/bee, oral acute LD₅₀ > 0.16 µg/bee); and tau-fluvalinate, Marvik Vita 240 EW, active substance content 22.06%, recommended dose 0.2 L/ha (contact acute LD₅₀ not available, oral acute LD₅₀ 31.3 µg/bee).

As neonicotinoid, acetamiprid, Mospilan 20 SP, active substance content 20%, recommended dose 0.2 L/ha (contact acute LD₅₀ > 100 µg/bee, oral acute LD₅₀ 22.2 µg/bee) was used.

As butenolid, flupyradifurone, Sivanto Prime, active substance content 17.09%, recommended dose 0.9 L/ha (contact acute LD₅₀ > 100 µg/bee, oral acute LD₅₀ > 1.7 µg/bee) was used. In orchards, it is not approved for independent foliar application in winter oilseed rape.

*The acute toxicity LD₅₀ values for buff-tailed bumblebees (*B. terrestris*), provided in parentheses, are based on data from the actual Pesticide Properties Database (PPDB)³⁴.*

Bumblebees

*To enhance the possibility of observing bumblebee behavior in the experimental plots, 10 commercial colonies of *B. terrestris* (standard hives) were placed near the test areas. The colonies were supplied by Biobest (Poland). Each hive contained approximately 50 worker buff-tailed bumblebees. Colonies were placed at the field edges 48 h prior to the first insecticide treatment to allow for acclimatization and orientation in the environment. The hives remained in place for the duration of the experiment, including both observation periods.*

Methods

Spraying treatments were conducted in the evening hours, between 8:00 PM and 8:30 PM. The highest recommended doses for controlling oilseed rape pests during the flowering period were applied. A hand-held pressure sprayer equipped with a flat-fan nozzle was used, which allowed for uniform coverage of the crop canopy on small plots and minimized spray drift beyond plot boundaries. All applications were performed under stable weather conditions with low wind speed (< 2 m/s), and no rainfall was recorded before or after spraying. The experiment used concentrations of the

Table 4. Effect of insecticides on the presence and behavior of bumblebees in phacelia fields in Rokietnica

Tabela 4. Wpływ środków owadobójczych na obecność i zachowanie trzmieli na polach facelii w Rokietnicy

Substance/ Substancja	Year/ Rok	Number of bumblebees per plot/Liczba trzmieli na poletku		Bumblebees behavior/ Zachowanie trzmieli		Time spent on a single flower/Czas poświęcony na 1 kwiat, s		Number of flowers visited/Liczba odwiedzonych kwiatów, 1/min	
		day/dzień		day/dzień		day/dzień		day/dzień	
		1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.
Control/Kontrola	2023	12a	10a	land on flowers/ lądują na kwiatach		1.5a	1.5a	34a	40a
	2024	10a	8a			2.0a	1.5a	39a	24a
Cypermethrin/ Cypermetryna	2023	11a	11a			1.5a	1.5a	27a	29a
	2024	7a	10a			1.5a	1.5a	37a	26a
Deltamethrin/ Deltametryna	2023	13a	14a			1.5a	2.0a	39a	25a
	2024	10a	11a			2.0a	1.5a	35a	29a
Lambda-cyhalothrin/ Lambda-cyhalotryna	2023	8a	8a			1.5a	1.5a	27a	32a
	2024	14a	9a			2.0a	2.0a	39a	27a
Tau-fluvalinate/ Tau-fluwalinat	2023	9a	11a			1.5a	2.0a	32a	39a
	2024	9a	6a			1.5a	2.0a	30a	36a
Acetamiprid/ Acetamipryd	2023	13a	12a			1.5a	1.5a	36a	23a
	2024	12a	11a			1.5a	1.5a	39a	24a
Flupyradifuronel/ Flupyradifuron	2023	10a	13a			2.0a	1.5a	28a	36a
	2024	13a	8a			1.5a	1.5a	24a	26a
LSD _{0,05} for substance/ LSD _{0,05} dla substancji		5.47	5.13			0.63	0.44	11.2	12.89
LSD _{0,05} for year/ LSD _{0,05} dla roku		2.56	2.21			0.26	0.28	6.13	6.48
LSD _{0,05} for substance×year/ LSD _{0,05} dla substancji×rok		7.04	9.22			0.66	0.76	17.17	18.09

a, b, c – means followed by the same letters are not significantly different/średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie

na skraju pola 48 h przed pierwszym zabiegiem owadobójczym, aby umożliwić im aklimatyzację i orientację w środowisku. Ule pozostawały na miejscu przez cały czas trwania eksperymentu, w tym podczas obu okresów obserwacji.

Metodyka badań

Opryski przeprowadzano wieczorem, między godziną 20:00 a 20:30. Zastosowano najwyższe zalecane dawki do zwalczania szkodników rzepaku w okresie kwitnienia. Zastosowano ręczny opryskiwacz ciśnieniowy wyposażony w dyszę płaskostrumieniową, co pozwoliło na równomierne pokrycie roślinności na małych poletkach i zminimalizowało znoszenie oprysku poza granice poletka. Wszystkie zabiegi przeprowadzono w stabilnych warunkach pogodowych, przy małej prędkości wiatru (< 2 m/s), a przed i po oprysku nie odnotowano opadów deszczu. W doświadczeniach zastosowano stężenia zalecanych dawek, przyjmując wykorzystanie 200 L wody na hektar.

Obecność i zachowanie trzmieli obserwowano następnego dnia po wieczornym oprysku oraz ponownie 3. dnia po zabiegu, między godziną 8:00 a 10:30. Obserwacje przeprowadziło 4 obserwatorów, z których każdy poświęcił 10 min na każde poletko. W tym czasie każdy obserwator rejestrował obecność trzmieli i dokumentował zachowanie 3 osobników w ciągu 2

recommended water doses based on the assumption of 200 L/ha.

Bumblebee presence and behavior were observed the day after the evening spraying and again on the third day after treatment, between 8:00 AM and 10:30 AM. Observations were conducted by four observers, each spending 10 min per plot. During this time, each observer recorded the presence of bumblebees and documented the behavior of 3 individuals within a 2-min period, noting the time spent on a single inflorescence and the number of inflorescences visited. During each 10min long observation session, the number of foraging bumblebees present in the plot was recorded as a snapshot at a given time, rather than as a cumulative total. For detailed behavioral data, three different individuals were tracked for 2 min each, avoiding repeated observation of the same insect within a session.

Repellent effects were assessed by comparing the number of bumblebees observed and the intensity of their foraging activity (time spent per inflorescence and number of inflorescences visited) between treated and control plots. A lower frequency of visits or shorter foraging time in treated plots was interpreted as a repellent effect. Lethal poisoning was not quantitatively assessed, as this was not the primary

min, odnotowując czas spędzony na jednym kwiatostanie oraz liczbę odwiedzonych kwiatostanów. Podczas każdej 10-minutowej sesji obserwacyjnej liczba trzmieli żerujących na poletku była rejestrowana w pojedynczym momencie, a nie jako suma łączna. W celu uzyskania szczegółowych danych dotyczących zachowania trzmieli, obserwowano 3 różne osobniki przez 2 min każdy, unikając powtarzających się obserwacji tego samego owada w ramach jednej sesji.

Oddziaływanie repelentów oceniono poprzez porównanie liczby zaobserwowanych trzmieli i intensywności ich aktywności żerowej (czas spędzony na kwiatostanie i liczba odwiedzonych kwiatostanów) między poletkami poddanyymi działaniu repelentów a poletkami kontrolnymi. Mniejsza częstotliwość odwiedzin lub krótszy czas poszukiwania pożywienia na poletkach poddanych zabiegowi została zinterpretowana jako efekt odstraszający. Nie dokonano ilościowej oceny śmiertelnych zatrueń, ponieważ nie było to głównym celem badania. Jednak obserwatorzy zauważyli, że w trakcie obserwacji na poletkach nie znaleziono żadnych martwych lub umierających trzmieli.

Analiza statystyczna

Normalność rozkładu obserwowanych cech została zbadana za pomocą testu normalności *W* (Shapiro i Wilk)^{35, 36} w celu sprawdzenia, czy spełnione są założenia umożliwiające zastosowanie analizy wariancji (ANOVA). Jednorodność wariancji oceniono za pomocą testu Bartletta. Test *M* Boxa został użyty do sprawdzenia wielowymiarowej normalności i jednorodności macierzy wariancji-kowariancji. Przeprowadzono trójczynnиковą analizę wariancji (ANOVA) w celu określenia efektów głównych substancji, roku, lokalizacji i ich interakcji pod względem zmienności poszczególnych cech. Obliczono wartości średnie cech. Dodatkowo obliczono najmniejsze istotne różnice (LSD) Fishera dla poszczególnych cech na poziomie 0,05 i na ich podstawie utworzono grupy jednorodne. Wszystkie te analizy zostały przeprowadzone przy użyciu pakietu statystycznego GenStat v. 23³⁷.

Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki badań zostały przedstawione w tabelach 2–5. Podczas żerowania osobniki odwiedzały kwiaty rzepaku i facelii średnio odpowiednio 13–26 i 23–42 kwiatostanów na minutę. Na przykład w 2024 r. trzmiel odwiedzały do 26 kwiatów na minutę na polach uprawnych rzepaku poddanych zabiegom oraz do 41 kwiatów na minutę na polach uprawnych facelii poddanych zabiegom z użyciem acetamiprydu. Średni czas poświęcony na jeden kwiat wynosił 1,0–2,0 s we wszystkich przypadkach i terminach. Obserwatorzy nie zauważyli żadnych wizualnych oznak unikania, wahania lub zmniejszonej motywacji do poszukiwania pożywienia. Nie zaobserwowano żadnego odstraszającego wpływu testowanych pyretroidów, acetamiprydu ani flupyradifuronu na trzmiel.

Trzmiel żerował normalnie na roślinach poddanych działaniu środków ochrony roślin, co wskazuje na poten-

tywność repelentów. Jednak obserwatorzy zauważyli, że nie było żadnych oznak unikania, wahania lub zmniejszonej motywacji do poszukiwania pożywienia. Nie zaobserwowano żadnego odstraszającego wpływu testowanych pyretroidów, acetamiprydu ani flupyradifuronu na trzmiel.

Statistical analysis

The normality of distribution of the observed traits was tested using the Shapiro-Wilk normality *W*-test^{35, 36} to verify whether the analysis of variance (ANOVA) met the assumption that the ANOVA model residuals followed a normal distribution. Homogeneity of variances was evaluated using Bartlett test. Box *M* test was used for testing multivariate normality and homogeneity of variance-covariance matrices. Three-way analyses of variance (ANOVA) were carried out to determine the main effects of substance, year, location and their interactions on the variability of the particular traits. The mean values of traits were calculated. Additionally, Fisher least significant differences (LSD) were calculated for individual traits at the 0.05 level, and on this basis, homogeneous groups were generated. All these analyses were conducted by using the GenStat v. 23 statistical software package³⁷.

Results

Results of the study were collected in Tables 2–5. During feeding, individuals visited oilseed rape and phacelia flowers at an average rate of approximately 13–26 and 23–42 inflorescences per minute, respectively. For instance, in 2024, bumblebees visited up to 26 flowers per minute on treated oilseed rape plots and up to 41 flowers per minute on phacelia plots treated with acetamiprid. The average time spent on a single flower ranged from 1.0 s to 2.0 s across all treatments and dates. No visual indicators of avoidance behavior, hesitation, or reduced foraging motivation were noted by observers. No repellent effects of the tested pyrethroids, acetamiprid, or flupyradifurone on bumblebees were observed.

Notably, bumblebees foraged normally on treated plants, indicating potential contact with and ingestion of insecticide residues, particularly in the case of systemic compounds such as acetamiprid and flupyradifurone. However, no cases of lethal poisoning were observed.

Finally, the frequency of visits to phacelia was consistently higher than that to winter oilseed rape, likely due to the greater attractiveness of phacelia, which provides more accessible and abundant nectar resources.

All the traits had a normal distribution. Analysis of variance revealed that the effects of all interaction were not significant for all the traits studied. ANOVA indicated that the main effect of substance was significant only for the number of bumblebees per plot in 3rd day in Rokietnica (Table 2) and the number of bumblebees per plot in 3rd day in Winna Góra (Table 3).

Any potential repellent effects of selected insecticide active substances on the buff-tailed bumblebee (*B. terrestris*) were indicated by the results. This applied to both

cialny kontakt z pozostałościami środków owadobójczych i ich spożycie, szczególnie w przypadku związków systemicznych, takich jak acetamipryd i flupyradifuron. Nie zaobserwowano jednak żadnych przypadków śmiertelnego zatrucia. Częstotliwość odwiedzin facelii była konsekwentnie wyższa niż rzepaku ozimego, prawdopodobnie ze względu na większą atrakcyjność facelii, która zapewnia łatwiej dostępne i obfitsze zasoby nektaru.

Wszystkie cechy miały rozkład normalny. Analiza wariancji wykazała, że wpływ wszystkich interakcji nie był istotny dla wszystkich badanych cech. Analiza wariancji wykazała, że efekt główny substancji był istotny statystycznie tylko w przypadku liczby trzmieli na poletko w 3. dniu w Rokietnicy (tabela 2) oraz liczby trzmieli na poletko w 3. dniu w Winnej Górze (tabela 3).

Wyniki badań wskazały na brak potencjalnego działania odstraszającego wybranych substancji czynnych środków owadobójczych na trzmiele ziemne (*B. terrestris*). Dotyczyło to zarówno obserwacji przeprowadzonych 1. dnia (12 h po zastosowaniu środków chemicznych), jak i 3. dnia (ok. 60 h po zastosowaniu środków). Zachowanie trzmieli na powierzchniach pokrytych środkiem owadobójczym było podobne do zachowania w grupie kontrolnej oraz do obserwacji dokonanych przed rozpoczęciem eksperymentu. We wszystkich przypadkach trzmiele wykazywały porównywalną aktywność żerową. Podczas żerowania lądowały na kwiatostanach rzepaku i facelii w tempie 14–41 kwiatów na 1 min, w zależności od uprawy. W związku z tym nie zaobserwowano żadnych zmian w zachowaniu owadów ani 1., ani 3. dnia obserwacji.

Podobne wyniki dotyczące braku działania odstraszającego środków owadobójczych uzyskano w warunkach polowych i półpolowych dla pszczoł miodnych (*Apis mellifera* L.) i błyszczki jarzynówki (*Autographa gamma* L.) przez Węgorka i współpr.¹⁸⁾ W ich badaniu obecność pyretroidów nie wywołała u pszczoł miodnych żadnych zachowań polegających na unikaniu tych substancji. Ponadto, Rieth i Levin²⁸⁾ oraz Cresswell²⁹⁾ zauważyli, że chociaż niektóre syntetyczne środki owadobójcze mogą wywoływać efekt odstraszający poprzez podrażnienie zmysłu węchu, takie reakcje są niejednolite i różnią się w zależności od związku, preparatu i gatunku zapylacza.

Brak zauważalnych zmian w zachowaniu trzmieli na powierzchniach poddanych działaniu środków może sugerować, że zarówno kontaktowe, jak i doustne narażenie na działanie składników aktywnych badanych środków ochrony roślin zostało złagodzone przez mechanizmy detoksykacyjne trzmieli, zanim toksyny osiągnęły poziom wystarczający do wywołania objawów zatrucia. Podobnie jak pszczoły miodne, trzmiele ziemne wykształciły mechanizmy detoksykacyjne, oparte głównie na aktywności genów cytochromu P450 (CYPs, CYP9Q, CYP6), a także genów GST (GSTD i GSTE) i genów esterazy (CCE, w tym CgrEs i CCEs, które kodują karboksyloesterazy)^{27, 38)}. Te geny kodują

observations conducted on the first day (12 h after chemical treatment) and on the third day (approximately 60 h after treatment). Bumblebee behavior on insecticide-treated surfaces was similar to that in the control group and to observations made before the experiment started. In all treatments, bumblebees exhibited comparable foraging activity. During their feeding activity, they landed on oil-seed rape and phacelia inflorescences at a rate ranging from 14 to 41 flowers per minute, depending on the crop and treatment. Thus, no changes in insect behavior were observed on either the first or third day of observation.

Similar results regarding the lack of repellent effects of insecticides were obtained in field and semi-field conditions for the honeybee (*Apis mellifera* L.) and silver Y moths (*Autographa gamma* L.) by Węgorek et al.¹⁸⁾. In their study, presence of pyrethroids did not result in any avoidance behavior in honeybees after treatment of flowering plants. Additionally, Rieth and Levin²⁸⁾ and Cresswell²⁹⁾ noted that while some synthetic insecticides might produce deterrent effects through olfactory irritation, such responses are inconsistent and vary with compound, formulation, and pollinator species.

The absence of observable changes in bumblebee behavior on treated surfaces may suggest that both contact and oral exposure to the active ingredients of the tested plant protection products were mitigated by bumblebee detoxification mechanisms before the toxins could reach levels sufficient to cause poisoning symptoms. Like honeybees, buff-tailed bumblebees have evolved detoxification mechanisms, primarily based on the activity of cytochrome P450 genes (CYPs, CYP9Q, CYP6), as well as GST genes (GSTD and GSTE) and esterase genes (CCE, including CgrEs and CCEs, which encode carboxylesterases)^{27, 38)}. These genes encode enzymes that neutralize toxins, including the active ingredients of plant protection products.

The lack of a repellent effect of the tested insecticides and the continuous contact of bumblebee workers with treated plants indicate a potential delayed impact on colonies, as workers bring contaminated pollen and nectar back to the hive. No cases of acute bumblebee poisoning were observed during the study, although such incidents cannot be ruled out. However, bumblebee poisoning due to exposure to various plant protection products has been reported in the literature, highlighting the potential risks associated with their use in the absence of a repellent effect^{15, 26, 27, 39)}.

The aim of our study was to determine whether the buff-tailed bumblebee can avoid intoxication with a plant protection product through a rapid, instinctive, evolutionarily developed behavioral response or by remembering olfactory cues after intoxication. No such reactions were observed. However, findings from other authors suggest that certain active substances may exhibit a repellent effect on bumblebees, influencing their foraging behavior. Conversely, several studies have shown that pollinators often fail to avoid insecticide-contaminated resources,

Table 5. Effect of insecticides on the presence and behavior of bumblebees in phacelia fields in Winna Góra

Tabela 5. Wpływ środków owadobójczych na obecność i zachowanie trzmieli na polach facelii w Winnej Górze

Substance/ Substancja	Year/ Rok	Number of bumblebees per plot/Liczba trzmieli na poletku		Bumblebees behavior/ Zachowanie trzmieli		Time spent on a single flower/Czas poświęcony na 1 kwiat, s		Number of flowers visited/Liczba odwiedzonych kwiatów, 1/min	
		day/dzień		day/dzień		day/dzień		day/dzień	
		1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.	1 st /1.	3 rd /3.
Control/Kontrola	2023	14a	12a	land on flowers/ lądują na kwiatach		1.5a	1.5a	36a	42a
	2024	12a	10a			2.0a	1.5a	41a	26a
Cypermethrin/ Cypermetryna	2023	13a	13a			1.5a	1.5a	29a	31a
	2024	9a	12a			1.5a	1.5a	39a	28a
Deltamethrin/ Deltametryna	2023	15a	16a			1.5a	2.0a	41a	27a
	2024	12a	13a			2.0a	1.5a	37a	31a
Lambda-cyhalothrin/ Lambda-cyhalotryna	2023	10a	10a			1.5a	1.5a	29a	34a
	2024	16a	11a			2.0a	2.0a	41a	29a
Tau-fluvalinate/ Tau-fluwalinat	2023	11a	13a			1.5a	2.0a	34a	41a
	2024	11a	8a			1.5a	2.0a	32a	38a
Acetamiprid/ Acetamipryd	2023	15a	14a			1.5a	1.5a	38a	25a
	2024	14a	13a			1.5a	1.5a	41a	26a
Flupyradifuronel/ Flupyradifuron	2023	12a	15a			2.0a	1.5a	30a	38a
	2024	15a	10a			1.5a	1.5a	26a	28a
LSD _{0.05} for substance/ LSD _{0.05} dla substancji		5.47	5.13			0.63	0.45	11.2	12.89
LSD _{0.05} for year/ LSD _{0.05} dla roku		2.57	2.22			0.27	0.28	6.13	6.48
LSD _{0.05} for substance×year/ LSD _{0.05} dla substancji×rok		8.78	9.04			0.87	0.59	16.92	19.11

a, b, c – means followed by the same letters are not significantly different/średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie

enzymy neutralizujące toksyny, w tym substancje czynne środków ochrony roślin.

Brak odstraszającego działania testowanych środków owadobójczych oraz ciągły kontakt robotnic trzmieli z roślinami poddanymi działaniu tych środków wskazuje na potencjalny opóźniony wpływ na kolonie, ponieważ robotnice przenoszą zanieczyszczony pyłek i nektar z powrotem do ula. W trakcie badania nie zaobserwowano żadnych przypadków ostrego zatrucia trzmieli, chociaż nie można wykluczyć takich zdarzeń. Jednak w literaturze odnotowano przypadki zatrucia trzmieli spowodowane narażeniem na działanie różnych środków ochrony roślin, co podkreśla potencjalne ryzyko związane z ich stosowaniem w przypadku braku działania odstraszającego^{15, 26, 27, 39)}.

Celem zaprezentowanych doświadczeń było ustalenie, czy trzmiel ziemny może uniknąć zatrucia środkiem ochrony roślin poprzez szybką, instynktowną, wykształconą ewolucyjnie reakcję behawioralną lub poprzez zapamiętanie sygnałów zapachowych po zatruciu. Nie zaobserwowano takich reakcji. Jednak wyniki badań innych autorów sugerują, że niektóre substancje czynne mogą wykazywać odstraszające działanie na trzmiele, wpływając na ich zachowania związane z poszukiwaniem pożywienia. Z drugiej strony, kilka badań wykazało, że zapylacze często nie są w stanie

even when exposed to lethal or sublethal doses. For instance, Decourtye and Devillers⁴⁰⁾ reviewed numerous cases where neonicotinoids did not elicit avoidance behavior in bees. Kessler et al.¹⁹⁾ even demonstrated that honeybees and bumblebees may develop a preference for nectar containing neonicotinoids, increasing their exposure risk. Havstad et al.⁴¹⁾ confirmed of repellent activity of lambda-cyhalothrin and alpha-cypermethrin in bumblebees under controlled conditions. The impact of tau-fluvalinate and some acaricide active substances on the olfactory memory processes of bumblebees was reported by Gashout et al.⁴²⁾. In a study by Kenna et al.²⁶⁾ on the foraging dynamics of *B. terrestris*, a significant decrease in foraging activity was noted in response to imidacloprid exposure. Similar conclusions regarding imidacloprid were drawn from research conducted by Muth and Leonard⁴³⁾. Other studies⁴⁴⁾ indicate that certain chemical substances can alter the electrical field of flowers, deterring bumblebees and consequently reducing pollination efficiency.

Although repellent effects have not been reported for certain natural pesticides, this cannot be definitively extended to all bio-based plant protection products. Further scientific research is necessary to determine their potential

uniknąć zasobów skażonych środkami owadobójczymi, nawet gdy są narażone na działanie dawek śmiertelnych lub subletalnych. Na przykład, Decourtye i Devillers⁴⁰⁾ przeanalizowali liczne przypadki, w których neonikotynoidy nie wywoływały zachowań unikowych u pszczoł. Kessler i współpracownicy¹⁹⁾ wykazali nawet, że pszczoły miodne i trzmielę mogą rozwijać preferencję dla nektaru zawierającego neonikotynoidy, co zwiększa ryzyko ich zatrucia. Havstad i współpracownicy⁴¹⁾ potwierdzili działanie odstraszające lambda-cyhalotryny i alfa-cypermetyryny na trzmielę w kontrolowanych warunkach. Wpływ tau-fluwalinatu i niektórych substancji czynnych akarycydów na procesy pamięci węchowej trzmieli został opisany przez Gashouta i współpracowników⁴²⁾. W badaniu przeprowadzonym przez Kenę i współpracowników²⁶⁾ dotyczącym dynamiki żerowania *B. terrestris* odnotowano znaczny spadek aktywności żerowej w reakcji na ekspozycję na imidachlopyrd. Podobne wnioski dotyczące imidachlopyrdy wyciągnięto z badań przeprowadzonych przez Muth i Leonarda⁴³⁾. Inne badania⁴⁴⁾ wskazują, że niektóre substancje chemiczne mogą zmieniać pole elektryczne kwiatów, odstraszając trzmielę, a w konsekwencji zmniejszając skuteczność zapylania.

Chociaż nie odnotowano działania odstraszającego niektórych naturalnych pestycydów, nie można tego jednoznacznie odnieść do wszystkich bioproduktów w ochronie roślin. Konieczne są dalsze badania naukowe w celu określenia ich potencjalnego wpływu na zachowanie trzmieli. Kluczowym kierunkiem przyszłych badań powinno być zidentyfikowanie substancji biologicznie czynnych, które mogłyby tymczasowo odstraszać *B. terrestris* od powierzchni poddanych działaniu tych substancji, zmniejszając w ten sposób ryzyko zarówno ostrego, jak i subletalnego zatrucia tych podstawowych zapylaczy.

Wnioski

Badania mające na celu ocenę potencjalnego działania odstraszającego wybranych składników aktywnych środków owadobójczych na trzmielę ziemne nie wykazały żadnych dowodów na działanie odstraszające (tabele 2–5). Ten wniosek opiera się na bezpośrednich obserwacjach zachowań oraz analizie porównawczej wskaźników żerowania między poletkami poddanymi zabiegom a poletkami kontrolnymi. Na wszystkich badanych poletkach obecne były trzmielę, które aktywnie żerowały podczas obu dni obserwacji. Zachowanie trzmieli na poletkach, na których zastosowano środki owadobójcze, nie różniło się znacząco od tego, co zaobserwowano na poletkach kontrolnych lub od obserwacji bazowych przed zastosowaniem środków.

Aktywność żerowania trzmieli na facelii i rzepaku ozimym poddanych zabiegom pozostawała porównywalna z aktywnością na działkach kontrolnych, zarówno krótko po zastosowaniu środka, jak i w kolejnych dniach. Sugeruje to, że trzmielę nie unikają roślin poddanych działaniu pestycydów, co może prowadzić do ciągłej ekspozycji i przenoszenia skażonego nektaru i pyłku z powrotem do

*influence on bumblebee behavior. A key direction for future studies should be the identification of biologically active substances that could temporarily deter *B. terrestris* from treated surfaces, thereby reducing the risk of both acute and sublethal poisoning of these essential pollinators.*

Conclusions

The studies aimed at evaluating the potential repellent effects of selected insecticide active ingredients on buff-tailed bumblebees did not reveal any evidence of the repellency (Tables 2–5). This conclusion is based on direct behavioral observations and comparative analysis of foraging metrics between treated and control plots. In all treated plots, bumblebees were present and actively foraging during both observation days. The behavior of bumblebees on plots treated with insecticides did not differ noticeably from that observed in the control plots or from baseline observations prior to the treatments.

Bumblebee foraging activity on treated phacelia and winter oilseed rape remained comparable to that in control plots, both shortly after application and in the following days. This suggests that bumblebees do not avoid treated plants, which may lead to continued exposure and the transport of contaminated nectar and pollen back to the colony. No immediate behavioral changes or poisoning symptoms were observed, possibly due to the effective detoxification mechanisms of bumblebees. However, the absence of avoidance behavior may increase the risk of delayed or sublethal effects on colonies.

The potential for synthetic plant protection products to affect pollinator health remains an open question. Future research should focus on identifying substances that could temporarily deter bumblebees from recently treated crops as a means to reduce the risk of exposure and support pollinator protection in agricultural landscapes. This could be beneficial not only for pollinators and biodiversity, but also for farmers and crop protection product manufacturers, since avoiding pollinator poisoning increases the chances of successful pollination in later stages.

Received/Otrzymano: 20-08-2025

Reviewed/Zrecenzowano: 09-09-2025

Accepted/Zaakceptowano: 26-09-2025

Published/Opublikowano: 20-10-2025

kolonii. Nie zaobserwowano żadnych natychmiastowych zmian w zachowaniu ani objawów zatrucia, prawdopodobnie dzięki skutecznym mechanizmom detoksykacyjnym trzmieli. Jednak brak zachowań unikowych może zwiększyć ryzyko opóźnionych lub subletalnych skutków dla kolonii. Potencjalny wpływ syntetycznych środków ochrony roślin na zdrowie zapylaczy pozostaje kwestią otwartą. Przyszłe badania powinny skupiać się na identyfikacji substancji, które mogłyby tymczasowo odstraszać trzmiel od niedawno opryskanej uprawy, co pozwoliłoby zmniejszyć ryzyko zatrucia i wspierać ochronę zapylaczy w środowisku rolniczym. Może to być korzystne nie tylko dla zapylaczy i różnorodności biologicznej, ale także dla rolników i producentów środków ochrony roślin, ponieważ uniknięcie zatrucia zapylaczy zwiększa szanse na pomyślne zapylenie w późniejszych etapach.

REFERENCES/LITERATURA

[1] J. Banaszak, *Trzmiel Polski*, Wydawnictwo WSP w Bydgoszczy, 1993.

[2] T. Pawlikowski, *A field guide to identification of bumblebees in Poland*, Wyd. Nauk. Uniwersytetu im. Mikołaja Kopernika, Toruń 1999; ISBN 83-231-1074-3.

[3] J. Ollerton, *Ann. Rev. Ecol. Evolution Systematics* 2017, 48, nr 1, doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022919.

[4] R. Winfree, J.R. Reilly, I. Bartomeus, D.P. Cariveau, N.M. Williams, J. Gibbs, *Science* 2018, **359**, 791.

[5] M. Hurej, J. Twardowski, *Zesz. Nauk. Akad. Roln. Wrocław, Rolnictwo* 1999, **74**, 83.

[6] M. Fussell, S.A. Corbet, *J. Appl. Ecol.* 1992, **29**, nr 2, 451.

[7] N.L. Carreck, I.H. Williams, *J. Insect Conserv.* 2002, **6**, 13.

[8] H.M. Thompson, L.V. Hunt, *Ecotoxicology* 1999, **8**, 147.

[9] S.A. Corbet, M. Fussell, R. Ake, A. Fraser, C. Gunson, A. Savage, K. Smith, *Ecol. Entomol.* 1993, **18**, nr 1, 17.

[10] G. Ghisbain, W. Thiery, F. Massonnet, D. Erazo, P. Rasmont, D. Michez, S. Dellicour, *Nature* 2023, **628**, 337.

[11] J. Brunet, F.P. Frago, *CABI Rev.* 2024, 19, doi.org/10.1079/cabireviews.2024.0016.

[12] W. Gnatzy, J. Tautz, *Owady. Udane modele ewolucyjne*, Wyd. Pasieka Smakulskich, 2024; ISBN 978-83-960588-6-7.

[13] P.R. Whitehorn, S. O'Connor, F.L. Wackers, D. Goulson, *Science* 2012, 336, doi: 10.1126/science.1215025.

[14] A. Camp, D.M. Lehman, *Environ. Toxicol. Chem.* 2020, **40**, nr 2, doi:10.1002/etc.4939.

[15] H.M. Thompson, *Apidologie* 2001, **32**, 305.

[16] G.L. Baron, N.E. Raine, M.J.F. Brown, *J. Appl. Ecol.* 2014, doi.org/10.1111/1365-2664.12205.

[17] J. Belsky, N.J. Joshi, *Front. Environ. Sci.* 2020, **8**, doi.org/10.3389/fenvs.2020.00081.

[18] P. Węgorek, J. Zamojska, D. Dworżańska, *Fresenius Environ. Bull.* 2015, **24**, nr 5, 1742.

[19] S.C. Kessler, E.J. Tiedeken, K.L. Simcock, S. Derveau, J. Mitchell, S. Softley, A. Radcliffe, J.V. Stout, G.A. Wright, *Nature* 2015, **521**, 74, doi.org/10.1038/nature14414.

[20] R.H. Parkinson, J. Scott, A.L. Dorling, H. Jones, M. Haslam, A.E. McDermott-Roberts, G.A. Wright, *eLife* 2023, **12**, RP89129, doi.org/10.7554/eLife.89129.2.

[21] Rozporządzenie Ministerstwa Środowiska z dn. 16 grudnia 2016 r. w sprawie ochrony gatunkowej zwierząt, *Dz. U.* 2022, poz. 2380, 21 listopada 2022 r.

[22] R.J. Reid, B.J. Troczka, L. Kor, E. Randall, M.S. Williamson, L.M. Field, R. Nauen, C. Bass, T.G.E. Davies, *Pesticide Biochem. Physiol.* 2020, **167**, 104562, doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104562.

[23] G. Cabezas, G.P. Farinós, *Insects* 2022, **13**, doi.org/10.3390/insects13020184.

[24] H. Siviter, F. Muth, *Environ. Pollution* 2022, **307**, 119575, doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119575.

[25] Z. Kárpáti, M.O. Szelényi, Z. Tóth, *Sci. Rep.* 2024, **14**, doi.org/10.1038/s41598-024-65388-4.

[26] D. Kenna, H. Cooley, I. Pretelli, A.R. Rodriguez, S.D. Gill, R.J. Gill, *Ecol. Evolution* 2019, **9**, doi.org/10.1002/ece3.5143.

[27] A. Witwicka, F. Lopez-Osorio, A. Arce, R.J. Gill, J. Wurn, *BMC-Biology* 2025, **23**, doi: 10.1186/s12915-025-02169-z.

[28] J.P. Rieth, M.D. Levin, *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.* 1988, **41**, 770.

[29] J.E. Cresswell, *Ecotoxicology* 2011, **20**, 149.

[30] L. Ayoub, M. Yaqoob, R.H. Kanth, F.J. Wani, Z.A. Shah, E.A. Dar, F.F. Wani, M.S. Mir, N.B. Naikoo, A. Gull, U. Arif, Y.A. Alwasel, M.S. Alwahibi, *Ecotoxicol. Environ. Safety* 2024, **287**, doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117279.

[31] M. Kelm, I. Fostiak, M. Kaczmarzyk, Z. Klukowski, *Rośliny Oleiste* 2004, **25**, 187.

[32] O. Solon, *New Scientist*, <https://www.newscientist.com>, Oct 28, 2015.

[33] TRAX Elektronik, *Online meteorological database*; <https://www.traxelektronik.pl>.

[34] Pesticide Properties Database (PPDB), University of Hertfordshire; <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en>.

[35] S.S. Shapiro, M.B. Wilk, *Biometrika* 1965, **52**, 591.

[36] M. Kozak, J. Bocianowski, W. Rybiński, *J. Agricult. Sci.* 2008, **146**, 85.

[37] VSN Int. Genstat for Windows, 23rd ed., Hemel Hempstead 2023; <https://vsni.co.uk/8306-2>, June 2, 2023.

[38] B.J. Troczka, R.A. Homem, R. Reid, K. Beadle, M. Kohler, M. Zaworra, L.M. Field, M.S. Williamson, R. Nauen, C. Beass, T.G.E. Davies, *Insect Biochem. Mol. Biol.* 2019, **111**, doi.org/10.1016/j.ibmb.2019.05.006.

[39] D. Goulson, F. Nicholls, C. Botias, E.L. Rotheray, *Science* 2015, **347**, nr 6229, 1255957, doi.org/10.1126/science.1255957.

[40] A. Decourtye, J. Devillers [in:] S.H. Thany (ed.), *Insect nicotinic acetylcholine receptors*, Springer, 2010, p. 85, doi.org/10.1007/978-1-4419-6445-8_5.

[41] L.T. Havstad, J.L. Overland, S. Valand, T.S. Aamlid, *Acta Agricul. Scandinavica, Section B Soil Plant Sci.* 2019, **69**, nr 5, doi.org/10.1080/09064710.2019.1596301.

[42] H.A. Gashout, E. Guzman-Novoa, P.H. Goodwin, A. Correa-Benitez, *J. Insect Physiol.* 2020, **121**, doi.org/10.1016/j.jinsphys.2020.104014.

[43] F. Muth, A.S. Leonard, *Sci. Records* 2019, **9**, doi.org/10.1038/s41598-019-39701-5.

[44] E.R. Hunting, S.J. England, K. Koh, D.A. Lawson, N.R. Brun, D. Robert, *PNAS Nexus* 2022, **1**, nr 5, doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac230.

Kalendarz wydarzeń w 2025 r.

Miesiąc	Data	Wydarzenie	Miejsce	Organizator
Październik	20–22.10.	XV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Środki Smarowe 2025	Zakopane	INiG-PIB
	22–24.10.	23. Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna Ochrona Środowiska. Nauka i Przemysł dla ochrony Ziemi	Ustroń-Jaszowiec	SITPChem
	24–25.10.	Konferencja Naukowa „Nauka na rzecz zrównoważonego rozwoju”	Wrocław	Wrocławska Rada FSNT-NOT
Grudzień	3–5.12.	Konferencja Przemysł Chemiczny 2025 Gala konkursu o tytuł „Inżynier Przemysłu Chemicznego” 2025	Warszawa	SITPChem