

# METODY OCENY DOBROSTANU PSZCZOŁY MIODNEJ

Jarosław Sobolewski, Jagoda Jeleniewska

Katedra Ochrony Zdrowia Publicznego i Dobrostanu Zwierząt Instytutu Medycyny Weterynaryjnej Wydziału Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych UMK w Toruniu

**D**obrostan pszczoły miodnej przez wiele lat był rozpatrywany przede wszystkim pośrednio, poprzez zdrowotność rodzin, wydajność pasieki oraz wielkość strat zimowych. Takie podejście okazuje się jednak niewystarczające, ponieważ w przypadku *Apis mellifera* brak jawnej choroby nie musi oznaczać dobrego dobrostanu (7, 9, 10, 11). Rodzina pszczela jest superorganizmem, którego prawidłowe funkcjonowanie zależy nie tylko od przeżycia poszczególnych osobników, ale także od zachowania spójności społecznej, utrzymania odpowiedniej struktury wiekowej, prawidłowego wychowu czerwiu, dostępu do zasobów oraz zdolności adaptacji do zmieniających się warunków środowiskowych (8, 10, 12). W ostatnich latach coraz częściej podkreśla się, że dobrostan pszczół powinien być ujmowany szerzej niż tylko zdrowie kolonii. Obejmuje on zarówno czynniki biologiczne i środowiskowe, jak i wpływ praktyk pszczelarskich na możliwość realizowania naturalnych zachowań (7, 9, 10). Taki kierunek jest zgodny z nowoczesnym rozumieniem dobrostanu zwierząt, rozwijanym m.in. w ramach modelu „Five Domains”, w którym analizuje się żywienie, środowisko, zdrowie, zachowanie oraz wynikający z nich stan psychiczny (23). Choć model ten powstał głównie na potrzeby oceny dobrostanu kręgowców, bywa obecnie adaptowany także do bezkręgowców, w tym do pszczół miodnych (9, 10, 11). Znaczenie oceny dobrostanu pszczół wzrasta wraz z nasileniem czynników ryzyka oddziałujących na rodziny pszczele. Do najważniejszych należą *Varrona destructor*, choroby zakaźne i inwazyj-

ne, zakażenia wirusowe, niedobory pokarmowe, uproszczenie krajobrazu rolniczego, ekspozycja na pestycydy, transport rodzin oraz błędy w zarządzaniu pasieką (7, 17, 29, 30, 38). W konsekwencji ocena dobrostanu pszczół nie może opierać się na jednym wskaźniku. Potrzebne są narzędzia wielowymiarowe, łączące ocenę stanu rodziny, środowiska i praktyk hodowlanych (7, 8, 12).

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie aktualnych metod oceny dobrostanu pszczoły miodnej, ze szczególnym uwzględnieniem ich przydatności praktycznej w medycynie weterynaryjnej i nowoczesnym pszczelarstwie.

## Dobrostan pszczoły miodnej – istota pojęcia

Dobrostan pszczoły miodnej nie jest pojęciem prostym, ponieważ przedmiotem oceny nie jest wyłącznie pojedynczy organizm, ale cała rodzina funkcjonująca jako superorganizm (10, 11, 12). Oznacza to, że wskaźniki dobrostanu powinny odnosić się jednocześnie do poziomu indywidualnego i kolonijnego. Z jednej strony znaczenie mają przeżywalność osobników, integralność ich ciała, zdolność lotu czy rozwój larwalny, z drugiej natomiast kluczowe są parametry opisujące funkcjonowanie rodziny jako całości: siła kolonii, jakość czerwiu, obecność zapasów, stabilność termiczna, organizacja pracy i przeżywalność sezonowa (3, 6, 8, 12). W praktyce ocena dobrostanu pszczół może być oparta na trzech grupach wskaźników. Pierwszą stanowią wskaźniki animal-based, odnoszące się bezpośrednio do samych pszczół lub ro-

dziny, np. śmiertelność, siła rodziny, stan czerwiu, zachowania higieniczne czy poziom porażenia pasożytami (7, 8, 12). Drugą grupę tworzą wskaźniki obejmujące zasoby i warunki środowiskowe, takie jak dostępność pożytku, obecność wody, mikroklimat ula, ekspozycja na zanieczyszczenia czy jakość lokalizacji pasieki (9, 18, 29, 30). Trzecią grupę stanowią wskaźniki związane ze sposobem prowadzenia gospodarki pasiecznej: częstotliwością przeglądów, jakością bioasekuracji, terminowością leczenia, wymianą matek, przemieszczaniem rodzin czy sposobem zimowli (7, 13, 17).

Współczesne ujęcie dobrostanu pszczół podkreśla, że nie należy go utożsamiać ani wyłącznie z wydajnością, ani wyłącznie z nieobecnością choroby. Rodzina może utrzymywać produkcję miodu mimo przewlekłego stresu środowiskowego lub zarządczego, a więc znajdować się w stanie biologicznie suboptymalnym (9, 10, 11). Z tego względu ocena dobrostanu wymaga podejścia integrującego wiele źródeł informacji.

## Metody oceny dobrostanu pszczoły miodnej

### Ocena siły rodziny i struktury gniazda

Do podstawowych metod oceny dobrostanu należy określenie siły rodziny, obejmujące liczbę pszczół dorosłych, ilość czerwiu oraz wielkość zapasów (3, 6). W praktyce najczęściej wykorzystuje się metody wizualne, w tym metodę Liebefeld i jej pochodne, polegające na szacowaniu powierzchni plastrów zajętych przez czerw, pszczoły i pokarm (6). Jest to podejście tanie i szybkie, lecz obarczo-



## Methods for assessing honey bee welfare

*Honey bee welfare is gaining increasing importance in veterinary medicine and apicultural science. The condition of managed honey bee colonies depends not only on the absence of disease, but also on adequate nutrition, environmental quality, the opportunity to express species-specific behaviours and appropriate management practices. Welfare assessment in *Apis mellifera* is particularly complex because the colony functions as a superorganism, while the condition of individual bees also remains biologically relevant. This review discusses the concept of honey bee welfare and presents the main methods currently used to assess it, including field evaluation of colony strength, brood and queen assessment, disease and parasite monitoring, behavioural indicators, laboratory and physiological methods, and tools used in precision beekeeping. Current evidence indicates that no single parameter is sufficient for reliable welfare assessment. A multidimensional approach combining animal-based, resource-based and management-based indicators appears to be the most useful in both research and veterinary practice.*

**Keywords:** *Apis mellifera*, welfare assessment, colony health, precision beekeeping, brood monitoring.

ne subiektywizmem oceniającego. Z tego powodu rozwijane są bardziej obiektywne metody ilościowe. Capela i wsp. wykazali, że połączenie ważenia ramek, oceny liczby pszczół oraz cyfrowej analizy plastrów umożliwia bardzo dokładne monitorowanie rozwoju kolonii (3). Dzięki temu można lepiej śledzić dynamikę czerwienia, wzrost lub osłabienie rodziny, a także wielkość zapasów pokarmowych. Z perspektywy dobrostanu istotne jest również to, że autorzy zwrócili uwagę na potrzebę stosowania metod możliwie mało inwazyjnych, ponieważ sam monitoring może stanowić źródło stresu dla rodziny (3). Wskaźnikami szczególnie użytecznymi są: powierzchnia czerwiu, równomierność jego rozmieszczenia, tempo rozwoju rodziny, liczba pszczół obsiadających plastry, ilość zapasów miodu i pyłku oraz ich sezonowa zmienność (3, 6). Parametry te nie są wystarczające do pełnej oceny dobrostanu, ale stanowią jego bardzo ważny fundament.

### Ocena czerwiu i jakości matki

Stan czerwiu należy do najbardziej czułych wskaźników funkcjonowania rodziny. Ocenia się powierzchnię czerwiu, jego jednorodność, obecność czerwiu mozaikowego, tempo zasklepiania oraz ewentualne nieprawidłowości rozwojowe (3, 6). Zaburzenia te mogą wskazy-

wać na niedobory pokarmowe, problemy zdrowotne, złą jakość matki, ekspozycję na czynniki toksyczne lub przewlekły stres kolonii (1, 7, 15). Jakość matki ma znaczenie kluczowe dla dobrostanu rodziny, ponieważ wpływa na dynamikę czerwienia, stabilność społeczną, prawidłowy rozwój kolonii oraz zdolność do przetrwania sezonu (1, 14). Ocenia się ją pośrednio na podstawie obrazu czerwiu i siły rodziny, a także bezpośrednio, analizując cechy morfologiczne, częstotliwość wymiany matek czy wyniki reprodukcyjne kolonii (14). Niska jakość matki może być ważnym, choć nie zawsze od razu dostrzegalnym czynnikiem pogorszenia dobrostanu rodziny (1, 14).

### Monitorowanie chorób

Ocena dobrostanu pszczół nie może pomijać systematycznego monitorowania chorób i pasożytów. Największe znaczenie praktyczne ma kontrola inwazji *Varroa destructor*, ponieważ pasożyt ten wpływa na przeżywalność osobników, immunokompetencję, transmisję wirusów oraz ryzyko strat rodzin (17, 38). W praktyce wykorzystuje się m.in. ocenę naturalnego osypu roztoczy, test cukrowy, płukanie pszczół w alkoholu i kontrolę czerwiu trutowego (17, 38). Istotne pozostaje również rozpoznawanie nose-mozy, chorób czerwiu oraz infekcji wirusowych. W przypadku *Nosema* spp. sto-

sowane są badania mikroskopowe oraz metody molekularne (20). Ocena chorób ma znaczenie nie tylko diagnostyczne, ale też dobrostanowe, ponieważ ujawnia cierpienie, osłabienie lub upośledzenie funkcji biologicznych rodziny. Ważne jest jednak, aby nie ograniczać się do samego stwierdzenia obecności patogenu, lecz uwzględnić jego znaczenie kliniczne i wpływ na funkcjonowanie kolonii (17, 20). Badania epidemiologiczne strat rodzin, szczególnie zimowych, pozostają użyteczne jako wskaźnik krańcowy pogorszenia dobrostanu, choć mają charakter późny i nieswoisty (13, 36, 37, 38). Dane te dobrze pokazują skutki zaburzeń, ale rzadziej pozwalają uchwycić ich wczesne stadia.

## Ocena zachowania

Zachowanie coraz częściej uznawane jest za jedno z kluczowych źródeł informacji o dobrostanie pszczół (9, 10). W warunkach prawidłowych rodzina wykazuje stabilną aktywność lotną, sprawne zbieractwo, odpowiednią wentylację gniazda, zachowania higieniczne, budowę plastrów i właściwą organizację pracy (9, 10, 35). Odchylenia od tego wzorca mogą sugerować stres środowiskowy, głód, osierocenie rodziny, chorobę lub oddziaływanie czynników toksycznych. Szczegółne znaczenie praktyczne mają testy zachowań higienicznych, takie jak test zamrożonego czerwiu lub test nakłuwanego czerwiu (34). Pozwalają one ocenić zdolność robotnic do szybkiego rozpoznawania i usuwania martwego lub uszkodzonego czerwiu, co wiąże się z większą odpornością kolonii na część chorób. Uzupełnieniem mogą być testy groomingu, oceniające usuwanie roztoczy z ciała pszczół (2). Nie są to wskaźniki pełnego dobrostanu, ale ważne funkcjonalne markery sprawności rodziny.

## Ocena środowiska i zasobów

Dobrostan pszczół jest silnie zależny od warunków środowiskowych. Ocenie powinny podlegać dostępność i różnorodność pożytków, obecność źródeł wody, mikroklimat ula, lokalizacja pasieki, ryzyko przegrzania i wychłodzenia oraz narażenie na pestycydy i inne zanieczyszczenia (7, 9, 18, 29, 30). Ubożenie krajobrazu, monokultury i okresy bezpożytkowe mogą prowadzić do niedożywienia rodzin i wtórnego osłabienia ich odporności (18, 29, 30). W praktyce terenowej ocena środowiska ma charakter pośredni, ale jest niezbędna do prawidłowej interpretacji wyników uzyskanych podczas badania rodziny. Ta sama wielkość kolo-

nii może oznaczać stan prawidłowy w okresie ubożego pożytku albo stan alarmowy w warunkach, które powinny sprzyjać znacznie lepszemu rozwojowi (9, 18).

## Metody laboratoryjne, fizjologiczne i molekularne

Badania laboratoryjne stanowią ważne uzupełnienie oceny terenowej. Szczególne miejsce zajmują modele *in vitro* służące do oceny przeżywalności i rozwoju larw. Hendriksma i wsp. opisali nowoczesne podejście do wychowu larw *in vitro* i analizy danych, a późniejsze prace dopracowały standaryzację tych metod (15, 33). Pozwalają one analizować wpływ pestycydów, niedoborów pokarmowych i innych stresorów na rozwój czerwiu. Coraz większe znaczenie mają także wskaźniki fizjologiczne i molekularne. Obejmują one m.in. oznaczanie wybranych parametrów hemolimfy, ocenę obecności patogenów, badanie ekspresji genów związanych ze stresem czy analizę statusu odżywienia rodziny (31). Metody te mogą ujawniać zaburzenia subkliniczne, niewidoczne w rutynowym przeglądzie pasieki, lecz ich stosowanie w praktyce jest wciąż ograniczone kosztami i potrzebą zaplecza laboratoryjnego.

## Precyzyjne pszczelarstwo i monitoring nieinwazyjny

Jednym z najdynamiczniej rozwijających się kierunków jest precyzyjne pszczelarstwo. Obejmuje ono wykorzystanie wag uli, czujników temperatury i wilgotności, mikrofonów, liczników aktywności przy wylotku, systemów wizyjnych i rozwiązań opartych na analizie danych (5, 16, 19, 21, 22, 24, 26, 28, 32, 39, 40). Zaletą tych narzędzi jest możliwość ciągłego, mało inwazyjnego monitorowania stanu rodziny. Zmiany masy ula mogą odzwierciedlać dostępność pożytku, tempo gromadzenia zapasów lub nieprawidłowości w aktywności zbieraczek (21, 22). Pomiary temperatury i wilgotności pozwalają oceniać zdolność termoregulacji i wczesne sygnały nastroju rojowego lub osłabienia rodziny (35, 39). Monitoring akustyczny i analiza obrazu stają się z kolei narzędziami pomocnymi w wykrywaniu zmian organizacji pracy kolonii (19, 24, 32, 40). Mimo dużego potencjału systemy te nie zastępują klasycznej oceny kliniczno-pasiecznej. Ich podstawowym ograniczeniem pozostaje potrzeba dalszej walidacji, standaryzacji oraz interpretacji danych w zależności od warunków środowiskowych i technologii prowadzenia pasieki (5, 19, 32, 40).

## Wskaźniki zintegrowane i podejście holistyczne

Rosnąca liczba potencjalnych mierników doprowadziła do rozwoju narzędzi integrujących wiele wskaźników jednocześnie. EFSA zaproponowała HEALTHY-B toolbox, mający ułatwiać harmonizację gromadzenia danych o stanie rodzin pszczelich (8). Gilioli i wsp. przedstawili koncepcję holistycznego indeksu oceny zdrowia kolonii (12). Najnowsze publikacje dotyczące dobrostanu pszczół wskazują natomiast na potrzebę tworzenia list kontrolnych i audytów obejmujących zdrowie, środowisko, zachowanie oraz praktyki zarządcze (9, 10). Takie podejście wydaje się szczególnie użyteczne z perspektywy weterynaryjnej. Umożliwia bowiem nie tylko ocenę bieżącego stanu rodziny, ale także analizę ryzyka i wskazanie obszarów wymagających korekty w gospodarce pasiecznej (7, 8, 12). Ocena dobrostanu pszczół powinna więc mieć charakter zintegrowany i łączyć informacje z przeglądu pasieki, badań laboratoryjnych, monitoringu środowiska oraz dokumentacji prowadzonej przez pszczelarza.

## Eutanazja rodzin i dobrostan krańcowy

W skrajnych sytuacjach dobrostan pszczół należy rozpatrywać również w kontekście konieczności likwidacji rodziny, np. przy zgnilcu amerykańskim lub w sytuacji zagrożenia epizootycznego. Mutinelli zwrócił uwagę, że nawet wtedy dobrostan pszczół powinien być uwzględniany aż do chwili ich śmierci, a wybór metody postępowania powinien zmierzać do ograniczenia cierpienia i stresu (25). Z punktu widzenia oceny dobrostanu są to wskaźniki krańcowe, informujące, że stan rodziny uległ skrajnemu pogorszeniu.

## Ograniczenia obecnych metod

Największym problemem współczesnej oceny dobrostanu pszczół pozostaje brak jednego, uniwersalnego i w pełni zwalidowanego narzędzia (8, 9, 10). Część metod jest zbyt subiektywna, część kosztowna lub trudna do wdrożenia w praktyce terenowej, a część opisuje jedynie wycinek złożonego stanu biologicznego rodziny. Wyniki są ponadto silnie zależne od warunków klimatycznych, lokalnego krajobrazu, linii genetycznej pszczół oraz technologii pasiecznej (7, 8, 21). Dodatkowym ograniczeniem jest trudność wnioskowania o subiektywnych stanach pszczół. W przeciwieństwie do ssaków nie dysponujemy jeszcze równie dobrze rozwiniętym

aparatem interpretacyjnym dla bezkręgowców (9, 10, 11). Z tego względu obecna praktyka opiera się przede wszystkim na wskaźnikach biologicznych, behawioralnych i funkcjonalnych.

## Wnioski

Dobrostan pszczoły miodnej powinien być rozumiany szerzej niż brak choroby i szerzej niż produktywność rodziny. Jest to stan zależny od jakości żywienia, środowiska, zdrowia, zachowania oraz praktyk zarządczych, oceniany zarówno na poziomie osobniczym, jak i kolonijnym (9, 10, 11). Żaden pojedynczy parametr nie pozwala na pełną ocenę dobrostanu pszczół.

Największą wartość praktyczną mają podejścia wielowymiarowe, łączące ocenę siły rodziny, stanu czerwiu, jakości matki, nasilenia chorób i pasożytów, zachowań higienicznych, zasobów środowiskowych oraz sposobu prowadzenia gospodarki pasiecznej (7, 8, 12). Szczególnie obiecujące są nowoczesne systemy precyzyjnego pszczelarstwa, ale powinny one być traktowane jako uzupełnienie, a nie zamiennik klasycznej oceny kliniczno-pasiecznej (5, 19, 21, 32, 40).

Dalszy rozwój metod oceny dobrostanu pszczół powinien zmierzać do standaryzacji wskaźników, walidacji narzędzi nieinwazyjnych oraz opracowania praktycznych protokołów możliwych do zastosowania w nadzorze weterynaryjnym i codziennej praktyce pasiecznej. ●

## Piśmiennictwo

- Amiri E, Strand M. K., Rueppell O., Tarpy D. R.: Queen quality and the impact of honey bee diseases on queen health: potential for interactions between two major threats to colony health. „Insects”, 2017, 8, 48, DOI: 10.3390/insects8020048.
- Andino G. K., Hunt G. J.: A scientific note on a new assay to measure honeybee mite-grooming behavior. „Apidologie”, 2011, 42, 481–484, DOI: 10.1007/s13592-011-0004-1.
- Capela N., Dupont Y. L., Rortais A., Sarmento A., Papanikolaou A., Topping C. J., Arnold G., Pinto M. A., Rodrigues P. J., More S. J., Tosi S., Alves T. S., Sousa J. P.: High accuracy monitoring of honey bee colony development by a quantitative method. „J. Apic. Res.”, 2023, 62, 741–750, DOI: 10.1080/00218839.2022.2098899.
- Craillshheim K., Brodschneider R., Aupinel P., Behrens D., Genersch E., Vollmann J., Riessberger-Gallé U.: Standard methods for artificial rearing of Apis mellifera larvae. „J. Apic. Res.”, 2013, 52 (1), DOI: 10.3896/IBRA.1.52.1.05.
- Danielli P. P., Addeo N. F., Lazzari F., Manganello F., Bovera F.: Precision Beekeeping Systems: State of the Art, Pros and Cons, and Their Application as Tools for Advancing the Beekeeping Sector. „Animals”, 2023, 14, 70, DOI: 10.3390/ani14010070.
- Delaplane K. S., van der Steen J., Guzman-Novoa E.: Standard methods for estimating strength parameters of Apis mellifera colonies. „J. Apic. Res.”, 2013, 52 (1), DOI: 10.3896/IBRA.1.52.1.03.
- EFSA Panel on Animal Health and Welfare: Assessing the health status of managed honeybee colonies (HEALTHY-B): a toolbox to facilitate harmonised data collection. „EFSA J.”, 2016, 14, 4578, DOI: 10.2903/j.efsa.2016.4578.
- El Agrebi N., Steinhauer N., Tosi S., Leinartz L., De Graaf D. C., Saegerman C.: Risk and protective indicators of beekeeping management practices. „Sci. Total Environ.”, 2021, 799, 149381, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149381.
- Formato G., Giannotti E., Lorenzi V., Roncoroni C., Pietropaoli M., Pedrelli C., Bagni M., Palomba S.: Definition and Identification of Honey Bee Welfare Practices Within the Five Domains Framework for Sustainable Beekeeping. „Appl. Sci.”, 2024, 14, 11902, DOI: 10.3390/appl142411902.
- Formato G., Giannotti E., Roncoroni C., Lorenzi V., Brajon G.: Apis mellifera welfare: definition and future directions. „Front. Anim. Sci.”, 2024, 5, 1486587, DOI: 10.3389/fanim.2024.1486587.
- Garrido C., Nanetti A.: Welfare of managed honey bees. W: Carere C., Mather J. (red.): The Welfare of Invertebrate Animals. Springer, Cham 2019, 69–104, DOI: 10.1007/978-3-030-13947-6\_4.
- Gilioli G., Sperandio G., Hatjina F., Simonetto A.: Towards the development of an index for the holistic assessment of the health status of a honey bee colony. „Ecol. Indic.”, 2019, 101, 341–347, DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.01.024.
- Gray A., Adjilane N., Arab A., Ballis A., Brusbardis V., Bugeja Douglas A., Caddhia L., Charrière J.-D., Chlebo R., Coffey M. F. i wsp.: Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement. „J. Apic. Res.”, 2023, 62, 204–210, DOI: 10.1080/00218839.2022.2113329.
- Hatjina F., Bienkowska M., Charistos L., Chlebo R., Costa C., Dražić M., Filipi J., Gregorc A., Ivanova E., Kezić N. i wsp.: A review of methods used in some European countries for assessing the quality of honey bee queens through their physical characters and the performance of their colonies. „J. Apic. Res.”, 2014, 53, 337–363, DOI: 10.3896/IBRA.1.53.3.02.
- Hendriksma H. P., Härtel S., Steffan-Dewenter I.: Honey bee risk assessment: new approaches for in vitro larvae rearing and data analyses. „Methods Ecol. Evol.”, 2011, 2, 509–517, DOI: 10.1111/j.2041-210X.2011.00099.x.
- Henry E., Adamchuk V., Stanhope T., Buddle C., Rindlaub N.: Precision apiculture: development of a wireless sensor network for honeybee hives. „Comput. Electron. Agric.”, 2019, 156, 138–144, DOI: 10.1016/j.compag.2018.11.001.
- Hristov P., Shumkova R., Palova N., Neov B.: Factors associated with honey bee colony losses: a mini-review. „Vet. Sci.”, 2020, 7, 166, DOI: 10.3390/vetsci7040166.
- Klein A.-M., Vaissière B. E., Cane J. H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S. A., Kremen C., Tscharntke T.: Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. „Proc. R. Soc. B”, 2007, 274, 303–313, DOI: 10.1098/rspb.2006.3721.
- Marchal P., Buatois A., Kraus S., Klein S., Gomez-Moracho T., Lihoreau M.: Automated monitoring of bee behaviour using connected hives: towards a computational apidology. „Apidologie”, 2020, 51, 356–368, DOI: 10.1007/s13592-019-00714-8.
- Mazur E. D., Gajda A. M.: Nosemosis in honeybees: a review guide on biology and diagnostic methods. „Appl. Sci.”, 2022, 12, 5890, DOI: 10.3390/appl12125890.
- Meikle W. G., Holst N., Colin T., Weiss M., Carroll M. J., McFrederick Q. S., Barron A. B.: Using within-day hive weight changes to measure environmental effects on honey bee colonies. „PLoS One”, 2018, 13, e0197589, DOI: 10.1371/journal.pone.0197589.
- Meikle W. G., Holst N.: Application of continuous monitoring of honeybee colonies. „Apidologie”, 2015, 46, 10–22, DOI: 10.1007/s13592-014-0298-x.
- Mellor D. J.: Updating animal welfare thinking: moving beyond the „Five Freedoms” towards „A Life Worth Living”. „Animals”, 2016, 6, 21, DOI: 10.3390/ani6030021.
- Micheli M., Papa G., Negri I., Lancini M., Nuzzi C., Pasinetti S.: Sensorizing a Beehive: A Study on Potential Embedded Solutions for Internal Contactless Monitoring of Bees Activity. „Sensors”, 2024, 24, 5270, DOI: 10.3390/s24165270.
- Mutinelli F.: Euthanasia and welfare of managed honey bee colonies. „J. Apic. Res.”, 2023, 62, 2–10, DOI: 10.1080/00218839.2021.1895569.
- Ngo T. N., Wu K. C., Su H.-Y., Lin T.-T.: Automated monitoring and analyses of honey bee pollen foraging behavior and environmental factors using a deep learning system. „Comput. Electron. Agric.”, 2021, 187, 106239, DOI: 10.1016/j.compag.2021.106239.
- Ollerton J., Winfree R., Tarrant S.: How many flowering plants are pollinated by animals? „Oikos”, 2011, 120, 321–326, DOI: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x.
- Penalzoza-Aponte D., Brandt S., Dent E., Underwood R. M., DeMoraes B., Bruckner S., López-Urbe M. M., Urbina J. V.: Automated entrance monitoring to investigate honey bee foraging trips using open-source wireless platform and fiducial tags. „HardwareX”, 2024, 20, e00609, DOI: 10.1016/j.ohx.2024.e00609.
- Potts S. G., Biesmeijer J. C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O., Kunin W. E.: Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. „Trends Ecol. Evol.”, 2010, 25, 345–353, DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.
- Potts S. G., Imperatriz-Fonseca V., Ngo H. T., Aizen M. A., Biesmeijer J. C., Breeze T. D., Dicks L. V., Garibaldi L. A., Hill R., Settele J., Vanbergen A. J.: Safeguarding pollinators and their values to human well-being. „Nature”, 2016, 540, 220–229, DOI: 10.1038/nature20588.
- Rudelli C., Galuppi R., Dalmonte T., Fontanesi L., Andreani G., Isani G.: Field application of an innovative approach to assess honeybee health and nutritional status. „Animals”, 2024, 14, 2183, DOI: 10.3390/ani14152183.
- Šabić J., Perković T., Šolić P., Šerić L.: Buzzing with Intelligence: A systematic review of smart beehive technologies. „Sensors”, 2025, 25, 5359, DOI: 10.3390/s25175359.
- Schmehl D. R., Tomé H. V. V., Mortensen A. N., Martins G. F., Ellis J. D.: Protocol for the in vitro rearing of honey bee (Apis mellifera L.) workers. „J. Apic. Res.”, 2016, 55, 113–129, DOI: 10.1080/00218839.2016.1203530.
- Spivak M., Downey D. L.: Field assays for hygienic behavior in honey bees (Hymenoptera: Apidae). „J. Econ. Entomol.”, 1998, 91, 64–70, DOI: 10.1093/jee/91.1.64.
- Stabentheiner A., Kovac H., Brodschneider R.: Honey bee colony thermoregulation – regulatory mechanisms and contribution of individuals in dependence on age, location and thermal stress. „PLoS One”, 2010, 5, e8967, DOI: 10.1371/journal.pone.0008967.
- van der Zee R., Gray A., Holzmann C., Pisa L., Brodschneider R., Chlebo R., Coffey M. F., Kence A., Kristiansen P., Mutinelli F. i wsp.: Standard survey methods for estimating colony losses and explanatory risk factors in Apis mellifera. „J. Apic. Res.”, 2013, 52 (4), DOI: 10.3896/IBRA.1.52.4.18.
- van der Zee R., Gray A., Pisa L., de Rijk T.: An observational study of honey bee colony winter losses and their association with Varroa destructor, neonicotinoids and other risk factors. „PLoS One”, 2015, 10, e0131611, DOI: 10.1371/journal.pone.0131611.
- vanEngelsdorp D., Lengerich E. J., Spleen A., Dainat B., Cresswell J., Baylis K., Nguyen B. K., Soroker V., Underwood R., Human H., Le Conte Y., Saegerman C.: Standard epidemiological methods to understand and improve Apis mellifera health. „J. Apic. Res.”, 2013, 52 (1), DOI: 10.3896/IBRA.1.52.1.08.
- Zacepina A., Kviess A., Stalidzans E., Liepniece M., Meitalovs J.: Remote detection of the swarming of honey bee colonies by single-point temperature monitoring. „Biosyst. Eng.”, 2016, 148, 76–80, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.05.012.
- Zaman A., Dorin A.: A framework for better sensor-based beehive health monitoring. „Comput. Electron. Agric.”, 2023, 210, 107906, DOI: 10.1016/j.compag.2023.107906.

Jarosław Sobolewski, e-mail: jsobolewski@umk.pl