

## Endocytoza i egzocytoza – przebieg i znaczenie

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Transport do wnętrza komórki przez błony komórkowe. Kolejno: fagocytoza, pinocytoza i endocytoza z udziałem receptorów.

Źródło: Manu5, Wikimedia Commons.

Gdy do wnętrza komórek muszą być dostarczone cząsteczki tak duże, że transport bierny lub aktywny nie są możliwe, w fragmencie błony komórkowej zachodzą zmiany prowadzące do powstania z niej pęcherzyka, czyli następuje endocytoza. W procesie tym cząsteczki transportowane są do wnętrza komórki, natomiast ich usuwanie do środowiska zewnętrznego odbywa się na drodze egzocytozy. Czy wiesz, że oba rodzaje transportu, w których z błony biologicznej formuje się pęcherzyk, zachodzą tylko u eukariontów?

### Twoje cele

- Opiszysz proces endocytozy i egzocytozy.
- Wymienisz typy endocytozy.
- Omówisz podobieństwa i różnice między fagocytozą a pinocytozą.

# Przeczytaj

---

## Endocytoza

Dostarczanie dużych cząsteczek do wnętrza komórki odbywa się za pomocą procesu zwanego [endocytozą](#). Cząsteczki te są zawieszane w płynach fizjologicznych. Pobierane cząsteczki są zamykane w pęcherzyku endocytarnym (endocytotycznym). Powstaje on w wyniku uwypuklenia lub wpuklenia błony komórkowej, która otacza transportowaną cząsteczkę. Wewnątrz komórki zawartość pęcherzyka endocytarnego rozkładana jest przez enzymy hydrolityczne pochodzące z lizosomów.

Endocytoza jest sposobem odżywiania się niektórych organizmów, m.in. protistów zwierzęcych (np. pantofelka, ameby). Nie może zachodzić w komórkach, które mają ścianę komórkową.

Endocytoza (fagocytoza).

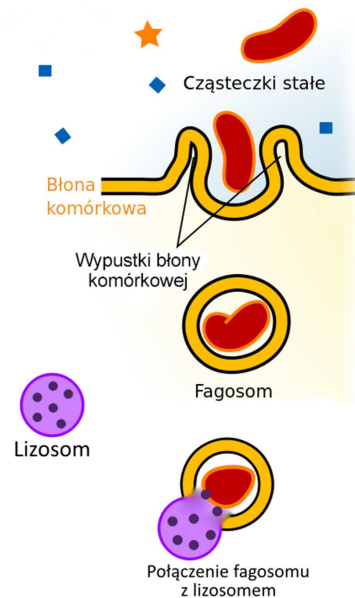
Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Fagocytoza

[Fagocytoza](#) jest jednym z typów endocytozy. Komórki zdolne do pobierania substancji w ten sposób określane są **fagocytami** lub **komórkami żernymi**. Fagocytoza jest wykorzystywana do pobierania dużych cząstek pokarmowych, np. mikroorganizmów oraz szczątków komórek. Po wykryciu substancji pokarmowych w pobliżu komórki tworzą się wypustki błony, które otaczają pobieraną substancję, zamykając ją w pęcherzyku, który następnie jest wciągany do wnętrza komórki. Podczas fagocytozy

pęcherzyki endocytarne (w tym procesie nazywane [fagosomami](#)) łączą się z lizosomami, tworząc tzw. lizosomy wtórne. Po strawieniu przetransportowanej cząsteczki przez enzymy lizosomalne i uwolnieniu produktów trawienia, błona komórkowa, która tworzyła fagosom, jest ponownie włączana w błonę komórki.

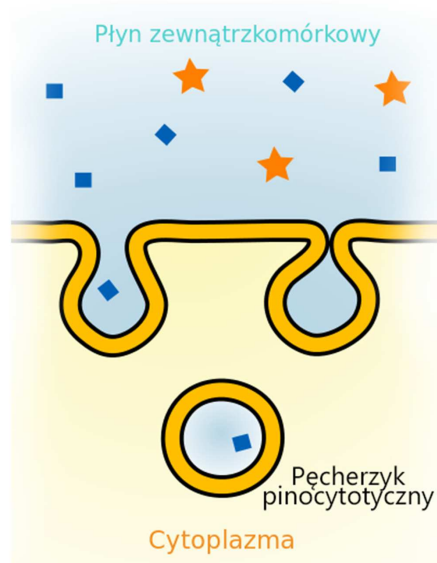


Schemat przebiegu fagocytozy.

Źródło: Jacek FH, Wikimedia Commons, domena publiczna.

## Pinocytoza

Innym typem endocytozy jest [pinocytoza](#). Jest ona wykorzystywana do wchłaniania płynów i rozpuszczonych w nich mniejszych cząsteczek, np. białek lub węglowodanów. Proces ten rozpoczyna się od powstania kanalika pinocytarnego zakończonych banieczką, która następnie odrywa się, co powoduje powstanie pęcherzyka endocytarne. Powstające w drodze pinocytozy pęcherzyki nazywane są [pęcherzykami pinocytotycznymi](#). Podczas tego typu transportu całe pęcherzyki wraz z zawartością ulegają strawieniu przez enzymy lizosomów. Produkty trawienia wchłaniane są do cytozolu. Pinocytoza wiąże się z ubytkiem błony komórkowej.



Schemat przebiegu pinocytozy.

Źródło: Jacek FH, Wikimedia Commons, domena publiczna.

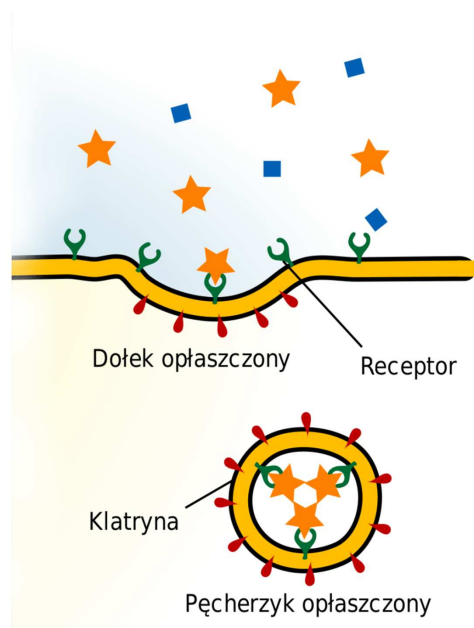
## Endocytoza kierowana receptorami

Endocytoza kierowana receptorami działa na zasadzie wiązania [liganda](#) z [receptorem](#) – swoiste makrocząsteczki wiążą się z receptorami na zewnętrznej powierzchni komórki. Równocześnie od strony cytoplazmy błona komórkowa zostaje pokryta [klatryną](#). W wyniku wpuklenia błony komórkowej pojawia się zagłębienie, tzw. dołek opłaszczony. Dołek, wciągany do wnętrza komórki, zamyka się i wnika do cytoplazmy. Klatryna wspomaga ten proces nadając pęcherzykowy, zaokrąglony kształt. W rezultacie substancje przedostają się do wnętrza komórki jako kompleksy makrocząsteczek z receptorami w [pęcherzykach opłaszczonych](#).

W pęcherzykach ligand i receptor rozdzielają się. Substancje przenoszone są bezpośrednio do aparatu Golgiego, skąd część cząsteczek transportowana jest do innych organelli komórkowych. Jeśli zawartość pęcherzyka jest komórce zbędna, łączy się on z lizosomem. Ligandy rozkładane są przez enzymy lizosomów dopiero po

kilkudziesięciu minutach, co wskazuje na ich rolę w regulacji szlaków metabolicznych. Pęcherzyk z receptorem wraca do błony komórkowej i łączy się z nią.

Endocytoza kierowana receptorami jest mechanizmem bardziej selektywnym od pinocytozy. Pozwala na zdobycie dużych ilości konkretnych substancji. Tą drogą z płynu zewnątrzkomórkowego pobierane są m.in. cholesterol, witamina B<sub>12</sub>, hormony białkowe, cytokiny i czynniki wzrostu.



Schemat przebiegu endocytozy kierowanej receptorami.

Źródło: Jacek FH, Wikimedia Commons, domena publiczna.

## Egzocytoza

Egzocytoza jest procesem odwrotnym do endocytozy. Podczas niej transportowane są lipidy, białka, hormony, śluz i enzymy trawienne wytwarzane lub modyfikowane w komórce lub w jej organellach. Substancje te przenoszone są z wnętrza komórki do środowiska zewnętrznego. U roślin, z wykorzystaniem tego procesu, wydzielane są także wielocukry służące do budowy ściany komórkowej. Pęcherzyki transportujące wyodrębniane są z błon retikulum endoplazmatycznego i aparatu Golgiego. Błony

pęcherzyków zlewają się z błoną komórkową i uwalniają swoją zawartość na zewnątrz. W wyniku tego procesu następuje rozbudowywanie błon i wzrost komórki.

Schemat trawienia wewnątrzkomórkowego: połączenie fagosomu i lizosomu, trawienie substancji pokarmowych i usuwanie niestrawionych resztek na drodze egzocytozy.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ciekawostka

Pomimo powstawania ubytków błony komórkowej podczas pinocytozy, powierzchnia i objętość komórki się nie zmienia, ponieważ ubytki te są równoważone przez wprowadzanie błony podczas fuzji pęcherzyków przy egzocytozie.

## Słownik

### egzocytoza

(gr. éxō – na zewnątrz, kýtos – komórka) proces przenoszenia cząsteczek, np. niestrawionych resztek pokarmowych, z wnętrza komórki do środowiska zewnętrznego

### endocytoza

(gr. éndon – na zewnątrz, kýtos – komórka) proces przenoszenia cząsteczek i płynu ze środowiska zewnętrznego do wnętrza komórki

### fagocytoza

(gr. phágos – na zewnątrz, kýtos – komórka) rodzaj endocytozy; proces przenoszenia dużych cząstek pokarmu do wnętrza komórki

### fagosomy

organelle komórkowe tworzące się w komórkach eukariotycznych w procesie fagocytozy i zawierające materiał przeznaczony do strawienia

### klatryna

podstawowe białko tworzące cytoplazmatyczny płaszcz wokół początkowo dołka, a następnie pęcherzyka opłaszczonego

### **ligand**

cząsteczka wiążąca się specyficznie z inną, zwykle większą cząsteczką, tzw. receptorem komórkowym

### **pinocytoza**

(gr. pino – pić, kýtos – komórka) rodzaj endocytozy; podczas tego procesu pobierane są drobiny białek oraz wielkocząsteczkowe substancje rozpuszczalne w wodzie wraz z płynem zewnątrzkomórkowym

### **pęcherzyki pinocytotyczne**

pęcherzyki endocytarne powstające w procesie pinocytozy

### **pęcherzyk opłaszczony**

pęcherzyk endocytarny powstający w procesie endocytozy kierowanej receptorami

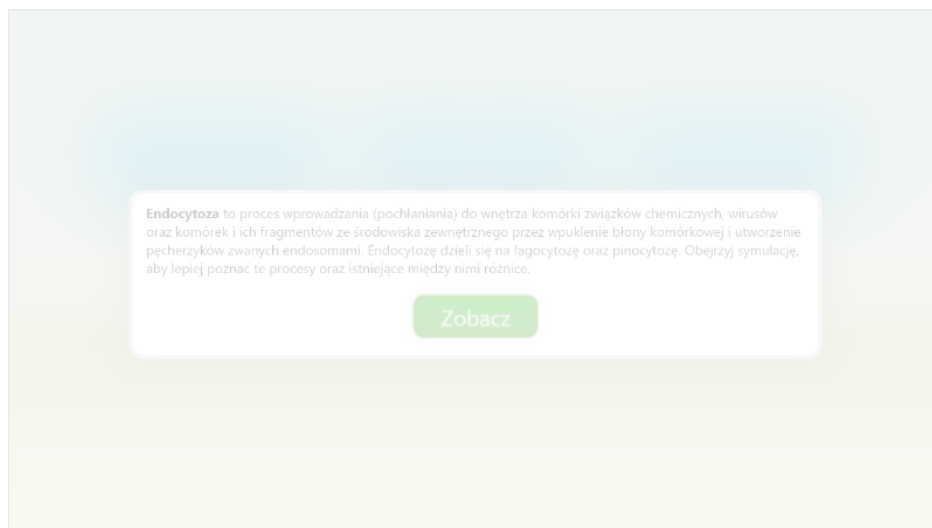
### **receptor**

tu: białko na powierzchni błony komórkowej, wiążące się ze swoistymi substancjami

# Symulacja interaktywna

---

## Symulacja 1



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DhGquTwLI>

Proces endo- i egzocytozy.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Polecenie 1

## Polecenie 2

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



## Ćwiczenie 5

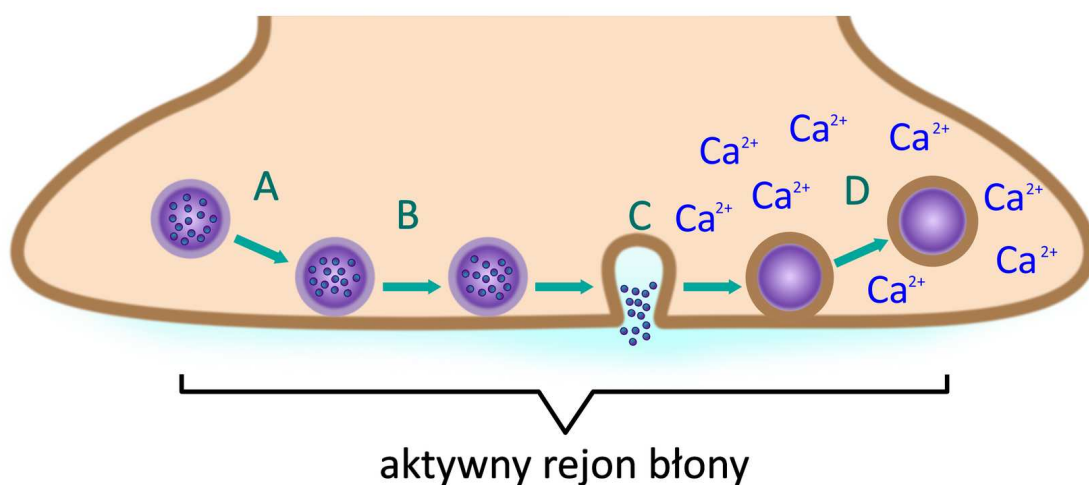


### Współzależność między endo- i egzocytozą

Przekazywanie sygnału między komórkami odbywa się za pomocą neurosekrecji (wytwarzania i wydzielania przez neurony neuroprzekaźników i hormonów na końcach aksonów). W procesie tym ważny jest transport większych cząsteczek, takich jak aminy biogenne i hormony peptydowe.

W neurosekrecji wyróżnia się następujące etapy: biogenezę pęcherzyków, kumulację w pęcherzykach specyficznych związków, transport pęcherzyków oraz ich zakotwiczenie i fuzję z błoną komórkową. Po wydzieleniu na zewnątrz zawartości pęcherzyki mogą zostać powtórnie użyte. Są odzyskiwane na drodze endocytozy, która aktywowana jest w wysokich stężeniach  $\text{Ca}^{2+}$ .

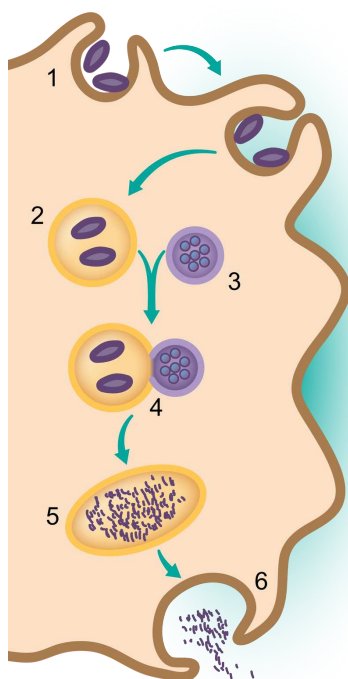
Na podstawie: Małgorzata Litwa, Joanna Bandorowicz-Pikuła, *Regulacja fuzji błon przez jony wapnia*, „Kosmos”, 1997, 46(4), s. 587–594.



Przebieg neurosekrecji zachodzącej na zakończeniach aksonów komórek nerwowych. Obrazuje on współzależność pomiędzy egzo- i endocytozą.

Źródło: Englishsquare.pl Sp. z o.o., na podstawie: Małgorzata Litwa, Joanna Bandorowicz-Pikuła, *Regulacja fuzji błon przez jony wapnia*, „Kosmos” 1997, 46(4), s. 587–594, licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 6



## Ćwiczenie 7



„Badania układu immunologicznego zaczęły się około sto lat temu doświadczeniami Miecznikowa nad fagocytozą. To, co obecnie jest określane jako nieswoista odporność komórkowa, szybko zostało połączone z badaniami m.in. nad odpornością uwarunkowaną przeciwciałami (humoralną), która długo była uznawana za pierwszą linię obrony przed chorobami wywołanymi przez mikroorganizmy, w tym wirusy. (...) Stwierdzono, że infekcje byłą różnymi wirusami aktywują wiele elementów odporności naturalnej, m.in. proces fagocytozy neutrofilów, oraz wpływają na ilość i aktywność takich substancji, jak lizozym (LZM) czy mieloperoksydaza (MPO). (...) Zarejestrowano, że makrofagi pęcherzyków płucnych stają się aktywne po zainfekowaniu makroorganizmu wirusem grypy, ponieważ fagocytują one komórki apoptotyczne, ograniczając tym samym jego rozprzestrzenianie się”.

Źródło: Joanna Śliwa-Dominiak, Beata Tokarz-Deptuła, Wiesław Deptuła, *Rola komórek układu odpornościowego i ich receptory w zakażeniach wirusowych – wybrane dane*, „Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej” 2014, nr 68, s. 404–409.

## Ćwiczenie 8



„Fagocytoza jest typowym elementem obronnym organizmów wielokomórkowych. Jest ona podstawową funkcją neutrofilów, monocytów oraz makrofagów tkankowych, jak również jest głównym powodem obecności tych komórek w ognisku zapalnym. W przypadku zakażeń koni *Streptococcus equi* efektywność procesu fagocytozy jest ograniczona. *Streptococcus equi* wypracował różne sposoby ograniczające skuteczność zwalczania infekcji przez atakowany organizm. *Streptococcus equi* (*S. equi*) [...] powoduje ostre lub przewlekłe zapalenie węzłów chłonnych okolic głowy i szyi. U koni bakteria ta jest przyczyną zołzy, choroby o przebiegu epidemicznym [...]. Pomimo ogromnego postępu badań nad epizootiologią tego schorzenia oraz opracowania nowych metod identyfikacji i leczenia, zołzy ciągle są jednym z najczęściej odnotowywanych schorzeń koni na całym świecie [...] Mała efektywność identyfikacji zołz oraz niska skuteczność w leczeniu koni zarażonych *S. equi* związana jest z trudnościami w rozpoznaniu bezobjawowych nosicieli. Jedną z metod wykorzystywanych do określenia zdolności fagocytarnych komórek jest cytometria przepływowa. U kłaczy, które przechorowały streptokokozę, stwierdzono zmniejszoną zdolność do pochłaniania drobnoustrojów przez komórki żerne we krwi obwodowej, ale chemotaksja *E. coli* w kierunku fagocytów była większa. *Streptococcus equi* wiąże się z odpowiednimi ligandami do komórek gospodarza, co doprowadza do zablokowania receptorów, niezbędnych komórkom fagocytującym do skutecznego przeprowadzenia procesu niszczenia bakterii.”

Źródło: Danuta Czernomysy-Furowicz i in., *Niespecyficzna odporność komórkowa kłaczy rasy standard breed klinicznie zdrowych i po przechorowaniu zakażenia Streptococcus equi*, „Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica” 2010, nr 9(4), s. 63–70.

# Dla nauczyciela

---

**Autor:** Anna Juwan

**Przedmiot:** Biologia

**Temat:** Endocytoza i egzocytoza – przebieg i znaczenie

**Grupa docelowa:** uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

**Podstawa programowa:**

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

II. Komórka. Uczeń:

3) rozróżnia rodzaje transportu do i z komórki (dyfuzja prosta i wspomagana, transport aktywny, endocytoza i egzocytoza);

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

II. Komórka. Uczeń:

3) rozróżnia rodzaje transportu do i z komórki (dyfuzja prosta i wspomagana, transport aktywny, endocytoza i egzocytoza);

**Kształtowane kompetencje kluczowe:**

- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się;

- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii.

### **Cele operacyjne (językiem ucznia):**

- Opiszysz proces endocytozy i egzocytozy.
- Wymienisz typy endocytozy.
- Omówisz podobieństwa i różnice między fagocytozą a pinocytozą.

### **Strategie nauczania:**

- konstruktywizm;
- konektywizm.

### **Metody i techniki nauczania:**

- z użyciem komputera;
- rozmowa kierowana;
- ćwiczenia interaktywne;
- symulacja;
- praca z tekstem;
- analiza tekstu źródłowego;
- mapa pojęć;
- grupy ekspertów.

### **Formy pracy:**

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

## Środki dydaktyczne:

- komputery z dostępem do internetu dla uczniów;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, pisak/kreda.

## Przebieg lekcji

### Faza wstępna:

1. Nauczyciel wyświetla na tablicy temat lekcji oraz cele zajęć, omawiając lub ustalając razem z uczniami kryteria sukcesu.
2. **Wprowadzenie do tematu.** Nauczyciel prosi chętną osobę o scharakteryzowanie transportu biernego i aktywnego. Następnie wyjaśnia, że duże cząsteczki nie mogą zostać przeniesione przez białka nośnikowe, dlatego istnieją jeszcze dwa rodzaje transportu: endo- i egzocytoza.

### Faza realizacyjna:

1. **Praca z treścią e-materiału – grupy eksperckie.** Uczniowie indywidualnie zapoznają się z tekstem w sekcji „Przeczytaj”. Następnie nauczyciel dzieli klasę na cztery grupy eksperckie. Każda grupa otrzymuje zadanie przygotowania informacji na temat jednego z rodzajów transportu pęcherzykowego na podstawie treści w sekcji „Przeczytaj”:

- grupa I – fagocytoza;
- grupa II – pinocytoza;
- grupa IV – endocytoza kierowana receptorami;
- grupa IV – egzocytoza.

Po wyznaczonym czasie (10 min) nauczyciel tworzy grupy czteroosobowe, w których skład wchodzi eksperci w zakresie poszczególnych rodzajów transportu. Przekazują oni innym informacje zdobyte w grupach eksperckich. Nauczyciel przysłuchuje się wypowiedziom uczniów, uzupełnia je lub koryguje błędy.

- 2. Praca z multimedium („Symulacja interaktywna”).** Nauczyciel wyświetla symulację interaktywną i wspólnie z uczniami dokonuje jej analizy. Prosi uczniów, by pracując indywidualnie, przedstawili kierunek transportu cząsteczek w trakcie endocytozy i egzocytozy (polecenie nr 1), a następnie, pracując w parach, porównali fagocytozę i pinocytozę, uwzględniając podobieństwa oraz różnice między tymi rodzajami transportu komórkowego (polecenie nr 2). Wybrane osoby przedstawiają odpowiedzi na forum klasy.
- 3. Utrwalenie wiedzy i umiejętności.** Uczniowie samodzielnie wykonują ćwiczenie nr 7 (w którym mają za zadanie wykazać na podstawie tekstu źródłowego znaczenie procesu fagocytozy w obronie organizmu przed patogenami, uwzględniając funkcję makrofagów) z sekcji „Sprawdź się”. Następnie w 4-osobowych grupach omawiają prawidłowe rozwiązanie. Po upływie wyznaczonego czasu wskazany przez nauczyciela przedstawiciel grupy prezentuje odpowiedź wraz z jej uzasadnieniem. Klasa ustosunkowuje się do niej. Nauczyciel udziela uczniom informacji zwrotnej.
4. Uczniowie rozwiązują w grupach 4-osobowych ćwiczenie nr 8 (w którym mają za zadanie – na podstawie tekstu źródłowego – sformułować problem badawczy i hipotezę dotyczące wpływu bakterii *S. equi* na fagocytozę), wyświetlone przez nauczyciela na tablicy. Po jego wykonaniu następuje omówienie rezultatów na forum klasy.

#### **Faza podsumowująca:**

1. Klasa wspólnie wykonuje na tablicy mapę pojęć podsumowującą zajęcia.
2. Nauczyciel wyświetla treści zawarte w sekcji „Wprowadzenie” i na ich podstawie dokonuje podsumowania najważniejszych informacji przedstawionych na lekcji. Wyjaśnia także wątpliwości uczniów.

#### **Praca domowa:**

1. Wykonaj ćwiczenia od 1 do 6 z sekcji „Sprawdź się”.

#### **Materiały pomocnicze:**

- Jane B. Reece i in., „Biologia Campbella”, tłum. K. Stobrawa i in., Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2021.
- „Encyklopedia szkolna. Biologia”, red. Marta Stęplewska, Robert Mitoraj, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2006.

**Dodatkowe wskazówki metodyczne:**

- Multimedia zamieszczone w sekcji „Symulacja interaktywna” można wykorzystać w fazie wstępnej zajęć, w celu wzbudzenia zaciekawienia uczniów.