

# Właściwości elektryczne niektórych ryb

Stefan Gierlotka

## Wstęp

Niektóre gatunki ryb, należące do rodzin: drętwy, strętwy, mruki i sum elektryczny, wyewoluowały niezależnie narządy elektryczne. Ryby te należą do gromad chrzęstno- i kostnoszkieletowych. Wytwarzane napięcie elektryczne u tych ryb służy do obezwładniania zdobyczy lub odstraszenia napastników. Niektóre ryby swe narządy elektryczne wykorzystują do elektrolokacji i orientacji w środowisku.

## Narząd elektryczne u ryb

Największe węgorze elektryczne zdolne są do wytworzenia rażeniowego prądu elektrycznego o napięciu 600 V, sumy do 350 V, a drętwa brunatna do 200 V i natężeniu około 30 A. Ryby te wykorzystują prąd rażeniowy zarówno do polowania jak i obrony. Ryby wytwarzające pole elektryczne do elektrolokacji generują napięcie do 5 V, które służy do rozpoznania środowiska w mętnej wodzie. Do ryb tych należą: mrukowate, strętwokształtne i raje.

Do wytworzenia napięcia elektrycznego ryby wykorzystują czynnościowe prądy elektryczne powstające w mięśniach, nerwach i innych tkankach. Generowany prąd elektryczny płynie tylko w jednym kierunku. Wytworzona energia jest uzależniona od rozmiarów narządu elektrycznego. Wyładowania następują seriami impulsów, po czym na krótki czas ustają, aby narząd generujący mógł się zregenerować.

Narządy wytwarzające napięcie elektryczne zbudowane są ze zmodyfikowanych komórek mięśniowych, nazywanych elektrocytami. Pojedyncza komórka generuje napięcie rzędu dziesiątych miliwolta. Narządy elektryczne, stanowiące przekształconą tkankę mięśniową, zatraciły zdolność kurczenia się, a pod wpływem impulsów nerwowych wytwarzają energię elektryczną. Elektrocyty działają w sposób inny niż komórki nerwowe, których neurony przewodzą informację, a nie energię. Elektrocyty reagują wolniej niż neurony, ale generują wyższe napięcie.

Elektrocyty wykazują gradient potencjału, zwany też potencjałem spoczynkowym, w biologicznej błonie komórkowej. Potencjał spoczynkowy powstaje przez aktywny transport jonów  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ . Różnica potencjału tworzy się na skutek przeniesienia jonów z jednej strony błony na drugą. Gdy zadziała bodziec, rozpoczyna się aktywacja sodowa. Kationy sodu napływają do wnętrza komórki, a kationy potasu przemieszczają się na zewnętrzną stronę błony komórkowej. Przemieszczanie się jonów zwiększa napięcie międzykomórkowe.

Wyładowanie zgromadzonej energii elektrycznej rozpoczyna dochodzący z mózgu ryby impuls nerwowy, powodujący aktywację acetylocholiny, która dyfunduje na błonie elektrocytu.

Acetylocholina jest estrem, który przenika do przestrzeni międzykomórkowej wnętrza neuronów, tworzących płytki nerwowo-mięśniowe. Pobudzona komórka przechodzi w stan aktywności. Powoduje to wzrost potencjału między sąsiadującymi komórkami, do których jednocześnie dochodzi taki sam impuls pobudzający. W rezultacie powstaje bateria, której ogniwami są szeregowo połączone elektrocyty. Ułożone w szeregi elektrocyty, po zsumowaniu, wytwarzają napięcie o wartości kilkuset woltów.

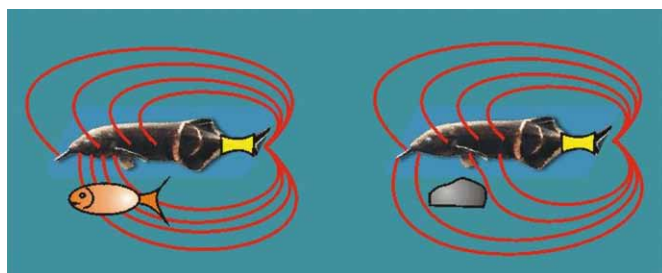
Narząd elektryczny węgorza elektrycznego *Electrophorus electricus* składa się z unerwionych płytek przedzielonych warstwą płytek nieunerwionych, których potencjał spoczynkowy wewnątrz płytki jest ujemny i wynosi 84 mV. Płytki zawierają dużo potasu, a mało sodu, natomiast w przestrzeniach międzyplatkowych jest odwrotnie. Pobudzenie powoduje depolaryzację jednej warstwy unerwionej i odwrócenie biegunowości potencjału. Potencjał warstwy zdepolaryzowanej sumuje się z potencjałem spoczynkowym sąsiedniej warstwy nieunerwionej. W momencie, kiedy pobudzenie obejmuje cały narząd elektryczny, napięcie wytworzone może osiągnąć 600 woltów.

Umieszczenie narządów elektrycznych jest różne u poszczególnych gatunków ryb i znajdują się one w różnych okolicach ciała. Różne jest też ich powstawanie. U strętów i węgorzy narządy elektryczne zajmują 80% ciała i są umiejscowione po obydwu stronach części brzusznej. Powstały z przekształconych włókien mięśniowych. U drętwy narządy elektryczne wypełniają 75% ciała i są umiejscowione symetrycznie z obu stron pomiędzy głową a płetwami piersiowymi. Powstały z przekształconych mięśni aparatu skrzelowego. Mrukowate wykształciły parę narządów elektrycznych po bokach trzonu ogonowego. U suma elektrycznego narządy elektryczne umieszczone są w tkance łącznej pod skórą i rozłożone są wokół tułowia od głowy do ogona. Powstały z tkanki łącznej gruczołów podskórnych. Składają się głównie z masy galaretowatej i są pochodzenia skórniego, nie mięśniowego.

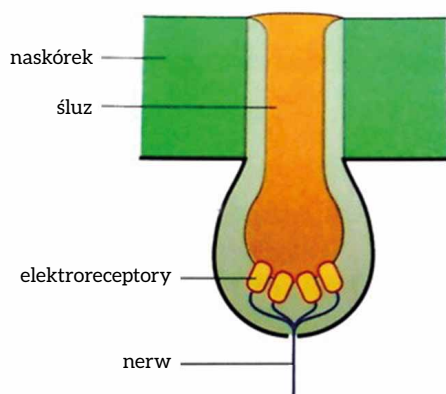
Narządy elektryczne zajmują w organizmie ryby znaczną objętość, stąd zwierzęta te wykształciły specyficzny, ociążały kształt ciała. Ryby elektryczne żyją w wodach słodkich (węgorze elektryczne, sumy elektryczne, mruki), jak też w słonych wodach mórz i oceanów (drętwy, raje i skabery).

## Zjawisko elektrolokacji u ryb

Wytwarzane przez ryby sygnały lokacyjne służą do rozpoznawania wielkości i kształtów otaczających obiektów, orientowania się w ciemnościach głębin lub w mętnej wodzie. Jeżeli w wytworzonym polu elektrycznym pojawi się obiekt żywy, np.



Zmiana linii pola elektrycznego w różnym środowisku



Budowa ampułki Lorenziniego

inna ryba, o większej przewodności niż otaczające środowisko, linie pola zginają się. Pojawienie się obiektu nieorganicznego jak np. skała, sprawia, że linie wytworzonego pola elektrycznego odginają się.

Wytwarzane przez ryby sygnały elektrolokacyjne pracują w dwóch zakresach częstotliwości: sygnały ciągłe o częstotliwości 50–1800 Hz lub ciągi sygnałów milisekundowych o powtarzalności 1–100 Hz. Rozwiniętą zdolność elektrolokacji posiadają m.in. rekiny, ryba piła, płaszczyki, drętwy i chimera pospolita.

Narządami zmysłu służącymi do odbierania i percepcji zmian zewnętrznego pola elektrycznego są tak zwane **ampułki Lorenziniego**. Znajdują się na głowie ryby, zwykle w okolicy otworu gębowego, w kształcie zagłębionych por. Ampułki te są wypełnione galaretowatym śluzem. Działają na zasadzie półprzewodnika, zamieniając sygnały dochodzące z zewnątrz na impulsy przekazywane do mózgu. U rekina ampułki Lorenziniego osiągają długość kilku centymetrów.

Parzystym narządem elektrycznym wytwarzającym napięcie do elektrolokacji u węgorza elektrycznego jest **narząd Sachsa**, który powstał z przekształconych włókien mięśniowych. Narząd Sachsa jest zbudowany z wielu szeregów elektrocytów i emituje ciąg impulsów o częstotliwości od kilkunastu do kilkudziesięciu Hz i amplitudzie napięcia kilku woltów. Jest umiejscowiony za narządem głównym, w tyle ogonowej części ciała. Nazwa tego narządu honoruje niemieckiego badacza węgorzy elektrycznych Karla Sachsa urodzonego w Nysie.

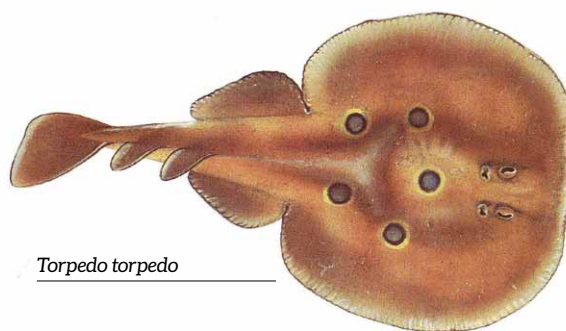
## Opis gatunków ryb zdolnych do wytwarzania prądu elektrycznego

### Drętwy (*Torpedinidae*)

Drętwy, należące do ryb chrzęstnoszkieletowych, posiadają ciało spłaszczone, zaokrąglone w kształt dysku. Oczy tych ryb są małe, uwstecznione, a niektóre gatunki są całkowicie ślepe. Skóra miękka, bez łusek. Płetwa ogonowa dobrze rozwinięta. Osiągają długość od kilkunastu centymetrów (*Torpedo bauchotae*) do 180 cm (*Torpedo nobiliana*) i masę kilkudziesięciu kilogramów. Drętwy są jaskrawo ubarwione, z ciemniejszymi plamami na grzbiecie.

Narządy elektryczne przyjmują nerkowaty kształt i położone są symetrycznie z obydwu stron, między głową a płetwami piersiowymi. Powstały z przekształconych mięśni aparatu skrzelowego. Napięcie elektryczne ryba uzyskuje przez szeregowe połączenie spłaszczonych, unerwionych tylko z jednej strony komórek mięśniowych, tak zwanych płytek elektrycznych. Ułożone jedna po drugiej płytki elektryczne tworzą pięć- lub sześcioboczne słupki. Drętwa posiada około 2000 takich elektrycznych płytek, z każdej strony 1000 sztuk. Zsumowane potencjały przy depolaryzacji błony komórkowej mogą wytworzyć prąd o napięciu 200 V i natężeniu 30 A. Głowa drętwy jest spolaryzowana ujemnie, a część tylna dodatnio. Narządy elektryczne służą rybie nie tylko do rażenia, ale też do elektrolokacji i orientacji w środowisku.

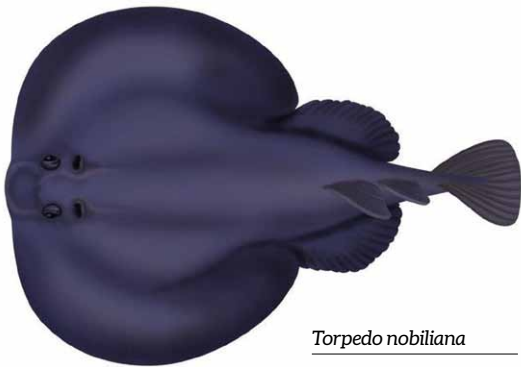
Drętwy żyją w Oceanie Indyjskim, Atlantyckim i Spokojnym. Prowadzą przydenny tryb życia, częściowo zakopane w piasku lub mule. Nie tworzą zgrupowań i żyją pojedynczo. Żywią się bezkręgowcami i małymi rybami.



*Torpedo torpedo*



**Drętwa pawik** (*Torpedo torpedo*) osiąga długość do 60 cm. Ciało okrągłe, spłaszczone, o marmurkowatym grzbiecie z wyraźnie oddzielnym, silnym krótkim trzonem ogonowym. Przednia krawędź lekko wklęsła lub prawie prosta. Skóra gładka. Małe oczy. Wygięty uzębiony otwór gębowy i 5 szczelin skrzelowych na stronie brzusznej. Na trzonie ogonowym znajdują się dwie płetwy grzbietowe i dobrze rozwinięta płetwa ogonowa. Szerokie, mięsiste płetwy brzuszne są oddzielone i zaokrąglone. Długość trzona ogonowego odpowiada długości tułowia. Strona grzbietowa brązowa, z niebieskimi, czarno lub żółto obwiedzionymi kilkoma plamami. Strona brzuszna biaława z ciemną obwódką. Może wytworzyć napięcie 300 V i prąd o natężeniu 7 A.



*Torpedo nobiliana*

Występuje we wschodnim Oceanie Atlantyckim, od Hiszpanii po Angolę, oraz w Morzu Śródziemnym. Przebywa na piaszczystym i mulistym podłożu oraz wśród podwodnych zarośli w przybrzeżnych wodach do głębokości 50 m. Maskuje się w piasku, oczekując na swoją zdobycz. Podczas polowania wyskakuje gwałtownie w górę i okrywając swymi płetwami ofiarę, poraża ją prądem elektrycznym.

**Drętwa brunatna** (*Torpedo nobiliana*) osiąga długość 1,8 m i ciężar około 70 kg. Posiada jednolite, ciemnobrązowe lub ciemnozielone ubarwienie grzbietu. Pierwsza płetwa grzbietowa dwukrotnie wyższa od drugiej. Wytwarza napięcie do 200 V.

Żyje w Morzu Śródziemnym oraz we wschodnim Oceanie Atlantyckim, od Wysp Brytyjskich do południowej Afryki, na głębokości od 10 do 300 m. Prowadzi nocny tryb życia. W ciągu dnia przebywa zagrzebana po oczy w podłożu. Gatunek żyworodny.

**Drętwa pstra** (*Torpedo marmorata*) osiąga długość ciała do 60 cm i masę do 3 kg. Skóra gładka, oczy małe. Otwór gębowy na stronie brzusznej. Dwie płetwy grzbietowe na trzonie ogonowym. Szerokie i mięsiste płetwy piersiowe stanowią zewnętrzną krawędź krążkowatego tułowia. Spłaszczone, okrągłe ciało z wyraźnie oddzielnym krótkim trzonem ogonowym. Ubarwienie bardzo zmienne, od jasno- do ciemnobrązowego z marmurkowym deseniem. Strona brzuszna biaława. Dwa duże narządy elektryczne umiejscowione między głową a płetwami piersiowymi, wytwarzające napięcie do 200 V.

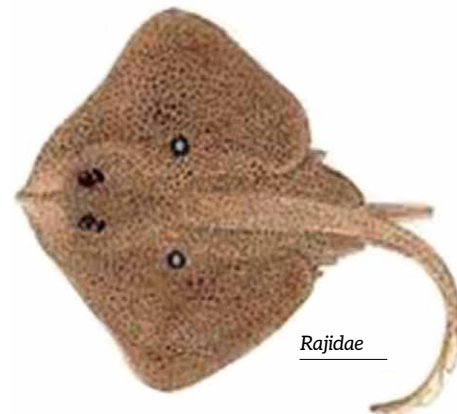
Żyje we wschodnim Atlantyku, od Zatoki Biskajskiej po południową Afrykę, na głębokościach 2–370 m. Prowadzi aktywny nocą, samotniczy tryb życia. Dzień spędza częściowo zagrzebana w podłożu. Pożywienie stanowią mniejsze ryby i skorupiaki.



*Torpedo marmorata*

### Rajowate (Rajidae)

Rodzina rajowatych posiada szerokie ciało w kształcie rombu oraz wąski ogon z dwiema małymi płetwami. Na ogonie zamiast kolców znajdują się narządy elektryczne o nieznanym przeznaczeniu. Wytwarzają zbyt niskie napięcie, aby mogły skutecznie razić napastników. Niska częstotliwość wytwarzanego prądu nie może być stosowana do elektrolokacji. Żyje u brzegów Europy i osiąga długość 1,5 m, zaś masa dochodzi do 70 kg.



*Rajidae*

### Węgorze elektryczne (*Electrophorus electricus*)

Węgorz elektryczny, należący do ryb strętowkształtnych, osiąga długość do 2,5 m i masę ciała do 20 kg. Najczęściej spotykane osobniki mierzą ok. 1 metra długości. Ciało wydłużone, cylindryczne, pozbawione łusek, bez płetw brzusznych i grzbietowej. Ubarwienie od szarego do ciemnobrązowego, z podgardlem w odcieniu pomarańczowym. Z prawdziwym węgorzem łączy go tylko zbieżność kształtu.

Po bokach, wzdłuż płetwy odbytowej, węgorz posiada narządy elektryczne służące do polowania, odstraszania oraz elektrolokacji. Narządy elektryczne, odizolowane warstwą tłuszczu, zajmują 80% ciała i są tworami powstałymi z przekształconych włókien mięśniowych. Zbudowane są z kilkudziesięciu kolumn podzielonych na tysiące płytek izolowanych galaretowatą tkanką i tak unerwionych, aby impulsy powstające w płytkach sumowały się podczas wyładowania. Wytwarzane napięcie osiąga wartość do 750 V i jest zależne od długości osobnika. Głowa węgorza jest spolaryzowana dodatnio, a część



Węgorz elektryczny (*Electrophorus electricus*)

ogonowa spolaryzowana ujemnie. Oprócz głównego narządu elektrycznego do rażenia, węgorz posiada dodatkowo narząd Sachs'a przeznaczony do elektrolokacji.

Żyje w wodach mętnych i błotnistych w północno-wschodniej Ameryce Południowej, w dorzeczu Orinoko, Gujany, dolnego i środkowego biegu Amazonki. Spotyka się go głównie w rozlewiskach. Prowadzi samotniczy i nocny tryb życia. Żywi się rybami, płazami i większymi bezkręgowcami. Oddycha, wynurzając się ponad wodę i zasysa powietrze atmosferyczne. Starsze osobniki całkowicie tracą wzrok. Posiada także zdolność odbierania dźwięków.

Nie jest znana długość życia węgorzy elektrycznych w warunkach naturalnych. W niewoli samce żyją około 10 lat, a samice około 15 lat. Węgorze elektryczne są lokalnie łowione w celach konsumpcyjnych.

### Apterotonidae

Ciało *Apterotonidae* jest wydłużone, zwężające się w stronę ogona, o długości do 1,3 m. Długa płetwa odbytowa zajmuje niemal całą długość ciała. Ryby z tej rodziny charakteryzuje bardzo krótka jama brzuszna i otwór odbytowy usytuowany jest w okolicy gardła. Pozostałą część ciała zajmują narządy elektryczne, zbudowane z przekształconej tkanki nerwowej. Wykorzystywane są w elektrolokacji.

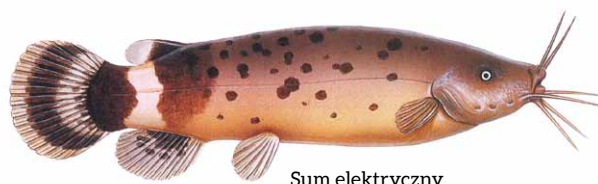


Duch brazylijski (*Apteronotus albifrons*) – z rodziny *Apterotonidae*

Słabe pole elektryczne o napięciu 1 V ulega deformacji w zetknięciu się z obiektami otoczenia. Częstotliwość wytwarzanego napięcia jest zależna od gatunku i okoliczności i wynosi od kilku do 1000 Hz. *Apterotonidae* żyją w słodkich wodach Wenezeli, Panamy i Ameryki Południowej. Prowadzą nocny tryb życia. Żywią się larwami owadów i małymi rybami.

### Sum elektryczny (*Malapterurus electricus*)

Sum elektryczny należący do rodziny *Siluriformes*, osiąga długość 1,2 m i masę do 25 kg. Ciało szarobrązowe i cylindrycznie wydłużone. Głowa spłaszczona, oczy małe, pysk zaokrąglony z szeroko rozstawionymi otworami nosowymi. Z pyska wyrasta sześć wąsików otaczających grube, mięsiste wargi. Brak płetwy



Sum elektryczny

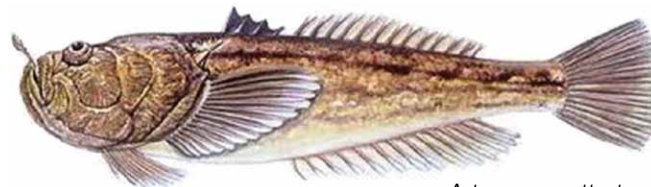
grzbietowej wyrównuje dobrze wykształcona płetwa przesunięta w stronę ogona. Pozostałe płetwy zaokrąglone.

Narządy elektryczne umieszczone są w tkance pod skórą i stanowią czwartą część masy ciała. Rozłożone są wokół tułowia, od głowy do nasady ogona, najwięcej w części brzusznej ciała. Narządy elektryczne sumów powstały z tkanki łącznej i mogą wytworzyć napięcie elektryczne do 350 V.

Żyje w słodkich, stojących lub wolno płynących wodach tropikalnej Afryki. W ciągu dnia ukrywa się wśród skał, a nocą żeruje. Żywi się rybami paraliżowanymi impulsami elektrycznymi. Sumy elektryczne, podobnie jak węgorze, mają słaby wzrok, a starsze osobniki tracą go całkowicie. Sumy są poławiane w celach konsumpcyjnych.

### Skabera amerykańska (*Astroscopus guttautus*)

Należąca do rodziny *Uranoscopidae*, osiąga długość 30 cm. Posiada bardzo delikatne narządy elektryczne, mogące wytworzyć napięcie do 50 V. Narząd elektryczny znajduje się na głowie i zbudowany jest z mięśni ocznych. Częstotliwość wytwarzanego napięcia jest od 50 Hz do 500 Hz.

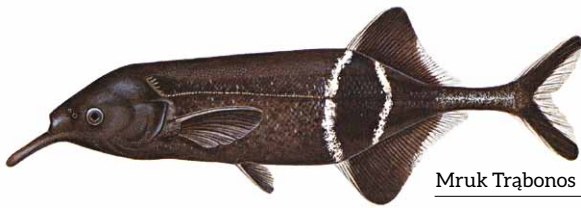


*Astroscopus guttautus*

Żyje w Atlantyku przy brzegach Ameryki Północnej. Poluje za dnia, czatując na swą zdobycz na dnie morskim. Odżywia się małymi rybkami wciąganyymi do paszczy po jej otwarciu. Podczas tego procesu elektryczne organy ryb emitują salwy pola elektrycznego wysokiej częstotliwości. Przyczyna powstawania tych elektrycznych ładunków jest nieznana, są one o wiele za słabe, by móc porazić zdobycz.

### Mrukowate (*Mormyridae*)

Ryby te należą do rodziny promieniopłetwych i osiągają długość do 50 cm. Mają wydłużone, bocznie spłaszczone ciało pokryte drobnymi łuskami, mały otwór gębowy, małe oczy. Płetwy brzuszne dobrze rozwinięte, mocno wcięta płetwa ogonowa. Na przewężeniu płetwy ogonowej znajduje się para narządów elektrycznych powstałych z mięśni trzona ogonowego. Wytwarzają napięcie 2–10 V, o częstotliwości 100–300 Hz. Emitowane impulsy elektryczne służą do elektrolokacji i orientacji w środowisku. Na głowie i przedzie ciała znajdują się liczne elektroreceptory. Mrukowate żyją w Afryce, w słodkich i wolno płynących, zamulonych wodach wielkich rzek (Nil, Senegal, Kongo). Żywią się fauną denną, roślinami wodnymi lub



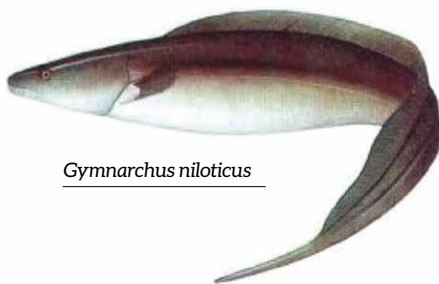
Mruk Trąbonos

szczątkami organicznymi. Są aktywne nocą. Posiadają zdolność pływania do tyłu oraz do góry brzuchem.

**Mruk Petersa**, zwany też **trąbonosem** (*Gnathonemus Petersii*) osiąga długość do 35 cm. Otwór gębowy wydłużony w kształcie ryjka lub trąby, skierowany w dół. Płetwa grzbietowa i odbytowa ułożone symetrycznie przy nasadzie ogona. Pomiedzy ich nasadami przebiega jasna pręga. Druga pręga – równoległa do pierwszej – przebiega pomiędzy środkiem tych płetw. Płetwa ogonowa silnie rozwidlona – w kształcie litery V. Ubarwienie ciała czarne lub czarno-brązowe. Nazwa gatunkowa *Petersii* nawiązuje do nazwiska niemieckiego przyrodnika Wilhelma Petersa.

Narządy elektryczne służą do elektrolokacji i poszukiwania pokarmu w mulistym dnie, gdyż mruki mają słaby wzrok. Na całym ciele, a szczególnie wokół głowy, rozmieszczonych jest ponad 500 elektrodceptorów. Położone przy nasadzie ogona narządy elektryczne zdolne są do wytwarzania napięcia do 10 V. Występują w przydennych mętnych i wolno płynących rzekach Zachodniej i Środkowej Afryki (Nigeria, Kamerun i Demokratyczna Republika Konga). Mruki Petersa żerują w nocy.

**Mruk nilowy** (*Gymnarchus niloticus*) dorasta do 2 m długości. Żyje w mętnych wodach i prowadzi życie aktywne nocą.

*Gymnarchus niloticus*

### Historia badań ryb elektrycznych

Pierwsze spostrzeżenia, że istnieją gatunki sumy posiadające właściwości porażania podobnie jak butelka lejdejska poczynił przebywający w Senegalu francuski botanik **Michel Adanson** w 1751 roku. Badaniami śródziemnomorskich dręt w zajmowali się **Luigi Galvani** i **John Walsh**. W 1800 roku **Aleksander von Humboldt** podczas podróży po Wenezueli i badań stręt w doświadczył na samym sobie siły elektrycznego rażenia.

Dokładne badania nad węgorzami elektrycznymi przeprowadził urodzony w 1853 roku, w Nysie, **Karl Sachs**. Ukończył medycynę na uniwersytecie w Berlinie i na podstawie dysertacji o nerwach czuciowych otrzymał w 1875 roku stopień doktora medycyny. Wysoko oceniana wiedza z histologii i fizjologii przyczyniła się do otrzymania przez Fundację

Humboldta propozycji wykonania badań nad węgorzami elektrycznymi w Wenezueli. Po nauczaniu się języka hiszpańskiego, jesienią 1876 roku dotarł do Caracas, a następnie w okolice Calaboso, gdzie rozpoczął badania nad węgorzami elektrycznymi. Zebrał kolekcję tych ryb i wykonał preparaty. W lipcu 1877 roku powrócił do Niemiec i rozpoczął opracowywanie monografii o węgorzach elektrycznych. Prace nad monografią przerwała śmierć badacza, który w czasie alpinistycznej wspinaczki na Monte Cevedale w południowym Tyrolu zginął wraz z kolegą, spadając w szczelinę lodowcową. Wszczęte badania i pozostawione materiały Sachsa posłużyły niemieckiemu lekarzowi i zoologowi **Emilowi du Bois-Reymond** (1818–1896), uważanemu za prekursora elektrofizjologii i bioelektryczności ryb. W 1881 roku wydał on monografię pt. *Untersuchungen am Zitteraal Gymnotus electricus* (Verlag von Veit & Comp., Leipzig 1881) jako pracę Karla Sachsa. Nazwiskiem uczonego nazwano wyspecjalizowany narząd elektryczny, tak zwany narząd Sachsa, odkryty u węgorzy elektrycznych.

### Uwagi końcowe

Ryby wyposażone w narządy elektryczne mogą wytwarzać napięcie, stanowiące niebezpieczeństwo dla człowieka. Największe osobniki węgorza elektrycznego są zdolne do wytworzenia napięcia 600 V, a suma elektrycznego – do 350 V. Niektóre drętwy wytwarzają impulsy o napięciu do 230 V i natężeniu ok. 30 A. Porażenie daje zwykle wrażenie bólu, może też oszołomić.

### Literatura

- [1] FRANK S.: *Wielki atlas ryb*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa 1980.
- [2] DOŁOWY K., SZEWCZYK A., PIKUŁA S.: *Błony biologiczne*. Wyd. Śląsk, Katowice 2006.
- [3] GIERLOTKA S.: *Elektropatologia porażen prądem elektrycznym*. Wyd. Śląsk, Katowice 2006.
- [4] KARCZEWSKI W.: *Zjawiska elektryczne w organizmie*. PWN, Warszawa 1963.
- [5] REICHHOLF J., STEINBACH G.: *Wielka encyklopedia ryb*. Muza. Warszawa 2004.
- [6] SCHLAPPAL O., SCHWATZKOPF A., TRAUTMANN J.: *Elektrische Fische*. Schriftliche Ausarbeitung. Technische Universität Darmstadt 2008.
- [7] SACHS K.: *Untersuchungen am Zitteraal Gymnotus electricus*. Verlag von Veit & Comp., Leipzig 1881.
- [8] SYNIAWA M.: *Karl Sachs*. „Przyroda Górnego Śląska” 49/2007.
- [9] ZAŁACHOWSKI W.: *Ryby*. Wydawnictwo PWN, Warszawa 1992.

dr hab. inż. Stefan Gierlotka

Polski Komitet Bezpieczeństwa w Elektryce SEP