

brzegu Wisły, na wzgórzu Wawel. Badania Zina sugerowały, że w miejscu kościoła znajdowała się w IX lub X wieku rezydencja książęca, której głównymi elementami był kościół w kształcie rotundy oraz obszerne *palatium*, właściwa siedziba księcia i dworu. Wyniki badań archeologicznych profesora Zina zostały bardzo mocno poparte wynikami naszych badań georadarowych, właśnie publikowanych w *Acta Geophysica*. W badaniach tych wyraźnie określiliśmy przebieg murów mogących stanowić ściany *palatium* oraz przebieg absydy rotundy.

Zachęcona tymi wynikami, wyraźnie wskazującymi możliwości wykorzystania techniki georadarowej, rozpoczęłam badania georadarowe w Żębocinie. Średniowieczna tradycja tego miejsca, rozpowszechniona dzięki Ignacemu Kraszewskiemu w powieści

Boleszczyce oraz legendami miejscowymi (na przykład o odkryciu bardzo starożytnego wina w lochach kościoła, którego daty jednak nie można ustalić, gdyż odkrywcy szybko je skonsumowali) uznałam kościół w Żębocinie i jego okolice za dobre miejsce do przeprowadzenia praktycznych zajęć ze studentami z zastosowania georadaru. Faktycznie pierwsze wyniki są obiecujące, ale oczywiście nie nadają się jeszcze do publikacji. Niewątpliwie wskazują one jednak, że metoda georadarowa jest potencjalnie wielkim sprzymierzeńcem archeologa, i że geofizyka współczesna ma szansę wnieść istotny wkład do naszej wiedzy o dziejach Polski.

Sylwia Tomecka-Suchoń, Piotr Pyka (Kraków)

Dr Sylwia Suchoń jest adiunktem w Zakładzie Geofizyki WGGiOŚ AGH w Krakowie. Piotr Pyka jest absolwentem AGH, a pomiary georadarowe w Żębocinie wykonywał w ramach swojej pracy inżynierskiej.

ŻYCIE W ZIMIE – PRZYPADEK NAJMNIJSZYCH SSAKÓW ŚWIATA

Zima to piękna pora roku. Śnieg całkowicie odmienia krajobraz, a mróz czyni powietrze krystalicznie przejrzystym. Okres piękny zwłaszcza, gdy obserwujemy go przez okno przytulnego mieszkania. Zapadnięci w wygodnym fotelu, z gorącym kubkiem herbaty w dłoni, z lodówką pełną jedzenia i gorącą wodą w kranie... Zmieńmy jednak na chwilę ten obrazek. Przypomnijmy sobie oczekiwanie na spóźniający się tramwaj czy krótki spacer do osiedlowego sklepu. Zaledwie 10 min spędzonych na półotwartej przestrzeni wydaje się wiecznością. Zdaje się wtedy, że temperatura poniżej -10°C nie pozwala na jakąkolwiek aktywność poza drżeniem. Umysł i całe ciało domagają się powrotu do ciepłego domu. A przecież zazwyczaj jesteśmy zaopatrzeni w wiatroodporne kurtki z polarem, ocieplane buty, termoaktywną bieleżkę i cały ten, niemal alpinistyczny, sprzęt. A co z nieubranymi zwierzętami, zwłaszcza tymi małymi? W jaki sposób są w stanie przetrwać takie warunki ryjówki – najmniejsze ssaki świata?

Najmniejszy polski gatunek ryjówki (*Soricidae*) – ryjówka malutka (*Sorex minutus*) – waży zaledwie 3 g. Nie jest to nawet pełna łyżeczka cukru. Jej wyjątkowo mały organizm pracuje bardzo szybko. O wiele szybciej, niż przewidywali

naukowcy dla takiej wielkości ciała. Serce bije nawet 1000 razy na minutę. Tak ogromne tempo przemiany materii wymusza na nich ciągłe poszukiwanie pokarmu, by sprostać wymaganiom energetycznym. W ciągu doby zwierzę to musi zjeść ilość pokarmu odpowiadającą masie jej ciała. Samica ryjówki malutkiej, gdy jest w ciąży, zjada w ciągu doby nawet trzy razy więcej. Z drugiej strony, małe ciało nie pozwala na zgromadzenie dużych zapasów energetycznych w postaci tłuszczu. Ich żołądek musi więc być stale pełny – gdy tylko zabraknie w nim pokarmu, odpoczywająca ryjówka musi natychmiast wznowić intensywne żerowanie. Jeśli nie zapełni go ponownie w ciągu kilku godzin – umrze. W podobnej sytuacji jest jej trochę większa kuzynka, ryjówka aksamitna (*Sorex araneus*) (8 g) oraz już spory, jak na rodzinę ryjówkowatych (*Soricidae*), rzesorek rzeczek (*Neomys fodiens*) (14 g). Te trzy gatunki, wraz z rzesorkiem mniejszym (*Neomys anomalus*), tworzą reprezentację polskich ryjówek z podrodziny *Soricinae*.

W jaki sposób udaje się więc tym zwierzętom przetrwać zimę? W Polsce ta pora roku bywa naprawdę sroga. Zdarzało się nawet, że temperatura spadała do -40°C . Można więc podejrzewać, że takie mrozy zmniejszają dostępność pokarmu, utrudniają żerowanie,

zwiększają straty ciepła, a co za tym idzie – zwiększają potrzeby energetyczne.

A trzeba tu podkreślić, że żaden z tych gatunków nie posiada zdolności do zapadania w stan hibernacji. W związku z tym, nie mogą po prostu przespać zimy, jak o wiele większe od nich susły czy niedźwiedzie. Mimo wszystko, ryjówki w toku ewolucji wykształciły tak skuteczne (choć subtelne) mechanizmy zimowania, że ich śmiertelność w tym sezonie nie jest wcale duża. Co więcej – może być nawet mniejsza niż jesienią, czy późnym latem.

organów wewnętrznych. Mniejsze stają się nerki, wątroba, trzustka itd. Spada też ich aktywność wydzielnicza. Jedynym organem, który nie podąża tym trendem jest serce. Wiąże się to z ogromnym obciążeniem mięśnia sercowego, które nie pozwala na zmniejszenie jego wydolności. Ryjówkom w tym sezonie udaje się także obniżyć całkowity poziom metabolizmu – i to nawet o 30%! To wszystko połączone ze spadkiem ilości wody w tkankach pozwala na znaczące obniżenie wymagań energetycznych. Przykładowo, u ryjówki aksamitnej spadek masy ciała o 20% równa się obniżeniu zapotrzebowania na pokarm na podobnym poziomie. Mimo to, jeszcze do niedawna trwa-



Ryc. 1. Ryjówka aksamitna *Sorex araneus*. Fot. Cezary Korkosz.



W jaki więc sposób to osiąągają? Najciekawszą adaptacją jest zjawisko nazywane efektem Dehnela. Nazwane tak zostało na cześć wybitnego polskiego naukowca, który opisał je jako pierwszy – prof. Augusta Dehnela. Zimą ryjówki dosłownie się zmniejszają. I nie mówimy tu tylko o spadku masy ciała, która notabene może spaść nawet o 1/3! Dzięki częściowej resorpcji dysków w ich kręgosłupach, długość ich całego ciała ulega skróceniu. Spada pojemność czaszki, a co za tym idzie wielkość samego mózgu. Warto też podkreślić, że ogólny spadek masy ciała jest proporcjonalnie mniejszy, niż spadek masy energochłonnych

ła dyskusja: czy aby na pewno chodzi tu o adaptację wspomagającą przetrwanie zimy? Przecież od dawna oczywistym dla wszystkich jest, że im mniejsze zwierzę, tym stosunek jego wielkości do powierzchni staje się mniej korzystny termicznie. Ciepło z mniejszego zwierzęcia ucieka szybciej. Najnowsze badania pokazują jednak, że i ten problem został przez ryjówki ewolucyjnie rozwiązany. Otóż gdy spada wielkość ciała ryjówki, rosną właściwości izolacyjne jej futra, rekompensując ten niekorzystny stosunek. Banalnie proste.

Ryjówki jako rodzina posiadają także najwięcej, spośród wszystkich znanych i dotąd przebadanych ssaków, brunatnej tkanki tłuszczowej. Jest to wyjątkowa tkanka, działająca na zasadzie „elektrociepłowni”. Podczas gdy mitochondria komórek wszystkich innych tkanek przetwarzają glukozę w ATP (paliwo niezbędne do funkcjonowania wszystkich organizmów żywych), mitochondria komórek brunatnej tkanki tłuszczowej przetwarzają ten cukier bezpośrednio w ciepło. Te maleńkie zwierzęta nie tylko mają tej tkanki najwięcej. W sezonie zimowym jej aktywność zdecydowanie wzrasta i zaczyna wytwarzać nawet do 50% więcej ciepła!

Ale oprócz przystosowań fizjologicznych, ryjówki przejawiają pewne wyrafinowane modyfikacje w zachowaniu się, które także składają się na ich strategię zimowania. Jednym z behawioralnych przystosowań do tej niekorzystnej pory roku jest ściśle samotny tryb życia. Poza zaledwie kilkugodzinnym okresem zalotów i kopulacji, ryjówki są nieprzeciętnie agresywne wobec swych współplemieńców. Za wszelką cenę starają się unikać kontaktów, a jeśli już do tego dojdzie, to zwykle kończy się konfliktem. Można więc zapytać: niby jak ma to pomóc przetrwać zimę? Takie zachowanie odbiera możliwość wspólnego gnieźdzenia się i wzajemnego ogrzewania (obserwowanych u spokrewnionych z ryjówkami zębieleków), co z pewnością zmniejszyłoby straty ciepła. Na pewno jest to minusem takiego trybu życia. Jednak szalę korzyści przechyla przywłaszczenie sobie na wyłączność zasobów całego terytorium. Ryjówki żywią się głównie różnego rodzaju bezkręgowcami. Ich rozmieszczenie w przyrodzie jest dość przewidywalne, zarówno w czasie jak i przestrzeni. Ryjówkom więc opłaca się bronić dostępu do zasobów poprzez obronę terytoriów zawierających ilości pokarmu pozwalające im na zaspokojenie ogromnych wymagań energetycznych. Zwłaszcza zimą nie ma miejsca na dobrodusznego dzielenie się jedzeniem. W tym okresie, ryjówki jeszcze wyraźniej trzymają się swych terytoriów, których granice przestają się nakładać.

To jednak nie wszystko. Jak było wspomniane wcześniej, ryjówki muszą jeść niemal nieustannie. Są więc zwierzętami aktywnymi prawie przez całą dobę. Wiosną, latem i jesienią są jednak w większej mierze aktywne w godzinach nocnych. Pozwala to m. in. na zmniejszenie ryzyka bycia upolowanym przez większe drapieżniki (np. ptaki drapieżne). Zimą natomiast ryjówki zaczynają rozciągać swój czas aktywności na cieplejsze godziny dnia. O tej porze roku są bowiem zwykle ukryte przed drapieżnikami pod pokrywą śniegu, nocna osłona przestaje więc być priorytetem.

Niedawno udało się jeszcze głębiej wniknąć w sezonowe różnice zachowań tych zwierząt. Subtelne zmiany, którym podlega ich aktywność lokomotoryczna, aktywność żerowa czy długość czasu spędzanego poza gniazdem, może robić wrażenie. Zimą ryjówki ograniczają czas spędzany poza kryjówką i redukują aktywność lokomotoryczną, a intensyfikują aktywność żerową. Choć magazynują pokarm także w innych sezonach, to zimą skłonność do tego zachowania wyraźnie nasila się. A mając zapasy pokarmu w gnieździe lub w jego pobliżu mogą tym bardziej skrócić czas aktywności poza ciepłym gniazdem. A to wciąż nie wszystko! Należy jeszcze wspomnieć, że zimą ryjówki starają się spędzać jak najwięcej czasu pod izolującą pokrywą śnieżną, gdzie panują bardziej sprzyjające warunki termiczne niż na powierzchni. Zapewne też w większym stopniu niż latem przebywają pod powierzchnią ziemi i wykorzystują do przemieszczania się korytarze kretów i gryzoni.

Jak widać silna presja niskich temperatur, spadku dostępności pokarmu i innych towarzyszących zimie niesprzyjających warunków, doprowadziła do wykształcenia się u ryjówek wielu ciekawych przystosowań. Subtelne zmiany fizjologiczne i behawioralne pozwalają dożyć im do wiosny, kiedy to dojrzewają, przystępują do rozrodu i potem odchowują kilka miotów młodych. Późnym latem stare, ponad jednoroczne ryjówki, zmęczone zimą i sezonem rozrodczym umierają, pozostawiając miejsce ich następcom. Nowe pokolenie, dzięki przekazanym w genach zdolnościom, przeżyje kolejną zimę. Zapewni to przetrwanie populacji i gatunku, a nam pozwoli na głębsze zrozumienie ich niesamowitej biologii.

Michał Bogdziewicz (Poznań)