DOI: 10.48538/lpb-2024-0010
Wersja PDF: www.ibles.pl/wydawnictwa/lesne-prace-badawcze/

Leśne Prace Badawcze / *Forest Research Papers*
2024, Vol. 84: 97–106

ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

e-ISSN 2082-8926

Detekcja zapachu owadów z wykorzystaniem psów w leśnictwie – innowacyjna metoda monitoringu przyrodniczego

Insect scent detection using dogs in forestry – an innovative method of environmental monitoring

Andżelika Haidt[1*], Radosław Plewa[2]

[1]Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ekologii Lasu, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn;
[2]Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Ochrony Lasu, Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

*e-mail: A.Haidt@ibles.waw.pl

Abstract. The use of dogs in scent work involves the detection of a wide range of substances, including explosives, drugs, human diseases such as cancer, diabetes and epilepsy, as well as living persons or human remains. One of the rapidly developing areas of this work is environmental scent detection using dogs, the application of which could prove important in addressing the challenges posed by the greenhouse effect and global trade. Climate change has a significant impact on forests and requires innovative solutions to protect forest ecosystems. Droughts lead to an increased occurrence of various insect pest species, especially bark beetles. In addition, global trade contributes to the spread of various invasive species. The aim of this study was to analyze the potential for the use of dogs for scent detection in forestry and for implementing this approach in Poland. Based on a literature review using specific keywords on the Web of Science and Scopus platforms, it was found that dogs can effectively detect six species (or twin species groups) of insects (Insecta), including three from the order Coleoptera – *Ips typographus*, *Osmoderma eremita/barnabita*, *Anoplophora glabripennis/chinensis*; two from the order Hymenoptera – *Bombus* spp., *Solenopsis geminata*; and one from the order Homoptera – *Lycorma delicatula*. Dogs specially trained to detect insect scent could serve as valuable tools in certain aspects of forest management, such as the inventory and monitoring of rare and protected species (e.g., *Cucujus cinnaberinus*, *Boros schneideri*, or *Rosalia alpina*) used to designate ecologically valuable areas within the Natura 2000 network. Thanks to the availability of pheromone dispensers on the market, it is also possible to train dogs to detect wood-boring insect pests such as the invasive bark beetle *Xylosandrus germanus*. The use of dogs could become even more important as the protection of biodiversity is one of the European Union's main targets for 2030 under the European Green Deal. Since environmental detection is a highly effective method, its use should be seriously considered.

Słowa kluczowe: detekcja zapachowa, szkodniki drzew, gatunki inwazyjne, korniki, psy detekcyjne
Keywords: scent detection, tree pests, invasive species, bark beetles, detection dogs

1. Wstęp

Psy domowe (*Canis lupus familiaris*) współpracują z ludźmi od tysięcy lat. W czasach nowożytnych wykorzystanie psów w pracy węchowej obejmuje wykrywanie szerokiej gamy substancji, tj. materiałów wybuchowych, środków odurzających, chorób ludzkich (rak, cukrzyca czy epilepsja), żywych ludzi oraz zwłok (Kokocińska-Kusiak i in. 2021). Istnieją dwa podstawowe rodzaje pracy węchowej. Pierwszym jest tropienie, czyli wąchanie podłoża, podczas którego pies rejestruje pozostawione na nim cząsteczki zapachu. Pies podążając za śladem zapachowym zmierza do jego źródła, ignorując dystraktory (rozpraszacze np. zapachy dzikich zwierząt) pojawiające się po drodze. Drugi rodzaj pracy węchowej określany jest jako tzw. górny wiatr (tj. na stożku zapachowym). Praca ta polega wąchaniu powietrza z nosem uniesionym do góry, gdzie cząsteczki zapachowe odrywając się od źródła zapachu poruszają się wraz z ruchem powietrza. Pies w celu wykrycia źródła podąża w kierunku zwiększającego się stężenia zapachu unoszącego się w powietrzu. W przypadku tej pracy nie ma śladu zapachowego na ziemi, który można tropić. Psy mogą stosować jedną lub obie te metody w zależności od warunków pogodowych w środowisku, w momencie w którym wykonują pracę oraz zapachu, którego wyszukują i treningu (Kokocińska-Kusiak i in. 2021).

Jednym z najbardziej rozwijających się obszarów w pracy węchowej jest przyrodnicza detekcja zapachu z wykorzystaniem psów. Jej początki sięgają lat 90. XIX wieku, kiedy to w Nowej Zelandii psy detekcyjne wspierały wysiłki mające na celu zlokalizowanie i przeniesienie nielotnej papugi kakapo (*Strigops*

Wpłynęło: 16.10.2024 r., zrecenzowano: 8.11.2024 r., zaakceptowano: 26.11.2024 r.
BY-NC-ND/3.0 © 2024 A. Haidt, R. Plewa

habroptila) z obszarów zamieszkanych przez inwazyjne drapieżniki, tj. gronostaje czy koty domowe w miejsca pozbawione ich obecności (Kokocińska-Kusiak i in. 2021). Zdolności olfaktoryczne psów polegają między innymi na tym, że psy posiadają umiejętność rozróżniania każdego zapachu osobno. Dzięki dużej liczbie receptorów węchowych w sprzyjających warunkach, przy odpowiednim wietrze, psy potrafią wyczuć zapach dzikiego żółwia z odległości do 60 m, gryzonia w środowisku naturalnym z odległości do 50 m, gnijącego mięsa z odległości do 200 m (Kokocińska-Kusiak i in. 2021). Badania pokazują, że uczenie się coraz większej liczby zapachów (do 40) nie skutkuje zapominaniem zapachów, których pies nauczył się w pierwszej kolejności, nawet po roku przerwy (Waggoner i in. 2022).

W pracy przeglądowej Grimm-Seyfarth i in. (2021) opisano wykorzystanie psów do detekcji wielu gatunków docelowych w tym m.in. 408 gatunków zwierząt, 42 roślin, 26 grzybów oraz 6 bakterii (Grimm-Seyfarth i in. 2021). W 64% przypadkach z literatury psy zostały wyszkolone do detekcji żywych zwierząt, czasami w połączeniu z gniazdami, jajami, odchodami lub martwymi osobnikami. Dwadzieścia pięć procent wszystkich przypadków opisuje detekcję odchodów, moczu, śliny lub wydzielin gruczołowych. Całą tę grupę psów określa się jako psy do detekcji odchodów (scat detection dogs). Kolejne 4,9% przypadków z literatury dotyczyło psów wyszkolonych wyłącznie do detekcji padliny zwierząt. Następne 4,6% dotyczyło detekcji gniazd, nor, legowisk, 0,8% detekcji martwych tkanek, tj. włosów, piór, wylinek, a pozostałe 0,7% do poszukiwania jaj lub larw. Psy wykorzystywane do detekcji owadów sprawdziły się w 93 przypadkach, obejmujących 50 gatunków z 23 rodzin. Dotyczy to zarówno badań eksperymentalnych opisanych w literaturze naukowej, jak i praktycznego użycia psów na większą skalę w działaniach konserwatorskich (Grimm-Seyfarth i in. 2021). Jednym z praktycznych zastosowań psów w detekcji jest poszukiwanie trufli. W południowej Europie ponad 210 000 łowców trufli polega na umiejętnościach psów podczas poszukiwań, zarówno na plantacjach, jak i na naturalnych stanowiskach – dane z 2014 roku (Cejka i in. 2022). Pomimo intensywnego użytkowania psów do detekcji grzybów podziemnych, nasza wiedza na temat mechanizmów, którymi kierują się psy podczas poszukiwań jest wciąż ograniczona. W publikacjach naukowych można znaleźć niewiele informacji na ten temat (Cejka i in. 2022), choć wykorzystanie psów jako skutecznego narzędzia do wyszukiwania trufli wymieniane jest jako jedna z metod badawczych (Hilszczańska i in. 2019).

Jednym z kluczowych wskaźników w ocenie skuteczności detekcji zapachu z wykorzystaniem psów jest czułość (Sensitivity). Określa ona zdolność psa do poprawnego wykrywania obecności zapachu, czyli stosunek liczby przypadków prawdziwie pozytywnych do liczby wszystkich rzeczywistych przypadków obecności zapachu. Kolejnym wskaźnikiem jest specyficzność (Specificity) – informuje ona o zdolności do prawidłowego identyfikowania przypadków, w których zapach jest nieobecny. To stosunek prawdziwie negatywnych wyników do liczby przypadków, w których zapachu rzeczywiście nie było. Ostatni wskaźnik – dokładność (Accuracy) – łączy dwa wcześniejsze i opisuje , jak często pies prawidłowo identyfikuje obecność lub brak zapachu. To stosunek poprawnych wyników (prawdziwie pozytywne i prawdziwie negatywne) do ogółu wyników (Mosconi i in. 2017).

Celem niniejszej pracy jest przegląd światowej literatury dotyczącej wykorzystania psów do detekcji zapachowej owadów w lasach wraz z omówieniem taksonów mających znaczenie w ochronie lasu i ochronie przyrody. W pracy podjęto również próbę analizy potencjalnego zastosowania tej metody w Polsce, a także możliwość jej wdrożenia do monitoringu w stosunku do innych gatunków owadów, niż te opisane dotychczas w literaturze.

2. Metodyka

W celu zbadania skali wykorzystania psów do detekcji zapachowej owadów w leśnictwie, wykonano kwerendę literatury za pomocą baz danych bibliograficznych: Web of Science oraz Scopus, stosując następujące słowa kluczowe: „detector/ detection dogs", „insects", „forestry" oraz „species x detector/ detection dogs". Dla każdego gatunku owada omówiono jego znaczenie gospodarcze i przyrodnicze, a także zastosowanie przyrodniczej detekcji zapachu do jego wykrywania w różnych krajach.

3. Wyniki

3.1. Wykorzystanie psów do detekcji zapachowej owadów w leśnictwie

Rycina 1. Pies podczas treningu detekcji zapachu syntetycznego feromonu kornika drukarza umieszczonego na drzewie (fot. A. Haidt).
Figure 1. A dog being trained to detect the synthetic pheromone of the European spruce bark beetle attached to a tree (phot. A. Haidt).

Łącznie znaleziono 16 prac, których treść bezpośrednio odpowiadała wykrywaniu występowania owadów z wykorzystaniem psów. Wszystkie prace powtórzyły się na obu platformach. Wyszukane prace dotyczyły sześciu gatunków (lub grup bliźniaczych gatunków) owadów (Insecta), w tym: trzy należące do rzędu chrząszczy (Coleoptera), dwa należące do rzędu błonkoskrzydłych (Hymenoptera) oraz jednego należącego do rzędu pluskwiaków równoskrzydłych (Homoptera) (tab. 1). Owady będące przedmiotem badań w poszczególnych publikacjach usystematyzowano z podziałem na: objęte ochroną gatunkową, wyrządzające szkody w gospodarce leśnej oraz inwazyjne.

Tabela 1. Wykaz gatunków owadów monitorowanych z wykorzystaniem psów. TAK/NIE oznacza wdrożenie do pracy zespołów operacyjnych z psami do detekcji zapachów opisanych gatunków w oparciu o cytowaną w tabeli literaturę.
Table 1. List of insect species monitored with the use of dogs. TAK/NIE (TAK = yes; NIE = no) means that operational teams with dogs were implemented to detect the scents of the species described, as indicated in the literature cited in the table.

Gatunek (rząd/rodzina) Species (order/family)	**Znaczenie gatunku** Importance of the species	**Wdrożenie w Polsce** Implementation in Poland	**Wdrożenie w Europie** Implementation in Europe	**Źródło literaturowe** Source
Osmoderma eremita/barnabita **(Coleoptera: Scarabaeidae)**	Gatunek o znaczeniu priorytetowym; w Polsce objęty ścisłą ochroną gatunkową, wymagający ochrony czynnej; umieszczony w II i IV Załączniku Dyrektywy Siedliskowej Unii Europejskiej 92/43/EWG; stanowi podstawę do wyznaczenia Specjalnego obszaru ochrony siedlisk w ramach Sieci Natura 2000.	TAK	Francja	Carpaneto i in. 2017; Mosconi i in. 2017; Lenzi i in. 2022; Las Polski 2016.
Bombus **spp. (Hymenoptera: Apidae)**	Wiele gatunków trzmieli jest zagrożonych wyginięciem czy też status ich populacji jest nieznany (IUCN Red List of Threatened Species 2024)	NIE	NIE	Waters i in. 2011; Goulson i in. 2018; Liczner i in. 2021.
Ips typographus **(Coleoptera: Curculionidae)**	Szkodnik drzew iglastych, zwłaszcza świerka pospolitego *Picea abies*	NIE	Słowenia, Szwecja, Czechy, Austria	Johansson i in. 2019; Vošvrdová i in. 2023.
Anoplophora glabripennis, A. chinensis **(Coleoptera: Cerambycidae)**	Gatunek rodzimy w Chinach, inwazyjny poza rodzimym zasięgiem występowania; w Polsce podlega obowiązkowi zwalczania	NIE	Niemcy, Austria	Arnesen, Rosell 2021; Eyre, Barbrook 2021; Hoyer-Tomiczek i in. 2016; Hoyer-Tomiczek, Hoch 2020.
Solenopsis geminata **(Hymenoptera: Formicidae)**	Gatunek rodzimy w Ameryce Południowej, inwazyjny poza zasięgiem naturalnego występowania np. w Ameryce Środkowej, Północnej czy Azji. W przyszłości może stanowić zagrożenie dla krajów Europy, w tym Polski	NIE	NIE (wdrożenie w USA)	Lin i in. 2011; Baker i in. 2017.
Lycorma delicatula **(Homoptera: Fulgoridae)**	Gatunek rodzimy w Chinach, inwazyjny w innych rejonach Azji i Świata, w szczególności w USA; nie występuje w Polsce, nie podlega obowiązkowi zwalczania.	NIE	NIE	Kane 2023; Aviles-Rosa i in. 2023.

3.2. Przegląd gatunków

Pachnica próchniczka *Osmoderma eremita/barnabita* należy do rodziny poświętnikowatych (Scarabaeidae). Występuje głównie w starych lasach liściastych. Rozwija się w próchnowiskach dziupli różnych gatunków drzew liściastych, a szczególnie dębów i lip. Pachnica jest uważana za gatunek reliktowy oraz wskaźnikowy dla starodrzewów czyli lasów o dużej liczbie starych, często dziuplastych drzew. Jej obecność świadczy o wysokiej jakości siedliska oraz o tym, że dany obszar cechuje się zachowaniem pewnych cech, co ma duże znaczenie dla bioróżnorodności. Ochrona pachnicy, jednocześnie pociąga za sobą ochronę starych drzew i związanych z nimi innych cennych przyrodniczo organizmów, z tego powodu uznawana jest za tzw. gatunek parasolowy. Pachnica jest objęta ochroną na poziomie europejskim i została ujęta w II i IV Załączniku Dyrektywy Siedliskowej (Dyrektywa 1992). Gatunek ten uznawany jest jako gatunek priorytetowy, którego zachowanie w środowisku jest przedmiotem szczególnej troski w krajach wspólnoty europejskiej. Oznacza to, że państwa członkowskie Unii Europejskiej są zobowiązane do podejmowania działań na rzecz ochrony jej siedlisk, w tym do wyznaczania obszarów Natura 2000. W Polsce gatunek ten jest objęty ścisłą ochroną gatunkową (Rozporządzenie 2016). Do zasiedlenia pachnica preferuje długowieczne drzewa, tj. dąb czy lipa, które zwłaszcza w starszym wieku charakteryzują się rozległymi próchnowiskami. Znaczna część lokalnej populacji pozostaje blisko miejsc wylęgu, ponownie składając jaja do tych samych próchnowisk (Oleksa i in. 2012). Samce pachnicy wydzielają śliwkowo-morelowy zapach (wyczuwalny również dla człowieka), który został zidentyfikowany jako feromon płciowy w celu zwabiania samic (Larsson i in. 2003). Feromon ten jest wykorzystywany do szkolenia psów do detekcji tego chrząszcza. Imagines pachnicy występują w terenie przez około dwa miesiące, natomiast przez pozostałe dziesięć miesięcy można je spotkać w niższych stadiach rozwojowych. Larwy żerujące w próchnowiskach, ze względu na różnorodność wiekową, są obecne przez cały rok. Dzięki temu gatunek ten może być wykrywany na nowych stanowiskach z pomocą psa przez cały rok, pod warunkiem sprzyjających warunków atmosferycznych.

W pracy Mosconiego (2017) opisano proces szkolenia psa do detekcji larw pachnicy próchniczki, który składał się z trzech etapów i trwał 1,5 roku. W szkoleniu psa wykorzystano żywe larwy pachnicy, które przed procesem treningowym zostały pozyskane z naturalnych siedlisk występowania. Pozyskane żywe larwy przechowywane były w drewnianych boksach/skrzynkach sztucznie stworzonych, tymczasowych środowiskach. Przed rozpoczęciem procesu wdrukowania zapachu psu, larwy wyjmowano ze skrzynek i dokładnie myto. Miało to zapobiec niepotrzebnemu wdrukowaniu psu dodatku zapachowego w postaci siedliska, w jakim pachnica występuje. Takie działania były konieczne i miały na celu uniknięcie fałszywie pozytywnych wskazań dziupli bez larw. Ci sami autorzy w swojej pracy zwrócili szczególną uwagę na warunki atmosferyczne, w jakich pies nie powinien podejmować pracy terenowej, tj. upały, silny wiatr oraz deszcz. O użyciu psów w detekcji *Osmoderma eremita/barnabita* wspominano również w pracach o charakterze metodycznym, gdzie szczegółowo przedstawiono opis procesu treningowego (Mosconi i in. 2017; Lenzi i in. 2022). Wyniki badań jednoznacznie pokazały, że skuteczność psa w wykrywaniu zasiedlonych przez pachnicę drzew osiągnęła poziom ponad 70%. Badaniom poddano dwa obszary wcześniej sprawdzone przez specjalistów za pomocą przesiewania próbek murszu drzewnego pochodzącego z dziupli. Nawet porównując obie te metody okazało się, że wykorzystanie psa w wykrywaniu larw pachnicy było znacznie szybsze aniżeli pobieranie próbek murszu i identyfikacja larw – pies, pracując w odpowiednich warunkach pogodowych, był w stanie wykryć larwy pachnicy, poświęcając na to mniej niż jedną dziesiątą czasu w porównaniu do tradycyjnej metody jaką było przesiewanie substratu (Carpaneto i in. 2017).

Trzmiele (*Bombus* spp.) odgrywają kluczową rolę zarówno w ekosystemach łąkowych, jak i leśnych, jako jedne z najważniejszych owadów zapylających wspierają bioróżnorodność roślin. Trzmiele są w stanie zapylać rośliny w różnych warunkach klimatycznych, w tym na większych wysokościach i w chłodniejszych klimatach, co czyni je nieocenionymi zapylaczami w miejscach, gdzie inne owady są mniej efektywne. Wiele gatunków trzmieli jest zagrożonych poprzez lokalne zmiany środowiskowe, intensyfikację rolnictwa, stosowanie pestycydów, utratę siedlisk czy ogólne zmiany klimatyczne. Żaden krajowy gatunek trzmiela nie został wymieniony w załącznikach do Dyrektywy Siedliskowej (Dyrektywa 1992), co oznacza, że nie jest objęty bezpośrednimi regulacjami prawnymi na poziomie Unii Europejskiej.

Na podstawie badań przeprowadzonych z wykorzystaniem psów dowiedziono, że potrafią one ze 100% dokładnością zlokalizować materiał gniazdowy trzmieli, nie generując przy tym fałszywych wskazań (Waters i in. 2011). Potrafią wykryć taki materiał w stosunku do różnych gatunków trzmieli co sugeruje, że kolonie różnych gatunków mają podobny wzorzec zapachowy. Wykorzystanie psów do wykrywania tej grupy owadów niesie z sobą ryzyko w postaci użądleń psa przez trzmiele (Liczner i in. 2021). Dzięki wykorzystaniu psów w badaniach związanych z wyszukiwaniem trudnych do zlokalizowania gniazd dzikich trzmieli udało się odkryć i ustalić relacje pomiędzy trzmielami a ich drapieżnikami i pasożytami. Sikory bogatki (*Parus major*), atakowały trzmiele na wejściach do gniazd, co było wcześniej nieopisanym zjawiskiem. Małe ssaki regularnie odwiedzały gniazda, ale ich wpływ na trzmiele pozostał niejasny. Zidentyfikowano także częste inwazje dorosłych motyli gatunku *Aphomia sociella.* Odkryto również występowanie pasożyta *Crithidia bombi* w gniazdach, który znacząco obniżał sukces reprodukcyjny kolonii (Goulson i in. 2018).

Anoplophora spp. to rodzaj owadów z rodziny kózkowatych (Cerambycidae), obejmujący kilkadziesiąt gatunków, z których dwa są szczególnie istotne z punktu widzenia ochrony roślin i gospodarki leśnej: *Anoplophora glabripennis* (kózka azjatycka, Asian longhorn beetle) oraz *A. chinensis* (kózka chińska, Citrus longhorn beetle). W Unii Europejskiej oba te gatunki mają status

organizmów kwarantannowych i inwazyjnych i stanowią poważne zagrożenie dla lasów, sadów oraz zadrzewień miejskich. Zgodnie z dyrektywą Rady Unii Europejskiej (Dyrektywa 2000) dotyczącą środków ochrony przed wprowadzaniem do Unii Europejskiej organizmów szkodliwych dla roślin, państwa członkowskie są zobowiązane do systematycznego monitorowania i zwalczania tych szkodników, jak również do podejmowania działań zapobiegających ich rozprzestrzenianiu. W Polsce *A. glabripennis* i *A. chinensis* są również uznawane za organizmy kwarantannowe. Oznacza to, że prowadzone są prace w celu wczesnego wykrycia tych gatunków. Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa (PIORiN) odpowiada za wdrażanie i egzekwowanie przepisów dotyczących ochrony przed tymi szkodliwymi gatunkami. W przypadku wykrycia chrząszczy z rodzaju *Anoplophora* spp. na terytorium Polski, obowiązuje nakaz natychmiastowego zniszczenia zainfekowanych drzew oraz wdrożenie działań mających na celu zapobieżenie dalszemu rozprzestrzenianiu się gatunku. Podobnie jak w przypadku całej Unii Europejskiej, w Polsce wprowadzanie, przemieszczanie i handel materiałem roślinnym, który mógłby być zasiedlony przez *Anoplophora* spp., podlega ścisłym regulacjom i kontrolom.

Program szkolenia psów do detekcji chrząszczy z rodzaju *Anoplophora* spp. jest prowadzony w Wiedniu w Austrii już od 2009 roku. Psy potrafią rozróżnić zapach wszystkich stadiów rozwojowych *A. glabripennis* i *A. chinensis* w różnych gatunkach roślin żywicielskich. Dodatkowo psy są zdolne nie tylko wykryć opuszczone chodniki larwalne i otwory wyjściowe, ale także miejsca składania jaj. W testach terenowych dotyczących identyfikowania prób w zmiennych warunkach atmosferycznych, tj. wiatr i temperatura, psy charakteryzowały się skutecznością wynoszącą od 75 do 88%. Natomiast w warunkach laboratoryjnych odsetek prawidłowo wskazanych próbek okazał się jeszcze wyższy i kształtował się w przedziale od 85 do 93% (Hoyer-Tomiczek i in. 2016).

Kornik drukarz (*Ips typographus*) jest najgroźniejszym szkodnikiem świerka pospolitego (*Picea abies*). Z punktu widzenia ochrony lasu jego szkodliwa działalność skutkuje poważnymi konsekwencjami ekonomicznymi, ekologicznymi i społecznymi. Od wielu lat kornik drukarz jest uznawany za kluczowy, biotyczny czynnik redukujący w czasie gradacji osłabione drzewa świerkowe. Obserwowane zmiany klimatyczne mają decydujący wpływ na poziom zagrożenia drzewostanów świerkowych w Polsce, który od lat utrzymuje się na bardzo wysokim poziomie. Osłabiona kondycja drzew sprawia, że zwiększa się ryzyko podatności na ataki ze strony kornika drukarza (Grodzki 2013). Zatem rozwój larw kornika drukarza trwa niemal cały sezon wegetacyjny, co bez wątpienia wpływa na generowanie poważnych strat ekonomicznych w gospodarce leśnej Polski.

Wstępne szkolenie psów przeprowadzano na syntetycznych substancjach feromonowych w okresie zimowym. Po zakończeniu tego etapu szkolenia, psy wykrywały naturalnie zaatakowane drzewa w okresie letnim z odległości >100 m. Opiekun pracujący wraz z psem był w stanie wykryć zasiedlone przez kornika drzewa w krótszym czasie i szybszym tempie niż samodzielnie pracujący człowiek (Vošvrdová i in. 2023). Według Johanssona (2019) wykorzystanie psów pozwala na skuteczne wykrycie zasiedlonych przez kornika drzew, co umożliwia ich szybkie usunięcie. Wczesna detekcja zaatakowanych drzew i przeprowadzone w porę zabiegi sanitarne uniemożliwiają opuszczenie żerowisk przez chrząszcze i przystąpienie do kolejnej rójki. Pary psów i przewodników były w stanie wykryć zasiedlone świerki już w pierwszych godzinach od ataku tych chrząszczy. Kolejne testy przeprowadzone po kilku tygodniach od pierwszego ataku również okazały się pozytywne. Wykorzystanie psów do wczesnej detekcji zasiedlonych drzew okazało się tym bardziej skuteczne, że wskazywały one drzewa na długo przed przebarwieniem się igliwia.

Lycorma delicatula, czyli pluskiwak należący do rodziny czerwców (Fulgoridae), jest inwazyjnym gatunkiem owada pochodzącym z Azji, który stanowi poważne zagrożenie dla rolnictwa, sadownictwa oraz leśnictwa. W krajach, do których został przypadkowo wprowadzony (np. Stany Zjednoczone), spowodował poważne straty w uprawach rolnych, zwłaszcza w winnicach, sadach i plantacjach drzew liściastych (Aviles-Rosa i in. 2023). Do 2023 r. gatunek ten spowodował straty dla rolnictwa i leśnictwa Pensylwanii (USA) wynoszące 300 milionów dolarów. W Europie, w tym również w Polsce, jego status prawny został określony w ramach działań związanych z ochroną przed gatunkami inwazyjnymi. *L. delicatula* jest uznawany za gatunek inwazyjny o dużym ryzyku dla środowiska naturalnego i gospodarki. Na terytorium Unii Europejskiej znajduje się na liście gatunków obcych stwarzających zagrożenie dla krajów członkowskich zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 22 października 2014 roku (Rozporządzenie 2014) dotyczącym działań zapobiegających wprowadzaniu i rozprzestrzenianiu gatunków inwazyjnych. Gatunki wymienione na tej liście są objęte zakazem wprowadzania na rynek, hodowli, transportu, używania, wymiany oraz uwalniania do środowiska. W Polsce *L. delicatula* traktowany jest jako gatunek inwazyjny, co skłania polskie instytucje zajmujące się ochroną roślin i środowiska do monitorowania jego występowania oraz potencjalnego rozprzestrzeniania się na terenie kraju. W przypadku wykrycia tego owada, konieczne jest podjęcie działań mających na celu jego zwalczanie i zapobieganie dalszemu rozprzestrzenianiu. W tym kontekście niezwykle pomocne mogą okazać się psy, które potrafią wykrywać *L. delicatula* w stadium jaj z wysoką skutecznością, wynoszącą niemal 99,5% (Aviles-Rosa i in. 2023). Psy były w stanie identyfikować nowe próbki tego samego gatunku owada bez pogorszenia wydajności co sugeruje, że profile zapachowe nowych próbek są percepcyjnie podobne i nie wykazują się zmiennością. W pierwszych sesjach dyskryminacji psy wykazywały co prawda zwiększoną liczbę fałszywie pozytywnych wskazań na korę drzew i liofilizowane świerszcze, jednak skutecznie nauczyły się odróżniać próbki *L. delicatula* od zapachów zwodniczych. Psy można skutecznie wykorzystać do wykrywania stadium jaj *L. delicatula*, co czyni je cennym narzędziem w zapobieganiu rozprzestrzenianiu się tego gatunku

poza obszarem kwarantanny (Aviles-Rosa i in. 2023). W innym eksperymencie dwa psy zostały przeszkolone do odnajdywania stadium jaj na obszarze poszukiwań zawierającym trzy drewniane palety. Obydwa psy wykazały czułość na poziomie 91% oraz 96%, przy wskaźniku fałszywie pozytywnych alarmów wynoszącym odpowiednio 0% i 3,3% (Kane i in. 2023).

Solenopsis geminata jest uznawany za gatunek inwazyjny w wielu krajach świata, ale jego status prawny w Europie i Polsce nie jest tak jednoznaczny, jak w przypadku niektórych innych gatunków mrówek, np. *S. invicta* (mrówka ognista czerwona). Mimo to, gatunki z rodzaju *Solenopsis*, w tym *S. geminata*, są przedmiotem międzynarodowej uwagi ze względu na ich potencjalne zagrożenie. Klimat Polski nie sprzyja jej naturalnemu rozprzestrzenianiu się, co ogranicza ryzyko inwazji. Niemniej jednak, ze względu na globalne ocieplenie oraz rozwój handlu międzynarodowego, istnieje potencjalne ryzyko zawleczenia tego gatunku do Polski, zwłaszcza w kontekście importu produktów rolnych i innych towarów. Inwazyjny charakter tego gatunku i zdolność do przystosowania się do nowych środowisk budzą obawy w kontekście ochrony bioróżnorodności oraz zdrowia publicznego. Mrówka ta może konkurować z rodzimymi gatunkami mrówek, a jej agresywne zachowanie może prowadzić do zmniejszenia populacji innych owadów, wpływając negatywnie na lokalne ekosystemy (Wetterer 2011).

Baker (2017) w swojej pracy określił, że optymalny zespół do wykrywania *S. geminata* powinien składać się z trzech psów -detektorów. Przy siedmiodniowych wyjazdach terenowych optymalna liczba psów w zespole może zostać zmniejszona do dwóch. Koszty w początkowej fazie są wysokie, natomiast bieżące koszty wykrywania stają się niskie. Zakup psów jest opłacalny tylko wtedy, gdy będą one używane wielokrotnie, a inwestycja zwraca się po dziesięciu udanych detekcjach *S. geminata*. Jest to jedyny gatunek owada, dla którego w publikacji opisano analizę ekonomiczną zastosowania metody i możliwości optymalizacji kosztów. Ponadto wykorzystanie psów pozwala ograniczyć częstotliwość i zakres zabiegów chemicznych w zarządzaniu importowanymi czerwonymi mrówkami, co skutkuje zmniejszeniem kosztów pracy i zużycia środków chemicznych oraz poprawą skuteczności kontroli i kwarantanny (Lin i in. 2011).

4. Możliwości wykorzystania psów w detekcji wybranych gatunków owadów

4.1. Zastosowanie psów w monitoringu chrząszczy: innowacyjne metody detekcji i ich korzyści dla środowiska leśnego

Zarówno w Polsce, jak i w krajach zachodnich przetestowano i wdrożono metodę wykorzystania psów do monitoringu pachnicy próchniczki *Osmoderma* spp. Tradycyjne metody monitoringu polegają na dokładnych oględzinach drzew, potencjalnie zasiedlonych przez ten gatunek. Metody te, często inwazyjne i czasochłonne mogą częściowo zostać zastąpione pracą psów tym bardziej, że podjęte już próby wykorzystania psów znacząco usprawniły prace terenowe i zwiększyły wykrywalność tego zagrożonego w skali Europy gatunku (Mosconi i in. 2017). Innymi gatunkami, które mogłyby być monitorowane w ten sam sposób są zgniotek cynobrowy *Cucujus cinnaberinus* oraz ponurek Schneidera *Boros schneideri*. Oba gatunki są chronione prawem polskim i europejskim oraz znajdują się w II Załączniku Dyrektywy Siedliskowej Unii Europejskiej. Na ich podstawie wyznaczane są obszary sieci Natura 2000 chroniące siedliska przyrodnicze dzikiej fauny i flory (Dyrektywa 1992). Klasyczne metody monitoringu obu tych gatunków polegają na

Rycina 2. Trening obejmujący wykrywanie zapachu znajdującego się na wysokości, na drzewie, poza bezpośrednim zasięgiem psa (fot. A. Haidt).
Figure 2. Training involving the detection of a scent located at a height on a tree, beyond the dog's direct reach (phot. A. Haidt).

punktowym odginaniu kory na około 30% powierzchni drzewa (Makomaska-Juchiewicz 2010). Zastosowanie psa mogłoby zmniejszyć inwazyjność tej metody, jednocześnie zwiększając jej precyzję, bez konieczności uszkadzania siedlisk tych chrząszczy. Do wdrukowania psom zapachu tych chrząszczy, w pierwszym etapie niezbędnym byłoby pozyskanie żywych owadów, zarówno larw, jak i postaci dojrzałych. Podobnie jak w przypadku pachnicy, wyszkolony zespół człowiek–pies byłby mniej inwazyjny oraz bardziej efektywny niż osoba działająca samodzielnie.

Innowacyjna metoda wykorzystania syntetycznych dyspenserów feromonowych w szkoleniu psów do wykrywania żywych owadów wykazuje znaczący potencjał, zwłaszcza w przypadku gatunków, dla których opracowano już feromony. Przykładem takiego gatunku jest drzewotocz japoński (*Xylosandrus germanus*), pochodzący ze wschodniej Azji, który z każdym rokiem rozszerza swój zasięg w Europie. Ten wyjątkowo polifagiczny owad preferuje drzewa liściaste, ale odnotowano jego obecność na ponad 200 gatunkach roślin (Mokrzycki, Grodzki 2014). *X. germanus* jest szkodnikiem wtórnym, zasiedlającym drzewa fizjologicznie osłabione. Uznawany jest za szkodnika technicznego drewna, znacząco obniżającego wartość ekonomiczną pozyskanego surowca drzewnego. Na wczesnym etapie zasiedlania gatunek bywa trudny do zauważenia. Wykorzystanie odpowiednio wyszkolonych psów, którym wdrukowano zapach syntetycznego dyspensera feromonowego Xylowit (Witasek Pflanzen Schutz GmbH, Austria), mogłoby znacząco zwiększyć skuteczność wykrywania tego gatunku. Dla drzewotocza japońskiego nie są wymagane zezwolenia na odstępstwa od zakazów w odniesieniu do inwazyjnego gatunku obcego (IGO), stwarzającego zagrożenie dla krajów wspólnoty Unii Europejskiej w tym też Polski pomimo, że w wielu pracach jest określany jako gatunek inwazyjny (Galko i in. 2019). Z uwagi na narastający problem suszy spowodowanej zmianami klimatu i zwiększoną podatnością drzewostanów na ataki korników (Pirtskhalava-Karpova i in. 2024), wykorzystanie psów może wspomóc działania prewencyjne, zwiększając precyzję w ocenie zainfekowanych drzew i w efekcie ich wczesną eliminację.

Globalny handel i ogólnoświatowy trend związany z transportem drewna prowadzą do wzrostu liczby miejsc występowania chrząszczy z rodzaju *Anoplophora* spp. w Europie. Z uwagi na polifagizm mogą one powodować poważne szkody w lasach liściastych. Na kontynencie europejskim ogniska występowania tych szkodników wykryto w kilkunastu krajach (Austria, Belgia, Chorwacja, Czarnogóra, Dania, Holandia, Finlandia, Francja, Litwa, Niemcy, Szwajcaria, Wielka Brytania, Włochy). W Polsce miał miejsce tylko jeden przypadek stwierdzenia *Anoplophora glabripennis* w 2003 r. – Gdynia (kwiaciarnia), na drzewku bonsai *Acer palmatum* (Białooki 2003). Doświadczenie z detekcją tych gatunków może być przydatne w opracowaniu protokołów szkolenia psów, np. do wykrywania naszych rodzimych gatunków kózkowatych (Cerambycidae), zarówno szkodników wtórnych jak i gatunków rzadkich i chronionych. Jednym z nich może być nadobnica alpejska *Rosalia alpina* wymieniona w Załączniku II i IV Dyrektywy Siedliskowej, jako gatunek priorytetowy. W Polskiej Czerwonej Księdze Zwierząt – Bezkręgowce ma status gatunku zagrożonego wyginięciem – kategoria EN (Starzyk 2004). Jednym z nadal istniejących zagrożeń dla populacji nadobnicy jest składowanie materiału drzewnego w pobliżu naturalnych siedlisk tego gatunku. Tak zmagazynowany surowiec, szczególnie w składnicach leśnych, działa jak ekologiczna pułapka (ecological trap), przyciągając chrząszcze w okresie ich lotu. Zwabione imagines, po odbyciu kopulacji, przystępują tam do składania jaj (Michalcewicz, Ciach 2012; Adamski i in. 2013). Takie drewno, wraz z jajami, często zostaje wywiezione poza obszar leśny. W tej sytuacji kluczowym działaniem jest prewencja, obejmująca wywóz drewna przed jego zasiedleniem przez owady lub unikanie składowania surowca w siedliskach nadobnicy (Michalcewicz, Ciach 2012). W leśnictwie stosowano siatki zabezpieczające drewno przed nalotem chrząszczy, jednak ich niesystematyczna kontrola i uszkodzenia umożliwiały nadobnicy składanie jaj. Wykorzystanie psów mogłoby pomóc nie tylko w wykrywaniu nowych stanowisk gatunku, ale także w prewencji, identyfikując zasiedlone drewno na składnicach. Takie działania mogłyby zapobiec zniszczeniu materiału lęgowego podczas wywozu drewna z lasu.

4.2. Materiały zapachowe wykorzystywane w szkoleniu

Oprócz zastosowania dyspenserów feromonowych do treningu psów testowano również martwe owady do detekcji żywych osobników tego samego gatunku (Moser i in. 2020). Badania wykazały, że ekstrakty zapachowe i martwe okazy można wykorzystać jako pomoce szkoleniowe w wykrywaniu żywych owadów z rodziny tarczówkowatych (Heteroptera: Pentatomidae). Okazało się, że zarówno ekstrakt zapachowy Musgraveia sulciventris, jak i martwe okazy tego gatunku wydzielały większość tych samych LZO (lotne związki organiczne), w tym wszystkie główne LZO, co żywe M. sulciventris. W kolejnych testach z psami wytrenowanymi na ekstraktach zapachowych oraz na martwych owadach potwierdzono, że były one w stanie dokładnie wykryć żywe owady już po pierwszym kontakcie (Moser i in. 2020). Jednak należy podejść do wyników tych badań z dużą ostrożnością, ponieważ dotyczyły one tylko i wyłącznie dwóch psów, co nie jest reprezentacyjną próbą badawczą. Aby precyzyjnie oszacować rozkład wyników, zgodnie z centralnym twierdzeniem granicznym zazwyczaj zakłada się, że każda podgrupa powinna liczyć co najmniej 30 obserwacji (Dobek, Szwaczkowski 2019).

4.3. Interdyscyplinarne podejście do szkolenia psów do przyrodniczej detekcji zapachu: standardy, certyfikacja i efektywność pracy

Trening psów powinien być przeprowadzony według protokołów opracowanych w interdyscyplinarnych zespołach składających się z przewodników psów, trenera przyrodniczej detekcji zapachowej oraz eksperta od gatunku będącego zapachem-

targetem, czyli zapachem którego ma szukać pies. Tylko połączenie specjalistycznej wiedzy dotyczącej szkolenia psów z wiedzą ekspercką może przynieść pożądane rezultaty. Jednym z największych mankamentów wykorzystania tej metody jest brak systemu certyfikacji psów, który zapewniłby wysoką jakość pracy psów oraz zaufanie ze strony pracowników sektora leśnego i naukowców. Certyfikowanie psów powinno obejmować co najmniej: testy zapachowe, testy z posłuszeństwa oraz „puste próby", czyli próby bez zapachu. Psy powinny przechodzić również tzw. „ślepe próby" w terenie, które zweryfikują brak fałszywie dodatnich wyników (Simon i in. 2020).

Psy z jednej strony są szybsze i bardziej efektywne (Thomas i in. 2020), ale warto też podkreślić, że mogą one pracować tylko przez ograniczoną liczbę godzin dziennie w przeciwieństwie do innych metod monitoringu. Psy mogą mieć trudności z pracą w ekstremalnych warunkach, takich jak wysokie temperatury, silne opady deszczu czy silny wiatr. Te warunki mogą negatywnie wpływać na czułość detekcji zapachowej, a także na ogólne zdrowie i samopoczucie psów. Zwierzęta te wymagają również opieki weterynaryjnej oraz ciągłej motywacji w takcie prac terenowych, jeśli liczba próbek zapachowych jest niewielka. Przed wdrożeniem do pracy zwierzęta te wymagają specjalistycznego treningu. Szkolenie psa do pracy w ochronie przyrody jest procesem czasochłonnym i kosztownym. Wymaga to zaangażowania doświadczonych trenerów. Utrzymanie psów konserwatorskich, w tym zapewnienie odpowiedniego wyżywienia, opieki weterynaryjnej i regularnego treningu, wiąże się z kosztami, które mogą być znaczące, zwłaszcza w dłuższym okresie (Jachowski i in. 2024). Brak doświadczenia lub błędy ze strony przewodnika mogą negatywnie wpłynąć na skuteczność pracy psa. Psy to zwierzęta społeczne, dlatego zachowanie ich przewodnika (handlera) ma znaczący wpływ na wyniki pracy psa, w tym na ryzyko fałszywie dodatnich wskazań. Aby optymalizować efektywność psa, kluczowe jest nie tylko jego szkolenie, ale także odpowiednie przygotowanie i zrozumienie ze strony człowieka. (Lit i in. 2011). W krytycznym przeglądzie skuteczności i metodologii użytkowania psów do detekcji biologicznej McKeague (2024) podkreśla, że kluczowe pytanie nie dotyczy tego, czy psy mogą być wykorzystywane w ochronie przyrody, lecz tego, jak zapewnić najwyższą jakość ich pracy, jednocześnie minimalizując błędy i stronniczość. Dzięki porównaniu psów detekcyjnych z innymi technikami monitoringu wiemy, że stosowanie psów jest skuteczną i korzystną metodą prowadzenia szerokiego zakresu prac konserwatorskich i monitoringowych. Różnice w skuteczności psów wskazują na konieczność standaryzacji i ujednolicenia metodyki w tej dziedzinie. Skuteczność psów może się różnić z wielu powodów i przyczyny tych różnic nie można określić w żadnym pojedynczym przypadku bez informacji takich jak: cechy psa, metody szkolenia, doświadczenie zarówno psa, jak i przewodnika, zmieniające się możliwości węchowe oraz techniki stosowane podczas poszukiwań, a także samo środowisko poszukiwań.

5. Podsumowanie

Zastosowanie przyrodniczej detekcji zapachu przynosi szereg korzyści zarówno dla ochrony lasu przed szkodnikami, jak i wykrywania oraz ochrony gatunków cennych i zagrożonych. Najlepsze zastosowanie tej metody sprawdziłoby się w szczególności dla gatunków trudnych do wykrywania w terenie, gdzie obecnie stosuje się standardowy monitoring. Wykorzystanie psów do detekcji zapachowej może być ważnym uzupełnieniem innych metod i badań nad konkretnym gatunkiem lub grupą gatunków. Psy charakteryzują się wysokim współczynnikiem wykrywalności gatunków monitorowanych, w zdecydowanej większości przypadków są szybsze oraz mogą penetrować teren trudno dostępny dla ludzi. Potrafią wykrywać zapachy z dużej odległości, nawet ponad stu metrów, zarówno znajdujące się na pewnej wysokości, jak i pod ziemią. Mogą wspierać różnorodne działania, począwszy od inwentaryzacji i monitoringu gatunków rzadkich i chronionych, po wyznaczanie obszarów cennych przyrodniczo lub ochronnych. Ponadto, psy mogą być wykorzystywane do wykrywania gatunków inwazyjnych oraz do precyzyjnego monitoringu szkodników wtórnych na wczesnym etapie gradacji, co ma istotne znaczenie w działaniach prewencyjnych. Choć szkolenie psów początkowo wymaga inwestycji, ich eksploatacja wiąże się z niskimi kosztami, a wielokrotne wykorzystanie w różnych akcjach monitoringu czyni je bardzo opłacalnym narzędziem. Dodatkowo psy mogą być szkolone do wykrywania wielu gatunków owadów, co znacznie zwiększa ich wszechstronność i wartość w ochronie roślin oraz ekosystemów. W dłuższej perspektywie czasowej wyszkolenie psów okazuje się bardziej opłacalne niż tradycyjne metody. Warto podkreślić, że ochrona bioróżnorodności gatunkowej jest jednym z punktów strategicznych Unii Europejskiej do 2030 w ramach Zielonego Ładu, a ukierunkowanie na detekcję przyrodniczą z użyciem psa, jako metodę wysoko efektywną powinno zostać poważnie rozważone.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Wkład autorów

A.H. – koncepcja, przegląd literatury, opracowanie wyników, przygotowanie tekstu; R.P. – koncepcja, przygotowanie tekstu.

Literatura

Adamski P., Holly M., Michalcewicz J., Witkowski Z. 2013. Zanikanie nadobnicy alpejskiej *Rosalia alpina* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae) w Polsce – wybrane mechanizmy procesu, w: W. Ząbecki (red.) Rola i udział owadów w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych. Wydawnictwo UR, Kraków, s. 185–200.

Arnesen C.H., Rosell F. 2021. Pest detection dogs for wood boring longhorn beetles, *Scientific Reports* 11(1), 1–13. DOI: 10.1038/s41598-021-96450-0.

Aviles-Rosa E.O., Nita M., Feuerbacher E., Hall N.J. 2023. An evaluation of Spotted Lanternfly (*Lycorma delicatula*) detec-

tion dog training and performance, *Applied Animal Behaviour Science* 258, 105816. DI: 10.1016/j.applanim.2022.105816.

Baker C.M., Hodgson J.C., Tartaglia E., Clarke R.H. 2017. Modelling tropical fire ant (*Solenopsis geminata*) dynamics and detection to inform an eradication project, *Biological Invasions* 19 (10), 2959–2970. DOI: 10.1007/s10530-017-1499-9.

Białooki P. 2003. *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Coleoptera: Cerambycidae) – pierwsze stwierdzenie w Polsce, *Ochrona Roślin* 47 (11), 34–35.

Carpaneto G.M., Campanaro A., Hardersen S., Audisio P., Bologna M.A., Roversi P.F., Peverieri G.S., Mason F. 2017. The life project "monitoring of insects with public participation" (mipp): aims, methods and conclusions, *Nature Conservation* 20, 1–35. DOI: 10.3897/natureconservation.20.12761.

Čejka T., Thomas P.W., Oliach D., Stobbe U., Egli S., Tegel W., Centenaro G., Sproll L., Bagi I., Trnka M., Büntgen U. 2022. Understanding the performance of truffle dogs, *Journal of Veterinary Behavior* 52–53, 8-13. DOI: 10.1016/j.jveb.2022.04.002.

Dobek A., Szwaczkowski T. 2013. Statystyka Matematyczna Dla Biologów. Wyd. 2. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.

Dyrektywa. 1992. Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory, *Dziennik Urzędowy* L 206, s. 7–50. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:31992L0043 (dostęp 26.11.2024)

Dyrektywa. 2000. DYREKTYWA RADY 2000/29/WE z dnia 8 maja 2000 r. w sprawie środków ochronnych przed wprowadzaniem do Wspólnoty organizmów szkodliwych dla roślin lub produktów roślinnych i przed ich rozprzestrzenianiem się we Wspólnocie, *Dziennik Urzędowy* L 169, s. 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0029-20180401 (dostęp 26.11.2024).

Eyre D., Barbrook J. 2021. The eradication of Asian longhorned beetle at Paddock Wood, UK, *CABI Agriculture and Bioscience* 2 (1), 1–17. DOI: 10.1186/s43170-021-00034-x.

Galko J., Dzurenko M., Ranger C.M., Kulfan J., Kula E., Nikolov C., Zúbrik M., Zach P. 2019. Distribution, habitat preference, and management of the invasive ambrosia beetle *Xylosandrus germanus (*Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in European forests with an emphasis on the West Carpathians, *Forests* 10 (1). DOI: 10.3390/f10010010.

Goulson D., O'Connor S., Park K.J. 2018. The impacts of predators and parasites on wild bumblebee colonies, *Ecological Entomology* 43(2), 168–181. DOI: 10.1111/een.12482.

Grimm-Seyfarth A., Harms W., Berger A. 2021. Detection dogs in nature conservation: A database on their world-wide deployment with a review on breeds used and their performance compared to other methods, *Methods in Ecology and Evolution* 12, 568–579. DOI: 10.1111/2041-210X.13560.

Grodzki W. (red.). 2013. Kornik drukarz i jego rola w ekosystemach leśnych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 214 s.

Gugliuzzo A., Biedermann P.H.W., Carrillo D., Castrillo L.A., Egonyu J.P., Gallego D., Haddi K., Hulcr J., Jactel H., Kajimura H., Kamata N., Meurisse N., Li Y., Oliver J.B., Ranger C.M., Rassati D., Stelinski L.L., Sutherland R., Tropea Garzia G., Biondi A. 2021. Recent advances toward the sustainable management of invasive *Xylosandrus ambrosia* beetles, *Journal of Pest Science* 94 (3), 615–637. DOI: 10.1007/s10340-021-01382-3.

Hilszczańska D., Rosa-Gruszecka A., Gawryś R., Horak J. 2018. Effect of soil properties and vegetation characteristics in determining the frequency of Burgundy truffle fruiting bodies in Southern Poland, *Écoscience* 26 (2), 1–10. DOI:10.1080/11956860.2018.1530327.

Hoyer-Tomiczek U., Hoch G. 2020. Progress in the use of detection dogs for emerald ash borer monitoring, Forestry 93 (2), 326–330. DOI: 10.1093/forestry/cpaa001.

Hoyer-Tomiczek U., Sauseng G., Hoch G. 2016. Scent detection dogs for the Asian longhorn beetle, *Anoplophora glabripennis*, *EPPO Bulletin* 46 (1), 148–155. DOI: 10.1111/epp.12282.

IUCN Red List of Threatened Species. 2024. Search results for taxonomies: 135294. https://www.iucnredlist.org/ja/search/grid?taxonomies=135294&searchType=species (dostęp 7.10.2024).

Jachowski D.S., Bergeson S.M., Cotey S.R., Croose E., Hofmeester T.R., MacPherson J., Wright P., Calderón-Acevedo C.A., Carter S.P., Dürst A.C., Egloff G.B., Hamed M.K., Hapeman P., Harris S.N., Hassler K., Humbert J.Y., Karp D., Kays R., Mausbach J., Zub K. 2024. Non-invasive methods for monitoring weasels: emerging technologies and priorities for future research, *Mammal Review* 54 (3), 243–260. DOI: 10.1111/mam.12344.

Johansson A., Birgersson G., Schlyter F. 2019. Using synthetic semiochemicals to train canines to detect bark beetle–infested trees, *Annals of Forest Science* 76 (2). DOI: 10.1007/s13595-019-0841-z.

Kane S.A., Aviles-Rosa E.O., Hall N.J. 2023. Development and assessment of Spotted Lanternfly (*Lycorma delicatula*) training aids for detection canines, *Applied Animal Behaviour Science* 266, 1–34. DOI: 10.1016/j.applanim.2023.106011.

Kokocińska-Kusiak A., Woszczyło M., Zybala M., Maciocha J., Barłowska K., Dzięcioł M. 2021. Canine olfaction: Physiology, behavior, and possibilities for practical applications, *Animals* 11, 2463. DOI: 10.3390/ani11082463.

Larsson M.C., Hedin J., Svensson G.P., TolaschT., Francke W. 2003. Characteristic odor of *Osmoderma eremita* identified as a male-released pheromone, *Journal of Chemical Ecology* 29, 575–587.

Las Polski. 2016. Nadleśnictwo Żmigród: Pies na pachnicę. Dostępne online: https://www.laspolski.pl/s/1/2980/2980-nadlesnictwo-%C5%BCmigrod-pies-na-pachnice (dostęp 26.11.2024).

Lenzi A., Maurizi E., Mosconi F., Francescato S., Cecchetti M., Dalla Valle M., Noal A., Stolfa G., Roversi P.F., Campanaro A. 2022. *Osmoderma eremita* (Scopoli, 1763) (Coleoptera: Scarabaeidae: Cetoniinae) in Circeo State Forest (Central Italy), *REDIA* 105, 71–75. DOI: 10.19263/REDIA-105.22.08.

Liczner A.R., MacPhail V.J., Woollett D.A., Richards N.L., Colla S.R. 2021. Training and usage of detection dogs to better understand bumble bee nesting habitat: Challenges and opportunities, *PLoS ONE* 16 (5), 1–18. DOI: 10.1371/journal.pone.0249248.

Lin H.M., Chi W.L., Lin C.C., Tseng Y.C., Chen W.T., Kung Y.L., Lien Y.Y., Chen Y.Y. 2011. Fire ant-detecting canines: A complementary method in detecting red imported fire ants, *Journal of Economic Entomology* 104 (1), 225–231. DOI: 10.1603/EC10298.

Makomaska-Juchiewicz M. (red.). 2010. Monitoring gatunków zwierząt. Przewodnik metodyczny. Część I. GIOŚ, Warszawa.

McKeague B., Finlay C., Rooney N. 2024. Conservation detection dogs: A critical review of efficacy and methodology, *Ecology and Evolution* 14 (1), e10866. DOI: 10.1002/ece3.10866.

Michalcewicz J., Ciach M. 2012. Ochrona nadobnicy alpejskiej Rosalia alpina (Coleoptera: Cerambycidae) w Polsce – aktualne problemy i sposoby ich rozwiązania, *Chrońmy Przyrodę Ojczystą* 68 (5), 347–357.

Mokrzycki T., Grodzki W. 2014. Drzewotocz japoński *Xylosandrus germanus* (Bldf.) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) w Polsce, *Sylwan* 158, 590–594.

Mosconi F., Campanaro A., Carpaneto G.M., Chiari S., Hardersen S., Mancini E., Maurizi E., Sabatelli S., Zauli A., Mason F., Audisio P. 2017. Training of a dog for the monitoring of *Osmoderma eremita*, *Nature Conservation* 20: 237–264. DOI: natureconservation.20.12688.

Moser A.Y., Brown W.Y., Bizo L.A., Andrew N.R., Taylor M.K. 2020. Biosecurity dogs detect live insects after training with odor-proxy training aids: scent extract and dead specimens, *Chemical Senses* 45 (3): 179–186. DOI: 10.1093/chemse/bjaa001

Oleksa A., Kadej M., Smolis A., Klejdysz T., Malkiewicz A. 2012. Ochrona pachnicy w Polsce. Propozycja programu działań. Fundacja EkoRozwoju, Wrocław, 139 s.

Pirtskhalava-Karpova N., Trubin A., Karpov A., Jakuš R. 2024. Drought initialised bark beetle outbreak in Central Europe: Meteorological factors and infestation dynamic, *Forest Ecology and Management* 554: 121666. DOI: 10.1016/j.foreco.2023.121666.

Rozporządzenie. 2014. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1143/2014 z dnia 22 października 2014 r. w sprawie działań zapobiegawczych i zaradczych w odniesieniu do wprowadzania i rozprzestrzeniania inwazyjnych gatunków obcych, *Dziennik Urzędowy* L 317, s. 35–55. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R1143 (dostęp 26.11.2024).

Rozporządzenie. 2016. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie ochrony gatunkowej zwierząt z dnia 16 grudnia 2016 r. *Dziennik Ustaw* poz. 2183.

Simon A., Lazarowski L., Singletary M., Barrow J., Van Arsdale K., Angle T., Waggoner P., Giles K. 2020. A review of the types of training aids used for canine detection training, *Frontiers in Veterinary Science* 7: 1–10. DOI: 10.3389/fvets.2020.00313.

Starzyk J.R. 2004. *Rosalia alpina* (Linnaeus, 1758) nadobnica alpejska. W: Głowaciński Z. (red.), Polska czerwona księga zwierząt. PWRiL, Warszawa, s. 295–296.

Thomas M.L., Baker L., Beattie J.R., Baker A.M. 2020. Determining the efficacy of camera traps, live capture traps, and detection dogs for locating cryptic small mammal species, *Ecology and Evolution* 10(2): 1054–1068. DOI: 10.1002/ece3.5972.

Vošvrdová N., Johansson A., Turčáni M., Jakuš R., Tyšer D., Schlyter F., Modlinger R. 2023. Dogs trained to recognise a bark beetle pheromone locate recently attacked spruces better than human experts, *Forest Ecology and Management* 528: 120626. DOI: 10.1016/j.foreco.2022.120626.

Waggoner P., Lazarowski L., Hutchings B., Angle C., Porritt F. 2022. Effects of learning an increasing number of odors on olfactory learning, memory and generalization in detection dogs, *Applied Animal* Behaviour Science 247: 105568. DOI: 10.1016/j.applanim.2022.105568.

Waters J., O'Connor S., Park K.J., Goulson D. 2011. Testing a detection dog to locate bumblebee colonies and estimate nest density, *Apidologie* 42 (2): 200–205. DOI: 10.1051/apido/2010056.

Wetterer J.K. 2011. Worldwide spread of the tropical fire ant, Solenopsis geminata (Hymenoptera: Formicidae), *Myrmecological News* 14, 21–35.